



UNIVERSIDAD  
**DE ATACAMA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROPUESTAS DE ENSAYO DE CORTOCIRCUITO EN TRANSFORMADOR  
DE 23 KV A 3.3 KV COMO EVALUACION ANTE UNA FALLA EN EL  
TRANSFORMADOR PRINCIPAL DE LA FAENA COEMIN.**

Matias Patricio Martínez Catrilaf

Cristian Matias Muñoz Ramirez

Copiapó, Chile 2023



UNIVERSIDAD  
**DE ATACAMA**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**PROPUESTA DE ENSAYO DE CORTOCIRCUITO EN TRANSFORMADOR  
DE 23 KV A 3.3 KV COMO EVALUACION ANTE UNA FALLA EN EL  
TRANSFORMADOR PRINCIPAL DE LA FAENA COEMIN.**

Proyecto de titulación presentado en conformidad a los requisitos para obtener el título  
de Ingeniero de Ejecución en Electricidad

Profesor Guía: Ricardo Quiroz Concha

Matias Patricio Martínez Catrilaf

Cristian Matias Muñoz Ramírez

Copiapó, Chile 2023

## **DEDICATORIA**

Hoy me dirijo a ustedes con un profundo sentimiento de gratitud en mi corazón. El trabajo que hemos realizado no habría sido posible sin su apoyo inquebrantable y su constante guía. Quiero expresar mi más sincero agradecimiento por su dedicación y compromiso en mi educación y crecimiento.

A mis queridos padres, quiero decirles que su amor, paciencia y apoyo incondicional han sido el pilar fundamental en mi vida. Cada logro que he alcanzado, incluyendo este informe, es el resultado directo de su sacrificio y compromiso en brindarme las mejores oportunidades. Gracias por siempre alentarme a esforzarme al máximo y por ser mi fuente inagotable de inspiración.

A mis respetados profesores, no puedo agradecerles lo suficiente por su sabiduría y orientación. En especial al Profesor Ricardo, sus lecciones, paciencia y apoyo constante han sido cruciales para alcanzar los objetivos que hoy celebramos. Gracias por su dedicación a la enseñanza y por creer en mi capacidad para aprender y crecer. Este informe es el fruto de nuestro trabajo en equipo, y sé que mi éxito no habría sido posible sin su influencia positiva en mi vida. Aprecio profundamente cada momento que han invertido en mi educación y desarrollo. Estoy comprometido a seguir esforzándome y aplicando todo lo que he aprendido para alcanzar nuevos logros en el futuro.

Matias Martinez.

## **DEDICATORIA**

Estimados padres y profesores,

Hoy quiero expresar mi más profundo agradecimiento por el informe que hemos logrado. Este éxito no habría sido posible sin su constante apoyo y orientación.

A mis padres, les agradezco por ser mi fuente inagotable de inspiración y amor incondicional. Cada logro en mi educación es un reflejo de su dedicación.

A mis profesores, les reconozco como pilares fundamentales en mi crecimiento. Sus enseñanzas y apoyo han sido esenciales para alcanzar este logro.

Este informe representa nuestro trabajo en equipo, y estoy comprometido a seguir aplicando lo que he aprendido. Una vez más, gracias por su inestimable influencia en mi vida.

Cristian Muñoz.

## INDICE

<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>1</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Síntesis del proyecto.....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Objetivo general .....</b>	<b>2</b>
<b>1.3 Objetivos específicos .....</b>	<b>2</b>
<b>1.4 Metodología .....</b>	<b>2</b>
<b>1.5 Herramientas a utilizar .....</b>	<b>4</b>
1.5.1 Software de análisis de información por planillas, EXCEL.....	4
1.5.2 Protección y gestión integral para transformadores multilin 845 .....	4
1.5.3 Instrumento electrodinámico para medir la potencia eléctrica.....	5
1.5.4 herramienta de análisis y control para el diseño, simulación y operación de sistemas de potencia eléctricos de generación, distribución e industriales.....	5
<b>CAPÍTULO II .....</b>	<b>6</b>
<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>6</b>
<b>2.1 Conceptos generales.....</b>	<b>6</b>
2.1.1 Transformador eléctrico .....	6
2.1.2 Centro de carga.....	6
2.1.3 Centros de Carga Monofásicos y Trifásicos: .....	7
2.1.4 Centros de Carga con Interruptor Principal:.....	7
2.1.5 Centros de Carga con Zapata Principal: .....	7
2.1.6 Centros de Carga con Diferentes Capacidades de Espacios Derivados: .....	7
2.1.7 Reconectador .....	8
2.1.8 Clasificación de reconectores. ....	8
2.1.9 Partes de un Reconectador .....	9
2.1.10 Barra viva. ....	11
2.1.11 Conexión triangulo estrella. ....	12
2.1.12 Transformador. ....	13
2.1.13 Fusible de línea.....	14
2.1.14 Características clave de los fusibles de línea de alta tensión .....	14
2.1.15 Voltaje .....	15
2.1.16 Corriente eléctrica .....	16

2.1.17 Campo magnético.....	16
2.1.18 Factor de potencia .....	16
2.1.19 Potencia eléctrica.....	16
2.1.20 Impedancia. ....	17
2.1.21 Sistema trifásico .....	17
2.1.22. Tensión o diferencia de potencial.....	17
2.1.22 Transformadores.....	17
2.1.23 Características clave de los transformadores trifásicos incluyen .....	18
<b>2.2 Tipos de transformadores.....</b>	<b>19</b>
2.2.1 Transformadores de Distribución.....	19
2.2.2 Transformadores de Potencia .....	19
2.2.3 Transformadores Especiales.....	20
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>21</b>
<b>DESCRIPCIÓN Y METODOLOGIA DE TRANSFORMADOR TRIFASICO ....</b>	<b>21</b>
<b>3.1 Descripción Transformador .....</b>	<b>22</b>
<b>3.2 Principio de funcionamiento transformador RHONA .....</b>	<b>22</b>
3.2.1 Aplicaciones .....	23
<b>3.3 Características físicas de transformador .....</b>	<b>24</b>
3.3.1 Núcleo magnético.....	24
3.3.2 Devanados o bobinas.....	24
3.3.3 Aislamiento dieléctrico.....	24
3.3.4 Aceite aislante .....	25
3.3.5 Recubrimientos y pintura .....	25
3.3.6 Núcleo del transformador sumergido en resina.....	25
3.3.7 Materiales de montaje y estructurales .....	25
<b>CAPÍTULO IV .....</b>	<b>26</b>
<b>ESTUDIO DE ENSAYOS DE CORTO CIRCUITO EN TRANSFORMADORES</b> <b>.....</b>	<b>26</b>
<b>4.1 Ensayos de corto circuito.....</b>	<b>26</b>
4.1.1 Importancia de los ensayos.....	26
<b>4.2 Tipos de ensayos de corto circuito .....</b>	<b>28</b>
<b>4.3 Resultado de los ensayos.....</b>	<b>28</b>

4.3.1 Normativas de ensayos de corto circuito.....	30
4.3.2 Equipamiento de prueba para ensayos de corto circuito. ....	31
<b>4.4 Ventaja de realizar ensayos de corto circuito.....</b>	<b>32</b>
<b>4.5 Propósito de los ensayos de cortocircuito. ....</b>	<b>36</b>
<b>4.6 Plan de mantención. ....</b>	<b>37</b>
<b>CAPÍTULO V.....</b>	<b>38</b>
<b>PROPUESTA DEL ENSAYO DE CORTO CIRCUITO .....</b>	<b>38</b>
<b>5.1 Detección de Cortocircuitos en Transformadores .....</b>	<b>38</b>
<b>5.2 Evaluación de la Capacidad de Respaldo .....</b>	<b>39</b>
<b>5.3 La Gestión de Riesgos como Prioridad .....</b>	<b>40</b>
<b>5.4 Métodos y Tecnologías para la Detección y Evaluación.....</b>	<b>42</b>
<b>5.5 Estudios de Caso y Ejemplos Prácticos.....</b>	<b>44</b>
<b>5.6 EJERCICIO DETERMINACION ESTADO TRANSFROMADOR .....</b>	<b>45</b>
<b>CAPÍTULO VI .....</b>	<b>46</b>
<b>ANÁLISIS DE LOS DAÑOS QUE PODRIA OCACIONAR DAÑOS A LOS TRANSOFRMADORES .....</b>	<b>46</b>
<b>6.1 Daños monetarios.....</b>	<b>46</b>
<b>6.2 Tiempo de inactividad .....</b>	<b>47</b>
<b>6.3 Costo de la mano de obra .....</b>	<b>48</b>
<b>6.4 Costos de mantenimientos preventivo vs costo de reemplazo de trafo.. .....</b>	<b>50</b>
<b>6.5 Perdida de ingresos .....</b>	<b>51</b>
<b>6.6 Costos ambientales.....</b>	<b>51</b>
<b>6.7 Costos de seguridad y salud .....</b>	<b>53</b>
<b>CAPÍTULO VII.....</b>	<b>55</b>
<b>EVALUACIÓN IMPACTO CON Y SIN PROYECTO .....</b>	<b>55</b>
<b>7.1Proyectos con ensayos de corto circuito .....</b>	<b>55</b>
7.1.2 Impactos positivos.....	55
<b>7.2 Proyecto sin ensayo de corto circuito .....</b>	<b>61</b>
7.2.1 Impactos negativos .....	61
<b>7.3 Comparativa mantención vs reemplazo.....</b>	<b>67</b>
<b>7.4 Conclusión.....</b>	<b>68</b>
<b>CAPÍTULO VIII.....</b>	<b>69</b>

<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>69</b>
<b>8.1 En cuanto a los objetivos específicos .....</b>	<b>69</b>
<b>8.2. En cuanto al objetivo general.....</b>	<b>71</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>72</b>

## RESUMEN

El proyecto en cuestión tiene como objetivo principal la realización de un ensayo de cortocircuito en un transformador de 23 kV a 3.3 kV. Esta iniciativa surgió como respuesta a una necesidad crítica en la planta, donde la carga alimentada por estos transformadores desempeñaba un papel fundamental en el proceso de extracción de concentrado de cobre. Dada la ausencia de un transformador de reserva con las mismas características, se hizo imperativo llevar a cabo un estudio exhaustivo para determinar si uno de estos transformadores podría asumir la carga sin comprometer su integridad, especialmente el devanado de cobre en el lado secundario, y la seguridad de los colaboradores en la planta. Además, se buscaba establecer la conexión hacia un reconectador existente en la planta para garantizar su protección. El posible cambio o mejora propuesto consistió en realizar ensayos de cortocircuito y circuito abierto para evaluar el estado interno de ambos transformadores, obteniendo datos precisos que permitieron realizar simulaciones mediante software especializado. El objetivo de estas simulaciones era determinar si, en caso de que uno de los transformadores quedara fuera de servicio, el transformador restante podía asumir toda la carga de manera segura, asegurando la continuidad del proceso de extracción. Además, se pretendía llevar a cabo la parametrización de una protección diferencial utilizando el relé Multilin Serie 850, lo que contribuiría a mejorar la confiabilidad y seguridad del sistema eléctrico de la planta. Este proyecto se presentaba como una solución esencial para garantizar la operatividad y la protección de los equipos en un entorno crítico como el de la extracción de concentrado de cobre.

## ABSTRACT

The main objective of the project in question is to carry out a short circuit test on a 23 kV to 3.3 kV transformer. This initiative arises in response to a critical need at the plant, where the load fed by these transformers plays a fundamental role in the copper concentrate extraction process. Given the absence of a standby transformer with the same characteristics, it is imperative to carry out a comprehensive study to determine if one of these transformers could assume the load without compromising its integrity, especially the copper winding on the secondary side, and the safety of employees in the plant. In addition, the aim is to establish the connection to an existing recloser in the plant to guarantee its protection. The possible change or improvement proposed consists of carrying out short circuit and open circuit tests to evaluate the internal state of both transformers, obtaining precise data that will allow simulations to be carried out using specialized software. The objective of these simulations is to determine if, in the event that one of the transformers is out of service, the remaining transformer can safely assume the entire load, ensuring the continuity of the extraction process. In addition, it is intended to carry out the parameterization of differential protection using the Multilin Series 850 relay, which will contribute to improving the reliability and safety of the plant's electrical system. This project is presented as an essential solution to guarantee the operation and protection of equipment in a critical environment such as the extraction of copper concentrate.

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1 Síntesis del proyecto

El proyecto se centra en realizar un ensayo de cortocircuito en un transformador de 23 kV a 3.3 kV en una planta de extracción de concentrado de cobre. La necesidad surge debido a la falta de un transformador de respaldo con las mismas especificaciones. El objetivo principal es determinar si el transformador existente puede asumir toda la carga de manera segura y, al mismo tiempo, implementar una protección diferencial Multilin Serie 850 para mejorar la confiabilidad y seguridad del sistema eléctrico de la planta.

El problema radica en la posibilidad de interrupción en la carga eléctrica en caso de fallo o mantenimiento en uno de los transformadores principales, lo que podría resultar en pérdidas económicas considerables. Además, se busca establecer una conexión hacia un sistema de reconexión existente en la planta para garantizar la protección del sistema eléctrico.

La pregunta de investigación se enfoca en determinar la condición real del bobinado del transformador y cómo garantizar la continuidad operativa y la seguridad eléctrica en la planta.

Los objetivos del proyecto incluyen realizar ensayos de cortocircuito y circuito abierto en los transformadores, determinar su estado a través de pruebas, realizar simulaciones para evaluar su comportamiento bajo diferentes condiciones y parametrizar la protección diferencial Multilin Serie 850.

En el marco teórico, se destacan conceptos clave como el funcionamiento de los transformadores eléctricos, su aplicación en la industria minera, el mantenimiento necesario, los ensayos relevantes y la importancia de la protección diferencial en sistemas eléctricos industriales.

## 1.2 Objetivo general

El proyecto de titulación tiene como objetivo realizar un experimento de cortocircuito en un transformador de 23 kV a 3.3 kV para evaluar su comportamiento en condiciones extremas y confirmar la eficacia de la protección diferencial en entornos eléctricos industriales. Además, busca profundizar en la comprensión de los principios y procesos de los transformadores eléctricos, con el fin de contribuir al avance del conocimiento en ingeniería eléctrica.

## 1.3 Objetivos específicos

- ✚ Proponer un ensayo de cortocircuito y circuito abierto en los transformadores.
- ✚ Determinar el estado de los transformadores a través de las pruebas mencionadas.
- ✚ Formular propuestas de simulaciones mediante software para evaluar el comportamiento de los transformadores bajo diferentes condiciones.

## 1.4 Metodología

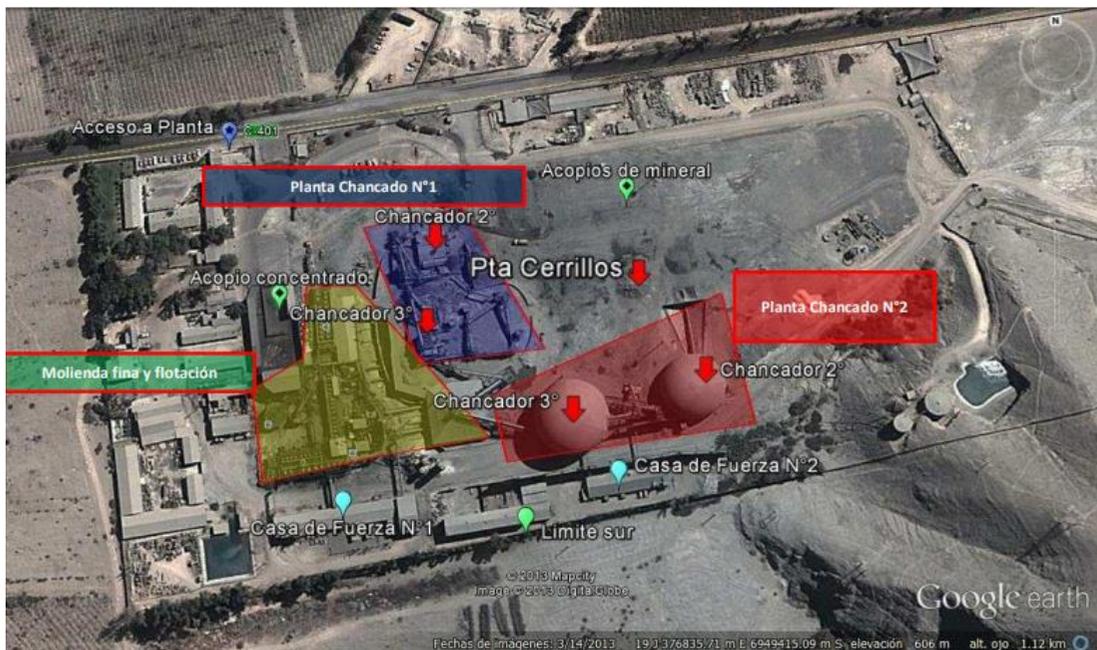
COEMIN S.A., una empresa vinculada a la familia Gómez Pacheco e hijos, opera la Planta Cerrillos en Tierra Amarilla, procesando diariamente 8000 toneladas de mineral de la Mina Carola. La planta produce al mes alrededor de 8,500 toneladas de concentrados de cobre, así como cantidades adicionales de oro y plata como subproductos. Ubicada a 30 kilómetros al sur de Copiapó, la planta utiliza un sistema avanzado de espesamiento de relaves que emplea pasta en lugar de relaves convencionales, siendo más amigable con el medio ambiente. La técnica permite recuperar agua mediante decantamiento de sólidos, con productos químicos como floculantes. El agua recuperada se almacena en tanques específicos y se utiliza en procesos de molienda y flotación, contribuyendo a un ciclo eficiente de recuperación del agua y reduciendo la contaminación en el área.

