

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Eléctrica

Trabajo de Suficiencia Profesional

**Implementación del circuito de alimentación de las protecciones internas del transformador de servicios auxiliares del Centro de Control de Motores de la Planta Concentradora**

Fredy Fidel Iquise Gonza

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero Electricista

Arequipa, 2021

Repositorio Institucional Continental  
Trabajo de suficiencia profesional



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

## **DEDICATORIA**

Mi trabajo lo dedico con todo mi amor y cariño a mi querida esposa Marisol por su sacrificio y esfuerzo, por apoyarme en mi carrera, para nuestro futuro, y por creer en mí capacidad; aunque hemos pasado momentos difíciles, siempre ha estado brindándome su comprensión, cariño y amor.

## **AGRADECIMIENTOS**

Gracias a mi esposa Marisol por entenderme en todo, gracias a ella, porque en todo momento fue un apoyo incondicional en mi vida, Te agradezco por tantas ayudas; eres mi inspiración y mi motivación.

Gracias a mis hijos Valery y Erick por ser la fuente de mi esfuerzo y todas las energías requeridas en este largo camino, gracias por ser los motores de mi vida, que me impulsan a seguir adelante en todo momento.

Gracias a mi padre y hermanos por siempre desear y anhelar siempre lo mejor para mi vida, gracias por cada consejo y por cada una de sus palabras que me guiaron durante mi vida.

Gracias a la vida por este nuevo triunfo, gracias a todas las personas que me apoyaron y creyeron en mí.

Aprovecha cada momento que Dios y la vida te ofrecen, no esperes a mañana para ser agradecido, no esperes para dar las gracias o para valorar los detalles que tienen o tuvieron contigo, se atentó con las personas que lo son contigo, ser grato y agradecido no es complicado, lo complicado es dejar de serlo y hacerlo después de entender y comprender su valor.

# ÍNDICE

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTOS .....	ii
ÍNDICE.....	iii
LISTA DE TABLAS.....	vi
LISTA DE FIGURAS .....	vii
RESUMEN .....	ix
ABSTRACT .....	x
INTRODUCCIÓN .....	xi
CAPÍTULO I .....	1
ASPECTOS GENERALES .....	1
1.1. Datos Generales .....	1
1.2. Actividades Principales .....	2
1.3. Reseña Histórica.....	2
1.4. Organigrama de sociedad Minera Cerro Verde S.A.A. ....	4
1.5. Visión y Misión .....	4
1.6. Bases Legales o Documentos Administrativos.....	6
1.7. Descripción del Área donde Realizo mis Actividades Profesionales.....	7
1.8. Descripción del Cargo y de las Responsabilidades del Bachiller en la Empresa .....	10
CAPÍTULO II .....	12
ASPECTOS GENERALES DE LA ACTIVIDAD PROFESIONAL.....	12
2.1. Diagnóstico Situacional .....	12
2.2. Identificación de Oportunidad o Necesidad en el Área de Actividad Profesional .....	14
2.3. Objetivos de la Actividad Profesional .....	15
2.3.1. Objetivo general.....	15
2.3.2. Objetivo específico.....	16
2.4. Justificación de la Actividad Profesional.....	16
2.5. Resultados esperados.....	17
CAPÍTULO III .....	19
MARCO TEÓRICO.....	19
3.1. Bases Teóricas de las Metodologías o Actividades Realizadas .....	19
3.1.1. Metodología y/o Procedimiento de Trabajo .....	19
3.1.2. Prueba de relés de protección eléctrica .....	21
3.1.3. Centros de transformación .....	22

3.1.4.	Redes de distribución de baja tensión.....	22
3.1.5.	Conductores.....	23
3.1.5.1.	¿Qué es un cable eléctrico?.....	23
3.1.5.2.	Partes de un cable eléctrico.....	23
3.1.5.3.	Tipos de conductores.....	24
3.1.5.4.	Tipos de aislamiento de cables eléctricos.....	26
3.1.5.5.	Tensiones de los cables eléctricos.....	27
3.1.5.6.	Medidas de los cables eléctricos.....	28
3.1.5.7.	Colores y significado de los cables eléctricos.....	28
3.1.5.8.	Capacidad de corriente.....	30
3.1.6.	Cableado externo para equipos en gabinete o <i>rack</i> .....	31
3.1.7.	Canalizaciones para los cables.....	32
3.1.7.1.	Electrical Metallic Tubing: Type EMT.....	32
3.1.7.2.	Rigid Metal Conduit: Type RMC.....	33
3.1.7.3.	Flexible Metal Conduit: Type FMC.....	34
3.1.7.4.	Bandejas portacables.....	36
3.1.7.5.	Canaletas.....	38
3.1.8.	Conectores eléctricos.....	42
3.1.8.1.	Otros tipos de conectores.....	45
3.1.9.	El transformador.....	47
3.1.9.1.	Historia.....	50
3.1.9.2.	Composición de un transformador.....	50
3.1.9.3.	Tipos de transformadores.....	52
3.1.9.4.	Funcionamiento del transformador.....	62
3.1.9.5.	La construcción de un transformador.....	65
3.1.10.	Transformadores para servicios auxiliares en una subestación de potencia.....	80
3.1.10.1.	Usos del transformador de servicios auxiliares.....	81
3.1.10.2.	Diseño y fabricación del transformador de servicios auxiliares.....	81
3.1.10.3.	Protecciones internas del transformador de servicios auxiliares.....	82
CAPÍTULO IV.....		85
DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD PROFESIONAL.....		85
4.1.	Montaje Eléctrico del Circuito de Alimentación de las Protecciones Internas del Transformador de Servicios Auxiliares.....	85
4.1.1.	Antecedentes del problema.....	85
4.1.2.	Características del circuito eléctrico antes del cambio.....	86
4.1.3.	Pasos para la implementación del conexionado de control a circuito de transformador de servicios auxiliares.....	90
4.2.	Enfoque de las Actividades Profesionales.....	96

4.2.1.	Responsabilidad del ingeniero supervisor de Mantenimiento E / I Procesos .....	97
4.3.	Alcance de las Actividades Profesionales .....	97
4.3.1.	Trabajos de coordinación del ingeniero supervisor de Mantenimiento.....	98
4.4.	Aspectos Técnicos de la Actividad Profesional.....	99
4.4.3.1.	Software CADE SIMU .....	101
4.4.3.2.	Office .....	101
4.4.3.3.	Microsoft Project .....	102
4.4.3.4.	Autocad.....	102
CAPÍTULO V.....		104
RESULTADOS.....		104
5.1.	Resultados Finales de la Actividad Realizada .....	104
5.2.	Logros Alcanzados.....	104
5.2.1.	En el ámbito del proyecto.....	104
5.2.2.	En el ámbito personal.....	105
5.3.	Aportes del Bachiller en la Empresa.....	105
CONCLUSIONES.....		107
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....		108
ANEXOS .....		110

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1 <i>Calibre de los conductores AWG</i> .....	31
Tabla 2 <i>Máxima intensidad de corriente por ducterías</i> .....	36
Tabla 3 <i>Diámetros de los tubos rígidos</i> .....	41



## LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Organigrama de Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A. ....	4
<i>Figura 2.</i> Diagrama de ubicación general .....	8
<i>Figura 3.</i> Circuito de chancado primario 1 y 2 .....	9
<i>Figura 4.</i> Diagrama general del circuito de molienda .....	10
<i>Figura 5.</i> Conductor de alambre sólido.....	24
<i>Figura 6.</i> Conductor de alambre aislado.....	24
<i>Figura 7.</i> Conductor flexible de varios hilos. ....	25
<i>Figura 8.</i> Conductor de cordón. ....	25
<i>Figura 9.</i> Códigos de letras de alambres conductores. ....	27
<i>Figura 10.</i> Calibre de conductores según AWG.....	28
<i>Figura 11.</i> Cable con aislante de colores.....	29
<i>Figura 12.</i> Cable multifilar con aislante de colores.....	30
<i>Figura 13.</i> Tubo conduit tipo EMT. ....	33
<i>Figura 14.</i> Tubo conduit tipo RMC.....	34
<i>Figura 15.</i> Tubo conduit tipo FMC. ....	35
<i>Figura 16.</i> Bandeja portacables tipo escalera.....	36
<i>Figura 17.</i> Canaletas para cableado eléctrico y datos. ....	38
<i>Figura 18.</i> Conectores eléctricos. ....	44
<i>Figura 19.</i> Terminales eléctricos.....	44
<i>Figura 20.</i> Alicata de sujeción de terminales eléctricos.....	45
<i>Figura 21.</i> Conectores tipo resorte. ....	46
<i>Figura 22.</i> Bornes de carril para contactos. ....	46
<i>Figura 23.</i> Transformador de potencia.....	49
<i>Figura 24.</i> Bobinado primario y secundario del núcleo del transformador.....	51
<i>Figura 25.</i> Transformador trifásico. Conexión estrella-triángulo.....	52
<i>Figura 26.</i> Transformador de aislamiento. ....	53
<i>Figura 27.</i> Transformador de pulsos.....	54
<i>Figura 28.</i> Transformador de línea o flybak. ....	54
<i>Figura 29.</i> Estabilizador de voltaje.....	56
<i>Figura 30.</i> Balun. ....	56
<i>Figura 31.</i> Transformador electrónico.....	57
<i>Figura 32.</i> Transformador de frecuencia variable. ....	58
<i>Figura 33.</i> Transformadores de medida.....	58
<i>Figura 34.</i> Autotransformador. ....	59
<i>Figura 35.</i> Transformador toroidal. ....	60
<i>Figura 36.</i> Transformador de grano orientado. ....	60

Figura 37, transformador de núcleo de aire.....	61
Figura 38, transformador de núcleo envolvente.....	61
Figura 39, transformador piezoeléctrico. ....	62
<i>Figura 40.</i> Flujo de corriente en un transformador.....	63
<i>Figura 41.</i> Voltajes en un transformador.....	64
<i>Figura 42.</i> Fem inducida en el transformador.....	65
<i>Figura 43.</i> Relé de protección de temperatura del aceite.....	83
Figura 44, rele bucholz. ....	83
<i>Figura 45.</i> Relé de control de aceite.....	84
<i>Figura 46.</i> Esquema eléctrico de conexionado de alarmas y sensores de transformador de SSAA. ....	85
<i>Figura 47-A.</i> Conductor con fallas vista desde una cámara termográfica. ....	86
<i>Figura 47-B.</i> esquema eléctrico de conexionado a 120 VAC de ELC-PS02. ....	87
<i>Figura 48.</i> conexión antigua a la línea de 4160 VAC.....	87
<i>Figura 49.</i> Esquema eléctrico de conexionado de ELC-PS02 a la red principal de 4160 VAC	88
<i>Figura 50.</i> Conexión antigua de la línea de 4160 VAC .....	88
<i>Figura 51.</i> Diagrama del nuevo conexionado de 125 VDC.....	89
<i>Figura 52.</i> Diagrama de fuente de alimentación ELC-PS02.....	90
<i>Figura 53.</i> Fuente de alimentación ELC-PS02 EATON.....	90
<i>Figura 54.</i> Características de la fuente ELC-PS02 EATON .....	91
<i>Figura 55.</i> Esquema eléctrico de suministro de 125 VDC.....	91
<i>Figura 56.</i> Conexionado en regleta de alimentación SF4 .....	92
<i>Figura 57.</i> Conexión con terminales y/o conectores de tipo redondos.....	92
<i>Figura 58.</i> Terminales usados en el conexionado de cables a la fuente.....	93
<i>Figura 59.</i> Zoom de conexionado eléctrico con fuente EATON .....	93
Figura 60. Diagrama de bloques de la fuente PC EATON.....	94
<i>Figura 61.</i> HMI Visualización correcta del circuito del transformador sin alarmas.....	95
<i>Figura 62.</i> HMI Visualización correcta del circuito eléctrico sin fallas ni alarmas .....	95
<i>Figura 63.</i> HMI Visualización termografica correcta del circuito eléctrico sin fallas.....	96

## RESUMEN

El presente informe trata de la experiencia adquirida en Sociedad Minera Cerro Verde, más específicamente sobre la actividad desarrollada del cambio de alimentación de control al circuito de protección del transformador de servicios auxiliares.

Se describe los antecedentes del problema y las consecuencias que origina a la planta concentradora. Además de las posibles soluciones que se formularon y cuál es la que se eligió, y las razones por las que se optó.

Complementando a los antecedentes del problema, se citó la teoría que sustenta este cambio de alimentación a las protecciones del transformador de servicios auxiliares.

Por lo mencionado líneas arriba, el diseño y dimensionamiento del cambio de alimentación de control a circuito de protección de transformador debe estar bien detallado para su implementación.

Una vez aprobado el proyecto, se procedió a su ejecución; en el trabajo se muestra la evidencia fotográfica, que sustenta este trabajo.

En la última parte del trabajo de suficiencia, se enumeran los resultados y conclusiones esperados después de la implementación, después de haber realizado las pruebas respectivas de calidad y funcionamiento.

Este indicador nos asegurará que el suministro, montaje y puesta en servicio durante su ejecución se encuentre dentro de lo previsto contractualmente en presupuesto y cronograma.

**Palabra clave:** cableado eléctrico, normas de cableado eléctrico, protecciones internas.

## ABSTRACT

This report deals with the experience acquired in the Cerro Verde mining company, more specifically the activity carried out from the change of control power supply to the auxiliary services transformer protection circuit.

The background of the problem, the consequences it causes, to the concentrator plant is described. And the possible solutions that were formulated and which one was chosen, and the reasons why it was chosen.

Complementing the antecedents of the problem, the theory that supports this change of feeding to the protections of the auxiliary services transformer was cited.

As mentioned above, the design and sizing of the change from the control supply to the transformer protection circuit must be well detailed for its implementation.

Once the project was approved, it was executed, the work shows the photographic evidence, which supports this work,

In the last part of the sufficiency work, the expected results and conclusions after implementation are listed, it is clear after having performed the respective quality and performance tests.

This indicator will ensure that the supply, assembly and commissioning during its execution is within the contractually foreseen in the budget and schedule.

**Keyword:** electrical wiring, electrical wiring standards, internal protections.

## INTRODUCCIÓN

Para una adecuada presentación de este informe se ha creído conveniente dividir en cinco capítulos, esto con la finalidad de que sirva de material didáctico y de consulta para los estudiantes y profesionales interesados en el tema.

En el capítulo uno, se presenta los aspectos generales, una breve descripción de Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A. En el capítulo dos, se muestran aspectos generales de las actividades preprofesionales como identificación de oportunidades, se describen los objetivos a lograr en la actividad profesional tratada en el presente tema de experiencia profesional, sus alcances, los resultados esperados y otros.

En el capítulo tres, se expone sobre la parte teórica de la investigación, en ella tratamos las normas establecidas sobre cableado eléctrico, también sobre los insumos utilizados en el cableado eléctrico. Como la investigación trata sobre el cableado hacia un transformador, no podía faltar en este trabajo el mismo transformador, las partes que la constituyen, así como los tipos de transformador. Además, es imprescindible que se haya tocado también las protecciones internas del transformador, ya que el cableado hacia ella es la razón de haber hecho, la implementación.

El capítulo cuatro trata exclusivamente sobre la propia implementación llevada a cabo, en ella se describe paso a paso el proceso de ejecución del cableado eléctrico, se exponen los diagramas esquemáticos, así como evidencia fotográfica del cableado eléctrico.

En el capítulo IV, se describe, las actividades preprofesionales como: montaje y conexionado de tableros de distribución, montaje y conexionado de transformadores, cableado de media tensión entre otros. En el capítulo V, se presentan los resultados, donde se manifiestan los logros alcanzados y aporte del bachiller. Y posterior a este capítulo están las conclusiones del trabajo.

El autor

## CAPÍTULO I

### ASPECTOS GENERALES

#### 1.1. Datos Generales

Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A. es un complejo minero de cobre y molibdeno a tajo abierto ubicado en el distrito de Uchumayo, en la provincia de Arequipa (Perú), aproximadamente a 20 km al suroeste de la ciudad de Arequipa y a una altitud promedio de 2600 metros sobre el nivel del mar, es uno de los principales productores de cobre del país. Sus instalaciones incluyen dos plantas concentradoras y una planta de lixiviación SX/EW.

- Razón Social: Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A.
- RUC: 20170072465
- Página web: smcv@fmi.com
- Tipo de empresa: Sociedad anónima abierta
- Condición: Activo
- Fecha inicio actividades: 01 / junio / 1993
- Actividad comercial: Extracción de minerales metalíferos no ferrosos.
- CIUU: 13200
- Dirección legal: Ca. Jacinto Ibáñez nro. 315
- Urbanización: Parque industrial
- Distrito/ciudad: Arequipa
- Departamento: Arequipa, Perú
- Teléfonos: +51-54-381515.

## **1.2. Actividades Principales**

La unidad minera de Cerro Verde es una mina que opera a tajo abierto de donde se extraen principalmente molibdeno y cobre. El proceso productivo comienza con la exploración y explotación de sus yacimientos mineros, hasta la flotación y lixiviación, concentración, fundición y refinación del mineral para la venta. Esta empresa es uno de los principales productores de cobre del país.

El principal accionista de Cerro Verde es Freeport McMoran, el cual es el primer productor de molibdeno y uno de los principales productores de cobre en el mundo.

Cerro Verde tiene como principal metal de producción al cobre. Cabe resaltar que produce concentrados de cobre y molibdeno en menor escala. Su producción se divide principalmente en concentrados y cátodos de cobre a través de electrodeposición (planta EW).

## **1.3. Reseña Histórica**

### ***Antecedentes de Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A.***

Las operaciones de la mina Cerro Verde datan del siglo XIX. En esa época, los españoles extraían minerales de óxido de cobre de alta ley, los que posteriormente eran enviados a Gales.

Más tarde, en 1916, la empresa Anaconda se convirtió en propietaria de este yacimiento, que poseyó hasta 1970 cuando el Estado se hizo cargo de la mina. El Gobierno extrajo los minerales de óxido de Cerro Verde y construyó en 1972 una de las primeras plantas de procesamiento del cobre mediante el sistema de extracción por solventes y electrodeposición (SX/EW) del mundo.

En 1994, la compañía estadounidense Cyprus Amax compró la operación e invirtió un capital importante en la propiedad para aumentar y mejorar la productividad. Durante los ocho

años posteriores a la privatización la producción de cobre aumento en alrededor de 350 % y los costos se redujeron en más de 40 %.

Luego, Cerro Verde pasó a formar parte de la cartera de explotación minera de la Corporación Phelps Dodge en 1999, tras la compra de Cyprus Amax Minerals Company. En diciembre del 2006 entró en operación la Concentradora de Sulfuros Primarios, proyecto que demandó una inversión de US\$ 850 millones, con una capacidad de tratamiento de 108000 TMD de mineral. En 2007, Freeport-McMoRan adquiere la corporación Phelps Dodge.

Posteriormente en 2015, la compañía culminó un proyecto de expansión a gran escala, que incluía el aumento de la capacidad de la planta concentradora de 120000 t/d de mineral a 360000 t/d, consolidándose como la más grande del mundo a fines de ese año. Se espera que este proyecto que entró en operación en septiembre aumente la producción anual a cerca de 600 Milb de cobre y 15 Milb de molibdeno. A fines de 2015, Cerro Verde produjo 105.1 Milb de cobre en cátodos y 439.4 Milb cobre en concentrados, y 7.27 Milb de molibdeno.

La firma estadounidense Freeport-McMoran Inc. tiene una participación del 53.56 % en Cerro Verde, mientras que SMM Cerro Verde Netherlands N.V. (filial de Sumitomo Metal Mining Company Ltd) posee el 21 % de la operación. El porcentaje restante está en manos de la Compañía de Minas Buenaventura SAA. (19.58 %) y otros accionistas.



## 1.4. Organigrama de sociedad Minera Cerro Verde S.A.A.

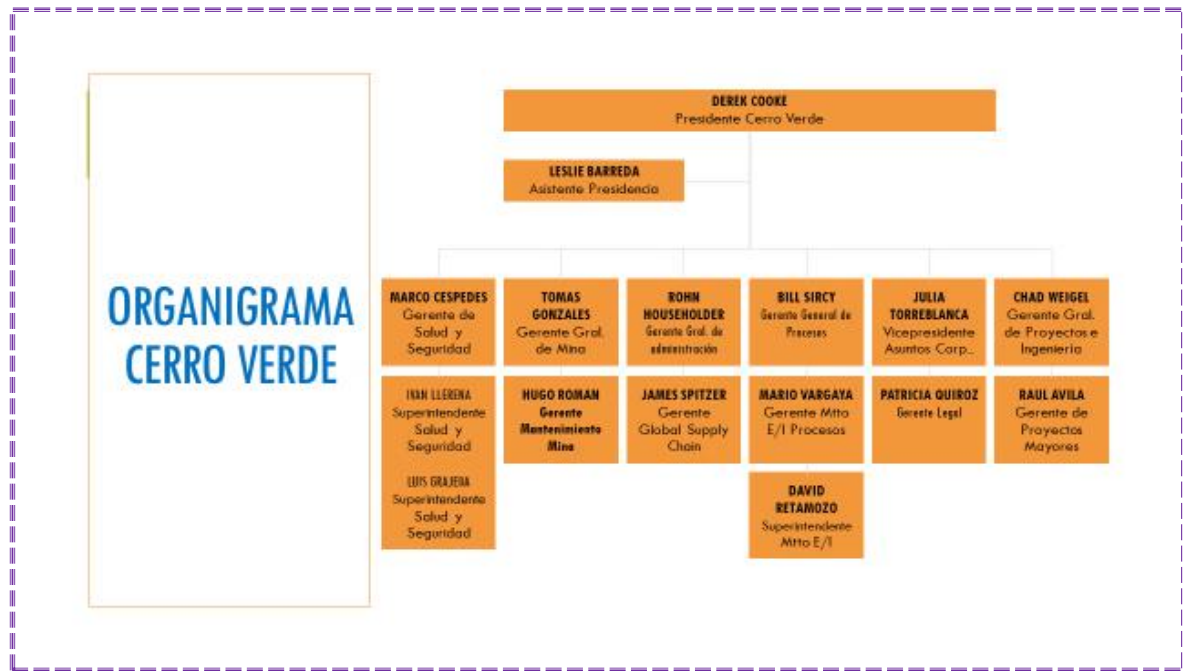


Figura 1. Organigrama de Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A.

## 1.5. Visión y Misión

*Visión.* Somos líderes de producción segura de cobre, haciendo de cada día nuestro mejor día.

*Misión.* Lograremos nuestra visión a través de lo siguiente:

### **Excelencia en seguridad y ambiente**

"Todos regresan a casa seguros todos los días".

- Haciendo que la producción segura importe.
- Previendo fatalidades. Eliminando eventos de alto riesgo.
- Fortaleciendo la conciencia ambiental.

## **Excelencia en las personas**

"Trabajando juntos para fortalecer nuestra cultura de alto rendimiento".

- Desarrollando a las personas.
- Involucrando y empoderando a nuestra gente.
- Fomentando un ambiente de colaboración.
- Eliminando los silos.
- Comunicándonos efectivamente.
- Orientándonos a la acción.
- Desarrollando el liderazgo.
- Tratando a las personas con respeto y dignidad.
- Fijando altas expectativas y siendo responsables por nuestros actos.
- Actuando éticamente y haciendo lo correcto siempre.

## **Excelencia operacional**

"Lograr mejores eficiencias operacionales cada día".

- Cumpliendo y superando nuestros objetivos.
- Mejorando continuamente.
- Implementando y adoptando rápidamente mejores prácticas.
- Optimizando el plan de mina y su ejecución.
- Gestionando el mantenimiento enfocado en la confiabilidad.
- Orientándonos a la Innovación y automatización.
- Orientándonos a la eficiencia.
- Eliminando burocracias y barreras.
- Enfocándonos en la gestión de riesgos.

## **Gestión de costos**

"Invirtiendo dinero sabiamente para maximizar el beneficio".

- Enfocándonos en crear y añadir valor para el negocio.
- Liderando eficientemente la minería de cobre de baja ley.
- Controlando costos.
- Haciendo una Implementación efectiva de capital.
- Involucrando a todos los trabajadores (Innova, CSI, Agile, etc.)

## **Responsabilidad social y con grupos de interés**

"Mantener aceptación para operar localmente".

- Operando de una manera ambiental y socialmente responsable.
- Respetando a todos los grupos de interés.
- Cumpliendo nuestros compromisos y acuerdos.
- Cooperando proactivamente con la comunidad.

### **1.6. Bases Legales o Documentos Administrativos**

- Reglamento de la Ley N.º 29783, Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo
- Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería, Decreto Supremo N.º 024-2016-EM.
- Reglamento de Protección y Gestión Ambiental para las Actividades de Explotación Decreto Supremo N.º 040-2014-EM.
- PETAR (permiso escrito para trabajos de alto riesgo)
- PETS (procedimiento escrito de trabajo seguro)
- IPERC (identificación de peligros evaluación de riesgos y control)
- ATS (análisis de trabajo seguro)

- OM (Orden de mantenimiento)
- CNE (Código nacional de electricidad)
- PETS Mantenimiento de motores eléctricos MT y BT.
- PETS Mantenimiento centro de control de motores MT y BT.
- PETS Mantenimiento de variadores de MT.
- PETS Mantenimiento Soft Starter Media Tensión.
- PETS Mantenimiento de variadores de bt.
- PETS prueba de relés de protección.
- PETS Mantenimiento de transformadores de BT y MT.
- PETS Mantenimiento compartimiento cicloconvertidor de molino de bolas.
- PETS Mantenimiento de Knife Switch de rotor y estator de molino de bolas.
- PETS Mantenimiento de anillos de motor molino de bolas.

#### **1.7. Descripción del Área donde Realizo mis Actividades Profesionales**

Se realizan las actividades para el área de mantenimiento eléctrico e instrumentación, en el área en la cual se laboró, y que se encargó de brindar el mayor soporte, disponibilidad y confiabilidad a los equipos e instrumentos de la planta concentradora. La cual consta de los siguientes procesos productivos.

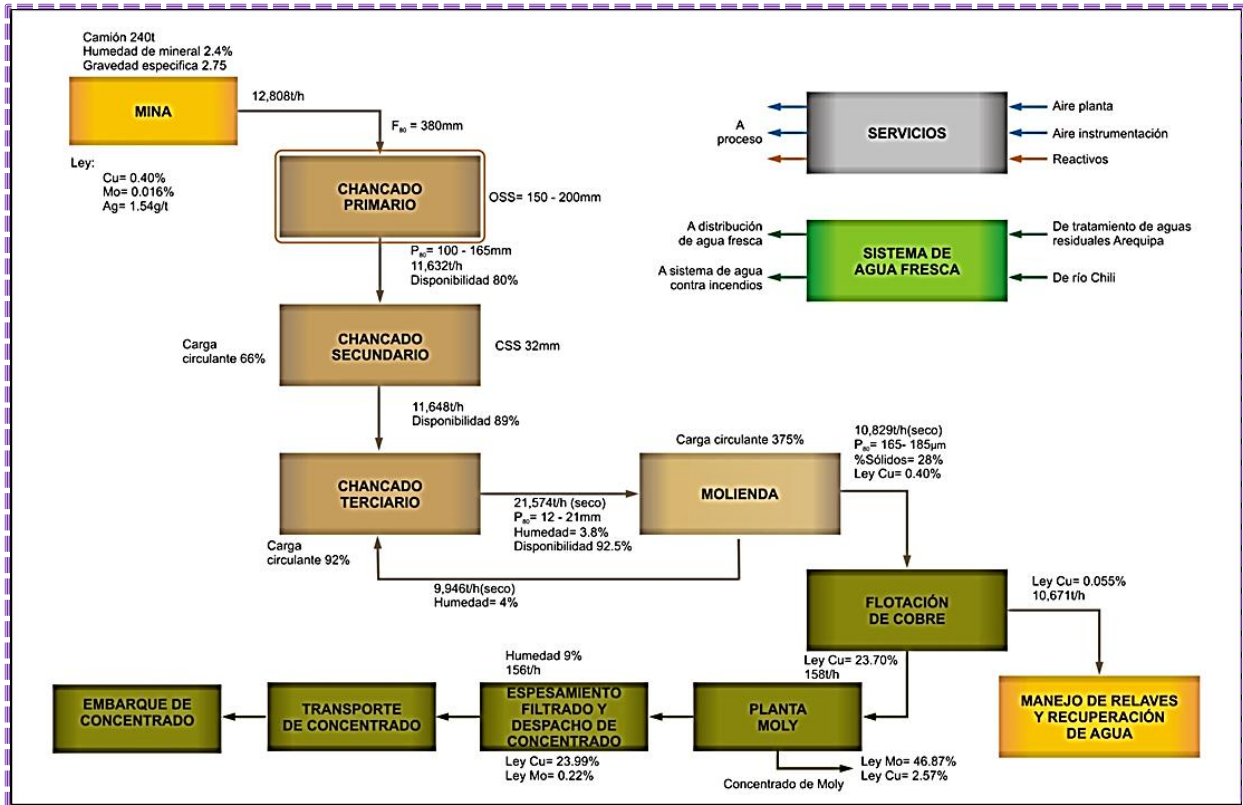


Figura 2. Diagrama de ubicación general

### Circuito chancado primario, secundario, terciario y manejo de mineral grueso

El propósito del chancado primario es reducir el tamaño del mineral proveniente de mina, a un tamaño que pueda ser fácilmente transportado y de manera uniforme por las fajas de transferencia y alimentar a las siguientes etapas de chancado secundario y chancado terciario. La planta de chancado primario tiene instaladas dos líneas de procesamiento, paralelas idénticas cada una capaz de procesar un promedio de 120000 t/d.

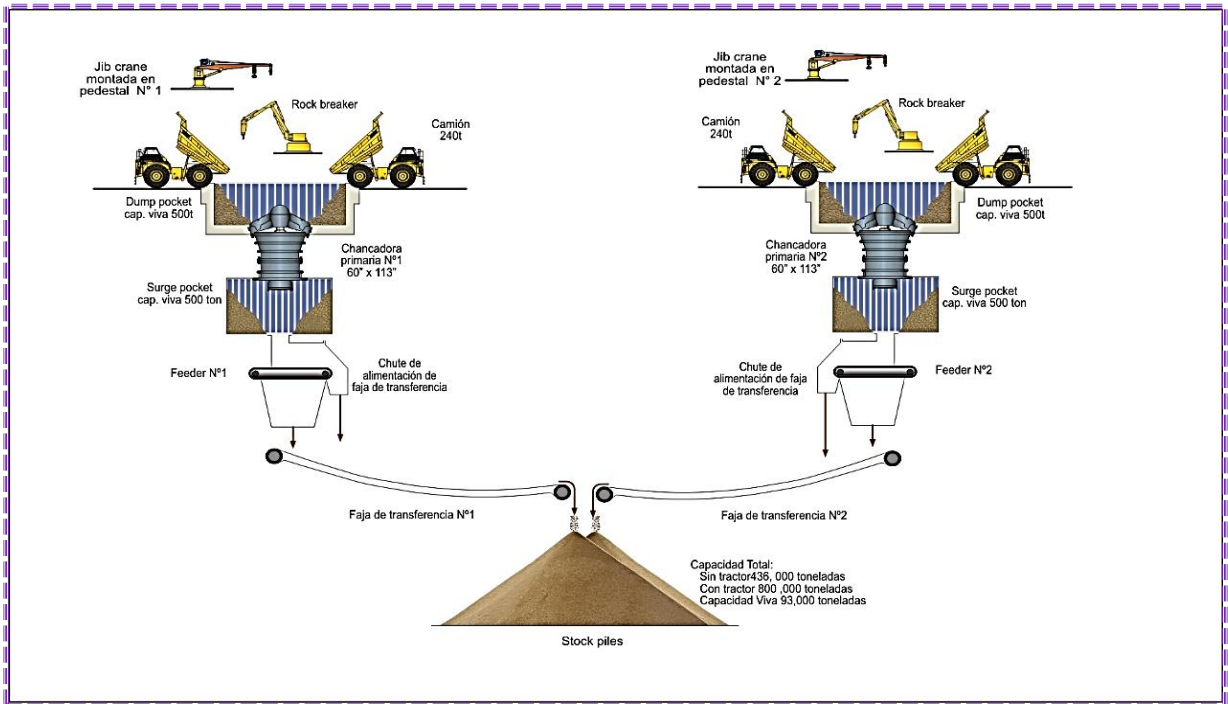


Figura 3. Circuito de chancado primario 1 y 2

## Molienda y clasificación

El circuito de molienda y clasificación está compuesto de una tolva de molinos, doce *feeders*, doce fajas alimentadoras, doce zarandas húmedas, seis baterías de ciclones primarios, seis molinos de bolas. La molienda de minerales es la última etapa en el proceso de reducción de tamaño, que permite la liberación de mineral valioso de la ganga, para obtener un producto  $P_{80}$  de 180  $\mu\text{m}$ , necesario para su separación en el circuito de flotación.

