



Universidad
Continental

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Eléctrica

Tesis

**Confiabilidad en sistemas con transformadores
de potencia con devanado de compensación
interna o aterramiento ficticio externo
mediante transformador Zig-Zag**

Deyvis Melgar Lazo

Huancayo, 2019

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Electricista



Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



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

ASESOR

Ing. Jorge Eliseo Lozano Miranda

AGRADECIMIENTO

Quisiera expresar en primera instancia mi agradecimiento a los docentes de la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Continental por el apoyo que me prestaron en el desarrollo de la presente tesis, particularmente a mi asesor el Ing. Jorge Eliseo Lozano Miranda por su constante guía y aliento. También mi agradecimiento al Ing. Julio Acuña Amable y a la empresa GIGAWATT S.A.C y a su personal especializado por su apoyo directo o indirecto en la ejecución de este trabajo de investigación.

DEDICATORIA

A mis padres por el apoyo que me brindaron y por ser mis guías en todo momento.

INDICE

ASESOR	II
AGRADECIMIENTO	III
DEDICATORIA.....	IV
RESUMEN	IX
ABSTRACT.....	X
INTRODUCCION	XI

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento del Problema	13
1.2. Formulación del Problema.....	15
1.3. Objetivos.....	16
1.3.1. Objetivo General.....	16
1.3.2. Objetivos Específicos	17
1.4. Hipótesis	17
1.4.1. Hipótesis General	17
1.4.2. Hipótesis Específicas	19
1.5. Organización de la Tesis.....	19
1.5.1. Desarrollo Sistemico de la Investigación (Dsi)	19

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del Problema.....	21
2.2. Bases Teóricas	22
2.3. Definición de Términos Básicos.....	22
2.3.1. Subestaciones de Potencia	22
2.3.2. Transformador de Potencia.....	23
2.3.3. Partes de un Transformador.....	25
2.3.4. Tipos de Transformadores	29
2.3.5. Grupos de Conexión para Transformadores de dos Devanados.....	32
2.3.5.1. Conexión Estrella-Estrella.....	32
2.3.5.2. Conexión Estrella-Delta	33
2.3.5.3. Conexión Delta-Estrella	34
2.3.5.4. Conexión Delta-Delta.....	35
2.3.6. Transformador con Devanado de Compensación o Estabilización.....	36
2.3.6.1. El Arrolamiento Terciario (Compensación).....	37
2.3.6.2. Problemática del Devanado de Compensación o Estabilización... 40	
2.3.7. Transformador Zig Zag	41

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3.1. Metodología	44
3.1.1. Método Teórico	44
3.1.2. Método Analítico	45
3.2. Método y Alcance de la Investigación.....	46
3.3. Diseño de la Investigación.....	46
3.4. Población y Muestra	47
3.5. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos	47
3.6. Problemática de la Selección del Conexionado del Transformador de Potencia (Transformadores de 02 Arrollamientos)	48
3.6.1. Consideraciones Técnicas.....	48
3.6.2. Desbalance de Tensión en Sistemas Trifásicos	50
3.6.3. Armónicos de la Corriente de Vacío	53
3.7. Transformador de Potencia con Devanado de Compensación (YNyn+d).....	57
3.7.1. El Núcleo Magnético	58
3.7.2. Arrollamientos	59
3.7.3. Disposición de los Arrollamientos	60
3.7.4. Función Específica del Devanado de Compensación.....	61
3.7.5. Diseño y Especificaciones	61
3.7.6. Consecuencias Favorables y Desfavorables	63
3.8. Transformador Zig – Zag.....	65
3.8.1. Principio de Funcionamiento.....	67
3.8.2. Diseño y Especificaciones	68

CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Bajo Condiciones de Corto Circuito Trifásico	71
4.2. Bajo Condiciones de Corto Circuito Monofásico.....	71
4.3. Diseño del Transformador Zig-Zag	73
4.4. Evaluación Económica	74
4.5. Cuadro Comparativo de Alternativas Óptimas	76
CONCLUSIONES.....	77
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78
ANEXOS	79

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Ventajas y desventajas de la conexión estrella y-y	33
Tabla 2. Ventajas y desventajas de la conexión estrella-delta y- Δ	34
Tabla 3. Ventajas y desventajas de la conexión delta-estrella Δ -y	35
Tabla 4. Ventajas y desventajas de la conexión delta-delta Δ - Δ	36
Tabla 5. Resultado de análisis de cortocircuito trifásico	71
Tabla 6. Resultado de análisis de cortocircuito monofásico	72
Tabla 7. Porcentajes de aumento para devanado de compensación.....	74
Tabla 8. Costos para cada tipo de conexión.....	75
Tabla 9. Cuadro comparativo de alternativas óptimas	76

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Desarrollo sistémico de la investigación	20
Figura 2. Subestación eléctrica de potencia.....	23
Figura 3. Núcleo y devanados de un transformador	24
Figura 4. Núcleo de un transformador	25
Figura 5. Bobinas o devanados de un transformador.....	26
Figura 6. Aisladores pasatapas o bushing	27
Figura 7. Tanque o cubierta	28
Figura 8. Tanque conservador	29
Figura 9. Transformador trifásico	30
Figura 10. Transformador de 5 columnas	31
Figura 11. Transformador con núcleo acorazado	31
Figura 12. Banco de transformadores monofásicos.....	32
Figura 13. Conexión estrella y-y.....	33
Figura 14. Conexión estrella-delta y- Δ	34
Figura 15. Conexión delta-estrella Δ -y	35
Figura 16. Conexión delta-delta Δ - Δ	36
Figura 17. Devana de compensación en delta.....	37
Figura 18. Esquema fasorial de sobretensiones en fases.	38
Figura 19. Interconexión zig-zag y delta	43
Figura 20. Diagrama unifilar en digsilent – proyecto ampliación set chilina.....	50
Figura 21. Sistemas fasoriales de la red.....	51
Figura 22. Componentes simétricas.....	51
Figura 23. Armónicos de la corriente de vacío	54
Figura 24. Tercera armónica.....	54
Figura 25. Unión mediante técnica step-lap.	59
Figura 26. Bobinado de un arrollamiento	59
Figura 27. Conexión del transformador zig-zag	66
Figura 28. Esquema de conexión del transformador zig-zag.....	68
Figura 29. Conexión de la red de secuencia positiva, negativa y cero	69

RESUMEN

Los transformadores, junto con los generadores, son los equipos más importantes de las redes eléctricas. Sería inimaginable transmitir energía eléctrica a grandes distancias sin estos equipos, ya que con ellos podremos transformar un nivel de tensión a otro superior para así disminuir las corrientes, y por consiguiente atenuar las pérdidas en la transmisión de dicha energía. Bastaría instalar otro transformador cerca de los consumidores, para poder así trabajar con tensiones más bajas que nos permitan tener equipos con menos aislamientos (por lo tanto, más económicos), y trabajar con más seguridad. Si una red no está adecuadamente planificada, una falla en un transformador puede dejar desabastecida de energía eléctrica a una zona o toda una ciudad, dependiendo de la capacidad e importancia de esta.

Por ello se justifica la necesidad de estudiar las contingencias que pudieran ocurrir en la puesta en servicio y operación de los transformadores de potencia. Estas contingencias obligan que el transformador sea diseñado con características dieléctricas, térmicas y electrodinámicas superiores a las que se tienen en condiciones normales de operación (tensiones y corrientes nominales).

ABSTRACT

The transformers, together with the generators, are the most important equipment of the electric networks. It would be unimaginable to transmit electrical energy over long distances without these equipment's, since with them we can transform a voltage level to a higher one to reduce the currents, and consequently attenuate the losses in the transmission of said energy. It would be enough to install another transformer near the consumers, to work with lower voltages that allow us to have equipment with fewer insulation (therefore, cheaper), and work more safely. If a network is not properly planned, a failure in a transformer can leave a lack of electricity to an area or an entire city, depending on the capacity and importance of it.

Therefore, the need to study the contingencies that could occur in the commissioning and operation of power transformers is justified. These contingencies require that the transformer be designed with dielectric, thermal and electrodynamic characteristics superior to those under normal operating conditions (voltages and nominal currents).

INTRODUCCION

La mayoría de los transformadores utilizados en la transmisión y distribución de energía eléctrica dentro del país son trifásicos, por una cuestión de costos, tamaños y transporte; pero hay excepciones: cuando las potencias son muy grandes, cientos de MVA, o se requieren varios transformadores de gran potencia e iguales, por ejemplo, en la central Santiago Antúnez de Mayolo se cuenta con bancos trifásicos armados con tres transformadores monofásicos, e inclusive se cuenta con transformador de reserva, así como esta existen dentro del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional otras subestaciones bajo esta misma configuración, sin embargo la mayoría de subestaciones cuenta con transformadores trifásicos.

Para la presente investigación, nos centraremos en los transformadores trifásicos con núcleo trifásico de tres columnas. Este núcleo tiene el yugo y las tres columnas de la misma sección y sobre cada una de ellas se colocan los arrollamientos de una misma fase, dejando el bobinado de mayor tensión en la parte exterior para facilitar su aislación. Estos son los núcleos trifásicos más utilizados porque son los que emplean menor cantidad de chapa magnética y consecuentemente tienen menos pérdidas en el hierro. Además, tienen el mejor comportamiento frente cargas asimétricas y armónicos, lo que es muy deseable en las redes de distribución de energía eléctrica. Para este tipo de transformadores, las conexiones trifásicas más empleadas son estrella y el triángulo, pero no son las únicas, existen otras, para aplicaciones especiales, como son las conexiones “zig-zag”, en “V”, en “T”, etc. Las conexiones estrella se emplean cuando se necesita la presencia de un conductor neutro, generalmente conectado a tierra, como ocurre en las redes tetrafilares de baja tensión. También se emplea en las redes de alta tensión porque permiten obtener elevadas tensiones de línea, con menor tensión en cada fase. En una estrella la tensión de línea es un 73% mayor que la de fase, mientras que en un triángulo son iguales. La conexión en triángulo se emplea en la mayoría de las redes de media tensión y, como no posee neutro, se debe buscar la forma de referenciar la

red a tierra, por ejemplo, por medio de un transformador Zig-Zag puesto a tierra o especificar el transformador de potencia con devanado de compensación para el cambio o implementación del nuevo transformador de potencia. La combinación de conexiones más utilizada en los transformadores es una estrella y un triángulo, el cual posee muy buen comportamiento frente a cargas alineales o asimétricas.

El Autor

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento del Problema

Un transformador de potencia es un artefacto que cambia la energía eléctrica de corriente alterna de un nivel de voltaje en energía eléctrica de corriente alterna de otro nivel de voltaje, mediante la acción de un campo magnético. Consiste en dos o más bobinas de alambre envueltas alrededor de un núcleo ferromagnético común. Estas bobinas no están (generalmente) conectadas directamente. La única conexión entre las bobinas es el flujo magnético común presente dentro del núcleo. [12]

Por otro lado, la gran mayoría de los sistemas importantes de generación y distribución de energía eléctrica en el mundo son sistemas eléctricos de corriente alterna trifásicos, puesto que existe mayor demanda en el sector industrial, pudiéndose obtener mayor producción de las máquinas trifásicas en aproximadamente 1.5 más que una máquina de la misma potencia, pero en sistema monofásico; entre otras ventajas se tiene como mejor estabilidad del sistema, mejor factor de potencia, menos sección de conductores para el transporte de una potencia dada y otros. En consecuencia, a este

requerimiento, es necesario la implementación de transformadores de potencia trifásicos, el cual consta de tres transformadores monofásicos, bien sea separados o combinados sobre un núcleo; dependiendo de la cantidad de niveles de tensión, los primarios, secundarios y terciarios de estos pueden conectarse independientemente en estrella (Y) o en delta (Δ). Para el caso de un transformador trifásico de dos devanados o dos niveles de tensión se pueden implementar cuatro conexiones posibles:

- 1) Estrella – Estrella (Y – Y)
- 2) Estrella – Delta (Y – Δ)
- 3) Delta – Estrella (Δ – Y)
- 4) Delta – Delta (Δ – Δ)

Ciertamente cada tipo de conexionado tiene ventajas y desventajas técnicas operativas, sin embargo, al ser combinadas ya sea en transformadores de dos devanados o más, es recomendable que dicha máquina posea un embobinado conectado en DELTA para eliminar los componentes del tercer armónico de voltaje, así como permitir el desbalance de las fases sin mayores consecuencias; por otra parte, poseer un devanado en delta para la distribución de energía eléctrica dificulta la detección de fallos a tierra debido a que dichas intensidades de falla muchas veces nunca superan la corriente de carga, por lo que los equipos de protección muchas veces no cuentan con los componentes necesarios para su detección, pero equipos más modernos (relés sensitivos de falla a tierra), pueden detectar esta fallas por medio de software.