El proyecto tenía como objetivo principal realizar un ensayo de cortocircuito en un transformador de 23 kV a 3.3 kV, respondiendo a una necesidad crítica en la planta para mantener la extracción de concentrado de cobre. Ante la ausencia de un transformador de

reserva, se llevó a cabo un estudio exhaustivo para evaluar la capacidad de uno de los transformadores existentes, considerando la seguridad del devanado de cobre y de los colaboradores en la planta. La propuesta incluía ensayos para evaluar ambos transformadores, simulaciones mediante software especializado y la parametrización de una protección diferencial con el relé Multilin Serie 850. Este proyecto se presentó como esencial para garantizar la operatividad y protección de los equipos en un entorno crítico como la extracción de concentrado de cobre.

A continuación, se presentará en la figura N° 1.1 las instalaciones de planta Coemin.

**Figura N° 1.1: Distribución de las instalaciones en Planta Cerrillos.**



Fuente: Google imágenes Planta Cerrillos.

## 1.5 Herramientas a utilizar

Para la elaboración del proyecto se han manejado y utilizado las siguientes herramientas y programas:

### 1.5.1 Software de análisis de información por planillas, EXCEL

Excel es un programa informático de hojas de cálculo, creador de gráficos, tablas calculares y un lenguaje de programación macro llamado Visual Basic para aplicaciones. La figura N° 1.2 muestra su icono o figura.

**Figura N° 1.2: Software Excel.**



Fuente: Google imágenes.

### 1.5.2 Protección y gestión integral para transformadores multilin 845

El sistema de protección de transformadores Multilin™ 845 es un miembro de la plataforma de relés de protección Multilin 8 Series y ha sido diseñado para la protección, control y gestión de transformadores de distribución y energía de 2 y 3 devanados en aplicaciones industriales y de servicios públicos. En la figura N° 1.4 se muestra un ejemplo de multilin 845.

**Figura N° 1.4: Herramienta Multilin 845.**



Fuente: Taller Coemin

### 1.5.3 Instrumento electrodinámico para medir la potencia eléctrica.

El vatímetro es un instrumento electrodinámico para medir la potencia eléctrica o tasa de suministro de energía eléctrica de un circuito eléctrico dado. Su unidad de medida es el vatio. El dispositivo consiste en un par de bobinas fijas, llamadas (bobinas de corriente) o amperimétrica, y una bobina móvil llamada (bobina de potencial) o voltimétrica.

**Figura N°1.5: Vatímetro**



Fuente: Propia

### 1.5.4 herramienta de análisis y control para el diseño, simulación y operación de sistemas de potencia eléctricos de generación, distribución e industriales.

El software es usado por técnicos e ingenieros de diseño fundamentalmente para la simulación de sistemas de energía, incluyendo los sistemas de tierra, el seguimiento de los sistemas de energía, la potencia y otros.

**Figura N°1.6: ETAP**



Fuente: propia.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Conceptos generales**

Resulta necesario abordar algunos puntos referentes al tema, detallando algunos conceptos generales y sus definiciones, como lo es el reconectado, multilin 845, transformadores, centros de carga y su conexionado.

##### **2.1.1 Transformador eléctrico**

Un transformador eléctrico es un dispositivo que se utiliza para modificar la tensión eléctrica de una corriente alterna mientras se mantiene la potencia constante. Funciona mediante la inducción electromagnética, donde dos bobinados o devanados (primario y secundario) están acoplados magnéticamente a través de un núcleo de hierro. Cuando se aplica una tensión alterna al devanado primario, se genera un campo magnético que induce una tensión en el devanado secundario, que puede ser de un valor diferente al del devanado primario según la relación de transformación.

##### **2.1.2 Centro de carga**

Los centros de carga son tableros metálicos que contienen una serie de pastillas termomagnéticas. Estas pastillas están conectadas a barras de cobre en el interior del centro de carga y se utilizan para distribuir la energía eléctrica y proteger pequeñas instalaciones eléctricas. Estos dispositivos se encuentran en una variedad de instalaciones, desde hogares y negocios hasta naves industriales y edificios. Los centros de carga pueden ser alimentados a través de zapatas principales o interruptores principales. En instalaciones comerciales o industriales, a menudo se derivan de un tablero principal de alumbrado o distribución eléctrica.

La función principal de un centro de carga es distribuir la energía eléctrica a través de interruptores termomagnéticos o "pastillas térmicas" que alimentan circuitos específicos, como circuitos de iluminación o receptáculos. Estos centros de carga vienen en diversas opciones, dependiendo de la cantidad de circuitos que se necesiten alimentar, con

capacidades que van desde 2 espacios derivados hasta 30 espacios para circuitos derivados.

Los centros de carga, que también se conocen como tableros eléctricos o paneles de distribución, vienen en diferentes tipos según sus características y capacidades. Aquí tienes una descripción de los tipos más comunes de centros de carga:

### **2.1.3 Centros de Carga Monofásicos y Trifásicos:**

- ✚ **Monofásicos:** Estos centros de carga tienen una sola fase y se utilizan en aplicaciones domésticas y algunas aplicaciones comerciales de menor tamaño.
- ✚ **Trifásicos:** Los centros de carga trifásicos tienen tres fases y se utilizan en aplicaciones industriales y comerciales más grandes que requieren una mayor cantidad de energía y una distribución equilibrada de la carga.

### **2.1.4 Centros de Carga con Interruptor Principal:**

- ✚ Estos paneles cuentan con un interruptor principal que permite conectar y desconectar todo el suministro eléctrico del centro de carga. Son comunes en instalaciones residenciales y comerciales

### **2.1.5 Centros de Carga con Zapata Principal:**

- ✚ En lugar de un interruptor principal, estos paneles tienen zapatas principales que se conectan directamente a las barras del centro de carga. La protección de estos paneles se logra mediante un interruptor en un panel corriente arriba, lo que se conoce como un panel agregado, secundario o corriente abajo. Se utilizan en aplicaciones más grandes y a menudo en la industria.

### **2.1.6 Centros de Carga con Diferentes Capacidades de Espacios Derivados:**

- ✚ Los centros de carga varían en la cantidad de espacios derivados que tienen, lo que determina la cantidad de circuitos que pueden alojar. Puedes encontrar paneles con capacidades que van desde 2 espacios derivados hasta 30 o más, dependiendo de las necesidades específicas de la instalación eléctrica.

La elección del tipo de centro de carga dependerá de la aplicación, la cantidad de energía requerida, el tipo de fase, la cantidad de circuitos necesarios y otras consideraciones específicas de la instalación eléctrica. Es importante seleccionar el tipo adecuado para garantizar una distribución de energía segura y eficiente.

La figura N° 2.1 muestra una imagen referencial de un Centro de Carga.

**Figura N° 2.1: Switch Gear de 3.300 V.**



Fuente: Propia.

### **2.1.7 Reconectador**

El reconectador es un componente clave en las redes de distribución eléctrica, diseñado para garantizar un servicio eléctrico más continuo. Funciona como un interruptor inteligente que, al detectar una sobrecarga, corta la energía y luego la restaura automáticamente. Puede realizar múltiples intentos de reconexión, adaptando los tiempos y el orden de estos intentos. Sin embargo, si la falla persiste, el reconectador desconecta permanentemente la sección problemática de la red, asegurando la operación segura del resto del sistema.

### **2.1.8 Clasificación de reconectores.**

- ✚ A la cantidad de polos: un polo, tres polos
- ✚ Al nivel de tensión : 13.2 kv, 33 kv
- ✚ Al medio de aislación. Aceite, SF6, aislación seca (resina epóxica)

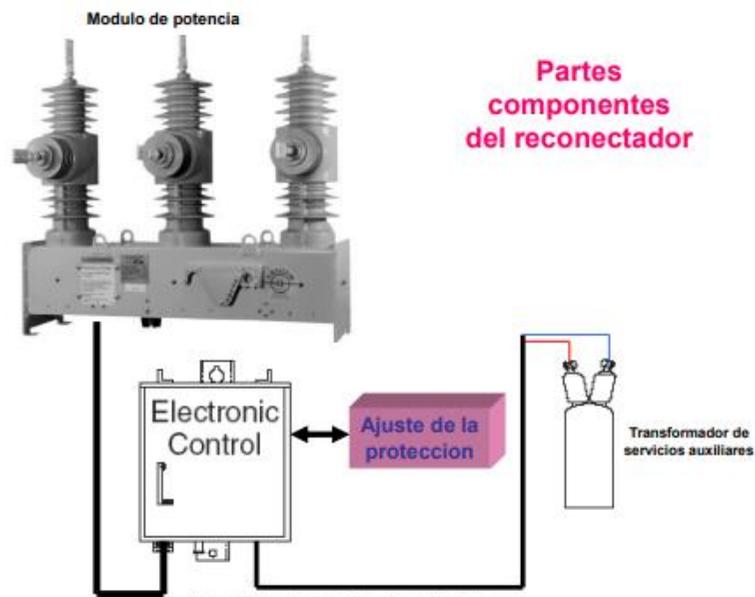
- ✚ Al medio de interrupción de la corriente : aceite, vacío
- ✚ Al tipo de controlador: hidráulico, electrónico analógico, electrónica digital microprocesada
- ✚ Al lugar de emplazamiento: urbano, rural

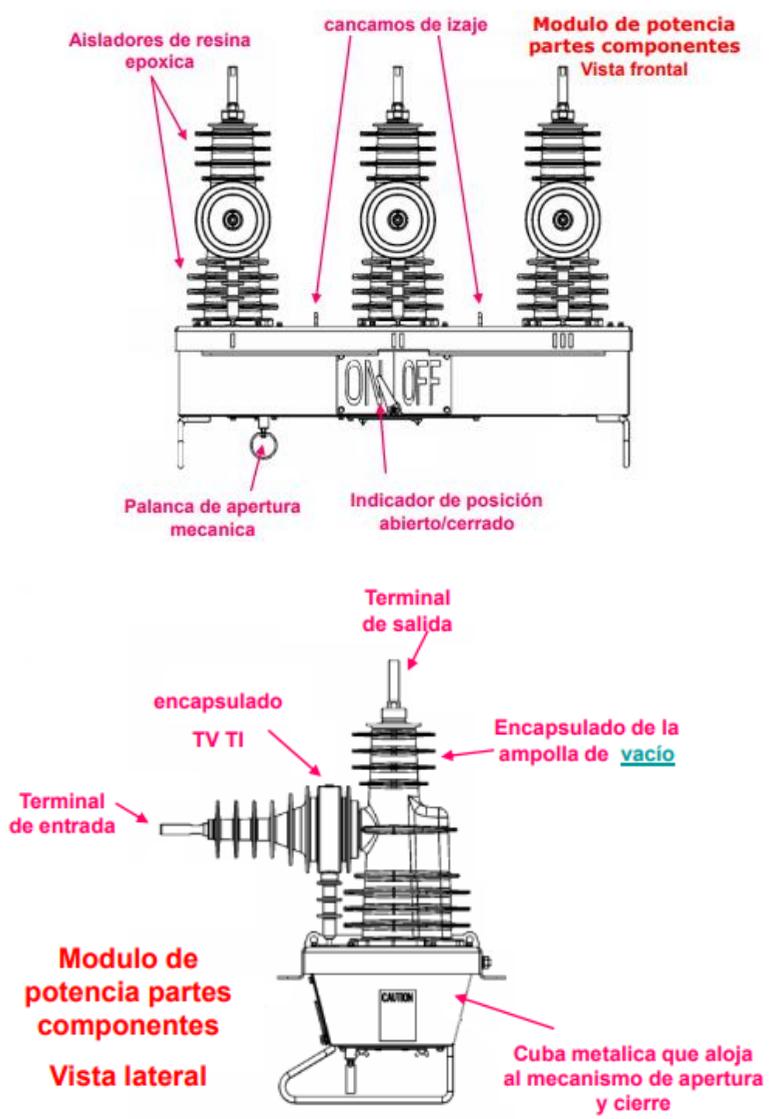
### 2.1.9 Partes de un Reconectador

- ✚ El modulo de potencia (donde se corta/interrumpe la corriente)
- ✚ El modulo de control que gobierna al modulo de potencia
- ✚ El relé de protección
- ✚ Los servicios auxiliares

A continuación se mostraran imágenes referenciales a las partes de un reconectador :

**Figura N° 2.2: Imágenes referencia Reconectador.**





Fuente: Pagina web (epen.gov.ar)

**Figura N° 2.3: Reconectador.**



Fuente: propia.

#### **2.1.10 Barra viva.**

Cuando se lleva a cabo la instalación de un circuito eléctrico, es esencial garantizar una organización adecuada para todos los componentes eléctricos involucrados, las protecciones y el cableado. Para lograr esta tarea, se emplean dispositivos conocidos como barras repartidoras, también llamados repartidores modulares o simplemente barras. Estos elementos son muy útiles para simplificar la distribución ordenada de cables en un panel eléctrico.

Básicamente, constan de uno o más conductores, denominados barras de distribución, que ofrecen múltiples puntos de conexión para otros conductores, asegurando la continuidad eléctrica en cada conexión. La caracterización de estos dispositivos se basa en la cantidad de polos que pueden acomodar (por ejemplo, un repartidor tetrapolar permite conectar Fase 1, 2, 3 y neutro) y en su capacidad máxima de corriente que pueden manejar.

**Figura N° 2.3: Barra viva de distribución.**



Fuente: Propia.

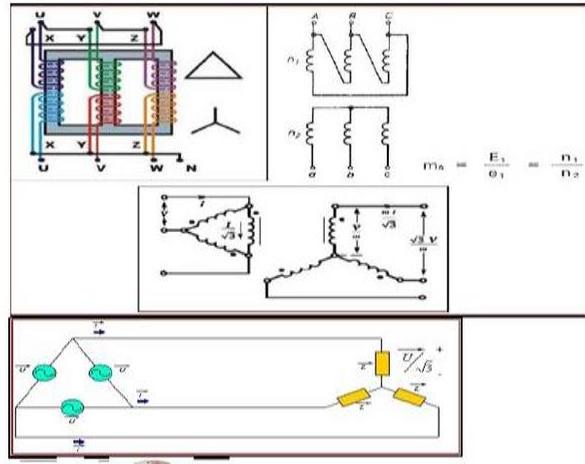
### **2.1.11 Conexión triángulo estrella.**

La conexión en triángulo y estrella es un término que se utiliza en el contexto de sistemas trifásicos, como los sistemas eléctricos industriales y de potencia. Estas conexiones se refieren a la forma en que se interconectan las bobinas en transformadores o motores eléctricos trifásicos.

La elección entre una conexión en triángulo y una conexión en estrella depende de las necesidades de voltaje en una aplicación específica. En una conexión en triángulo, la tensión en cada bobina es igual a la tensión de línea (la tensión entre dos fases), mientras que en una conexión en estrella, la tensión en cada bobina es igual a la tensión de fase (la tensión entre una fase y el punto común).