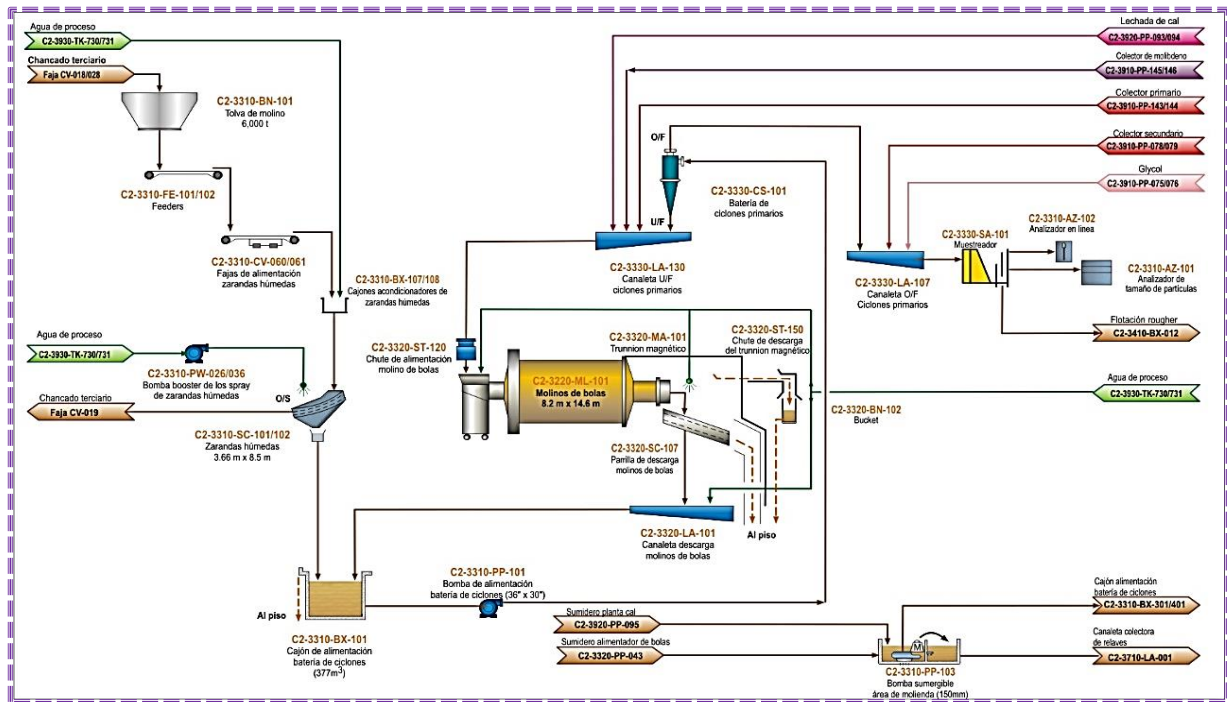


Figura 4. Diagrama general del circuito de molienda

## 1.8. Descripción del Cargo y de las Responsabilidades del Bachiller en la Empresa

En la actualidad me desempeño como electricista de planta concentradora para el área de mantenimiento eléctrico e instrumentación de la planta concentradora C2, realizo las funciones de coordinación de actividades, la ejecución de labores de mantenimiento preventivo, mantenimiento correctivo, mantenimiento predictivo, mantenimiento RCM basado en la confiabilidad y se mantiene los equipos eléctricos y equipos de instrumentación en óptimas condiciones, brindando la mayor disponibilidad y operatividad a nuestro cliente denominado operaciones.

Desarrollo las funciones de coordinación y ejecución de las actividades programadas para las paradas de planta que se realizan de manera total (*black-out*) dos veces al año, en estas paradas se incluyen el corte de energía eléctrica de toda la planta y la coordinación con el área eléctrica de potencia y transmisión para realizar las maniobras de apertura y cierre de los interruptores de potencia en 4160 vac, dentro de la cual se tiene que coordinar con días de

anticipación todos los recursos necesarios para suministrar la energía temporal a la planta y sistemas auxiliares por sectores, esto para que personal mecánico pueda realizar las labores programadas.

Se efectuó, controló, coordinó e informó el avance y la culminación de los trabajos de instalación, montaje, mantenimiento preventivo, correctivo y predictivo de los sistemas eléctricos e instrumentales dentro de la planta concentradora durante las paradas de planta programadas y *black-out*.

Asimismo, la labor se centró en mantener y dar soporte a todos los sistemas de distribución, control, mando y protección de los activos de la empresa, como motores, transformadores, variadores BT y MT, Arrancadores, MCC en baja y media tensión, GMD (Gearless Mill Drive), grúas y puentes grúas, utilizando técnicas avanzadas y *software* para la resolución de problemas, conservándolos e interviniéndolos de acuerdo a los planes programados de mantenimiento.

Asimismo, participé en la capacitación y verificación de la calidad del trabajo efectuado por los técnicos electricistas e instrumentistas del contratista, con el fin de garantizar la operatividad y continuidad de los equipos intervenidos, evitando imprevistos acordes a los procedimientos y especificaciones técnicas recomendadas, siendo participes de la mejora continua.

Además, tuve un alto compromiso con la seguridad de todos los trabajadores y el ambiente, realizando todos los trabajos de manera segura aplicando todos los procedimientos y estándares de seguridad; esto con el fin de reducir la probabilidad de accidentes dentro de la compañía.



## CAPÍTULO II

### ASPECTOS GENERALES DE LA ACTIVIDAD PROFESIONAL

#### 2.1. Diagnóstico Situacional

En el presente trabajo se cita a un problema recurrente en el sistema eléctrico de la planta concentradora de SMCV, por lo que podemos afirmar que en épocas anteriores (precedentes al 2018), ante una falla por rechazo de carga del sistema eléctrico interconectado, el electricista de turno tenía que dirigirse a cada sala eléctrica para resetear el relé de protección del transformador de SS. AA 4.16/0.48 KV que alimenta los distintos MCC de 480 vac y reponer los circuitos auxiliares.

De esta manera se reinició el proceso de arranque de la planta concentradora. Se señala que las salas eléctricas se encuentran distantes, por ejemplo, las salas de chancado, molienda, remolienda, planta moly, espesadores y las barcazas en relaves, etc.

La implementación del cableado de alimentación de energía de las protecciones internas del transformador de servicios auxiliares es tema central en este trabajo de suficiencia profesional, también es importante mencionar que en un trabajo anterior realizado (Iquise, 2019). “Variación del circuito de alimentación de las protecciones de control del transformador De 4160/480 VAC” se fundamentó el porqué de los cambios de suministro eléctricos a las protecciones internas del transformador de servicios auxiliares. Asimismo, en ese trabajo mencionado se sustentan las razones del porqué del cambio de suministro de energía a las protecciones internas del transformador.

Se revisó bibliografía sobre protección de transformadores y la importancia en el funcionamiento continuo del sistema de potencia, por lo que citaremos a Neuah (2014), el cual, en sus apuntes del curso de Protección de Transformadores de gran Potencia en Alta Tensión menciona que “los transformadores de servicios auxiliares constituyen el enlace entre los diferentes niveles de baja de tensión con líneas de alta tensión de un sistema de potencia y por

ello son los que deben ofrecer mayor seguridad en cuanto a la posibilidad de falla” (p. 1). Haciendo un resumen de las partes más importantes, queda en claro, que los transformadores para servicios auxiliares combinan los beneficios de un transformador de potencia con aplicaciones de un transformador de distribución y que son imprescindibles en los circuitos auxiliares (Neuah, 2014).

Además, es importante mencionar también que en la regla 153 de la sección 15 del Código Nacional de Electricidad (suministro) (2011) se menciona lo siguiente:

El cableado secundario de los transformadores, cercanos a circuitos primarios que exceden los 600 V, a excepción de los tramos cortos de cable de los bornes del transformador, deberán ser adecuadamente protegidos mediante conductos, cubiertas, o alguna otra protección. Cualquier cubierta metálica que se use deberá ser puesta a tierra de manera efectiva, dando consideración apropiada a las corrientes circulantes. Los transformadores de corriente deberán estar provistos para cortocircuitar el bobinado secundario (CNE, 2011, p. 72).

Por lo visto en el párrafo anterior podemos concluir, que las protecciones internas del transformador forman parte de las protecciones generales que tiene un transformador, por lo cual la eficacia de sus protecciones internas, depende mucho de la alimentación de energía eléctrica que estos deben tener, el cual debe ser permanente y de acuerdo a los estándares establecidos por las normas vigentes.

Por lo que la implementación del cableado interno de energía eléctrica al transformador de servicios auxiliares debe cumplir con los requisitos exigidos por el Código Nacional de Electricidad (2011). Por eso es imprescindible que la implementación del circuito de alimentación a las protecciones internas del transformador cumpla los estándares planteados por el Código Nacional de Electricidad (2011) y muy importante es que sea ininterrumpida.

## **2.2. Identificación de Oportunidad o Necesidad en el Área de Actividad Profesional**

Debido a la mejora continua de la empresa sociedad minera Cerro Verde, la cual promueve la mejora de los procesos productivos y permite que los trabajadores de las diversas áreas, puedan presentar ideas innovadoras que permitan la mejora y optimización de la producción de la minera, es que surgió la presente idea de solucionar el problema existente descrito en el problema situacional.

Haciendo una propuesta de programación: la acción de implementarla podría tener un costo de diseño de 16 horas hombre y en la parte de implementación del cableado tendría un costo de 40 horas hombre.

Además, el beneficio económico que se obtendrá será muy provechoso, ya que cada evento de falla genera una pérdida de \$144000 en la parte económica, (según la parte contable de la empresa). Es necesario recordar que la empresa en años anteriores ha tenido un promedio de falla de 5 a 6 veces por año.

En el área de mantenimiento eléctrico, de la cual fuimos parte activa, planteamos una solución sencilla, pero eficaz como una alternativa para remediar los eventos adversos. De manera rápida describiré cómo se encaró el problema. Inicialmente se empezó por analizar el circuito, para determinar por qué disparaba el interruptor cuando había falla en la alimentación AC, también se revisó la lógica del REF-630 y se pudo determinar la causa raíz del disparo sostenido del relé de protección.

El problema radicó en que las protecciones propias del transformador son alimentadas con una fuente distinta (Vac) a la que alimenta el relé (Vdc), esto por la capacidad de la fuente propia del relé. Por tanto, se pensó en un sistema de alimentación ininterrumpido (UPS) que pueda evitar este problema, pero se observó que era muy costoso tener que llevar un circuito de alimentación con su protección para cada relé desde el tablero JP, además de que se le quitaría

el sentido del diseño. También se pensó en comprar fuentes DC/DC 125-24, estas no son tan costosas, pero llegarían en tres meses en el mejor de los casos. Por ello, es que a raíz de experiencias en otros centros laborales se decide analizar la misma fuente ac/dc que está instalada ELC-PS02 de EATON.

Analizamos su data sheet y observamos que es para alimentarla con 120 Vac, por el tamaño y peso parecía que era una fuente switching, al abrirla para analizar sus componentes internos confirmamos la sospecha, la fuente también podía ser alimentada con 125 Vdc.

### **2.3. Objetivos de la Actividad Profesional**

#### **2.3.1. Objetivo general**

Desarrollar las actividades de ingeniería, productividad de la planta y producción eficiente en la mejora de coordinación y ejecución de los trabajos encomendados, siendo el responsable por el logro de los objetivos previstos.

- Aplicar un plan de mantenimiento preventivo a la planta, a fin de identificar el tiempo medio entre fallas (MTBF) y tiempo medio para reparar (MTTF) los equipos con mayor frecuencia de fallas, con la finalidad de prever acciones necesarias, buscando garantizar la operatividad de los mismos.
- Coordinar todas las etapas de un sistema eléctrico. Es decir, estudiar las posibles modificaciones desde un punto de vista económico, social y de operación óptima.
- Controlar los equipos de generación y utilización de energía. Por ejemplo, las grandes máquinas generadoras y los transformadores de potencia.
- Revisar el diseño, construcción y mantenimiento de redes de distribución.
- Proyectar y dirigir la instalación, el funcionamiento, la conservación y la reparación de sistemas eléctricos, motores y equipos.
- Realizar el análisis, el diseño, la simulación y el control de sistemas eléctricos con la asistencia de ordenadores.

### **2.3.2. Objetivo específico**

- El presente proyecto se basa en el desarrollo de un plan de mantenimiento preventivo aplicado para el cambio de alimentación de control a circuito de protección de transformador, así como también en los fenómenos electromagnéticos que mediante el efecto joule debilitan el aislamiento del conductor y poder obtener una confiabilidad adecuada del servicio eléctrico.
- La aplicación de este plan de mantenimiento ayudará a conservar las máquinas y los equipos de la línea productiva, a operar con el propósito de cumplir con la función para la cual fueron proyectados con la capacidad y la calidad especificadas, pudiendo ser utilizados en condiciones de seguridad y economía de acuerdo a un nivel de ocupación y a un programa de uso definidos por los requerimientos de producción.
- Reducirá el tiempo de paradas inesperadas de las máquinas y equipos propios del proceso productivo, evitando pérdidas económicas

### **2.4. Justificación de la Actividad Profesional**

Este trabajo busca hacer posible la confiabilidad y calidad del servicio eléctrico, que está fuertemente relacionado con las inversiones y la práctica de comercialización de energía eléctrica de las empresas privadas y concesionarias, ya que estas están obligadas a ofrecer su producto y servicios a unos niveles óptimos.

Esto se logrará diseñando y aplicando pruebas a materiales y equipos eléctricos, administrando los recursos humanos y materiales en los procesos de fabricación y producción en la industria.

El trabajo requiere de lo siguiente:

- Conocimiento y dominio de los principios, conceptos y metodologías de las ciencias física y matemática, que permitan comprender la tecnología de la electricidad y su

desarrollo futuro, así como obtener la capacidad de utilizarlos en el análisis y resolución de problemas inherentes a su profesión.

- Habilidad para planificar, formular, evaluar y ejecutar proyectos de uso de la energía eléctrica, tales como instalaciones eléctricas de tipo residencial, comercial, industrial y alumbrado eléctrico, adaptándose a las condiciones socioeconómicas de nuestro país.
- Capacidad técnica y científica para realizar, dirigir, coordinar y participar en actividades de investigación en las áreas donde la electricidad sea necesaria.
- Habilidad de dirección, coordinación de grupos de trabajo interdisciplinarios en el desarrollo de proyectos diversos, en cuanto a la generación, transmisión, distribución y uso de la energía eléctrica.
- Conocimientos y comprensión de la ética profesional, y compromiso con el rendimiento de cuentas de costos y beneficios de proyectos bajo su responsabilidad.

## **2.5. Resultados esperados**

- Inicialmente se implementó el cambio del circuito en un equipo, debido a que este problema se podía volver a presentar.
- Se demostró en una parada de planta que el circuito que inicialmente se implementó realmente funciona y se continuó realizando el cambio de circuitos en todos los equipos de la planta.
- Este trabajo solo se pudo realizar en las paradas de planta programadas por el área de mantenimiento.
- Tiempo de implementación en todos los circuitos: dos meses (solo paradas de planta)
- Se aseguró y mantuvo el desarrollo de las actividades de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos; así como la existencia de condiciones de seguridad adecuadas en el área de trabajo para la realización normal y sin contratiempos de los

trabajos, que contribuirá a garantizar la seguridad propia, del grupo y del equipo de trabajo.

- Se contribuyó para asegurar se cumpla con las especificaciones técnicas establecidas y la calidad de los trabajos de instalaciones, montaje y mantenimiento eléctrico efectuados en el área.
- Se desarrolló el mejoramiento continuo del personal técnico del área, para el desarrollo óptimo de los trabajos y cumplimiento de los procedimientos y técnicas de trabajo del área.
- Se dispuso de manera eficiente los (equipos, maquinaria, componentes y afines) necesarios para el desarrollo de los trabajos encomendados (instalaciones, montaje, mantenimiento y reparaciones eléctricas).
- Se verificó y aseguró el estado óptimo de las instalaciones, del equipo y maquinaria en la realización de los trabajos de manera eficiente y segura.
- Se están aplicando adecuadamente las correcciones correspondientes cumpliendo los estándares establecidos por la compañía.

## CAPÍTULO III

### MARCO TEÓRICO

#### 3.1. Bases Teóricas de las Metodologías o Actividades Realizadas

##### 3.1.1. Metodología y/o Procedimiento de Trabajo

###### 3.1.1.1. *Mantenimiento de transformadores de baja tensión y media tensión*

- a. Para el mantenimiento de transformadores se procederá a coordinar con personal del área afectada para la intervención y bloqueo del transformador.
- b. Mediante el procedimiento general de bloqueo, se aísla la alimentación principal del transformador (480VAC), luego se prepara la caja de bloqueo grupal y todo el personal que intervenga en las tareas deberá colocar sus candados personales en la caja de bloqueo grupal.
- c. Una vez bloqueado, se deberá medir con el revelador de tensión la existencia de voltaje cero en los cables alimentadores, de acuerdo al procedimiento SSOst0030 trabajos en circuitos desenergizados.
- d. Luego, realizaremos una inspección externa del transformador, ingreso de cables, estado y ajuste de *bushing*, placa del transformador, tag, señalización de riesgo eléctrico, nivel de voltaje; de encontrar alguna observación levantar en el momento, de no ser posible informar al supervisor para su programación posterior.
- e. Si observamos que el grado de impregnación de suciedad de la parte externa del transformador es alto, se utilizará soplador eléctrico, escobillones, brochas, espátulas y trapo industrial con el cual se removerá las incrustaciones de suciedad.
- f. Revisamos las bisagras y seguros de las puertas de los encerramientos del transformador en caso cuente con ellas.



- g. Posteriormente, retiraremos las tapas del transformador para acceder a los bornes internos y devanados del transformador.
- h. A continuación, realizaremos una limpieza interna, búsqueda polvo y suciedad acumulada en los terminales y respiraderos. Si la parte externa del transformador tiene acumulado grasa o aceite, con el uso de trapo industrial y limpia contactos remover toda la acumulación de grasa o aceite, leer el FDS del solvente y contemplar a todo el personal involucrado en la tarea.
- i. Inmediatamente, realizaremos una inspección visual de las borneras, aisladores, sobrecalentamiento de bobinados, decoloración del aislamiento, estado de etiquetado (tag) de cables, estado de terminales, de encontrar alguna observación, informaremos al supervisor para realizar la reparación inmediata o programarla de acuerdo a condición.
- j. Seguidamente, realizaremos el ajuste de terminales, bornes, y de encontrar terminaciones dañadas (con filamentos quebrados), se realizará el cambio de nuevo terminal.
- k. Con un multímetro, mediremos la resistencia de los devanados primario y secundario, para ello también se debe aislar circuito aguas abajo.
- l. Con el megóhmetro realizaremos pruebas de aislamiento, para ello se debe aislar circuito aguas abajo.
- m. Nos aseguramos que el megóhmetro a utilizar en la tarea cuente con su certificado de calibración vigente, retirar al personal en el momento de la prueba.
- n. Revisaremos el interruptor de alimentación principal del transformador, verificando que no exista algún daño en los cables y/o recalentamiento.
- o. Cerraremos las tapas del transformador, y verificaremos que las vísceras para lluvia del transformador (instalados al exterior) se encuentren en buenas condiciones

- p. Una vez culminada la inspección y limpieza del transformador, el personal involucrado retirará sus candados de la caja grupal, y repondrá energía al transformador.
- q. Se revisaremos la alimentación de las cargas y el buen funcionamiento del transformador (ruidos, temperatura).
- r. Si fuera necesario el cambio del transformador de baja tensión, el técnico electricista encargado debe realizar lo siguiente:
  - Avisaremos al supervisor de mantenimiento E/I para proceder con el cambio del transformador respectivo.
  - Avisará al personal del área afectada que se procederá con el cambio del transformador.
  - Asegurara que el interruptor de alta y baja del transformador se encuentren bloqueados.
  - Se desconectará el transformador, retirando los pernos de las barras o empalmes.
  - Se retirará el transformador e instalar el nuevo transformador.
  - Se realizará la conexión del transformador, y ajuste los pernos en las barras o empalmes.
  - Se realizará la limpieza y orden del área de trabajo, retiro de demarcación, material y herramientas, así como, desechos generados.
  - Se entregará el equipo operativo al personal/área afectada.

### **3.1.2. Prueba de relés de protección eléctrica**

Estas pruebas se realizarán desde la coordinación con operaciones del equipo a intervenir, se inicia con la inspección, limpieza del relé y se concluye con la medición de parámetros de eléctricos.

- a. Se debe conocer, instruir, respetar y hacer respetar a su personal a cargo las condiciones establecidas en este procedimiento a realizar y verificar su cumplimiento en todo momento.
- b. Coordinaremos con las áreas afectadas y con los supervisores de turno la intervención y maniobras necesarias para la tarea.
- c. Proveremos al personal con el EPP adecuado que es requerido para realizar esta actividad.
- d. Se proveerá de las herramientas, repuestos y materiales necesarios al personal para la correcta ejecución del mantenimiento y /o cambio de los instrumentos si fuera necesario.
- e. Asegurarse que el personal que intervenga estos equipos esté calificado para intervenirlos.
- f. Mantener al alcance de su personal manuales de operación y mantenimiento de los equipos, para que éstos puedan ser consultados cada vez que se realicen intervenciones; así como los FDS de los productos químicos utilizados.
- g. Evaluar y analizar las condiciones de seguridad de su personal antes de la intervención.

### **3.1.3. Centros de transformación**

Son las subestaciones que vuelven a reducir el valor de tensión para hacerlo apto para el consumo en baja tensión.

### **3.1.4. Redes de distribución de baja tensión**

Son las líneas que unen los centros de transformación con la acometida del consumidor de baja

### 3.1.5. Conductores

Un conductor eléctrico es un material que ofrece poca resistencia al movimiento de la carga eléctrica. Sus átomos se caracterizan por tener pocos electrones en su capa de valencia, por lo que no se necesita mucha energía para que estos salten de un átomo a otro (Giordano, 2018).

El mercado destinado a la fabricación de conductores eléctricos ofrece una gran variedad de estos, sus cualidades específicas difieren tanto en la característica de los materiales empleados como en los aislamientos, construcción y protección del propio conductor.

#### 3.1.5.1. *¿Qué es un cable eléctrico?*

Un cable eléctrico es un elemento fabricado y pensado para conducir electricidad. El material principal con el que están fabricados es con cobre (por su alto grado de conductividad), aunque también se utiliza el aluminio que, aunque su grado de conductividad es menor también resulta más económico que el cobre.

#### 3.1.5.2. *Partes de un cable eléctrico*

“Los cables eléctricos están compuestos por el conductor, el aislamiento, una capa de relleno y una cubierta” (Masvoltaje, 2019, p. 1).

“Cada uno de estos elementos que componen un cable eléctrico cumplen con un propósito que vamos a conocer a continuación” (Masvoltaje, 2019, p. 1):

*Conductor eléctrico.* “Es la parte del cable que transporta la electricidad y puede estar constituido por uno o más hilos de cobre o aluminio” (Masvoltaje, 2019, p. 1).

*Aislamiento.* “Este componente es la parte que recubre el conductor, se encarga de que la corriente eléctrica no se escape del cable y sea transportada de principio a fin por el conductor” (Masvoltaje, 2019, p. 1)

*Capa de relleno.* “La capa de relleno se encuentra entre el aislamiento y el conductor, se encarga de que el cable conserve un aspecto circular, ya que en muchas ocasiones los conductores no son redondos o tienen más de un hilo. Con la capa de relleno se logra un aspecto redondo y homogéneo” (Masvoltaje, 2019, p. 1)

*Cubierta.* “La cubierta es el material que protege al cable de la intemperie y elementos externos” (Masvoltaje, 2019, p. 1).

### 3.1.5.3. Tipos de conductores

#### a) Conductor de alambre sólido

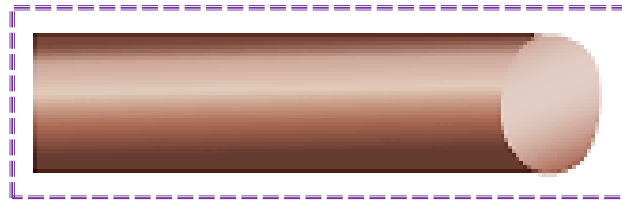


Figura 5. Conductor de alambre sólido. Tomado de alibaba.com

“Es un solo alambre en estado sólido, no es flexible y no tiene recubrimiento, un ejemplo de uso este tipo de conductores es la utilización para la conexión a tierra en conjunto con las picas de tierra” (Masvoltaje, 2019, p. 1).

#### b) Conductor de alambre aislado

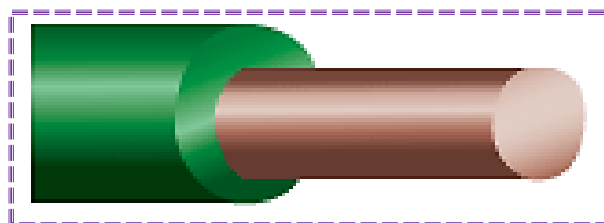


Figura 6. Conductor de alambre aislado. Tomado de alibaba.com

Es exactamente lo mismo que el conductor de alambre desnudo con tan solo una diferencia, en este caso el conductor va recubierto de una capa de aislante de material plástico para que el conductor no entre en contacto con ningún otro elemento como otros conductores, personas u objetos metálicos. El alambre aislado se utiliza mucho más que el cobre desnudo tanto en viviendas como oficinas (Masvoltaje, 2019, p. 1).

c) *Conductor de cable flexible*

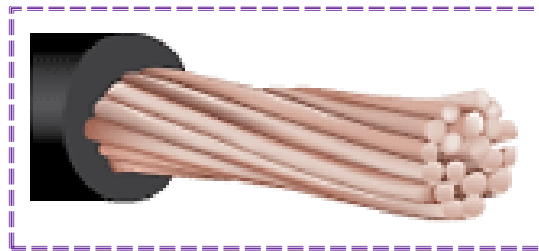


Figura 7. Conductor flexible de varios hilos. Tomado de alibaba.com

El cable eléctrico flexible es el más comercializado y el más aplicado, está compuesto por multitud de finos alambres recubiertos por materia plástica. Son tan flexibles porque al ser muchos alambres finos en vez de un alambre conductor gordo se consigue que se puedan doblar con facilidad, son muy maleables (Masvoltaje, 2019, p. 1).

d) *Conductor de cordón*

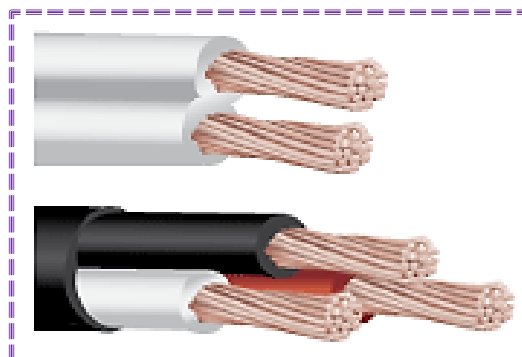


Figura 8. Conductor de cordón. Tomado de alibaba.com

Están formados por más de un cable o alambre, se juntan todos y se envuelven de manera conjunta por segunda vez, es decir, tienen el propio aislamiento de cada conductor más uno que los reúne a todos en un conjunto único (Masvoltage, 2019, p. 1)

#### 3.1.5.4. *Tipos de aislamiento de cables eléctricos*

Recordamos que casi todos los cables tienen una capa de recubrimiento o aislamiento para prevenir que entren en contacto unos con otros y provoquen un cortocircuito.

Se puede identificar el tipo de aislamiento que tiene un cable en las inscripciones que aparecen sobre él con las abreviaciones del inglés. Los cables que se utilizan para instalaciones en viviendas y oficinas son los siguientes: THN, THW, THHW y THWN. El significado de estas abreviaturas es el siguiente:

- 1 - T (Thermoplastic): Aislamiento termoplástico (este lo tienen todos los cables).
- 2 - H (Heat resistant): Resistente al calor hasta 75° centígrados (167° F).
- 3 - HH (Heat resistant): Resistente al calor hasta 90° centígrados (194° F).
- 4 - W (Water resistant): Resistente al agua y a la humedad.
- 5 - LS (Low smoke): Este cable tiene baja emisión de humos y bajo contenido de gases contaminantes.
- 6 - SPT (Service parallel thermoplastic): Esta nomenclatura se usa para identificar un cordón que se compone de dos cables flexibles y paralelos con aislamiento de plástico y que están unidos entre sí. También se denomina cordón dúplex.

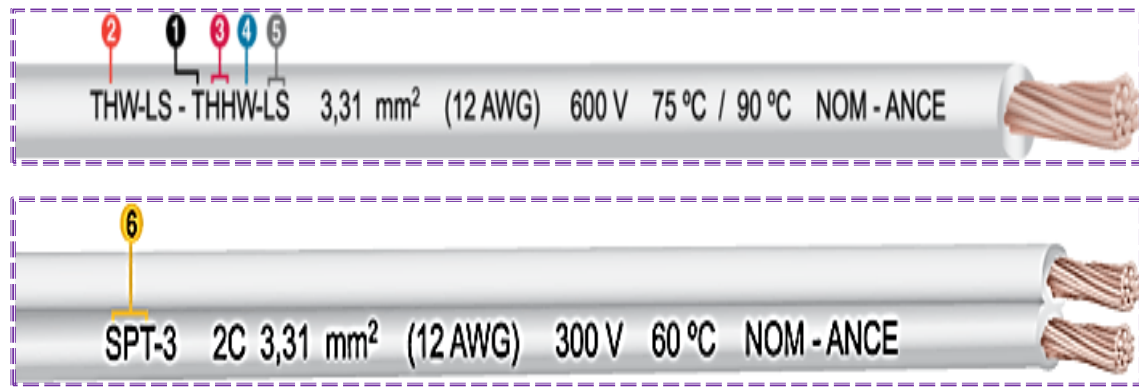


Figura 9. Códigos de letras de alambres conductores. Tomado de indeco

### Composición del aislamiento de los cables

En los aislamientos de los cables eléctricos encontramos dos tipos de aislantes: los aislamientos termoplásticos y los aislamientos termoestables.

#### a. Aislamiento termoplástico

- PVC: Policloruro de vinilo
- PE: Polietileno
- PCP: Policloropreno, neopreno o plástico

#### b. Aislamiento termoestable

- XLPE: Polietileno reticulado
- EPR: Etileno-propileno
- MICC: Cobre revestido, mineral aislado

#### 3.1.5.5. Tensiones de los cables eléctricos

Dependiendo de la tensión para la que están preparados para funcionar los cables, se categorizan en grupos de tensiones que van por rangos de voltios.

