



Universidad  
Continental

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional  
de Ingeniería Eléctrica

Trabajo de Investigación

**Variación del circuito de alimentación de  
las protecciones de control del transformador  
de 4160/480 VAC**

**Fredy Fidel Iquise Gonza**

Arequipa, 2018

Para optar el Grado Académico de Bachiller  
en Ingeniería Eléctrica



Repositorio Institucional Continental

Trabajo de Investigación



Obra protegida bajo la licencia de [Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Perú](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/peru/)

## **AGRADECIMIENTO**

*Gracias a mi esposa Marisol por entenderme en todo, gracias a ella porque en todo momento fue un apoyo incondicional en mi vida, Te agradezco por tantas ayudas y tantos aportes no solo para el desarrollo de mi tesis, sino también para mi vida; eres mi inspiración y mi motivación.*

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

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

*Gracias a la vida por este nuevo triunfo, gracias a todas las personas que me apoyaron y creyeron en la realización de esta tesis.*

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

## **DEDICATORIA**

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

*A mis amados hijos Valery y Erick por ser mi fuente de motivación e inspiración para poder superarme cada día más y así poder luchar para que la vida nos depare un futuro mejor.*

*A mi querido Padre y hermanos quienes con sus palabras de aliento no me dejaban decaer para que siguiera adelante y siempre sea perseverante y cumpla con mis ideales.*

*A mis compañeros y amigos presentes y pasados, quienes sin esperar nada a cambio compartieron su conocimiento, alegrías y tristezas y a todas aquellas personas que durante todo este tiempo estuvieron a mi lado apoyándome y lograron que este sueño se haga realidad.*

*Gracias a todos*

## ÍNDICE

AGRADECIMIENTO.....	II
DEDICATORIA.....	III
ÍNDICE.....	IV
LISTA DE TABLAS.....	VI
LISTA DE FIGURAS.....	VII
RESUMEN.....	IX
INTRODUCCIÓN.....	X
CAPITULO I.....	1
PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO.....	2
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.2.1 Problema general.....	2
1.2.2 Problemas específicos.....	2
1.3 OBJETIVOS.....	2
1.3.1 Objetivo General.....	2
1.3.2 Objetivos Específicos.....	2
1.4 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	3
1.5 HIPÓTESIS Y VARIABLES.....	3
1.5.1 Hipótesis general.....	3
1.5.2 Hipótesis específicas.....	3
1.5.3 Identificación De Variables.....	3
1.5.3.1 Variable Independiente.....	3
1.5.3.2 Variable Dependiente.....	4
CAPITULO II.....	5
MARCO TEÓRICO.....	5
2.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA.....	5

2.2 BASES TEÓRICAS.....	6
2.2.1 Las bobinas de inducción.....	6
2.2.2 El transformador.....	8
2.2.3 Transformador ideal.....	13
2.2.4 Transformador real.....	14
2.2.5 Componentes de un transformador.....	15
2.2.6 Transformador trifásico.....	17
2.2.7 Tipos De Transformadores Trifásicos.....	19
2.2.8 Protecciones internas del transformador.....	20
2.2.8.1 Indicador de temperatura del aceite.....	20
2.2.8.2 Indicador de nivel de aceite del transformador.....	21
2.2.8.3 Relé Bucholz.....	21
2.2.8.4 Relé de temperatura del devanado.....	24
2.2.9 Sala De Control De Motores.....	29
2.2.10 Sistema de alimentación ininterrumpida (UPS).....	30
2.2.11 Fuente switching.....	32
CAPITULO III.....	34
METODOLOGÍA.....	34
3.1 MÉTODO Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN.....	34
3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	35
3.3 UNIDAD DE ESTUDIO.....	35
CAPÍTULO IV:.....	37
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	37
4.1 RESULTADOS DEL TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	37
4.2 PRUEBA DE HIPÓTESIS.....	46
4.3 DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	46
CONCLUSIONES.....	47
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	48

## LISTA DE TABLAS

### Tablas

Tabla 1: costo económico de implementación de UPS.....	42
Tabla 2: Implementación de cableado con fuente de 125 VDC.....	45

## LISTA DE FIGURAS

### FIGURAS

Figura 1: Transformador monofásico antiguo.....	7
Figura 2: Transformador de Déri, Bláthy y Zipernowsky, 1885, Budapest.....	8
Figura 3: Funcionamiento de un transformador monofásico.....	9
Figura 4: Transformadores monofásicos: a) De columnas; b) Acorazado.....	11
Figura 5: Transformadores trifásicos de tres columnas.....	11
Figura 6a, 6b: Transformadores en baño de aceite.....	13
Figura 7: Corrientes en el núcleo de un transformador.....	15
Figura 8: Formas de conexionado de un transformador trifásico.....	19
Figura 9: Indicador de temperatura del aceite.....	20
Figura 10: Indicador de nivel del aceite.....	21
Figura 11: Relé buchholtz.....	22
Figura 12: Tablero eléctrico.....	30
Figura 13: UPS.....	31
Figura 14: Diagrama de bloques de un UPS.....	32
Figura 15: Diagrama de una fuente switching.....	33
Figura 16: Salida del transformador por causa de fallos en el año 2016.....	37
Figura 17: Salida del transformador por causa de fallos en el año 2017.....	38
Figura 18: Fuente de alimentación ELC-PS01.....	38
Figura 19: Esquema eléctrico de conexionado a 120 VAC de ELC-PS01.....	38
Figura 20: Esquema eléctrico de conexionado de ELC-PS01 a la red principal de 4160 VAC.....	39
Figura 21: Esquema eléctrico de conexionado de alarmas y sensores de trafo de SSAA. ....	40
Figura 22: Esquema eléctrico de suministro de 125 VDC.....	42
Figura 23: Hoja característica de ELC P501.....	43
Figura 24: Dimensiones de ELC P501.....	43
Figura 25: Diagrama de bloques de la fuente ELC P501.....	44

Figura 26: Bloque del rectificador ELC P501 .....44  
Figura 27: Diagrama de conexionado de 125 VDC.....45

## RESUMEN

El objetivo de esta investigación es determinar el diseño de la variación del circuito de alimentación de las protecciones de control del transformador de 4160/480 VAC, que alimenta el MCC (sala de control de motores).

Empleando el método descriptivo, llegamos a una serie de conclusiones. Partiendo de la hipótesis dada al inicio de este trabajo de investigación. Planteamos dos posibles soluciones al problema planteado, de la cual analizando las distintas posibilidades, hallaremos la solución más factible y realizable.

También la solución que adoptaremos tendrá que satisfacer las hipótesis secundarias las cuales son las siguientes: se podrá garantizar el suministro continuo de energía eléctrica a las protecciones del transformador 4160/480 VAC, la propuesta elegida debe ser la adecuada de modo que el suministro de energía al sistema de protecciones del transformador cumpla con los requisitos y estándares fijados y se espera garantizar que el transformador no sufra fallas originadas por el cambio de alimentación a las protecciones del transformador.

No hay una población y muestra definida en nuestro estudio del problema a desarrollar solo tenemos una unidad de estudio las cuales son: el suministro de energía eléctrica a los sistemas de protecciones del transformador de SSAA, y las posibles soluciones existentes. De acuerdo a la solución elegida previo, análisis y estudio de cada una de ellas nuestra hipótesis será respondida en toda su totalidad.

**Palabra clave:** circuito de alimentación, transformadores de SSAA.

## INTRODUCCIÓN

En la planta concentradora de la mina, ante una falla por rechazo de carga del sistema eléctrico interconectado, el Electricista de Turno tiene que dirigirse a cada sala eléctrica para resetear el relé de protección del transformador de SS.AA (servicios auxiliares) de 4,16/0,48 KV que alimenta los distintos MCC (centro de control de motores) de 480V y reponer los circuitos auxiliares.

De esta manera se reinicia el proceso de arranque de la planta concentradora.

Se señala que las Salas eléctricas se encuentran distantes, por ejemplo las salas de las Barcazas en Relaves, etc.

Se empezó por analizar el circuito, para determinar el por qué disparaba el interruptor cuando había falla en la alimentación AC, también se revisó la lógica del REF-630 (dispositivo electrónico inteligente-IED-de protección y control de alimentadoras-transformadores) y se pudo determinar la causa raíz del disparo sostenido del relé de protección.

El problema radica en que las **protecciones propias del transformador son alimentadas con una fuente distinta a la que alimenta al IED**, esto por la capacidad de la fuente propia del relé, se piensa como solución en un sistema de alimentación ininterrumpido (UPS) que pueda evitar este problema, otra alternativa es la compra de fuentes DC/DC 125-24, también está la posibilidad de analizar la misma fuente AC/DC que está instalada ELC-PS01 de EATON que alimenta al IED.

En el primer capítulo se aborda el planteamiento del problema, formulación de objetivos e hipótesis. En el capítulo dos; marcos teóricos, antecedentes, bases teóricas y definición de

términos. En el capítulo tres; metodologías de la investigación, tipo de investigación, diseño de la tesis, y en el último capítulo se concluye con los resultados y la discusión.

El autor

# CAPITULO I

## PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

### 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los **transformadores de potencia** son el enlace decisivo entre los diferentes niveles de tensión de un sistema de potencia y en consecuencia **son los que deben ofrecer mayor seguridad en cuanto a la posibilidad de falla**. Su construcción es muy simple y son componentes de la red confiables.

Se puede decir que, la incidencia numérica de perturbaciones originadas en los transformadores es en general baja, por lo menos si se la compara con la de las líneas de Transmisión. Sin embargo, el grado de confiabilidad está íntimamente relacionado con su montaje, con la forma en que se opere el transformador, con su mantenimiento preventivo y **con la eficacia de sus protecciones y alarmas**.

Los **pequeños transformadores** de distribución **pueden protegerse** satisfactoriamente, desde el punto de vista técnico y económico, **mediante el uso de fusibles o relés de sobrecorriente, relés de sobretensión, y otros**.

Dentro de las protecciones interna del transformador están los relés de protección de Temperatura de aceite, relé Bucholz, relé de control de presión de aceite, relé de temperatura del devanado; estos monitorean al transformador, y vigilan que este funcione de la manera correcta.

## **1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.2.1 Problema General**

¿Será posible determinar un diseño apropiado del circuito de alimentación de las protecciones de control del transformador de 4160/480 VAC, que alimenta el MCC (sala de control de motores); el cual sea confiable y seguro para la continuidad de trabajo del transformador de SSAA?

### **1.2.2 Problemas Específicos**

- ¿Se logrará Garantizar el suministro continuo de energía eléctrica a las protecciones del transformador de SSAA de la planta concentradora?
- ¿Se podrá garantizar que el transformador de SSAA de la planta concentradora, no sufra fallas originadas por el cambio de alimentación a las protecciones del transformador?

## **1.3 OBJETIVOS**

### **1.3.1 Objetivo General**

Proponer diseños de variación del circuito de alimentación de las protecciones de control del transformador de 4160/480 VAC, que alimenta el MCC (sala de control de motores).

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Formular propuestas adecuadas de suministro de energía al sistema de protecciones del transformador que cumpla con los requisitos y estándares fijados.
- Elegir la propuesta más adecuada según la investigación, para más adelante hacer viable su implementación de la variación.

## **1.4 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA**

El transformador de SS.AA 4,16/0,48 KV que alimenta a los MCC (centro de control de motores) de 480 V, los cuales no pueden tener interrupciones, ya que si el transformador “saliera de línea”, afectaría a parte de la planta que depende de este MCC.

Es por este motivo que este transformador no debe salir de línea, ya que su funcionamiento es crucial en el desarrollo de la planta minera.

Ante una falla por rechazo de carga del sistema eléctrico interconectado, las protecciones del transformador de SS.AA 4,16/0,48 KV salen fuera de línea, lo cual es un peligro, ya que las protecciones de un transformador deben estar siempre activas, para proteger al transformador de posibles fallas leves o graves.

## **1.5 HIPÓTESIS Y VARIABLES**

### **1.5.1 Hipótesis general:**

Existiendo soluciones adecuadas que permitan el suministro continuo de energía eléctrica a los sensores del transformador de SSAA, es probable el cambio del circuito de alimentación de las protecciones de control del transformador de 4160/480 VAC, sin afectar su funcionamiento

### **1.5.2 Hipótesis específicas:**

Con la elección adecuada de la solución se podrá garantizar el suministro continuo de energía eléctrica a las protecciones del transformador 4160/480 VAC, y por consecuencia se lograra garantizar que el transformador no sufra fallas originadas por el cambio de alimentación a las protecciones del transformador.

### **1.5.3 Identificación De Variables**

#### **1.5.3.1 Variable Independiente**

Cambio del circuito de alimentación de los sistemas de protección.

#### Indicadores

- Voltaje adecuado dentro de los rangos requeridos.
- Voltaje requerido para los sistemas de protección.
- Voltaje continuo de alimentación a los sistemas de protección del transformador.

#### **1.5.3.2 Variable Dependiente**

Funcionamiento de los sistemas de protección del transformador SSAA.

#### Indicadores

- Medición del voltaje de alimentación de los relés de protección interna del transformador.
- Operatividad del transformador.

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA**

En su tema de pregrado de José Mauricio López sobre maquinas eléctricas aborda el tema de los sistemas de protección de un sistema de potencia, afirma que los sistemas de protección de los transformadores se componen generalmente de los siguientes elementos:

- “Los relés de protección o relevadores; que ordenan disparos automáticos en caso de falla. Son la parte principal del sistema de protección. Contienen la lógica que deben seguir los interruptores. Se comunican con el sistema de potencia por medio de los elementos de medida y ordenan operar a dispositivos tales como interruptores, reconectores u otros”.
- “Los interruptores; que hacen la conexión o desconexión de las redes eléctricas. Son gobernados por los relés y operan directamente el sistema de potencia”.
- “Sistema de alimentación del sistema de protecciones. Se acostumbra alimentar, tanto interruptores como relés con un sistema de alimentación de energía eléctrica independiente del sistema protegido con el fin de garantizar autonomía en la operación. De esta forma los relés e interruptores puedan efectuar su trabajo sin interferir. Es común que estos sistemas sean de tensión continua y estén alimentados por baterías o pilas”.

- “Sistema de comunicaciones. Es el que permite conocer el estado de interruptores y relés con el fin de poder realizar operaciones y analizar el estado del sistema eléctrico de potencia”.