Es importante mencionar que la elección de la conexión también afecta la corriente y la potencia en el sistema. La conexión en triángulo tiende a tener una corriente de línea más alta y una potencia aparente más alta, mientras que la conexión en estrella tiene una corriente de fase más alta y una potencia aparente más baja.

**Figura N° 2.4: Conexión triángulo-estrella.**



Fuente: Pagina web (monografías.com).

### 2.1.12 Transformador.

Los transformadores trifásicos son dispositivos eléctricos utilizados para cambiar la tensión de un sistema de alimentación eléctrica trifásico a otro nivel de tensión, ya sea aumentándola o reduciéndola. Están diseñados específicamente para sistemas trifásicos, que son sistemas de distribución de energía eléctrica que constan de tres conductores (fases) y generalmente se utilizan en aplicaciones industriales, comerciales y de transmisión de energía a gran escala.

**Figura N° 2.4: Transformador.**



Fuente: Propia.

### 2.1.13 Fusible de línea.

Los fusibles de línea de alta tensión, también conocidos como fusibles de alta tensión, son dispositivos de protección utilizados en sistemas eléctricos de alta tensión para proteger equipos, líneas de transmisión y sistemas eléctricos en general. Estos fusibles están diseñados para interrumpir la corriente eléctrica cuando se detecta un cortocircuito o una sobrecarga en el sistema de alta tensión, con el objetivo de evitar daños graves o un mal funcionamiento.

### 2.1.14 Características clave de los fusibles de línea de alta tensión

- ✚ **Alta Tensión:** Estos fusibles están diseñados para aplicaciones en sistemas eléctricos de alta tensión, que generalmente operan a voltajes de miles de voltios (kV) o incluso más.
- ✚ **Protección:** Su función principal es proteger el sistema y sus componentes contra corrientes anormales. Cuando se produce un cortocircuito o una sobrecarga, el fusible se funde o se abre de manera controlada para interrumpir la corriente y prevenir daños adicionales.
- ✚ **Construcción:** Los fusibles de alta tensión suelen estar compuestos por un elemento fusible, generalmente un alambre o una cinta de material conductor de alta resistencia. Este elemento se elige cuidadosamente para fundirse a una corriente específica y evitar que la corriente fluya. El fusible se aloja en una carcasa resistente aislada para garantizar la seguridad y evitar arcos eléctricos peligrosos.
- ✚ **Montaje:** Estos fusibles se montan en soportes aislantes y se instalan en lugares estratégicos del sistema de alta tensión, como en subestaciones, líneas de transmisión, transformadores, y otros equipos críticos.
- ✚ **Mantenimiento:** Los fusibles de alta tensión pueden requerir mantenimiento periódico para asegurarse de que estén en condiciones adecuadas. Esto puede incluir pruebas de continuidad, inspecciones visuales y, en algunos casos, la sustitución del fusible en sí.

**Figura N° 2.5: Fusibles de línea.**



Fuente: Propio.

### **2.1.15 Voltaje**

El voltaje es la capacidad física que tiene un circuito eléctrico, debido a que impulsa a los electrones a lo extenso de un conductor, esto quiere decir, que el volt conduce la energía eléctrica con mayor o menor potencia, debido a que el voltaje es el mecanismo eléctrico entre los dos cuerpos, basándose en que si los dos puntos establecen un contacto de flujo de electrones, puede suceder una transferencia de energía de ambos puntos, ya que los electrones son de cargas negativas y son atraídas por protones con carga positiva, además, los electrones son rechazados entre sí por tener la misma carga.

### **2.1.16 Corriente eléctrica**

La corriente eléctrica es el flujo de carga eléctrica que recorre un material. Se debe al movimiento de las cargas (normalmente electrones), en el interior de este. Al caudal de corriente (cantidad de carga por unidad de tiempo), se lo denomina intensidad de corriente eléctrica. En el Sistema Internacional de Unidades se expresa en C/s (culombios sobre segundo), unidad que se denomina Amper (A). Una corriente eléctrica, puesto que se trata de un movimiento de cargas, produce un campo magnético, un fenómeno que puede aprovecharse en el electroimán.

### **2.1.17 Campo magnético.**

La velocidad de giro indica el número de revoluciones de una herramienta por unidad de tiempo y se expresa en revoluciones por segundo o por minuto.

Con cuerpos abrasivos rotatorios, la velocidad de giro máxima admisible es una magnitud importante que, resulta de las velocidades máximas de trabajo establecidas en función del diámetro de la herramienta y se indica en revoluciones por minuto (1/min o rpm).

### **2.1.18 Factor de potencia**

Se define el factor de potencia, f.d.p., de un circuito de corriente alterna, como la relación entre la potencia activa, P, y la potencia aparente, S. Da una medida de la capacidad de una carga de absorber potencia activa. Por esta razón, f.d.p = 1 en cargas puramente resistivas; y en elementos inductivos y capacitivos ideales sin resistencia f.d.p = 0.

### **2.1.19 Potencia eléctrica**

La potencia eléctrica es la relación de paso de energía de un flujo por unidad de tiempo; es decir, la cantidad de energía entregada o absorbida por un elemento en un momento determinado. La unidad en el Sistema Internacional de Unidades es el vatio o watt (W).

### **2.1.20 Impedancia.**

Es la cantidad de fluido que circula a través de una sección del ducto (tubería, cañería, oleoducto, río, canal, entre otros), por unidad de tiempo. Normalmente se identifica con el flujo volumétrico o volumen que pasa por un área dada en la unidad de tiempo. Menos frecuentemente, se identifica con el flujo másico o masa que pasa por un área dada en la unidad de tiempo.

### **2.1.21 Sistema trifásico**

Es un sistema de producción, distribución y consumo de energía eléctrica formado por tres corrientes alternas monofásicas de igual frecuencia y amplitud (y por consiguiente valor eficaz), que presentan una diferencia de fase entre ellas de  $120^\circ$  eléctricos, y están dadas en un orden determinado. Cada una de las corrientes monofásicas que forman el sistema se designa con el nombre de fase.

### **2.1.22. Tensión o diferencia de potencial**

La tensión eléctrica o diferencia de potencial es una magnitud física que cuantifica la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos. También se puede definir como el trabajo por unidad de carga ejercido por el campo eléctrico sobre una partícula cargada para moverla entre dos posiciones determinadas. Se puede medir con un voltímetro. Su unidad de medida es el voltio (V).

### **2.1.22 Transformadores.**

Los transformadores trifásicos comparten muchas similitudes con los transformadores monofásicos, que se utilizan en sistemas monofásicos (sistemas de alimentación eléctrica con una sola fase). Sin embargo, los transformadores trifásicos tienen tres devanados (o bobinas) en lugar de uno o dos como los transformadores monofásicos, lo que les permite manejar sistemas trifásicos.

### 2.1.23 Características clave de los transformadores trifásicos incluyen

- ✚ **Tres Devanados:** Como se mencionó, los transformadores trifásicos tienen tres devanados, uno para cada fase (generalmente denominados A, B y C). Esto permite la conversión de la tensión entre las fases.
- ✚ **Relación de Transformación:** La relación de transformación se refiere a cómo cambia la tensión de entrada a la tensión de salida. Por ejemplo, un transformador trifásico con una relación de transformación de 2:1 reduciría la tensión a la mitad.
- ✚ **Conexiones:** Los transformadores trifásicos pueden tener conexiones en triángulo ( $\Delta$ ) o estrella (Y), lo que afecta la forma en que las tensiones de fase y de línea están relacionadas.
- ✚ **Potencia Trifásica:** Los transformadores trifásicos se utilizan para transmitir potencia trifásica, lo que significa que pueden manejar sistemas de mayor potencia que los transformadores monofásicos.

Estos transformadores son esenciales en la distribución y transmisión de energía eléctrica en sistemas trifásicos, ya que permiten ajustar la tensión para adaptarse a las necesidades de carga y mantener una operación eficiente y segura en redes eléctricas trifásicas. Pueden encontrarse en una amplia variedad de aplicaciones, desde plantas industriales hasta subestaciones de distribución y estaciones de energía eléctrica.

Un transformador trifásico consta de varios elementos esenciales que trabajan en conjunto para cambiar la tensión en un sistema trifásico.

## 2.2 Tipos de transformadores.

Los transformadores son dispositivos eléctricos fundamentales en la distribución y transmisión de energía eléctrica. Su función principal es cambiar la tensión de un sistema eléctrico a otro nivel, ya sea aumentándola o reduciéndola, lo que permite la eficiente distribución de energía a través de una red eléctrica. En esta descripción, se describirán diversos tipos de transformadores según sus aplicaciones, características y usos comunes.

### 2.2.1 Transformadores de Distribución

Los transformadores de distribución son utilizados en aplicaciones de baja y media tensión. Se clasifican en:

- ✚ **Transformadores Monofásicos:** Son los más comunes en aplicaciones residenciales y comerciales. Tienen un único devanado primario y secundario y se utilizan para cambiar la tensión de 240V a 120V o viceversa, por ejemplo.
- ✚ **Transformadores Trifásicos:** Se emplean en aplicaciones industriales y comerciales donde se requiere una mayor potencia. Tienen tres devanados, uno para cada fase de un sistema trifásico. Son cruciales en la transmisión de energía a través de líneas de alta tensión.

### 2.2.2 Transformadores de Potencia

Los transformadores de potencia se utilizan en aplicaciones de alta tensión y alta potencia. Se dividen en:

- ✚ **Transformadores Elevadores y Reductores de Tensión:** Estos transformadores cambian la tensión para adaptarse a la generación, transmisión y distribución de energía eléctrica. Los elevadores aumentan la tensión en centrales eléctricas antes de la transmisión, mientras que los reductores disminuyen la tensión para la distribución local.
- ✚ **Transformadores de Corriente (TC):** Se emplean para medir la corriente en sistemas de alta tensión. Transforman la corriente alta en una corriente menor que pueda ser medida por instrumentos de medición.

- ✚ **Transformadores de Potencial (TP):** Son similares a los TC pero miden la tensión. Convierten la tensión alta a una tensión más baja que se puede medir con precisión.

### 2.2.3 Transformadores Especiales

Existen transformadores diseñados para aplicaciones específicas, como:

- ✚ **Transformadores de Aislamiento:** Aíslan eléctricamente dos circuitos o sistemas para proteger contra sobretensiones o para garantizar la seguridad en aplicaciones médicas.
- ✚ **Transformadores de Impedancia:** Cambian la impedancia eléctrica en sistemas de comunicaciones para adaptar las señales a las características del circuito o línea de transmisión. Entre otros.

Los transformadores son componentes esenciales en la infraestructura eléctrica, permitiendo la transmisión y distribución eficiente de energía eléctrica a través de diferentes niveles de tensión.

La elección del tipo de transformador depende de la aplicación, la potencia requerida y las características específicas del sistema eléctrico. La correcta selección y mantenimiento de los transformadores es crucial para garantizar la confiabilidad y eficiencia de la red eléctrica en diversas aplicaciones.

**Figura N° 2.6: Algunos distintos transformadores.**



Fuente: Pagina web (cmsa.com.co)

## **CAPÍTULO III**

### **DESCRIPCIÓN Y METODOLOGIA DE TRANSFORMADOR TRIFASICO**

#### **3.0 METODOLOGIA**

La Planta Cerrillos está ubicada a 30 km al sur de la ciudad de Copiapó, a la entrada de la Quebrada Cerrillos, comuna de Tierra Amarilla. El mineral que alimenta a esta planta proviene de la Mina Carola, el cual contiene principalmente calcopirita y mineral de cobre. Esta en operaciones un Espesador de Relave de ultima tecnología, que permite depositar pasta en vez de relave convencional, lo que es medioambientalmente mucho mas amigable y permite recuperar agua, que se reprocessa.

Principalmente, se vacía mineral extraído en la Minera Carola en las tolvas de alimentación de los chancados, el mineral baja por las tolvas que constan con vibradores de costillas hacia una correa transportadora ( CV-01 ), que lleva el mineral hacia el chancador primario ( HP 300), pasando luego a una segunda corra transportadora ( CV-02 ) que lleva el mineral de un tamaño reducido hacia los harneros ( Harnero 135 y 140), que cumplen la función de seleccionar el tamaño adecuado del mineral para pasar hacia los chancadores secundarios ( HP 500-1, HP 500-2 ), si el tamaño es el adecuado pasara a los chancadores secundarios, si no será enviado nuevamente hacia el chancador primario por medio de la correa de retorno (CV-10.01), una vez que el material pasa por los chancadores secundarios es enviado hacia los molinos ( Molinos De Bolas ) para reducir su tamaño y formar una pasta de concentrado, la cual pasara por bombas de hidrociclón y recicloneo que aumentan la ley del concentrado, eliminando la mayor cantidad de escoria posible, enviando el concentrado a las celdas de flotacion en donde el concentrado de cobre flotara gracias a los floculantes, mientras que el material restante será enviado por medio de las bombas de relave hacia planta de espesado, una vez que el contrado de cobre es elevado en las celdas de flotacion es enviado por una bomba al filtro ceramico, en donde se obtiene el concentrado de cobre y se almacena en las canchas de acopio.

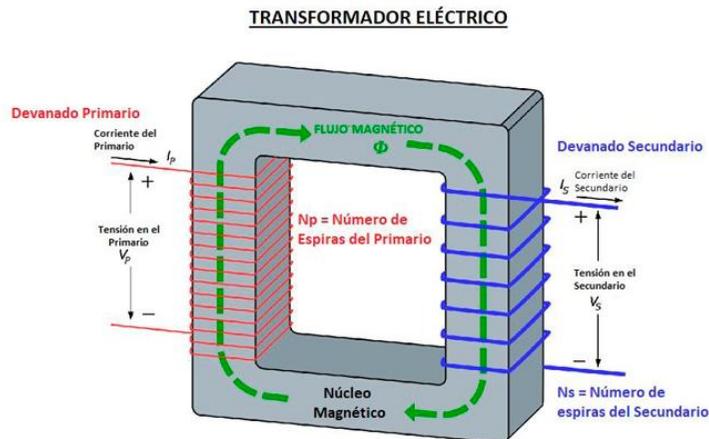
### 3.1 Descripción Transformador

En la minera COEMIN S.A. se encuentra instalado dos transformadores cuya tensión nominal es de 23.00/330-1905 volt. Con una frecuencia de 50 Hertz, con una potencia de **0A55°C 75KVA / FA35°C 10400 KVA.** compuestos por varios materiales clave, cada uno con características específicas que cumplen funciones importantes en su funcionamiento y diseño

### 3.2 Principio de funcionamiento transformador RHONA

Un transformador funciona en base a la inducción electromagnética. Cuando se aplica una corriente alterna en el devanado primario, crea un campo magnético que induce una corriente en el devanado secundario. La relación entre el número de vueltas en los devanados determina si la tensión se eleva o reduce. El transformador conserva la potencia, ajustando la corriente en consecuencia. Es esencial en la transmisión de energía eléctrica, ayudando a elevar la tensión en líneas de alta potencia y reducirla a niveles seguros para uso doméstico y comercial.

Figura N° 3.1: Principio de funcionamiento de un transformador



Fuente: Página web.

### 3.2.1 Aplicaciones

Los transformadores desempeñan un papel importante en la industria minera y se utilizan en diversas aplicaciones para garantizar un suministro eléctrico seguro y eficiente en entornos mineros. Una de la aplicación clave de un transmisión en la minería incluyen:

- ✚ **Suministro de energía a la mina:** Los transformadores se utilizan para elevar o reducir la tensión de la electricidad suministrada a la mina, lo que depende de la red eléctrica local y las necesidades específicas de la operación minera. Esto permite que la energía se adapte a los equipos y sistemas en la mina.

A continuación, en la figura N° 3.2 se muestra una imagen el transformador utilizado en la minera COEMIN

**Figura N° 3.2: Transformador**



Fuente: propia

### 3.3 Características físicas de transformador

Los transformadores están compuestos por varios materiales clave, cada uno con características específicas que cumplen funciones importantes en su funcionamiento y diseño. A continuación, se describen los materiales típicos utilizados en la construcción de un transformador y sus características:

#### 3.3.1 Núcleo magnético

- ✚ **Hierro silicio (FeSi):** El material más comúnmente utilizado en el núcleo magnético de un transformador. Es un material ferromagnético con alta permeabilidad magnética y baja conductividad eléctrica. Esto permite que el núcleo concentre eficazmente el flujo magnético y reduzca las pérdidas por histéresis y corrientes parásitas (corrientes de Foucault).
- ✚ **Acero eléctrico de grano orientado (CRGO) o grano no orientado (CRNGO):** Son aleaciones de hierro y silicio con estructuras de grano específicas que reducen aún más las pérdidas en el núcleo debido a la magnetización.