En la tesis de Víctor Hugo Badilla Solís, de la Universidad de Costa Rica de la Facultad de Ingeniería Eléctrica, se trata de *“Investigar, analizar, simular y recomendar soluciones ante el problema de la conexión delta en el lado secundario en*

transformadores de distribución”; también, MARIO MARTÍN HEREDIA BORJA y RAFAEL HUMBERTO INTRIAGO BERNITA, de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil, realiza el “Análisis de sistemas trifásicos de transformadores conexión D – Y”, concluyendo en ambas investigaciones, que las conexiones Y – D o D – Y, para el caso de transformadores de 02 devanados, presentan muchas ventajas operativas y son ideales para sistemas de distribución eléctrica, sin embargo los sistemas de protección en el devanado en delta deberá ser protegido adecuadamente.

La presente investigación se centra en evaluar el grado de efectividad y operación, así como los aspectos económicos de dos alternativas para solucionar el problema planteado del devanado en delta en transformadores de potencia, verificando y midiendo la mejor alternativa; para ello se evalúa bajo la consideración de implementar en la barra en delta un transformador zig-zag (aterramiento ficticio), esta solución podrá implementarse en cualquier etapa de funcionamiento del sistema; y la segunda alternativa, el cual definitivamente deberá implementarse al momento de construcción del transformador de potencia es diseñar este equipo, incrementándole un devanado adicional de compensación en conexionado delta, por tanto el lado de la fuente y las cargas tendrán un conexionado en estrella aterrado, con el cual se garantiza la adecuada operación de dicho equipo y los sistemas de protección asociados.

1.2. Formulación del Problema

Razones que motivan la investigación:

Un aspecto muy importante que motiva la investigación es conocer el comportamiento detallado de un sistema delta o con neutro aislado bajo operación normal en sistemas desbalanceados y bajo régimen de falla, específicamente para fallas bifásicas y monofásicas; considerando que el transformador de potencia está diseñado

para soportar estas en un determinado tiempo, a la fecha se cuenta en el mercado con equipos especiales y totalmente dedicados a proteger estas condiciones. Sin embargo, contar con un sistema con aterramiento físico garantiza corrientes de cortocircuitos homopolares considerables y fáciles de discriminarse, por otra parte, se quiere probar una condición necesaria en los sistemas eléctricos, lo cual se refiere a que “La perfección no es cuando no hay nada más para agregar, sino cuando no hay nada más para quitar”

Por tanto, podríamos plantear las siguientes incógnitas: ¿Será posible implementar un sistema con condiciones de atenuar las componentes de la tercera armónica de voltaje, trabajo en sistema desbalanceado y corrientes de cortocircuito monofásicos relativamente elevados?, ¿En los sistemas existentes de distribución en delta, podrá amplificarse la intensidad de las corrientes de cortocircuito monofásicos?, ¿Qué sistema será la mejor alternativas de las 02 planteadas?, ¿Podrá implementarse un sistema confiables y económico ante estas condiciones planteadas?.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

El Objetivo de la presente investigación es: Analizar la alternativa óptima en aspectos técnicos y económicos para implementar un nuevo transformador de potencia en los sistemas eléctricos, comparando la implementación un nuevo transformador de potencia en estrella aterrado para todos los niveles de tensión y devanado de compensación en comparación y la implementación del mismo transformador de potencia con un devanado en delta y en este sistema la implementación de un transformador Zig-Zag (aterramiento ficticio).

1.3.2. Objetivos Específicos

El objetivo específico se ha establecido en:

- Analizar las ventajas y desventajas, así como la necesidad de contar con un devanado en delta para la implementación de transformadores trifásicos de potencia de dos devanados, bajo régimen de operación normal en sistemas desbalanceados y bajo régimen transitorio (fallas).
- Analizar las ventajas y desventajas técnicas y económicas para implementar transformadores de potencia con devanado de compensación y sistemas con transformadores zig-zag
- Cuantificar las corrientes de cortocircuito y sistemas de protección en instalaciones con transformadores trifásicos con devanado de compensación, y en los sistemas con aterramiento ficticio mediante un transformador externo en Zig-Zag.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis General

Considerando que la Confiabilidad, está relacionada con la continuidad en el servicio cumpliendo los requerimientos de calidad y seguridad.

No es posible ofrecer una continuidad en el servicio del ciento por ciento bajo todas las condiciones de operación debido a las fallas aleatorias internas y externas que afectan los componentes, las limitaciones de tipo económico que impiden mejorar la calidad y el grado de redundancia de los componentes y la incertidumbre en los recursos de generación y en la demanda de los usuarios.

Por lo tanto, se deben tolerar las fallas siempre y cuando éstas no sean muy frecuentes o muy prolongadas, específicamente para fallas monofásicas y bifásicas con componentes homopolares, se compara el comportamiento de un sistema de Aterramiento Ficticio con Transformador ZIG-ZAG y un sistema con transformador de potencia con devanado DELTA y devanado de compensación (la evaluación de falla será respecto al devanado en conexasión en DELTA).

El primer caso, debido a que existe un componente adicional al transformador de potencia, llamado transformador Zig-Zag, hace que exista mayor probabilidad de falla en el sistema, debido a la existencia de este elemento que suma a la probabilidad de falla del propio transformador de potencia, al igual que el transformador de potencia este Zig-Zag requiere un sistema adicional de monitoreo y protección, incrementando mayor equipamiento, por lo tanto, mayores probabilidades de falla en cada elemento.

Mientras que el transformador con devanado de compensación, por ser un solo equipo, estas probabilidades de falla solo están determinadas por la probabilidad de falla del transformador de potencia y su sistema propio de monitoreo y protección.

Por tanto, ***“EQUIPO QUE NO EXISTE, EQUIPO QUE NO FALLA”***

“La perfección no es cuando no hay nada más para agregar, sino cuando no hay nada más para quitar”

1.4.2. Hipótesis Específicas

- El sistema eléctrico que es diseñado con un transformador con devanado de compensación posee menos probabilidades de falla y cumple con la función del sistema, garantizando un sistema de protección óptima de las redes de distribución y su operación continua, bajo régimen desbalanceado.
- Los costos asociados por la implementación del transformador de potencia con devanado de compensación son menores al comparado con aterramiento ficticio, debido a que este último requiere de equipos de monitoreo, control y protección adicional exclusivo solo para el transformador Zig-Zag, obligando mayor disponibilidad de espacios dentro de las instalaciones de la Subestación de Potencia.

1.5. Organización de la Tesis

1.5.1. Desarrollo Sistémico de la Investigación (Dsi)

Es una herramienta gráfica que permite, tanto generar de manera correcta las acciones específicas para dar cumplimiento a cada objetivo, como visualizar la relación existente entre el objetivo general, los objetivos específicos, la metodología y las actividades.

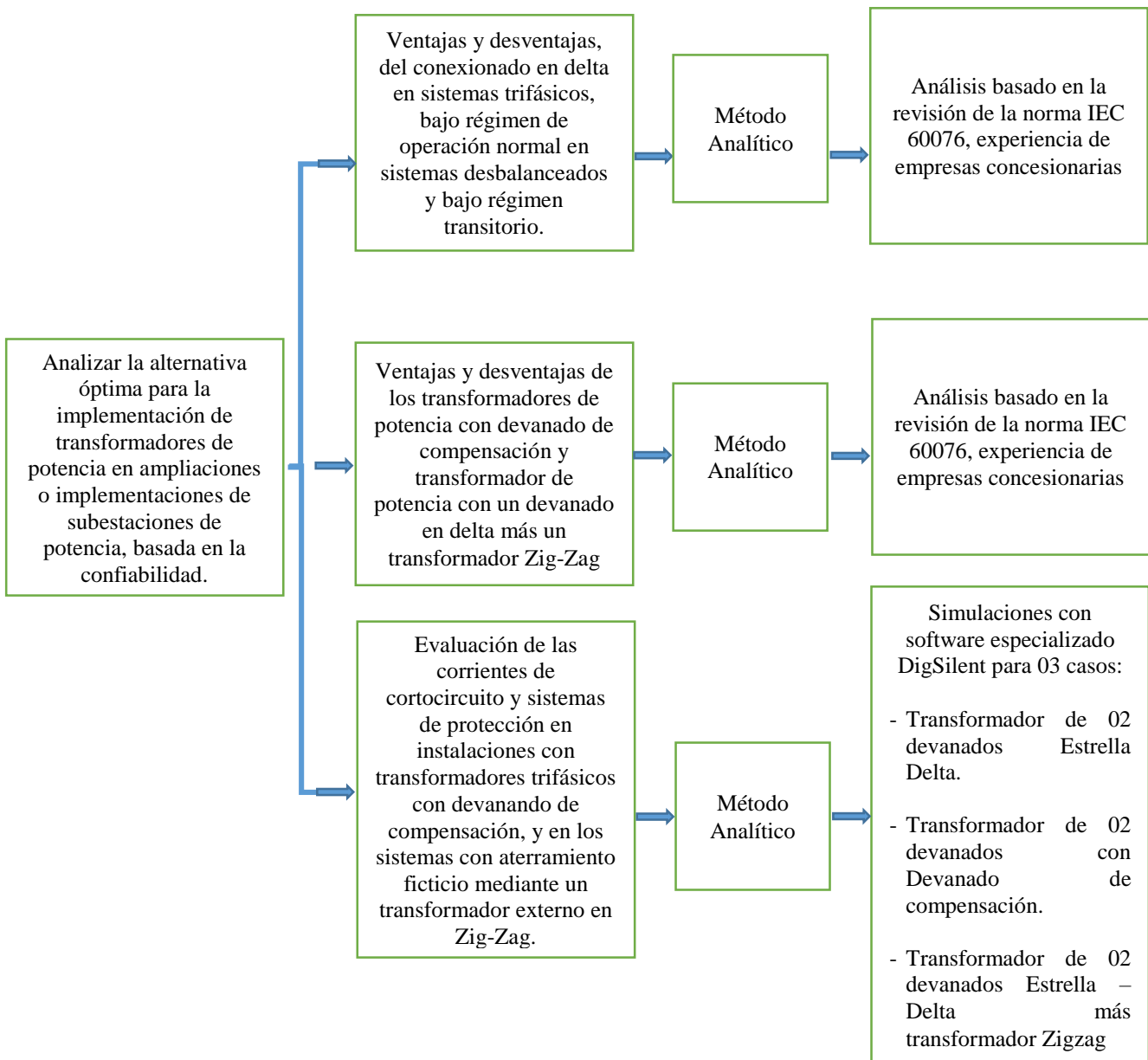


Figura 1. Desarrollo Sistémico de la Investigación

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del Problema

Al año 2008, en la tesis para optar el título de Ingeniero Electricista, MAX XAVIER LUJAN SÁNCHEZ de la Universidad Nacional del Centro del Perú, sustenta la “*Optimización de la Selectividad Mediante Aterramiento de Sistemas con Neutro Aislado en la Set Ingenio*”; en el Capítulo III, expone los esquemas de protección tales como:

- a. Implementación de transformadores Zig-Zag como medio de aterramiento.
- b. Implementación de relés sensitivos direccionales sensitivos a tierra.
- c. Empleo de transformadores para el aterramiento de un sistema con neutro aislado.

Al año 2011, en el proyecto fin de carrera de Ingeniería Técnica Industrial Electricidad de la Universidad Carlos III de Madrid, sustenta la investigación

“Influencia del Arrollamiento Terciario ante Corrientes de Cortocircuito en Transformadores Estrella-Estrella”.