## 2.2 BASES TEÓRICAS

### 2.2.1 Las bobinas de inducción

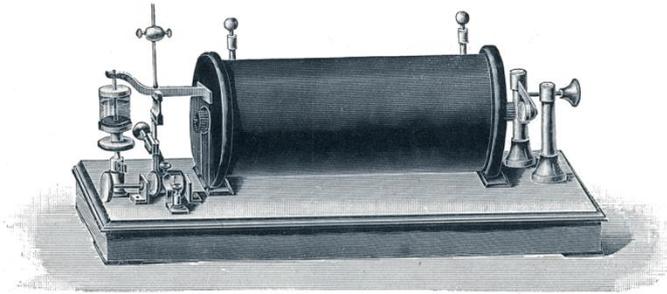
“El fenómeno **de inducción electromagnética** el que se basa el **funcionamiento del transformador** fue descubierto por Michael Faraday en 1831, se basa fundamentalmente en que cualquier variación de flujo magnético que atraviesa un circuito cerrado genera una corriente inducida, y en que la corriente inducida solo permanece mientras se produce el cambio de flujo magnético”. (Brokering C, Walter; Palma W, Vargas R, Luis 2008, p 84).

“La primera bobina de inducción fue inventada por el sacerdote Nicholas Joseph Callan en la Universidad de Maynooth en Irlanda en 1836. Callan fue uno de los primeros investigadores en darse cuenta de que cuantas más espiras hay en el secundario, en relación con el bobinado primario, más grande es el aumento de la tensión eléctrica”. (Brokering C, Walter; Palma W, Vargas R, Luis 2008, p 84).

“Los científicos e investigadores basaron sus esfuerzos en evolucionar las bobinas de inducción para obtener mayores tensiones en las baterías. En lugar de corriente alterna (CA), su acción se basó en un do&break mecanismo vibrador que regularmente interrumpía el flujo de la corriente directa (DC) de las baterías”. (Brokering C, Walter; Palma W, Vargas R, Luis 2008, p 84).

“Entre la década de 1830 y la década de 1870, los esfuerzos para construir mejores bobinas de inducción, en su mayoría por ensayo y error, revelaron lentamente los principios básicos de los transformadores. Un diseño práctico y eficaz no apareció hasta la década de 1880, cuando el transformador tendría un papel decisivo en la guerra de las Corrientes, en la que los sistemas de distribución de corriente alterna triunfaron sobre sus homólogos de corriente

continua, una posición dominante que mantienen desde entonces”. (Brokering C, Walter; Palma W, Vargas R, Luis 2008, p 84)



*Figura 1: Transformador monofásico antiguo.*

“En 1876, el ingeniero ruso Pavel Yablochkov inventó un sistema de iluminación basado en un conjunto de bobinas de inducción en el cual el bobinado primario se conectaba a una fuente de corriente alterna y los devanados secundarios podían conectarse a varias lámparas de arco, de su propio diseño. Las bobinas utilizadas en el sistema se comportaban como transformadores primitivos. La patente alegó que el sistema podría, proporcionar suministro por separado a varios puntos de iluminación con diferentes intensidades luminosas procedentes de una sola fuente de energía eléctrica”. (Brokering C, Walter; Palma W, Vargas R, Luis 2008, p 84).

“En 1878, los ingenieros de la empresa Ganz en Hungría asignaron parte de sus recursos de ingeniería para la fabricación de aparatos de iluminación eléctrica para Austria y Hungría. En 1883, realizaron más de cincuenta instalaciones para dicho fin. Ofrecía un sistema que constaba de dos lámparas incandescentes y de arco, generadores y otros accesorios”. (Brokering C, Walter; Palma W, Vargas R, Luis 2008, p 84).

“En 1882, Lucien Gaulard y John Dixon Gibbs expusieron por primera vez un dispositivo con un núcleo de hierro llamado generador secundario en Londres, luego vendieron la idea a la compañía estadounidense Westinghouse Electric. También este sistema fue expuesto en Turín, Italia en 1884, donde fue adoptado para el sistema de alumbrado eléctrico”. (Brokering C, Walter; Palma W, Vargas R, Luis 2008, p 84).

Según (Brokering C, Walter; Palma W, Vargas R, Luis 2008, p 84), “entre 1884 y 1885, los ingenieros húngaros Miksa Déri, Ottó Titzus Bláthy y Károly Zipernowsky, de la compañía Ganz, de ese país, crearon en Budapest el modelo “DBZ” de transformador de corriente alterna, basado en un diseño de Gaulard y Gibbs (Gaulard y Gibbs solo diseñaron un modelo de núcleo abierto). Descubrieron la fórmula matemática de los transformadores”:

$$\frac{V_s}{V_p} = \frac{N_s}{N_p}$$

Donde  $V_s$  es la tensión en el secundario y  $N_s$  es el número de espiras en el secundario;  $V_p$  y  $N_p$  se corresponden al primario.

Su solicitud de patente hizo el primer uso de la palabra transformador, que había sido acuñada por Ottó Titzus Bláthy.

En 1885, George Westinghouse compró las patentes del DBZ y las de Gaulard y Gibbs. Él le encomendó a William Stanley la construcción de un transformador de tipo ZBD para uso comercial. Este diseño se utilizó por primera vez comercialmente en 1886.



Figura 2: Transformador de Déri, Bláthy y Zipernowsky, 1885, Budapest. Fuente (Zátonyi Sándor, 2004)

### 2.2.2 El transformador

Según (Brokering C, Walter; Palma W, Vargas R, Luis 2008, p 87), “se denomina transformador a un dispositivo eléctrico que permite aumentar o disminuir la tensión en un circuito eléctrico de corriente alterna, manteniendo la potencia. La potencia que ingresa al equipo, en el caso de un transformador ideal (esto es, sin pérdidas), es igual a la que se obtiene a la salida. Las máquinas

reales presentan un pequeño porcentaje de pérdidas, dependiendo de su diseño y tamaño, entre otros factores”.

“El transformador es un dispositivo que convierte la energía eléctrica alterna de un cierto nivel de tensión, en energía alterna de otro nivel de tensión, basándose en el fenómeno de la inducción electromagnética. Está constituido por dos bobinas de material conductor, devanadas sobre un núcleo cerrado de material ferromagnético, pero aisladas entre sí eléctricamente. La única conexión entre las bobinas la constituye el flujo magnético común que se establece en el núcleo. El núcleo, generalmente, es fabricado bien sea de hierro o de láminas apiladas de acero eléctrico, aleación apropiada para optimizar el flujo magnético. Las bobinas o devanados se denominan primario y secundario según correspondan a la entrada o salida del sistema en cuestión, respectivamente. También existen transformadores con más devanados; en este caso, puede existir un devanado terciario, de menor tensión que el secundario”. (Brokering C, Walter; Palma W, Vargas R, Luis 2008, p 87)

Según Rodríguez M (2018) “los transformadores son máquinas estáticas con dos devanados de corriente alterna arrollados sobre un núcleo magnético (Fig. 1). El devanado por donde entra energía al transformador se denomina primario y el devanado por donde sale energía hacia las cargas que son alimentadas por el transformador se denomina secundario. El devanado primario tiene  $N_1$  espiras y el secundario tiene  $N_2$  espiras. El circuito magnético de esta máquina lo constituye un núcleo magnético sin entrehierros, el cual no está realizado con hierro macizo sino con chapas de acero al silicio apiladas y aisladas entre sí (véanse las Figs. 2, 3 y 4). De esta manera se reducen las pérdidas magnéticas del transformador”.

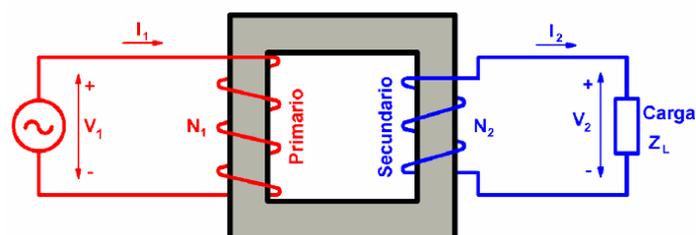


Figura 3: Funcionamiento de un transformador monofásico.

Según Rodríguez M (2018) “al conectar una tensión alterna  $V_1$  al primario, circula una corriente por él que genera un flujo alterno en el núcleo magnético. Este flujo magnético, en virtud de la Ley de Faraday, induce en el secundario una fuerza electromotriz (f.e.m.)  $E_2$  que da lugar a una tensión  $V_2$  en bornes de este devanado. De esta manera se consigue transformar una tensión alterna de valor eficaz  $V_1$  en otra de valor eficaz  $V_2$  y de la misma frecuencia. Nótese que esta máquina sólo vale para transformar tensiones alternas, pero no sirve para tensiones continuas”.

Según Rodríguez M (2018) “el **devanado de alta tensión** (A.T.) es el de mayor tensión y el **devanado de baja tensión** (B.T.) es el de menor tensión. Un **transformador elevador** tiene el lado de baja tensión en el primario y el de A.T. en el secundario. Un **transformador reductor** tiene el lado de alta tensión en el primario y el de B.T. en el secundario”.

Según Rodríguez M (2018) “el transformador es una máquina reversible. Un mismo transformador puede alimentarse por el lado A.T. y funcionar como transformador reductor o alimentarse por el lado de B.T. y actuar como un transformador elevador. En las Figs. 4 se muestran dos **transformadores monofásicos**. El transformador de la Fig. 4a es un transformador monofásico **de columnas**. En este transformador el núcleo magnético tiene forma rectangular y consta de dos columnas (donde se arrollan los devanados) y dos yugos o culatas, todos de igual sección. Aunque para facilitar el análisis teórico del transformador se suele dibujar con un devanado arrollado sobre una columna y el otro sobre la otra columna (Fig. 3), la realidad es que en un transformador de columnas se bobina primero el devanado de menor tensión (devanado de B.T.) repartido entre las dos columnas (mitad en una columna y mitad en la otra), se coloca una capa de material aislante sobre este primer devanado y se bobina ahora el devanado de mayor tensión (el devanado de A.T.) sobre el anterior y también repartido mitad en una columna y mitad en la otra”.

“De esta manera se reducen los flujos de dispersión (debidos a las líneas de campo magnético generadas por un devanado y que no llegan al otro). En la Fig. 4b se muestra un transformador monofásico **acorazado**, el cual tiene un núcleo magnético de tres columnas, teniendo la columna central doble sección que las

otras columnas y que los yugos. Los dos devanados se bobinan sobre la columna central, uno sobre el otro y con una capa aislante intermedia. Al estar los devanados más rodeados del hierro del núcleo magnético, se consigue en los transformadores acorazados que los flujos de dispersión sean menores que en los de columnas”. Rodríguez M (2018)

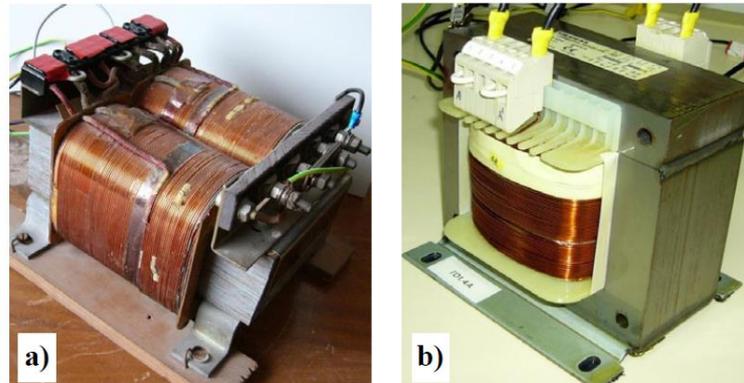


Figura 4: Transformadores monofásicos: **a)** De columnas; **b)** Acorazado

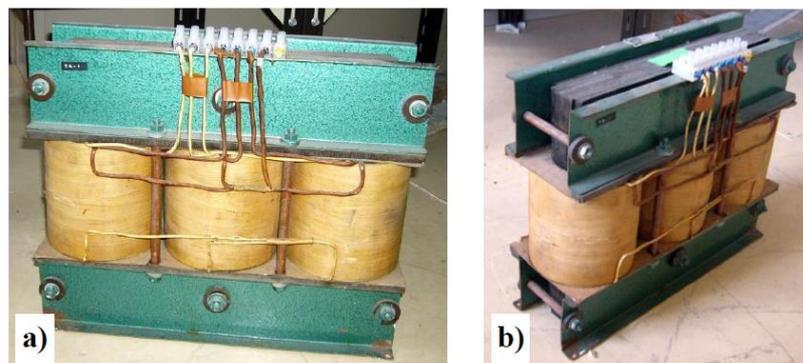


Figura 5: Transformadores trifásicos de tres columnas

“Los transformadores trifásicos más habituales suelen ser de tres columnas (Figs. 5). El núcleo magnético de estos transformadores tiene tres columnas de igual sección e igual a la de los yugos. Sobre cada columna se bobinan (uno sobre el otro con una capa de aislamiento intermedia) los dos devanados (primario y secundario) de una de las fases. Las tres fases del primario se conectan entre sí en estrella, en triángulo o mediante una conexión especial denominada zig-zag”. Rodríguez M (2018).

“También existen otros tipos de transformadores trifásicos: de cinco columnas (con dos columnas adicionales sin devanados a ambos lados del núcleo magnético) y acorazados.

En una red trifásica, además de un transformador trifásico, también se puede utilizar un banco de tres transformadores monofásicos. Los primarios de los tres transformadores monofásicos se pueden conectar en estrella o en triángulo y lo mismo pasa con los secundarios”. Rodríguez M (2018).

“Las Figs. 4 y 5 muestran varios transformadores secos. En ellos el calor generado durante el funcionamiento de la máquina se evacua hacia el aire circundante a través de su superficie externa” Rodríguez M (2018).

“Hoy en día se utilizan bastante los transformadores secos encapsulados en resina epoxi, en los cuales el devanado de alta tensión está totalmente encapsulado en una masa de resina epoxi. Estos transformadores son muy seguros al no propagar la llama y ser autoextinguibles.