#### 3.3.2 Devanados o bobinas

- ✚ **Cobre o aluminio:** Estos metales son comunes para los conductores de los devanados primario y secundario. El cobre es el material más utilizado debido a su alta conductividad eléctrica, pero el aluminio se utiliza en aplicaciones de alta tensión y potencia debido a su menor costo y peso.

#### 3.3.3 Aislamiento dieléctrico

- ✚ **Papel aislante:** Se utiliza para separar los devanados y prevenir cortocircuitos. El papel puede estar impregnado de aceite o resina para mejorar las propiedades dieléctricas y la resistencia al calor.
- ✚ **Mica:** En aplicaciones de alta tensión, se utilizan laminados de mica como material aislante debido a sus excelentes propiedades dieléctricas y resistencia al calor.

- ✚ **Plásticos y resinas:** En transformadores modernos, se utilizan materiales dieléctricos sólidos, como resinas epoxi o poliéster, para reemplazar o complementar el aislamiento con papel.

### 3.3.4 Aceite aislante

- ✚ **Aceite mineral:** Se utiliza como fluido aislante y refrigerante en transformadores sumergidos en aceite. Proporciona aislamiento eléctrico, disipa el calor y protege contra la corrosión. El aceite debe cumplir con normas específicas y estar libre de impurezas.
- ✚ **Aceite de silicona:** Se utiliza en algunos transformadores como alternativa al aceite mineral, ya que es menos inflamable y puede soportar temperaturas más altas. También se utiliza en aplicaciones en las que la seguridad contra incendios es una preocupación.

### 3.3.5 Recubrimientos y pintura

- ✚ Se aplican recubrimientos y pintura para proteger el transformador contra la corrosión y los efectos ambientales adversos.

### 3.3.6 Núcleo del transformador sumergido en resina

- ✚ En algunos transformadores, se utiliza resina epoxi o poliéster para encapsular completamente el núcleo y los devanados, proporcionando aislamiento adicional y protección contra la humedad y el polvo.

### 3.3.7 Materiales de montaje y estructurales

- ✚ En la construcción de transformadores, se pueden utilizar materiales estructurales, como acero, para crear la carcasa y el soporte del transformador

## CAPÍTULO IV

### ESTUDIO DE ENSAYOS DE CORTO CIRCUITO EN TRANSFORMADORES

#### 4.1 Ensayos de corto circuito.

Los ensayos de cortocircuito en transformadores son pruebas diseñadas para evaluar el comportamiento de un transformador cuando se le somete a condiciones de cortocircuito.

##### 4.1.1 Importancia de los ensayos

- ✚ **Evaluación de la capacidad de sobrecarga:** Los ensayos de cortocircuito permiten determinar la capacidad de un transformador para soportar corrientes de cortocircuito durante un período limitado. Esto es fundamental para garantizar que el transformador no se dañe en caso de una sobrecarga momentánea en la red eléctrica.
- ✚ **Diseño y selección del transformador:** Los resultados de los ensayos de cortocircuito ayudan a los fabricantes y usuarios a seleccionar el transformador adecuado para una aplicación específica. Se pueden comparar los valores medidos en el ensayo con los datos nominales del transformador para asegurarse de que es adecuado para las condiciones de operación.
- ✚ **Evaluación de la resistencia y pérdidas:** Los ensayos de cortocircuito proporcionan información sobre la resistencia de las bobinas del transformador y las pérdidas generadas durante un cortocircuito. Esto es importante para calcular la eficiencia y las pérdidas de energía en condiciones reales de operación.
- ✚ **Detección de defectos ocultos:** Estos ensayos pueden revelar defectos ocultos en el transformador, como problemas en las conexiones internas o daños en el núcleo, que pueden no ser evidentes en condiciones de funcionamiento normales.
- ✚ **Verificación del diseño y la calidad de fabricación:** Los ensayos de cortocircuito son una parte importante de la calidad y verificación del diseño del transformador. Los resultados ayudan a garantizar que el transformador cumple con las especificaciones y está construido de manera adecuada.

- ✚ **Seguridad:** La realización de ensayos de cortocircuito permite comprender cómo se comporta un transformador en situaciones de cortocircuito, lo que es esencial para garantizar la seguridad de la instalación eléctrica y el personal que opera y mantiene los transformadores.

Para llevar a cabo la prueba de cortocircuito en los transformadores, se siguieron meticulosamente los siguientes pasos con el fin de evaluar el estado y la integridad de los equipos:

- ✚ Se procedió a la desenergización completa de los transformadores, garantizando un entorno seguro para llevar a cabo la prueba. Este paso es esencial para evitar riesgos innecesarios durante la manipulación y el análisis.
- ✚ Se realizó el cortocircuito de los bornes de baja tensión, preparando así el transformador para la aplicación controlada de la prueba de cortocircuito. Esta medida se tomó con el propósito de simular condiciones extremas y evaluar la respuesta del transformador ante situaciones de carga excepcionales.
- ✚ Se conectó el vatímetro al lado de alta tensión del transformador. Este dispositivo de medición es crucial para obtener datos precisos sobre la potencia involucrada durante la aplicación de la prueba, permitiendo una evaluación detallada del rendimiento del equipo.
- ✚ En el cuarto paso, se suministró una tensión de 1000V por el lado de alta tensión, manteniendo el proceso hasta que el lado secundario del transformador alcanzó su valor nominal. Este procedimiento permite evaluar la capacidad del transformador para manejar cargas de cortocircuito y su respuesta bajo condiciones extremas.
- ✚ En el quinto paso, se llevaron a cabo las mediciones pertinentes de tensión, corriente y potencia en el lado de baja tensión. Estas mediciones proporcionan datos cruciales para evaluar el rendimiento y la eficiencia del transformador durante la prueba de cortocircuito.

Al realizar el ensayo en los transformadores de 10400kVA con una relación de transformación de 23kV/3.3kV, los resultados indicaron que el transformador número uno se encuentra en óptimas condiciones, sin evidencia de daños en su devanado interno. Estos hallazgos respaldan la robustez y la calidad del equipo, confirmando su capacidad para soportar condiciones de cortocircuito sin comprometer su funcionamiento. Este análisis detallado contribuye significativamente a la garantía de la seguridad y eficiencia operativa de los transformadores, brindando información valiosa para su mantenimiento y optimización continua.

#### **4.2 Tipos de ensayos de corto circuito**

Dentro de los ensayos también tenemos variedades, los cuales se presentan a continuación:

- ✚ **Ensayo de cortocircuito en vacío (OC):** En este ensayo, se conecta el transformador a una fuente de alimentación y se cortocircuitan las bobinas secundarias (o de salida) del transformador. Esto simula un cortocircuito en las terminales secundarias. Se mide la corriente de cortocircuito, la pérdida de potencia y la resistencia equivalente.
- ✚ **Ensayo de cortocircuito en cortocircuito (SC):** En este ensayo, el transformador se conecta a una fuente de alimentación con las bobinas secundarias también en cortocircuito. Esto simula un cortocircuito en las terminales primarias. Se mide la corriente de cortocircuito, la pérdida de potencia y la resistencia equivalente.

#### **4.3 Resultado de los ensayos.**

Los resultados de un ensayo de cortocircuito en un transformador proporcionan información valiosa y fundamental para diversas aplicaciones y propósitos en el ámbito de la ingeniería eléctrica y la gestión de energía. A continuación, se describen algunos de los principales usos de los resultados de un ensayo de cortocircuito en un transformador:

- ✚ **Selección de Transformador:** Los resultados del ensayo de cortocircuito ayudan a los ingenieros y diseñadores a seleccionar el transformador adecuado para una

aplicación específica. Al conocer la resistencia equivalente y las pérdidas de potencia durante un cortocircuito, se puede determinar si el transformador puede soportar las condiciones previstas de operación y protección.

- ✚ **Diseño de Sistemas:** Los datos obtenidos del ensayo de cortocircuito son esenciales para dimensionar correctamente los sistemas de protección y dispositivos de desconexión en caso de una falla en la red eléctrica. Esto garantiza que el transformador esté protegido y que no se dañe en caso de un cortocircuito.
- ✚ **Evaluación de Eficiencia y Pérdidas:** Los resultados del ensayo de cortocircuito permiten calcular las pérdidas de potencia en el transformador durante condiciones de cortocircuito. Esto es importante para evaluar la eficiencia del transformador en situaciones reales y para determinar la cantidad de energía que se disipa en forma de calor durante una falla.
- ✚ **Verificación de Especificaciones y Calidad:** Comparar los resultados del ensayo con las especificaciones del transformador garantiza que el equipo cumple con los estándares de calidad y rendimiento requeridos. Esto es crítico tanto para los fabricantes como para los usuarios finales que desean asegurarse de que están recibiendo un producto de calidad.
- ✚ **Diagnóstico de Defectos:** Los resultados del ensayo de cortocircuito pueden revelar defectos ocultos en el transformador, como conexiones defectuosas o daños en el núcleo. Esto es importante para la detección temprana de problemas que podrían llevar a fallas en el futuro.
- ✚ **Cálculo de Impedancias:** Los datos obtenidos en el ensayo se utilizan para calcular las impedancias del transformador, que son esenciales para el estudio y análisis de sistemas de potencia y para garantizar una operación coordinada y segura de la red eléctrica.
- ✚ **Mantenimiento Predictivo:** Los resultados del ensayo de cortocircuito, junto con otros datos de diagnóstico, pueden utilizarse en el mantenimiento predictivo de transformadores en servicio. Esto ayuda a programar inspecciones y reparaciones antes de que ocurran fallas graves.
- ✚ **Seguridad Operativa:** La información obtenida de los ensayos de cortocircuito se usa para garantizar la seguridad operativa, ya que ayuda a comprender cómo se

comporta el transformador en situaciones de cortocircuito y a diseñar sistemas de protección adecuados.

Los resultados de un ensayo de cortocircuito en un transformador son esenciales para la selección, el diseño, la operación y el mantenimiento eficiente y seguro de estos dispositivos en sistemas eléctricos y aplicaciones industriales. Proporcionan datos cruciales que influyen en la toma de decisiones y en la fiabilidad del transformador y del sistema en general.

#### **4.3.1 Normativas de ensayos de corto circuito**

En Chile, la normativa y los estándares técnicos relacionados con los ensayos de cortocircuito en transformadores suelen basarse en normas internacionales reconocidas, como las normas emitidas por la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC), el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) y otras normativas nacionales. A continuación, te proporcionaré información sobre algunos de los estándares y normativas que se utilizan en Chile en relación con los ensayos de cortocircuito en transformadores:

- ✚ **Norma Chilena NCh 6/2-1979 "Transformadores de Potencia - Parte 2: Ensayos"**: Esta norma chilena se centra en los ensayos de transformadores de potencia y puede incluir pautas sobre ensayos de cortocircuito. Es importante verificar la versión actualizada de esta norma para obtener los detalles específicos sobre los ensayos de cortocircuito.
- ✚ **Norma IEC 60076**: La norma IEC 60076 es una referencia internacional ampliamente reconocida para los ensayos y las especificaciones de transformadores de potencia. Chile puede adoptar directamente o adaptar los estándares IEC en su normativa nacional.
- ✚ **IEEE C57.12**: Los estándares emitidos por el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE), como el IEEE C57.12.90, que se enfoca en los ensayos de cortocircuito, pueden ser utilizados o adaptados en Chile.
- ✚ **Reglamento de Distribución de la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC)**: En Chile, la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC) establece regulaciones relacionadas con la operación y

mantenimiento de sistemas eléctricos, incluyendo transformadores. Estas regulaciones pueden incluir requerimientos específicos de ensayos y pruebas.

Es importante ponerse en contacto con el organismo regulador de electricidad y las autoridades locales en Chile, como la SEC, para obtener información actualizada sobre las normativas y los estándares específicos que se aplican en el país en relación con los ensayos de cortocircuito en transformadores. Además, los fabricantes de transformadores y los laboratorios de pruebas en Chile suelen seguir las normativas y estándares aplicables a nivel local para garantizar la conformidad con las regulaciones del país y la seguridad.

#### **4.3.2 Equipamiento de prueba para ensayos de corto circuito.**

Los ensayos de cortocircuito en transformadores requieren equipos de prueba especializados para garantizar la seguridad y la precisión de las mediciones. A continuación, se mencionan algunos de los equipos y componentes comunes utilizados en los ensayos de cortocircuito:

- ✚ **Fuente de alimentación de cortocircuito:** Esta es una fuente de alta corriente que suministra la corriente necesaria para simular un cortocircuito en el transformador. Puede proporcionar corrientes de cortocircuito de alto valor durante un corto período de tiempo.
- ✚ **Banco de carga o reactor de cortocircuito:** Se utiliza para absorber y controlar la energía liberada durante el ensayo de cortocircuito. El banco de carga generalmente consta de resistencias o reactores, y se utiliza para limitar la corriente y disipar la potencia generada durante el ensayo.
- ✚ **Transformadores de medición:** Se emplean transformadores de corriente y de tensión para medir la corriente y la tensión en el transformador sometido al ensayo. Estos transformadores reducen las magnitudes de corriente y tensión a niveles seguros y medibles para los equipos de medición.
- ✚ **Instrumentos de medición:** Se utilizan instrumentos de medición precisos, como amperímetros y voltímetros, para registrar la corriente y la tensión durante el ensayo de cortocircuito. Estos instrumentos deben ser capaces de manejar las altas corrientes y tensiones involucradas.

- ✚ **Sistema de registro de datos:** Para registrar y analizar los resultados, se utilizan sistemas de registro de datos, como registradores gráficos o equipos de adquisición de datos. Estos sistemas permiten un seguimiento en tiempo real de las mediciones y generan informes detallados.
- ✚ **Protección y seguridad:** Es crucial contar con sistemas de protección para garantizar la seguridad durante el ensayo. Esto puede incluir dispositivos de desconexión rápida en caso de emergencia, sistemas de ventilación y sistemas de extinción de incendios.
- ✚ **Cableado y accesorios de conexión:** Se necesitan cables de alta resistencia y accesorios de conexión adecuados para conectar el transformador al banco de carga, la fuente de alimentación y los instrumentos de medición.
- ✚ **Generadores de voltaje:** En algunos casos, es necesario aplicar una tensión de cortocircuito en lugar de una corriente de cortocircuito. En este caso, se utilizan generadores de voltaje para simular una condición de cortocircuito.
- ✚ **Equipos de seguridad personal:** Durante los ensayos de cortocircuito, el personal de prueba debe usar equipo de protección personal, como ropa ignífuga, gafas de seguridad y guantes aislantes, para garantizar su seguridad.
- ✚ **Controladores y sistemas de automatización:** Para controlar y automatizar el ensayo, se utilizan controladores y sistemas de automatización que permiten programar y supervisar las condiciones del ensayo.

Estos equipos y componentes son esenciales para llevar a cabo ensayos de cortocircuito en transformadores de manera segura y precisa. La elección de los equipos específicos dependerá de los requisitos del ensayo y del nivel de corriente y tensión involucrado. Además, es fundamental seguir las normativas y estándares aplicables para garantizar la conformidad y la seguridad en el proceso de ensayo.