- Cables de baja tensión (Hasta 1000 V)



- Cables de media tensión (Hasta 30 KV)
- Cables de alta tensión (Hasta 220 KV)
- Cables de muy alta tensión (Por encima de los 220 KV)

### 3.1.5.6. Medidas de los cables eléctricos

Las medidas de los cables y alambres eléctricos se suelen categorizar en calibres si se trata del sistema AWG (American Wire Gauge), sin embargo, es más común conocerlos dependiendo del diámetro del cable en el sistema métrico decimal y categorizarlos en milímetros cuadrados dependiendo del diámetro de la sección. La siguiente tabla también es muy útil para saber las equivalencias de calibre en milímetros.

FOTO	CALIBRE / AWG	SECCIÓN EN MM2	CONSUMO DE CORRIENTE	EJEMPLOS
	4	25mm <sup>2</sup>	Muy alto	Aires acondicionados centrales, equipos industriales (se requiere instalación especial de 240 volts).
	6	16mm <sup>2</sup>	Alto	Aires acondicionados, estufas eléctricas y acometidas de energía eléctrica.
	8	10mm <sup>2</sup>	Medio - alto	Secadoras de ropa, refrigeradores, aires acondicionados de ventana.
	10	6mm <sup>2</sup>	Medio	Hornos de microondas, licuadoras, contactos de casas y oficinas, extensiones de uso rudo.
	12	4mm <sup>2</sup>	Medio - bajo	Cableado de iluminación, contactos de casas, extensiones reforzadas.
	14	2.5mm <sup>2</sup>	Bajo	Extensiones de bajo consumo, lámparas.
	16	1.5mm <sup>2</sup>	Muy bajo	Productos electrónicos como termostatos, timbres o sistemas de seguridad.

Figura 10. Calibre de conductores según AWG. Tomado de Indeco

### 3.1.5.7. Colores y significado de los cables eléctricos

“Los cables eléctricos tienen un aislamiento de alguno de los siguientes colores normalmente: Azul, bicolor (verde y amarillo), marrón, gris o negro” (Masvoltaje, 2019, p. 1).

a) Cable verde y amarillo

“Es el cable de toma a tierra. Antiguamente se utilizaba cables de color gris o blanco, pero, para evitar confusiones, se comenzó a utilizar este cable bicolor, más llamativo” (Masvoltaje, 2019, p. 1).

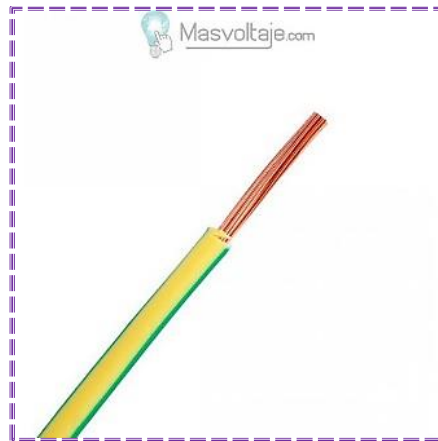


Figura 11. Cable con aislante de colores. Tomado de masvoltaje.com

b) Cable azul

“Es el cable neutro. Hasta 1970 se utilizaba el cable de color rojo, se recomienda revisar los cables de este color antes de utilizarlo” (Masvoltaje, 2019, p. 1).

c) Cable marrón

“Es el cable de fase, aunque también puede ser negro o gris, según la estética del aparato que lo luzca. Anteriormente se utilizaba el color verde” (Masvoltaje, 2019, p. 1).

d) Cable negro

“Es un cable de fase, también y está visible en la gran mayoría de las instalaciones y cables. Al igual que el blanco, puede responder a motivos estéticos” (Masvoltaje, 2019, p. 1).

e) Cable blanco

“Los cables blancos son los cables neutrales. Éstos también son tomas de tierra, pero sólo se conectan al transformador para así llevar la energía de vuelta” (Masvoltaje, 2019, p. 1)

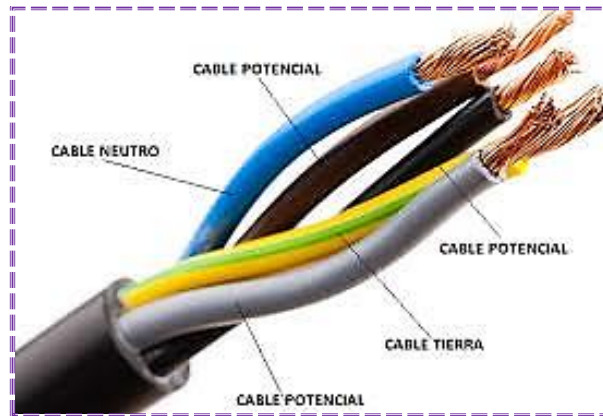


Figura 12. Cable multifilar con aislante de colores. Tomado de masvoltaje.com

f) Cables de colores con rayas

“Los cables de colores con una raya (también llamada "guía" son cables tan neutrales como los blancos. Estos tipos de cables se usan para identificar cuál cable neutro va con cuál cable de color” (Masvoltaje, 2019, p. 1).

g) Cables de colores

“Todos los cables de colores (excepto aquellos que tienen una raya) son cables de corriente (o de carga). El de uso más común es el rojo. Cuando hay muchos cables, es más fácil identificar dónde va cada cable si usas los de colores” (Masvoltaje, 2019, p. 1).

### 3.1.5.8. Capacidad de corriente

Es la capacidad de intensidad de corriente que pueden conducir los cables eléctricos.

Al momento de seleccionar los cables se deberá tener en consideración algunas consideraciones como son las siguientes:

- Lugar de instalación.
- Temperatura ambiente.
- Tipo de canaleta a usar.

Estas consideraciones son necesarias para la correcta selección de los cables y mantener la confiabilidad del sistema en con condiciones normales y condiciones de falla.

Tabla 1

*Calibre de los conductores AWG*

AWG	Sección [mm <sup>2</sup> ]	TW, TWF	THW, THHW, THHW, XHHW	THWN-2, XHHW-2
		Temperatura		
		60 °C	75 °C	90 °C
16	1,31	-	-	24
14	2,08	25	30	35
12	3,31	30	25	40
10	5,26	40	50	55
8	8,37	60	70	80
6	13,30	80	95	105
4	21,15	105	125	140

*Nota:* Tomado de indeco

### 3.1.6. Cableado externo para equipos en gabinete o rack

El cableado externo para equipos ubicados en gabinetes o racks, ya sean señales de corrientes de fuerza o de señales de instrumentación, está definido por los estándares definidos por el Código Nacional de Electricidad (2011) en sus versiones Código Nacional Suministro y Utilización (2011).

Entre los factores adecuados están la selección adecuada de los componentes para el cableado externo, ver los esquemas de control o de fuerza, la instalación del sistema de control, y, por último, pero no menos importante, la instalación eléctrica adecuada y la conectividad de

los dispositivos de campo de la instrumentación. Este último factor, que está en todo el sistema de cableado externo hacia los equipos en mención, implica el cableado, conexión a tierra, colocación de los cables, y la mitigación de las influencias externas como el ruido y las interferencias.

El cableado externo está regido también por normas externas que son aplicadas en la industria, tales como: NFPA 70, IEEE-518, API RP 552, PIP ACEL 001, recomendadas para tratar con el cableado de instrumentación de procesos y la salud e integridad de la instrumentación bucles espejos.

### **3.1.7. Canalizaciones para los cables**

Las canalizaciones en las industrias se hacen a través de tuberías, debido a que los cables están expuestos a la polución, gases y ruido. Es por estas razones que se usa en forma idónea la ductería conduit, que es un tipo de ductería metálica adecuada para las industrias, veamos qué tipo de ductería conduit existe en la actualidad:

#### *3.1.7.1. Electrical Metallic Tubing: Type EMT*

Tubos metálicos eléctricos de pared delgada sin rosca de sección transversal circular diseñada para protección física y enrutamiento de conductores y. EMT generalmente está hecho de acero (ferroso) con recubrimientos protectores o aluminio (no ferroso) (National Fire Protection Association, 2008, p. 207).

Estas tuberías se instalan adosadas a las paredes o dentro de falsos techos.

Estas tuberías se pueden instalar en los siguientes lugares (National Fire Protection Association, 2008, p. 207):

- En interiores y exteriores.
- Protección contra corrosión.

- Lugares húmedos.

Estas tuberías no se deberán instalar en las siguientes condiciones (National Fire Protection Association, 2008, p. 207):

- Expuestas a daño físico severo.
- Lugares extremadamente corrosivos.
- En concreto donde este sujeto a humedad permanente.
- En cualquier ubicación peligrosa excepto como lo permitan otros artículos en este código.
- Utilizarlos como soportes.
- Evitar contacto de distintos metales en el sistema.



Figura 13. Tubo conduit tipo EMT. Tomado de promart.pe

### 3.1.7.2. Rigid Metal Conduit: Type RMC

La tubería roscada de sección transversal circular está diseñada para la protección física y el enrutamiento de conductores y cables, para su uso como un conductor de tierra para equipos cuando se instala con su acoplamiento integral o asociado y accesorios apropiados. RMC generalmente está hecho de acero (ferroso) con revestimientos protectores o aluminio (no ferroso). “Los tipos de uso especial son latón rojo y acero inoxidable” (National Fire Protection

Association, 2008, p. 192). Estas tuberías están hechas para condiciones de trabajos más severos.

Estas tuberías se pueden instalar en los siguientes lugares (National Fire Protection Association, 2008, p. 193):

- En interiores y exteriores.
- Protección contra corrosión.
- Lugares húmedos.

Estas tuberías no se deberán instalar en las siguientes condiciones (National Fire Protection Association, 2008, p. 195):

- Expuestas a daño físico severo.
- Lugares extremadamente corrosivos.
- Enterradas en concreto.



Figura 14. Tubo conduit tipo RMC. Tomado de promart.pe

### 3.1.7.3. Flexible Metal Conduit: Type FMC

La tubería de sección transversal circular hecha de hélice enrollada, formada, enclavada tira de metal (National Fire Protection Association, 2008, p. 194). Estas tuberías son usadas para realizar las acometidas a instrumentos, tableros y equipos eléctricos en general.

Estas tuberías se pueden instalar en los siguientes lugares (National Fire Protection Association, 2008, p. 194): en interiores y exteriores.



*Figura 15.* Tubo conduit tipo FMC. Tomado de promart.pe



Tabla 2

Máxima intensidad de corriente por ducterías

Sección nominal del conductor [mm <sup>2</sup> ]	Cables multipolares				Cables unipolares			
	Método de instalación de acuerdo a la NTP 370.301 (IEC 60364-5-523)							
	Dos conductores de carga		Tres conductores de carga		Dos conductores de carga al contacto		Tres conductores de carga en triángulo	
	Método E		Método E		Método F		Método F	
Aislamiento	PVC	XLPE o EPR	PVC	XLPE o EPR	PVC	XLPE o EPR	PVC	XLPE o EPR
Temperatura	70 °C	90 °C	70 °C	90 °C	70 °C	90 °C	70 °C	90 °C
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1,5	22	26	18,5	23	-	-	-	-
2,5	30	36	25	32	-	-	-	-
4	40	49	34	42	-	-	-	-
6	51	63	43	54	-	-	-	-
10	70	86	60	75	-	-	-	-
16	94	115	80	100	-	-	-	-
25	119	149	101	127	131	161	110	135
35	148	185	126	158	162	200	137	169
50	180	225	153	192	196	242	167	207
70	232	289	196	246	251	310	216	268
95	282	352	238	298	304	377	264	328
120	328	410	276	346	352	437	308	383
150	379	473	319	399	406	504	356	444
185	434	542	364	456	463	575	409	510
240	514	641	430	538	546	679	485	607
300	593	741	497	621	629	783	561	703
400	-	-	-	-	754	940	656	823
500	-	-	-	-	868	1083	749	946
630	-	-	-	-	1005	1254	855	1088

Nota: Tomado de Código Nacional de Electricidad, 2011

### 3.1.7.4. Bandejas portables



Figura 16. Bandeja portables tipo escalera. Tomado de rycltel.com

Los cables de poder y de instrumentación también pueden ser instalados y usarse este tipo de conductos. El objetivo de esta bandeja es proteger a los mencionados cables de la polución, polvo, corrosión y otro de factores que puedan dañar el medio de transmisión de los cables de poder, los cables de red de telefonía y datos, así como los cables de instrumentación.

Las bandejas portacables son usadas para soportar canalizaciones determinadas con conductores certificados y rotulados para el uso en bandejas, las bandejas portacables deberán cumplir los requisitos de Instalación establecidos en la IEC 60364-5-52; la IEC 61537, normas NEMA VE1 y NEMA VE2.

En estas bandejas se permitirá el uso de un conductor sencillo menor AWG 1/0, directamente sobre una bandeja, siempre que el conductor esté certificado y rotulado para su uso y sí cumple las condiciones de los estándares mencionados antes. Los cables de diámetro 8 AWG los podemos usar en bandejas portacables con travesaños separados no más de 15 cm., o los cables de diámetro 12 AWG se pueden usar en bandejas portacables distanciados en un máximo de 10 cm o se pueden usar bandejas del tipo enmallado.

Asimismo, el fabricante de bandejas portacables debe especificar los máximos mecánicos esfuerzos permitidos que pueden soportar. Además, se debe agregar una etiqueta sí cumple con los requerimientos de protección contra la corrosión.

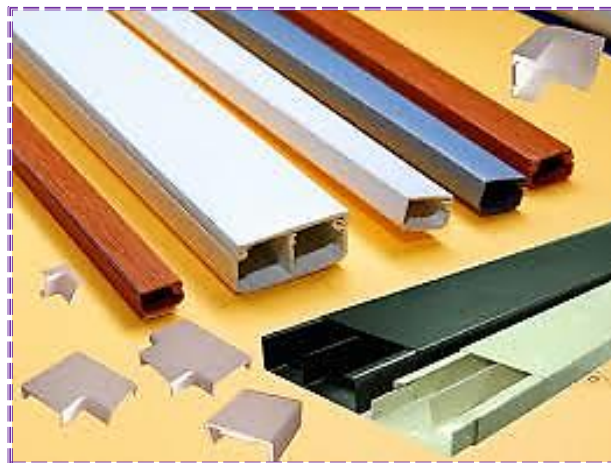
En una misma bandeja portacables se puede instalar conductores eléctricos y conductores de otro uso, los cuales deben ser etiquetados en su función. También, el fabricante de bandejas portacables especificará los máximos esfuerzos mecánicos permitidos que puede soportar, en ningún caso se aceptaran bandejas construidas en lámina de acero de cuyo espesor sea menor a 0.75 mm.

Los accesorios de conexión de bandejas portacables, deberán ser diseñados de tal manera que cumplan su función y no presentar elementos cortantes que pongan en riesgo el aislamiento de los conductores. También, estas bandejas no metálicas deben ser de materiales

retardantes a la flama, no propagar los incendios y de baja emisión de gases tóxicos o sustancias corrosivas.

#### 3.1.7.5. *Canaletas*

Igualmente, deberán cumplir con los siguientes requisitos, normados por la, NEMA VE1, NEMA FG1, NEMA VE2, IEC601084, IEC60439-1, IEC60439-2, IEC60529, IEC61000-2-4. “Las canaletas son conductos cerrados, de sección circular, rectangular o cuadrada, constituidas por tubos o tuberías (conjunto de tubos), canaletas, buses de barras o ductos subterráneos, destinadas al alojamiento de conductores eléctricos de las instalaciones” (Portalelectricos, 2019, p. 1).



*Figura 17.* Canaletas para cableado eléctrico y datos. Tomado de Satra

Adicional a lo establecido en los párrafos anteriores, deberán tenerse en cuenta los siguientes requisitos, adaptados de normas tales como las ASTM para tuberías para la protección de conductores eléctricos en ambientes corrosivos, con humedad permanente o bajo tierra, no se aceptan elementos metálicos para alojamiento de conductores que no estén apropiadamente protegidos contra la corrosión o que no cumplan con la resistencia al impacto y al aplastamiento requeridas (Portalelectricos, 2019, p. 1).

En edificaciones de más de tres pisos, las tuberías eléctricas no metálicas plegables, corrugadas de sección circular, deben ir ocultas dentro de cielorrasos, cielos falsos, pisos, muros o techos, siempre y cuando los materiales constructivos usados tengan una resistencia al fuego de mínimo 15 minutos, o menos si se tiene un sistema contra incendio de regaderas automáticas en toda la edificación (Portalelectricos, 2019, p. 1)

Asimismo, “los espacios entre elementos que soporten tuberías no metálicas, no podrán ser mayores a 1.2 m para tubería hasta de 19 mm de diámetro; 1.5 m para tuberías entre 25 y 51 mm; 1.8 m para tuberías entre 63 y 76 mm y 2.1 m para tuberías entre 89 y 102 mm” (Portalelectricos, 2019, p. 1)

“No se podrá usar tuberías no metálicas, en espacios donde por efectos de la carga eléctrica en los conductores, se tengan temperaturas por encima de las tolerables por la tubería” (Portalelectricos, 2019, p. 1)

“No se permite el uso de tubería eléctrica no metálica, como soporte de aparatos, enterrada directamente en el suelo, ni para tensiones mayores de 600 V, a no ser que esté certificada para ese uso” (Portalelectricos, 2019, p. 1)

“No deben instalarse canaletas en lugares expuestos a daños físicos o a la luz solar directa, si no están certificadas para ser utilizadas en tales condiciones y tipo de aplicación” (Portalelectricos, 2019, p. 1)

“La resistencia al impacto o al aplastamiento transversal de tuberías no metálicas usadas en paredes o pisos de concreto, o enterradas no podrá ser menor a la especificada en normas internacionales” (Portalelectricos, 2019, p. 1)

“Los instaladores deberán tener especial cuidado en que no se deformen o se obstruyan en el proceso de vaciado del concreto o enterramiento” (Reglamento técnico de instalaciones eléctricas, 2013, pp 103-106)

“No se permite el uso de canaletas no metálicas en: instalaciones ocultas (excepto cuando atraviesan muros o paredes), donde estén expuestas a daño físico, en los espacios vacíos de ascensores, en ambientes con temperaturas superiores a las certificadas para la canalización o donde alojen conductores cuyos límites de temperatura del aislamiento excedan aquellos para los cuales se certifica la canaleta” (Reglamento técnico de instalaciones eléctricas, 2013, pp 103-106).

“Las partes de canaletas que estén expuestas o a la vista, deben marcarse en franjas color naranja de al menos 10 cm para distinguirlas de otros usos” (Reglamento técnico de instalaciones eléctricas, 2013, pp 103-106).

“En una misma canaleta no deben instalarse conductores eléctricos con conductores o tuberías para otros usos” (Reglamento técnico de instalaciones eléctricas, 2013, pp 103-106).

“Cuando las condiciones específicas de la instalación lo requieran, las canaletas y accesorios deberá cumplir los requisitos establecidos para esa condición”, (Reglamento técnico de instalaciones eléctricas, 2013, pp. 103-106). Las canaletas, tubos y tuberías deberán cumplir los requisitos de normas tales como: IEC601084, IEC60439-1, IEC60439-2, IEC60529, IEC61000-2-4, IEC 60423, IEC 60614-2-7, NEMA FG1, UL 85, UL 5 y UL 870, UNE-EN 50086-2-3.

El fabricante especificará los máximos esfuerzos mecánicos permitidos que pueden soportar la canaleta, en ningún caso se aceptaran canaletas no metálicas o canaletas metálicas en lámina de acero de espesor inferior a 0.75 mm, el cual debe garantizar resistencia al impacto mínima de 4.1 kg fuerza por metro.

“Los accesorios de conexión de bandejas portacables, canaletas, canalizaciones, tubos y tuberías deberán ser diseñados para cumplir su función y no deben presentar elementos cortantes que pongan en riesgo el aislamiento de los conductores” (Reglamento técnico de instalaciones eléctricas, 2013, pp. 103-106).

“En la certificación se deben verificar aspectos como flamabilidad, resistencia al impacto, aplastamiento bajo carga, absorción de agua, resistencia a la distorsión por calentamiento, tolerancia en diámetros y espesores, prueba de calidad de extrusión” (Reglamento técnico de instalaciones eléctricas, 2013, pp. 103-106).

“Los espesores mínimos de las paredes de tubos no metálicos, aceptados para las instalaciones eléctricas objeto de este reglamento, deben ser los establecidos en la siguiente tabla, con dimensiones en mm” (Reglamento técnico de instalaciones eléctricas, 2013, pp. 103-106)

Tabla 3

*Diámetros de los tubos rígidos*

<b>Diámetro nominal</b>	<b>Rígido SCH80 (tipo pesado)</b>	<b>Rígido SCH40 (tipo intermedio)</b>	<b>Rígido liviano</b>
21	3.73	2.77	1.52
26	3.91	2.87	1.52
33	4.55	3.38	1.52
42	4.85	3.56	1.78
48	5.08	6.68	2.03
60	5.54	3.91	2.54
73	7.01	5.16	2.80
88	7.62	5.49	3.18
101	8.08	5.74	3.68
114	8.56	6.02	3.80
141	9.52	6.55	6.55
168	10.97	7.11	7.11

*Nota:* Tomado de Promelsa

También, otra de las ventajas es que los cables que van por estas bandejas son más accesibles a los operarios al momento del mantenimiento que se les vaya a dar.

### 3.1.8. Conectores eléctricos

Los conectores eléctricos sirven para hacer conexiones entre cables eléctricos, o entre cables eléctricos y algún elemento del circuito. También, tenemos los llamados terminales eléctricos, utilizados para unir un cable con un aparato eléctrico.

**Nota:** Las conexiones o uniones de cables únicamente con cinta aislante están prohibidas en cualquier instalación.

Los circuitos eléctricos están compuestos por una multitud de componentes, incluidos cables y alambres. Los conectores eléctricos se utilizan para unirlos y formar una trayectoria continua para que fluya la corriente eléctrica, para reducir drásticamente el tiempo, el esfuerzo y la mano de obra necesarios para fabricar, ensamblar e instalar dispositivos eléctricos, sus componentes y el cableado.

Los conectores eléctricos tienen extremos machos y extremos hembra (conectores) que se conectan entre sí formando una conexión permanente o una conexión temporal que se puede ensamblar y extraer.

#### Propiedades de los conectores eléctricos

Lo primero cuando elegimos un conector eléctrico será conocer perfectamente:

- **La sección del cable** o cables que va a unir el conector, normalmente en milímetros cuadrados.
- **La corriente o intensidad a soportar.** La clasificación de corriente describe la tasa de flujo de electricidad (corriente) máxima para la que un conector está diseñado. Esto se mide en amperios (A o amperios). La clasificación de corriente

en un conector generalmente estará en el rango de 1 A a 50 A, aunque hay disponibles más grandes para aplicaciones especiales.

- **Voltaje o tensión de trabajo.** La clasificación de voltaje describe el rango y el tipo de voltaje para los que el conector está diseñado y que puede soportar. Se mide en voltios (V) y pueden ser para corriente alterna (CA) o corriente continua (CC). Por lo general, las clasificaciones pueden ser 12 V, 24 V y 48 V para corriente continua y de 50 V, 125 V, 250 V y 600 V para corriente alterna.
- **Temperatura de funcionamiento.** El rango de temperatura de funcionamiento describe el rango, la temperatura recomendada, así como la temperatura de funcionamiento segura mínima/máxima para el conector eléctrico.

Una vez que conocemos estas propiedades que va a tener la unión pasamos a elegir el tipo de conector eléctrico.

**El conector** más utilizado para la unión de cables es la regleta o clema. La conexión de los cables se realiza mediante tornillo enroscado que aprieta los cables conductores a unir o mediante presión sobre los cables. Se utiliza en las instalaciones interiores, por ejemplo, en los cuadros, en las instalaciones de alumbrado para la conexión de los aparatos a la instalación fija o en las conexiones dentro de las cajas de derivación. Veamos las regletas más utilizadas.



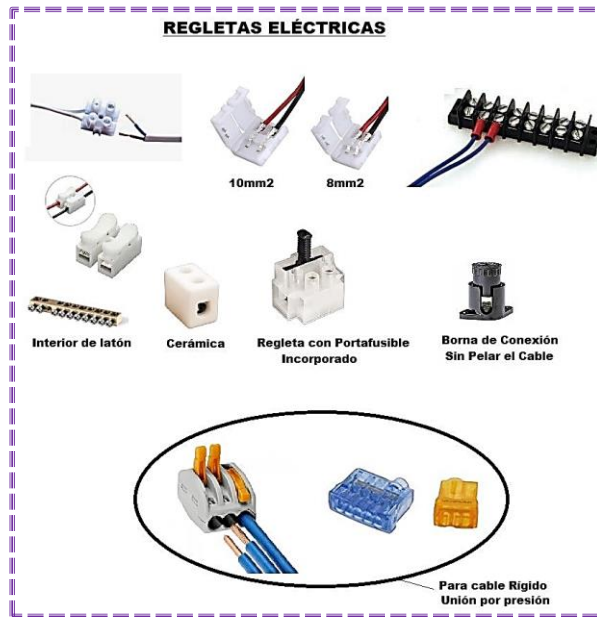


Figura 18. Conectores eléctricos. Tomado de promart.pe

En cuanto a los terminales más utilizados se encuentran los llamados terminales preaislados, porque llevan un aislamiento entre el cable y el metal de conexión, cubierto por un plástico de color (amarillo, azul, rojo, negro, etc.). Pero no todos son aislados, como puedes ver en la imagen de más abajo.



Figura 19. Terminales eléctricos. Tomado de promart.pe

Los tipos que hay vienen a llamarse en función de la forma del terminal: de horquilla, de punta, redondo, plano-lengüeta. El plano (o *faston*) es el terminal hembra y el llamado lengüeta es el macho. Se utilizan en electrónica y electricidad para conectar y desconectar cables con facilidad.

Asimismo, los de horquilla y redondos se suelen utilizar en conexiones con tornillo y los de punta donde hay poco espacio para la conexión. Para unir el cable al terminal se necesita deformar el plástico mediante unos alicates de terminales o crimpadora.



Figura 20, Alicates de sujeción de terminales eléctricos. Tomado de promart.pe

Otro tipo muy usado son los manguitos de unión en los cuales se introduce un cable por cada lado y con una crimpadora se aplasta para fijar los cables al manguito, previamente pelados por los extremos.

Antes de elegir un conector eléctrico debemos saber las propiedades que necesitamos que tenga la conexión.

#### 3.1.8.1. Otros tipos de conectores

Los conectores de resorte llevan un muelle interno que asegura una conexión rápida y fiable. Son un sistema de conexionado rápido, seguro y confiable en iluminación y empalme de

cables. Se utilizan específicamente para unir y aislar cables en una sola operación mediante empalme y valen par cable flexible y rígido.



Figura 21. Conectores tipo resorte. Tomado de promart.pe

Bornes de Carril para automatismos. Son unas bornes para poner en los carriles de sujeción igual que los contactores y normalmente se utilizan en automatismos.

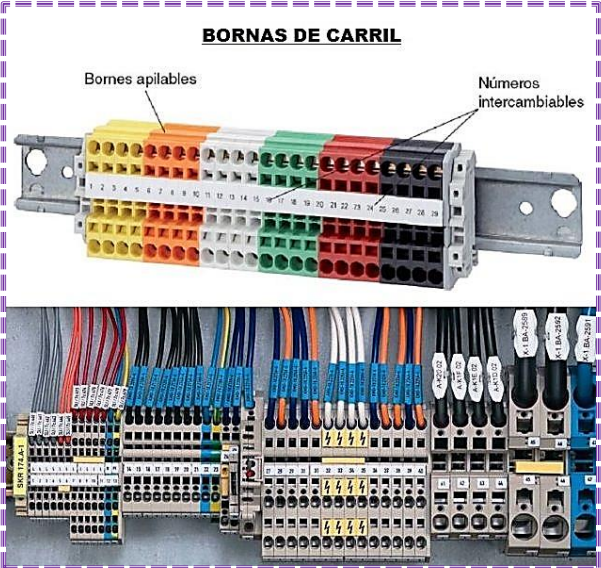


Figura 22. Bornes de carril para contactos. Tomado de promart.pe

Tenemos otras opciones en función del uso que vayan a tener:

- **Push-in.** Son terminales de inserción del cable directamente sin necesidad de herramientas.
- **Conectores bloqueados.** Un mecanismo de bloqueo garantiza que los conectores se mantengan en su lugar, evitando que las conexiones se rompan accidentalmente o se desplacen cuando el conector se golpea o se mueve.
- **Conectores herméticamente sellados.** Estos conectores están diseñados para funcionar completamente bajo el agua y resistir la presión hasta ciertas profundidades.
- **Conectores resistentes al agua.** Estos conectores protegen las conexiones eléctricas contra daños por agua por salpicaduras o humedad ocasional.
- **Conectores resistentes a la humedad/aceite.** Están diseñados para proteger las conexiones eléctricas de los daños causados por el aceite o la humedad.
- **Filtrado EMI o RFI.** Las características adicionales integradas en la parte superior de la carcasa protegen a los conectores de la interferencia electromagnética (EMI) o la interferencia de radiofrecuencia (RFI), que pueden afectar a los circuitos que transportan señales eléctricas.
- **Conectores protegidos contra ESD.** Protegidos contra la descarga de electricidad electrostática que puede dañar el cableado y los componentes.

### **3.1.9. El transformador**

Se denomina transformador a una máquina eléctrica que permite aumentar o disminuir el voltaje o tensión en un circuito eléctrico de corriente alterna, manteniendo la frecuencia. La potencia que ingresa al equipo, en el caso de un transformador ideal, esto es, sin pérdidas, es igual a la que se obtiene a la salida. Las máquinas reales presentan un pequeño porcentaje de pérdidas, dependiendo de su diseño, tamaño, etc.

El transformador es un dispositivo eléctrico que consta de una bobina de cable situada junto a una o varias bobinas más, y que se utiliza para unir dos o más circuitos de corriente alterna (CA), aprovechando el efecto de inducción entre las bobinas. La bobina conectada a la fuente de energía se llama bobina primaria. Las demás bobinas reciben el nombre de bobinas secundarias. Un transformador cuyo voltaje secundario sea superior al primario se llama transformador elevador.

*Transformador.* Es aquel dispositivo capaz de modificar alguna característica de la energía eléctrica y su principio estructural es dos bobinas con dos o más devanados o arrollamientos alrededor de un centro común llamado núcleo. El núcleo es el elemento encargado de acoplar magnéticamente los arrollamientos de las bobinas primaria y secundaria del transformador. Está construido superponiendo numerosas chapas de aleación acero-silicio, a fin de reducir las pérdidas por histéresis magnética y aumentar la resistividad del acero. Su espesor suele oscilar entre 0,30 y 0,50 mm. La forma más sencilla de construir el núcleo de un transformador es la que consta de tres columnas, las cuales se cierra por las partes superior e inferior con otras dos piezas llamadas yugo o culata.

Hace algo más de un siglo que se inventó este dispositivo que ha hecho posible la distribución de energía eléctrica a todos los hogares, industrias, etc. Si no fuera por el transformador tendría que acortarse la distancia que separa a los generadores de electricidad de los consumidores.

Se denomina transformador a una máquina eléctrica que permite aumentar o disminuir el voltaje o tensión en un circuito eléctrico de corriente alterna, manteniendo la frecuencia. La potencia que ingresa al equipo, en el caso de un transformador ideal, esto es, sin pérdidas, es igual a la que se obtiene a la salida. Las máquinas reales presentan un pequeño porcentaje de pérdidas, dependiendo de su diseño, tamaño, etc.

“Los transformadores son dispositivos basados en el fenómeno de la inducción electromagnética y están constituidos, en su forma más simple, por dos bobinas devanadas sobre un núcleo cerrado de hierro dulce o hierro silicio. Las bobinas o devanados se denominan primario y secundario según correspondan a la entrada o salida del sistema en cuestión, respectivamente. También existen transformadores con más devanados; en este caso, puede existir un devanado (terciario), de menor tensión que el secundario” (Guía Práctica de Electricidad y Electrónica, 1999, pp. 154-167).

“Los transformadores son dispositivos electromagnéticos estáticos que permiten partiendo de una tensión alterna conectada a su entrada, obtener otra tensión alterna mayor o menor que la anterior en la salida del transformador” (Guía Práctica de Electricidad y Electrónica, 1999, pp. 154-167).