Para potencias altas tradicionalmente se han empleado los **transformadores en baño de aceite** (Figs. 6), los cuales tienen su parte activa (núcleo magnético y devanados) en el interior de una cuba llena de aceite mineral o aceite de siliconas. En estos transformadores el aceite realiza una doble función: aislante y refrigerante. El calor generado por la parte activa del transformador se transmite al aceite y este evacua el calor al aire ambiente a través de la superficie externa de la cuba. Para facilitar la transmisión de calor a través de la cuba ésta posee aletas o radiadores que aumentan su superficie externa. En algunos casos el aceite es refrigerado por otro fluido (por ejemplo, agua) a través de un intercambiador de calor”. Rodríguez M (2018).

Según Rodríguez M (2018) “en su forma clásica, la cuba de un transformador en baño de aceite posee un **depósito de expansión** o **conservador** en su parte superior (Figs. 6). Este depósito, en forma de cilindro horizontal, sirve para absorber las variaciones de volumen del aceite de la cuba provocadas por el calentamiento de la máquina cuando está funcionando. Además, de esta manera se reduce la superficie de contacto entre el aceite y el aire, lo que alarga la vida útil del aceite. Por otra parte, la entrada de aire al depósito de expansión suele realizarse a través de un pequeño depósito de silicagel o gel de sílice que lo deseca, mejorando así la conservación del aceite de la cuba. En efecto, el gel de sílice es una sustancia que se presenta en forma de bolitas y que muestra una gran capacidad para absorber la humedad del aire. El depósito de expansión

incluye un nivel de aceite, que consiste en una ventana o en un tubo de cristal (ver la Fig. 6b) que permite vigilar que el nivel del aceite es el adecuado”.

“En la parte superior del depósito de expansión está el tapón de llenado del aceite (ver la Fig. 6a), mientras que en la parte inferior de la cuba se encuentra el grifo de vaciado (Fig. 6a)”. Rodríguez M (2018).

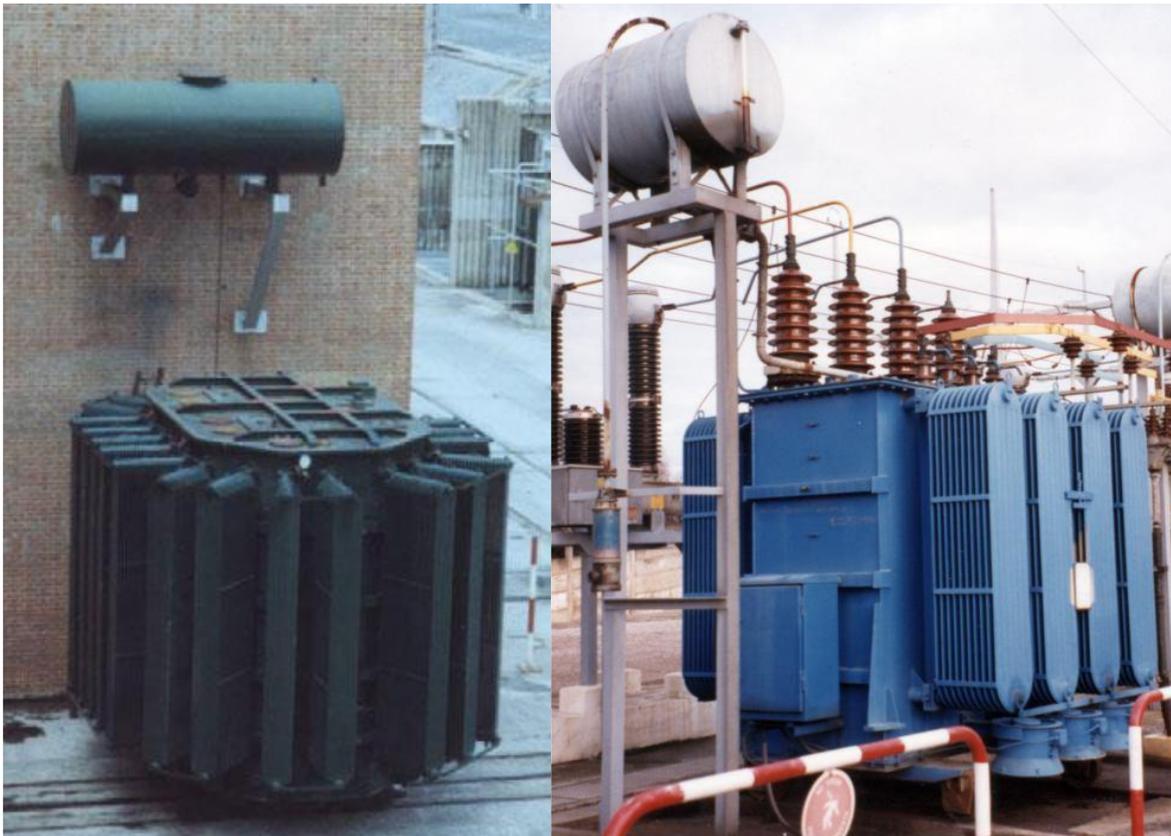


Figura 6a, 6b: Transformadores en baño de aceite:

### 2.2.3 Transformador ideal

Se considera un transformador ideal aquel en el que no hay pérdidas de ningún tipo. En la práctica no es realizable, pero es útil para comprender el funcionamiento de los transformadores reales.

En un transformador ideal, debido a la inducción electromagnética, las tensiones en los devanados son proporcionales a la variación del flujo magnético que las atraviesa y al número de espiras del devanado. Puesto que el acoplamiento magnético de los devanados se considera perfecto, se deduce que la relación entre las tensiones es inversamente proporcional a la relación entre el número de espiras de los devanados. De este modo:

$$\frac{V_P}{V_S} = \frac{N_P}{N_S} \Leftrightarrow V_S = \frac{N_S}{N_P} \cdot V_P$$

Se denomina relación de transformación a la relación de tensiones entre el primario y el secundario. También se puede expresar en función del número de espiras de los devanados.

$$m = \frac{V_P}{V_S} = \frac{N_P}{N_S}$$

Del mismo modo, al no considerarse ningún tipo de pérdidas, la potencia de entrada en el primario es igual a la potencia de salida en el secundario.

$$V_P \cdot I_P = V_S \cdot I_S$$

#### 2.2.4 Transformador real

Según Singer F (2018) “en la práctica, un transformador ideal no es físicamente realizable. Los transformadores reales se diferencian de los ideales en los siguientes aspectos”:

- “Los arrollamientos o devanados tienen resistencia eléctrica y capacidades parásitas.
  - En el interior del núcleo hay corrientes parásitas o corrientes de Foucault.
  - El ciclo de magnetización y desmagnetización del núcleo consume energía debido a la histéresis magnética.
  - El acoplamiento magnético de los devanados no es perfecto, que se traduce en una inductancia o flujo de dispersión.
  - La permeabilidad magnética del núcleo depende de la frecuencia.
  - La saturación magnética del núcleo provoca que la inductividad de los devanados no sea constante.
  - El núcleo varía ligeramente su geometría debido a la magnetostricción”.
- Singer F (2018)

“La resistencia de los devanados, la histéresis del núcleo y las corrientes parásitas producen pérdidas de energía. Las pérdidas de energía debidas a la resistencia

eléctrica de los arrollamientos se denominan pérdidas en el cobre. Las pérdidas por el efecto de la histéresis y por las corrientes parásitas se denominan pérdidas en el hierro”. Singer F (2018)

Según Singer F (2018), “las pérdidas en el cobre dependen cuadráticamente de la corriente de carga del transformador, es decir, del cuadrado de la intensidad de cada arrollamiento. Las pérdidas en el hierro son prácticamente independientes del nivel de carga del transformador, pero proporcionales al cuadrado de la densidad de flujo magnético del núcleo. Así mismo, las pérdidas por histéresis son proporcionales a la frecuencia eléctrica, mientras que las corrientes parásitas son proporcionales al cuadrado de la frecuencia”.

El flujo magnético de dispersión provoca que la tensión en el secundario sea algo menor que en un transformador ideal.

Según Singer F (2018), “la saturación magnética limita la frecuencia mínima de funcionamiento o, dicho de otro modo, dada una frecuencia y un número de espiras, limita la tensión máxima posible del primario. Si se sobrepasan dichos límites y se satura el núcleo, aparecen grandes corrientes en el primario con poco o ningún efecto en la tensión del secundario. La saturación magnética se puede evitar incrementando el número de espiras en el primario (y por consiguiente también en el secundario) a cambio de un mayor volumen físico y mayores pérdidas en el cobre. La saturación magnética juega también un papel importante en la corriente de inserción; debido a corrientes en el primario varias veces la nominal, la saturación evita una sobrecarga en el secundario”.

## 2.2.5 Componentes de un transformador

### Núcleo

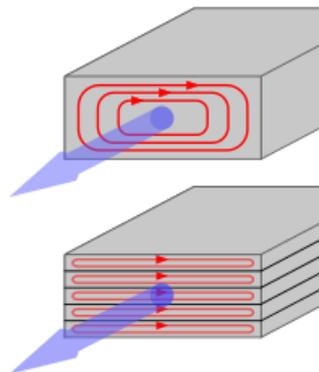


Figura 7: Corrientes en el núcleo de un transformador. Fuente (svjo, 2013):

Según Singer F (2018), “la disposición en láminas del núcleo ayuda a reducir las corrientes de Foucault.

El núcleo de un transformador es la zona por la que circula el campo magnético entre los devanados primario y secundario. Dependiendo de la finalidad del transformador, puede tener varias formas y estar constituido por diferentes materiales”.

“El núcleo está formado habitualmente por varias chapas u hojas de metal (generalmente material ferromagnético) que están apiladas una junto a la otra, sin soldar, similar a las hojas de un libro. La función del núcleo es mantener el flujo magnético confinado dentro de él y evitar que este fluya por el aire favoreciendo las pérdidas en el núcleo y reduciendo la eficiencia. La configuración por láminas del núcleo laminado se realiza para reducir las corrientes de Foucault y, consiguientemente, reducir las pérdidas de energía en el núcleo”. Singer F (2018).

Según Singer F (2018), “algunos transformadores no tienen núcleo y se les denomina transformadores sin núcleo o con núcleo de aire. Un núcleo de aire es esencialmente un núcleo sin pérdidas por histéresis o corrientes de Foucault. Sin embargo, la inductancia de dispersión es muy alta, siendo inapropiados para la transmisión de potencia. Por el contrario, tienen un ancho de banda muy alto y se emplean frecuentemente en aplicaciones de radiocomunicación. Dentro del concepto de transformadores de núcleo de aire entran también los sistemas de carga inalámbrica y las bobinas de Tesla”.

### Bobinas

“Las bobinas son generalmente de cobre enrollado en el núcleo. Según el número de espiras (vueltas) alrededor de una pierna inducirá un voltaje mayor. Se juega entonces con el número de vueltas en el primario versus las del secundario. En un transformador trifásico el número de vueltas del primario y secundario debería ser igual para todas las fases.

El devanado primario y secundario se suelen arrollar uno dentro del otro. La razón es reducir al máximo la inductancia de dispersión y aprovechar al máximo el núcleo magnético disponible. Entre los arrollamientos es necesario una capa aislante, puesto que ambos funcionan a tensiones diferentes. Para evitar tener

espesores de capa aislante demasiado gruesos, lo más habitual es encontrar el devanado de baja tensión arrollado sobre el núcleo y el devanado de alta tensión arrollado sobre el devanado de baja tensión” Singer F (2018).

### Aislamiento

“Debido a que las diferentes partes eléctricas de un transformador se encuentran a distintas tensiones, es necesario aislarlas entre sí para evitar la aparición de arcos eléctricos y consecuente degradación de los componentes. Existen varios tipos de aislamiento en un mismo transformador.

- Aislamiento entre arrollamiento y núcleo - En transformadores de alta tensión suele ser una lámina de papel impregnada en aceite mineral.
- Aislamiento entre distintos arrollamientos - En transformadores de alta tensión suele ser una lámina de papel impregnada en aceite mineral.
- Aislamiento entre espiras no consecutivas de un mismo arrollamiento - Dos espiras diferentes de un transformador tienen distintos niveles de tensión y deben ser aisladas. En transformadores de alta tensión puede ser una lámina de papel impregnada en aceite mineral o una capa de laca sobre el cobre.
- Aislamiento entre espiras consecutivas de un mismo arrollamiento - Incluso dos espiras consecutivas tienen distintos niveles de tensión y deben ser aisladas entre sí. Una fina capa de laca sobre el cobre suele hacer esta función” Singer F (2018).

### **2.2.6 Transformador trifásico**

“Casi todos los sistemas importantes de generación y distribución de potencia del mundo son, hoy en día, sistemas de corriente alterna trifásicos. Puesto que los sistemas trifásicos desempeñan un papel tan importante en la vida moderna, es necesario entender la forma como los transformadores se utilizan en ella.

Los transformadores para circuitos trifásicos pueden construirse de dos maneras. Estas son:

Tomando tres transformadores monofásicos y conectándolos en un grupo trifásico.

Haciendo un transformador trifásico que consiste en tres juegos de devanados enrollados sobre un núcleo común.

Para el análisis de su circuito equivalente, conviene representar cada uno de los transformadores monofásicos que componen un banco trifásico por un circuito equivalente. Como los efectos de las capacidades de los devanados y de los armónicos de las corrientes de excitación suelen ser despreciables, podrá utilizarse cualquiera de los circuitos equivalentes deducidos para el caso de los monofásicos.

En ellos, el transformador está representado, como en el teorema de Thévenin, por su impedancia en cortocircuito en serie con su tensión en circuito abierto; la razón de las tensiones en circuito abierto está representada por un transformador ideal; y las características de excitación están representadas por la admitancia en circuito abierto.

Los valores de los parámetros pueden obtenerse a partir de los datos de diseño o ensayos en circuito abierto o en cortocircuito tomados a uno u otro lado del transformador, y estos valores se pueden emplear, sin modificación, o en el circuito equivalente de la figura a (en el cual se coloca la admitancia de excitación en el lado primario) o en el circuito equivalente de la figura b (en el cual se coloca la admitancia de excitación en el lado del secundario.) En muchos problemas, los efectos de la corriente de excitación son tan pequeños que puede despreciarse por completo la corriente de excitación y representarse el transformador por su impedancia equivalente en serie con un transformador ideal. Si se quiere, las impedancias equivalentes y admitancias de excitación se puede referir al otro lado del transformador multiplicando o dividiendo, según sea el caso, por el cuadrado de la razón de transformación.