2.2. Bases Teóricas

En esta sección, como primera instancia se analizará las diversas tecnologías actuales disponibles en el mercado para los transformadores de potencia, así como los conexiones; para posteriormente analizar las ventajas y desventaja de cada tecnología, para así llegar a las conclusiones finales si es factible implementar los transformadores zig-zag o los transformadores con devanado de compensación, con la misma confiabilidad y algunas ventajas asociadas a los costos de operación y mantenimiento, durante su periodo de vida.

2.3. Definición de Términos Básicos

2.3.1. Subestaciones de Potencia

Una subestación eléctrica de potencia es una instalación destinada a establecer los niveles de tensión adecuados para la transmisión y distribución de la energía eléctrica. Su equipo principal es el transformador. Normalmente está dividida en secciones, por lo general tres principales (medición, cuchillas de paso e interruptor), y las demás son derivadas. Las secciones derivadas normalmente llevan interruptores de varios tipos hacia los transformadores.

Como norma general, se puede hablar de subestaciones eléctricas «elevadoras», situadas en las inmediaciones de las centrales generadoras de energía eléctrica, cuya función es elevar el nivel de tensión, hasta 138, 220 o incluso 500 kV, antes de entregar la energía a la red de transporte; y subestaciones eléctricas «reductoras», que reducen el nivel de tensión hasta

valores que oscilan, habitualmente, entre 10 y los 60 kV y entregan la energía a la red de distribución. Posteriormente, los centros de transformación reducen los niveles de tensión hasta valores comerciales (baja tensión) aptos para el consumo doméstico e industrial, típicamente 220 V.



Figura 2. Subestación Eléctrica de potencia

Dentro de la subestación eléctrica de potencia, se debe garantizar parámetros de operación correcta de a distribución de energía, así como la protección de la misma a fin de evitar pérdidas de equipos y humanos, por tanto la elección y diseño del transformador de potencia debe realizarse bajo las condiciones y requerimientos óptimos de operación del sistema; por tanto la elección del grupo del conexionado del mismo influirá en el nivel de protección que deberá proponerse para las protecciones del sistema de distribución o transmisión. La presente investigación, pretende evaluar estos parámetros a fin de dejar un informe práctico para finalmente concluir y recomendar la alternativa óptima de implementación de este equipo y sus asociados.

2.3.2. Transformador de Potencia

Son dispositivos eléctricos que permiten aumentar o disminuir la tensión en un circuito eléctrico de corriente alterna, manteniendo la potencia. El

transformador 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. Las bobinas o devanados se denominan primario y secundario según correspondan a la entrada o salida del sistema en cuestión, respectivamente.

Su funcionamiento se basa en el fenómeno de la inducción electromagnética, ya que si aplicamos una fuerza electromotriz alterna en el devanado primario, debido a la variación de la intensidad y sentido de la corriente alterna, se produce la inducción de un flujo magnético variable en el núcleo de hierro.

Este flujo originará por inducción electromagnética, la aparición de una fuerza electromotriz en el devanado secundario. La tensión en el devanado secundario dependerá directamente del número de espiras que tengan los devanados y de la tensión del devanado primario.

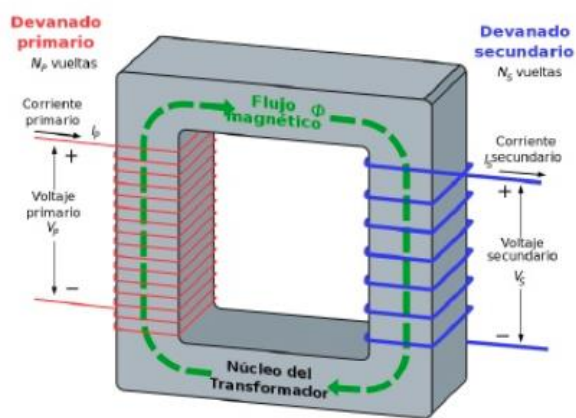


Figura 3. Núcleo y devanados de un transformador

2.3.3. Partes de un Transformador

Núcleo

El núcleo está formado 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 evitar las corrientes de Foucault, que son corrientes que circulan entre láminas, indeseadas pues favorecen las pérdidas.

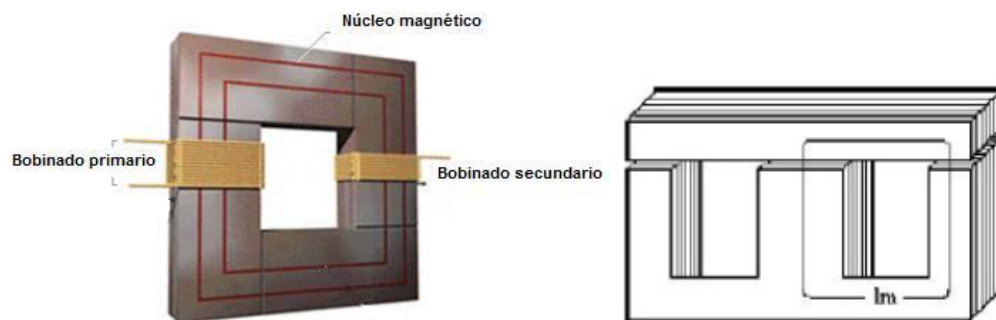


Figura 4. Núcleo de un transformador

Bobinas

Las bobinas son simplemente alambre generalmente de cobre enrollado en las piernas del 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.

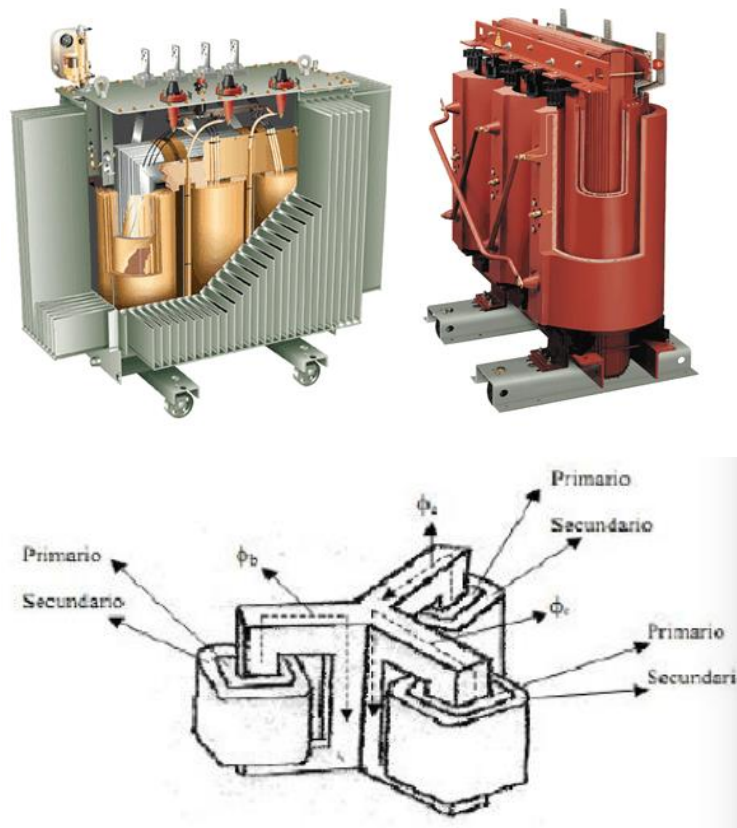


Figura 5. Bobinas o devanados de un transformador

Boquillas Terminales (Bushing)

Las boquillas se emplean para pasar de un conductor de alta tensión a través de una superficie aterrizada, como son el caso del tanque de un transformador o de un reactor. Las boquillas deben ser capaces de transportar las corrientes de los equipos en régimen nominal y de sobrecarga, de mantener el aislamiento tanto para tensión nominal como para sobretensiones y de resistir también esfuerzos mecánicos. Las boquillas de acuerdo con las funciones desempeñadas se pueden clasificar en:

- Boquillas de terminales en línea
- Boquillas de terminales en neutro
- Boquillas de terciario

Las boquillas para transformadores y reactores son del tipo exterior-inmersa, es decir una extremidad está destinada a la exposición a la intemperie y la otra inmersa en aceite aislante. Las boquillas de terminales de línea son en general de papel impregnado con aceite con distribución capacitiva provista de derivaciones para prueba y eventualmente de derivaciones de tensión. Las boquillas de terciario y neutro pueden ser de papel impregnado en aceite o con resina, con o sin distribución capacitiva.

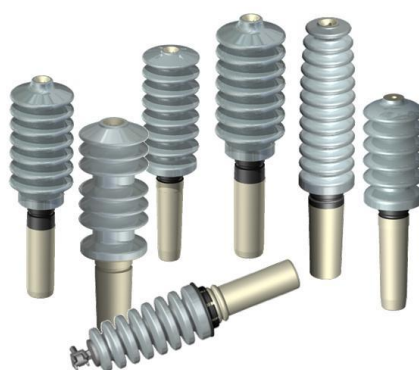


Figura 6. Aisladores pasatapas o bushing

Tanque o Cubierta

De acuerdo con su diseño hay tanques lisos, con aletas, con ondulaciones y con radiadores, dependen del tipo de aceite y medio de refrigeración para su selección. En general, consiste en una caja rectangular dividida en dos compartimientos.

- Un compartimiento que contiene el conjunto convencional de núcleo-bobinas.

- Un segundo compartimiento para terminaciones y conexiones de los cables. Los conductores de cable primario están conectados por medio de conectores de enchufe para la conexión y desconexión de la carga. Los conductores del secundario van, por lo general, atornillados a terminales de buje.
- Tienen fusibles de varias clases que van en una porta fusibles colocado en un pozo que está al lado del tanque, de manera que pueda secarse del mismo.



Figura 7. Tanque o cubierta

Tanque Conservador de Líquido Aislante

- Este tanque consiste en un recipiente fijo a la parte superior del transformador sobre el tanque o carcasa. Está destinado a recibir el aceite del tanque cuando éste se expande, debido al efecto del calentamiento por pérdidas internas.
- Por lo tanto, algunos transformadores de potencia necesitan una cámara de compensación de expansión del líquido aislante.

En unidades en general superiores a 2000 kVA el tanque se construye para permanecer completamente lleno, lo que implica la utilización del conservador de líquido.

En unidad es de menor potencia, generalmente el tanque recibe el líquido aislante hasta aproximadamente 15 cm de su nivel o borde dejando un espacio vacío destinado a la cámara de compensación.

Los transformadores que no poseen el tanque de expansión se denominan transformadores sellados. Los transformadores con tanque conservador permiten el uso del relevador Buchholz que se usa para la detección de fallas internas normalmente en transformadores grandes.

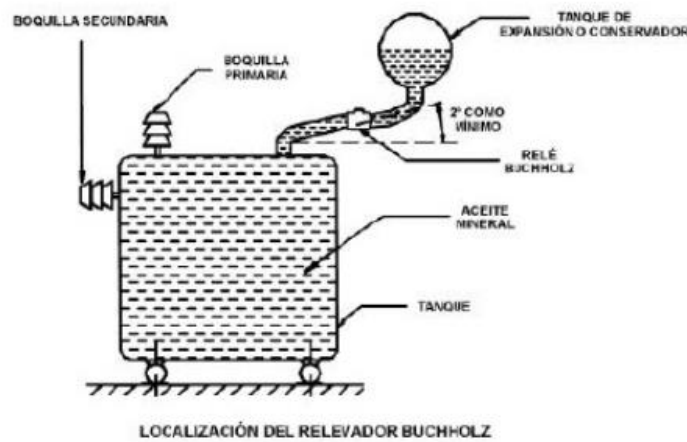


Figura 8. Tanque conservador

2.3.4. Tipos de Transformadores

Transformador Trifásico de 3 Columnas

El núcleo trifásico más utilizado es el de tres columnas. Este núcleo tiene el yugo y las tres columnas de la misma sección y sobre cada una de ellas se colocan los arrollamientos de una misma fase, dejando el bobinado de mayor tensión en la parte exterior para facilitar su aislación.