“Permiten así proporcionar una tensión adecuada a las características de los receptores. También son fundamentales para el transporte de energía eléctrica a largas distancias a tensiones altas, con mínimas pérdidas y conductores de secciones moderadas” (Guía Práctica de Electricidad y Electrónica, 1999, pp. 154-167).



Figura 23. Transformador de potencia. Tomado de promart.pe

### 3.1.9.1. *Historia*

El aparato que aquí se describe es una aplicación, entre tantas, derivada de la inicial bobina de Ruhmkorff o carrete de Ruhmkorff, que consistía en dos bobinas concéntricas. A una bobina, llamada primario, se le aplicaba una corriente continua proveniente de una batería, conmutada por medio de un ruptor movido por el magnetismo generado en un núcleo de hierro central por la propia energía de la batería. El campo magnético así creado variaba al compás de las interrupciones, y en el otro bobinado, llamado secundario y con mucho más espiras, se inducía una corriente de escaso valor pero con una fuerza eléctrica capaz de saltar entre las puntas de un chispómetro conectado a sus extremos.

También, da origen a las antiguas bobinas de ignición del automóvil Ford T, que poseía una por cada bujía, comandadas por un distribuidor que mandaba la corriente a través de cada una de las bobinas en la secuencia correcta.

### 3.1.9.2. *Composición de un transformador*

“Se compone de un núcleo de hierro sobre el cual se han arrollado varias espiras (vueltas) de alambre conductor” (Guía Práctica de Electricidad y Electrónica, 1999, pp. 154-167).

Este conjunto de vueltas se llaman bobinas y se denominan:

“Bobina primaria o primario a aquella que recibe el voltaje de entrada y Bobina secundaria o "secundario" a aquella que entrega el voltaje transformado” (monografías.com, 2019)

- “La bobina primaria recibe un voltaje alterno que hará circular, por ella, una corriente alterna” (Guía Práctica de Electricidad y Electrónica, 1999, pp. 154-167).
- “Esta corriente inducirá un flujo magnético en el núcleo de hierro” (Guía Práctica de Electricidad y Electrónica, 1999, pp. 154-167).

- “Como el bobinado secundario está arrollado sobre el mismo núcleo de hierro, el flujo magnético circulará a través de las espiras de éste” (Guía Práctica de Electricidad y Electrónica, 1999, pp. 154-167).
- “Al haber un flujo magnético que atraviesa las espiras del secundario, se generará por el alambre del secundario un voltaje. En este bobinado secundario habría una corriente si hay una carga conectada (el secundario conectado por ejemplo a una resistencia)” (Guía Práctica de Electricidad y Electrónica, 1999, pp. 154-167).

“La razón de transformación del voltaje entre el bobinado primario y el secundario depende del número de vueltas que tenga cada uno. Si el número de vueltas del secundario es el triple del primario. En el secundario habrá el triple de voltaje” (Guía Práctica de Electricidad y Electrónica, 1999, pp. 154-167).

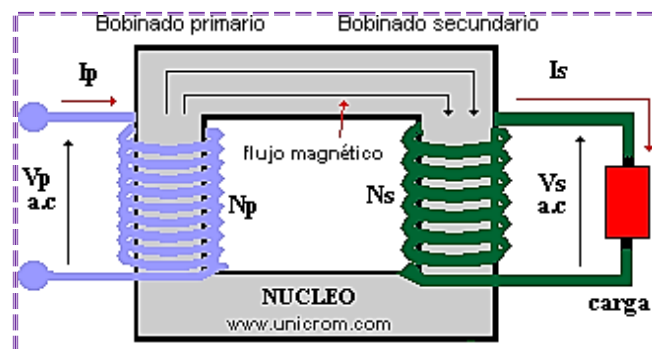


Figura 24. Bobinado primario y secundario del núcleo del transformador. Tomado de wikipedia



### 3.1.9.3. Tipos de transformadores

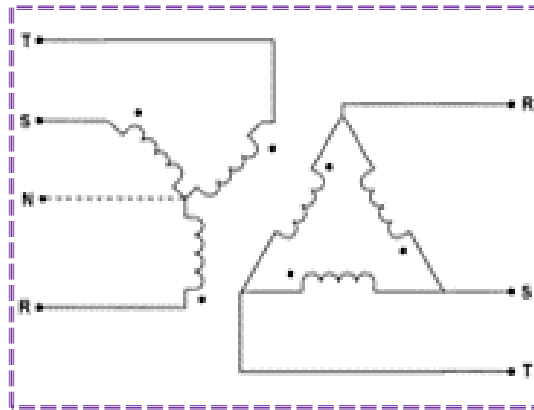


Figura 25. Transformador trifásico. Conexión estrella-triángulo. Tomado de wikipedia

Los transformadores se pueden clasificar de diferentes maneras entre ellas tenemos:

#### **Según sus aplicaciones**

##### *I. Transformador elevador/reductor de tensión*

“Son empleados en las subestaciones de la red de transporte de energía eléctrica, con el fin de disminuir las pérdidas por efecto Joule. Debido a la resistencia de los conductores, conviene transportar la energía eléctrica a tensiones elevadas, siendo necesario reducir nuevamente dichas tensiones para adaptarlas a las de utilización” (Guía Práctica de Electricidad y Electrónica, 1999, pp. 154-167).

##### *II. Transformador de aislamiento*

“Proporciona aislamiento galvánico entre el primario y el secundario, de manera que consigue una alimentación o señal flotante. Suele tener una relación 1:1. Se utiliza principalmente como medida de protección, en equipos que trabajan directamente con la tensión de red. También para acoplar señales procedentes de sensores lejanos, en equipos de electromedicina y allí donde se necesitan tensiones flotantes entre sí” (Guía Práctica de Electricidad y Electrónica, 1999, pp. 154-167).



Figura 26. Transformador de aislamiento. Tomado de powersolutionprovider

### III. Transformador de alimentación

Pueden tener una o varias bobinas secundarias y proporcionan las tensiones necesarias para el funcionamiento del equipo. A veces incorporan fusibles que cortan su circuito primario cuando el transformador alcanza una temperatura excesiva, evitando que éste se queme, con la emisión de humos y gases que conlleva e, incluso, riesgo de incendio. Estos fusibles no suelen ser reemplazables, de modo que hay que sustituir todo el transformador.

### IV. Transformador trifásico

Tienen tres bobinados en su primario y tres en su secundario. Pueden adoptar forma de estrella (Y) (con hilo de neutro o no) o de triángulo ( $\Delta$ ) y las combinaciones entre ellas:  $\Delta$ - $\Delta$ ,  $\Delta$ -Y, Y- $\Delta$  y Y-Y. Hay que tener en cuenta que aún con relaciones 1:1, al pasar de  $\Delta$  a Y o viceversa, las tensiones varían.

### V. Transformador de pulsos

“Es un tipo especial de transformador con respuesta muy rápida (baja autoinducción) destinado a funcionar en régimen de pulsos” (Guía Práctica de Electricidad y Electrónica, 1999, pp. 154-167).

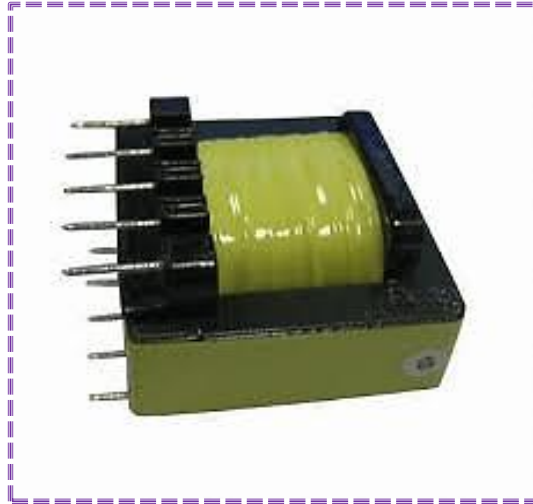


Figura 27. Transformador de pulsos. Tomado de Shenzhen Kunyo Technology

#### VI. Transformador de línea o flyback

“Es un caso particular de transformador de pulsos. Se emplea en los televisores con TRC (CRT) para generar la alta tensión y la corriente para las bobinas de deflexión horizontal. Además, suele proporcionar otras tensiones para el tubo (foco, filamento, etc.)” (Guía Práctica de Electricidad y Electrónica, 1999, pp. 154-167).



Figura 28. Transformador de línea o flybak. Tomado de ecured.cu

#### VII. Transformador con diodo dividido

Es un tipo de transformador de línea que incorpora el diodo rectificador para proporcionar la tensión continua de MAT directamente al tubo. Se llama diodo dividido porque está formado por varios diodos más pequeños repartidos por el bobinado y conectados en serie, de modo que cada diodo sólo tiene que soportar una tensión inversa relativamente baja. La salida del transformador va directamente al ánodo del tubo, sin diodo ni triplicador.

Este tipo de transformador se emplea para adaptar antenas y líneas de transmisión (tarjetas de red, teléfonos...) y era imprescindible en los amplificadores de válvulas para adaptar la alta impedancia de los tubos a la baja de los altavoces. Si se coloca en el secundario una impedancia de valor  $Z$ , y llamamos  $n$  a  $N_s/N_p$ , como  $I_s = -I_p/n$  y  $E_s = E_p \cdot n$ , la impedancia vista desde el primario será  $E_p/I_p = -E_s/n^2/I_s = Z/n^2$ . Así, hemos conseguido transformar una impedancia de valor  $Z$  en otra de  $Z/n^2$ . Colocando el transformador al revés, lo que hacemos es elevar la impedancia en un factor  $n^2$ .

#### VIII. *Estabilizador de tensión*

“Es un tipo especial de transformador en el que el núcleo se satura cuando la tensión en el primario excede su valor nominal. Entonces, las variaciones de tensión en el secundario quedan limitadas. Tenía una labor de protección de los equipos frente a fluctuaciones de la red. Este tipo de transformador ha caído en desuso con el desarrollo de los reguladores de tensión electrónicos, debido a su volumen, peso, precio y baja eficiencia energética” (Guía Práctica de Electricidad y Electrónica, 1999, pp. 154-167).



Figura 29. Estabilizador de voltaje. Tomado de salicru

IX. Transformador híbrido o bobina híbrida

“Es un transformador que funciona como una híbrida. De aplicación en los teléfonos, tarjetas de red, etc” (Some Broadband Transformers, 1959, pp. 1337-1342).

X. BALUN

“Es muy utilizado como balun para transformar líneas equilibradas en no equilibradas y viceversa. La línea se equilibra conectando a masa la toma intermedia del secundario del transformador” (Some Broadband Transformers, 1959, pp. 1337-1342).



Figura 30. Balun. Tomado de alibaba.com

## XI. Transformador electrónico

“Posee bobinas y componentes electrónicos. Son muy utilizados en la actualidad en aplicaciones como cargadores para celulares. No utiliza el transformador de núcleo en sí, sino que utiliza bobinas llamadas filtros de red y bobinas CFP (corrector factor de potencia) de utilización imprescindible en los circuitos de fuente de alimentaciones conmutadas” (Guía Práctica de Electricidad y Electrónica, 1999, pp. 154-167).

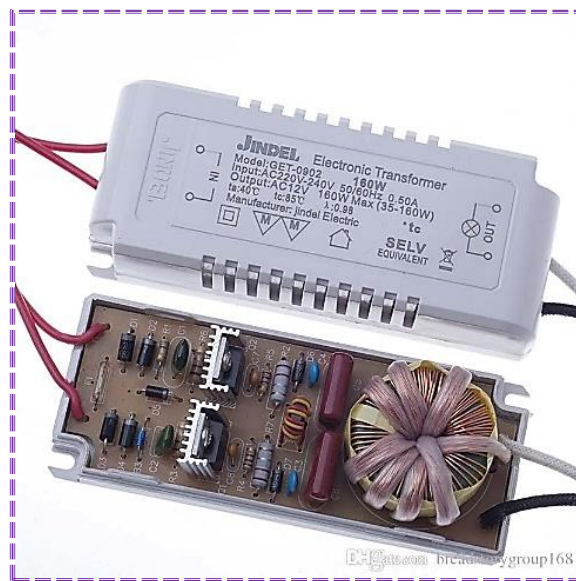


Figura 31. Transformador electrónico. Tomado de dhgate

## XII. Transformador de frecuencia variable

“Son pequeños transformadores de núcleo de hierro, que funcionan en la banda de audiofrecuencias. Se utilizan a menudo como dispositivos de acoplamiento en circuitos electrónicos para comunicaciones, medidas y control” (Guía Práctica de Electricidad y Electrónica, 1999, pp. 154-167).

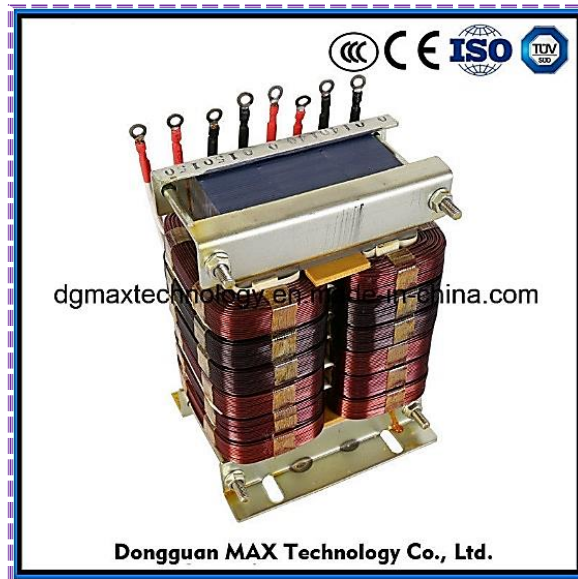


Figura 32. Transformador de frecuencia variable. Tomado de dgmactech.com

### XIII. Transformadores de medida

“Entre los transformadores con fines especiales, los más importantes son los transformadores de medida para instalar instrumentos, contadores y relés protectores en circuitos de alta tensión o de elevada corriente. Los transformadores de medida aíslan los circuitos de medida o de relés, permitiendo una mayor normalización en la construcción de contadores, instrumentos y relés” (Brokering C, et al, 2008, p 65).



Figura 33. Transformadores de medida. Tomado de Arteche

## Según su construcción

### I. *Autotransformador*

“El primario y el secundario del transformador están conectados en serie, constituyendo un bobinado único. Pesa menos y es más barato que un transformador y por ello se emplea habitualmente para convertir 220 V a 125 V y viceversa y en otras aplicaciones similares. Tiene el inconveniente de no proporcionar aislamiento galvánico entre el primario y el secundario” (Some Broadband Transformers, 1959, pp. 1337-1342).

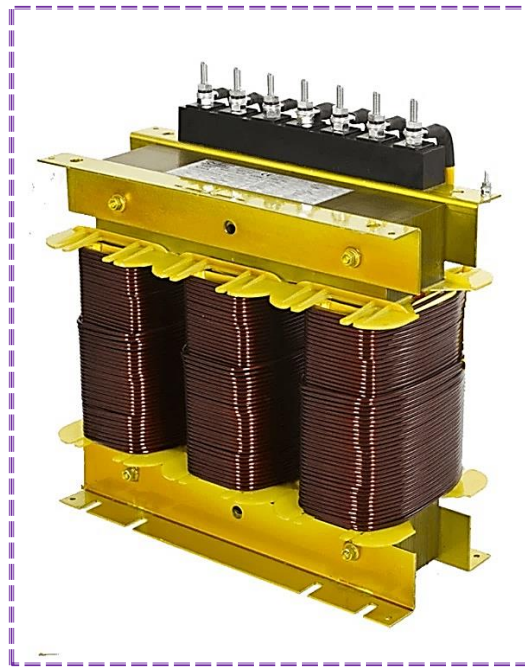


Figura 34. Autotransformador. Tomado de torytrans

### II. *Transformador toroidal*

“El bobinado consiste en un anillo, normalmente de compuestos artificiales de ferrita, sobre el que se bobinan el primario y el secundario” (Guía Práctica de Electricidad y Electrónica, 1999, pp. 154-167).



“Son más voluminosos, pero el flujo magnético queda confinado en el núcleo, teniendo flujos de dispersión muy reducidos y bajas pérdidas por corrientes de Foucault“ (Guía Práctica de Electricidad y Electrónica, 1999, pp. 154-167).



Figura 35. Transformador toroidal. Tomado de rs components

### III. Transformador de grano orientado

El núcleo está formado por una chapa de hierro de grano orientado, enrollada sobre sí misma, siempre en el mismo sentido, en lugar de las láminas de hierro dulce separadas habituales. Presenta pérdidas muy reducidas, pero es caro. La chapa de hierro de grano orientado puede ser también utilizada en transformadores orientados (chapa en E), para reducir sus pérdidas.



Figura 36. Transformador de grano orientado. Tomado de wikipedia

#### IV. *Transformador de núcleo de aire*

“En aplicaciones de alta frecuencia se emplean bobinados sobre un carrete sin núcleo o con un pequeño cilindro de ferrita que se introduce más o menos en el carrete, para ajustar su inductancia” (Guía Práctica de Electricidad y Electrónica, 1999, pp. 154-167)



Figura 37, transformador de núcleo de aire. Tomado de ikp electronics

#### V. *Transformador de núcleo envolvente*

Están provistos de núcleos de ferrita divididos en dos mitades que, como una concha, envuelven los bobinados. Evitan los flujos de dispersión.

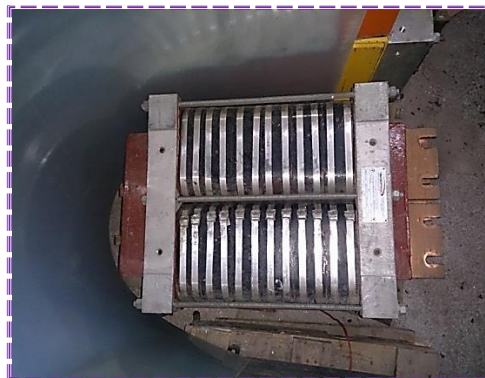


Figura 38, transformador de núcleo envolvente. Tomado de jal lana

#### VI. *Transformador piezoeléctrico*

“Para ciertas aplicaciones han aparecido en el mercado transformadores que no están basados en el flujo magnético para transportar la energía entre el primario y el secundario, sino que se emplean vibraciones mecánicas en un cristal piezoeléctrico. Tienen la ventaja de ser muy planos y funcionar bien a frecuencias elevadas. Se usan en algunos convertidores de tensión para alimentar los fluorescentes del backlight de ordenadores portátiles” (Guía Práctica de Electricidad y Electrónica, 1999, pp. 154-167).



Figura 39, transformador piezoeléctrico. Tomado de alibaba.com

#### 3.1.9.4. *Funcionamiento del transformador*

Si se aplica una fuerza electromotriz alterna en el devanado primario, las variaciones de intensidad y sentido de la corriente alterna crearán un campo magnético variable dependiendo de la frecuencia de la corriente. Este campo magnético variable originará, por inducción electromagnética, la aparición de una fuerza electromotriz en los extremos del devanado secundario.

La relación entre la fuerza electromotriz inductora ( $E_p$ ), la aplicada al devanado primario y la fuerza electromotriz inducida ( $E_s$ ), la obtenida en el secundario, es directamente proporcional al número de espiras de los devanados primario ( $N_p$ ) y secundario ( $N_s$ ).

$$\frac{E_p}{E_s} = \frac{N_p}{N_s}$$

“Para poder comprender el funcionamiento de un transformador se examinará el de construcción más elemental” (Guía Práctica de Energía y Electrónica, 1995, pp. 154-167).

Un circuito magnético simple, constituido por dos columnas y dos culatas, en el que han sido arrollados dos circuitos eléctricos:

“Uno, constituido por una bobina de  $N_1$  espiras, es conectado a la fuente de corriente alterna y recibe el nombre de primario” (Guía Práctica de Electricidad y Electrónica, 1999, pp. 154-167).

“Otro constituido por un bobinado de  $N_2$  espiras, permite conectar a sus bornes un circuito eléctrico de utilización (la carga) y recibe el nombre de secundario” (Guía Práctica de Electricidad y Electrónica, 1999, pp. 154-167).

“Al alimentar el bobinado primario con una fuente de voltaje alterno, por él (el bobinado) circulará una corriente eléctrica alterna ( $I_1$ ), que produce una fuerza magnetomotriz que causa que se establezca un flujo de líneas de fuerza alterno ( $\Phi_1$ ) en el circuito magnético del transformador” (Guía Práctica de Electricidad y Electrónica, 1999, pp. 154-167).

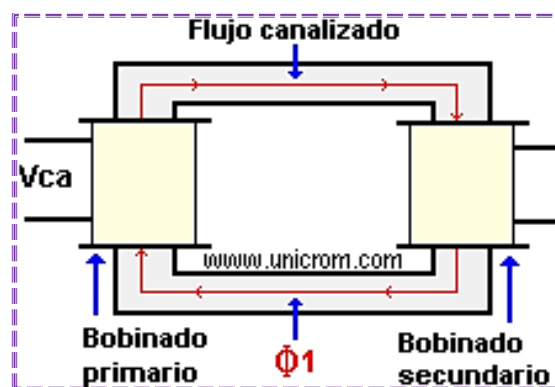


Figura 40. Flujo de corriente en un transformador. Tomado de unicrom.com

“El flujo  $\Phi_1$  al estar canalizado en el núcleo, induce en las espiras del bobinado secundario una fuerza electromotriz ( $E_2$ )” (Transformadores, 1997, pp. 150-170)

“Las espiras del bobinado primario también están en la influencia del  $\Phi_1$ . por lo tanto en ellas se va a inducir una fuerza contraelectromotriz ( $E_1$ ), que se opone al voltaje de alimentación, dando como resultado una disminución de la intensidad de corriente  $I_1$ ” (Transformadores, 1997, pp. 150-170).

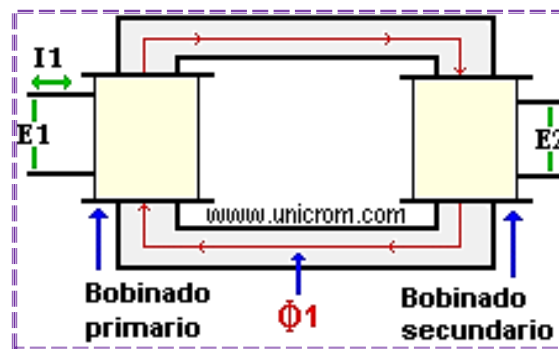


Figura 41. Voltajes en un transformador. Tomado de unicrom.com

$$E_1 = 4.44 \times \Phi \times F \times N_1 \quad E_2 = 4.44 \times \Phi \times F \times N_2$$

“Cuando se le aplica carga ( $R$ ) al bobinado secundario, circula por él la intensidad de corriente  $I_2$ , la cual produce el flujo magnético  $\Phi_2$ , opuesto al  $\Phi_1$ , por lo tanto, reduce el flujo resultante en el núcleo dando como resultado que la fuerza contraelectromotriz disminuya y la intensidad de corriente  $I_1$  aumente” (Transformadores, 1997, pp. 150-170).

“Se observa como un aumento de la corriente en el secundario ( $I_2$ ) provoca un aumento de la corriente en el primario ( $I_1$ ), sin que exista conexión eléctrica entre ambos bobinados” (Transformadores, 1997, pp. 150-170).

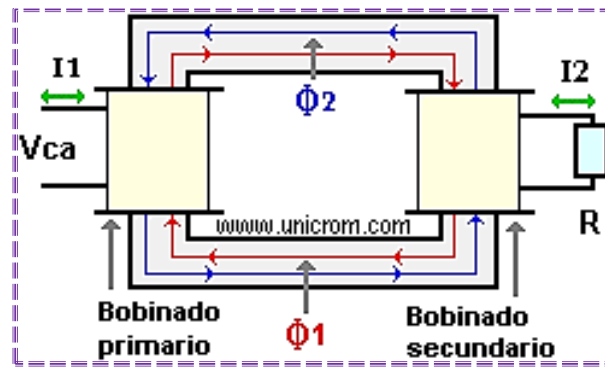


Figura 42. Fem inducida en el transformador. Tomado de unicrom.com

“Dado que la fuerza contraelectromotriz es directamente proporcional al flujo inductor ( $\Phi_1$ ), al disminuir éste, por la contraposición del  $\Phi_2$ , se da un incremento en la corriente  $I_1$ ” (Guía Práctica de Electricidad y Electrónica, 1999, pp. 154-167).

“Ahora bien, como la potencia aplicada en el primario, en caso de un transformador ideal, debe ser igual a la obtenida en el secundario, el producto de la fuerza electromotriz por la intensidad (potencia) debe ser constante, con lo que en el caso del ejemplo, si la intensidad circulante por el primario es de 10 amperios, la del secundario será de solo 0,1 amperios (una centésima parte)” (Guía Práctica de Electricidad y Electrónica, 1999, pp. 154-167).

### 3.1.9.5. La construcción de un transformador

#### I. Consideraciones generales

“Un transformador consta de dos partes esenciales: El núcleo magnético y los devanados, estos están relacionados con otros elementos destinados a las conexiones mecánicas y eléctrica entre las distintas partes al sistema de enfriamiento, al medio de transporte y a la protección de la máquina en general” (Transformadores, 1997, pp. 150-170).

“En cuanto a las disposiciones constructivas, el núcleo determina característica relevantes, de manera que se establece una diferencia fundamental en la construcción de transformadores, dependiendo de la forma del núcleo, pudiendo ser el llamado núcleo tipo

columnas y el núcleo tipo acorazado, existen otros aspectos que establecen diferencias entre tipos de transformadores, como es por ejemplo el sistema de enfriamiento, que establece la forma de disipación del calor producido en los mismos, o bien en términos de su potencia y voltaje para aplicaciones, como por ejemplo clasificar en transformadores de potencia a tipo distribución" (Transformadores, 1997, pp. 150-170).

## **II. La construcción del núcleo**

"El núcleo magnético está formado por laminaciones de acero que tienen pequeño porcentajes de silicio (alrededor del 4 %) y que se denominan "laminaciones magnéticas", estas laminaciones tienen la propiedad de tener pérdidas relativamente bajas por efecto de histéresis y de corrientes circulantes" (Transformadores, 1997, pp. 150-170).

"Están formados por un conjunto de laminaciones acomodadas en la forma y dimensiones requeridas. La razón de usar laminaciones de acero al silicio en los núcleos de las máquinas eléctricas, es que el silicio aumenta la resistividad del material y entonces hace disminuir la magnitud de las corrientes parásitas o circulantes y en consecuencia las pérdidas por este concepto" (Transformadores, 1997, pp. 150-170).

"En el caso de transformadores de gran potencia, se usan las llamadas laminaciones de cristal orientado, cuyo espesor es de algunos milímetros y contienen entre 3 % y 4 % de silicio, se obtienen de material laminado en caliente, después se hace el laminado en frío, dando un tratamiento térmico final a la superficie de las mismas. Este tipo de laminación cuando se sujetan al flujo en la dirección de las laminaciones, presentan propiedades magnéticas mejores que la laminación "normal" de acero al silicio usada para otro tipo de transformadores" (Transformadores, 1997, pp. 150-170).

### **III. Elementos de los núcleos de transformadores**

En los núcleos magnéticos de los transformadores tipo columna se distinguen dos partes principales: "las columnas" o piernas y los "yugos". En las columnas se alojan los devanados y los yugos unen entre si las columnas para cerrar el circuito magnético.

Debido a que las bobinas se deben montar bajo un cierto procedimiento y desmontar cuando sea necesario por trabajos de mantenimiento, los núcleos que cierran el circuito magnético, terminan al mismo nivel en la parte que está en contacto con los yugos, o bien con salientes. En ambos casos los núcleos se arman con "juegos" de laminaciones para columnas y yugos que se arman por capas de arreglos "pares" e "impares".

Cuando se emplean laminaciones de cristal orientado, es necesario que las uniones entre yugos y columnas se realicen con cortes inclinados para evitar trayectorias transversales de las líneas de flujo respecto a tales direcciones.

Cuando se han armado los niveles a base de juegos de laminaciones colocadas en "pares" e "impares" el núcleo se sujeta usando tornillos opresores y separa por medio de los tornillos tensores.

En cuanto a los yugos, se refiere, no estando vinculados estos con los devanados, pueden ser, entonces, rectangulares, aun cuando pueden tener también escalones para mejorar el enfriamiento.

### **IV. Tipos de núcleos**

“Cuando se ha mencionado con anterioridad, los núcleos para transformadores se agrupan básicamente en las siguientes categorías” (Transformadores, 1997, pp. 150-170).

- i. Tipo núcleo o de columnas.
- ii. Tipo acorazado.



iii. Tipo núcleo o de columnas.

“Existen distintos tipos de núcleos tipos columna, que está caracterizados por la posición relativa de las columnas y de los yugos” (Transformadores, 1997, pp. 150-170).

### **Núcleo monofásico**

“Se tienen dos columnas unidas en las partes inferior y superior por medio de un yugo, en cada una de estas columnas se encuentran incrustados la mitad del devanado primario y la mitad de los devanados secundarios” (Transformadores, 1997, pp. 150-170).

### **Núcleo trifásico**

“Se tienen tres columnas dispuestas sobre el mismo plano unidas en sus partes inferior y superior por medio de yugos. Sobre cada columna se incrustan los devanados primarios y secundario de una fase. Las corrientes magnetizantes de las tres fases son distintas entre sí, debido principalmente a que el circuito magnético de las columnas externas es más largo que el correspondiente a la columna central” ((Transformadores, 1997, pp. 150-170) .

“Este desequilibrio, tomando en cuenta que la corriente magnetizantes de las tres fases son distintas entre sí, debido principalmente que el circuito magnético de las columnas externas es más largo que el correspondiente a la columna central. Este desequilibrio, tomando en cuenta que la corriente de vacío es bastante baja, tiene influencia solamente para las condiciones de operación en vacío” (Transformadores, 1997, pp. 150-170).

### **Tipo acorazado**

“Este tipo de núcleo acorazado, tiene la ventaja con respecto al llamado tipo columna, de reducir la dispersión magnética, su uso es más común en los transformadores monofásicos. En el núcleo acorazado, los devanados se localizan sobre la columna central, y cuando se trata de

transformadores pequeños, las laminaciones se hacen en troqueles. Las formas de construcción pueden ser distintas y varían de acuerdo con la potencia” (Transformadores, 1997, pp. 150-170).

### **Herrajes o armadura**

“Como se ha mencionado antes, los núcleos de los transformadores tienen partes que cumplen con funciones puramente mecánicas de sujeción de las laminaciones y estructuras, estas pares o elementos se conocen como "herrajes" o armadura y se complementan con componentes como fibra de vidrio o madera para protección de la sujeción de los yugos” (Transformadores, 1997, pp. 150-170).

## **V. Los devanados de los transformadores**

“Los devanados de los transformadores se pueden clasificar en baja y alta tensión, esta distinción es de tipo global y tiene importancia para los propósitos de la realización práctica de los devanados debido a que los criterios constructivos para la realización de los devanados de baja tensión, son distintos de los usados para los devanados de alta tensión” (Transformadores, 1997, pp. 150-170).

“Para los fines constructivos, no tiene ninguna importancia la función de un devanado, es decir, que sea primario o el secundario, importa solo la tensión para la cual debe ser previsto” (Transformadores, 1997, pp. 150-170).

“Otra clasificación de los devanados se puede hacer con relación a la potencia del transformador, para tal fin existen devanados para transformadores de baja potencia, por ejemplo, de 1000 a 2000 VA y para transformadores de media y gran potencia. Los devanados para transformadores de pequeña potencia son los más fáciles de realizar” (Transformadores, 1997, pp. 150-170).