El circuito equivalente de un banco trifásico de transformadores puede trazarse conectando los circuitos equivalentes de las unidades de acuerdo con las conexiones del banco. Por ejemplo, en la figura a puede verse el circuito equivalente de un banco estrella-estrella y en la figura b un circuito equivalente de un banco triángulo. Las Y representan las admitancias en circuito abierto o de excitación y las Z las impedancias en cortocircuitos o equivalentes” (Enrique O, 1994, p 85).

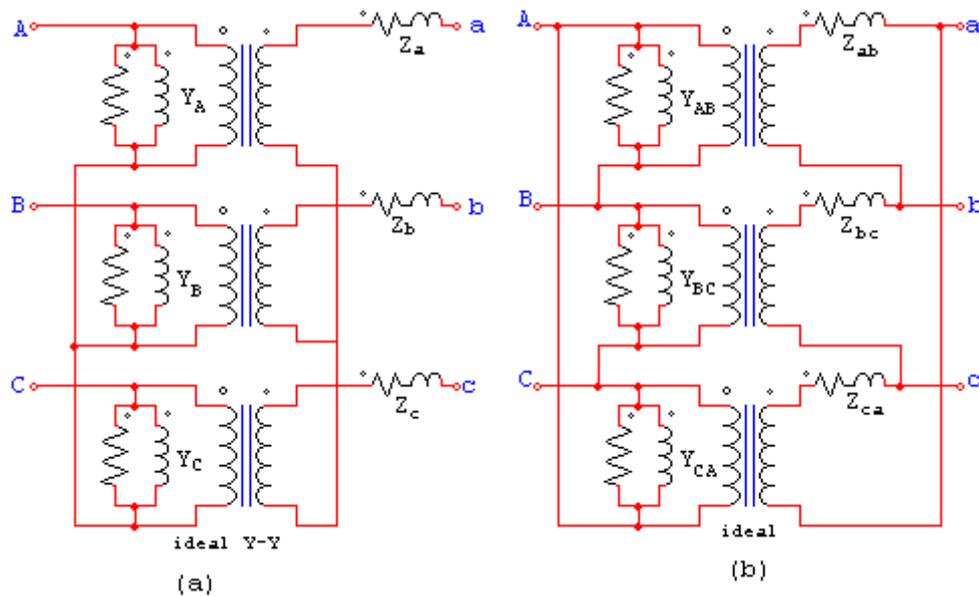


Figura 8: Formas de conexi3n de un transformador trifásico. Fuente (educachile, 2018):

## 2.2.7 Tipos De Transformadores Trifásicos

### Transformador de protecci3n, de medida y autotransformador

“Los transformadores de medida, tan ampliamente empleados en la t3cnica de las medidas el3ctricas, satisfacen la necesidad primordial de aislar de los circuitos de alta tensi3n los aparatos o instrumentos de trabajo, que as3 podr3n funcionar únicamente a tensiones reducidas. Los transformadores de tensi3n convierten generalmente el voltaje de alta a 100 V en el secundario (algunas veces, a 110). Los de intensidad separan tambi3n el circuito de medida del de alta tensi3n. Al mismo tiempo, estos últimos transformadores reducen la corriente del circuito primario al valor normal de 5 A, raras veces a 1 A, en el circuito secundario, lo que viene a darles importancia incluso en las instalaciones de baja tensi3n, particularmente cuando no es posible colocar el amper3metro en el lugar por donde pasan los conductores principales, sino que ha de situarse a distancia de ellos. Tambi3n permiten los transformadores de intensidad hacer uso de un mismo aparato de medida en circuitos distintos, como sucede especialmente en los laboratorios” (Enrique O, 1994, p 87).

“En cuanto a la construcci3n, los transformadores de medida constituyen un conjunto especialmente sencillo y compacto, estando montados los bobinados sobre una sola columna - primario y secundario juntos. En los de intensidad, las

chapas se cortan a menudo de una sola pieza, sin ninguna junta magnética (a fin de reducir la corriente de excitación, causa de error en las mediciones), y las bobinas se enrollan entonces con el auxilio de máquinas especiales.

Los autotransformadores se usan normalmente para conectar dos sistemas de transmisión de tensiones diferentes, frecuentemente con un devanado terciario en triángulo. De manera parecida, los autotransformadores son adecuados como transformadores elevadores de centrales cuando se desea alimentar dos sistemas de transporte diferentes. En este caso el devanado terciario en triángulo es un devanado de plena capacidad conectado al generador y los dos sistemas de transporte se conectan al devanado, autotransformador. El autotransformador no sólo presenta menores pérdidas que el transformador normal, sino que su menor tamaño y peso permiten el transporte de potencias superiores” (Enrique O, 1994, p 87).

#### **2.2.8 Protecciones internas del transformador.**

Estas pueden ser:

##### **2.2.8.5 Indicador de temperatura del aceite.**

Este instrumento indica la temperatura actual del aceite en la parte superior del tanque. Los instrumentos incluyen la carátula, bulbo sensor, y el medidor con aguja de máxima temperatura alcanzada, la cual se puede restablecer. Los contactos eléctricos se utilizan para poder mandar alarma o disparo en el nivel de ajuste que se determine.



*Figura 9: Indicador de temperatura del aceite.*

##### **2.2.8.6 Indicador de nivel de aceite del transformador.**

Indicador de nivel de aceite para una medición del nivel de aceite precisa, el cual indica el nivel de aceite existente, en el transformador.

El indicador de nivel de aceite consiste en una pieza de sensor (montada directamente en la pared del recipiente) y una pieza de display. Estas piezas están conectadas entre sí. La varilla del flotador transfiere el movimiento de elevación del flotador a un eje. Este eje está enlazado con el eje del indicador en la pieza del display mediante un acoplamiento magnético.



Figura 10: Indicador de nivel del aceite.

#### 2.2.8.7 Relé Buchholz.

“Cualquier anomalía magnética o eléctrica que se presenta en el interior de un transformador da origen a calentamientos locales que descomponen el aceite o dan lugar a la combustión de los aislantes, originándose un desprendimiento más o menos importante de gas. El primer objeto del relé de Buchholtz es detectar este desprendimiento.

Puede también llegar a detectarse en el relé gases no combustibles, no originados por anomalía eléctrica o magnética, por ejemplo, aire aspirado por la bomba de circulación, o procedente de una bolsa de aire no eliminada a poner en servicio el transformador.

El segundo objeto del relé de Buchholtz es la detección de un descenso anormal del nivel de aceite considerado admisible para el buen funcionamiento del transformador” Fernández, O (2018).



Figura 11: Relé buchholtz.

### Funcionamiento del relé Buchholtz.

Fernández, O (2018) afirma que “el relé está previsto para ser intercalado en la tubería que une la parte más alta de la cuba del transformador y el depósito de expansión.

En ocasiones las bornes de salida del transformador contienen aceite, formando un recipiente completamente separado y aislado del resto de la cuba. Estas bornes se unen entre sí por medio de una serie de tubos los cuales van conectados por un colector común a un relé de Buchholtz, independientemente del propio transformador.

El mecanismo introducido en una caja estanca, se compone de dos flotadores FA y FD que pueden girar en torno a sus respectivos ejes, basculando de este modo dos contactos de mercurio situados en las ampollas adosadas a cada flotador”.

“Cada uno de estos contactos cierra su correspondiente circuito (de alarma el flotador superior FA, y de disparo y bloqueo de disyuntores el inferior FD.).

El descenso del flotador de alarma FA, puede ser visualizado por una mirilla transparente, situada en un lateral del relé” Fernández, O (2018).

### Casos en que actúa el relé Buchholtz.

Fernández, O (2018) afirma que “si como consecuencia de las causas que citamos anteriormente, se produce un desprendimiento de gases en el interior del transformador, estos ascienden hasta el interior del relé por una tubería de unión entre éste y la cuba, ocupando un cierto

volumen y como consecuencia, desplazando el aceite situado en el interior del relé”.

“a) Al producirse un defecto poco importante, si las emanaciones de gas son suficientes para hacer descender el nivel de aceite hasta NA, se produce una rotación alrededor de su eje del flotador FA, que accionará el contacto correspondiente al circuito de alarma, mientras el flotador FD no acusa movimiento ninguno.

b) Producido un defecto importante, se origina una violenta emanación de gas, que provoca un desplazamiento del aceite de la cuba al depósito de expansión; antes de que los gases lleguen al relé, haciendo, por efecto del impulso producido por el aceite, girar en torno a su eje del flotador FD, y provocando el cierre del contacto de disparo, que excita un relé auxiliar, dando lugar al desenganche de la máquina por medio de sus disyuntores y el bloqueo de estos con la correspondiente alarma.

El contacto del flotador FD también se cierra si el volumen de los gases que ascienden al relé, hace descender el nivel de aceite en él a ND.

c) Si el nivel de aceite, bien por una contracción brusca, por una fuga, o por un cierre anormal de la válvula automática de retención de aceite VR, desciende en el relé, se origina el descenso del flotador FA, o FA y FD, según sea el nivel alcanzado por NA o ND, produciéndose la alarma o, el disparo y bloqueo de los disyuntores”  
Fernández, O (2018).

#### Extracción de gases para identificación de avería.

Según Fernández, O (2018), “cuando se efectúen estas pruebas, se tomará la precaución de no encender fuego o fumar en las proximidades del transformador, ya que los gases producidos son de carácter inflamable.

En todos los casos se seguirán las instrucciones de maniobra para el accionamiento del Buchholtz de un transformador o de un

autotransformador, que se pueden encontrar en el correspondiente reglamento de servicio de la instalación”.

“Para determinar si los gases detectados son o no combustibles, en caso de alarma o disparo por relé de Buchholtz en un transformador, se procede a hacer barbotear los gases contenidos en el relé en un recipiente con solución de nitrado de plata al 10% de concentración.

Si en la solución se origina un precipitado de color lechoso, esto indica que se ha producido una combustión del aceite o de los aislantes del interior del transformador y por lo tanto, este no podrá ser puesto de nuevo en servicio por existir indicios de una avería interna” Fernández, O (2018).

#### **2.2.8.8 Relé de temperatura del devanado.**

Fernández, O (2018) afirma que “como al principio del trabajo citamos, en los transformadores existen pérdidas de energía que se pueden clasificar en dos grupos:

- Pérdidas en el hierro (por Histéresis y Foucault).
- Pérdidas en el cobre o por efecto Joule.

Estas pérdidas energéticas tienen como efecto principal provocar un calentamiento, tanto del núcleo (Pre), como en los devanados del transformador (pérdidas por Joule).

De estas pérdidas las de mayor importancia, desde el punto de vista de aporte calorífico, son las pérdidas por el efecto Joule, que dependen del cuadrado de la intensidad circulante por los devanados y por tanto de la carga a que este sometido el transformador; mientras las pérdidas en el hierro son sensiblemente constantes cualquiera que sea la carga aplicada, ya que dependen exclusivamente de la tensión, que será sensiblemente constante”.

Fernández, O (2018) afirma que “los transformadores como toda máquina son tanto más rentables económicamente, cuanto menor sea el número de averías que afecten a su tiempo de utilización. La vida

media de los transformadores está determinada fundamentalmente por la duración del aislamiento en sus devanados.

En su mayoría, los aislantes se deterioran rápidamente si su temperatura sobrepasa reiteradamente el límite admisible, por ello es necesario proteger el transformador contra sobrecalentamientos excesivos de sus conductores, utilizándose como medios más comunes a este fin, los a continuación citados:

- \* Refrigeración natural y forzada
- \* Termostatos de alarma y disparo por alta temperatura.
- \* Dispositivo de imagen térmica”.

#### Refrigeraciones natural y forzada.

“Los transformadores de potencia tienen su parte activa alojada en una cuba y sumergida en un fluido (aceite o piraleno. Este último en desuso, debido a su alto poder contaminante), que además de contribuir a un mejor aislamiento eléctrico, tienen la función de evacuar el calor generado por las pérdidas en el interior de transformador a los radiadores destinados a disiparlo en la atmósfera.

Según el modo de emplear el aire y fluido refrigerante, se pueden distinguir dos sistemas de refrigeración (con posterioridad hablaremos más extensamente sobre sistemas de refrigeración y aceites)”  
Fernández, O (2018).

#### Refrigeración natural.

Fernández, O (2018) afirma que “durante el funcionamiento en refrigeración natural, se origina un desplazamiento del aceite por termosifón, debido a las diferencias de temperatura del fluido en las partes superior e inferior de la cuba, esta diferencia aproximadamente de unos 12°C, mantienen un flujo continuo de fluido en el núcleo magnético y superficie de las bobinas, arrastrando el calor producido en su interior a los radiadores de refrigeración y transmitiéndolo de estos a atmósfera”.

### Refrigeración forzada.

Fernández, O (2018) afirma que “si tenemos en cuenta que una de las principales limitaciones en cuanto a potencia de los transformadores, es la originada por el calentamiento de los aislantes y partes activas, podemos mejorar la refrigeración, bien activando la circulación del fluido refrigerante por medio de bombas, bien forzando con ventiladores la circulación de aire frío a través de los radiadores, o ambas cosas a un mismo tiempo. Obtendremos por este medio un considerable aumento de la potencia nominal del transformador”.

“Para la puesta en marcha automática del sistema de refrigeración forzada se dispone de termostatos (también pueden ser unos termómetros dotados de contactos) adosados en la tapa superior de la cuba del transformador, que detectan la temperatura en la capa alta de aceite. Por medio de estos termostatos (termómetros), se ordena escalonadamente el arranque o parada de los ventiladores y bombas de circulación, según sea el nivel de temperatura alcanzado en el fluido refrigerante.

Los grupos de ventiladores arrancan sobre 60°C parando sobre 55°C y las motobombas arrancan sobre 70°C y paran sobre 60°C” Fernández, O (2018).

### Termostatos de alarma y disparo por alta temperatura.

“Si el transformador es sometido a fuertes sobrecargas durante tiempo prolongado, no actuando por fallo o resultado insuficientes para evacuar la cantidad de calor producido por los sistemas de refrigeración natural o forzada, se producirá un calentamiento excesivo, tanto del fluido refrigerante, como de los conductores, que puede dar lugar a un deterioro de los aislamientos y del fluido, originando una avería grave” Fernández, O (2018).