Estos son los núcleos trifásicos más utilizados porque son los que emplean menor cantidad de chapa magnética y consecuentemente tienen menos pérdidas en el hierro. Además, tienen el mejor comportamiento frente cargas

asimétricas y armónicas, lo que es muy deseable en las redes de distribución de energía eléctrica.

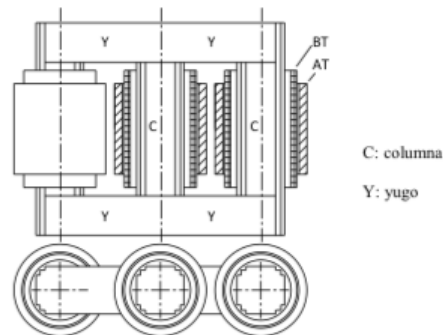


Figura 9. Transformador trifásico

Estos núcleos de tres columnas son ligeramente asimétricos: la columna central presenta menor reluctancia que las laterales y, por lo tanto, toma una corriente de vacío 15 a 30 % menor que las otras, lo que en la mayoría de las aplicaciones no tiene mayor importancia.

Transformador de 5 Columnas

El transporte de los transformadores trifásicos de potencias de 100 ó más MVA, puede resultar bastante complicado. Para reducir el peso, las dimensiones y facilitar el transporte, a los grandes transformadores se le quitan los aisladores, los radiadores, el tanque de expansión y el aceite aislante; no obstante, la altura de la cuba, colocada en el medio de transporte, puede ser grande y superar los gálibos ferroviarios o de los puentes carreteros. Por ese motivo los fabricantes tratan de reducir la altura de los núcleos y una forma de hacerlo es reducir la sección de los yugos, derivando parte del flujo que los atraviesa, por dos columnas adicionales que se colocan en los extremos. A estos núcleos se los denomina de cinco columnas y son bastante empleados en potencias grandes.

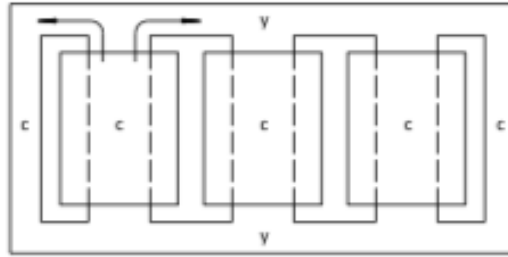


Figura 10. Transformador de 5 columnas

La asimetría que presenta este tipo de núcleo es mucho menor que en el caso de tres columnas y el comportamiento frente a cargas asimétricas y armónicas es totalmente diferente.

Transformador Trifásico con Núcleo Acorazado

Este tipo de transformador se utiliza en algunas aplicaciones muy especiales en las que se requiere un núcleo perfectamente simétrico.

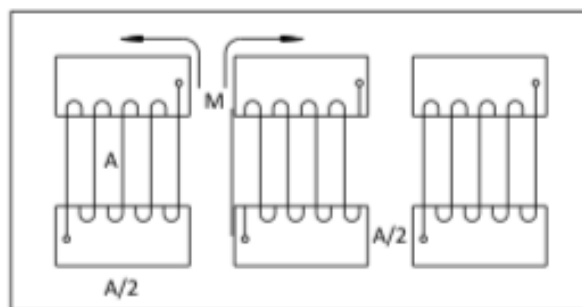


Figura 11. Transformador con núcleo acorazado

En este caso la fase central está arrollada al revés que las laterales, lo que permite disminuir la sección de las partes comunes " M " a la mitad de la sección de la columna central manteniendo constante el valor de la inducción máxima.

Banco de Transformadores Monofásicos

Es el grupo que consiste en tres transformadores monofásicos denominado banco trifásico conectados entre ellos para simular un transformador trifásico.

CONEXIÓN TRIFÁSICA DE TRES TRANSFORMADORES
MONOFÁSICOS

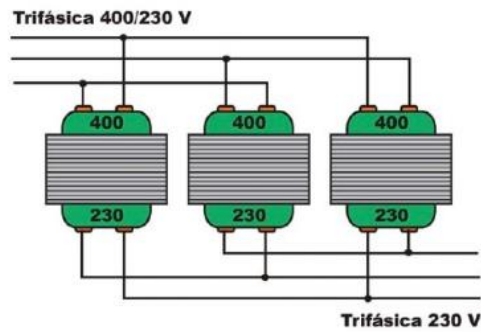


Figura 12. Banco de transformadores monofásicos

Existen otros tipos de núcleos trifásicos, pero prácticamente se encuentran fuera de uso por no tener ventajas respecto a los ya vistos y resultar más costosos.

Resumiendo: el núcleo trifásico más empleado en la transmisión y distribución de la energía eléctrica es el de tres columnas y cuando las potencias son muy grandes, se utilizan los de cinco columnas o los bancos de tres transformadores monofásicos.

Respecto al comportamiento frente a cargas asimétricas y armónicas, los núcleos de cinco columnas, los acorazados y los bancos de tres transformadores monofásicos se comportan en forma prácticamente igual, siendo el transformador con núcleo de tres columnas el que posee características distintas.

2.3.5. Grupos de Conexión para Transformadores de dos Devanados

2.3.5.1. Conexión Estrella-Estrella

Esta conexión es la más común para los sistemas de distribución, presenta dos tensiones a su salida las cuales están por un factor de $\sqrt{3}$, como se observa en la Figura 11, y también al poder

aterrar su punto neutro proporciona una referencia a tierra para todo el sistema. Esta tiene ciertos inconvenientes como la presencia de corrientes mayores por lo que se necesitan conductores más grandes, también se ve afectado por las armónicas, y en caso de que una fase falle o algún transformador falte, esta configuración es incapaz de alimentar una carga trifásica.

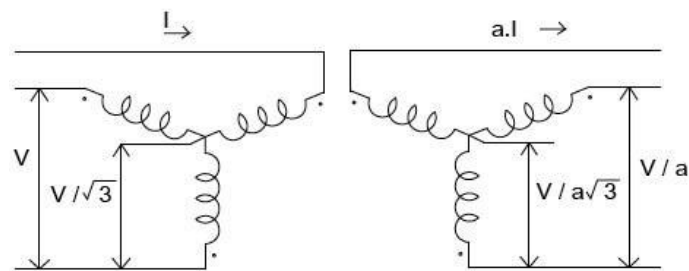


Figura 13. Conexión estrella Y-Y

Tabla 1.
Ventajas y desventajas de la Conexión estrella Y-Y

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ol style="list-style-type: none"> 1. El aumento de sección de conductores favorece la resistencia mecánica a los esfuerzos de cortocircuito. 2. Ante fallas monofásicas y bifásicas, las corrientes de corto circuito son apreciables para ambos devanados y fácilmente pueden ser detectados directamente por los relés de protección, sin la necesidad de algoritmos. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Los voltajes de terceros armónicos son grandes, debido a la no linealidad del circuito magnético del hierro. 2. Los neutros negativos son muy inestables, a menos que sean sólidamente conectados a una toma a tierra. 3. La construcción de los enrollamientos es más difícil y más costosa, en especial para corrientes altas de falla. 4. Es inestable con respecto a cargas desequilibradas

2.3.5.2. Conexión Estrella-Delta

En la Figura 12 se muestra la configuración estrella-delta, la cual se usa con mayor frecuencia en subestaciones para reducir tensiones, pero su uso en distribución es importante y va a ser gran parte del análisis a realizar más adelante. Cuenta con ventajas como

la eliminación de las componentes de tercera armónica en el lado que esté conectado en delta, y una de las desventajas es que se presenta un desfase entre las tensiones primarias y secundarias. Para tensiones de distribución mayores de 13.8kV sufre de problemas de ferresonancia, de los cuales se hablarán más adelante.

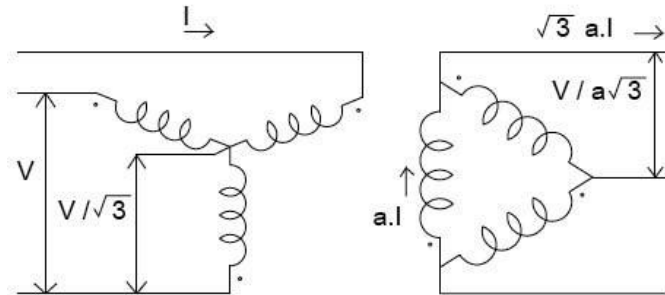


Figura 14. Conexión estrella-delta Y-Δ

Tabla 2.
Ventajas y desventajas de la Conexión estrella-delta Y-Δ

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ol style="list-style-type: none"> 1. El neutro del primario se puede conectar con la tierra. 2. El neutro del primario se mantiene estable por el secundario en triángulo. 3. Es estable con respecto a cargas desequilibradas, debido a que la delta redistribuye cualquier desequilibrio que se presente. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Un defecto en una fase hace que no pueda funcionar la unidad trifásica, hasta su reparación. 2. No se puede disponer de un neutro en el secundario para conectar con tierra. 3. El enrollamiento en delta puede resultar débil en un transformador elevador con una tensión en el secundario muy alta. 4. El devanado en Delta, ante fallas monofásicas y bifásicas, las corrientes de corto circuito son muy bajas, inferiores a las corrientes de carga, complicando su detección.

2.3.5.3. Conexión Delta-Estrella

El uso de esta configuración se da en la mayoría de los casos para la elevación de las tensiones de transmisión o de generación, pero también es utilizada para la distribución ya que tiene la ventaja de que en su lado secundario se presentan dos tensiones y permite alimentar

cargas trifásicas y monofásicas. Tiene ventajas similares a la conexión Y- Δ ya que elimina las componentes de tercera armónica, pero también tiene la desventaja de que se presentan desfases de tensión entre el lado primario y el secundario, así como la posible presencia del efecto ferrerresonante para tensiones mayores a los 13.8 kV.

Figura 13

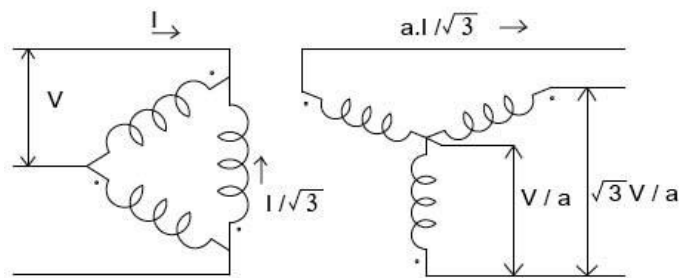


Figura 15. Conexión delta-estrella Δ -Y

Tabla 3.

Ventajas y desventajas de la Conexión delta-estrella Δ -Y

VENTAJAS	DESVENTAJAS
1. Es muy útil para elevar el voltaje a un valor muy alto.	1. La falla de una fase deja fuera de operación al transformador.
2. No presenta problemas con las componentes en sus voltajes de terceros armónicos.	2. El devanado en delta puede ser mecánicamente débil.
3. Al producirse un desequilibrio en la carga, no motiva asimetría de flujo, por producirse un reparto entre las tres columnas del primario.	3. El devanado en Delta, ante fallas monofásicas y bifásicas, las corrientes de corto circuito son muy bajas, inferiores a las corrientes de carga, complicando su detección.

Las ventajas que esta conexión presenta y los escasos inconvenientes motivan la utilización de este transformador tanto en transmisión como en distribución de energía.

2.3.5.4. Conexión Delta-Delta

La configuración de la Figura 14 presenta tensiones de línea iguales a las tensiones de fase, también se destaca que no tiene desfase

entre la tensión primaria y la secundaria. Se puede observar que la corriente de fase I_f es $\frac{I_1}{\sqrt{3}}$ por lo que es utilizada principalmente para alimentar cargas con corrientes altas, esto para disminuir los calibres de los conductores. Presenta la ventaja de eliminar las componentes de tercera armónica, pero tiene la desventaja de no poseer un hilo de neutro por lo que solo tiene un nivel de tensión.