#### **4.4 Ventaja de realizar ensayos de corto circuito**

Los ensayos de cortocircuito son fundamentales en la vida útil de un transformador por varias razones importantes:

- ✚ **Evaluación de la resistencia y durabilidad:** Los ensayos de cortocircuito permiten determinar la capacidad de un transformador para soportar corrientes de cortocircuito sin sufrir daños significativos. Esto es esencial para garantizar que el transformador sea robusto y duradero en condiciones de funcionamiento real. Un transformador que puede resistir condiciones de cortocircuito sin fallar tendrá una vida útil más larga y requerirá menos mantenimiento.
- ✚ **Diseño y selección adecuados:** Los resultados de los ensayos de cortocircuito son utilizados por los fabricantes y usuarios para seleccionar y diseñar transformadores que se adapten a las condiciones de la red eléctrica en la que serán utilizados. Esto asegura que el transformador no se sobrecargue y que pueda resistir condiciones inesperadas de cortocircuito.
- ✚ **Mantenimiento preventivo:** Los ensayos de cortocircuito también pueden llevarse a cabo periódicamente en transformadores en servicio como parte del mantenimiento preventivo. Esto ayuda a identificar cualquier degradación en las propiedades del transformador con el tiempo, lo que permite programar reparaciones o sustituciones antes de que ocurra una falla catastrófica. Esto, a su vez, prolonga la vida útil del transformador.
- ✚ **Seguridad operativa:** Los ensayos de cortocircuito aseguran que el transformador sea seguro para su operación. Al garantizar que el transformador pueda resistir corrientes de cortocircuito sin dañarse, se evita el riesgo de fallas que podrían tener consecuencias graves, como incendios o daños a la red eléctrica.
- ✚ **Optimización de la inversión:** Al utilizar los resultados de los ensayos de cortocircuito, los propietarios de transformadores pueden tomar decisiones informadas sobre la inversión en mantenimiento o en la adquisición de nuevos transformadores. Esto permite una gestión más eficiente de los activos y puede prolongar la vida útil del transformador al tomar medidas oportunas.
- ✚ **Cumplimiento de regulaciones y estándares:** En muchas jurisdicciones, existen regulaciones y estándares que exigen que los transformadores cumplan con ciertos criterios de seguridad y rendimiento, incluyendo la resistencia al cortocircuito. Los ensayos de cortocircuito ayudan a garantizar que se cumplan

estos requisitos, lo que es crucial para la conformidad regulatoria y la seguridad de la red eléctrica.

Los ensayos de cortocircuito son una herramienta esencial para garantizar la seguridad, el rendimiento y la vida útil de los transformadores. Ayudan a evaluar la capacidad de un transformador para resistir condiciones de cortocircuito, lo que tiene un impacto directo en su durabilidad, seguridad operativa y eficiencia a lo largo de su vida útil.

Seguridad durante los ensayos de corto circuito.

La seguridad durante los ensayos de cortocircuito es de suma importancia debido a las altas corrientes y tensiones involucradas en estos procedimientos, que pueden resultar peligrosas si no se toman las precauciones adecuadas. A continuación, se describen las medidas de seguridad esenciales que deben implementarse durante los ensayos de cortocircuito en transformadores:

- ✚ **Planificación y preparación:** Antes de realizar cualquier ensayo de cortocircuito, es fundamental planificar y preparar el procedimiento en detalle. Esto incluye la evaluación de riesgos, la identificación de medidas de seguridad y la formación del personal que participará en el ensayo.
- ✚ **Equipamiento de protección personal (EPP):** El personal que trabaja en el entorno del ensayo debe utilizar el EPP adecuado, que incluye ropa ignífuga, cascos, gafas de seguridad, guantes aislantes y calzado de seguridad. Además, se pueden requerir escudos o cortinas de protección.
- ✚ **Equipo de primeros auxilios y extinción de incendios:** Deben estar disponibles equipos de primeros auxilios y extintores de incendios adecuados en caso de que ocurra una emergencia. El personal debe estar capacitado para usarlos de manera efectiva.
- ✚ **Desconexión de emergencia:** Se deben establecer procedimientos y dispositivos de desconexión de emergencia que permitan detener inmediatamente el ensayo en caso de que se presente un problema.
- ✚ **Zonas de seguridad y restricción de acceso:** Se deben establecer áreas de seguridad alrededor del área de ensayo y restringir el acceso a personas no

autorizadas. El personal debe mantenerse alejado de las áreas de alto riesgo durante el ensayo.

- ✚ **Control de acceso y autorización:** Solo el personal debidamente capacitado y autorizado debe estar presente durante los ensayos de cortocircuito. Se debe llevar un registro de las personas presentes y sus roles.
- ✚ **Supervisión y comunicación:** Un supervisor o responsable debe estar presente durante todo el proceso de ensayo para garantizar que se sigan los procedimientos de seguridad. La comunicación efectiva es esencial para coordinar las actividades y responder rápidamente a cualquier situación de emergencia.
- ✚ **Aislamiento y protección de equipos:** Se deben aislar adecuadamente los equipos y componentes del ensayo para evitar descargas eléctricas y arcos eléctricos. Se deben utilizar barreras y dispositivos de seguridad para proteger al personal.
- ✚ **Pruebas de funcionamiento:** Antes de iniciar el ensayo de cortocircuito, es importante realizar pruebas de funcionamiento en todos los equipos y dispositivos para asegurarse de que funcionen correctamente.
- ✚ **Seguimiento y registro de datos:** Durante el ensayo, se debe llevar un registro de las mediciones y las condiciones operativas. Esto es importante para la evaluación y el análisis posterior.
- ✚ **Evaluación de riesgos y contingencias:** Se debe realizar una evaluación de riesgos exhaustiva antes del ensayo y establecer planes de contingencia para abordar situaciones inesperadas.

La seguridad es una prioridad durante los ensayos de cortocircuito en transformadores, y es fundamental seguir estrictamente las prácticas y procedimientos de seguridad establecidos. Los errores o incumplimientos en materia de seguridad pueden tener consecuencias graves. Por lo tanto, es fundamental que el personal esté capacitado y consciente de los riesgos involucrados y siga todas las medidas de seguridad en todo momento.

#### 4.5 Propósito de los ensayos de cortocircuito.

El propósito de los ensayos de cortocircuito en transformadores es evaluar la capacidad de un transformador para resistir y funcionar de manera segura bajo condiciones extremas de sobrecarga eléctrica, como un cortocircuito en su red de alimentación. Estos ensayos son esenciales por varias razones:

- ✚ **Selección y diseño:** Los ensayos de cortocircuito son esenciales para evaluar la idoneidad de un transformador para una aplicación específica. Los resultados de estos ensayos ayudan a los ingenieros y usuarios a determinar si el transformador es capaz de soportar condiciones de cortocircuito sin sufrir daños graves.
- ✚ **Eficiencia y pérdidas:** La información obtenida durante los ensayos de cortocircuito se utiliza para calcular las pérdidas en el transformador durante situaciones de cortocircuito. Esto es importante para conocer las pérdidas de energía en condiciones de operación reales y evaluar la eficiencia del transformador.
- ✚ **Diagnóstico de defectos:** Estos ensayos pueden ayudar a detectar defectos ocultos en el transformador, como conexiones defectuosas, problemas en el núcleo o daños en el devanado. Esto es fundamental para prevenir problemas futuros y garantizar la fiabilidad del transformador.
- ✚ **Calibración y verificación de especificaciones:** Los resultados de los ensayos se comparan con las especificaciones del transformador para verificar que cumple con los estándares y los requisitos del usuario. Esto es esencial para garantizar la calidad y la integridad del equipo.
- ✚ **Evaluación de la resistencia del transformador:** Los ensayos de cortocircuito permiten determinar la resistencia del transformador a las altas corrientes de cortocircuito, lo que es crítico para la seguridad de la red eléctrica y la vida útil del transformador.

#### 4.6 Plan de mantención.

Con base en los datos recopilados durante el ensayo de cortocircuito y considerando la vida útil de los transformadores, se ha elaborado un plan de mantenimiento que busca asegurar la confiabilidad y el rendimiento óptimo de estos equipos a lo largo del tiempo. Este plan se compone de las siguientes acciones programadas:

- ✚ **Mantenimiento Semestral:** Se ha establecido la realización de un mantenimiento semestral para cada transformador. Este proceso abarcará diversas actividades cruciales para el mantenimiento preventivo. En primer lugar, se llevará a cabo el cambio de la silicona, un componente clave en la protección y aislamiento de los transformadores. Además, se realizará una inspección visual exhaustiva para identificar posibles desgastes, deformaciones o anomalías en los componentes externos e internos. Por último, se llevará a cabo una prueba de aislación para verificar la integridad y eficacia del sistema de aislamiento, asegurando así que los transformadores sigan cumpliendo con los estándares de seguridad y rendimiento.
- ✚ **Instalación de Analizadores de Calidad de Energía:** Como parte del plan de mantenimiento proactivo, se ha decidido implementar un analizador de calidad de energía en el lado de baja tensión para cada transformador. Este dispositivo permitirá monitorear de manera continua y precisa diversas variables relacionadas con la calidad de la energía suministrada. Entre las variables a analizar se encuentran fluctuaciones de voltaje, armónicos, desequilibrios de carga y otros parámetros críticos. La instalación de estos analizadores proporcionará una visión detallada de la operación del transformador, permitiendo identificar cualquier irregularidad o tendencia no deseada. Este enfoque proactivo facilitará la detección temprana de posibles problemas, lo que permitirá abordarlos de manera oportuna antes de que puedan afectar significativamente el rendimiento del transformador.

La implementación de este plan de mantenimiento integral no solo busca prolongar la vida útil de los transformadores, sino también optimizar su eficiencia operativa y garantizar la continuidad en la entrega de energía eléctrica, reduciendo al mínimo los riesgos de fallas imprevistas y mejorando la confiabilidad del sistema en su conjunto.

## CAPÍTULO V

### PROPUESTA DEL ENSAYO DE CORTO CIRCUITO

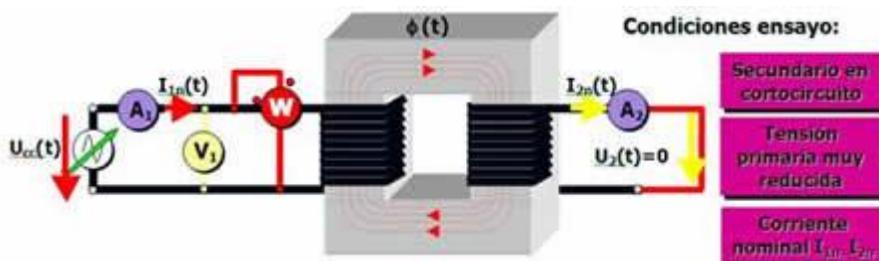
#### 5.1 Detección de Cortocircuitos en Transformadores

##### Garantizando la Salud del Equipo, la Confiabilidad del Suministro y la Evaluación de la Capacidad de Respaldo

Este ensayo se adentra en la importancia de la detección de cortocircuitos en transformadores no solo para asegurar la salud del equipo y la confiabilidad del suministro eléctrico, sino también para evaluar si otros transformadores tienen la capacidad de respaldar toda la planta en caso de un fallo. La detección temprana de cortocircuitos se convierte en un componente crítico en la gestión de riesgos y en la toma de decisiones estratégicas para garantizar la continuidad de la operación en plantas eléctricas.

La operación de una planta eléctrica es altamente dependiente de la integridad y el funcionamiento eficiente de sus transformadores. Sin embargo, un enfoque más amplio de la detección de cortocircuitos no solo se trata de prevenir daños en un transformador específico, sino de evaluar si otros transformadores de la planta pueden respaldar el sistema en caso de un fallo crítico.

**Figura N° 3.3: Ejemplo de ensayo de corto circuito**



fuelle: ikastaroak.net

## 5.2 Evaluación de la Capacidad de Respaldo

Cuando se detecta un cortocircuito en un transformador, se inicia un proceso de evaluación detallada de la capacidad de respaldo de los otros transformadores presentes en la planta. Esta evaluación tiene en cuenta varios factores críticos para garantizar la continuidad del suministro eléctrico y la seguridad de la operación.

### Capacidad Nominal y Carga Activa

La capacidad nominal de un transformador se refiere a la máxima carga que puede soportar de manera continua sin sobrecargarse. Al conocer la capacidad nominal de todos los transformadores de la planta, es posible determinar si alguno de ellos puede asumir la carga adicional en caso de un cortocircuito. Sin embargo, este análisis no se limita únicamente a la capacidad nominal. También es esencial considerar la carga activa actual en cada transformador, ya que puede variar con el tiempo y afectar la disponibilidad de capacidad adicional.

### Carga Reactiva y Factor de Potencia

Además de la carga activa, es importante considerar la carga reactiva y el factor de potencia de los transformadores. Estos factores pueden influir en la capacidad de respaldo, ya que una alta carga reactiva puede reducir la capacidad disponible para manejar una carga adicional en caso de un fallo.

### Evaluación de Escenarios de Fallo

La evaluación de la capacidad de respaldo implica la simulación de diversos escenarios de fallo posibles en la planta. Estos escenarios pueden incluir no solo cortocircuitos en transformadores, sino también fallas en líneas de transmisión y otros componentes críticos. Al evaluar diferentes situaciones, se puede determinar con precisión cuáles son las capacidades de respaldo disponibles en cada caso.

### Estrategias de Conmutación y Reconfiguración

En algunos casos, la capacidad de respaldo puede mejorarse mediante estrategias de conmutación o reconfiguración de la red eléctrica. Esto implica redistribuir la carga entre transformadores y líneas de transmisión de manera controlada para mantener la operación continua.

### **Monitorización en Tiempo Real**

La monitorización en tiempo real de la carga y el estado de los transformadores es una herramienta fundamental para evaluar la capacidad de respaldo. Los sistemas de monitoreo continuo permiten identificar cambios en la carga y las condiciones de operación que pueden influir en la disponibilidad de capacidad adicional.

### **Planificación de Contingencias**

La evaluación de la capacidad de respaldo también está vinculada a la planificación de contingencias. Esto implica tener planes y procedimientos establecidos para responder a cortocircuitos u otros fallos de manera efectiva y segura.

La evaluación de la capacidad de respaldo es un proceso complejo que requiere una comprensión profunda de la infraestructura eléctrica de la planta. Es fundamental para garantizar que, en caso de un cortocircuito u otro fallo, la planta pueda mantener su operación de manera segura y continua, sin interrupciones significativas en el suministro eléctrico. Este enfoque estratégico contribuye a la confiabilidad y la seguridad en las plantas eléctricas.

## **5.3 La Gestión de Riesgos como Prioridad**

La detección de cortocircuitos y la evaluación de la capacidad de respaldo se enmarcan en una estrategia más amplia de gestión de riesgos en plantas eléctricas. La seguridad de la operación y la continuidad del suministro son aspectos fundamentales de esta gestión de riesgos, y aquí destacamos la importancia de considerar estas dimensiones

### **Prevención y Mitigación de Riesgos**

La prevención de cortocircuitos y otros fallos eléctricos es el primer paso en la gestión de riesgos. La detección temprana es valiosa, pero prevenir la ocurrencia de cortocircuitos a través de un mantenimiento adecuado y un diseño robusto de la infraestructura eléctrica es esencial. La inversión en equipos y sistemas de alta calidad contribuye significativamente a reducir la probabilidad de fallas.

### **Evaluación de Riesgos**

La gestión de riesgos implica la evaluación continua de los posibles peligros y amenazas a la operación de la planta eléctrica. Esto incluye la identificación de los riesgos de cortocircuito y la cuantificación de su impacto potencial en términos de pérdidas financieras, tiempos de inactividad y seguridad.

### **Estrategias de Contingencia**

La detección de cortocircuitos y la evaluación de la capacidad de respaldo también son componentes de la estrategia de contingencia de una planta eléctrica. Tener planes de respuesta a fallos establecidos garantiza una acción rápida y efectiva en caso de un incidente crítico. Estos planes incluyen procedimientos de seguridad, protocolos de conmutación y la asignación de recursos para minimizar las consecuencias de los fallos.

### **Cumplimiento Normativo y Estándares de Seguridad**

Cumplir con normativas y estándares de seguridad es una parte esencial de la gestión de riesgos. Las regulaciones establecidas por autoridades competentes definen requisitos específicos para la operación segura de plantas eléctricas, lo que incluye la detección de cortocircuitos y la planificación de contingencias.

### **Cultura de Seguridad**

La gestión de riesgos también está vinculada a la promoción de una cultura de seguridad en la planta eléctrica. La concienciación, la capacitación de los trabajadores y la promoción de prácticas seguras son aspectos fundamentales que contribuyen a la prevención de fallos y a la capacidad de respuesta efectiva en caso de un incidente.

En última instancia, la gestión de riesgos es un enfoque holístico que abarca la prevención, la detección temprana y la respuesta efectiva a los cortocircuitos y otros eventos críticos. Es fundamental para asegurar la continuidad del suministro eléctrico, la seguridad de los trabajadores y la protección de activos en plantas eléctricas. La combinación de todos estos elementos crea un entorno de operación seguro y confiable.