Fernández, O (2018) afirma que “para la detección de sobrecalentamientos en el fluido refrigerante del transformador, se disponen adosados a la tapa superior de la cuba, dos termostatos tipo sonda.

Los termostatos detectan la temperatura en la capa superior del fluido (es la parte más caliente del fluido) estando tarados, de modo que cierran sus contactos uno entre 70-80 °C accionando una señal de alarma, y el otro entre 90-95 °C, que excita a un relé auxiliar de disparo por alta temperatura, provocando el disparo de los disyuntores necesarios para aislar el transformador”.

Fernández, O (2018) afirma que “hay que tener en cuenta que la actuación de esta protección puede estar originada por un fallo en la puesta en marcha automática de la refrigeración forzada, en este caso se intentará la puesta en marcha en MANUAL de estos sistemas. Además es recomendable verificar que la actuación de la protección es correcta mediante el termómetro/s adosados al exterior del transformador”.

#### Protección de imagen térmica.

Fernández, O (2018) afirma que “en los transformadores es de gran importancia la temperatura en el cobre, puesto que la vida de estos depende en gran manera de los sobrecalentamientos en la parte activa. Dado el alto grado de aislamiento que requieren los transformadores para alta tensión, sería harto dificultoso colocar sondas termométricas en los devanados, que nos permitan una detección directa de la temperatura en el cobre, sin un notable perjuicio de aislamiento en los devanados.

Para evitar el problema que representa la toma directa de la temperatura en el cobre se ideó el dispositivo de imagen térmica, que hace posible obtener una reproducción en imagen de las mismas condiciones de temperatura que en el interior de transformador”.

### Descripción física del relé de protección de temperatura.

Fernández, O (2018) afirma que “el dispositivo está constituido por una sonda termométrica situada en el interior de un cilindro aislante, al que se encuentra arrollada una resistencia de caldeo, recorrida por una parte de la intensidad secundaria de un transformador de intensidad, por cuyo primario circula la intensidad de carga del transformador.

El conjunto resistencia e caldeo-sonda termométrica, está situado en el interior de un recipiente metálico estanco, lleno de aceite, sumergido a su vez en el aceite del transformador de potencia.

Todo este conjunto se encuentra adosado a la tapa superior de la cuba y protegido con un cilindro metálico perforado.

En la parte superior del aparato, existe una caja de bornes, a las que se conectan las salidas de la sonda termométrica y de la resistencia de caldeo.

En paralelo con esta se coloca una resistencia ajustable que permite regular la intensidad que pasa por la resistencia de caldeo y por tanto el ajuste fino del aparato.

Las bornes de salida de la sonda termométrica, se conectan a un instrumento indicador de temperatura, que puede estar dotado de contactos eléctricos para activar una alarma a un proceso predeterminado de temperatura, o provocar el disparo de los disyuntores necesario para aislar el transformador de potencia”.

### Principios de funcionamiento.

Fernández, O (2018) afirma que la “temperatura del cobre en los transformadores, depende fundamentalmente del calor generado por las pérdidas por el efecto Joule y de la temperatura del aceite circulante”.

“Como la resistencia está sumergida en aceite (o piraleno) que tendrá su temperatura idéntica a la del transformador, siendo además recorrida por una intensidad proporcional a la carga, que genera en ella un calor en relación directa al cuadrado de esta intensidad. ( $Q=R \cdot I \cdot 0.24$

calorías); la sonda termométrica medirá una temperatura que será suma de la generada por el nivel calórico del aceite, más el aportado por la resistencia de caldeo”. Fernández, O (2018).

“Dimensionando adecuadamente la resistencia de caldeo y el recipiente contenedor del sistema, para que el efecto sea el mismo que el producido en el interior del transformador, la temperatura señalada por el instrumento de medida, será la misma que la del cobre de los devanados en su punto más caliente”. Fernández, O (2018)

### **2.2.9 Sala De Control De Motores**

Se trata de un armario eléctrico para el accionamiento de máquinas. Suele estar formado por módulos o cajones llamados cubículos. En la industria, que es lo que conozco, se suelen ubicar la maniobra de cada motor en un cubículo extraíble, en cada uno se instala el disyuntor, el térmico, los contactores y relés. Pueden ser maniobrados desde una botonera a pie de máquina o desde un pupitre y por un autómatas programable que ejecuta las diferentes maniobras y genera avisos a una pantalla de una sala de control que puede estar a gran distancia de los motores.

El cubículo, al ser extraíble se puede intercambiar en un momento dado con otro de igual características en caso de avería, por lo que se adelanta la puesta en marcha de la instalación. Para la reparación de un elemento del aparellaje no tendríamos que quitar tensión a todo el armario, bastaría con seccionar el interruptor o seccionador del cubículo con problemas y tras extraerlo repararlo cómodamente.

El CCM en combinación de un autómatas programable permite minimizar el aparellaje evitando la maniobra a base de relés y temporizados, además de que señales analógicas como por ejemplo termopares los convierte en grados de

temperaturas que salen en la pantalla del ordenador del operador de sala. En principio tiene muchas ventajas.



Figura 12: Tablero eléctrico.

### 2.2.10 Sistema de alimentación ininterrumpida (UPS)

“Sistema de alimentación ininterrumpida (ISAI), en inglés uninterruptible power supply (UPS), es un dispositivo que gracias a sus baterías u otros elementos almacenadores de energía, durante un apagón eléctrico puede proporcionar energía eléctrica por un tiempo limitado a todos los dispositivos que tenga conectados. Otra función que se puede añadir a estos equipos es mejorar la calidad de la energía eléctrica que llega a las cargas, filtrando subidas y bajadas de tensión y eliminando armónicos de la red en caso de usar corriente alterna”. Wikipedia (2018).

“Los UPS (ISAI) proporcionan energía eléctrica a equipos llamados cargas críticas, como aparatos médicos, industriales o informáticos que requieren alimentación permanente y de calidad, para estar siempre operativos y sin fallos (picos o caídas de tensión)”. Wikipedia (2018).

“La unidad de potencia para configurar un UPS es el voltiamperio (VA), que es la potencia aparente, o el vatio (W), que es la potencia activa, también denominada potencia efectiva o eficaz, consumida por el sistema. Para calcular cuánta energía requiere un equipo de ISAI, se debe conocer su consumo”. Wikipedia (2018).

### “Tipos de UPS:

- **UPS offline.** Corrige los siguientes fallos eléctricos
  1. Fallos de alimentación
  2. Caídas de tensión.
  3. Picos de corriente, sobretensiones y subtensiones.
- **UPS Line Interactive.** Corrige:
  1. Fallos de alimentación
  2. Caídas de tensión.
  3. Picos de corriente, sobretensiones y subtensiones.
  4. Infratensiones prolongadas.
  5. Sobretensiones prolongadas.
- **UPS online.** Este tipo de UPS es el más seguro y el que más fallos eléctricos corrige.
  1. Fallos de alimentación
  2. Caídas de tensión.
  3. Picos de corriente, sobretensiones y subtensiones.
  4. Infratensiones prolongadas.
  5. Sobretensiones prolongadas.
  6. Distorsiones en la onda de la línea.
  7. Variaciones en las frecuencias.
  8. Microcortes.
  9. Distorsión armónica”. Wikipedia (2018).

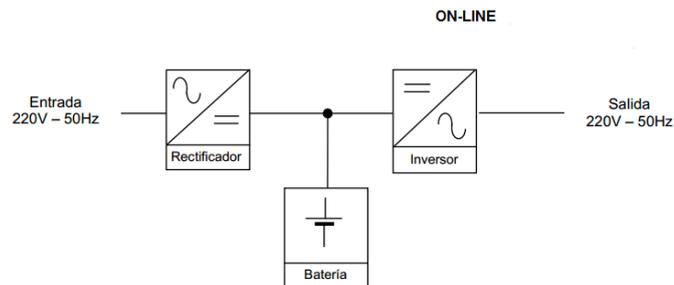


Figura 13: UPS. Fuente (APC, 2018)

### Partes de un UPS:

Según Espitia Iván (2018) el UPS tiene las siguientes partes:

- “El Rectificador: Este está encargado de revisar la corriente alterna que entra al UPS y luego provee de corriente continua a la batería para que se mantenga cargada.
- La Batería: Esta parte tiene como función ser la suministradora de energía al ordenador en caso de un corte eléctrico, el tiempo de duración para mantener el equipo encendido depende de la capacidad de la batería de almacenaje.
- El inversor: Esta encargada de transformar corriente continua en corriente alterna, donde esta alimenta a artefactos que están conectados a la salida de la UPS.
- El Conmutador: Esta es de dos posiciones, donde nos autoriza conectar la salida con la entrada del artefacto o con la salida de inversor”.



**DIAGRAMA EN BLOQUES DE UN SAI**

*Figura 14: Diagrama de bloques de un UPS.*

### 2.2.11 Fuente switching

“Una fuente conmutada o fuente switching es un dispositivo electrónico que transforma energía eléctrica mediante transistores en conmutación. Mientras que un regulador de tensión utiliza transistores polarizados en su región activa de amplificación, las fuentes conmutadas utilizan los mismos conmutándolos activamente a altas frecuencias (20-100 kilociclos típicamente) entre corte (abiertos) y saturación (cerrados)”. Semiconductor SMPS Power Supply Design Manual, (2018)

Según Semiconductor SMPS Power Supply Design Manual, (2018) “la forma de onda cuadrada resultante es aplicada a transformadores con núcleo

de ferrita(los núcleos de hierro no son adecuados para estas altas frecuencias porque tienen muchas pérdidas debido a corrientes de Foucault y sobre todo por las grandes pérdidas por histéresis; hay que recordar que una curva de saturación normal de acero cocido corresponde a un material con característica dura y alta densidad de flujo) para obtener uno o varios voltajes de salida de corriente alterna (CA) que luego son rectificadas (con diodos rápidos) y filtradas (inductores y condensadores) para obtener los voltajes de salida de corriente continua (CC)”.

“Las ventajas de este método incluyen menor tamaño y peso del núcleo, mayor eficiencia y por lo tanto menor calentamiento. Las desventajas comparándolas con fuentes lineales es que son más complejas y generan ruido eléctrico de alta frecuencia que debe ser cuidadosamente minimizado para no causar interferencias a equipos próximos a estas fuentes. Las fuentes Conmutadas Resonantes no generan Ruido eléctrico a altas frecuencia”.  
Semiconductor SMPS Power Supply Design Manual, (2018)

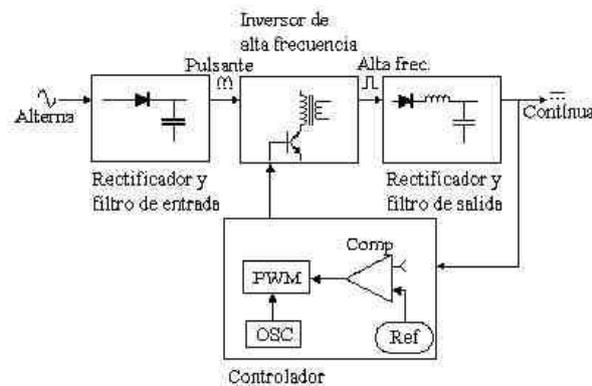


Figura 15: Diagrama de una fuente switching.

### CAPITULO III

### METODOLOGÍA

### 3.1 MÉTODO Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

“La investigación apela a la fundamentación en leyes y teorías científicas, al método científico, así como a la recopilación de datos. Particularmente decanta el método deductivo; es decir; con los resultados del estudio arribamos a conclusiones basadas en una serie de afirmaciones (de lo general a lo particular), en la que cada afirmación es una premisa que prosigue en una suerte de cadena afirmaciones lógicas”. (Blauberg, 1978).

El enfoque es descriptivo a razón de que este método puede ser cualitativo o cuantitativo. Los métodos cualitativos se basan en la utilización del lenguaje verbal y no recurren a la cuantificación. Los principales métodos de la investigación descriptiva son el observacional, el de encuestas y los estudios de caso único.

Está por demás decir que se partirá de la condicional del problema existente, que es la no salida de línea de nuestro transformador. Se menciona más adelante en nuestro trabajo de investigación que se hizo un análisis del porqué de la salida de línea del transformador de SSAA (servicios auxiliares), y se llegó a la conclusión de que eran causadas por la falta de suministro eléctrico a las protecciones y sensores del transformador.

El alcance de la investigación se basa principalmente en dar soluciones a esta falta de suministro eléctrico, estas soluciones tienen que ser plausibles y reales. Ya que de nada sirve una solución que tarde mucho en implementarse o sea muy costosa en el tiempo.

El problema en sí planteado en la hipótesis de nuestro trabajo es determinar la mejor solución a proveer de suministro eléctrico ininterrumpido a dichos sensores del transformador de alimentación, para lo cual se usó el método Sintético, este método nos sirve para analizar el problema existente en el presente trabajo de investigación.

En concordancia con lo mencionado anteriormente podemos afirmar que se ha usado el método deductivo, para el análisis y la observación. El cual sigue el método hipotético deductivo, que permite contrastar en la realidad una conjetura a partir de un

marco teórico que llevará a demostrar nuestra segunda variable, a partir de un modelo explicativo en un determinado momento del tiempo, llamado también estudio transversal, lo que significa que nuestra investigación será de tipo descriptivo no experimental, porque se efectuará en el año 2018.

### **3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN**

Empleando el método descriptivo, llegamos a una serie de conclusiones. Partiendo de la hipótesis dada al inicio de este trabajo de investigación. Planteamos dos posibles soluciones al problema planteado, de la cual analizando las distintas posibilidades, hallaremos la solución más factible y realizable.

“El diseño de la investigación entendida como el conjunto de estrategias procedimentales y metodológicas definidas y elaboradas previamente para desarrollar el proceso investigativo, guiando los propósitos a través de la prueba de hipótesis, para el presente estudio es de carácter descriptivo no experimental y cuyo diseño es el explicativo causal”. (SAMPIERE Y FERNÁNDEZ Metodología de la investigación 5ta edición editorial McGRAWHILL)/ INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V. A MÉXICO D.F. pp 149.