“En este tipo de transformadores los devanados primario y secundario son concéntricos y bobinado sobre un soporte aislante único. Por lo general, se usan conductores de cobre

esmaltado, devanados en espiral y con capas sobrepuestas. Por lo general, el devanado de menor tensión se instala más cerca del núcleo interponiendo un cilindro de papel aislante y mediante separadores, se instala en forma concéntrica el devanado de tensión mayor. Los extremos de los devanados (denominados también principio y final del devanador) se protegen con aislante de forma de tubo conocido como spaguetti” (Transformadores, 1997, pp. 150-170).

### **Devanados para transformadores de distribución.**

“En estos transformadores, la diferencia entre las tensiones primaria y secundaria es notable, por ejemplo, los transformados para redes de distribución de 13200 volts a las tensiones de utilización de 220/127 volts debido a estas diferencias, se emplean criterios constructivo distintos a los considerados en los transformadores pequeños de baja tensión y se dividen en devanados de baja tensión y de alta tensión” (Transformadores, 1997, pp. 150-170) .

### **Devanados de baja tensión.**

“Están constituidos por lo general, de una sola espiral (algunas veces en dos o tres capas sobrepuestas), con alambres rectangular aislado” ((Transformadores, 1997, pp. 150-170).

“El conductor se usa generalmente para potencia pequeñas y tiene diámetros no superiores a 3 o 3.5 mm. El aislamiento de los conductores, cuando son cilíndricos, puede ser de algodón o de papel, más raramente conductor esmaltado en el caso que los transformadores que no sean enfriados por aceite”. (Transformadores, 1997, pp. 150-170).

Para transformadores de mediana y gran potencia, se recurre al uso de placa o solera de cobre aislada, el aislamiento es por lo general de papel. En el caso de que las corrientes que transporte el devanado sean elevadas ya sea por facilidad de manipulación en la construcción o bien para reducir las corrientes parásitas, se puede construir el devanado con más de una solera o placa en paralelo” (Transformadores, 1997, pp. 150-170).

## **Devanados de alta tensión**

“Los devanados de alta tensión, tiene en comparación con los de baja tensión, muchas espiras, y la corriente que circula por ellos, es relativamente baja, por lo que son de conductor de cobre de sección circular con diámetro de 2.5 a 3.0 mm” (Transformadores, 1997, pp. 150-170).

“Con respecto a las características constructivas, se tienen variantes de fabricante a fabricante, hay básicamente dos tipos, el llamado tipo bobina formados de varias capas de conductores, estas bobinas tienen forma discoidal, estas bobinas se conectan, por lo general, en serie para dar el número total de espiras de una fase. El otro tipo es el llamado "de capas" constituido por una sola bobina con varias capas, esta bobina es de longitud equivalente a las varias bobinas discoidales que constituirían el devanado equivalente, por lo general, el número de espiras por capa en este tipo de devanado, es superior al constituido de varias bobinas discoidales” (Transformadores, 1997, pp. 150-170).

“Como aspectos generales, se puede decir que el primer tipo (bobinas discoidales), da mayor facilidad de enfriamiento e impregnarse de aceite, debido a que dispone canales de circulación más numerosos, también tiene la ventaja de que requiere de conductores de menor diámetro equivalente al otro tipo, da mayor facilidad constructiva. Tiene la desventaja de ser más tardado en su construcción” (Transformadores, 1997, pp. 150-170).

“Las bobinas discoidales se conocen también como tipo galleta, en algunos casos, se forman cada una, de un cierto número de conductores dispuestos en capas y aisladas estas capas entre sí por papel aislante, cada bobina al terminar se amarra con cinta de lino o algodón para darle consistencia mecánica y posteriormente se les da un baño de barniz y se hornean a una cierta temperatura, con lo cual adquiere la rigidez mecánica necesaria. Cada bobina, está diseñada para tener una tensión no superior a 1000-1500 volts, por lo que, para dar la tensión

necesaria para una fase, s deben colocar varias bobinas en serie” (Transformadores, 1997, pp. 150-170).

### **Posición de los devanados**

“La disposición de los devanados en los transformadores, debe ser hecha de tal forma, que se concilien en la mejor forma las dos exigencias que son contrastantes entre sí, del aislamiento y de la menor dispersión del flujo. La primera requiere de la mayor separación entre devanados, en tanto que la segunda, requiere que el primario se encuentra lo más cercano posible del secundario, En la práctica, se alcanza una solución conveniente del problema con la disposición de los devanados dentro de los siguientes tipos” (Transformadores, 1997, pp. 150-170).

Ø Concéntrico.

Ø Concéntrico doble.

Ø Alternado.

“En el tipo concéntrico, cada uno de los devanados está distribuido a lo largo de toda la columna el devanado de tensión más baja se encuentra en la parte interna (más cercana al núcleo) y aislado del núcleo, y del de tensión más elevada, por medio de tubos aislantes (cartón baquelizado, baquelita, etc.)” (Transformadores, 1997, pp. 150-170).

“En la disposición de concéntrico doble, el devanado de tensión más de baja se divide en dos mitades dispuestas respectivamente al interior y al exterior uno de otro” (Transformadores, 1997, pp. 150-170).

“En el llamado tipo alternado, los dos devanados están subdivididos cada uno en una cinta número de bobinas que están dispuestas en las columnas en forma alternada” (Transformadores, 1997, pp. 150-170).

“Las consideraciones que orientan desde el punto de vista de diseño, la disposición de los devanados, son aquellos referentes al enfriamiento, el aislamiento, la reactancia de dispersión y a los esfuerzos mecánicos” (Transformadores, 1997, pp. 150-170).

“Con relación a los aislamientos, la solución más conveniente la representa el tipo concéntrico simple, porque requiere de una sola capa aislante entre los dos devanados, por lo que esta disposición es ventajosa en el caso de tensiones elevadas” (Transformadores, 1997, pp. 150-170).

“El llamado concéntrico doble tiene la prerrogativa de dar lugar a la reactancia de dispersión con valor de alrededor de la mitad de aquel relativo al concéntrico simple. El tipo alternado, en cambio, permite variar tales reactancias, repartiendo en forma distinta las posiciones de las bobinas de los dos devanados. para los esfuerzos mecánicos son mejor las disposiciones de tipo alternado, pues permite que el transformador soporte mejor los esfuerzos mecánicos” (Transformadores, 1997, pp. 150-170).

### **Construcción de los devanados**

“Como se indicó anteriormente, los conductores usados para la construcción de los devanados, pueden ser de alambre circular (como un diámetro comprendido entre 0.2 y 0.4 mm) o bien solera de distintas medidas” (Transformadores, 1997, pp. 150-170).

Según sea el tipo de las espiras de las bobinas, se pueden construir en dos formas.

Ø Helicoidal continua.

Ø Con bobinas separadas (discoidales).

“Las bobinas helicoidales se hacen, por lo general, cuando el conductor empleado es de solera, lo único que se debe tener cuidado es en la forma del aislamiento con respecto al núcleo y eventualmente su constitución mecánica. Este tipo de construcción tiene cierto tipo de

limitaciones, en cuanto al aislamiento se refiere, aun cuando se puede construir en varias capas, por lo que su práctica se limita a los devanados de baja tensión” (Transformadores, 1997, pp. 150-170).

“La construcción de bobinas discoidales (para devanados con bobinas separadas), generalmente se hace con el mismo número de espiras por bobinas y de capas se hace de manera que se limite la tensión máxima entre espiras de capas adyacentes a un valor entre 200 y 300 volts, con esto se espera que en general, y sólo en casos excepcionales, el voltaje por bobina sea cuando mucho 1000 volts entre capas separadas por papel aislante” (Transformadores, 1997, pp. 150-170).

“Con relación a la posición de los devanados, los transformadores son de dos tipos: de devanados concéntricos y devanados alternados” (Transformadores, 1997, pp. 150-170).

“En el caso de los transformadores con devanados concéntricos, estos, los devanados primario y secundario, son completamente distintos y se encuentran montados uno dentro del otro sobre el núcleo, estando, por razones de aislamiento, principalmente el devanado de menor voltaje más cerca del núcleo” (Transformadores, 1997, pp. 150-170)

“En transformadores de mayor potencia y sólo excepcionalmente, se puede dividir el devanado de bajo voltaje en dos partes, de manera que uno quede cercano al núcleo y la otra se coloque sobre el devanado de alta tensión, es decir, es un doble concéntrico” (Transformadores, 1997, pp. 150-170).

La disposición de los devanados concéntrica, es la que tiene un mayor campo de aplicación.

“Cualquiera que sea el tipo de devanado, la construcción de las bobinas se hace normalmente sobre moldes de madera o metálicos montados sobre bobinadoras o devanadoras cuyo tipo es distinto, dependiendo principalmente del tamaño de bobinas por construir. En el

caso de bobinas para transformadores pequeños, que se pueden hacer en talleres de bobinado, estas bobinas son de tipo manual, y eventualmente se pueden llegar a usar tornos“ (Transformadores, 1997, pp. 150-170).

“Cuando se termina de devanar una bobina, antes su montaje se le debe dar un tratamiento como secarla en vacío para quitar posibles restos de humedad, y también un proceso de impregnación de barniz aislante y horneado a una temperatura que depende del tipo de barniz y cuyo objetivo es dar consistencia mecánica” (Transformadores, 1997, pp. 150-170).

### **Aislamiento externo de los devanados.**

“Los devanados primario y secundario, deben estar aislados entere sí, generalmente estos aislamientos de por medio de separadores de madera, baquelita o materiales aislantes similares que además cumplan con funciones refrigerantes” (Transformadores, 1997, pp. 150-170).

### **Sistema de Amarre Axial de los Devanados Mediante Tornillos Opuestos de Presión**

“El aislamiento entre las fases de los transformadores trifásicos se efectúa separando convenientemente las columnas, entre las cuales se interponen algunas veces separadores o diafragmas de cartón tratado o bien de baquelita.

El aislamiento externo entre las fases, se logra por medio de las boquillas a las que se conectan las terminales de los devanados” (Transformadores, 1997, pp. 150-170).

### **Conexiones de los devanados**

Cuando se construye un devanado, se puede bobinar en el sentido a la derecha o a la izquierda (con respecto al sentido de las manecillas del reloj), se ha observado que una corriente que tiene un determinado sentido, produce un flujo magnético en sentido opuesto, se tiene un devanado construido hacia la izquierda o un devanado hacia la derecha, esto se debe tomar en



consideración, para evitar que con las conexiones que se realicen, se tengan flujos opuestos o voltajes inducidos opuestos. En general, cada fabricante adopta un sentido único de devanado para todas las bobinas, tanto secundarias como primarias.

En los transformadores monofásicos de dos columnas, el flujo es directo y en sentido opuesto en las dos columnas, esto significa que debe haber una forma de conexión.

### **Cambio en la relación de transformación.**

En una red de distribución, la tensión no es exactamente la misma en todos los puntos, debido a que la caída de tensión depende de la distancia del punto de alimentación y de la magnitud de la carga. Para poder emplear los transformadores de distribución en los distintos puntos de la red y adaptarlos a las variaciones tensión, se provee uno de los devanados de un cambiador de derivaciones (El de alta tensión) de tal forma que se puedan aumentar o disminuir el número de espiras y en consecuencia, variar la relación de transformación dentro de límites establecidos, estos límites, normalmente son del 5 %.

## VI. Materiales eléctricos usados en la construcción de transformadores

### **Conductores eléctricos.**

Los materiales usados como conductores en los transformadores, al igual que los usados en otras máquinas eléctrica, deben ser de alta conductividad, ya que con ellos se fabrican las bobinas. Los requisitos fundamentales que deben cumplir los materiales conductores, son los siguientes:

- i. La más alta conductividad posible.
- ii. El menor coeficiente posible de temperatura por resistencia eléctrica.
- iii. Una adecuada resistencia mecánica.
- iv. Deben ser dúctiles y maleables.
- v. Deben ser fácilmente soldables.

vi. Tener una adecuada resistencia a la corrosión.

“La resistividad o resistencia específica, a la tensión disruptiva, la permitividad y la histéresis dieléctrica en adición a las propiedades dieléctricas se deben considerar también las propiedades mecánicas y su capacidad para soportar la acción de agentes químicos, el calor y otros elementos presentes durante su operación” (Transformadores, 1997, pp. 150-170).

### **La temperatura y los materiales aislantes**

“Uno de los factores que más afectan la vida de los aislamientos, es la temperatura de operación de las máquinas eléctricas, esta temperatura está producida principalmente por las pérdidas y en el caso específico de los transformadores, durante su operación, estas pérdidas están localizadas en los siguientes elementos principales” (Transformadores, 1997, pp. 150-170).

“El núcleo o circuito magnético, aquí las pérdidas son producidas por el efecto de histéresis y las corrientes circulantes en las laminaciones, son dependientes de la inducción, es decir, que influye el voltaje de operación” (Transformadores, 1997, pp. 150-170).

Los devanados, aquí las pérdidas se deben principalmente al efecto joule y en menos medida por corrientes de Foucault, estas pérdidas en los devanados son dependientes de la carga en el transformador.

Se presentan también pérdidas en las uniones o conexiones que se conocen también como "puntos calientes" así como en los cambiadores de derivaciones.

Todas estas pérdidas producen calentamiento en los transformadores, y se debe eliminar este calentamiento a valores que no resultan peligrosos para los aislamientos, por medio de la aplicación de distintos medios de enfriamiento.

Con el propósito de mantener en forma confiable y satisfactoria la operación de las maquinas eléctricas, el calentamiento de cada una de sus partes, se debe controlar dentro de ciertos límites previamente definidos.

Las pérdidas en una máquina eléctrica son importantes no tanto porque constituyan una fuente de ineficiencia, sino porque pueden representar una fuente importante de elevación de temperatura para los devanado, esta elevación de temperatura puede producir efectos en los aislamientos de los propios devanados, o bien en los aislamientos entre devanados y el núcleo, por esta razón, es siempre importante que todos los aislamientos entre devanados y el núcleo, por tanto, es siempre trascendental que todos los aislamientos ese mantengan dentro de los límites de temperatura que garanticen su correcta operación, sin perder su efectividad.

Como la elevación en la temperatura depende también de la carga en las máquinas dentro de sus límites de carga o "cargabilidad" establecidos, para así respetar los límites de temperatura de sus aislamientos.

En su régimen nominal de operación, un transformador tiene estrechamente, ligado su voltaje y potencia a los límites impuestos por los aislamientos usados y en menor grado por las pérdidas por efecto joule.

### **Clasificación de los materiales aislantes**

La clasificación de los materiales aislantes para máquinas eléctricas con relación a su estabilidad terminal, cubre básicamente siete clases de materiales aislantes que se usan por lo general y que son los siguientes:

Una descripción breve de estos materiales se dan a continuación:

#### **Clase Y.**

Este aislamiento consiste de materiales o combinaciones de materiales, tales como algodón, seda y papel sin impregnar.

#### **Clase A.**

Este aislamiento consiste de materiales o combinaciones de materiales tales como el algodón, seda y papel con alguna impregnación o recubrimiento o cuando se sumergen en dieléctricos líquidos tales como aceite. Otros materiales o combinación de materiales que caigan dentro de estos límites de temperatura, pueden caer dentro de esta categoría.

#### **Clase E.**

Este aislamiento consiste de materiales o combinaciones de materiales que por experiencia o por pruebas, pueden operar a temperaturas hasta de 5 °C, sobre el temperatura de los aislamientos Clase A.

#### **Clase B.**

Este aislamiento consiste de materiales o combinaciones de materiales tales como la sílica, fibra de vidrio, asbestos, etc. con algunas sustancias aglutinantes, puede haber otros materiales inorgánicos.

#### **Clase F.**

Este aislamiento consiste en materiales o combinaciones de materiales tales como mica, fibra de vidrio, asbestos, etc., con sustancias aglutinables, así como otros materiales o combinaciones de materiales no necesariamente inorgánicos.

### **Clase H.**

Este aislamiento consiste de materiales tales como el silicón, elastómeros y combinaciones de materiales tales como la mica, la fibra de vidrio, asbestos, etc., con sustancias aglutinables como son las resinas y silicones apropiados.

### **Clase C.**

Este aislamiento consiste de materiales o combinaciones de materiales tales como la mica, la porcelana, vidrio, cuarzo con o sin aglutinantes.

## VII. Métodos de enfriamiento de transformadores de potencia

Como ya se mencionó antes, el calor producido por las pérdidas en los transformadores afecta la vida de los aislamientos, por esta razón es importante que este calor producido disipe de manera que se mantenga dentro de los límites tolerables por los distintos tipos de aislamiento.

La transmisión del calor tiene las etapas siguientes en los diferentes tipos de transformadores:

- ✓ Ø Conducción a través del núcleo, bobinas y demás elementos hasta la superficie.
- ✓ Ø Transmisión por convección en el caso de los transformadores secos.
- ✓ Ø Para los transformadores en aceite, el calor se transmite por convección a través de este dieléctrico.

### **3.1.10. Transformadores para servicios auxiliares en una subestación de potencia**

Un transformador de servicios auxiliares, permiten obtener un suministro de energía en baja tensión de varios kVA directamente de una línea de alta tensión.

Los transformadores para Servicios Auxiliares combinan los beneficios de un transformador de potencial con aplicaciones de un transformador de distribución.

#### *3.1.10.1. Usos del transformador de servicios auxiliares*

1) **Alimentación de servicios auxiliares de subestaciones**, “como suministro de potencia dentro de subestaciones convencionales donde se requiere suministrar o respaldar con energía en baja tensión, así como en zonas remotas o rurales donde la construcción de redes de distribución es insegura además de intermitente y requerir mantenimiento frecuente y de un costo muy elevado. Como fuente de potencia primaria en subestaciones de switcheo sin transformador de potencia para suministrar a la subestación y los sistemas de control SCADA” (Arteche, 2019, pp. 3-8).

2) **Alimentación de sistemas de telecomunicaciones**, “en el suministro eléctrico de calidad para antenas repetidoras situadas en lugares remotos. Se puede conectar directamente el transformador de una línea de transmisión cercana” (Arteche, 2019, pp. 3-8.)

3) **Electrificación rural de poblados aislados**, “como fuente de potencia para suministrar energía de forma confiable y económica a comunidades rurales localizadas en lugares apartados en donde no existen circuitos de distribución cercanos, pero sí existen líneas de transmisión. Este uso en particular proporciona energía de una línea de transmisión de 230 kV o de 115 kV y suministra electricidad en baja tensión” (Arteche, 2019, pp. 3-8).

4) **Alimentación temporal**, “durante la construcción de subestaciones, parques eólicos, etc. y suministro de emergencia durante catástrofes naturales” (Arteche, 2019, pp. 3-8)

5) **Elevador de tensión**, “en laboratorios de ensayos eléctricos de alta tensión, parques eólicos y granjas solares” (Arteche, 2019, pp. 3-8).

#### *3.1.10.2. Diseño y fabricación del transformador de servicios auxiliares*

“Los transformadores de tensión para servicios auxiliares o propios presentan una conexión directa de fase a tierra con aislamiento galvánico entre el arrollamiento primario y

secundario, que están bobinados sobre el mismo núcleo magnético, pero con aislamiento independiente. Los transformadores de tensión para servicios auxiliares aislados en papel-aceite se componen de un núcleo magnético situado dentro de una cuba metálica sobre el cual están arrolladas los bobinados primarios y secundarios. La tensión primaria es conducida mediante una borne formado por un conjunto de pantallas y capas de papel aislante impregnado en aceite. Para controlar las variaciones de su nivel, están dotados de una cámara de compensación. Los transformadores de tensión para servicios auxiliares aislados en gas se componen de un núcleo magnético situado dentro de una cuba metálica sobre el cual están arrollados los bobinados primarios y secundarios. Para estos bobinados se utilizan cables eléctricos resistentes al calor con revestimiento de resina sintética y una película de plástico con alta resistencia dieléctrica, gran resistencia al calor y fuerte resistencia mecánica” (Arteche, 2019, pp. 3-8).

El gas SF6 (hexafluoruro de azufre) y la película de plástico son el medio de aislamiento entre las capas de bobinado. Hay una válvula de entrada para el gas SF6 (hexafluoruro de azufre) en la parte lateral del depósito y existen dispositivos de monitorización para las fugas y la presión de gas.

### *3.1.10.3. Protecciones internas del transformador de servicios auxiliares*

Pueden ser:

- Relé de protección de Temperatura de aceite, se encarga de la medición de temperatura de aceite, el cual es usado como refrigeración en el transformador. (Elektromotoren und Gerätebau Barleben GmbH, 2018, p. 1)



Figura 43. Relé de protección de temperatura del aceite. Tomado de rienhausen.com

○ Relé Bucholz. Las descargas eléctricas en el aceite aislante producen un desprendimiento de gases. El relé reacciona ante acumulaciones de gas o aire en el interior de la cuba o también al bajar excesivamente el nivel de aceite, poniendo en marcha una señal de alarma, o en caso de que la avería fuera grave, desconectando el transformador. Se coloca entre la cuba y el depósito de expansión. (Elektromotoren und Gerätebau Barleben GmbH, 2018, p. 1).



Figura 44, rele bucholz. Tomado de sw industry co

○ Relé de control de presión de aceite, debido a la temperatura de aceite, este relé controla presión que se pueda originar debido a ello. (Elektromotoren und Gerätebau Barleben GmbH, 2018, p.1).





*Figura 45.* Relé de control de aceite. Tomado de internet

- Relé de temperatura del devanado, este controla la elevación de la temperatura dentro del devanado primario y secundaria del transformador. (Elektromotoren d Gerätebau Barleben GmbH, 2018, p. 1).

## CAPÍTULO IV

### DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD PROFESIONAL

#### 4.1. Montaje Eléctrico del Circuito de Alimentación de las Protecciones Internas del Transformador de Servicios Auxiliares

##### 4.1.1. Antecedentes del problema

En la tesina denominada **“Variación del circuito de alimentación de las protecciones de control del transformador de 4160/480 VAC”** realizado por el mismo autor se expone de manera detallada él porque se hace la variación en mención del circuito de alimentación.

En el siguiente diagrama se puede apreciar donde se encuentran las protecciones internas del transformador de servicios auxiliares, como son temperatura de aceite, nivel de aceite, temperatura de devanado, presión de tanque.

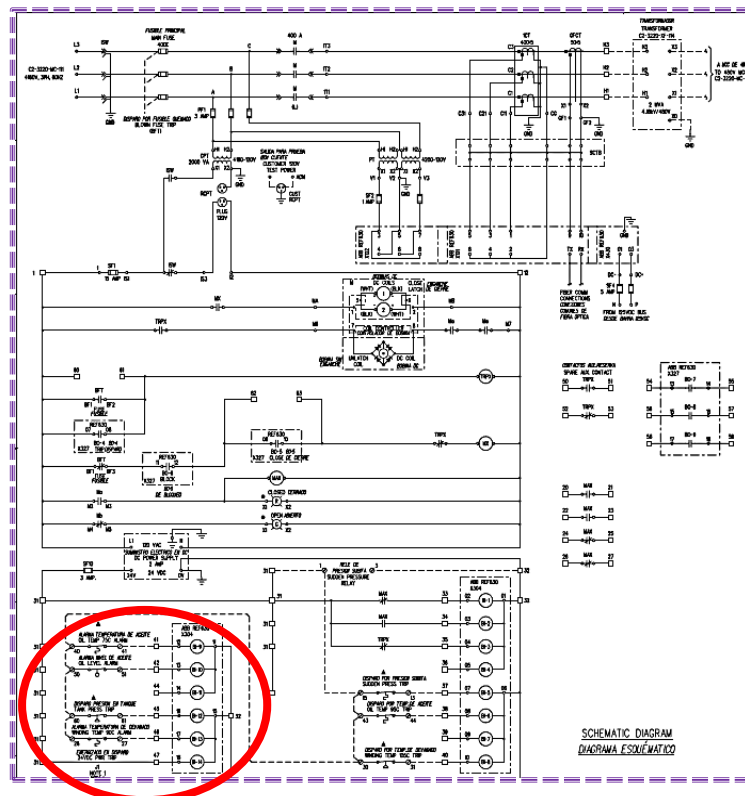


Figura 46. Esquema eléctrico de conexionado de alarmas y sensores de transformador de SSAA.

#### 4.1.2. Características del circuito eléctrico antes del cambio

Como antecedente debemos tener en cuenta que anteriormente los circuitos de protección estaban alimentados por energía eléctrica suministrada por un transformador de 4160/120 VAC, el cual tenía la característica de que la línea de alimentación principal de 4160 voltios, no era tan “segura”, porque cada vez que se presentan anomalías en la línea trifásica de 4160 voltios, esta afectaba directamente a la alimentación de las protecciones internas del transformador. Y la consecuencia directa de la no alimentación eléctrica es que las protecciones del transformador se activaran automáticamente y lo sacaran fuera de línea. También queda acotar, que esta disposición en el cableado eléctrico, esta desde que se instaló el transformador en sus inicios, y siempre ha tenido estas fallas.

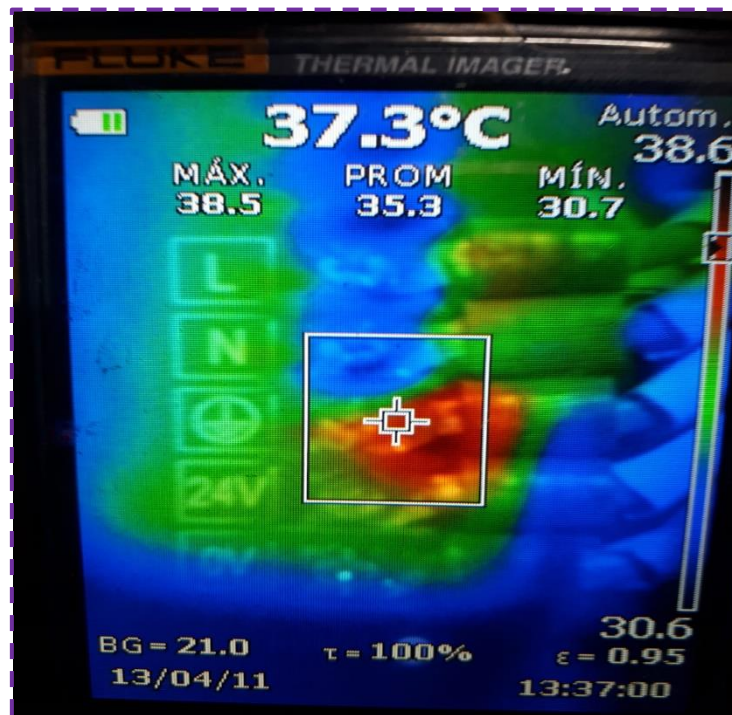


Figura 47-A. Conductor con fallas vista desde una cámara termográfica.

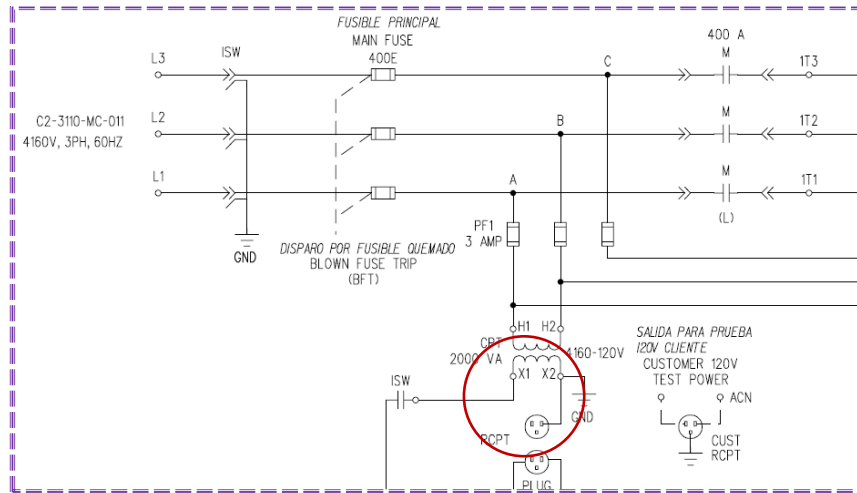


Figura 47-B. esquema eléctrico de conexionado a 120 VAC de ELC-PS02.

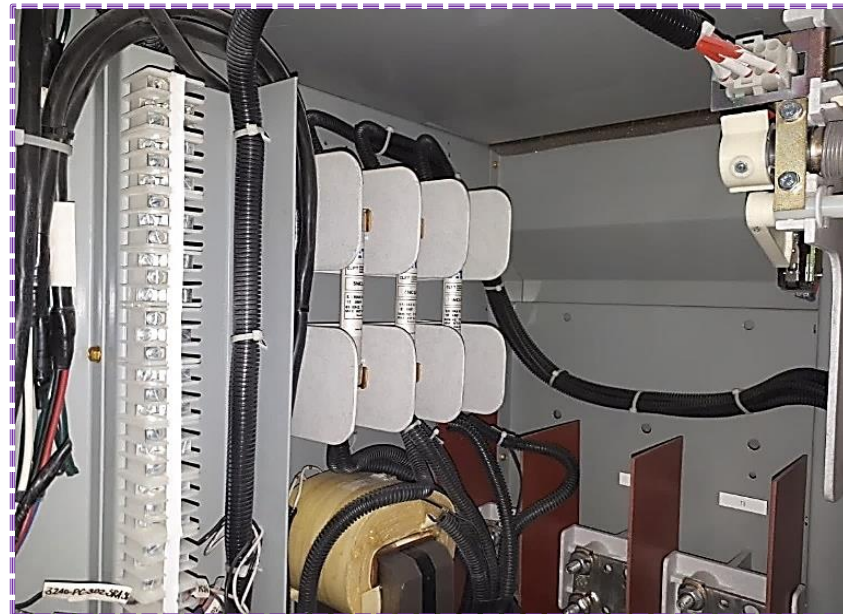


Figura 48. conexión antigua a la línea de 4160 VAC.

La consecuencia de que las alarmas y protecciones internas del transformador, se queden sin energía; es que el relé REF 630, accione su disparo. Y por consecuencia, corte el funcionamiento del transformador.

Las alarmas y protecciones del transformador están conectadas directamente al relé de protección REF 630 ABB, cuya misión es proteger al transformador de averías que puedan dañar su funcionamiento.

Cuando el relé REF 630, no detecta alguna señal que viene de las alarmas o protecciones internas del transformador, entra en acción disparando la señal de emergencia, el cual hace que el transformador de SSAA salga de línea.

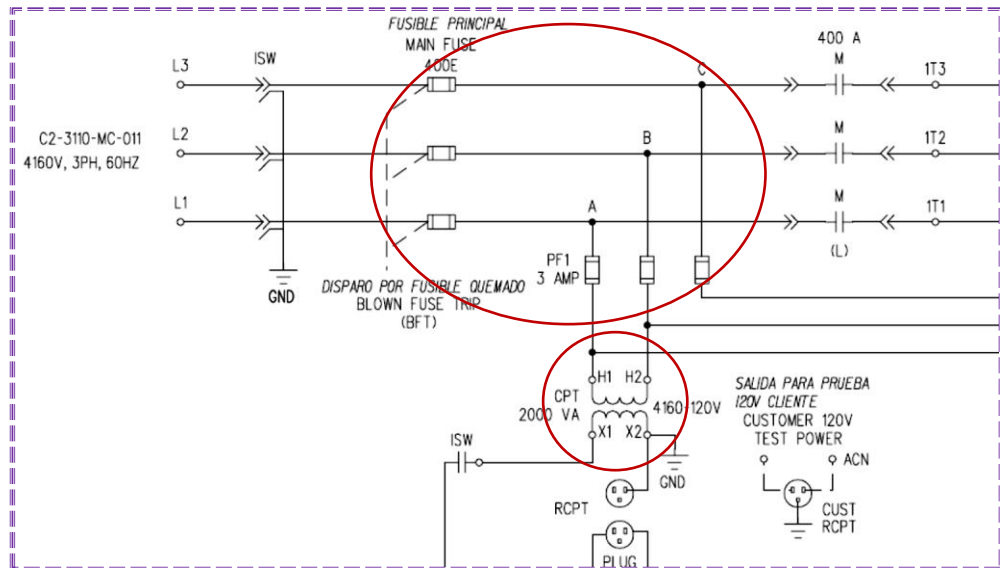


Figura 49. Esquema eléctrico de conexionado de ELC-PS02 a la red principal de 4160 VAC Tomado de propia



Figura 50. Conexión antigua de la línea de 4160 VAC



Para hacer posible este conexionado, es necesario implementarlo con los, terminales y con los cables adecuados, respetando los estándares de conexionado.