**Figura N° 3.4: Ejemplo de una buena gestion de riesgos.**



Fuente: linkedin.com

#### **5.4 Métodos y Tecnologías para la Detección y Evaluación**

La detección y evaluación efectivas de cortocircuitos en plantas eléctricas dependen en gran medida de las tecnologías y métodos aplicados. A continuación, exploramos algunas de las principales herramientas y técnicas utilizadas en la detección de cortocircuitos y la evaluación de la capacidad de respaldo

##### **✚ Sistemas de Monitoreo en Tiempo Real**

La implementación de sistemas de monitoreo en tiempo real es una de las estrategias más efectivas para detectar anomalías y cortocircuitos incipientes. Estos sistemas utilizan sensores y dispositivos conectados a la infraestructura eléctrica para recopilar datos continuamente. Cualquier desviación de los valores normales dispara alertas, permitiendo una respuesta inmediata antes de que un cortocircuito cause daños significativos.

##### **✚ Análisis de Gases Disueltos en Aceite**

El análisis de gases disueltos en el aceite del transformador es una técnica de diagnóstico valiosa. Cuando se produce un cortocircuito, se generan gases que se disuelven en el

aceite del transformador. La identificación y el seguimiento de estos gases pueden revelar problemas potenciales antes de que se manifiesten como fallos graves.

#### **Termografía Infrarroja**

La termografía infrarroja permite la detección de puntos calientes en la infraestructura eléctrica. Los cortocircuitos a menudo generan temperaturas elevadas que pueden ser detectadas mediante cámaras termográficas. Esta técnica es útil para identificar conexiones defectuosas y problemas de sobrecalentamiento.

#### **Análisis de Vibraciones**

El análisis de vibraciones es una técnica que evalúa el estado mecánico de los transformadores. Los cortocircuitos pueden generar vibraciones anormales, lo que permite detectar problemas incipientes antes de que se vuelvan críticos.

#### **Evaluación de la Carga y la Demanda**

El seguimiento continuo de la carga y la demanda de energía es esencial para la evaluación de la capacidad de respaldo. Las soluciones de supervisión avanzadas permiten conocer en tiempo real la carga de cada transformador y determinar su capacidad disponible.

#### **Estrategias de Conmutación y Reconfiguración**

En situaciones de emergencia, se pueden implementar estrategias de conmutación y reconfiguración para redistribuir la carga eléctrica de manera segura. Estas estrategias son una respuesta activa a los cortocircuitos y otros fallos, lo que garantiza la continuidad del suministro.

#### **Software de Simulación y Modelado**

El software de simulación y modelado permite prever el comportamiento de la infraestructura eléctrica ante diversas condiciones de fallo, incluyendo cortocircuitos. Esto es especialmente útil para planificar la capacidad de respaldo y optimizar la respuesta a incidentes. Estas tecnologías y métodos ofrecen una variedad de herramientas para detectar cortocircuitos y evaluar la capacidad de respaldo en plantas eléctricas. Su

implementación adecuada puede marcar la diferencia en la prevención de daños graves y en la garantía de la continuidad del suministro eléctrico en caso de un fallo crítico.

## **5.5 Estudios de Caso y Ejemplos Prácticos**

La comprensión de cómo la detección de cortocircuitos y la evaluación de la capacidad de respaldo funcionan en la práctica es esencial para apreciar su relevancia en la operación de plantas eléctricas. A continuación, presentamos ejemplos concretos y casos de estudio que ilustran cómo estas estrategias se aplican en diferentes entornos y cómo han demostrado ser efectivas:

### **✚ Planta Eléctrica de Generación de Energía**

En una planta de generación de energía, la detección de un cortocircuito en un transformador clave activó un sistema de alerta temprana. A través de la monitorización en tiempo real y la evaluación de la capacidad de respaldo, la planta pudo identificar rápidamente otro transformador adecuado para asumir la carga adicional, evitando una interrupción significativa en la generación de energía.

### **✚ Planta de Procesamiento Industrial**

En una planta industrial, un cortocircuito amenazaba con paralizar la producción. Sin embargo, gracias a la termografía infrarroja, se identificó una conexión defectuosa en un transformador antes de que se produjera un cortocircuito completo. Se realizaron reparaciones preventivas y se restableció la operación sin interrupciones significativas.

### **✚ Estación de Distribución de Energía**

En una estación de distribución de energía, la monitorización de gases disueltos en el aceite permitió la detección temprana de un cortocircuito incipiente en un transformador crítico. La acción inmediata se tomó para aislar el transformador y redistribuir la carga a otros equipos disponibles, evitando una interrupción del suministro a una comunidad entera.

### **✚ Planta Solar Fotovoltaica**

En una planta solar fotovoltaica, la evaluación de la capacidad de respaldo demostró ser esencial para garantizar la continuidad de la generación de energía. Cuando un inversor

se averió debido a un cortocircuito, se activó una estrategia de conmutación para redirigir la energía de manera eficiente a otros inversores, minimizando la pérdida de energía y el tiempo de inactividad.

Estos casos de estudio destacan cómo la detección de cortocircuitos y la evaluación de la capacidad de respaldo se traducen en acciones prácticas que evitan daños graves, pérdidas económicas y la interrupción del suministro eléctrico. Estos ejemplos demuestran la relevancia de estas estrategias en una variedad de entornos de planta eléctrica y resaltan su papel crucial en la gestión de riesgos y la garantía de la continuidad operativa.

## **5.6 EJERCICIO DETERMINACION ESTADO TRANSFORMADOR**

Una vez realizados los ensayos de corto circuito, el vatímetro determinara las perdidas en el cobre y se obtendrán los datos de tensión y corriente en el lado secundario.

Para determinar los estados de los transformadores se debe aplicar los datos obtenidos con los datos referenciales de placa en la siguiente formula.

$$Req1 = \frac{W}{I^2}$$

$$Zeq1 = \frac{V}{I}$$

$$Xeq1 = \sqrt{Zeq1^2 - Req1^2}$$

Cuando:

W son perdidas en el cobre medidas con el vatímetro

V es el voltaje aplicado medido con el voltímetro

I es la corriente de entrada medida con el amperímetro

Req1 es la resistencia vista desde el primario

Zeq1 es la impedancia total vista desde el primario

Xeq1 es la reactancia vista desde el primario

Para un estado óptimo de los transformadores cada uno deberá medir una reactancia de 0.0007 o inferior a este valor, el cual indicara un estado optimo para su funcionamiento o si es necesario aplicar un plan de mantención.

## CAPÍTULO VI

### ANÁLISIS DE LOS DAÑOS QUE PODRIA OCACIONAR DAÑOS A LOS TRANSFORMADORES

#### **6.1 Daños monetarios**

Los daños monetarios causados por la falta de ensayos de cortocircuito en una planta eléctrica o en instalaciones eléctricas pueden variar significativamente según varios factores, como el tamaño de la planta, la magnitud de los cortocircuitos, la duración de las interrupciones y los costos asociados con la reparación y reemplazo de equipos dañados. Estos costos pueden ser difíciles de estimar con precisión sin información específica sobre la planta en cuestión. Sin embargo, se pueden enumerar algunos de los costos potenciales

##### **Costos de Reparación o Reemplazo de Equipos**

La necesidad de reparar o reemplazar equipos eléctricos dañados debido a cortocircuitos no detectados puede ser una de las consecuencias financieras más significativas. Aquí se detallan las implicaciones de estos costos

##### **Costos de Mano de Obra**

La reparación o el reemplazo de equipos eléctricos dañados implica costos de mano de obra. Esto incluye el tiempo y los recursos necesarios para llevar a cabo las reparaciones, lo cual puede variar en función de la complejidad del equipo y la gravedad del daño.

##### **Costos de Nuevos Equipos**

Si el equipo eléctrico dañado no puede repararse de manera económica o eficiente, puede ser necesario reemplazarlo por completo. Los costos de adquisición de nuevos equipos pueden ser considerables, especialmente en el caso de transformadores y otros componentes costosos.

### **Costos Indirectos**

Además de los costos directos asociados con la reparación o el reemplazo de equipos, también pueden surgir costos indirectos. Estos pueden incluir el tiempo de inactividad y la pérdida de producción durante el período de reparación, lo que puede tener un impacto en la productividad y los ingresos.

Los costos asociados con la reparación o el reemplazo de equipos eléctricos dañados debido a cortocircuitos pueden ser una carga financiera importante. Estos costos varían según la magnitud del daño, el tipo de equipo y otros factores. La detección temprana y la prevención de cortocircuitos son esenciales para minimizar estos costos y garantizar una operación eléctrica eficiente y rentable.

## **6.2 Tiempo de inactividad**

El tiempo de inactividad resultante de la necesidad de reparar o reemplazar equipos eléctricos dañados debido a cortocircuitos no detectados puede tener un impacto significativo en las operaciones y la rentabilidad. Aquí se exploran en detalle las implicaciones del tiempo de inactividad

### **Pérdida de Producción**

Durante el período de tiempo de inactividad, la planta eléctrica o las instalaciones afectadas no pueden operar normalmente. Esto implica una pérdida de producción, lo que puede afectar tanto a la generación de energía eléctrica como a la producción de bienes o servicios en instalaciones industriales.

### **Pérdida de Ingresos Continua**

Además de la pérdida de ingresos directos debido a la interrupción de la producción, el tiempo de inactividad también implica la pérdida de ingresos continuos. Los contratos de suministro de electricidad a terceros pueden verse afectados, lo que resulta en la pérdida de ingresos planificados.

### **Reprogramación y Reorganización**

Durante el tiempo de inactividad, es posible que se requiera la reprogramación y reorganización de las operaciones y la mano de obra una vez que los equipos estén reparados o reemplazados. Esto puede resultar en costos adicionales y desafíos de gestión.

### **Repercusiones a Largo Plazo**

Las interrupciones continuas y el tiempo de inactividad frecuente pueden tener repercusiones a largo plazo en la planta eléctrica y en las empresas que dependen de su suministro eléctrico. La confiabilidad y la reputación pueden verse afectadas negativamente.

El tiempo de inactividad causado por la necesidad de reparar o reemplazar equipos eléctricos dañados debido a cortocircuitos no detectados es costoso y puede afectar significativamente las operaciones, los ingresos y la moral del personal. La prevención de cortocircuitos y la detección temprana son cruciales para minimizar el tiempo de inactividad y sus consecuencias económicas y operativas.

## **6.3 Costo de la mano de obra**

Los costos de mano de obra asociados con la reparación o el reemplazo de equipos eléctricos dañados debido a cortocircuitos no detectados son un componente significativo en la gestión de estos eventos. Aquí se profundiza en las implicaciones de estos costos

### **Tiempo de Trabajo**

El tiempo que el personal especializado dedica a resolver el problema del cortocircuito se traduce en costos laborales. Este tiempo incluye no solo la ejecución de tareas de reparación, sino también la planificación, la inspección y la documentación de todo el proceso.

### **Herramientas y Equipamiento Especializado**

Para llevar a cabo las reparaciones de manera efectiva y segura, es posible que se necesiten herramientas y equipamiento especializado. La adquisición, el mantenimiento y el uso de estas herramientas pueden representar costos adicionales.

### **Capacitación Continua**

El personal especializado debe mantenerse al día con las últimas técnicas y tecnologías de reparación de equipos eléctricos. Esto puede requerir capacitación continua, que a su vez implica costos relacionados con la educación y la formación del personal.

### **Costos Indirectos**

Además de los costos directos mencionados anteriormente, también existen costos laborales indirectos relacionados con el tiempo de inactividad y la reorganización de las operaciones para acomodar las reparaciones.

### **Planificación y Logística**

La planificación y logística para llevar a cabo las reparaciones de manera eficiente y coordinada pueden requerir un personal adicional dedicado a estas tareas, lo que agrega a los costos laborales. Los costos de mano de obra relacionados con la reparación de equipos eléctricos dañados debido a cortocircuitos no detectados pueden ser considerables.

La disponibilidad de personal especializado, la capacitación continua y los recursos de seguridad son esenciales para garantizar que las reparaciones se realicen de manera segura y eficiente. La detección temprana y la prevención de cortocircuitos son fundamentales para minimizar estos costos laborales y mantener la operación eléctrica en funcionamiento de manera rentable.

## **6.4 Costos de mantenimientos preventivo vs costo de reemplazo de trafo..**

El mantenimiento correctivo es una parte esencial del proceso de restauración de equipos eléctricos dañados por cortocircuitos no detectados. Aquí se profundiza en las implicaciones de los costos de mantenimiento correctivo

### **Evaluación de Daños**

Antes de llevar a cabo el mantenimiento correctivo, es necesario evaluar los daños con precisión para determinar las acciones necesarias. Esto implica la realización de diagnósticos adicionales y pruebas para identificar las áreas dañadas y los componentes afectados.

### **Costos Indirectos**

Los costos indirectos también deben considerarse, incluyendo el tiempo de inactividad adicional, la interrupción de las operaciones y la coordinación de los recursos.

### **Seguridad y Protección del Personal**

La seguridad y la protección del personal son una prioridad durante el mantenimiento correctivo. Esto implica el uso de equipos de protección personal, capacitación en seguridad eléctrica y la implementación de protocolos de seguridad, lo que puede generar costos adicionales.

Los costos de mantenimiento correctivo son una parte fundamental del proceso de restauración de equipos eléctricos dañados por cortocircuitos no detectados. Estos costos pueden variar según la gravedad del daño y la naturaleza de las reparaciones necesarias. La detección temprana y la prevención de cortocircuitos son esenciales para minimizar estos costos y mantener una operación eléctrica eficiente y rentable.

## **6.5 Pérdida de ingresos**

La pérdida de ingresos es una de las consecuencias financieras más inmediatas y tangibles de las interrupciones en el suministro eléctrico causadas por cortocircuitos no detectados. Aquí se profundiza en las implicaciones de la pérdida de ingresos

### **✚ Impacto Directo en los Ingresos**

Cuando se produce una interrupción no planificada en el suministro eléctrico, las empresas que dependen de la electricidad para sus operaciones pueden dejar de generar ingresos inmediatamente. Esto afecta a sectores que incluyen la industria manufacturera, la tecnología, la atención médica y muchas otras.

### **✚ Ingresos Perdidos por Paralización de la Producción**

Las interrupciones en la generación de energía eléctrica y la paralización de la producción pueden llevar a la pérdida de ingresos continuos a medida que los productos o servicios planeados no se pueden entregar o fabricar.

### **✚ Costos Fijos en Tiempo de Inactividad**

Aunque la producción puede detenerse durante una interrupción, los costos fijos, como el alquiler de instalaciones, los salarios de los empleados y los costos de mantenimiento, continúan acumulándose. Esto resulta en una pérdida neta para las empresas.

## **6.6 Costos ambientales**

Los cortocircuitos en equipos eléctricos pueden tener consecuencias ambientales significativas, lo que lleva a costos relacionados con la mitigación y la remediación de impactos ambientales. Aquí se profundiza en las implicaciones de los costos ambientales

### **✚ Contaminación del Suelo**

Las fugas de aceite aislante pueden dar lugar a la contaminación del suelo, lo que requiere la remediación de la tierra contaminada. Esto puede implicar la excavación y eliminación de suelo contaminado, así como la restauración del área afectada.