### **3.3 UNIDAD DE ESTUDIO**

La unidad de estudio en este proyecto de investigación, es como proveer de suministro de alimentación de voltaje a las protecciones de control del transformador de SSAA (servicios auxiliares) el cual como se ve en este proyecto de investigación, es el único punto a tratar.

Por lo tanto este trabajo de investigación no tiene población ni muestra.

**CAPÍTULO IV:  
RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

## 4.1 RESULTADOS DEL TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.

Nuestra investigación abarca el análisis del circuito de alimentación de las protecciones del transformador, para determinar por qué se accionaba el disparo del interruptor cuando había falla en la alimentación AC.

Como se mencionó anteriormente las salidas del transformador de SSAA ocasiono que la planta no funcionara.

_Tag_Equipo_V2	Calendar Date	Start Date Time	Stop Date Time	Plant Area Name	Downtime Type	Failure Code	Downtime Cat	Problem Id	Cause Name	Downtime Comment	Actual Downtime (min)
POWER GENERATION	02/11/2016	02/11/2016 02:25:00 AM	02/11/2016 03:34:00 PM	0503 Molienda L1	A	OSPPFA	Operating Standby	Power Failure	Power Availability	M-101 ml-201 ml-301 ml-401 ml-501 ml-601 Por perturbacion Elctrica Externa Linea 50-32 Chilca-poroma-san José 500 Kv	69
SET SAN CARLOS 220/34.5KV	14/10/2016	14/10/2016 02:25:00 AM	14/10/2016 03:02:00 PM	0512 Molienda L4	A	OSPPFA	Operating Standby	Power Failure	Power Availability	Se Detiene Cv-19. Cv-29 Por Falla A Tierra En Radial Norte Aferrando A Sala 11 Y Sala 15.	37
FINE CRUSHING	02/10/2016	02/10/2016 09:58:00 AM	02/10/2016 10:11:00 AM	0512 Molienda L4	A	OSPPFA	Operating Standby	Power Failure	Power Availability	Lineas 4, 5 Y 6 Detenidas Por Maniobras En Sala Elctrica 11.	15
SET SAN JOSE 500/220KV	25/09/2016	25/09/2016 08:14:00 AM	25/09/2016 08:31:00 PM	0503 Molienda L1	A	OSPPFA	Operating Standby	Power Failure	Power Availability	Molinos Sin Carga Por Desconexión De La Línea L-5032 (chilca-poroma) De 500 kv Por Falla Monofásica Fase R.	17
POWER GENERATION	22/09/2016	22/09/2016 01:58:00 AM	22/09/2016 03:33:00 PM	0503 Molienda L1	A	OSPPFA	Operating Standby	Power Failure	Power Availability	Corte De Carga En Molinos Por Desconexión De La Línea L-5032 (chilca-poroma) De 500 kv Por Falla Monofásica Fase R.	95
SET SAN JOSE 500/220KV	03/09/2016	03/09/2016 02:18:00 PM	03/09/2016 03:18:00 PM	0509 Molienda L3	A	OSPPFA	Operating Standby	Power Failure	Power Availability	Se Detienen M-101 Y M-301 Por Perturbación En Sub-estación San José (maniobras En Transformador 4 De Ilo)	60
SET SAN JOSE 500/220KV	05/08/2016	07/08/2016 12:42:00 AM	07/08/2016 01:18:00 AM	0509 Molienda L3	A	OSPPFA	Operating Standby	Power Failure	Power Availability	Molino Detenido Por Caída De Voltaje En El Sistema Interconectado. Arranque De Transformadores En Ilo 4.	36
POWER GENERATION	20/07/2016	20/07/2016 07:33:00 AM	20/07/2016 07:58:00 AM	0518 Molienda L6	A	OSPPFA	Operating Standby	Power Failure	Power Availability	Detenido Por Perturbación Externa En El Sistema Interconectado (antes Asociado A Cicloconvertidor)	25
POWER GENERATION	01/07/2016	01/07/2016 07:00:00 AM	01/07/2016 07:01:00 AM	0509 Molienda L3	A	OSPPFA	Operating Standby	Power Failure	Power Availability	Molino 3 Detenido Por Problemas En La Línea 500lv Poroma-ocofia.	1
POWER GENERATION	30/06/2016	01/07/2016 06:20:00 AM	01/07/2016 06:46:00 AM	0506 Molienda L2	A	OSPPFA	Operating Standby	Power Failure	Power Availability	Molino 2 Detenido Por Problemas En La Línea 500lv Poroma-ocofia.	26
POWER GENERATION	30/06/2016	30/06/2016 11:59:00 PM	01/07/2016 12:29:00 AM	0509 Molienda L3	A	OSPPFA	Operating Standby	Power Failure	Power Availability	Molino 3 Detenido Por Problemas En La Línea 500lv Poroma-ocofia.	30
SET SAN JOSE 500/220KV	12/06/2016	12/06/2016 12:27:00 PM	12/06/2016 01:34:00 PM	0512 Molienda L4	A	OSPPFA	Operating Standby	Power Failure	Power Availability	Falla En Línea De Interconexión De Subestación San José.	154
CH001	15/04/2016	15/04/2016 12:27:00 PM	15/04/2016 01:33:00 PM	0515 Molienda L5	A	OSPPPL	Operating Standby	Power Failure	Power Loss	Se Corta Carga A Molinos Por Maniobras En Sub Estación San José	66
CH001	06/03/2016	06/03/2016 09:29:00 AM	06/03/2016 12:33:00 PM	0503 Molienda L1	A	OSPPPL	Operating Standby	Power Failure	Power Loss	Corte Externo De Energia	104
CH001	22/02/2016	22/02/2016 07:00:00 AM	22/02/2016 09:29:00 AM	0509 Molienda L3	A	OSPPPL	Operating Standby	Power Failure	Power Loss	Equipos Sin Energia Por Disparo General Línea 5034 Subestación Ocofia	149
CH001	21/02/2016	22/02/2016 05:02:00 AM	22/02/2016 07:00:00 AM	0503 Molienda L1	A	OSPPPL	Operating Standby	Power Failure	Power Loss	Equipos Sin Energia Por Disparo General Línea 5034 Subestación Ocofia	118
CH001	21/02/2016	21/02/2016 09:02:00 AM	21/02/2016 09:07:00 AM	0509 Molienda L3	A	OSPPPL	Operating Standby	Power Failure	Power Loss	Se Corta Carga A Molinos Por Caída De Tensión Por Cierre De Interruptor En Sub-estación San José.	5
CH001	21/02/2016	21/02/2016 04:31:00 PM	21/02/2016 04:33:00 PM	0515 Molienda L5	A	OSPPPL	Operating Standby	Power Failure	Power Loss	Se Corta Carga A Molinos Por Caída De Tensión Por Cierre De Interruptor En Sub-estación San José.	2
CH001	21/02/2016	21/02/2016 01:16:00 PM	21/02/2016 01:17:00 PM	0518 Molienda L6	A	OSPPPL	Operating Standby	Power Failure	Power Loss	Se Corta Carga A Molinos Por Caída De Tensión Por Cierre De Interruptor En Sub-estación San José.	1
CH001	21/02/2016	21/02/2016 10:50:00 AM	21/02/2016 11:15:00 PM	0518 Molienda L6	A	OSPPPL	Operating Standby	Power Failure	Power Loss	Se Corta Carga A Molinos Por Caída De Tensión Por Cierre De Interruptor En Sub-estación San José.	145
CH001	21/02/2016	21/02/2016 08:44:00 AM	21/02/2016 09:00:00 AM	0503 Molienda L1	A	OSPPPL	Operating Standby	Power Failure	Power Loss	Se Corta Carga A Molinos 1, 2 Y 3 Por Maniobras De Desconexión En La Línea 5036 (coes)	16
CH001	21/02/2016	21/02/2016 07:43:00 AM	21/02/2016 08:20:00 AM	0503 Molienda L1	A	OSPPPL	Operating Standby	Power Failure	Power Loss	Se Corta Carga A Molinos 1, 2 Y 3 Por Maniobras De Desconexión En La Línea 5036 (coes)	37
CH001	14/02/2016	14/02/2016 01:46:00 AM	14/02/2016 02:50:00 PM	0506 Molienda L2	A	OSPPPL	Operating Standby	Power Failure	Power Loss	M-201 Detenido Por Oscilación De Tensión En Línea 34 kv / Caída De Tensión Externa Del Sistema De Flujo Eléctrico)	64
CH001	21/01/2016	21/01/2016 07:17:00 PM	21/01/2016 07:27:00 PM	0503 Molienda L1	A	OSPPPL	Operating Standby	Power Failure	Power Loss	Corte De Carga En M-101 Por Poca Generación De Energia En El Sur	10

Figura 16: salida del transformador por causa de fallos en el año 2016. Fuente: propia

Plant Area Name	_Tag_Equipo_V2	Calendar Date	Start Date Time	Stop Date Time	Plant Area Name	Downtime Type	Failure Code	Downtime Cat	Problem Id	Cause Name	Downtime Comment	Actual Downtime (min)
1. Total Plant	POWER GENERATION	15/12/2017	15/12/2017 04:41:00 AM	15/12/2017 05:12:00 AM	0515 Molienda L5	A	OSPPFA	Operating Standby	Power Failure	Power Availability	Oscilación Del Sistema. Línea 2027 Moquegua Ilo 2	31
1. Total Plant	POWER GENERATION	25/11/2017	25/11/2017 01:12:00 PM	25/11/2017 01:38:00 PM	0503 Molienda L1	A	OSPPFA	Operating Standby	Power Failure	Power Availability	Molino 1 Detenido Por Variación De Tensión (sincronización Del Alto Transformador Yarbamba)	26
1. Total Plant	POWER GENERATION	30/10/2017	31/10/2017 05:26:00 AM	31/10/2017 06:15:00 AM	0509 Molienda L3	A	OSPPFA	Operating Standby	Power Failure	Power Availability	Molino Detenido Por Perturbación En Línea 5032. Subestación Chilca-poroma	49
1. Total Plant	POWER GENERATION	22/10/2017	22/10/2017 07:30:00 AM	22/10/2017 07:30:00 PM	0509 Molienda L3	A	OSPPFA	Operating Standby	Power Failure	Power Availability	M-301 Sin Carga. Evento Desconexión Por Falla L-5031 (transmario. Colcabamba-poroma).	30
1. Total Plant	POWER GENERATION	22/10/2017	22/10/2017 06:41:00 PM	22/10/2017 07:00:00 PM	0509 Molienda L3	A	OSPPFA	Operating Standby	Power Failure	Power Availability	M-301 Sin Carga. Evento Desconexión Por Falla L-5031 (transmario. Colcabamba-poroma).	19
1. Total Plant	POWER GENERATION	18/09/2017	18/09/2017 01:38:00 PM	18/09/2017 01:52:00 PM	0512 Molienda L4	A	OSPPFA	Operating Standby	Power Failure	Power Availability	Molino Detenido Debido A Una Perturbación De Energia. Al Energizar El Transformador Ap-104 En Yarbamba.	14
1. Total Plant	POWER GENERATION	18/08/2017	18/08/2017 12:43:00 PM	18/08/2017 01:16:00 PM	0503 Molienda L1	A	OSPPFA	Operating Standby	Power Failure	Power Availability	Desconexión Línea De 500 Kv Poroma-ocofia.	33
1. Total Plant	POWER GENERATION	18/08/2017	18/08/2017 11:16:00 AM	18/08/2017 11:40:00 AM	0506 Molienda L2	A	OSPPFA	Operating Standby	Power Failure	Power Availability	Desconexión Línea De 500 Kv Poroma-ocofia.	24
1. Total Plant	POWER GENERATION	11/06/2017	11/06/2017 07:00:00 AM	11/06/2017 07:23:00 AM	0509 Molienda L3	A	OSPPFA	Operating Standby	Power Failure	Power Availability	Reciente Exitoso En La L-5032 500 Kv(chilca - Poroma). Esta Falla(perturbación) Ocasiona La Pérdida De Carga En C2 De 214 Mw.	23
1. Total Plant	POWER GENERATION	10/06/2017	11/06/2017 04:28:00 AM	11/06/2017 05:46:00 AM	0506 Molienda L2	A	OSPPFA	Operating Standby	Power Failure	Power Availability	Reciente Exitoso En La L-5032 500 Kv(chilca - Poroma). Esta Falla(perturbación) Ocasiona La Pérdida De Carga En C2 De 214 Mw.	78
1. Total Plant	POWER GENERATION	28/05/2017	28/05/2017 07:30:00 PM	28/05/2017 09:07:00 PM	0515 Molienda L5	A	OSPPFA	Operating Standby	Power Failure	Power Availability	Corte De Carga A Molinos Por Caída De Línea 5039 De 500 Kv De Moquegua A Ilo.	127
1. Total Plant	POWER GENERATION	28/05/2017	28/05/2017 04:09:00 PM	28/05/2017 04:10:00 PM	0506 Molienda L2	A	OSPPFA	Operating Standby	Power Failure	Power Availability	Corte De Carga A Molinos Por Caída De Línea 5039 De 500 Kv De Moquegua A Ilo.	1
1. Total Plant	POWER GENERATION	27/05/2017	27/05/2017 07:35:00 PM	27/05/2017 08:33:00 PM	0506 Molienda L2	A	OSPPFA	Operating Standby	Power Failure	Power Availability	Molino Detenido (desconexión Por Falla 500 Kv En La Zona L-5039 Subestación Montalvo Ilo 4)	58
1. Total Plant	POWER GENERATION	16/03/2017	16/03/2017 03:14:00 PM	16/03/2017 03:32:00 PM	0509 Molienda L3	A	OSPPFA	Operating Standby	Power Failure	Power Availability	Caída De Tensión En Línea 500-32 Chilca - Poroma. Genera Detención De Molinos	18
1. Total Plant	POWER GENERATION	13/03/2017	13/03/2017 08:51:00 AM	13/03/2017 09:35:00 AM	0506 Molienda L2	A	OSPPFA	Operating Standby	Power Failure	Power Availability	Molino Detenido Por Perturbación De Tensión L-5037, Moquegua	44
1. Total Plant	POWER GENERATION	10/03/2017	10/03/2017 08:31:00 AM	10/03/2017 09:00:00 AM	0515 Molienda L5	A	OSPPFA	Operating Standby	Power Failure	Power Availability	Lineas 1,2,4,5 Y 6 Sin Carga Por Variación De Tensión En Chilca-poroma.	29
1. Total Plant	POWER GENERATION	19/02/2017	19/02/2017 07:00:00 AM	19/02/2017 07:30:00 AM	0503 Molienda L1	A	OSPPFA	Operating Standby	Power Failure	Power Availability	Línea 4, 5 Y 6 Sin Carga Por Caída De Tensión Falla De Transformador En Montalvo Y Ocofia.	30
1. Total Plant	POWER GENERATION	18/02/2017	19/02/2017 04:25:00 AM	19/02/2017 07:00:00 AM	0512 Molienda L4	A	OSPPFA	Operating Standby	Power Failure	Power Availability	Lineas 4, 5 Y 6 Sin Carga Por Caída De Tensión Falla De Transformador Aut-5671 En Línea Montalvo Moquegua.	155
1. Total Plant	POWER GENERATION	17/02/2017	17/02/2017 05:37:00 PM	17/02/2017 06:08:00 PM	0518 Molienda L6	A	OSPPFA	Operating Standby	Power Failure	Power Availability	Molino 06 Detenido Por Perturbación En Sistema Elctrico Interconectado Nacional	31
1. Total Plant	POWER GENERATION	15/01/2017	15/01/2017 08:50:00 PM	15/01/2017 09:58:00 PM	0509 Molienda L3	A	OSPPFA	Operating Standby	Power Failure	Power Availability	Desconexión En Líneas 2051/2052/2053 Debido A Descargas Atmosféricas Generan Oscilaciones.	68

Figura 17: salida del transformador por causa de fallos en el año 2017. Fuente: propia

De acuerdo al plano de conexiones eléctricas se puede ver claramente que la alimentación eléctrica que se proporciona a la fuente de alimentación ELC-PS01 de

EATON que provee de energía eléctrica a las protecciones propias del transformador esta alimentado por una fuente de 120 VAC.