**4.1.3. Pasos para la implementación del conexionado de control a circuito de transformador de servicios auxiliares**

1. De acuerdo al diagrama de conexionado, de conexiones eléctricas se puede ver claramente que la alimentación eléctrica que se debe proporcionar a la fuente de alimentación ELC-PS02 de EATON es de 120 VAC, y es de vital importancia porque esta fuente de alimentación suministra energía a las protecciones propias del transformador.

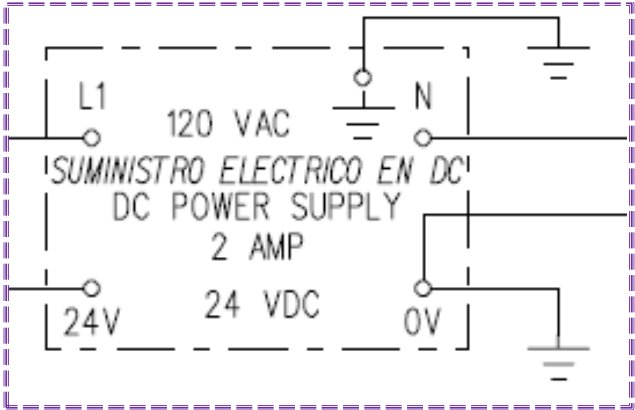


Figura 52. Diagrama de fuente de alimentación ELC-PS02

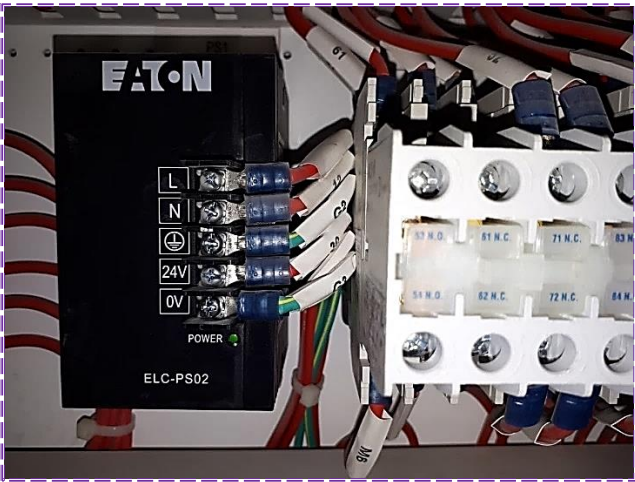


Figura 53. Fuente de alimentación ELC-PS02 EATON





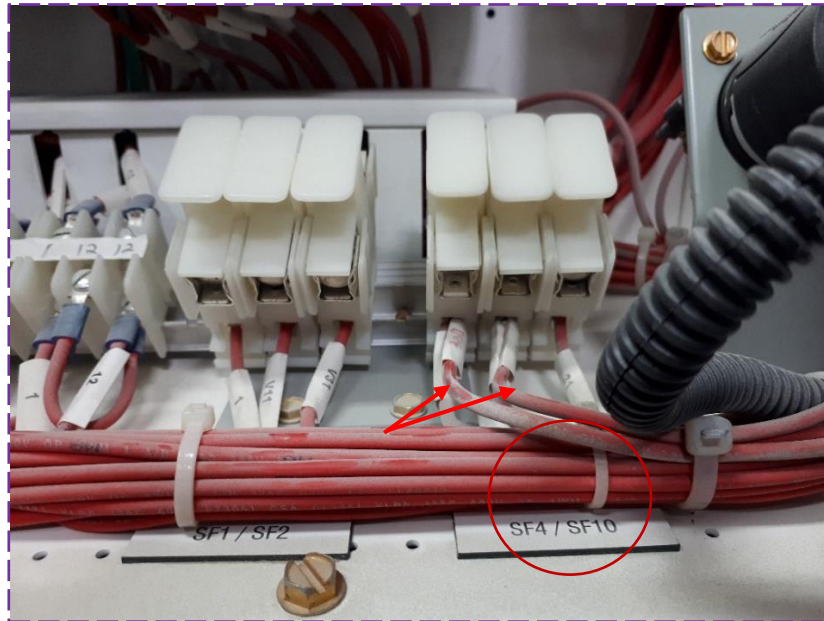


Figura 56. Conexión en regleta de alimentación SF4

El conexionado a la regleta de conexiones SF4 DC+ y DC- se realiza instalando un cableado nuevo de control, luego tenemos que colocar los tags y terminales tipo redondo a los extremos del cable para posteriormente prensarlos y queden fijos.

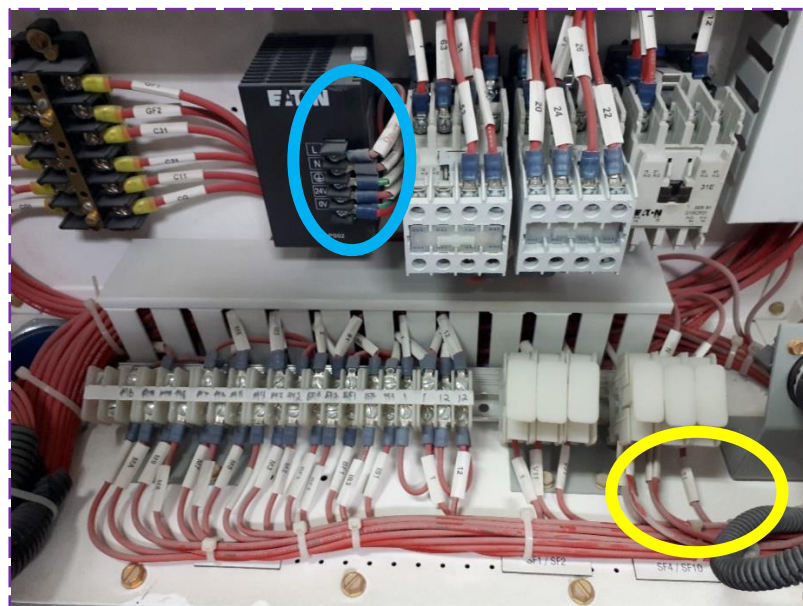


Figura 57. Conexión con terminales y/o conectores de tipo redondos

2. Una vez conectado a la regleta lo que queda es hacer el conexionado a la fuente EATON, para que los sistemas internos de protección, lleven la energía hacia la mencionada fuente.

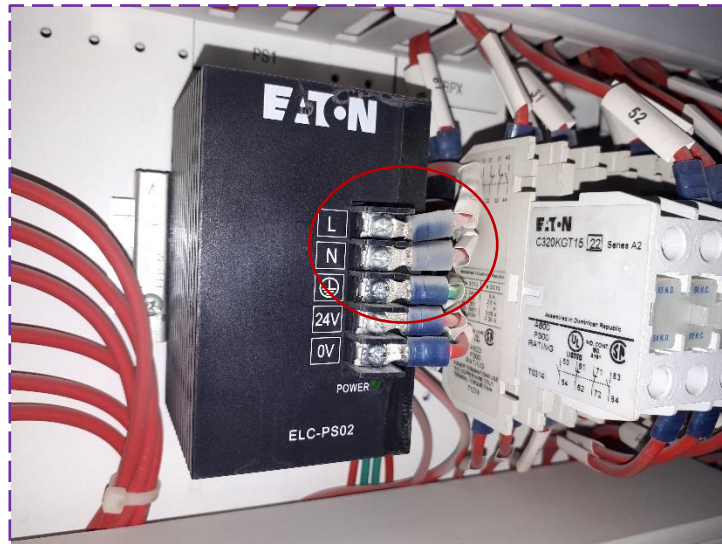


Figura 58. Terminales usados en el conexionado de cables a la fuente.



Figura 59. Zoom de conexionado eléctrico con fuente EATON

3. Desde la fuente ELC-PS EATON, se procede a conectar las protecciones internas, del transformador de servicios auxiliares mediante el conector PSG de EATON, que brinda energía en corriente continua para las protecciones internas del transformador.

4. También es necesario ver que la fuente ELC-PS EATON, ha sido modificada para proveer corriente continua a las protecciones internas del transformador, estas modificaciones han sido detalladas en el trabajo “Variación del circuito de alimentación de las protecciones de control del transformador de 4160/480 VAC”. Pero básicamente la modificación que se hizo fue adaptar la fuente ELC-PS EATON, para que pueda suministrar corriente continua gracias a que tiene la misma arquitectura que una fuente *switching*.

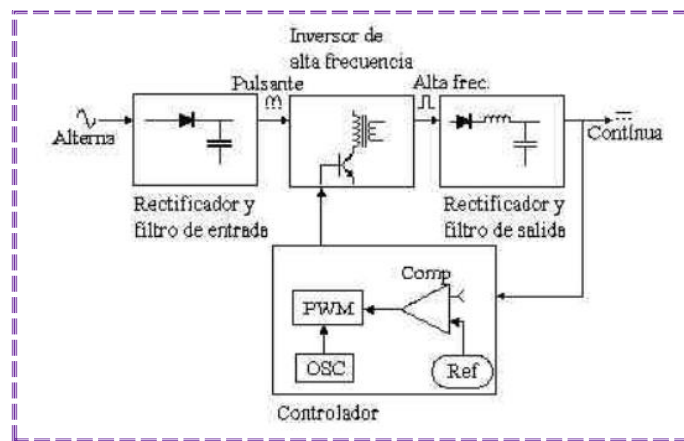


Figura 60. Diagrama de bloques de la fuente PC EATON

5. Una vez conectado la fuente de alimentación vemos que el HMI (interfaz hombre maquina) de las protecciones internas del transformador de servicios auxiliares, muestra, el funcionamiento normal de todas estas protecciones.

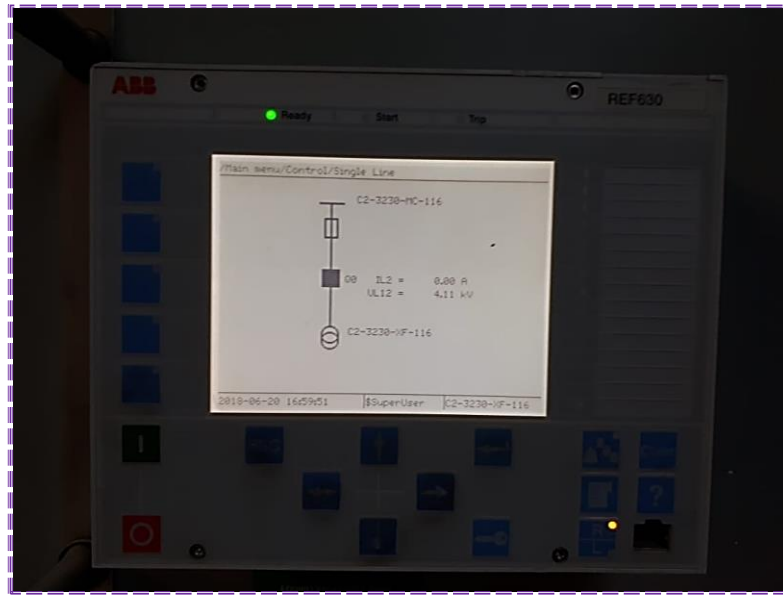


Figura 61. HMI Visualización correcta del circuito del transformador sin alarmas



Figura 62. HMI Visualización correcta del circuito eléctrico sin fallas ni alarmas

6. Una vez realizado el cambio del circuito se tiene al equipo en transformador con un funcionamiento normal de todas estas protecciones como se puede apreciar en la fotografía de cámara termográfica.



Figura 63. HMI Visualización termografica correcta del circuito eléctrico sin fallas

#### 4.2. Enfoque de las Actividades Profesionales

El desarrollo de las actividades describe los procesos, de evaluación, análisis diseño y dimensionamiento de la solución del problema, el cual propondrá establecer y estandarizar el procedimiento para el mantenimiento de transformadores de BT y MT, garantizando la ejecución segura y optima de la tarea enfocados en la producción segura y siendo ambientalmente responsables durante el desarrollo de las actividades.

Este PETS (procedimiento de Trabajo Seguro) aplica a todo el personal de Mantenimiento E/I que intervenga en el proceso del Mantenimiento transformadores de B.T y M.T instalados en las subestaciones eléctricas, transformadores de iluminación en campo de diferentes áreas y MCC de planta concentradora de SMCV C2.

Inicia con la coordinación para el corte de energía con los responsables de las áreas afectadas, la entrega de operaciones a mantenimiento eléctrico, y concluye con las pruebas de operación y la entrega del equipo a operaciones.

#### **4.2.1. Responsabilidad del ingeniero supervisor de Mantenimiento E / I Procesos**

- a. Conocer, instruir, respetar y hacer respetar a su personal a cargo las condiciones establecidas en este procedimiento y verificar su cumplimiento en terreno.
- b. Coordinar con las áreas afectadas y con los Supervisores de turno la intervención y maniobras necesarias para la tarea.
- c. Proveer a su personal el EPP (equipos de protección personal) adecuado que es requerido para realizar esta actividad.
- d. Proveer de las herramientas, repuestos y materiales necesarios a su personal para la correcta ejecución del mantenimiento y /o cambio de los instrumentos si fuera necesario.
- e. Asegurarse que su personal que intervenga estos equipos esté calificado para intervenirlos.
- f. Mantener al alcance de su personal manuales de operación y mantenimiento de los equipos, para que éstos puedan ser consultados cada vez que se realicen intervenciones; así como los FDS de los productos químicos utilizados.
- g. Evaluar y analizar las condiciones de seguridad de su personal antes de la intervención.

#### **4.3. Alcance de las Actividades Profesionales**

El desarrollo de los proyectos eléctricos alcanza al área de mantenimiento eléctrico en la SMCV, que necesiten mejoras en sus instalaciones, ejecución de nuevos proyectos, automatización. Y puesta en marcha del sistema eléctrico los cuales comprenden:

- a) Cable de media tensión en 4.16KV – Llegada a Subestación.
- b) Celda de seccionamiento.
- c) Banco de transformadores de potencia.

- d) Tableros de distribución en baja tensión.
- e) Tableros de arranque.
- f) Cables de baja tensión.
- g) Motores de bombas.
- h) Sistema de puesta a tierra de Subestación.
- i) Sistema de puesta a tierra de sala eléctrica.
- j) Aterramiento de equipos.
- k) Sistema de ductos de cables (Ductos- bandejas - cables).
- l) Sistema de protección eléctrica.
- m) Sistema de señalización.
- n) Iluminación de los diferentes proyectos.
- o) Centro de control de motores en media y baja tensión MCC
- p) Fuentes de alimentación ininterrumpida UPS y banco de baterías

#### 4.3.1. Trabajos de coordinación del ingeniero supervisor de Mantenimiento

- Inicialmente el supervisor del área de Mantenimiento Eléctrico o el Técnico responsable de la tarea deberán coordinar con personal del área afectada y personal de apoyo.
- Toda comunicación a distancia debe efectuarse haciendo un uso apropiado de los medios de comunicación disponibles, llámese correo electrónico, comunicación escrita, comunicación telefónica, comunicación vía teléfonos móviles, radial (usado en la frecuencia del área de trabajo).

- Si el área tiene altos niveles de polvo y ruido, es necesario el uso permanente del equipo de protección adecuada, según estándar SSOst0018 Selección, Distribución y Uso de EPP's.
- Preparar toda la documentación necesaria para la labor a realizar (manuales de operación y mantenimiento de equipo, formato de IPERC continuo, además de la documentación adicional si es que fuera el caso, PETAR procedimiento escrito para trabajos de alto riesgo).
- Personal electricista demarcara el área de trabajo con conos de seguridad y barras. Estas se ubicarán de manera que el personal que transite por la zona se percate de los trabajos que se están realizando. Para la demarcación del área se tendrá en cuenta el estándar SSOst0010 Restricción y Demarcación de área.
- Todas las herramientas a utilizar en la tarea, debe de contar con la inspección trimestral del periodo en curso según el SGIst0001 Inspección de Herramientas, Equipos e Instalaciones.

#### **4.4. Aspectos Técnicos de la Actividad Profesional**

##### **4.4.1. Metodologías**

El término Método proviene del griego métodos, donde la raíz meta, significa a lo largo o hacia y odos, camino, es decir, a lo largo del camino.

La palabra método da la idea de orden y de pasos a seguir para lograr un objetivo.

Los métodos utilizados en el área donde laboro son los siguientes:

- **Método de organización.** Mediante este método se busca establecer la norma disciplinaria y delegar funciones a cada miembro del grupo al fin de ejecutar bien el plan de trabajo encomendado.



- **Método de conformidad.** La conformidad del servicio está compuesta de documentos que muestran el detalle de la obra terminada (planos, presupuestos, especificaciones técnicas, protocolos prueba de los equipos, catálogos, manuales etc.), que incorporan todas las modificaciones que se llevaron a cabo durante el montaje electromecánico.

#### **4.4.2. Técnicas**

Se entiende que las técnicas es el conjunto de instrumentos y medios a través de los cual se efectúa el método.

- Técnica de la observación. Este método lo utilizamos desde el inicio y hasta el último día de nuestra ejecución del trabajo, preguntándonos, con que contábamos, y que necesitábamos. Este método prevaleció más sobre las demás que utilizamos. Realizamos las siguientes observaciones:
- Elección del espacio y los sujetos a observar.
- Acceso al espacio.
- La evaluación de los riesgos que el trabajo pueda suponer, teniendo en cuenta las características de las instalaciones, el propio trabajo y el entorno en el que va a realizarse.
- Todo trabajo en una instalación eléctrica, o en su proximidad, que conlleve un riesgo eléctrico deberá efectuarse sin tensión.
- Así como maniobras, mediciones, ensayos y verificaciones cuya naturaleza así lo exija, tales por ejemplo la apertura y cierre de interruptores o seccionadores, la medición de variables y la realización de ensayos de aislamiento eléctrico.
- Técnica del Internet. La información al alcance de la mano, el internet fue parte de nuestras herramientas para nuestra recolección de datos, ubicación y codificación de Subestaciones de Distribución, poste de media y baja tensión.

- Técnica documenta.: en este tipo de técnica empleamos predominantemente los registros impresos del cronograma de actividades y la representación gráfica de la ubicación del plan a ejecutar.

#### **4.4.3. Instrumentos utilizados**

Los *softwares* utilizados en los cálculos tienen las debidas licencias requeridas y el uso de estas es solo para trabajadores de la empresa.

##### *4.4.3.1. Software CADE SIMU*

CADE SIMU es un programa bastante sencillo para elaborar esquemas de mando y potencia de B.T. CADE\_SIMU es un programa de CAD electrotécnico que permite insertar los distintos símbolos organizados en librerías y trazar un esquema eléctrico de una forma fácil y rápida para posteriormente realizar la simulación.

El programa en modo simulación visualiza el estado de cada componente eléctrico cuando está activado al igual que resalta los conductores eléctricos sometidos al paso de una corriente eléctrica.

Por medio de la interface CAD el usuario dibuja el esquema de forma fácil y rápida. Una vez realizado el esquema por medio de la simulación se puede verificar el correcto funcionamiento.

##### *4.4.3.2. Office*

Dentro del office los programas que más se utilizo es el Word y Power Point, los cuales he empleado para la elaboración de los informes, y presentación de la solución viable del proyecto en mención.

#### 4.4.3.3. *Microsoft Project*

Es un *software* de administración de proyectos diseñado, desarrollado y comercializado por Microsoft con el cual puedo administrar los diferentes proyectos eléctricos y el desarrollo de planes, asignación de recursos a tareas, dar seguimiento al progreso, administrar presupuesto y analizar cargas de trabajo.

#### 4.4.3.4. *Autocad*

AutoCAD es un programa que utilizo para diseñar los planos eléctricos de los proyectos, pudiendo crear diseños de todo tipo en 2d y 3d, planos, objetos, cortes de objetos, etc.

Lo que permite la operatividad a la técnica es el instrumento de investigación.

Dentro de la técnica de la observación los instrumentos utilizados son:

- Las fotos.
- Las fichas
- Cuaderno de notas.
- La cámara fotográfica.

Dentro de la técnica documental los instrumentos utilizados son:

- Plan de trabajo.
- Mapas, formato de nota de salida, actas de tensión.
- Formatos de Inspección minuciosa de Subestaciones de Distribución.
- Notas de devolución de materiales usados.
- Informe técnico para baja de activo fijo.
- Check List, IPERC Continuo.

Dentro de la técnica del internet los instrumentos utilizados son los siguientes:

- Reporte de página electrónica.

#### **4.4.4. Equipos y materiales utilizados en el desarrollo de las actividades**

Los equipos utilizados para la realización del trabajo fueron los siguientes:

- Laptop.
- Dispositivos de comunicación cable serial RS232
- Computadoras
- Impresoras.
- Útiles de Escritorio.
- Flexómetro
- Fluke cámara termografica
- Fluke 375 Pinza amperimétrica de CA/CC
- Multímetro Fluke

## **CAPÍTULO V**

### **RESULTADOS**

#### **5.1. Resultados Finales de la Actividad Realizada**

Como resultado de la actividad realizada se mejoró la eficiencia en horas productivas de la planta concentradora, porque con el cambio realizado, las paradas intempestivas de la planta se redujeron casi al 100 %. En la implementación se cumplió la exigencia técnica requerida para este tipo de actividades.

#### **Con respecto al resultado final de la actividad realizada**

Establecer y estandarizar el procedimiento para el Mantenimiento de Transformadores de BT y MT, garantizando la ejecución segura y optima de la tarea enfocados en la producción segura y siendo ambientalmente responsables durante el desarrollo de las actividades.

#### **5.2. Logros Alcanzados**

Esta intervención en el proceso del Mantenimiento transformadores de B.T y M.T., el cual incluye el cambio del circuito en los equipos instalados en las subestaciones eléctricas.

#### **En el ámbito como ingeniero electricista**

En esta coordinación realizada para el mantenimiento con los responsables de las áreas afectadas, es muy importante y satisfactoria de la entrega de un equipo operativo al proceso productivo, ya que esta implica confianza en el trabajo realizado.

##### **5.2.1. En el ámbito del proyecto**

Se obtuvo los siguientes logros en el proyecto:

- Inicialmente se implementó el cambio del circuito en un equipo, debido a que este problema se podía volver a presentar.
- Se demostró en una parada de planta que el circuito que inicialmente se implementó realmente funciona y se continuó realizando el cambio de circuitos en todos los equipos de la planta.
- Este trabajo solo se pudo realizar en las paradas de planta programadas por el área de mantenimiento.
- Tiempo de implementación en todos los circuitos: 2 meses (solo paradas de planta)

### **5.2.2. En el ámbito personal**

Desempeñarme como supervisor electricista, y aplicar los conocimientos adquiridos por la universidad continental, cumplir con las normas y procedimientos de trabajo y gestión ambiental adquiridos durante toda mi carrera profesional.

## **5.3. Aportes del Bachiller en la Empresa**

### **5.3.1. En el aspecto cognoscitivo**

En el aspecto cognoscitivo para el presente informe del bachiller apporto, los conocimientos obtenidos en los cursos desarrollados en la Universidad Continental como son:

- Sistema de suministro y utilización I.
- Maquinas eléctricas I y II
- Instalaciones eléctricas
- Ingeniería de control
- Sistema transmisión y distribución y demás cursos que fueron de mucha ayuda

Además, podemos mencionar que para la elaboración del presente informe el bachiller combinó los conocimientos adquiridos por la universidad continental y las experiencias obtenidas en diferentes unidades operativas en el sector minero.

### **5.3.2. En el aspecto procedimental**

En el aspecto procedimental el bachiller realizó fiel cumplimiento a las normas técnicas nacionales e internacionales, que dieron como resultado la confiabilidad del suministro y la disponibilidad al cliente.

Se desarrolla un plan de mantenimiento preventivo para la planta, a fin de identificar los equipos que presenten mayor frecuencia de falla, con la finalidad de prever acciones necesarias, buscando garantizar la operatividad de los mismos.

Se realiza seguimiento en tiempo real del funcionamiento de todos los equipos eléctricos e instrumentales, a fin de detectar alguna anomalía y realizar su reparación inmediata con las áreas involucradas para entregar una alta disponibilidad a nuestro cliente.

### **5.3.3. En el aspecto actitudinal**

En el aspecto actitudinal el bachiller aportó actitudes positivas de liderazgo y trabajo en equipo obteniendo mayor experiencia en el área de Ingeniería Eléctrica.

Se identificó oportunidades de mejora en el aspecto económico y la manera de reducir costos aplicando metodologías que nos ayudan alcanzar los objetivos.

Se identificó el MTBF tiempo medio entre fallas de los equipos de la planta, con la finalidad de prever acciones necesarias, buscando garantizar la operatividad de los mismos.

Además de realizar Coaching al personal contratista para realizar las actividades de manera segura respetando todos los procedimientos de seguridad y procedimientos técnicos.

## CONCLUSIONES

1. La implementación del circuito de alimentación a los circuitos de protección internos del transformador es solo la secuela del proyecto inicial que era el cambio de alimentación de los circuitos de protección internos del transformador auxiliar. Si bien este trabajo de investigación es el cenit de toda una política de cambio en la empresa, no debemos dejar de darle la importancia correspondiente.
2. La implementación del cableado eléctrico, a través de los diferentes ambientes y gabinetes, ha sido una tarea por demás complicada, desde la evaluación del funcionamiento, que tipo de conectores utilizar, el tipo de cable a usar, las etiquetas correspondientes y otros trabajos, marcan la pauta de esta investigación.
3. Como se dijo en el capítulo primero de esta investigación para hacer, la implementación es necesario tener en cuenta que normas o estándares, pululan a este trabajo de investigación, a nivel nacional e internacional.
4. Se recomienda que, a partir de la aplicación del mantenimiento preventivo, evaluar los costos relacionados a tal proceso, a fin de realizar un análisis comparativo en referencia al costo del equipo y a su mantenimiento.
5. También, es necesario hacer los cálculos correspondientes de intensidad de corriente eléctrica que los cables son capaces de soportar, para que no puedan sufrir algún daño o deterioro alguno. Y una vez hechas estas elecciones de insumos se procederá a la implementación del cableado a las protecciones internas del transformador.
6. Es también imprescindible ver que una vez que esta conexión este realizada, deberá hacerse los *checkins*, respectivos para ver su buen funcionamiento.
7. Podemos ver que nuestro trabajo ha cumplido todos los puntos precedidos anteriormente y por ese motivo, podemos decir que la implementación tuvo éxito, ya que según la HMI (interfaz hombre maquina), todo funciona como correctamente.




## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS





1. ARTECHE INC. *Transformadores de tensión para servicios auxiliares*. © 2018. [consulta: 5 noviembre 2021]. Disponible en: <https://energia.tecnilab.pt/media/118/File/Arteche/ARTECHE-Transf-Tensao-Servicos-Auxiliares.pdf>
2. BANDEJAS PORTACABLES, © 2020, [consulta: 1 noviembre 2021]. Disponible en [https://www.portalelectricos.com/retie/cap3art20\\_0\\_bandejas.php](https://www.portalelectricos.com/retie/cap3art20_0_bandejas.php)
3. BARRIO, R. et al. *Guía práctica de electricidad y electrónica*. 1ra. Ed, Cultural: España, 1999. 187 pp. ISBN 8480551453.
4. BROKERING C.; PALMA, R; VARGAS, L, «Cap. 5». *Ñom Lűfke (El rayo domado) o Los sistemas eléctricos de potencia*, Editorial Prentice Hall, 2008. 84 pp. ISBN 9789702612926.
5. CORCOLES, F. et al. *Transformadores*. 1ra. Ed, Universitat Politecnica de Catalunya: España, 1997. 215 pp. ISBN 8483017792.
6. ELEKTROMOTOREN UND GERÄTEBAU BARLEBEN GMBH, © 2018, [consulta: 4 noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.emb-online.net/es/proteccion-de-transformadores/>
7. GIORDANO, J. *El conductor eléctrico (Ley de Ohm) Profísica*. Chile [13-5-2008], [consulta: 6 noviembre 2018]. Disponible en: <https://www.profisica.cl/index.php/component/content/article/113-fisica-cotidiana/como-funcionan-las-cosas/163-el-conductor-electrico-ley-de-ohm?Itemid=542>
8. HERNÁNDEZ, C. y FERNÁNDEZ, R. *Metodología de la investigación*, 5ta Ed, editorial Mcgrawhill/Interamericana Editores, S.A. De C.V. A México D.F. 149 pp.
9. IQUISE, F. *Variación del circuito de alimentación de las protecciones de control del transformador De 4160/480 VAC*, tesina Universidad Continental, 2019. 125 pp.
10. MINEM, Código Nacional de Electricidad, suministro, 2011.

11. MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS DE COLOMBIA. *Reglamento técnico de instalaciones eléctricas*, 2013, 103-106 pp.
12. NEUAH, F. *Protección De Transformadores De Gran Potencia En Alta Tensión*. Universidad De Buenos Aires, 2014, 37 pp.
13. ONSEMI INC. *Semiconductor SMPS Power Supply Design Manual*. © 2018, [consulta: 4 noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.onsemi.com/pub/Collateral/Smpsrm-D.PDF>
14. RUTHROFF, C. *Some Broadband Transformers*, Proc IRE, Vol 47, agosto 1959. pp 1337-1342.
15. SINGER, F. *Transformadores*. 6ta. Ed. Editorial Neotecnia. Buenos Aires. 1976. 255 p.
16. TIPOS DE CABLES ELÉCTRICOS QUE EXISTEN, © 2021, [consulta: 1 noviembre 2021]. Disponible en: <https://masvoltaje.com/blog/tipos-de-cables-electricos-que-existen-n12>

# **ANEXOS**

## **Procedimientos de Trabajo**

 Cerro Verde	<b>PROCEDIMIENTO ESCRITO DE  TRABAJO SEGURO (PETS)  MANTENIMIENTO DE  TRANSFORMADORES DE BT Y MT</b>		<b>Sociedad  Minera  Cerro  Verde  S.A.A.</b>
	Área: <b>Mantenimiento El</b>	Versión N°: <b>02</b>	
	Procesos <b>C2</b> Código: <b>SME2pr0013</b>	Página: <b>1-10</b>	

PREPARADO POR:	REVISADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
Nombre y Firma:       Cerro Verde <b>Javier Turo Quispe</b> Supervisor Mant. El Procesos	Nombre y Firma:       Cerro Verde <b>David Retamozo Vargas</b> Superintendente Mant. El Procesos	Nombre y Firma:       Cerro Verde <b>Marco Espedez Caballero</b> Gerente de Salud y Seguridad	Nombre y Firma:       Cerro Verde <b>María Virginia Álvarez</b> Gerente Mant. Eléctrico Transformación Procesos
<b>SUPERVISOR DEL ÁREA / EQUIPO  DE TRABAJO</b>	<b>GERENCIA DEL ÁREA</b>	<b>GERENCIA DE  SEGURIDAD Y SALUD  OCUPACIONAL</b>	<b>GERENCIA DE  OPERACIONES</b>
Fecha de Actualización:  <b>14-12-18</b>			Fecha de Aprobación:  <b>18/12/18</b>

CONTENIDO

1. OBJETIVO / ALCANCE .....	3
2. RESPONSABLES .....	3
3. REQUERIMIENTOS .....	4
A. REQUERIMIENTO DE PERSONAL .....	4
B. REQUERIMIENTO DE EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL .....	4
C. REQUERIMIENTO DE EQUIPOS / HERRAMIENTAS .....	4
D. REQUERIMIENTO DE MATERIALES .....	5
4. PROCEDIMIENTO .....	5
5. RESTRICCIONES .....	6
6. DOCUMENTOS DE REFERENCIA.....	9
7. REGISTROS .....	9
8. ANEXOS Y FORMATOS .....	10
9. CONTROL DE CAMBIOS .....	10

## 1. OBJETIVO / ALCANCE

---

Establecer y estandarizar el procedimiento para el **Mantenimiento de Transformadores de BT y MT**, garantizando la ejecución segura y óptima de la tarea enfocados en la producción segura y siendo ambientalmente responsables durante el desarrollo de las actividades.