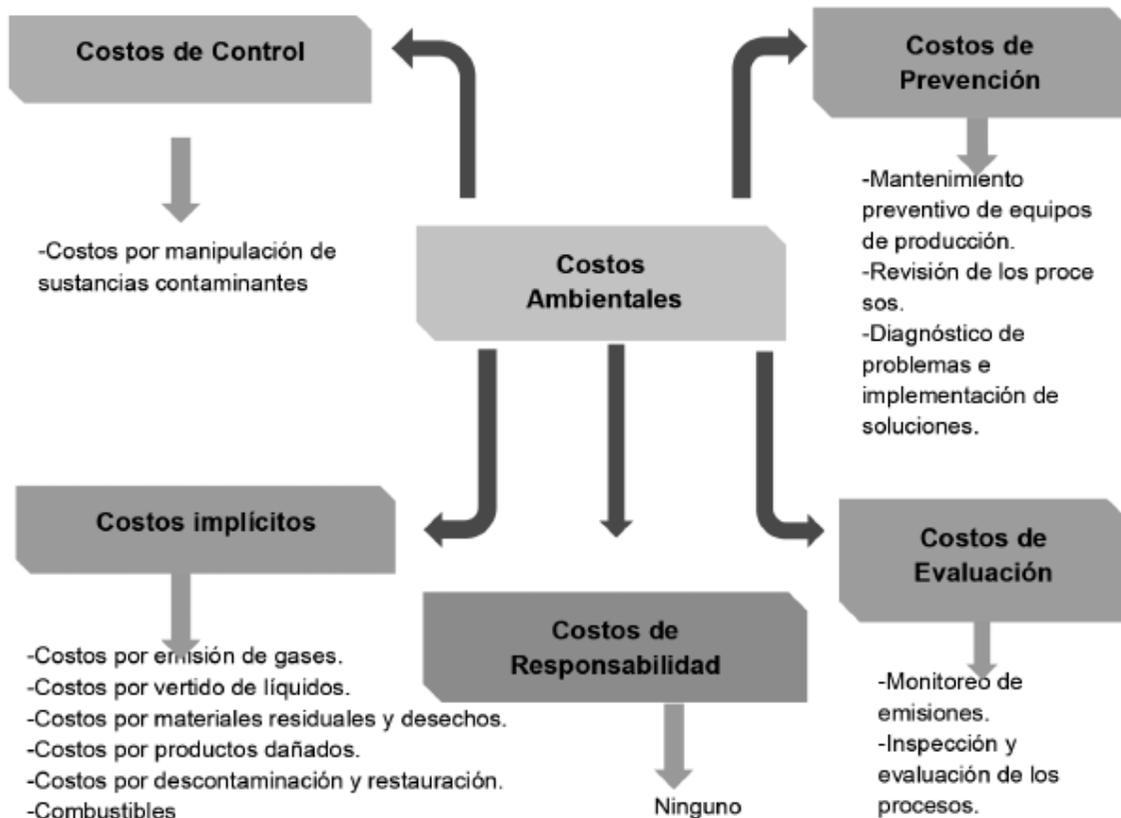
### **✚ Cumplimiento Normativo**

Las empresas pueden estar sujetas a regulaciones ambientales que exigen que se tomen medidas para abordar y remediar la contaminación causada por los cortocircuitos. El incumplimiento de estas regulaciones puede dar lugar a sanciones legales y financieras.

## ✚ Sanciones Legales y Multas

Si se demuestra que una empresa es responsable de la contaminación ambiental causada por un cortocircuito, puede enfrentar sanciones legales y multas impuestas por las autoridades ambientales.

**Figura N° : Ejemplo de medición de costos ambientales.**



Fuente: redalyc.org

## **6.7 Costos de seguridad y salud**

La seguridad y la salud de los trabajadores son de suma importancia en cualquier operación industrial, y los cortocircuitos en equipos eléctricos pueden tener graves implicaciones en este aspecto. Aquí se exploran en detalle las implicaciones de los costos de seguridad y salud

### **Lesiones y Daños a la Salud**

Los cortocircuitos pueden resultar en lesiones graves o daños a la salud de los trabajadores que están cerca del lugar del incidente. Estos daños pueden incluir quemaduras, electrocución, inhalación de gases tóxicos y otros riesgos para la salud.

### **Seguro y Primas**

Después de un incidente que resulta en lesiones o daños a la salud de los trabajadores, es posible que las primas del seguro de responsabilidad laboral aumenten. La empresa también puede tener que asumir un mayor costo de seguro a largo plazo.

### **Capacitación en Seguridad**

Después de un incidente, puede ser necesario mejorar la capacitación en seguridad para garantizar que los trabajadores estén mejor preparados para prevenir y responder a futuros cortocircuitos. Esto implica costos asociados con la educación y la formación del personal.

En resumen, los costos de seguridad y salud relacionados con los cortocircuitos pueden ser significativos y abarcan desde gastos médicos y compensación laboral hasta costos de seguros y capacitación en seguridad. La prevención de cortocircuitos y la implementación de medidas de seguridad adecuadas son esenciales para garantizar la seguridad y la salud de los trabajadores, así como para minimizar estos costos.

**Figura N° 3.5: Tabla para evaluación de costos.**

VARIABLES	CRITERIO	NÚMERO DE PUBLICACIONES ASOCIADAS AL CRITERIO	ESTUDIOS DE SOPORTE
<b>1. Costos directos</b>	Costo de indemnización de la víctima del accidente.	1	Cuervo Vahos (2019).
	Costo de hospitalización y servicio de ambulancia.	4	Ramos et ál. (2016); M. Riaño Casallas y Palencia Sánchez (2015); Cuervo Vahos (2019); Bolaño Fandiño (2019).
	Gastos médicos (incluidos los costos de rehabilitación).	5	Ramos et ál. (2016); Leigh (2011); Franche et ál. (2005); M. Riaño Casallas y Palencia Sánchez (2015); Cuervo Vahos (2019).
<b>2. Costos indirectos</b>	Costo legal y administrativo.	5	Jallon et ál. (2011); Steel et ál. (2018a); Cuervo Vahos (2019); Bolaño Fandiño (2019); Vanegas Serna (2014).
	Costos de productividad.	10	Jallon et ál. (2011); Steel et ál. (2018a); Acevedo González y Yánez Contreras (2016); Steel et ál. (2018b); Leigh (2011); Uegaki et ál. (2010); M. Riaño Casallas y Palencia Sánchez (2015); Cuervo Vahos (2019); Bolaño Fandiño (2019); Vanegas Serna (2014).
	Costos de reemplazo.	5	Jallon et ál. (2011); Franche et ál. (2005); M. Riaño Casallas y Palencia Sánchez (2015); Cuervo Vahos (2019); Bolaño Fandiño (2019).
	Costos de la investigación.	4	Jallon et ál. (2011); Cuervo Vahos (2019); Bolaño Fandiño (2019); Vanegas Serna (2014).
<b>3. Indicadores</b>	Análisis de costo-efectividad (ACE).	8	Adeyemi et ál. (2020); M. Riaño Casallas y Palencia Sánchez (2016); Van Dongen et ál. (2014); Lee (2018); Tompa et ál. (2008); Tompa et ál. (2006); Grimani et ál. (2018); Zárate (2010).
	Análisis de costo-beneficio (ACB).	11	M. Riaño Casallas y Tompa (2018); M. Riaño Casallas y Palencia Sánchez (2016); Van Dongen et ál. (2014); Tompa et ál. (2009); Tompa et ál. (2013); Tompa et ál. (2008); Tompa et ál. (2006); M. I. Riaño Casallas, (2017); Zárate (2010); Vélez Ávila (2018); Álvarez Enciso et ál. (2019).
	Análisis de costo-utilidad (ACU).	3	M. Riaño Casallas y Palencia Sánchez (2016); Van Dongen et ál. (2014); Zárate (2010).
	Análisis de minimización de costos.	2	Van Dongen et ál. (2014); Zárate (2010).

Fuente: redalyc.org

## CAPÍTULO VII

### EVALUACIÓN IMPACTO CON Y SIN PROYECTO

La realización de una evaluación de impacto de un proyecto con y sin ensayos de cortocircuito implica analizar cómo la inclusión o exclusión de estos ensayos puede afectar varios aspectos del proyecto y su entorno.

#### **7.1 Proyectos con ensayos de corto circuito**

##### **7.1.2 Impactos positivos**

###### **Seguridad mejorada**

La realización de ensayos de cortocircuito contribuye de manera significativa a la mejora de la seguridad en el proyecto eléctrico. A continuación, se detallan algunos aspectos adicionales relacionados con la seguridad mejorada

###### **Identificación de Debilidades del Sistema**

Los ensayos de cortocircuito permiten identificar posibles debilidades o fallas en el sistema eléctrico antes de que se conviertan en problemas críticos. Esto incluye la detección de aislamientos defectuosos, conexiones sueltas o componentes en mal estado. Abordar estos problemas a tiempo evita riesgos potenciales para la seguridad del personal y la integridad del equipo.

###### **Prevención de Cortocircuitos Peligrosos**

Al someter el sistema a ensayos de cortocircuito controlados, se verifica la capacidad del equipo para soportar cortocircuitos sin dañarse. Esto evita la posibilidad de cortocircuitos incontrolados que podrían resultar en incendios, daños severos o incluso explosiones, lo que representa un riesgo importante para la seguridad del personal y del entorno.

###### **Mejora de la Protección Personal**

Los ensayos de cortocircuito ayudan a establecer sistemas de protección más efectivos, como relés y dispositivos de desconexión, que actúan en caso de cortocircuito. Esto proporciona una capa adicional de seguridad al reducir la exposición del personal a situaciones peligrosas.

### **Entrenamiento y Conciencia de Seguridad**

La realización de ensayos de cortocircuito puede incluir la formación del personal sobre procedimientos de seguridad específicos y la conciencia de los riesgos asociados con el sistema eléctrico. Esto promueve una cultura de seguridad sólida en el proyecto.

### **Mantenimiento Preventivo**

Los resultados de los ensayos de cortocircuito a menudo conducen a medidas de mantenimiento preventivo, lo que garantiza que los equipos estén en óptimas condiciones. Un equipo bien mantenido es esencial para la seguridad, ya que minimiza las posibilidades de fallas inesperadas.

### **Documentación de Seguridad**

La realización de ensayos de cortocircuito genera documentación detallada sobre el estado del sistema eléctrico y las medidas de seguridad tomadas. Esta documentación es valiosa para la gestión de riesgos y la preparación para situaciones de emergencia.

### **Cumplimiento normativo**

La realización de ensayos de cortocircuito es esencial para cumplir con las regulaciones y normativas específicas que rigen la seguridad y el rendimiento de los sistemas eléctricos.

### **Normativas de Seguridad Eléctrica**

Las regulaciones y normativas de seguridad eléctrica varían según el país y la jurisdicción. La realización de ensayos de cortocircuito asegura que el proyecto cumpla con estas regulaciones, lo que es crucial para evitar sanciones legales y multas por incumplimiento.

### **Normas Industriales Específicas**

En algunos sectores, como la industria química, la minería o la generación de energía, existen normas industriales específicas que establecen requisitos rigurosos para garantizar la seguridad eléctrica. Los ensayos de cortocircuito son esenciales para cumplir con estas normas y mantener las operaciones en cumplimiento con las buenas prácticas.

### **Aseguramiento de la Calidad**

Los ensayos de cortocircuito son una parte esencial de los procesos de aseguramiento de la calidad en la construcción y mantenimiento de sistemas eléctricos. Garantizan que el proyecto cumple con los estándares de calidad y seguridad definidos por las regulaciones.

### **Documentación Normativa**

La documentación generada durante los ensayos de cortocircuito, que incluye resultados, informes y certificados de cumplimiento, es esencial para demostrar el cumplimiento normativo en auditorías y revisiones de seguridad. Esto proporciona evidencia concreta de que el proyecto sigue las pautas y requisitos establecidos.

### **Protección contra Responsabilidad Legal**

El cumplimiento normativo proporciona una defensa legal sólida en caso de accidentes o incidentes relacionados con la electricidad. Si un proyecto no cumple con las regulaciones de seguridad eléctrica, las consecuencias legales pueden ser graves.

### **Seguridad Pública y Medio Ambiente**

El cumplimiento normativo no solo protege al personal y los activos del proyecto, sino que también contribuye a la seguridad pública y la protección del medio ambiente. Los ensayos de cortocircuito aseguran que no se produzcan situaciones peligrosas que puedan afectar a las comunidades circundantes.

### **Fiabilidad aumentada**

La realización de ensayos de cortocircuito no solo se trata de cumplir con regulaciones y mejorar la seguridad, sino que también tiene un profundo impacto en la fiabilidad de un proyecto eléctrico.

### **Detección de Problemas Latentes**

Los ensayos de cortocircuito son una herramienta efectiva para detectar problemas latentes en el sistema eléctrico que de otro modo podrían pasar desapercibidos. Esto incluye aislamientos defectuosos, conexiones flojas, defectos en los devanados o daños en el núcleo del transformador. Identificar estos problemas en una etapa temprana permite tomar medidas correctivas antes de que se conviertan en fallos graves que afecten la fiabilidad.

### **Mantenimiento Preventivo**

La información obtenida de los ensayos de cortocircuito puede utilizarse para establecer programas de mantenimiento preventivo. Al abordar las deficiencias y debilidades identificadas, se evita el deterioro progresivo de los componentes eléctricos, lo que aumenta la vida útil del sistema y reduce el riesgo de fallos inesperados.

### **Operación Continua**

La fiabilidad del sistema eléctrico es crítica en aplicaciones donde la continuidad operativa es esencial. Los ensayos de cortocircuito garantizan que el sistema esté en condiciones óptimas para funcionar de manera continua y sin interrupciones. Esto es especialmente importante en entornos críticos como centros de datos, hospitales o plantas de producción.

### **Optimización de Rendimiento**

Al garantizar que el sistema eléctrico funcione de manera eficiente y sin problemas, los ensayos de cortocircuito contribuyen a la optimización del rendimiento. Esto incluye una distribución de energía más confiable, una menor probabilidad de sobrecargas y una reducción en los tiempos de inactividad no planificado.

### **Reducción de Costos de Operación**

La fiabilidad aumentada conduce a una disminución de los costos operativos a lo largo del tiempo. La prevención de fallos y el mantenimiento programado reducen los gastos asociados con reparaciones de emergencia, costosas sustituciones de componentes y la pérdida de productividad debida a tiempos de inactividad no planificado.

### **Integridad de la Marca y Reputación**

La fiabilidad en la operación eléctrica es esencial para mantener la integridad de la marca y la reputación de una organización. Los fallos eléctricos graves pueden tener un impacto negativo en la percepción de los clientes y socios comerciales, lo que hace que la fiabilidad sea un activo valioso.

### **Costos a largo plazo reducido**

La realización de ensayos de cortocircuito tiene un impacto significativamente positivo en la reducción de costos a lo largo del tiempo en un proyecto eléctrico.

### **Mantenimiento Preventivo**

Los ensayos de cortocircuito permiten identificar problemas potenciales en una etapa temprana. Esto, a su vez, facilita la implementación de medidas de mantenimiento preventivo. Realizar reparaciones o reemplazos antes de que los problemas se vuelvan críticos es generalmente mucho más rentable que abordar daños graves o fallas.

### **Vida Útil Prolongada**

La detección y corrección temprana de problemas en el sistema eléctrico a través de los ensayos de cortocircuito contribuye a prolongar la vida útil de los componentes y equipos. Un equipo que funciona en condiciones óptimas durante más tiempo reduce los costos asociados con la adquisición y la instalación de nuevos equipos. Reducción de

### **Tiempo de Inactividad**

Los ensayos de cortocircuito ayudan a evitar fallos catastróficos y tiempos de inactividad no planificado. La reducción del tiempo de inactividad es crucial en muchas aplicaciones,

especialmente en entornos críticos donde cada minuto de interrupción puede traducirse en pérdidas significativas.

### **Menos Reparaciones de Emergencia**

La realización de ensayos de cortocircuito reduce la probabilidad de fallos graves y daños costosos que requieran reparaciones de emergencia. Las reparaciones planificadas y programadas son considerablemente más económicas que las intervenciones de emergencia, que a menudo implican costos adicionales y tiempo perdido.

### **Optimización del Rendimiento**

Los ensayos de cortocircuito aseguran que el sistema eléctrico funcione de manera eficiente, lo que puede resultar en un menor consumo de energía y, por lo tanto, en costos operativos más bajos a lo largo del tiempo.

### **Protección de la Inversión**

La inversión realizada en ensayos de cortocircuito se amortiza a lo largo de la vida útil del proyecto al prevenir gastos inesperados y garantizar que los equipos operen de manera eficiente y confiable.

### **Ahorros en Reemplazos de Equipos**

Al prolongar la vida útil de los componentes y equipos, se evita la necesidad de reemplazarlos con frecuencia. Esto ahorra costos significativos, ya que la adquisición y la instalación de nuevos equipos son costosas.

### **Evita Daños Secundarios**

Los fallos en el sistema eléctrico, especialmente los relacionados con cortocircuitos, a menudo pueden causar daños secundarios a otros equipos y sistemas. Evitar estos daños secundarios ayuda a reducir costos adicionales asociados con reparaciones y reemplazos.