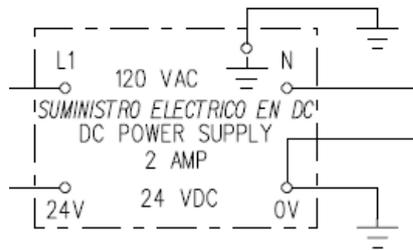


Figura 18: fuente de alimentación ELC-PS01. Fuente: propia

Y a su vez esta fuente de alimentación, como se puede ver en el plano eléctrico, toma su alimentación de la línea trifásica de 4160 voltios.

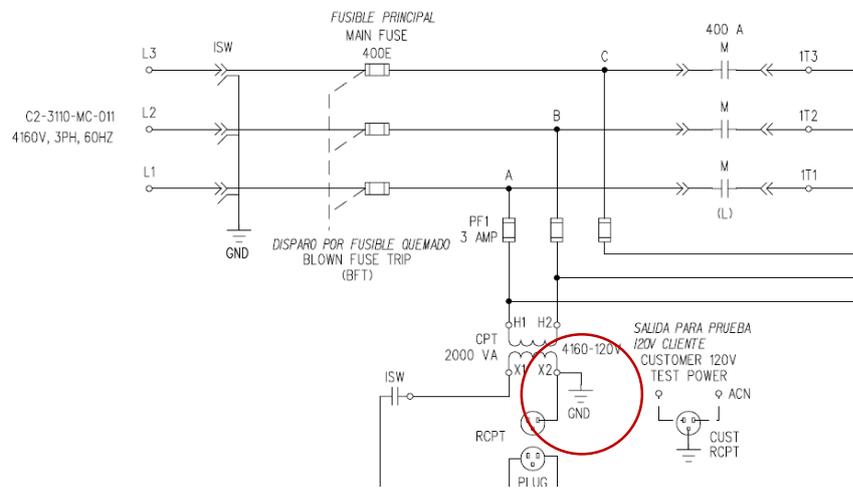


Figura 19: esquema eléctrico de conexionado a 120 VAC de ELC-PS01. Fuente: propia

Y a su vez esta fuente de alimentación, como se puede ver en el plano eléctrico, toma su alimentación de la línea trifásica de 4160 voltios.

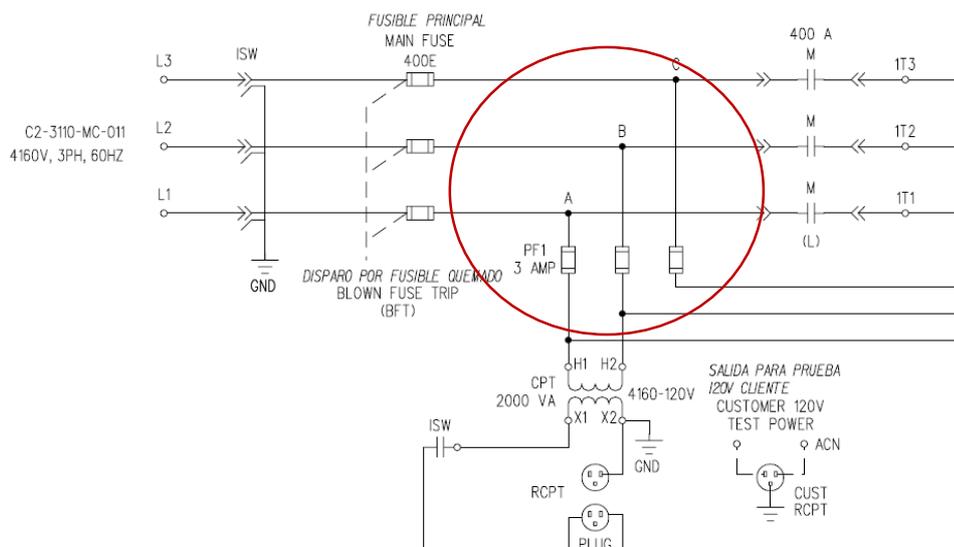


Figura 20: esquema eléctrico de conexión de ELC-PS01 a la red principal de 4160 VAC. Fuente: propia

Está por demás decir que esta línea de alimentación principal de 4160 voltios, no es tan “segura”, porque cada vez que se presentan anomalías en la línea trifásica de 4160 voltios, afecta directamente a la alimentación de las protecciones internas del transformador. Y la consecuencia directa es que la fuente de alimentación se interrumpa. También queda acotar, que esta disposición en el cableado eléctrico, esta desde que se instaló el transformador, y siempre ha tenido estas fallas.

La consecuencia de que las alarmas y protecciones internas del transformador, se queden sin energía; es que el relé RF630, accione su disparo. Y por consecuencia, corte el funcionamiento del transformador.

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

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

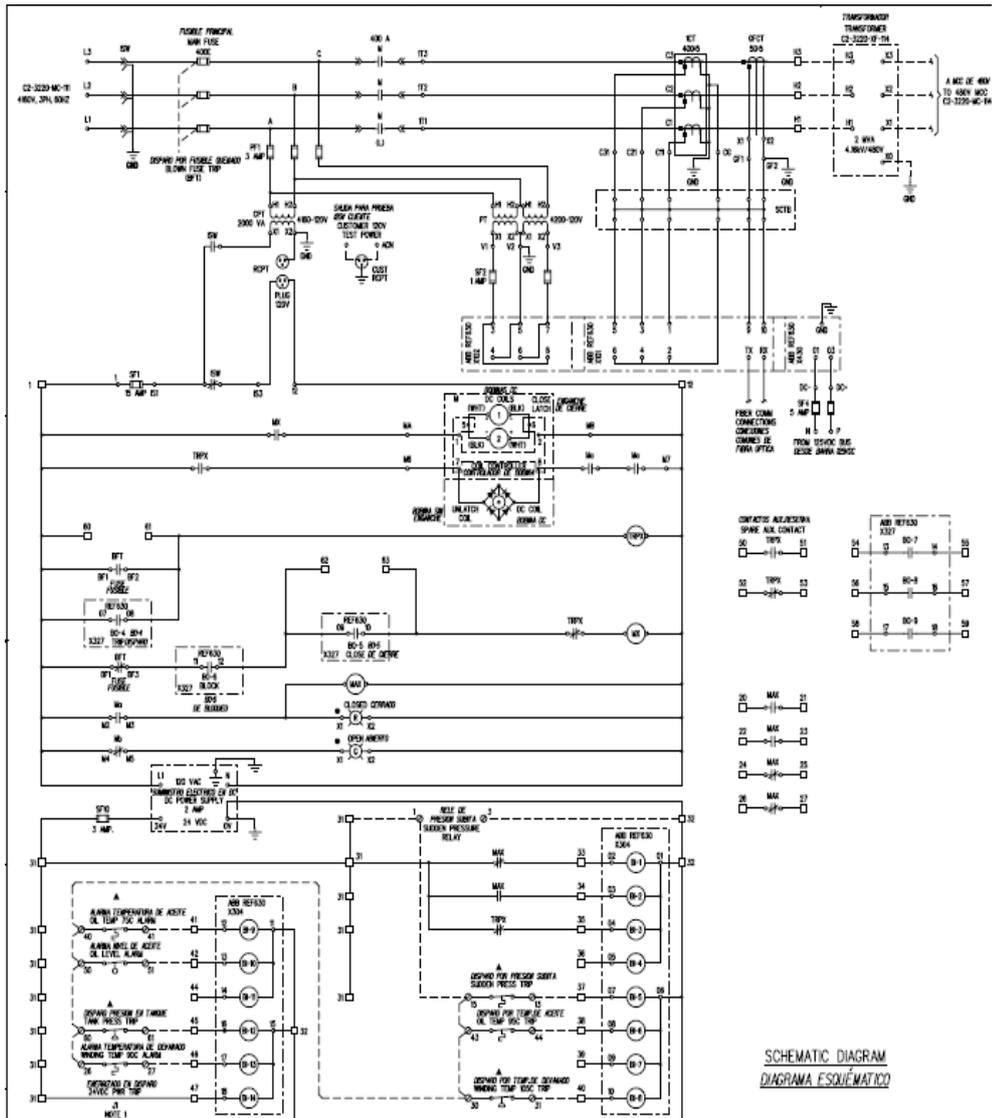


Figura 21: esquema eléctrico de conexionado de alarmas y sensores de transformador de SSAA. Fuente: propia

Como se puede ver las alarmas y protecciones del transformador de SSAA, están alimentadas con 24 VDC, de la fuente ELC-PS01 de EATON. Si queremos que las alarmas y protecciones del transformador de SSAA, tengan alimentación de 24VDC tendremos que considerar las siguientes opciones:

1. Un sistema de alimentación ininterrumpido (UPS).
2. Cambiar el suministro de alimentación a la fuente de alimentación a ELC-PS de EATON.

Entonces analizaremos cuál de las opciones mencionadas puede darnos la solución adecuada.

1. Sistema de alimentación ininterrumpido (UPS), es una buena alternativa de solución ya que no brindaría una alimentación ininterrumpida de energía eléctrica a la fuente ELC-PS de EATON.

Como se mencionó antes, la falla en el suministro eléctrico, debido a intempestivos cortes, y subidas y bajas de tensión, hace que elijamos un UPS interactivo, el cual nos garantizara que ante “fallos de alimentación, caídas de tensión, picos de corriente, sobretensiones, subtensiones, infratensiones prolongadas, sobretensiones prolongadas, distorsiones en la onda de la línea, variaciones en las frecuencias, microcortes, distorsión armónica actuara de manera eficiente”. Wikipedia (2018).

Este tendrá que ser un UPS de 1MVA, porque la fuente de alimentación ELC-PS de EATON es de 2 amperios, haciendo un cálculo podemos ver lo siguiente:

- ✓ Línea de alimentación: 120 VAC.
- ✓ Corriente de suministro: 2 Amperios

Entonces podemos ver que la potencia de la fuente es de:  $120 \times 2 = 240$  Watts.

Asumimos que el factor de potencia de 0.9 ya que la alimentación está dada a alarmas y protecciones electrónicas.

Entonces, tendremos:  $240 \times 0.9 = 216$  VA.

De acuerdo al CNE, nos recomienda un factor de 1.5 de seguridad es decir:

$$216 \times 1.5 = 324 \text{ VA}$$

Por lo tanto tendremos que comprar un UPS de 324 VA o uno superior a este, elegiremos uno de 1 MVA online interactivo, con una autonomía bastante alta. Es cierto que si no hay un suministro de energía por un tiempo largo, habrá que comprar bancos de baterías.

Instalación: este UPS tendría que ser instalado en un tablero dentro de una sala de tableros eléctricos, junto con los bancos de baterías, también por norma tendremos que comprar protecciones para este UPS.

**Tabla 1: costo económico de implementación de UPS**

PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE UPS DE 1 MVA	
DESCRIPCIÓN	COSTO
UPS interactivo de 1MVA marca ABB, autonomía de 15 minutos.	1000.00
Banco de 24 baterías de 24 VDC, para UPS, tiempo de entrega de energía de 24 horas.	2000.00
Cableado desde tablero eléctrico hasta ELC-PS de EATON, 150 metros.	1500.00
<b>TOTAL</b>	<b>4500.00</b>

Fuente: elaboración propia.

2. Cambiar el suministro de alimentación a la fuente de alimentación a ELC-PS de EATON, tendría que tomarse el suministro de alimentación de otro sitio diferente al de la línea trifásica de 4160 voltios.

En el esquema de conexionado, de las líneas eléctricas se puede ver un suministro de 125 VDC.