Este PETS aplica a todo el personal de Mantenimiento E/I que intervenga en el proceso del Mantenimiento transformadores de B.T y M.T instalados en las subestaciones eléctricas, transformadores de iluminación en campo de diferentes áreas y MCC de planta concentradora de SMCV C2. Inicia con la coordinación para el corte de energía con los responsables de las áreas afectadas, la entrega de operaciones a mantenimiento eléctrico, y concluye con las pruebas de operación y la entrega del equipo a operaciones.

## 2. RESPONSABLES

---

*“Sin perjuicio, de lo desarrollado en el presente documento de gestión de Seguridad y Salud Ocupacional que establece condiciones y especificaciones mínimas que los trabajadores deben cumplir, todo trabajador tiene como responsabilidad la identificación de peligros y evaluación de los riesgos, cumpliendo con implementar los controles previos al inicio de cada trabajo, de acuerdo con lo establecido en el Art. 44 del D.S. 024-2016-EM.”*

### ➤ Supervisor de Mantenimiento E / I Procesos

- a. Conocer, instruir, respetar y hacer respetar a su personal a cargo las condiciones establecidas en este procedimiento y verificar su cumplimiento en terreno.
- b. Coordinar con las áreas afectadas y con los Supervisores de turno la intervención y maniobras necesarias para la tarea.
- c. Proveer a su personal el EPP adecuado que es requerido para realizar esta actividad.
- d. Proveer de las herramientas, repuestos y materiales necesarios a su personal para la correcta ejecución del mantenimiento y /o cambio de los instrumentos si fuera necesario.
- e. Asegurarse que su personal que intervenga estos equipos esté calificado para intervenirlos.
- f. Mantener al alcance de su personal manuales de operación y mantenimiento de los equipos, para que éstos puedan ser consultados cada vez que se realicen intervenciones; así como los FDS de los productos químicos utilizados.
- g. Evaluar y analizar las condiciones de seguridad de su personal antes de la intervención.

### ➤ Técnico de Mantenimiento Eléctrico Procesos

- a. Conocer el presente PETS.
- b. Todo el personal asignado a esta actividad, debe llenar conjuntamente en la zona de trabajo el formato del IPERC continuo, PETAR y todos los permisos de alto riesgo que se requiera, evaluando todos los peligros y riesgos asociados a esta actividad y las medidas de control.
- c. Aplicar las precauciones y advertencias del fabricante al realizar el mantenimiento o cambio de los equipos. Para ello, verificar en el manual respectivo aquellos componentes que se intervendrán.
- d. Cumplir con el PETS y sus documentos relacionados.
- e. Verificar y efectuar pruebas después de realizar el mantenimiento.
- f. Hacer seguimiento y cumplir paso a paso el procedimiento de LOTOTO.
- g. Desarrollar toda operación y maniobra de manera segura velando por el bienestar suyo y el de sus compañeros de trabajo.
- h. Reportar de forma inmediata cualquier incidente.

### 3. REQUERIMIENTOS

---

#### a. Requerimiento de Personal

Cantidad	Descripción
01	Supervisor E/I
03	Técnicos electricistas

#### b. Requerimiento de Equipo de Protección Personal

Cantidad	Descripción
3 un.	Ropa a prueba de arco HRC2
4 un.	Casco de seguridad con barbiquejo.
4 un.	Lentes de seguridad.
4 par.	Zapatos de seguridad
4 un.	Protector auditivo.
4 par.	Guantes anti corte.
4 un.	Mascara de silicona con filtros para polvo.
3 un.	Mameluco de papel .
3 par.	Guantes dieléctricos .
3 un.	Mascara contra arco eléctrico (face shield)

#### c. Requerimiento de Equipos / Herramientas

Cantidad	Descripción
1 un	Equipos de iluminación (si se requiere)
3 un	Multímetro.
1 un	Megohmetro (Megger o Fluke)
3 un	Maletín de herramientas de electricista
1 un	Pértiga de descarga a tierra
1 un	Puente trifásico para cortocircuitar (Pulpo)
3 un	Detectores de tensión para Media y Baja tensión
3 un	Linterna para casco
6 un	Espátula de 1" y 2"
6 un	Brocha
3 un	Torquímetro con encaste de ½"

2 un	Escoba
2 un	Atomillador eléctrico
1 un	Soplador eléctrico
1 un	Aspirador eléctrico

**d. Requerimiento de Materiales**

Cantidad	Descripción
3 kg	Trapo industrial.
3 un	Tubos de Silicona.
Lo necesario	Limpia contactos.
5 un	Paños absorbentes .
6 un	Cintas aislantes.
Lo necesario	Silica Gel (si requiere cambio)
1 un	Contenedor para fuga de aceite (Geo-membrana)
1 un	Botella de nitrógeno N2 de 10m3.

**4. PROCEDIMIENTO**

**4.1. Coordinación**

- 4.1.1. Inicialmente el Supervisor del área de Mantenimiento Eléctrico o el Técnico responsable de la tarea deberán coordinar con personal del área afectada y personal de apoyo.
- 4.1.2. Toda comunicación a distancia debe efectuarse haciendo un uso apropiado de los medios de comunicación disponibles, llámese correo electrónico, comunicación escrita, comunicación telefónica, comunicación vía teléfonos móviles, radial (usado en la frecuencia del área de trabajo).
- 4.1.3. Si el área tiene altos niveles de polvo y ruido, es necesario el uso permanente del equipo de protección adecuada, según estándar *SSOst0018 Selección, Distribución y Uso de EPPs*.
- 4.1.4. Preparar toda la documentación necesaria para la labor a realizar (manuales de operación y mantenimiento de equipo, formato de IPERC continuo, además de la documentación adicional si es que fuera el caso, PETAR).
- 4.1.5. Personal electricista demarca el área de trabajo con conos de seguridad y barras. Estas se ubicarán de manera que el personal que transite por la zona se percate de los trabajos que se están realizando. Para la demarcación del área se tendrá en cuenta el estándar *SSOst0010 Restricción y Demarcación de área*.
- 4.1.6. Todas las herramientas a utilizar en la tarea, debe de contar con la inspección trimestral del periodo en curso según el *SGIst0001 Inspección de Herramientas, Equipos e Instalaciones*.



#### 4.2. Mantenimiento de transformadores en Baja Tensión.

- 4.2.1. El técnico electricista encargado debe coordinar con personal del área afectada para la intervención y bloqueo del transformador.
- 4.2.2. Los técnicos electricistas realizarán el procedimiento de bloqueo según *SGIpr0015 Procedimiento General de Bloqueo*, aislando la alimentación principal del transformador (480VAC), luego preparan la caja de bloqueo grupal y todo el personal que intervenga en las tareas deberá colocar sus candados personales en la caja de bloqueo grupal.
- 4.2.3. Una vez bloqueado, se deberá medir con el revelador de tensión la existencia de voltaje cero en los cables alimentadores, de acuerdo al procedimiento *SSOst0030 Trabajos en Circuitos Desenergizados*
- 4.2.4. Realizar una inspección externa del transformador, ingreso de cables, estado y ajuste de bushing, placa del transformador, tag, señalización de riesgo eléctrico, nivel de voltaje; de encontrar alguna observación levantar en el momento, de no ser posible informar al supervisor para su programación posterior.
- 4.2.5. Si el grado de impregnación de suciedad de la parte externa del transformador es alto, se utilizará soplador eléctrico, escobillones, brochas, espátulas y trapo industrial con el cual se removerá las incrustaciones de suciedad.
- 4.2.6. Revisar las bisagras y seguros de las puertas de los encerramientos del transformador en caso cuente con ellas.
- 4.2.7. Retirar las tapas del transformador para acceder a los bornes internos y devanados del transformador.
- 4.2.8. Realizar una limpieza interna, busque polvo y suciedad acumulada en los terminales y respiraderos. Si la parte externa del transformador tiene acumulado grasa o aceite, con el uso de trapo industrial y limpia contactos remover toda la acumulación de grasa o aceite, leer el FDS del solvente y contemplar a todo el personal involucrado en la tarea, de acuerdo al *SGIst0022 Manejo de Productos Químicos*.
- 4.2.9. Realizar una inspección visual de las borneras, aisladores, sobrecalentamiento de bobinados, decoloración del aislamiento, estado de etiquetado (tag) de cables, estado de terminales, de encontrar alguna observación, informar al supervisor para realizar la reparación inmediata o programarla de acuerdo a condición.
- 4.2.10. Realizar el ajuste de terminales, bornes, de encontrar terminaciones dañadas (con filamentos quebrados) realizar el cambio de nuevo terminal.
- 4.2.11. Con un multímetro medir la resistencia de los devanados primario y secundario, para ello también se debe aislar circuito aguas abajo.
- 4.2.12. Con el megóhmetro realizar pruebas de aislamiento, para ello se debe aislar circuito aguas abajo. Asegurarse que el megóhmetro a utilizar en la tarea cuente con su certificado de calibración vigente, retirar al personal en el momento de la prueba.
- 4.2.13. Revisar el interruptor de alimentación principal del transformador, verificando que no exista algún daño en los cables y/o recalentamiento.
- 4.2.14. Cerrar las tapas del transformador, y verificar que las vísceras para lluvia del transformador (instalados al exterior) se encuentren en buenas condiciones.
- 4.2.15. Una vez culminado con la inspección y limpieza del transformador, el personal involucrado retirará sus candados de la caja grupal, y repondrá energía al transformador.
- 4.2.16. Se revisará la alimentación de las cargas y el buen funcionamiento del transformador (ruidos, temperatura).
- 4.2.17. Si fuera necesario el cambio del transformador de baja tensión, el técnico electricista encargado debe realizar lo siguiente:

- 4.2.17.1 Avisar al supervisor de mantenimiento E/I para proceder con el cambio del transformador respectivo.
  - 4.2.17.2 Avisar al personal del área afectada que se procederá con el cambio del transformador.
  - 4.2.17.3 Asegurarse que el interruptor de alta y baja del transformador se encuentren bloqueados.
  - 4.2.17.4 Desconectar el transformador, retirando los pernos de las barras o empalmes.
  - 4.2.17.5 Retirar el transformador e instalar el nuevo transformador.
  - 4.2.17.6 Realice la conexión del transformador, y ajuste los pernos en las barras o empalmes.
- 4.2.18. Realizar la limpieza y orden del área de trabajo, retiro de demarcación, material y herramientas, así como, desechos generados.
- 4.2.19. Entregar el equipo operativo al personal/área afectado.
- 4.3. Mantenimiento de transformadores en Media Tensión**
- 4.3.1. Los técnicos electricistas realizarán el procedimiento de bloqueo según el procedimiento *SSOst0015 Procedimiento General de Bloqueo*, aislando la alimentación principal del transformador (4.16 kV), luego preparan la caja de bloqueo grupal y todo el personal que intervenga en las tareas deberá colocar sus candados personales en la caja de bloqueo grupal.
  - 4.3.2. Una vez bloqueado, verificar la existencia de voltaje cero con el revelador de tensión según el estándar *SSOst0030 Trabajos en circuitos desenergizados*, para luego colocar pulpo de aterramiento en las barras de salida al transformador del arrancador del MCC (AMPGARD), considerando el uso de señal a tierra según el estándar *SSOst0022 Puesta a Tierra de Protección Personal*.
  - 4.3.3. Luego realizar la demarcación del área de trabajo con cinta roja o barreras de prohibición, de acuerdo al estándar *SSOst0010 Restricción y Demarcación de Áreas*.
  - 4.3.4. La limpieza exterior del transformador se realizará haciendo uso de escobillones, trapo industrial y aire a presión en el cual se removerá las incrustaciones de suciedad y si el grado de impregnación es muy alto se procederá a aplicar agua industrial. Se utilizará solamente las boquillas del tipo chorro abanico y actuando sobre el gatillo de la pistola se regulará la presión del chorro de tal manera que este no represente un riesgo para los instrumentos y demás accesorios del transformador al aplicarse chorro directo.
  - 4.3.5. Realizar la inspección y limpieza del indicador de temperatura y nivel de aceite, y el indicador de humedad si se encuentra fuga de aceite por el acople del indicador se procederá a bajar el nivel de aceite hasta por debajo de la altura del indicador y se procederá a cambiar de empaque, además se colocará un elemento contenedor y absorbente hasta que se atienda por servicio de mantenimiento. A partir de este paso se tendrá contacto directo con el aceite dieléctrico del transformador, por lo tanto, se debe tener conocimiento de las advertencias y recomendaciones de la hoja FDS del aceite, de acuerdo al *SGIst0022 Manejo de Productos Químicos*.
  - 4.3.6. Revisar el indicador de humedad (Silica gel naranja), para transformadores ABB, si la silica toma un color blanco, hacer el cambio respectivo de silica debido a que ya se encuentra saturada de humedad.
  - 4.3.7. Realizar la inspección y limpieza de las tapas del transformador y válvulas de ingreso y drenaje, si se observa alguna fuga de aceite del transformador por las válvulas se le deberá dar el ajuste necesario. Mantener el área de trabajo en orden. Uso de EPP básico, guantes de jebe, tapones para los oídos y respirador contra el polvo según el estándar *SSOst0018 Selección, distribución y uso de EPPs*.
- Nota:** Todas las válvulas deberán tener tapones para evitar cualquier fuga.

- 4.3.8. Abrir las tapas de las cajas de conexión del transformador de alta y baja tensión, inspeccionar cada uno de los bushing tanto en el lado primario como en el secundario del transformador, revisando que no tengan fugas de aceite y/o rajaduras. Limpiar el bushing y las terminaciones del cable con trapo industrial nuevo y comprobar el ajuste de los pernos de las terminaciones.
- 4.3.9. Inspeccionar la hermeticidad y posible ingreso de agua en las conexiones de control y protección del transformador.
- 4.3.10. Dar una limpieza general al interior de la caja de conexiones con el uso de limpia contactos y trapo industrial, desechar correctamente todo residuo generado durante la tarea.
- 4.3.11. Una vez terminadas las pruebas y la limpieza interna, se inspeccionará de no haber dejado herramientas, trapos o cualquier tipo de material en el interior de la caja de acometida.
- 4.3.12. Cerrar las tapas de alta y baja tensión, verificar en forma visual la hermeticidad de las tapas de conexiones del lado de baja tensión como de alta tensión, de sospechar que este es deficiente aplicar sellador de silicona para mejorar la hermeticidad de las mismas. Leer la hoja FDS de la silicona para darle un uso adecuado.
- 4.3.13. Inspeccionar y dejar el área donde se realizó el mantenimiento ordenada y limpia, realizar el retiro de todos los equipos, herramientas, materiales utilizados.

#### **4.4. Presurización de transformadores con N2. (Transformadores Rhona)**

- 4.4.1. Identificar el manovacuómetro del transformador a recargar, debe estar en posición neutral o cero (0), si estuviera en negativo puede ser que el fabricante lo dejó en vacío en este caso presurizar teniendo cuidado de que la presión atmosférica no entre hacia el transformador.
- 4.4.2. Si el manovacuómetro está en positivo, pero con una medida menor a la recomendada (0.2 a 3.5 psi) recargar lentamente. la válvula de ingreso de gas normalmente está en la parte superior del transformador, de ser necesario colocar las reducciones necesarias para unir la botella de nitrógeno con la válvula de ingreso.
- 4.4.3. Las válvulas del reductor de presión que se encuentra en la botella y la válvula de ingreso que se encuentra en el transformador deben de estar cerradas.
- 4.4.4. Abrir lentamente la válvula de la botella de nitrógeno y verificar en el manómetro principal la presión interna, luego ir abriendo la válvula de salida del reductor hasta llegar a 10 psi. Dejar en esa posición por 10 minutos para verificar la estanqueidad de las mangueras y válvulas, la presión no debe descender, si sucediera revisar las uniones y ajustar ya que existe una fuga que hay que eliminar.
- 4.4.5. Luego de la prueba de las mangueras y uniones, retirar en el acople rápido ubicado en el transformador y purgar el aire contenido, reponer el acople rápido.
- 4.4.6. Luego de esta prueba estamos listos para presurizar el transformador, para ello cerrar la válvula de descarga del reductor de presión verificar en el manómetro que indique 0 psi de salida, luego ir abriendo lentamente hasta llegar a 1 psi. El sonido del ingreso del N2 hacia el transformador es característico el llenado tiene que ser lento para evitar la condensación.
- 4.4.7. Después de llegar a la presión deseada (3.5 psi) cerrar la válvula de ingreso de N2 al transformador, y esperar por 30 min como mínimo, la presión no debe caer si sucediera ajustar la tapa del transformador y volver a presurizar hasta que pase la prueba de verificación. Para esta tarea quizás se tenga que estar encima del transformador, llenar los permisos y equipos de seguridad correspondientes a un trabajo en altura.

#### 4.5. Pruebas de disparo de protección (En parada total)

- 4.5.1. Dar un reajuste a las borneras que se encuentran dentro de la caja de conexiones de protección y de control. Usar herramientas aisladas para el reajuste de borneras tanto del transformador como de la celda.
  - 4.5.2. Realizar las respectivas pruebas de disparo de protecciones propias del transformador verificando la actuación en el relé de la celda que corresponda al transformador intervenido esta prueba se debe realizar entre dos personas y utilizar planos, en caso de encontrar alguna modificación se procederá a actualizar el plano y comunicar al supervisor.
- 4.6. Si fuera necesario el cambio del transformador, seguir el PETS *SME2pr0039 Cambio de Transformadores de Potencia*.

#### 4.7. Desbloqueo y energización del transformador

- 4.7.1. Realizar el retiro de materiales, líneas de aterramiento y los candados de bloqueo del personal del mantenimiento, de acuerdo al procedimiento LOTOTO y al plan de bloqueos.
- 4.7.2. Antes de energizar el transformador se deberá confirmar con el personal encargado del equipo el despeje del área circundante al transformador, esto con el fin de no exponer a las personas que realizan el mantenimiento a ajenas a ello en caso ocurriera un evento de falla en el transformador.
- 4.7.3. Una vez energizado el transformador verificar los parámetros eléctricos del transformador sin carga y observar, si hubiera alguna anomalía en la sala eléctrica, manteniendo la distancia de despeje con las partes activas una inspección visual. Si se encontrara alguna observación que ponga en riesgo la salud del personal o el equipo, reportarlo inmediatamente al supervisor. Después de esto el líder del equipo de mantenimiento dará por operativo al equipo.

### 5. RESTRICCIONES

---

- 5.1. El personal debe contar con las acreditaciones vigentes para realizar los trabajos de alto riesgo.

### 6. DOCUMENTOS DE REFERENCIA

---

- *SGIst0001 Inspección de Herramientas, Equipos e Instalaciones*
- *SGIst0022 Manejo de Productos Químicos*
- *SSOst0030 Trabajos en Circuitos Desenergizados.*
- *SSOst0010 Restricción y Demarcación de Áreas*
- *SSOst0018 Selección, distribución y Uso de EPPs.*
- *SGA-RSpg0001 Plan de Manejo de Residuos.*
- *SME2pr0039 Cambio de transformadores de potencia.*
- Manual de Usuario: Operación y Mantenimiento de Transformadores de Potencia-ABB 1ZCL000002EG-ES– Rev. 1
- Manual de Usuario: Operación y Mantenimiento de Transformadores de Potencia-Rhona.
- Manual de Usuario: Operación y Mantenimiento de Transformadores Seco Hammond Power Solutions HPS.

## 7. REGISTROS

Nombre del Registro	Responsable del Control	Tiempo Mínimo de Conservación
Orden de Trabajo (O.M.)	Planificador de Mantenimiento	1 mes

## 8. ANEXOS Y FORMATOS

### 8.1 Anexos

- Sin Anexos

### 8.2 Formatos

- Sin formatos

## 9. CONTROL DE CAMBIOS

Versión	Descripción de Cambios	Fecha
02	<ul style="list-style-type: none"><li>• Se cambia el documento por Nuevo formato alineándolo a las políticas corporativas, normas nacionales.</li><li>• En todo el documento se cambia la palabra ARO por IPERC Continuo, PTS por PETAR y MSDS por FDS.</li><li>• Se añade en el PETS el estándar SSOst0030 Trabajos en Circuitos Desenergizados.</li><li>• Se elimina Anexo 1. Figura referencial sobre pruebas de aislamiento en transformadores de potencia.</li><li>• Se añade ítem 4.2.17 sobre el cambio de transformadores de baja tensión.</li><li>• Se añade el ítem 4.5 Presurización de transformadores RHONA con nitrógeno, también la inspección y cambio de silica gel para transformadores ABB</li></ul>	14-12-2018

 Cerro Verde	<b>PROCEDIMIENTO ESCRITO DE  TRABAJO SEGURO (PETS)  PRUEBA DE RELÉS DE  PROTECCIÓN</b>		<b>Sociedad  Minera  Cerro  Verde  S.A.A.</b>
	<b>Área:</b> Mantenimiento El	<b>Versión N°:</b> 02	
	<b>Código:</b> SME2pr0011	<b>Página:</b> 1-8	

PREPARADO POR:	REVISADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
Nombre y Firma:   Oscar Aberca Lino Supervisor Señal Man, E.A.T.	Nombre y Firma:   David Retamozo Vargas Superintendente Man, S.A.A.	Nombre y Firma:   Marco Cespedes Caballero Gerente de Salud y Seguridad	Nombre y Firma:   Mario Vargaya Alvarez Gerente Manito Eléctrico e Instrumentación Procesos
<b>SUPERVISOR DEL ÁREA / EQUIPO  DE TRABAJO</b>	<b>GERENCIA DEL ÁREA</b>	<b>GERENCIA DE  SEGURIDAD Y SALUD  OCUPACIONAL</b>	<b>GERENCIA DE  OPERACIONES</b>
Fecha de Actualización: 26/12/18			Fecha de Aprobación: 07/01/2019

CONTENIDO

1. OBJETIVO / ALCANCE .....	3
2. RESPONSABLES .....	3
3. REQUERIMIENTOS .....	4
A. REQUERIMIENTO DE PERSONAL .....	4
B. REQUERIMIENTO DE EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL .....	4
C. REQUERIMIENTO DE EQUIPOS / HERRAMIENTAS .....	4
D. REQUERIMIENTO DE MATERIALES .....	4
4. PROCEDIMIENTO .....	5
5. RESTRICCIONES .....	5
6. DOCUMENTOS DE REFERENCIA.....	8
7. REGISTROS .....	8
8. ANEXOS Y FORMATOS .....	9
9. CONTROL DE CAMBIOS .....	9

## 1. OBJETIVO / ALCANCE

---

Establecer y describir los pasos para realizar Pruebas de relés de Protección (REF630, REG650 y Multilin 369, garantizando la ejecución segura y óptima de la tarea enfocados en la producción segura y siendo ambientalmente responsables durante el desarrollo de las actividades.

Este PETS aplica a todo el personal de mantenimiento eléctrico involucrado la Prueba de relés de protección eléctrica de los equipos de la Planta concentradora C2 de Sociedad Minera Cerro Verde. Desde la coordinación con operaciones del equipo a intervenir, se inicia con la inspección, limpieza del Relé y se concluye con la medición de parámetros de eléctricos.

## 2. RESPONSABLES

---

*"Sin perjuicio, de lo desarrollado en el presente documento de gestión de Seguridad y Salud Ocupacional que establece condiciones y especificaciones mínimas que los trabajadores deben cumplir, todo trabajador tiene como responsabilidad la identificación de peligros y evaluación de los riesgos, cumpliendo con implementar los controles previos al inicio de cada trabajo, de acuerdo con lo establecido en el Art. 44 del D.S. 024-2016-EM."*

### ➤ Supervisor de Mantenimiento E / I Procesos

- a. Conocer, instruir, respetar y hacer respetar a su personal a cargo las condiciones establecidas en este procedimiento y verificar su cumplimiento en terreno.
- b. Coordinar con las áreas afectadas y con los Supervisores de turno la intervención y maniobras necesarias para la tarea.
- c. Proveer a su personal el EPP adecuado que es requerido para realizar esta actividad.
- d. Proveer de las herramientas, repuestos y materiales necesarios a su personal para la correcta ejecución del mantenimiento y /o cambio de los instrumentos si fuera necesario.
- e. Asegurarse que su personal que intervenga estos equipos esté calificado para intervenirlos.
- f. Mantener al alcance de su personal manuales de operación y mantenimiento de los equipos, para que éstos puedan ser consultados cada vez que se realicen intervenciones; así como los FDS de los productos químicos utilizados.
- g. Evaluar y analizar las condiciones de seguridad de su personal antes de la intervención.

### ➤ Técnico Electricista

- a. Conocer el presente PETS.
- b. Todo el personal asignado a esta actividad, debe llenar conjuntamente en la zona de trabajo el formato del IPERC continuo, PETAR y todos los permisos de alto riesgo que se requiera, evaluando todos los peligros y riesgos asociados a esta actividad y las medidas de control.
- c. Utilizar el EPP básico permanentemente para trabajos en ambiente polvoriento y de alto nivel de ruido.
- d. Utilizar las herramientas adecuadas y en buen estado; para esto debe Inspeccionar previamente sus herramientas y marcarlas con el color de cinta del trimestre correspondiente, según estándar *SGIst0001 Inspección de Herramientas, Equipos e Instalaciones*.
- e. Aplicar las precauciones y advertencias del fabricante al realizar el mantenimiento o cambio de los equipos. Para ello, verificar en el manual respectivo aquellos componentes que se intervendrán.



- f. Cumplir con el procedimiento operativo y sus documentos relacionados.
- g. Verificar y efectuar pruebas después de realizar el mantenimiento.
- h. Hacer seguimiento y cumplir paso a paso el procedimiento de LOTOTO.
- i. Desarrollar toda operación y maniobra de manera segura velando por el bienestar suyo y el de sus compañeros de trabajo.
- j. Reportar de forma inmediata cualquier incidente.

### 3. REQUERIMIENTOS

#### a. Requerimiento de Personal

Cantidad	Descripción
2	Técnicos Electricistas
1	Supervisor de Mantenimiento E/I

#### b. Requerimiento de Equipo de Protección Personal

Cantidad	Descripción
2 unid.	Ropa a prueba de arco HRC 2 (min. 8.1 Cal/cm <sup>2</sup> )
3 unid.	Casco de seguridad tipo E
3 unid.	Lentes de seguridad
3 pares	Zapatos de seguridad dielectricos
1 unid.	Guantes dielectricos
2 unid.	Guantes anticorte o badana (pares)
2 unid.	Tapones para los oídos u orejeras (pares)

#### c. Requerimiento de Equipos / Herramientas

Cantidad	Descripción
1	Equipo de inyección secundaria Omicron CMC256
1	Computadora portátil con software apropiado para el relé
2	Radio de comunicaciones portátil
2 un	Maletín de herramientas de electricista.

#### d. Requerimiento de Materiales

Cantidad	Descripción
1 kg	Trapo industrial limpio.
1 m	Cable 14 AWG THW

#### 4. PROCEDIMIENTO

---

##### 4.1. COORDINACIÓN

- 4.1.1. Inicialmente el Supervisor del área de Mantenimiento Eléctrico o el Técnico responsable de la tarea deberán coordinar con personal del área afectada y personal de apoyo.
- 4.1.2. Toda comunicación a distancia debe efectuarse haciendo un uso apropiado de los medios de comunicación disponibles, llámese correo electrónico, comunicación escrita, comunicación telefónica, comunicación vía teléfonos móviles, radial (usado en la frecuencia del área de trabajo).
- 4.1.3. Si el área tiene altos niveles de polvo y ruido, es necesario el uso permanente del equipo de protección específico, según estándar *SSOst0018 Selección, Distribución y Uso de EPPs*.
- 4.1.4. Preparar toda la documentación necesaria para la labor a realizar (manuales de operación y mantenimiento de equipo, formato de IPERC continuo, si es que fuera el caso, PETAR).
- 4.1.5. Personal eléctrico demarca el área de trabajo con conos de seguridad y barras. Estas se ubicarán de manera que el personal que transite por la zona se percate de los trabajos que se están realizando. Para la demarcación del área se tendrá en cuenta el estándar *SSOst0010 Restricción y Demarcación de áreas*. Todas las herramientas a utilizar en la tarea, debe de contar con la inspección trimestral del periodo en curso según el *SGIst0001 Inspección de Herramientas, Equipos e Instalaciones*.

##### 4.2. PRUEBA DE RELÉS DE PROTECCIÓN

- 4.2.1. Utilizar en todo momento el "EPP" acorde con el riesgo y el tipo de protección recomendado en el estudio de arco realizado en las salas eléctricas a intervenir. revisar la etiqueta de arco del MCC si la categoría de arco es mayor a 2 se debe colocar el selector de protección a modo mantenimiento (ver figura 1), para ello el personal electricista después de colocar en modo mantenimiento deberá colocar pinza y candado personal o candado de taller en caso de realizar caja grupal sobre el selector, en este modo las protecciones pasan a modo de tiempo instantáneo reduciendo la categoría de arco.



Figura 1. Modo mantenimiento de los switchgear

- 4.2.2. Realizar el bloqueo y señalización en el equipo a intervenir, de acuerdo al procedimiento general de bloqueo LOTOTO. **SGlpr0015 Procedimiento General de Bloqueo.**
- 4.2.3. Aplicar el estándar de trabajos en circuitos desenergizados, si se interviene en las barras de media tensión. **SSOst0030 Trabajos en circuitos desenergizados\_v.01.**
- 4.2.4. Aplicar el procedimiento de trabajos en circuitos energizados. **SSOst0008 Trabajos en circuitos energizados\_v.02.**
- 4.2.5. Demarcar el área de trabajo con conos de seguridad y barras. Estas se ubicarán de manera que el personal que transite por la zona se percate de los trabajos que se están realizando. Para la demarcación del área se tendrá en cuenta el estándar **SSOst0010 Restricción y Demarcación de áreas.**
- 4.2.6. Todas las herramientas a utilizar en la tarea, debe de contar con la inspección trimestral del periodo en curso según el **SGlst0001 Inspección de Herramientas, Equipos e Instalaciones.**
- 4.2.7. La prueba de los relés se efectuará de acuerdo a las recomendaciones de los fabricantes, es decir mediante inyecciones secundarias de tensión y corriente. Verificar que los equipos de prueba estén certificados y calibrados, y que emulen protecciones configuradas en los relés.
- 4.2.8. Revisar la última versión de los diagramas eléctricos funcionales antes de intervenir el circuito de protección, entendiendo la filosofía de operación y configuración del sistema de protección para evitar disparo de otros circuitos que estén asociados. Dichas pruebas se realizarán en parada programada del equipo.
- 4.2.9. Inspección del relé, incluyendo el estado de los contactos (si es visible).



*Figura 2. Relé de protección REF630*

- 4.2.10. Verificar los ajustes de protección. Los ajustes deben corresponder con los parámetros indicados en el último reporte (estudio de protecciones), en este reporte debe encontrarse la información vigente y deberá actualizarse cada vez que haya modificaciones en los ajustes de las protecciones y **mantener un registro físico de dichos cambios.**

4.2.11. Abrir los bornes seccionables del block de prueba (para relés ABB), permitiendo aislar los circuitos de corriente, tensión y disparo del interruptor.



Figura 3. Bloques de prueba

4.2.12. Conectar e inyectar las señales de corriente y tensión en los circuitos secundarios, para simular fallas y verificar la operación del relé. El relé debe de operar de acuerdo a los ajustes de calibración. Las señales deberán verificarse hasta los bornes seccionables del block de prueba. El equipo a utilizar para la inyección secundaria es el Omicron CMC256, asegúrese que el equipo cuente con su certificado de calibración vigente. Los equipos a usar deben estar inspeccionados de acuerdo al *SGIst0001 Inspección de herramientas, equipo e instalaciones*.