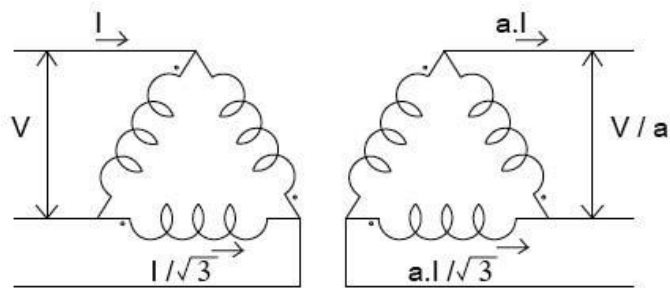


Figura 16. Conexión delta-delta $\Delta-\Delta$

Tabla 4.

Ventajas y desventajas de la Conexión delta-delta $\Delta-\Delta$

VENTAJA	DESVENTAJA
<ol style="list-style-type: none"> 1. No tiene problemas con cargas desequilibradas o armónicas. 2. No tiene desplazamiento de fase. 3. Los desequilibrios motivados por las cargas en el secundario se reparten igualmente entre las fases del primario, evitando los desequilibrios de flujos magnéticos. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Los voltajes de terceros armónicos pueden ser muy grandes. 2. No se puede suministrar energía con cuatro conductores. 3. En altas tensiones, los costos de diseño de las bobinas son mayores. 4. El devanado en Delta, ante fallas monofásicas y bifásicas, las corrientes de corto circuito son muy bajas, inferiores a las corrientes de carga, complicando su detección.

2.3.6. Transformador con Devanado de Compensación o Estabilización

Es el transformador que cuenta con un devanado terciario el cual elimina flujos homopolares de terceras armónicas, pero tampoco quedan totalmente borrados. En este caso el devanado de compensación y en general cualquier

arrollamiento en triangulo, aportan “permiten la circulación de” las terceras armónicas de corriente necesarias para disponer de flujos senoidales. En conclusión, el devanado de compensación realiza la función de eliminar, prácticamente, los flujos homopolares. Con esto, desaparecen los inconvenientes de las cargas fase-neutro en los transformadores estrella-estrella.

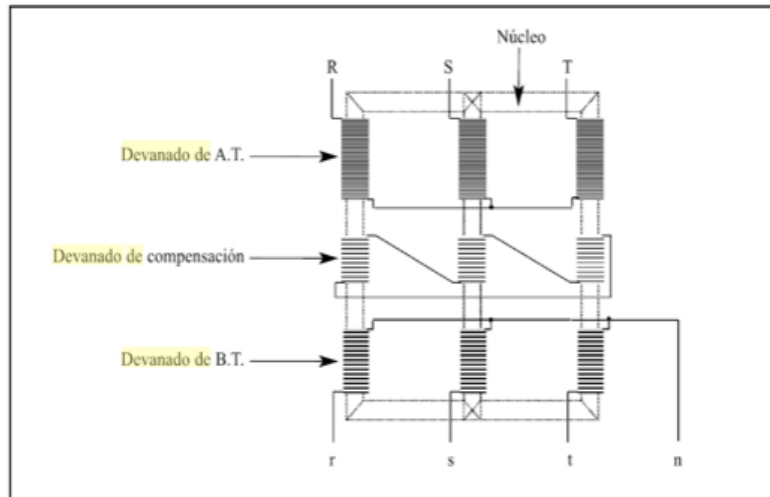


Figura 17. Devana de compensación en Delta

2.3.6.1. El Arrolamiento Terciario (Compensación)

Para los sistemas eléctricos trifásicos en sus inicios, los transformadores estrella-estrella (frecuentemente bancos de transformación), tenían una serie de problemas en su utilización. Estos problemas eran los siguientes:

- Gran contenido de armónicos en la corriente de vacío si se tiene neutro de retorno, a causa de la no linealidad del material ferromagnético (chapas laminadas en caliente). En particular los terceros armónicos ocasionan distintos problemas por ser armónicos homopolares.

- Si, por el contrario, no se tiene neutro de retorno, se producen armónicos de flujo, con las consiguientes sobretensiones fase-neutro.
- Las redes eléctricas eran bastante limitadas en cuanto a consumo, extensión e interconexión con otras redes, existían grandes desequilibrios entre las fases (desequilibrios fase-neutro), lo que producía problemas a la hora de regular la tensión en los transformadores **Yyn (estrella – estrella aterrado)**. Esto ocurría cuando circulaban corrientes de carga desequilibradas en las fases con una componente homopolar de corriente no nula ($\vec{I}_R + \vec{I}_S + \vec{I}_T \neq 0$); dado que en un transformador **Yyn** no pueden circular componentes homopolares de corriente por el primario, los amperios-vuelta creados por el secundario, que no están contrarrestados por el primario, producen flujos homopolares causantes de las sobretensiones o subtensiones en las fases como se observan de color rojo en la Figura 17.

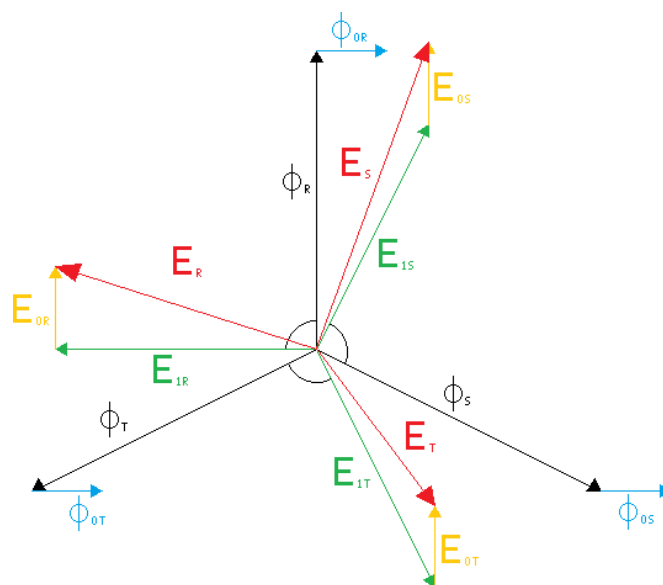


Figura 18. Esquema fasorial de sobretensiones en fases.

- Actuaciones de las protecciones de falta a tierra por la circulación de corrientes homopolares, cuando no existe falta alguna.
- Interferencias en las líneas telefónicas unipolares.

Para evitar dichos problemas, se adicionó un tercer arrollamiento conectado en triángulo en el conjunto de las unidades monofásicas. Este arrollamiento de estabilización se le denominó con el nombre de Terciario, ya que, además de confinar las corrientes homopolares, podría ser utilizado como arrollamiento para alimentar los servicios auxiliares, iluminación o fuerza.

En la actualidad, la mayoría de los sistemas eléctricos están equilibrados, con redes malladas, y transformadores trifásicos, contando con sistemas de protecciones para falla a tierra con buen funcionamiento a pesar de la existencia de armónicos, gracias a los avances de la electrónica de control. Sin embargo, existe otra porción importante de los sistemas eléctricos que alimentan sectores rurales (cargas bifásicas y monofásicas) a considerables distancias, donde es necesario que el transformador de potencia no presente problemas a cargas desequilibradas, siendo necesario contar con un devanado en delta; por otro lado, el sistema de protecciones debe garantizarse a fin de no poner en riesgo a los usuarios, animales y otros.

A continuación, se destacan algunas conclusiones del devanado terciario:

- La existencia del Terciario con conexionado en delta (triángulo) hace que la impedancia homopolar sea baja, lo que ocasionará grandes corrientes en caso de fallas a tierra, pero a su vez bajas tensiones (sobretensiones) en las fases sanas. Con esto se obtendrá un ahorro en el aislamiento de los equipos, aunque se tendrá que tener gran cuidado en el diseño de los elementos de la red para soportar esfuerzos electrodinámicos, ya que las fuerzas en ellos serán superiores al tener altas corrientes.
- Los grandes transformadores no guardan una semejanza geométrica con los más pequeños, ya que existe un límite de dimensiones de la cuba, por la necesidad de transportarlo hasta su lugar de explotación, ya sea por carretera o ferrocarril (existencia de gálibos). Esto hace que en el caso de grandes transformadores los arrollamientos se acerquen más a la cuba y por lo tanto el calentamiento de la cuba debido a los flujos de dispersión, que en transformadores más pequeños apenas tenía importancia, cobre ahora protagonismo. De no existir arrollamiento de compensación o estabilización, podrían existir puntos calientes en la cuba al atravesarla los flujos dispersos.

2.3.6.2. Problemática del Devanado de Compensación o Estabilización

El primer problema que cabe comentar es que el costo del transformador es mayor. El uso de arrollamiento Terciario lleva acarreado el uso de más cobre que el necesario para el trasvase de energía entre primario y secundario. Además, el alojar un

arrollamiento más, hace que la ventana del transformador tenga mayores dimensiones, por lo que se precisa mayor cantidad de hierro. También tendrán un precio los distintos accesorios que deberemos colocar (terminales, separadores, caperuzas o pantallas, etc.). Por todo esto, el peso y las dimensiones del equipo aumentarán proporcionalmente. Al aumentar el tamaño las pérdidas en el hierro de estos transformadores serán mayores. Además, por el interior del Terciario siempre circularán componentes homopolares de la corriente de vacío o resultantes de los desequilibrios.

Otro problema importante será el estudio y dimensionamiento de este transformador ante distintos tipos de cortocircuitos en el lado de alta y el de baja tensión, y no sólo para que los arrollamientos primario y secundario aguanten los esfuerzos producidos por la circulación de altas corrientes, sino para el arrollamiento Terciario, mucho más frágil por tener secciones de conductor inferiores.

Otro estudio muy crítico (quizá el más peligroso) es el estudio de cortocircuitos en el propio arrollamiento Terciario, ya que, en caso de suceder, el transformador tendría graves desperfectos. Es así como tendremos un gran punto débil localizado en el Terciario.

2.3.7. Transformador Zig Zag

El transformador aterrizador en zig zag normalmente se utiliza para ofrecer un camino a la corriente de falla, de tal manera, que una falla de fase a tierra en un sistema delta, se puede detectar e interrumpir. Siempre deseable aterrizar al punto neutro de un circuito un sistema eléctrico, pero donde la

conexión es en delta, la forma de realizar esta conexión es solo a través de la inclusión de un aparato auxiliar, especialmente diseñado para esto, como lo es el transformador aterrizador.

El aparato normalmente es fabricado con los devanados en Zigzag o delta/estrella. La construcción de este equipo es similar al transformador trifásico normal, sin embargo, solo se incluye un devanado de alta tensión en cada pierna, dividido en dos porciones iguales e interconectado entre sí en Zigzag. El aparato entonces es un autotransformador con relación 1 a 1 con los devanados arreglados de tal manera que los voltajes de cada línea a tierra son mantenidos bajo condiciones normales de operación, este sistema ofrece una impedancia mínima al flujo de corriente de falla monofásica, teniendo un neutro aterrizado.

Bajo condiciones normales, la corriente que fluyen a través de los devanados son las corrientes de magnetización propias del transformador solamente, pero estos están diseñados para llevar la corriente máxima de falla durante un periodo de por lo menos 30 segundos. El transformador se fabrica exactamente como un transformador trifásico, y es sumergido en aceite.

Características de Fabricación:

- El núcleo es fabricado con acero eléctrico calidad primaria, grano orientado.
- Sus devanados son laminares fabricados en cinta de cobre.
- Resistente al corto circuito y desplazamientos axiales.
- Aislamientos clase B para 105 grados, utilizando papel insoldur el cual mejora su adherencia al conductor con el proceso de secado.