### **Costos Iniciales**

La realización de ensayos de cortocircuito implica costos adicionales en términos de equipo y recursos humanos especializados para llevar a cabo los ensayos.

## **7.2 Proyecto sin ensayo de corto circuito**

### **7.2.1 Impactos negativos**

#### **✚ Riesgo de seguridad**

La omisión de ensayos de cortocircuito aumenta considerablemente el riesgo de problemas de seguridad en un proyecto eléctrico

#### **✚ Daño al Personal**

Los cortocircuitos en sistemas eléctricos pueden generar calor intenso y, en algunos casos, incluso arcos eléctricos y explosiones. Estos eventos pueden causar lesiones graves o fatales a los trabajadores que se encuentren cerca de la instalación eléctrica en el momento del cortocircuito. La seguridad del personal es una prioridad en cualquier proyecto eléctrico, y la falta de ensayos de cortocircuito aumenta el riesgo de accidentes.

#### **✚ Incendios**

Los cortocircuitos eléctricos pueden desencadenar incendios en instalaciones eléctricas o en áreas cercanas. Estos incendios pueden propagarse rápidamente y resultar en daños significativos a la propiedad, así como en riesgos para la vida del personal y la seguridad de las instalaciones.

#### **✚ Explosiones y Daños Graves**

En ciertas situaciones, un cortocircuito puede provocar explosiones, especialmente si ocurren en entornos donde se almacenan productos inflamables o peligrosos. Estas explosiones pueden tener consecuencias devastadoras para el personal y el entorno.

#### **✚ Interrupción de Operaciones**

Los cortocircuitos no planificados pueden causar interrupciones en las operaciones, lo que puede afectar la productividad y generar pérdidas económicas. Además, la necesidad de reparaciones de emergencia y la recuperación de sistemas dañados pueden ser costosas y llevar mucho tiempo.

### **Reparaciones de Emergencia Costosas**

Cuando se producen fallos graves debido a la falta de ensayos de cortocircuito, las reparaciones de emergencia suelen ser costosas. Esto incluye el costo de reemplazar equipos dañados, piezas costosas y mano de obra especializada que a menudo trabaja bajo presión.

### **Impacto en la Reputación**

Los incidentes de seguridad en proyectos eléctricos pueden afectar la reputación de la organización o la empresa responsable. La mala publicidad, especialmente en casos de lesiones o daños a terceros, puede tener un impacto duradero en la imagen de la empresa.

### **Responsabilidad Legal**

La falta de ensayos de cortocircuito puede exponer a la organización a responsabilidad legal. Si se demuestra que la negligencia fue la causa de un incidente de seguridad, la empresa puede enfrentar demandas legales y costosas compensaciones.

### **Impacto en el Entorno Circundante**

En situaciones críticas, como en instalaciones industriales o infraestructuras críticas, los cortocircuitos pueden afectar no solo a las operaciones internas, sino también al entorno circundante y a la seguridad pública. Las consecuencias de un incidente pueden ser graves y afectar a la comunidad en general.

### **Incumplimiento de normas y regulaciones**

El incumplimiento de las normativas y regulaciones en materia de seguridad eléctrica y cortocircuitos puede tener una serie de consecuencias negativas adicionales

### **Sanciones Legales y Multas**

Cuando un proyecto eléctrico no cumple con las normativas y regulaciones vigentes, se expone a sanciones legales y multas. Los organismos reguladores y las autoridades pueden imponer sanciones financieras significativas, que pueden afectar negativamente las finanzas del proyecto y la reputación de la organización.

### **Suspensión de Operaciones**

En casos graves de incumplimiento normativo, las autoridades pueden ordenar la suspensión de las operaciones del proyecto. Esto puede resultar en pérdidas financieras sustanciales, tiempo de inactividad prolongado y la necesidad de implementar medidas correctivas costosas antes de reanudar las operaciones.

### **Desafíos Legales y Responsabilidad**

El incumplimiento de normativas puede exponer a la organización a desafíos legales por parte de empleados, contratistas o terceros que puedan resultar lesionados o afectados por los cortocircuitos o incidentes relacionados con la seguridad eléctrica. Esto puede dar lugar a costosos litigios y acuerdos de compensación.

### **Impacto en la Imagen Corporativa**

El incumplimiento de normativas puede afectar negativamente la imagen y la reputación de la organización. Los clientes, socios comerciales y partes interesadas pueden ver a la empresa como irresponsable y poco comprometida con la seguridad, lo que puede tener un impacto duradero en la percepción de la marca.

### **Aumento de Costos de Cumplimiento Tardío**

En muchos casos, el cumplimiento de normativas debe realizarse después de un incidente o cuando se descubre un incumplimiento. Cumplir después del hecho puede ser más costoso y llevar más tiempo que implementar medidas preventivas desde el principio.

### **Pérdida de Contratos y Oportunidades de Negocio**

La falta de cumplimiento normativo puede excluir a la organización de licitaciones, contratos y oportunidades de negocio que requieren altos estándares de seguridad eléctrica. Esto puede afectar negativamente la expansión y el crecimiento de la empresa.

### **Mayores costos a largo plazo**

La omisión de ensayos de cortocircuito puede resultar en una serie de costos adicionales a largo plazo, lo que afecta la eficiencia y la rentabilidad del proyecto eléctrico

### **Mantenimiento Reactivo Costoso**

En lugar de realizar mantenimiento preventivo planificado, la falta de ensayos de cortocircuito puede llevar a un enfoque de mantenimiento reactivo. Esto significa que las reparaciones y correcciones se realizan después de que ocurra un problema. El mantenimiento reactivo suele ser mucho más costoso que el mantenimiento programado, ya que a menudo involucra gastos imprevistos y trabajos urgentes.

### **Reemplazo de Equipos Prematuro**

Los cortocircuitos no detectados pueden dañar equipos y componentes eléctricos, lo que puede requerir su reemplazo prematuro. Adquirir y reemplazar equipos es costoso y afecta el presupuesto a largo plazo del proyecto.

### **Pérdida de Eficiencia Energética**

Los sistemas eléctricos que no se someten a ensayos de cortocircuito pueden funcionar de manera ineficiente. Esto se traduce en un mayor consumo de energía, lo que aumenta los costos operativos a lo largo del tiempo. La falta de eficiencia energética también puede tener un impacto negativo en la huella ambiental.

### **Tiempo de Inactividad No Planificado**

Los cortocircuitos no planificados pueden dar lugar a tiempos de inactividad no planificado, durante los cuales no se pueden realizar operaciones productivas. Cada minuto de inactividad no planificado representa una pérdida económica y puede afectar la productividad a largo plazo.

### **Necesidad de Contratar Personal Especializado**

Los cortocircuitos graves pueden requerir la contratación de personal especializado para realizar reparaciones complejas. Esto no solo aumenta los costos laborales, sino que también puede ser difícil de coordinar en situaciones de emergencia.

### **Costos de Recuperación de Sistemas Dañados**

Después de un cortocircuito grave, la recuperación de sistemas dañados puede ser costosa. Esto incluye la restauración de sistemas eléctricos y la corrección de problemas secundarios que pueden surgir como resultado del cortocircuito.

### **Impacto en la Rentabilidad a Largo Plazo**

En conjunto, estos costos adicionales pueden afectar la rentabilidad del proyecto a lo largo de su vida útil. Los costos imprevistos y la pérdida de eficiencia pueden reducir los márgenes de beneficio y hacer que el proyecto sea menos competitivo.

### **Mantenimiento reactivo costoso**

La falta de ensayos de cortocircuito a menudo conduce a un enfoque de mantenimiento reactivo, lo que puede tener un impacto negativo en el proyecto eléctrico de las siguientes maneras

### **Costos Elevados de Reparación**

Cuando ocurre un cortocircuito u otro problema no detectado, las reparaciones suelen ser costosas. Esto se debe a la necesidad de identificar y abordar el problema de manera urgente, lo que puede requerir más recursos, tiempo y piezas de repuesto costosas.

### **Tiempo de Inactividad Prolongado**

El mantenimiento reactivo a menudo resulta en tiempos de inactividad más prolongados. Mientras se realizan las reparaciones, las operaciones eléctricas pueden detenerse, lo que afecta la productividad y puede resultar en pérdida de ingresos.

### **Necesidad de Personal Especializado**

Los cortocircuitos graves o los problemas eléctricos complejos pueden requerir la contratación de personal especializado para abordar la situación. Esto no solo aumenta los costos laborales, sino que también puede ser difícil de coordinar en situaciones de emergencia.

### **Sustitución de Componentes**

En algunos casos, el mantenimiento reactivo puede requerir la sustitución de componentes eléctricos o equipos dañados. La adquisición de piezas de repuesto y la instalación de nuevos componentes pueden ser costosos.

### **Desgaste Adicional de Equipos**

Las reparaciones de emergencia a menudo implican un desgaste adicional de equipos y componentes. Esto puede acelerar su deterioro y reducir su vida útil, lo que lleva a costos adicionales de reemplazo.

### **Pérdida de Productividad y Oportunidades de Negocio**

El tiempo de inactividad causado por el mantenimiento reactivo no solo afecta la productividad, sino que también puede dar lugar a la pérdida de oportunidades de negocio. Los clientes pueden buscar a proveedores más fiables y eficientes.

### 7.3 Comparativa mantención vs reemplazo

Comparativa de precios de mantención versus costo de reemplazar un trafo..

Costo de cada mantención semestral

	Costo (CLP)	c/u	Cantidad	Valor total	Tiempo
Mantención	\$1.750.000		2	\$3.500.000	12hrs

Valor de un nuevo transformador en caso de requerir uno nuevo

Ítem	Costo (CLP)	C/U	CANTIDAD	VSLOR TOTAL	TIEMPO DE ENTREGA
Transformador nuevo	\$800.000.000	a	1	\$1.200.000.000	24 a 36 meses
	\$1.200.000.000				

Instalación de analizadores de calidad de energía ( solo se compra una vez )

ITEM	Costo (CLP)	c/u	CANTIDAD	VALOR TOTAL	Tiempo de entrega
Analizador de calidad de energía.	\$399.990		2	\$799.980	2 SEMANAS

#### **7.4 Conclusión**

La necesidad de realizar reparaciones de emergencia pone presión sobre los recursos internos de la organización. Esto puede afectar la gestión de proyectos y la disponibilidad de personal para otras tareas críticas.

la realización de ensayos de cortocircuito en un proyecto eléctrico tiene impactos positivos, como mejorar la seguridad, cumplir con las normativas, aumentar la confiabilidad y reducir costos a largo plazo. Por otro lado, la omisión de estos ensayos conlleva riesgos de seguridad, sanciones legales, mayores costos a largo plazo, interrupciones operativas y daños a la propiedad. En general, los ensayos de cortocircuito son fundamentales para garantizar un proyecto eléctrico seguro, eficiente y económico.

## **CAPÍTULO VIII**

### **CONCLUSIONES**

En conclusión, la realización de ensayos de cortocircuito en un proyecto eléctrico es esencial para garantizar su seguridad, eficiencia y rentabilidad a lo largo del tiempo. Estos ensayos proporcionan una serie de beneficios significativos, incluyendo la mejora de la seguridad, el cumplimiento de normativas, la confiabilidad del sistema y la reducción de costos a largo plazo. La omisión de los ensayos de cortocircuito, por otro lado, puede resultar en riesgos de seguridad, sanciones legales, costos imprevistos y pérdida de eficiencia, lo que afecta negativamente la viabilidad del proyecto. En resumen, los ensayos de cortocircuito son una inversión crítica para el éxito y la sostenibilidad de cualquier proyecto eléctrico.

#### **8.1 En cuanto a los objetivos específicos**

##### **Proponer un ensayo de cortocircuito y circuito abierto en los transformadores:**

La propuesta generada a partir de la investigación se enfoca en las necesidades específicas de la planta, identificadas por el Departamento de Proyectos y Confiabilidad. Incluye un análisis exhaustivo de los datos recopilados, el diseño de soluciones a medida, la planificación detallada para su implementación, y asegura el cumplimiento de normativas vigentes. Además, contempla la estimación de costos y retorno de inversión, gestión de riesgos, planes de capacitación para el personal y mecanismos para el seguimiento y evaluación de las mejoras implementadas. Todo esto se orienta a optimizar la eficiencia, seguridad y fiabilidad de la planta, garantizando una implementación económica y efectiva de las mejoras propuestas.

**✚ Determinar el estado de los transformadores a través de las pruebas mencionadas:**

La determinación del estado y la viabilidad económica de mantener o reemplazar un equipo se basa en una evaluación minuciosa utilizando datos de herramientas y fórmulas previamente aplicadas, que consideran tanto el rendimiento actual como la condición física del equipo. Esta evaluación incluye el análisis de la vida útil restante, los costos de mantenimiento, la eficiencia operativa, y la comparación con estándares de la industria. Se examina la sostenibilidad económica del mantenimiento continuo frente al costo de reemplazo, teniendo en cuenta la depreciación, posibles mejoras en eficiencia y productividad, ahorros energéticos, y la obsolescencia tecnológica. Este análisis integral ayuda a equilibrar el estado actual del equipo con consideraciones económicas y estratégicas a largo plazo para la planta.

**✚ Formular propuestas de simulaciones mediante software para evaluar el comportamiento de los transformadores bajo diferentes condiciones:**

Se realizó un modelo virtual de los transformadores en el software ETAP tanto su alimentación como su carga que corresponde a la planta COEMIN, en esta simulación se consideró la falla catastrófica de uno de los transformadores y el otro asumiendo la carga total de la sala eléctrica número uno, los resultados en el software no presentaban fallas en los transformadores al asumir la carga total de forma individual, no obstante los transformadores llegaban a su potencia nominal, por lo cual, es necesario, que trabajen en conjunto para contar con un respaldo y mejorar la confiabilidad sin interrumpir la producción de la planta

## 8.2. En cuanto al objetivo general

- ✚ El marco teórico proporcionado ofrece una comprensión integral de los transformadores eléctricos, abarcando su diseño, funcionamiento, tipos y aplicaciones, junto con un enfoque detallado en su mantenimiento y las prácticas estándar necesarias para su óptimo funcionamiento. Se pone especial énfasis en la importancia de la protección diferencial en sistemas eléctricos industriales, explicando cómo esta protege contra fallos y mejora la seguridad del sistema. Asegurando que el proyecto se base en una fundación teórica actualizada y completa que cubre todos los aspectos críticos de los transformadores eléctricos y su rol esencial en la industria. Este enfoque robusto y detallado cumple con el objetivo de establecer una base conceptual sólida para el proyecto.

## BIBLIOGRAFÍA

-  50Hz submersible motors. (s.f.). Obtenido de [http://www.franklinwater.com/media/123156/50\\_HZ\\_AIM.pdf](http://www.franklinwater.com/media/123156/50_HZ_AIM.pdf)
-  8" encapsulated submersible motors. (s.f.). Obtenido de <http://www.bombasbraun.cl/Franklin/8-nema%20Brou.pdf>
-  Bomba sumergible. (s.f.). Obtenido de [https://es.wikipedia.org/wiki/Bomba\\_sumergible](https://es.wikipedia.org/wiki/Bomba_sumergible)
-  Franklin Electric - 8-Inch Motor Leads and Cables. (s.f.). Obtenido de <http://www.bombasbraun.cl/Franklin/Leads-8Inch.pdf>
-  Funcionamiento: Cómo Funciona una Bomba de Agua, Motobomba o Electro bomba. (s.f.). Obtenido de <http://www.ventageneradores.net/blog/funcionamiento-como-funciona-una-bomba-agua-motobomba-electrobomba/>
-  MOTORES ELECTRICOS SUMERGIBLES FRANKLIN ELECTRIC. (s.f.). Obtenido de [http://www.bombasbraun.cl/motores\\_franklin\\_electric.htm](http://www.bombasbraun.cl/motores_franklin_electric.htm)
-  Submersible Motors 8" Encapsulated, Water Well, Six-Lead Wye-Delta. (s.f.). Obtenido de <http://www.bombasbraun.cl/Franklin/8-31.pdf>
-  Variador de frecuencia. (s.f.). Obtenido de [https://es.wikipedia.org/wiki/Variador\\_de\\_frecuencia](https://es.wikipedia.org/wiki/Variador_de_frecuencia)
-  (Chapman, Máquinas Eléctricas, 2012)