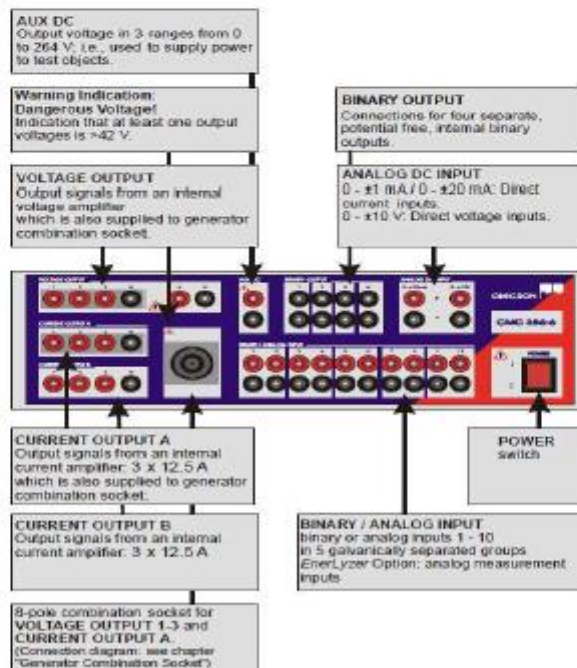


Figura 4. Identificación del CMC256

- 4.2.13. Cerrar los bornes seccionables del block de prueba o reconectar los cables que hayan sido desconectados verificando en los diagramas eléctricos funcionales.
- 4.2.14. Para los relés que no cuente con block de prueba (Multilin 369), realizar las desconexiones de los cables aislando los terminales y anotando sobre los diagramas eléctricos funcionales (Quitando los fusibles en los Transformadores de Potencial y desconectando el secundario del Transformador de Corriente), así se elimina la posibilidad de inyectar señales de tensión o corriente del equipo de prueba hacia el circuito de fuerza. Realizar la energización del circuito de control utilizando el enchufe estándar para pruebas con 120VAC.
- 4.2.15. Para introducirse dentro del cubículo del MCC o switchgear de MV para realizar las desconexiones de los equipos de medida y conectar el equipo de prueba, se debe realizar confirmación voltaje cero y la descarga de energía residual con las pértigas de descarga, de acuerdo al estándar *SSOst0030 Trabajos en circuitos desenergizados*.
- 4.2.16. Se realiza lo indicado en el ítem 4.2.7.
- 4.2.17. Reponer las conexiones de los equipos de medida que fueron intervenidos en el ítem 4.2.9.
- 4.2.18. Registrar las alarmas y fallas del relé antes y después de la prueba, ya que es posible que el relé este enviando alguna señal visual a través de un led o display.
- 4.2.19. Resetear todas las alarmas y/o fallas que tenga el relé de protección.
- 4.2.20. Desconectar, retirar todos los cables y equipo de prueba.
- 4.2.21. Con el Multímetro previamente inspeccionado de acuerdo al *SGIst0001 Inspección de herramientas, equipos e instalaciones*, verificar el estado normal de contactos y señales de corriente o tensión.
- 4.2.22. Verificar finalmente el correcto estado del sistema de protección en conjunto.
- 4.2.23. Verificar que no quede herramientas y/o materiales usados durante las pruebas, dentro de los gabinetes de los relés, retirando cualquier material que no corresponda a los circuitos eléctricos propios del sistema y desecharlo correctamente según al *SGA-RSpG0001 Plan de Manejos de Residuos*.
- 4.2.24. Retirar los bloqueos del selector de modo mantenimiento y asegurar que este regrese a la posición de modo normal.
- 4.2.25. Culminada la prueba desbloquear los equipos intervenidos y realizar la entrega al área/personal afectado.

## 5. RESTRICCIONES

---

- 5.1. El personal debe contar con las acreditaciones vigentes para realizar los trabajos de alto riesgo.
- 5.2. Para dichas pruebas use equipos certificados y que emulen protecciones configuradas en los relés.

## 6. DOCUMENTOS DE REFERENCIA

---

- *SGIst0001 Inspección de herramientas, equipos e instalaciones.*
- *SGIpr0015 Procedimiento General de Bloqueo.*
- *SSOst0008 Trabajos en circuitos energizados\_v.02.*
- *SSOst0030 Trabajos en Circuitos Desenergizados.*
- *SSOst0018 Selección, Distribución y uso de EPPs.*
- *SGA-RSpG0001 Plan de Manejos de Residuos.*
- *SSOot0006 Política para el Manejo de Fatiga.*
- *SSOpr0001 Identificación Peligros, Evaluación y Control de Riesgos.*
- *SSOpr0008 Obtención Acreditación Trabajos Alto Riesgo.*
- *SGA-RSpG0001 Plan General para el Manejo de Residuos*
- *Manual de usuario de Relés REF630 y REG650*

- *Manual de usuario de Relé Multilin 369*
- *Manual de usuario CMC256.*

#### 7. REGISTROS

Nombre del Registro	Responsable del Control	Tiempo Mínimo de Conservación
Orden de Trabajo (O.M.)	Planificador de Mantenimiento	1 mes

#### 8. ANEXOS Y FORMATOS

##### 8.1 Anexos

- Sin anexos.

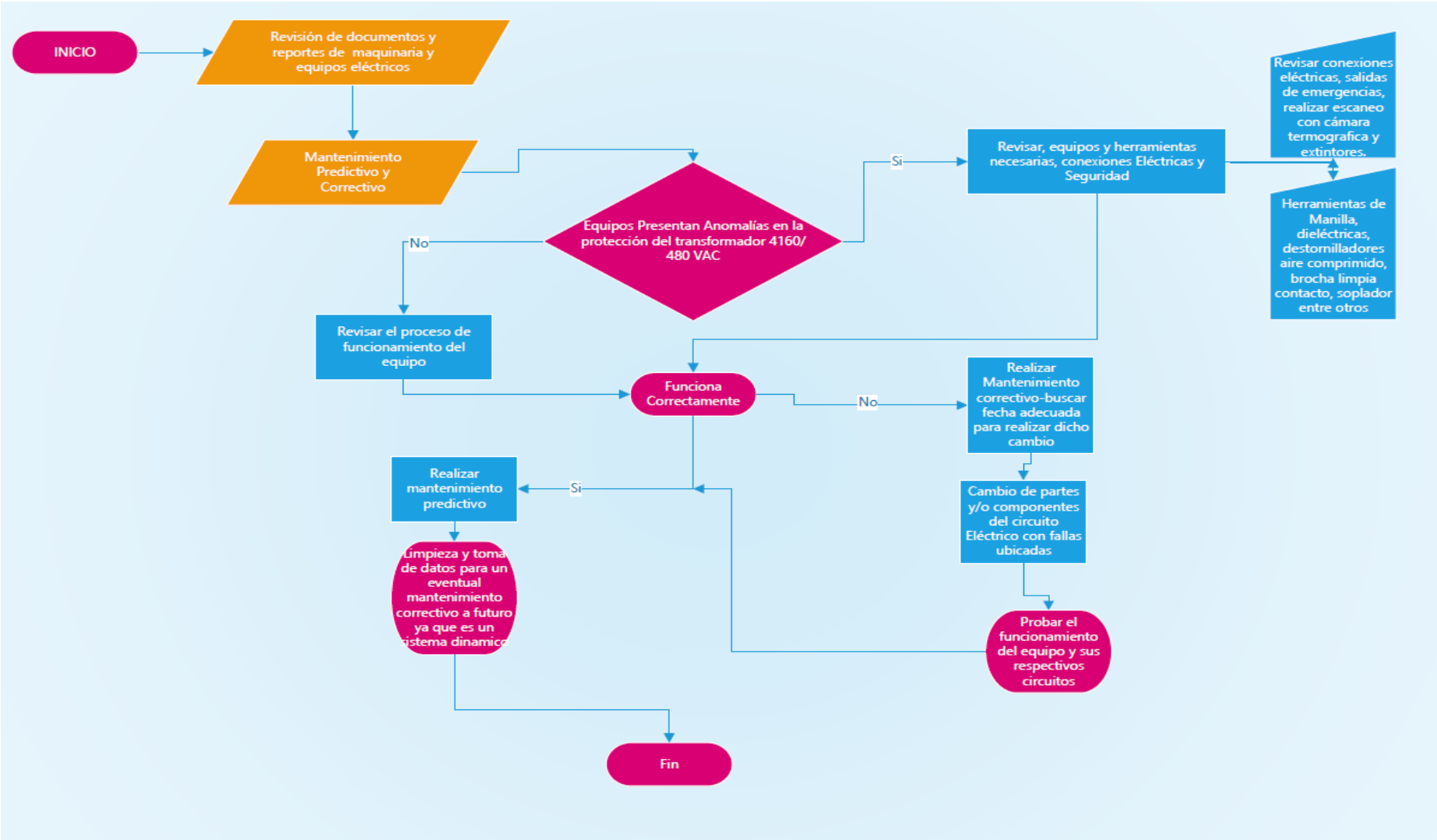
##### 8.2 Formatos

- Sin formatos.

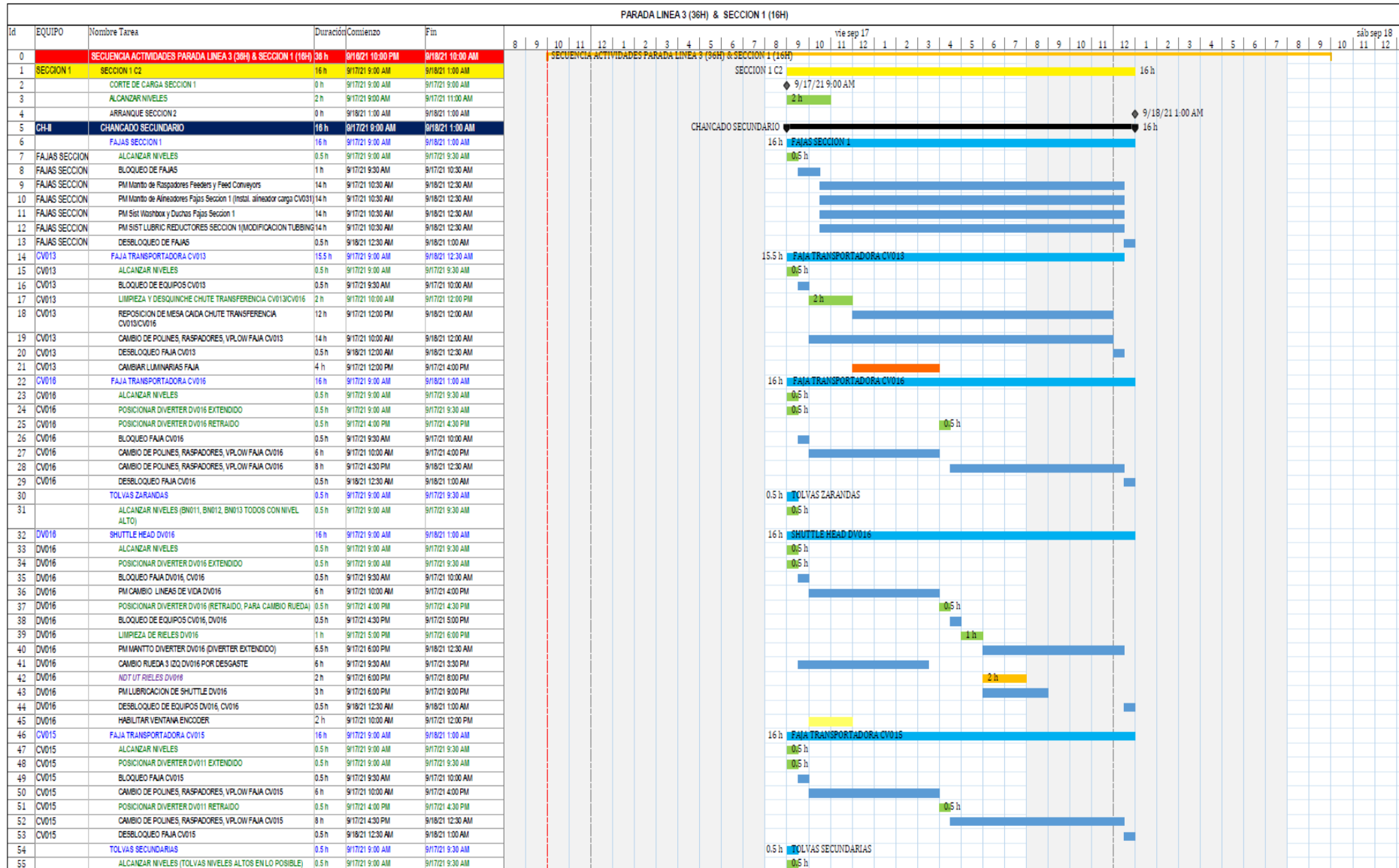
#### 9. CONTROL DE CAMBIOS

Versión	Descripción de Cambios	Fecha
02	<ul style="list-style-type: none"><li>• Se cambia el documento por Nuevo formato alineándolo a las políticas corporativas, normas nacionales.</li><li>• En todo el documento se cambia la palabra ARO por IPERC Continuo, PTS por PETAR y MSDS por FDS.</li><li>• Se añade el estándar SSOst0030 Trabajos en circuitos desenergizados.</li></ul>	21-12-2018

# Diagrama de Flujos

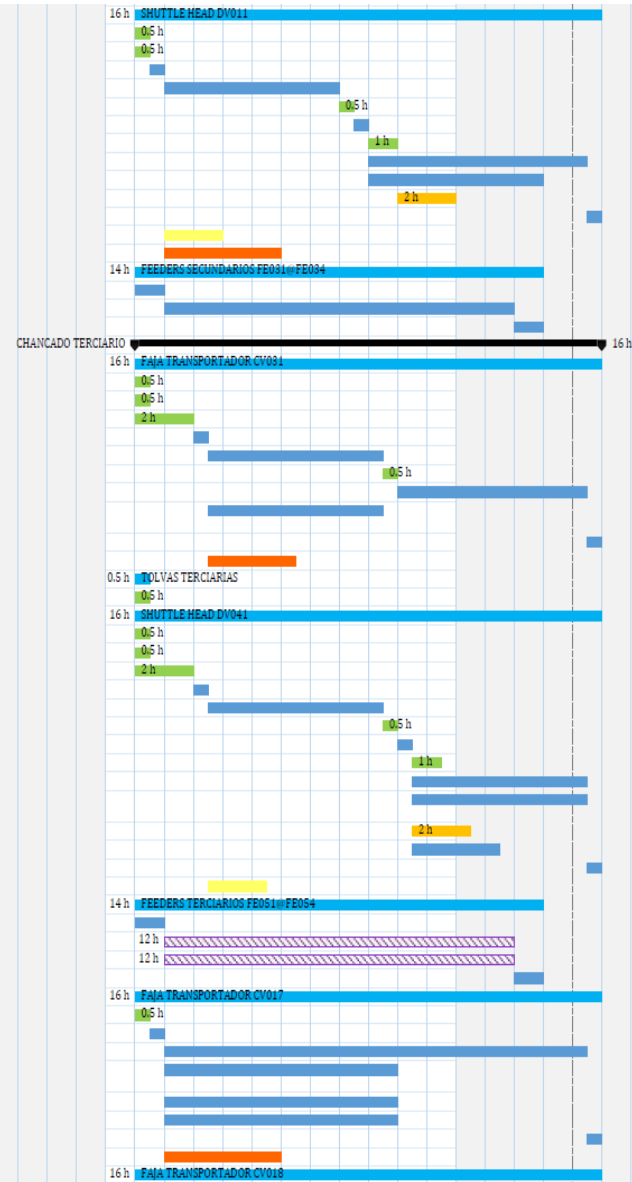


# Diagrama de Gantt





56	DV011	SHUTTLE HEAD DV011	16 h	9/17/21 9:00 AM	9/18/21 1:00 AM
57	DV011	ALCANZAR NIVELES	0.5 h	9/17/21 9:30 AM	9/17/21 9:30 AM
58	DV011	POSICIONAR DIVERTER DV011 EXTENDIDO	0.5 h	9/17/21 9:00 AM	9/17/21 9:30 AM
59	DV011	BLOQUEO FAJA DV011, CV015	0.5 h	9/17/21 9:30 AM	9/17/21 10:00 AM
60	DV011	PM CAMBIO LINEAS DE VIDA DV011	6 h	9/17/21 10:00 AM	9/17/21 4:00 PM
61	DV011	POSICIONAR DIVERTER DV011 RETRAIDO PARA CAMBIO RUEDA	0.5 h	9/17/21 4:00 PM	9/17/21 4:30 PM
62	DV011	BLOQUEO DE EQUIPOS DV011, CV015	0.5 h	9/17/21 4:30 PM	9/17/21 5:00 PM
63	DV011	LIMPIEZA DE RIELES DV011	1 h	9/17/21 5:30 PM	9/17/21 6:00 PM
64	DV011	PM MANTTO DIVERTER DV011	7.5 h	9/17/21 5:00 PM	9/18/21 12:30 AM
65	DV011	CAMBIO DE RUEDAS 3 DER DIVERTER DV011 POR DESGASTE	6 h	9/17/21 5:00 PM	9/17/21 11:00 PM
66	DV011	NDT UT RIELES DV011	2 h	9/17/21 6:00 PM	9/17/21 8:00 PM
67	DV011	DESBLOQUEO DE EQUIPOS DV011, CV015	0.5 h	9/18/21 12:30 AM	9/18/21 1:00 AM
68	DV011	HABILITAR VENTANA ENCODER	2 h	9/17/21 10:00 AM	9/17/21 12:00 PM
69	DV011	CONFIGURAR RELE EX00, FRENOS MOTORES	4 h	9/17/21 10:00 AM	9/17/21 2:00 PM
70	FE031@FE034	FEEDERS SECUNDARIOS FE031@FE034	14 h	9/17/21 9:00 AM	9/17/21 11:00 PM
71	FE031@FE034	Bloqueo de Feeders	1 h	9/17/21 9:00 AM	9/17/21 10:00 AM
72	FE031@FE034	MONTAJE DE PLATAFORMAS DE LANCEO	12 h	9/17/21 10:00 AM	9/17/21 10:00 PM
73	FE031@FE034	DESBLOQUEO DE FEEDERS FE031@034	1 h	9/17/21 10:00 PM	9/17/21 11:00 PM
74	CHLII	CHANCADO TERCARIO	16 h	9/17/21 9:00 AM	9/18/21 1:00 AM
75	CV031	FAJA TRANSPORTADOR CV031	16 h	9/17/21 9:00 AM	9/18/21 1:00 AM
76	CV031	ALCANZAR NIVELES	0.5 h	9/17/21 9:00 AM	9/17/21 9:30 AM
77	CV031	POSICIONAR DIVERTER DV041 EXTENDIDO	0.5 h	9/17/21 9:00 AM	9/17/21 9:30 AM
78	CV031	Desquinche de chute de traf CV019/031 (pique de faja)	2 h	9/17/21 9:00 AM	9/17/21 11:00 AM
79	CV031	BLOQUEO FAJA DV041, CV031	0.5 h	9/17/21 11:30 AM	9/17/21 11:30 AM
80	CV031	CAMBIO DE POLINES, RASPADORES, V.PLOW FAJA CV031	6 h	9/17/21 11:30 AM	9/17/21 5:30 PM
81	CV031	POSICIONAR DIVERTER DV041 RETRAIDO PARA CAMBIO RUEDA	0.5 h	9/17/21 5:30 PM	9/17/21 6:00 PM
82	CV031	CAMBIO DE POLINES, RASPADORES, V.PLOW FAJA CV031	6.5 h	9/17/21 6:00 PM	9/18/21 12:30 AM
83	CV031	CAMBIO DE LIVE ROLL #6 CV031 (SE REPORTA POR RODAMIENTOS)	6 h	9/17/21 11:30 AM	9/17/21 5:30 PM
84	CV031	DESBLOQUEO FAJA CV031	0.5 h	9/18/21 12:30 AM	9/18/21 1:00 AM
85	CV031	REGULAR SECCIONADOR DE ARRANCADORES	3 h	9/17/21 11:30 AM	9/17/21 2:30 PM
86		TOLVAS TERCARIAS	0.5 h	9/17/21 9:00 AM	9/17/21 9:30 AM
87		ALCANZAR NIVELES (TOLVAS NIVELES ALTOS EN LO POSIBLE)	0.5 h	9/17/21 9:00 AM	9/17/21 9:30 AM
88	DV041	SHUTTLE HEAD DV041	16 h	9/17/21 9:00 AM	9/18/21 1:00 AM
89	DV041	ALCANZAR NIVELES	0.5 h	9/17/21 9:00 AM	9/17/21 9:30 AM
90	DV041	POSICIONAR DIVERTER DV041 EXTENDIDO	0.5 h	9/17/21 9:00 AM	9/17/21 9:30 AM
91	DV041	Desquinche de chute de traf CV019/031 (pique de faja)	2 h	9/17/21 9:00 AM	9/17/21 11:00 AM
92	DV041	BLOQUEO FAJA DV041, CV031	0.5 h	9/17/21 11:30 AM	9/17/21 11:30 AM
93	DV041	PM CAMBIO LINEAS DE VIDA DV041	6 h	9/17/21 11:30 AM	9/17/21 5:30 PM
94	DV041	POSICIONAR DIVERTER DV041 RETRAIDO PARA CAMBIO RUEDA	0.5 h	9/17/21 5:30 PM	9/17/21 6:00 PM
95	DV041	BLOQUEO DE EQUIPOS DV041, CV031	0.5 h	9/17/21 6:00 PM	9/17/21 6:30 PM
96	DV041	LIMPIEZA DE RIELES DV041	1 h	9/17/21 6:30 PM	9/17/21 7:30 PM
97	DV041	PM MANTTO DIVERTER DV041	6 h	9/17/21 6:30 PM	9/18/21 12:30 AM
98	DV041	INSTAL RUEDAS MEJORADAS XTECH POSICION 2 DER, IZQ DIVERTER DV041	6 h	9/17/21 6:30 PM	9/18/21 12:30 AM
99	DV041	NDT UT RIELES DV041	2 h	9/17/21 6:30 PM	9/17/21 8:30 PM
100	DV041	PM LUBRICACION SHUTTLE	3 h	9/17/21 6:30 PM	9/17/21 9:30 PM
101	DV041	DESBLOQUEO DE EQUIPOS DV041, CV031	0.5 h	9/18/21 12:30 AM	9/18/21 1:00 AM
102	DV041	HABILITAR VENTANA ENCODER	2 h	9/17/21 11:30 AM	9/17/21 1:30 PM
103	FE051@FE054	FEEDERS TERCARIOS FE051@FE054	14 h	9/17/21 9:00 AM	9/17/21 11:00 PM
104	FE051@FE054	BLOQUEO DE FEEDERS	1 h	9/17/21 9:00 AM	9/17/21 10:00 AM
105	FE051@FE054	INSTALACION PLATAFORMAS FEEDERS FE051,052	12 h	9/17/21 10:00 AM	9/17/21 10:00 PM
106	FE051@FE054	INSTALACION PUNTOS DE ANCLAJE NIVELES TOLVAS FE051@054	12 h	9/17/21 10:00 AM	9/17/21 10:00 PM
107	FE051@FE054	DESBLOQUEO DE FEEDERS	1 h	9/17/21 10:00 PM	9/17/21 11:00 PM
108	CV017	FAJA TRANSPORTADOR CV017	16 h	9/17/21 9:00 AM	9/18/21 1:00 AM
109	CV017	ALCANZAR NIVELES	0.5 h	9/17/21 9:00 AM	9/17/21 9:30 AM
110	CV017	BLOQUEO DE EQUIPOS CV017	0.5 h	9/17/21 9:30 AM	9/17/21 10:00 AM
111	CV017	CAMBIO DE POLINES, RASPADORES, V.PLOW FAJA CV017	14.5 h	9/17/21 10:00 AM	9/18/21 12:30 AM
112	CV017	INSTALACION DE ANDAMIOS PARA PLATAFORMA ZONA MOTRIZ CV017	8 h	9/17/21 10:00 AM	9/17/21 6:00 PM
113	CV017	ALINEAMIENTO DE LIVEROLL 1 (BPO RODAM DER) CV017	8 h	9/17/21 10:00 AM	9/17/21 6:00 PM
114	CV017	ALINEAMIENTO DE LIVEROLL #3 X VIBRACION CV017	8 h	9/17/21 10:00 AM	9/17/21 6:00 PM
115	CV017	DESBLOQUEO FAJA CV017	0.5 h	9/18/21 12:30 AM	9/18/21 1:00 AM
116	CV017	REPARAR LUMINARIAS EN FAJA	4 h	9/17/21 10:00 AM	9/17/21 2:00 PM
117	CV018	FAJA TRANSPORTADOR CV018	16 h	9/17/21 9:00 AM	9/18/21 1:00 AM



118	CV018	ALCANZAR NIVELES	0.5 h	9/17/21 9:00 AM	9/17/21 9:30 AM
119	CV018	BLOQUEO DE CV018 Y TR018	0.5 h	9/17/21 9:30 AM	9/17/21 10:00 AM
120	CV018	CAMBIO DE POLINES, RASPADORES, V.PLOW FAJA CV018	14.5 h	9/17/21 10:00 AM	9/18/21 12:30 AM
121	CV018	RETIRO DE TECLES ELECTRICOS CONTRAPESEO CV018	3 h	9/17/21 6:00 PM	9/17/21 9:00 PM
122	CV018	DESBOQUEO CV018	0.5 h	9/18/21 12:30 AM	9/18/21 1:00 AM
123	TR018	TRIPPER TR018	14 h	9/17/21 9:00 AM	9/17/21 11:30 PM
124	TR018	ALCANZAR NIVELES	0.5 h	9/17/21 9:00 AM	9/17/21 9:30 AM
125	TR018	BLOQUEO DE CV018 Y TR018	0.5 h	9/17/21 9:30 AM	9/17/21 10:00 AM
126	TR018	PM MANTENIMIENTO TRIPPER TR018 (Toma de medidas poles de voltas Tripper)	12 h	9/17/21 10:00 AM	9/17/21 10:00 PM
127	TR018	ARMADO ANDAMIOS CHUTE DESCARGA TRIPPER	3 h	9/17/21 10:00 AM	9/17/21 1:00 PM
128	TR018	MANTTO RASPADORES EN CHUTE TRIPPER, (PRIM Y SEC)	2 h	9/17/21 1:00 PM	9/17/21 3:00 PM
129	TR018	NOTUT RIELES TR018	3 h	9/17/21 10:00 AM	9/17/21 1:00 PM
130	TR018	DESBOQUEO EQUIPOS TR018 Y CV018	1 h	9/17/21 10:00 PM	9/17/21 11:00 PM
131	TR018	REPARAR CAJA FUERZA MOTOR#4	2 h	9/17/21 10:00 AM	9/17/21 12:00 PM
132	CV019	FAJA TRANSPORTADOR CV019	16 h	9/17/21 9:00 AM	9/18/21 1:00 AM
133	CV019	ALCANZAR NIVELES	0.5 h	9/17/21 9:00 AM	9/17/21 9:30 AM
134	CV019	Desquinche de chute de tranf CV019(031 (pique de faja)	2 h	9/17/21 9:00 AM	9/17/21 11:30 AM
135	CV019	BLOQUEO DE FAJA CV019	0.5 h	9/17/21 11:00 AM	9/17/21 11:30 AM
136	CV019	CAMBIO DE POLINES, RASPADORES, V.PLOW FAJA CV019	13 h	9/17/21 11:30 AM	9/18/21 12:30 AM
137	CV019	FABRICACION FALDON CHUTE CV019-031	8 h	9/17/21 11:30 AM	9/17/21 7:30 PM
138	CV019	DESBOQUEO DE FAJA CV019	0.5 h	9/18/21 12:30 AM	9/18/21 1:00 AM
139	CV019	REPARAR SIRENAS DE FAJA	4 h	9/17/21 11:30 AM	9/17/21 3:30 PM
140		<b>MOLIENDA</b>	<b>17 h</b>	<b>9/17/21 6:00 AM</b>	<b>9/18/21 1:00 AM</b>
141	LINEA 1	LINEA 1	10 h	9/17/21 6:00 AM	9/17/21 6:00 PM
142	PP101	BOMBAS CICLONES PRIMARIOS	8 h	9/17/21 9:00 AM	9/17/21 5:00 PM
143	PP101	LIMPIEZA	2 h	9/17/21 9:00 AM	9/17/21 11:30 AM
144	PP101	BLOQUEO	1 h	9/17/21 11:00 AM	9/17/21 12:00 PM
145	PP101	CAMBIO ACEITE MOTOR E INSPECCION ACEITE REDUCTOR	4 h	9/17/21 12:00 PM	9/17/21 4:00 PM
146	PP101	DESBOQUEO	1 h	9/17/21 4:00 PM	9/17/21 5:00 PM
147	ML101	MOLINO DE BOLAS #1	10 h	9/17/21 6:00 AM	9/17/21 6:00 PM
148	ML101	LIMPIEZA	1 h	9/17/21 9:00 AM	9/17/21 10:30 AM
149	ML101	BLOQUEO MECANICO	1 h	9/17/21 10:00 AM	9/17/21 11:30 AM
150	ML101	INSPECCION FISURAS MCR 360"	3 h	9/17/21 11:00 AM	9/17/21 2:00 PM
151	ML101	CAMBIO PANELES DESCARGA MOLINO	2 h	9/17/21 12:00 PM	9/17/21 2:00 PM
152	ML101	LIMPIEZA QUIMICA DEL AIRE ACONDICIONADO	4 h	9/17/21 11:00 AM	9/17/21 3:00 PM
153	ML101	DESBOQUEO	1 h	9/17/21 5:00 PM	9/17/21 6:00 PM
154	ML101	TRABAJOS E/I	4 h	9/17/21 6:00 AM	9/17/21 12:00 PM
155	ER021	S_LIMPI QUIMICA INTERCAMB AC ER021 ML101	2 h	9/17/21 6:00 AM	9/17/21 10:00 AM
156	ML101	Revisicambio SVI puerta -CAJ -CC ML101	4 h	9/17/21 6:00 AM	9/17/21 12:00 PM
157	ML101	APOYO REGULACION FRENS	1 h	9/17/21 6:00 AM	9/17/21 9:00 AM
158	ML101	PREVIOS REUBIC TABLEROS INST MOLINOS(70%	2 h	9/17/21 6:00 AM	9/17/21 10:00 AM
159	ML101	REV. PERDIDA COMUNICACION CCT Y MLPC( TI	2 h	9/17/21 6:00 AM	9/17/21 10:00 AM
160	MC211	M.P. ARRANCADORES AUXILIARES MOLINO	3 h	9/17/21 6:00 AM	9/17/21 11:30 AM
161	MC211	M.P. CONTACTOR ARRANCADORES AUX. MOLINO	4 h	9/17/21 6:00 AM	9/17/21 12:00 PM
162	LINEA 1	ARRANQUE MOLINOS	0 h	9/17/21 6:00 PM	9/17/21 6:00 PM
163	LINEA 2	LINEA 2	17 h	9/17/21 6:00 AM	9/18/21 1:00 AM
164	SC201/SC202	ZARANDAS HUMEDAS	6 h	9/17/21 9:00 AM	9/17/21 3:00 PM
165	SC202	LIMPIEZA	1 h	9/17/21 9:00 AM	9/17/21 10:30 AM
166	SC202	BLOQUEO	1 h	9/17/21 10:00 AM	9/17/21 11:30 AM
167	SC202	CAMBIO PANELES	3 h	9/17/21 11:00 AM	9/17/21 2:00 PM
168	SC202	DESBOQUEO	1 h	9/17/21 2:00 PM	9/17/21 3:00 PM
169	PP201	BOMBAS CICLONES PRIMARIOS	16 h	9/17/21 9:00 AM	9/18/21 1:00 AM