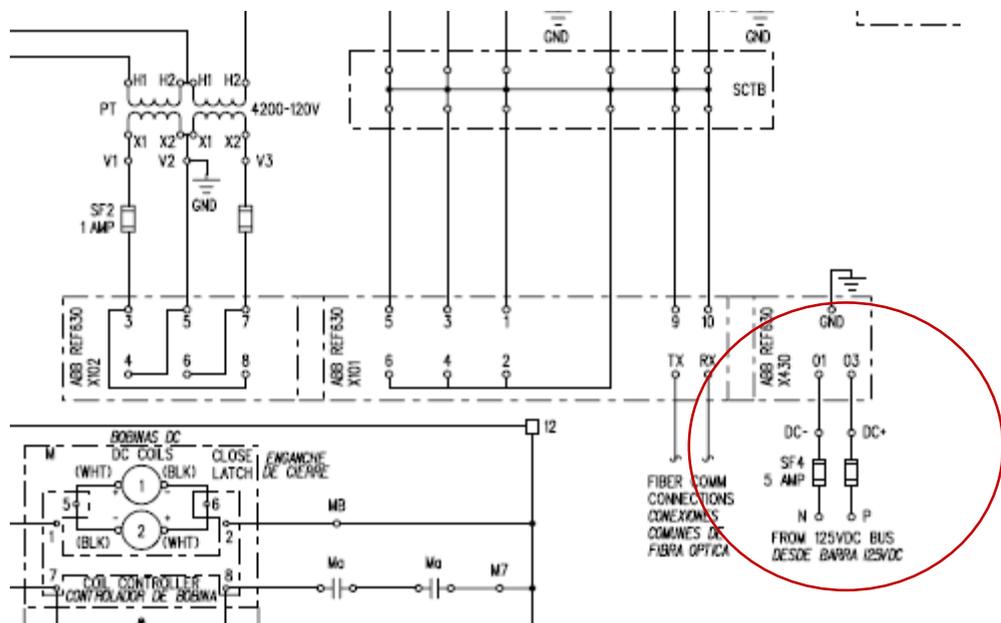


Figura 22: esquema eléctrico de suministro de 125 VDC Fuente: propia

El único inconveniente es que la fuente de alimentación ELC-PS de EATON, dentro de sus características en la hoja de datos, figura lo siguiente:

## Product Selection

ELC-PS01



### ELC Series

#### Description

24 watt, 1 amp power supply

48 watt, 2 amp power supply

#### Catalog Number

**ELC-PS01**

**ELC-PS02**

## Technical Data and Specifications

### ELC Series

Capacity	ELC-PS01 24 W	ELC-PS02 48 W
<b>Input</b>		
Nominal voltage	100–240 Vac	100–240 Vac
Voltage range	85–264 Vac	85–264 Vac
Frequency	47–63 Hz	47–63 Hz
<b>Output</b>		
Nominal output voltage	24 Vdc $\pm$ 3%	24 Vdc $\pm$ 3%
Nominal current	1 A	2 A
Efficiency	78% to 87% typical at full load	78% to 87% typical at full load
Residual ripple/peak switching (20 MHz)	< 100 mV typical at full load	< 240 mV typical at full load

Figura 23: hoja característica de ELC P501 Fuente: EATON

Como se puede apreciar se observa que tiene entrada de alimentación de 100 a 240 VAC.

## Dimensions

Approximate Dimensions in Inches (mm)

### ELC-PS01 Power Supply

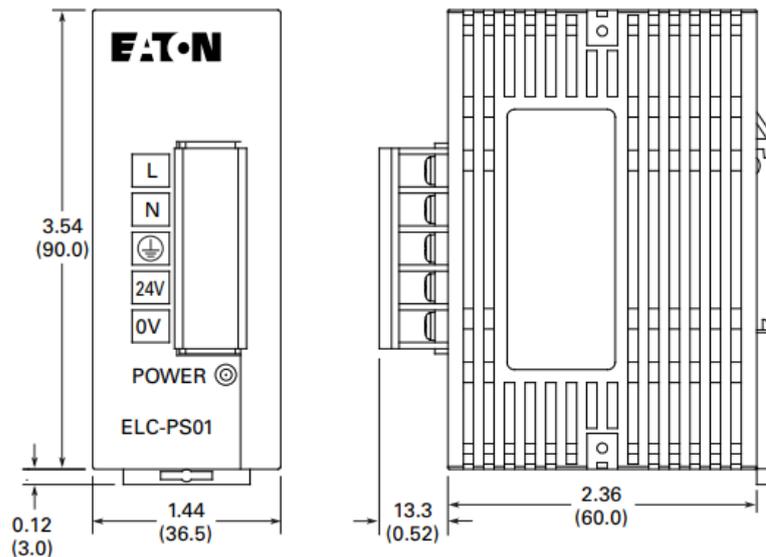


Figura 24: dimensiones de ELC P501 Fuente: EATON

Al analizar su hoja de características se observa que es para alimentarla con VAC, pero según el esquema interno presenta similitud con una fuente switching

Ya que presenta una entrada sinusoidal, la cual va a un bloque rectificador, y después a un inversor controlado por ancho de pulsos.

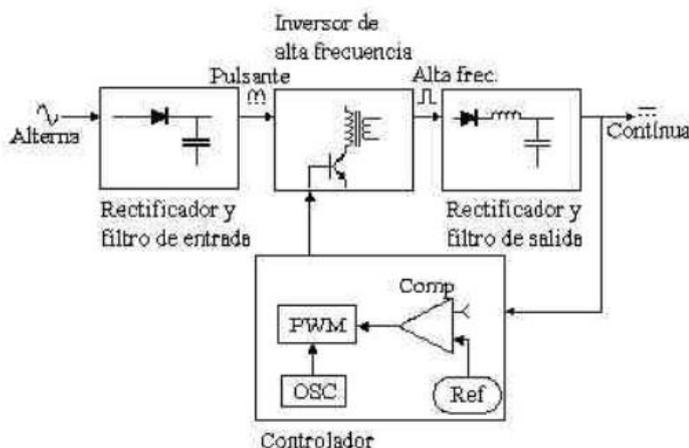


Figura 25: diagrama de bloques de la fuente ELC P501 Fuente: EATON

Está claro que podemos alimentar a la fuente ELC-PS de EATON con VDC al ser esta similar a una fuente switching. Porque tendría que funcionar, porque es algo muy simple.



Figura 26: bloque del rectificador ELC P501 Fuente: EATON

La etapa de rectificador y filtro de entrada, solo funciona en el caso de CA, ya que en DC no tiene ninguna función y por lo tanto deja pasar la DC a la siguiente etapa.

Por lo tanto lo único que se tendría que realizar para alimentar a la fuente ELC-PS de EATON es el conexionado desde los bornes 01 y 03 de la regleta de conexiones del relé RF630, la cual es una toma distinta de suministro de energía eléctrica, porque viene de una barra de 125VDC distinta a los ya mencionados, para lo cual se tendría que hacer el siguiente conexionado.

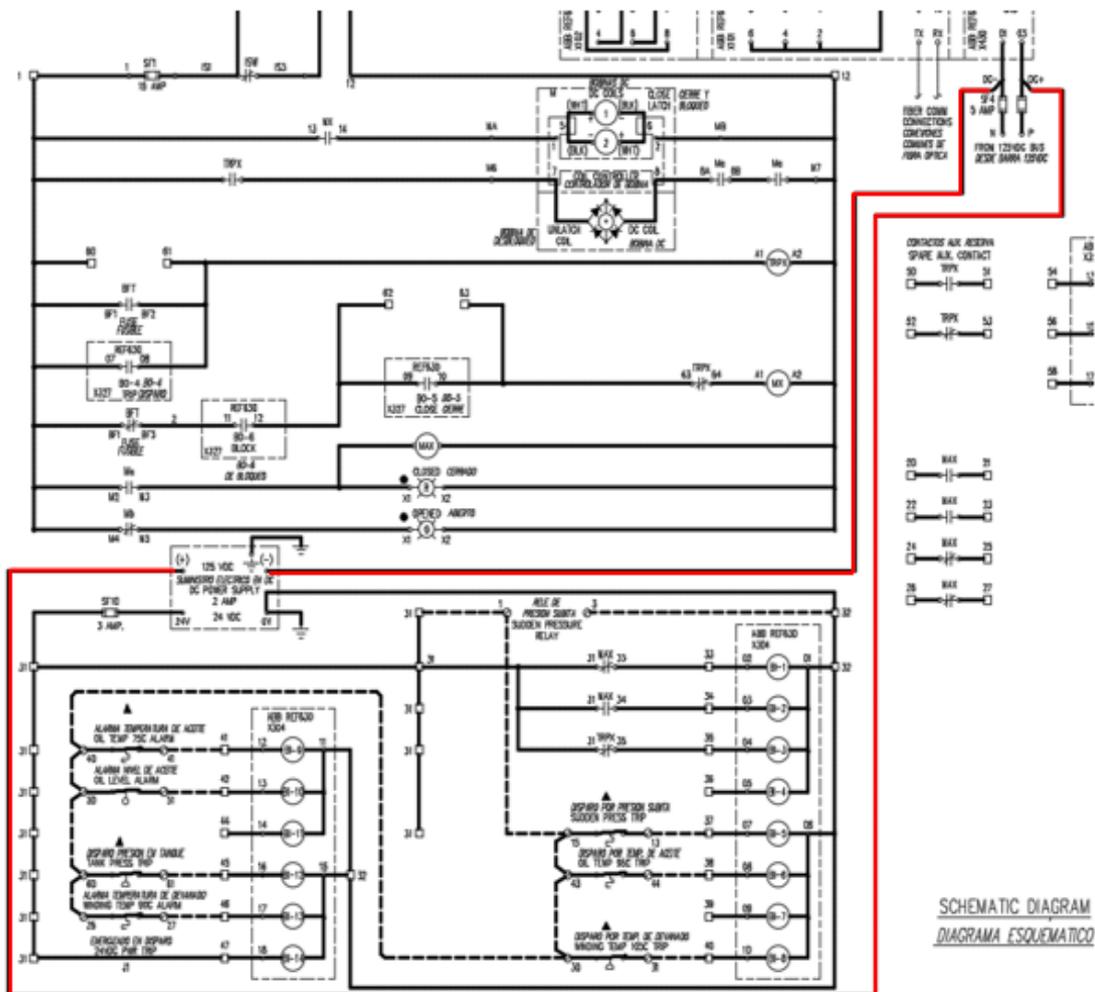


Figura 27: diagrama de conexionado de 125 VDC. Fuente: Propia

Por lo tanto veamos el costo tentativo de implementación de esta segunda solución:

**Tabla 2: Implementación de cableado con fuente de 125 VDC**

PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE ALIMENTACIÓN CON 125 VDC	
DESCRIPCIÓN	COSTO
Cableado desde bornera de regleta RF630 hasta ELC-PS de EATON, 10 metros.	400.00
<b>TOTAL</b>	<b>400.00</b>

Fuente: elaboración propia.

## **4.2 PRUEBA DE HIPÓTESIS.**

Las dos propuestas solucionan el problema planteado en esta investigación; la primera propuesta del UPS es una propuesta factible y garantiza el suministro de energía eléctrica con eficiencia. Una de sus debilidades es el costo de instalación y mantenimiento después de esta.

La segunda también soluciona el problema planteado ya que la barra de 125 VDC es una fuente de voltaje distinta y es proporcionada de otro sala de control que alimenta con energía a los tableros eléctricos.

## **4.3 DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

Los resultados han cubierto las hipótesis planteadas en esta investigación, y se han planteado dos posibles vías de solución.

Ambas soluciones están basadas en conocimientos sólidos de ingeniería. Y su aplicación es plausible y ejecutable.

Con la implementación de cualquiera de estas soluciones se pondría solución a los fallos eléctricos ocasionados por la salida de línea del transformador de SSAA. Tal como se refleja en la figura abajo mostrada.

## **CONCLUSIONES**

1. Las dos propuestas que se han tocado en esta investigación, garantizaran la continuidad del servicio ya que las tomas de suministro de energía a las alarmas y protecciones del transformador serian de una fuente externa distinta a la que tiene actualmente las protecciones y alarmas del transformador.
2. La segunda propuesta que se tiene en esta investigación seria la más adecuada, porque cumple con los estándares de funcionamiento, además de ser la más viable y económicamente la más cómoda.
3. Con los puntos anteriores cumplidos se garantizara la continuidad del servicio, y de esta manera, uno de los objetivos tácitos de esta investigación es la elección de una propuesta económicamente viable, y que también reduzca las horas de no continuidad de servicio.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

1. ENRÍQUEZ, Gilberto, *El Libro Practico De Los Generadores, Transformadores Y Motores Eléctricos*. 1ª. ed. Limusa: México DF, 2004. 252 pp. ISBN 968-18-6053-5.
2. BROKERING Christie, Walter; PALMA BEHNKE, Rodrigo; VARGAS DÍAZ, Luis, «Cap. 5». *Ñom Lűfke (El rayo domado) o Los sistemas eléctricos de potencia*, Editorial Prentice Hall, 2008. 84 pp. ISBN 9789702612926.
3. Enrique O, *Transformadores de potencia, de medida y de protección*, 7ma edición Marcombo-Boixareu: Barcelona, 1994.286 pp. ISBN 84-267-0690-8.
4. Stephen J. Chapman, *Máquinas eléctricas*; 5ta. Ed, McGraw-Hill Educación: México, DF, 2012. 502pp. ISBN 9786071507242.
5. Singer Francisco, *Transformadores*; 1ra. Ed, Editorial HASA. Buenos Aires – Barcelona, 1951. 274 pp.
6. Página web **ON SEMICONDUCTOR**. Disponible en: <<https://www.onsemi.com/pub/Collateral/SMPSRM-D.PDF>>. fecha de consulta 10 de Agosto del 2018.
7. Página web del Dr. Rodríguez Miguel, Universidad de Cantabria, <<http://personales.unican.es/rodrigma/primer/publicaciones.htm>>. Fecha de consulta 15 de agosto del 2018.
8. Portal de Ingenieros españoles. Disponible en: <[http://www.ingenieros.es/files/proyectos/Transformadores\\_y\\_Protecciones.pdf](http://www.ingenieros.es/files/proyectos/Transformadores_y_Protecciones.pdf)>. Fecha de consulta 15 de agosto del 2018.
9. FUENTES, Guillermo, *Substation Automation Systems / Seminario de Transformadores* [en línea] [fecha de consulta: 06 de Julio del 2018]. Disponible en:[http://www04.abb.com/global/seitp/seitp202.nsf/99ad595c32e0c2d9c12566e1000a4540/05c1d59bb4d21a99c1257d0a006acc1c/\\$FILE/12.%20Guillermo%20Fuentes.pdf](http://www04.abb.com/global/seitp/seitp202.nsf/99ad595c32e0c2d9c12566e1000a4540/05c1d59bb4d21a99c1257d0a006acc1c/$FILE/12.%20Guillermo%20Fuentes.pdf).