- Utilización de empaques de corcho nitrilo grado transformador
- Alta impedancia garantizada 6 %
- Tanque de acero el calibre de 1/4" y 3/16"
- Accesorios normalizados con componentes importados

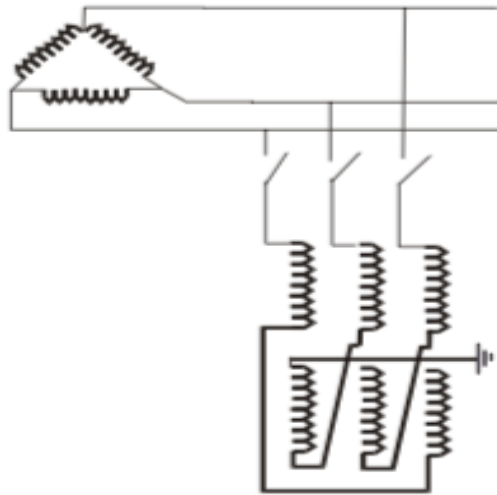


Figura 19. Interconexión Zig-Zag y Delta

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Metodología

3.1.1. Método Teórico

Permiten la construcción y desarrollo de la teoría científica, y en el enfoque general para abordar los problemas de la ciencia. Por ello los métodos teóricos permiten profundizar en el conocimiento de las regularidades y cualidades esenciales de los fenómenos. Estos cumplen una función gnoseológica importante, ya que nos posibilitan la interpretación conceptual de los datos empíricos encontrados. Los métodos teóricos crean las condiciones para ir más allá de las características fenoménicas y superficiales de la realidad, explicar los hechos y profundizar en las relaciones esenciales y cualidades fundamentales de los procesos no observables directamente. Los Métodos Teóricos no solo revelan las relaciones esenciales del objeto, sino que participan en la etapa de asimilación de hechos, fenómenos y procesos y en la construcción de modelo e hipótesis de investigación.

3.1.2. Método Analítico

El análisis y la síntesis son dos procesos cognoscitivos que cumplen funciones muy importantes en la investigación científica. Análisis y síntesis no son resultado del pensamiento puro y razonable, sino que tienen una base objetiva en la realidad y constituyen un par dialéctico.

El análisis es un procedimiento mental mediante el cual un todo complejo se descompone en sus diversas partes y cualidades. El análisis permite la división mental del todo en sus múltiples relaciones y componentes.

La síntesis establece mentalmente la unión entre las partes previamente analizadas y posibilita descubrir las relaciones esenciales y características generales entre ellas. La síntesis se produce sobre la base de los resultados obtenidos previamente en el análisis. Posibilita la sistematización del conocimiento

Este método de investigación consiste en la desmembración de un todo (aspectos económicos, tasas de fallas y de operación de las dos alternativas analizadas para el requerimiento de los sistemas eléctricos de potencia con conexionado estrella y delta), descomponiéndolo en sus partes o elementos para observar las causas, la naturaleza y los efectos. Del marco teórico expuesto, se puede adelantar la conclusión que, dentro de los sistemas eléctricos de potencia de nuestro país, es necesario la implementación de un devanado o arrollamiento en conexionado DELTA o TRIANGULO por las ventajas que esta presenta, básicamente por el desequilibrio y armónicos presentes en las instalaciones, asimismo debido a la necesidad de ofrecer un sistema de protección confiable, los sistemas de distribución se recomiendan tener un conexionado ESTRELLA ATERRADO.

En consecuencia, a estos requerimientos, se evaluará las ventajas y desventajas de la implementación de transformadores de dos devanados con conexión Yyn+d, comparado con la implementación de transformadores de dos devanados YNd más transformador Zigzag en el devanado delta.

3.2. Método y Alcance de la Investigación

Este método de investigación consiste en la desmembración de un todo (aspectos económicos, tasas de fallas y de operación de las dos alternativas analizadas para el requerimiento de los sistemas eléctricos de potencia con conexión estrella y delta), descomponiéndolo en sus partes o elementos para observar las causas, la naturaleza y los efectos. Del marco teórico expuesto, se puede adelantar la conclusión que, dentro de los sistemas eléctricos de potencia de nuestro país, es necesario la implementación de un devanado o arrollamiento en conexión DELTA o TRIANGULO por las ventajas que esta presenta, básicamente por el desequilibrio y armónicos presentes en las instalaciones, asimismo debido a la necesidad de ofrecer un sistema de protección confiable, los sistemas de distribución se recomiendan tener un conexión ESTRELLA ATERRADO.

En consecuencia, a estos requerimientos, se evaluará las ventajas y desventajas de la implementación de transformadores de dos devanados con conexión Yyn+d, comparado con la implementación de transformadores de dos devanados YNd más transformador Zigzag en el devanado delta.

3.3. Diseño de la Investigación

Se recurrirá al diseño de investigación cuantitativa No experimental con su variante transeccional. Según los autores Hernández R. y Otros (2010:149) señalan que

“Podría definirse como la investigación que se realiza sin manipular en forma deliberada variables. Es decir, se trata de estudios donde no hacemos variar en forma intencional las variables independientes para ver su efecto sobre otras variables. Lo que hacemos en la investigación cuantitativa no experimental es observar fenómenos tal como se dan en su contexto natural, para posteriormente analizarlos”.

3.4. Población y Muestra

La población del presente estudio de investigación corresponde a las instalaciones cuyo sistema de distribución o transmisión se encuentra en Delta o Triángulo, el mismo que para garantizar la detección sobrecorriente homopolar ante fallas monofásicas han sido aterrados ficticiamente mediante transformadores Zig-Zag y transformadores con conexionado Estrella aterrado (para este último, la subestación de Oxapampa en 60 kV; sistema Delta aterrado mediante un transformador convencional de 60/10 kV de conexionado YNd). De los cuales se analizará la probabilidad de ocurrencia de falla en este sistema de aterramiento, comparado contra un sistema con transformador de potencia con devanado de compensación.

3.5. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

En primera instancia se determinará aspectos funcionales, basado en la teoría y conceptos fundamentales para seguidamente analizar el sistema de potencia en diversas condiciones de operación tanto en régimen permanente como en transitorio y falla, mediante el uso del software especializado (DigSilent), de estos se determinará las condiciones propias de operación de cada sistema, pudiendo concluir y demostrar el sistema más eficiente y confiable para aterrarse un sistema eléctrico; por otra parte se realizará la evaluación económica tanto en suministros, requerimiento de áreas de

terreno, y mantenimiento, para finalmente concluir la alternativa optima en aspectos técnicos y económicos.

3.6. Problemática de la Selección del Conexionado del Transformador de Potencia (Transformadores de 02 Arrollamientos)

Dentro de los objetivos del presente ítem se verá lo siguiente:

- Hay que indicar que conexionado en los devanados o arrollamientos de los transformadores de potencia es el óptimo técnica y económicamente.
- Realizar comparaciones de un transformador de potencia 138/33 kV, 75 MVA en sus distintos tipos de conexiones de sus devanados frente al análisis de corto circuito (Trifásico y Monofásico) y armónicos (Propuesta técnica planteada en la SET Chilina – SEAL – estudio realizado por la consultora GW no será ejecutada, debido a la indisponibilidad de terrenos - ANEXO 01).
- Ver las desventajas y ventajas de cada tipo de conexionado de los devanados del transformador de potencia frente al análisis de corto circuito (Trifásico y Monofásico) y armónicos.

3.6.1. Consideraciones Técnicas

Para todos los análisis de simulación se tuvo las siguientes consideraciones:

- Nivel de Tensión en alta y baja del Transformador de potencia igual para todas las conexiones.

Alta : 138 kV

Baja : 33 kV

- Potencia del transformador de potencia e impedancia de cortocircuito igual para todas las conexiones.

Potencia : 75 MVA

Vc.c. : 12%

- Los análisis de cortocircuito (Trifásico y Monofásico) en los distintos conexionados de los devanados del transformador de potencia se analizarán bajo las siguientes configuraciones
 - Conexionado Ynd11 sin transformador Zigzag.
 - Conexionado Ynd11 con transformador Zigzag.
 - Conexionado Ynyn11 sin devanado de compensación.
 - Conexionado Ynyn11 con devanado de compensación.

Cabe señalar que el desfase de 11° se debió al análisis realizado por la consultora GW especializada, quien determinó dicho parámetro, el cual no influye en los resultados obtenidos y objetivos de la presente investigación.

- El software donde se implementó las simulaciones para evidenciar los comportamientos de los diversos conexionados de los transformadores de potencia de 02 devanados o arrollamientos es el software DigSilent 15.1.7 (versión estudiante), tal como se evidencia en la figura

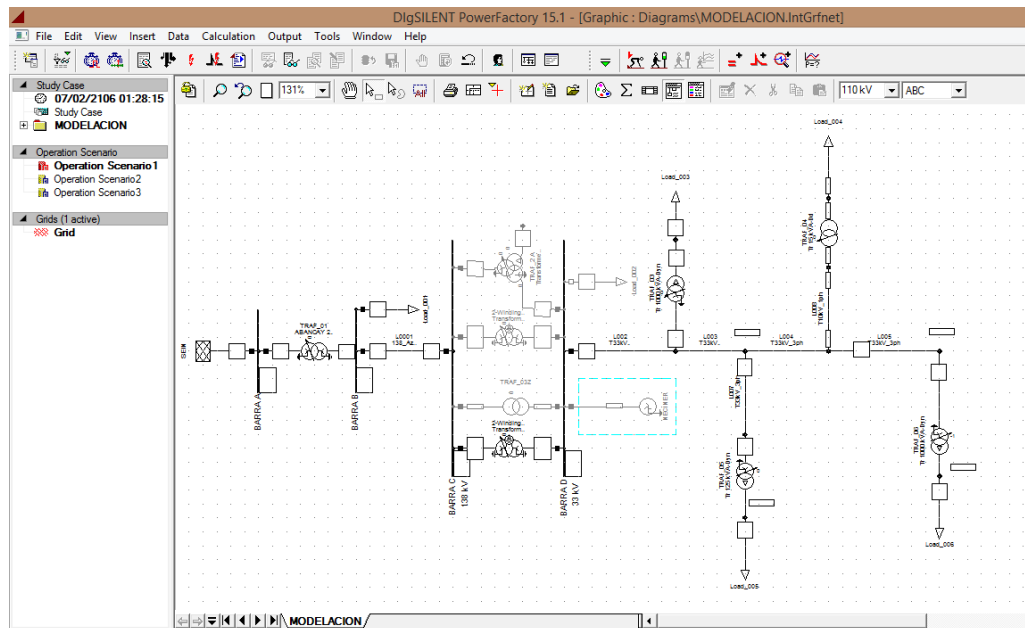


Figura 20. Diagrama unifilar en DigSilent – Proyecto ampliación SET Chilina

3.6.2. Desbalance de Tensión en Sistemas Trifásicos

El desbalance trifásico es el fenómeno que ocurre en sistemas trifásicos donde las tensiones y/o ángulos entre fases consecutivas no son iguales. El balance perfecto de tensiones es técnicamente inalcanzable. El continuo cambio de cargas presentes en la red, causan una magnitud de desbalance en permanente variación.

La conexión de cargas residenciales, de naturaleza monofásica, provocan un estado de carga en el sistema trifásico que no es equilibrado entre fases, de allí las caídas de tensión del sistema tampoco serán equilibradas dando por resultado niveles de tensión desiguales.

Por tanto, se conoce que un sistema de generación simétrico es aquel donde las tres tensiones tienen igual magnitud de tensión y sus fasores están a 120° entre sí. Una carga trifásica simétrica, es aquella que genera tres corrientes de magnitudes y fases iguales respecto a la tensión.

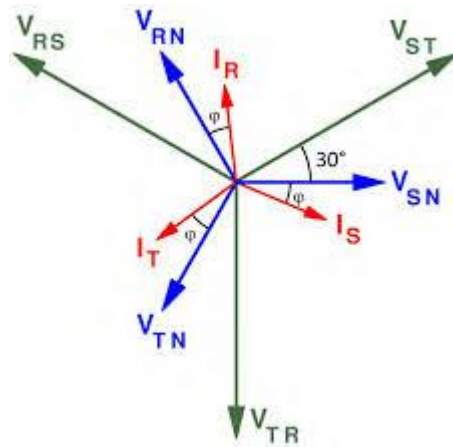


Figura 21. Sistemas fasoriales de la Red

Los sistemas desbalanceados pueden analizarse a partir de la representación por medio de tres sistemas trifásicos compuestos como lo indica la figura, por dos ternas (trifásicas) simétricas y una tercera compuesta por una terna de igual magnitud, pero de igual fase.

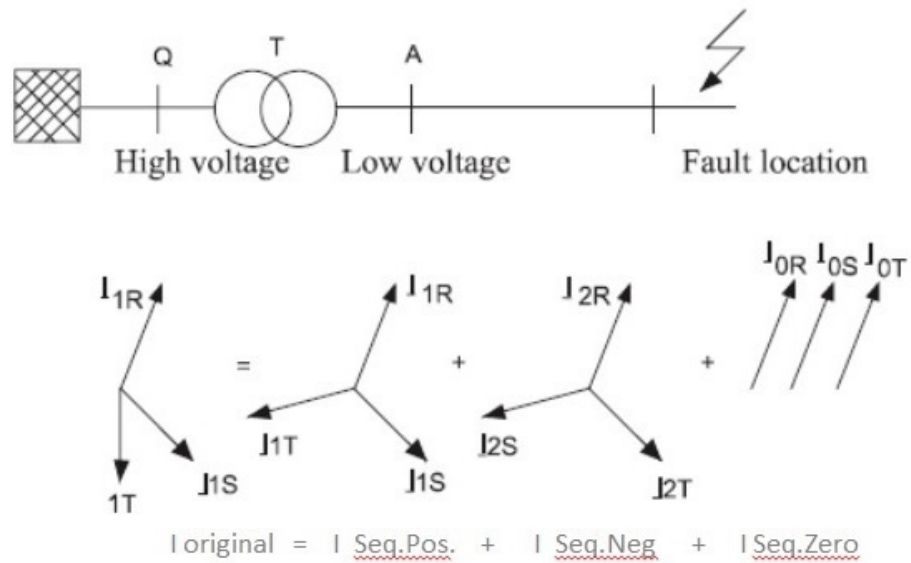


Figura 22. Componentes simétricas

- La terna de secuencia positiva corresponde al flujo de potencia que proviene de la red hacia la carga, es decir, desde el generador hacia aguas abajo. La potencia suministrada o energía eléctrica generada tiene únicamente

representación de secuencia positiva, o sea, no existe generación de secuencia negativa u homopolar, en los sistemas de generación simétricos.

- La terna de secuencia negativa, la componente negativa, es una indicación de la medida de desbalance existente en el sistema (trifásico), o sea, de la falta de simetría entre los fasores de tensión en el punto de conexión.
- La presencia de componentes de secuencia homopolar se vincula a la conexión respecto de tierra. Las corrientes homopolares son aquellas que no cierran el circuito por las fases activas, sino que lo hacen por el neutro, o por tierra, si existiera vinculación galvánica con el circuito. Las tensiones homopolares en un sistema estrellan se encuentran en el centro de estrella de cargas, cuya magnitud se mide respecto de tierra o del centro estrella de generación.

Causas de Desbalance de Tensiones

La principal causa son las cargas monofásicas sobre el sistema trifásico, debido a una distribución no homogénea, en especial la de consumidores de baja tensión de índole monofásicos. Para igual dispersión de cargas monofásicas, la configuración del tipo de red de distribución y transmisión incide sobre la propagación del desbalance. La configuración de red radial mostrará niveles mayores que una red mallada. Las impedancias propias y mutuas entre fases no balanceadas presentarán desbalances en las caídas de tensión aún con cargas simétricas. El efecto de un banco trifásico de capacitores con una fase fuera de servicio presentará un desbalance de compensación de corriente reactiva capacitiva. Los hornos de arcos trifásicos, por su naturaleza de funcionamiento, presentan desbalances de carga variable a lo largo del proceso de fundición.

Consecuencias del Desbalance de Tensiones

En general, los efectos se resumen en la aparición de componentes de corriente de secuencia inversa y homopolar que dan como resultado:

- Pérdidas adicionales de potencia y energía.
- Calentamiento adicional de máquinas, limitándose la capacidad de carga nominal.
- Reducción de los sistemas de distribución en el de transporte de potencia.
- Propagación de desbalance a otros nodos de conexión de la red.
- Para el caso del transformador con conexionado Yy, si la carga del transformador es desequilibrada, se producen flujos alternos en las columnas que van en fase, lo que da lugar a tensiones homopolares que provocan un desequilibrio en las tensiones simples.

3.6.3. Armónicos de la Corriente de Vacío

Cuando un transformador trabaja en vacío ($i_2=0$) la corriente que absorbe del primario i_0 se denomina corriente de vacío y es análoga a la corriente de excitación de una bobina con núcleo de hierro.

La curva de imantación de un material ferromagnético es no lineal y de hecho el punto de trabajo normal en las máquinas eléctricas está en el codo de la curva de magnetización del material, lo que ejerce gran influencia en la forma de la curva de corriente de excitación, que no será senoidal.

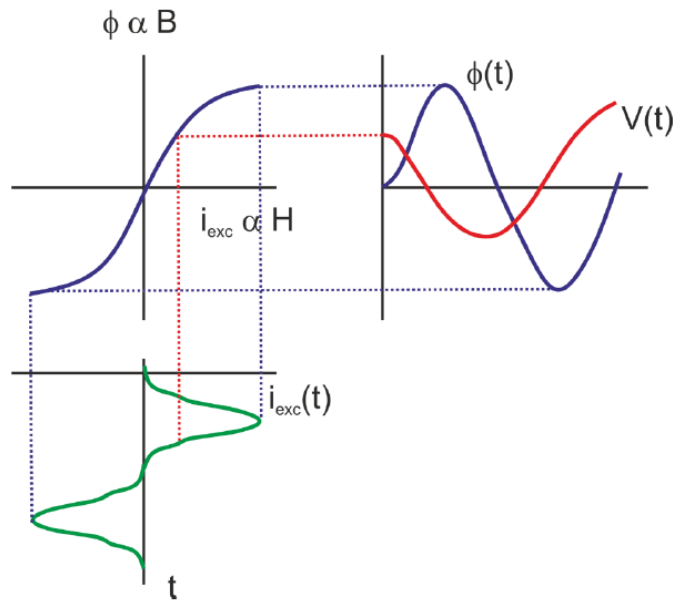


Figura 23. Armónicos de la corriente de vacío

La forma de la onda de corriente no es senoidal y por desarrollo en serie de Fourier se puede demostrar que está formada por los armónicos impares. Se puede considerar que la corriente está compuesta por una componente fundamental de 50 Hz y un 3er armónico a 150 Hz.

Asimismo, la circulación en líneas aéreas del 3er armónico de corriente puede interferir por inducción mutua con líneas telefónicas paralelas cercanas, pues 150 Hz están en el rango audible.

Las caídas de tensión de 3er armónicos en la línea modifican la tensión a finales de línea.

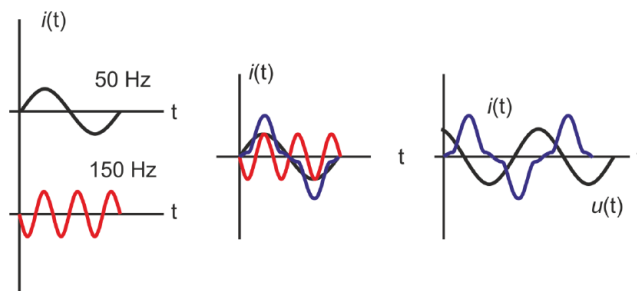


Figura 24. Tercera armónica

Armónicos en las Corrientes de Excitación de Transformadores Trifásicos

Si consideramos el transformador con conexionado Yy (Estrella – Estrella):

- Cuando no se dispone de neutro en el primario, entonces no circula 3° armónicos de corriente, pero si el flujo magnético tiene 3° armónicos.
- Al ser el núcleo trifásico la suma de los flujos de las tres columnas debe ser 0 ya que no existe una cuarta columna de retorno. Por tanto, los flujos fundamentales son cero porque están desfasados en 120° pero no los de 3° armónicos.
- Por tanto, los 3° armónicos reflujo tienden a cerrarse por una cuarta columna de retorno que es el aire, lo que representa un camino de gran reluctancia y por tanto apenas existirán terceros armónicos de flujo; las tensiones simples secundarias no presentarán terceros armónicos de gran consideración.
- Una forma práctica de eliminar el flujo de 3° armónicos es evitando que salten por el aire para ello se conecta el secundario en triángulo. Porque en este caso se produce una corriente de terceros armónicos inducida, que circulará por los tres devanados secundarios creando un flujo en oposición a los flujos armónicos producidos por las corrientes primarias de excitación. Por tanto, se ha producido una anulación de los flujos de tercer armónico.
- Se consigue el mismo efecto dotando al transformador Yy de arrollamiento de compensación. El devanado terciario es un arrollamiento conectado en triángulo sin conexión al exterior, cuyo principio de funcionamiento es análogo al de la conexión del secundario en triángulo. Este montaje se utiliza

cuando se desea eliminar los flujos armónicos y se quiere disponer de neutro secundario.

La conexión Y-y es ventajosa cuando han de enlazarse dos sistemas de tensiones relativamente altas, y en los casos en donde no existe desplazamiento de fase entre las tensiones de primario y secundario.

Sin embargo, presenta los siguientes inconvenientes: 1) Si la carga del transformador es desequilibrada, se producen flujos alternos en las columnas que van en fase, lo que da lugar a tensiones homopolares que provocan un desequilibrio en las tensiones simples; y 2) Existen terceros armónicos de tensión. Se puede corregir conectando rígidamente a tierra los neutros, aunque esto permite que circulen armónicos de corriente de vacío.

Si consideramos el transformador con conexionado Yd (Estrella – Delta):

- El conexionado Yd no tiene problemas con los componentes de tercer armónico de tensión. La conexión se comporta bien bajo cargas desequilibradas, ya que el triángulo redistribuye parcialmente cualquier desequilibrio que se presente.
- Tiene el inconveniente de que las tensiones secundarias sufren un desplazamiento de 30° con respecto a las tensiones del primario, lo que puede provocar problemas al conectar en paralelo los secundarios de dos grupos de transformadores, pues deben tener el mismo índice horario.
- La conexión Yd se adapta bien a transformadores en sistemas de alta tensión en el extremo reductor de tensión de la línea.

El conexionado Dy (Delta – Estrella) presenta las mismas ventajas y el mismo desplazamiento de fase que la conexión Yd. Se utiliza como transformador elevador en las redes de A.T. También es utilizado en transformadores de distribución, correspondiendo la estrella al lado de baja tensión, que permite de este modo alimentar cargas trifásicas y cargas monofásicas. El primario en triángulo tiende a compensar los desequilibrios producidos por las cargas monofásicas.

El conexionado Dd (Delta – Delta), se utiliza en transformadores de baja tensión, ya que necesita más espiras/fase de menor sección. Se comporta bien frente a cargas desequilibradas.

El conexionado Yz (Estrella – Zigzag), la conexión zig-zag se emplea únicamente en el lado de baja tensión. Se utiliza en redes de distribución, ya que permite de neutro en el secundario. Se comporta bien a desequilibrios de cargas. Debido a la composición de tensiones de lado secundario, se requiere un 15% más de espiras que en una conexión en estrella convencional.

3.7. Transformador de Potencia con Devanado de Compensación (YNyn+d)

Dentro del marco teórico del presente ya se ha mencionado conceptos generales y partes de los transformadores de potencia, sin embargo a fin de realizar las evaluaciones, motivo de la presente investigación, es necesario conocer a detalle otros aspectos fundamentales de estos equipos, así como algunas partes adicionales que intervienen en la evaluación a fin de determinar aspectos operativos del transformador de potencia de las características mencionadas (Transformador de potencia con Devanado de Compensación o estabilización).

Para ello echaremos un vistazo rápido a las partes más importantes del transformador de potencia, centrándonos algo más en detalle en aquellas partes más críticas para soportar los esfuerzos electrodinámicos producidos por distintos tipos de cortocircuitos.

3.7.1. El Núcleo Magnético

En un transformador no existe una conexión eléctrica entre los diferentes arrollamientos. La energía se transfiere desde el arrollamiento primario al secundario por medio del campo magnético. El núcleo magnético está formado por un material magnético de baja reluctancia, y por tanto es el soporte físico para la circulación de flujo magnético engendrado por la corriente circulante en los arrollamientos. Este núcleo magnético está formado por el apilamiento de finas chapas de un material ferromagnético, aisladas entre sí por una capa de Carlite, para minimizar las pérdidas por corrientes de Foucault. Dicho material ferromagnético seguirá una determinada curva de magnetización, la cual nos dictará las llamadas pérdidas por histéresis.

En transformadores de cierta potencia, donde su tamaño obligue a hacer uniones entre las distintas secciones de chapa magnética, o en el cierre de la culata superior, se hará mediante una técnica llamada Step-Lap (Figura 18), donde se intercalarán las chapas de una sección y la otra, a las cuales se les han propinado unos cortes longitudinales a 45° consiguiendo así que las pérdidas en dichas uniones se vean mermadas.



Figura 25. Unión mediante técnica Step-Lap.

3.7.2. Arrollamientos

Los arrollamientos serán los encargados de conducir la corriente eléctrica. Estos elementos se compondrán de un elemento conductor eléctrico, normalmente cobre o aluminio, el cual se recubre con un elemento aislante, que, dependiendo de la tensión del equipo, podrá ser esmalte, resina o papel impregnado en aceite. Los arrollamientos tendrán también una serie de espaciadores de papel prensado que separarán cada vuelta de conductor del mismo arrollamiento, y una serie de listones, del mismo material que los espaciadores, que separan el núcleo magnético de los arrollamientos o los arrollamientos de distinta tensión entre sí como se puede apreciar en la Figura 20.



Figura 26. Bobinado de un arrollamiento

3.7.3. Disposición de los Arrollamientos

En transformadores de columnas, los distintos arrollamientos: baja tensión (BT), alta tensión (AT), Regulación (R) y Terciario (T); se colocan de forma concéntrica en cada columna del núcleo magnético. La disposición clásica de los arrollamientos es la siguiente: Habitualmente el arrollamiento más interno es el arrollamiento Terciario, ya que frecuentemente éste es el arrollamiento de menor tensión y por ello es el más fácil de aislar respecto del núcleo. No obstante, esta configuración debe ser observada con mayor detenimiento, ya que este devanado consta de conductores de menor sección, por tanto, más débiles mecánicamente, por lo que debe describir una circunferencia lo más perfecta posible para que en caso de esfuerzos de cortocircuito (en esta posición tendrá esfuerzos de compresión) no se deforme. Seguidamente se suele colocar el arrollamiento de baja tensión ya que éste es más fácil de aislar que el arrollamiento de alta tensión.

Tras el arrollamiento de baja tensión se coloca el devanado de alta tensión y seguido de éste se suele colocar el arrollamiento de Regulación, puesto que del mismo se extraen numerosas tomas, siendo mucho más engorroso que este arrollamiento fuera interior.

La anterior es la disposición clásica de los arrollamientos. No obstante, algunos fabricantes colocan el arrollamiento Terciario como el arrollamiento más externo, ya que de esta manera el arrollamiento trabajará a expansión, y es más fácil conseguir que un arrollamiento soporte esfuerzos de expansión que de compresión.

Por último, algunos fabricantes intercalan el devanado de estabilización entre el arrollamiento de AT y el de Regulación para facilitar el ordenamiento de todas las tomas de regulación hacia el cambiador de tomas.

3.7.4. Función Específica del Devanado de Compensación

El devanado de compensación cumple funciones muy específicas, tales como:

- Filtrar los armónicos de tercer orden,
- Soportar corrientes de fallo
- Emplearse como devanado auxiliar

Un transformador puede tener múltiples devanados incluyendo el devanado terciario. Aunque en la mayoría de los transformadores de potencia se emplean solo dos devanados, el primario y el secundario, se podría adicionar un tercero, este se conoce como un devanado terciario y su conexión es en delta.

3.7.5. Diseño y Especificaciones

La metodología de diseño aplicada toma como punto de partida la corriente de fallo de secuencia cero que afectan al devanado de alta tensión y al de baja tensión, así como el devanado de compensación al cual se debe especificar su tensión. Para calcular el devanado de compensación hay que conocer el valor de la corriente que circulará por él, para ello se emplean dos metodologías: Utilizando la ecuación 01, para ello es necesario tener la información del sistema de potencia donde se instalará el transformador.

$$I_{03} = \frac{P_{SC3}}{\sqrt{3}xU_3} \quad (1)$$

Donde,

P_{SC3} : Es la potencia de cortocircuito que soportara el devanado terciario.

U_3 : Es la tensión que soportara el devanado terciario.

La potencia de cortocircuito que soportará el devanado terciario se calcula con base en la potencia de cortocircuito del devanado de alta tensión y baja tensión, ecuación 02.

$$P_{SC3} = P_{SC1} - P_{SC2} \quad (2)$$

Donde,

P_{SC1} : Potencia de cortocircuito de secuencia cero para el devanado secundario.

P_{SC2} : Potencia de cortocircuito de secuencia cero para el devanado primario.

P_{SC3} : Potencia de cortocircuito de secuencia cero para el devanado terciario.

En el caso de no se conocer las condiciones del sistema, la corriente del devanado de compensación se puede calcular a partir de la corriente de cortocircuito que se calcula en la evaluación de los parámetros de cortocircuito.

Posteriormente, se establece un porcentaje de corriente, como un acuerdo cliente –reparador, con la cual será construido el devanado terciario, con esta corriente se calcula la tensión a la que trabajará el devanado, ecuación 03.

$$U = \frac{S_{CC}}{3xI_f} \quad (3)$$

Donde,

S_{CC} : Es la potencia del devanado terciario (tomado a partir de las condiciones del sistema de potencia o de los parámetros empleados en el cálculo de los parámetros de cortocircuito).

I_f : Es la corriente por fase que circulará por el devanado.

Las especificaciones técnicas y tabla de datos técnicos garantizados se pueden apreciar en el Anexo 01.

3.7.6. Consecuencias Favorables y Desfavorables

La existencia del devanado Terciario o devanado de compensación hace que la impedancia homopolar sea baja, lo que ocasionará grandes corrientes en caso de falta a tierra, pero a su vez bajas tensiones (sobretensiones) en las fases sanas. Con esto se obtendrá un ahorro en el aislamiento de los equipos, aunque se tendrá que tener gran cuidado en el diseño de los elementos de la red para soportar esfuerzos electrodinámicos, ya que las fuerzas en ellos serán superiores al tener altas corrientes. Esto se verá más adelante, y se podrá comparar varias configuraciones de transformadores con y sin Terciario.

Al tener una impedancia homopolar pequeña, el equipo será más favorable para el cumplimiento de las condiciones que garantizan tener el sistema efectivamente puesto a tierra ($X0/X1 < 3$ y $R0/X1 < 1$), por ello las sobretensiones en las fases sanas no sobrepasarán 1,4 veces la tensión simple de servicio

Los grandes transformadores no guardan una semejanza geométrica con los más pequeños, ya que existe un límite de dimensiones de la cuba, por la necesidad de transportarlo hasta su lugar de explotación, ya sea por carretera o ferrocarril (existencia de gálivos). Esto hace que en el caso de grandes transformadores los arrollamientos se acerquen más a la cuba y por lo tanto el calentamiento de la cuba debido a los flujos de dispersión, que en transformadores más pequeños apenas tenía importancia, cobre ahora protagonismo. De no existir arrollamiento de estabilización, podrían existir puntos calientes en la cuba al atravesarla los flujos dispersos.

Anula los flujos homopolares debidos bien sea a los armónicos de tensión como a los desequilibrios de las cargas.

De este devanado terciario, se puede tener terminales al exterior para alimentar los circuitos auxiliares del centro de transformación, sin embargo, no es recomendable.

El costo del transformador es mayor, el uso de arrollamiento Terciario lleva acarreado el uso de más cobre que el necesario para el trasvase de energía entre primario y secundario. Además, el alojar un arrollamiento más, hace que la ventana del transformador tenga mayores dimensiones, por lo que se precisa mayor cantidad de hierro. También tendrán un precio los distintos accesorios que deberemos colocar (terminales, separadores, caperuzas o pantallas, etc.).

En consecuencia, a las condiciones anteriores, el peso y las dimensiones del equipo aumentarán proporcionalmente. Al aumentar el tamaño las pérdidas en el hierro de estos transformadores serán mayores. Además, por el interior del

Terciario siempre circularán componentes homopolares de la corriente de vacío o resultantes de pequeños desequilibrios.

Otro problema importante será el estudio y dimensionamiento de este transformador ante distintos tipos de cortocircuitos en el lado de alta y el de baja tensión, y no sólo para que los arrollamientos primario y secundario aguanten los esfuerzos producidos por la circulación de altas corrientes, sino para el arrollamiento Terciario, mucho más frágil por tener secciones de conductor inferiores.

Otro estudio muy crítico (quizá el más peligroso) es el estudio de cortocircuitos en el propio arrollamiento Terciario, ya que, en caso de suceder, el transformador tendría graves desperfectos. Es así como tendremos un gran punto débil localizado en el Terciario

3.8. Transformador Zig – Zag

Muchos sistemas eléctricos operan totalmente aislados de tierra o puestos a tierra a través de una impedancia. A pesar de las ventajas que esto proporciona, pero una desventaja es su insensibilidad a las fallas monofásicas a tierra. Estas fallas monofásicas a tierra, que no se caracterizan por un corto circuito común, no posibilitan una adecuada protección.

En un sistema no puesto a tierra, el conductor puede caer a tierra sin que actúe la protección. Para aprovechar las ventajas del sistema no puesto a tierra y también aprovechar la ventaja principal de un sistema puesto a tierra, es decir, alta sensibilidad a las fallas a tierra hace la necesidad de utilizar un transformador de puesta a tierra. Un

transformador de puesta a tierra es un transformador que opera en vacío y tiene las siguientes características:

- Tiene una impedancia infinita en operación normal del sistema, por tanto, es una característica del sistema no puesto a tierra.
- Tiene una impedancia pequeña bajo fallas monofásicas, es decir, tiene la característica de sistema puesto a tierra.

El transformador de puesta a tierra puede estar conectado en estrella-delta más un transformador Zig-Zag en el lado Delta. Instalado para proveer una impedancia homopolar de secuencia cero en su punto de instalación, de forma tal, que, en sistemas aislados de tierra, se tenga una corriente limitada de falla monofásica que permita detectarla cuando ocurra.

Es un transformador común de relación 1:1, conectado especialmente como autotransformador, cuyas bobinas de fases distintas comparten el mismo flujo magnético. Este es un dispositivo con sus seis devanados, pero conectados de una manera conveniente en Zig-Zag.

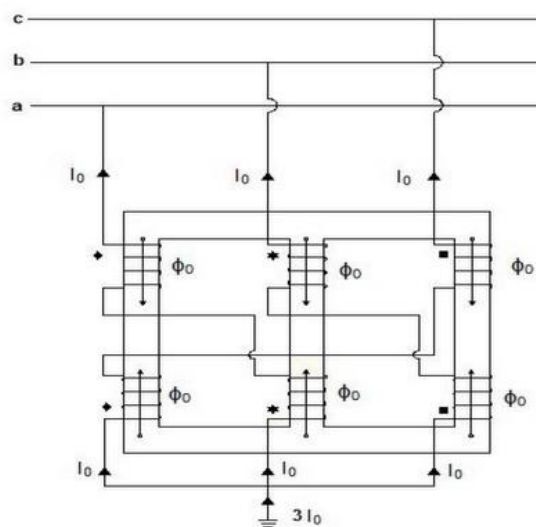


Figura 27. Conexión del Transformador Zig-Zag

Este tipo de transformador ofrece un camino a la corriente de falla. Para sistemas en DELTA de tal manera que la falla se pueda detectar e interrumpir. La conexión en zig-zag se emplea únicamente en el lado de baja tensión y es empleado para transformadores reductores de distribución, de potencia hasta 400 KVA; para mayores potencias resulta más favorable el transformador conectado en triángulo estrella.

Para conectar un transformador en zig-zag se requiere que los devanados de baja tensión estén divididos en dos partes iguales, ya que en caso contrario no es posible realizar la conexión en zig-zag. El transformador se fabrica exactamente como un transformador trifásico sumergido en aceite.

Adicionalmente, para limitar las corrientes de falla, se pueden añadir resistencias, y pueden insertarse entre el punto neutro y tierra, o entre las terminales del aparato.

3.8.1. Principio de Funcionamiento

Las secuencias positivas y negativas están bloqueadas por el transformador conectado en Zig-Zag. En una falla monofásica a tierra, las corrientes de secuencia cero están en fase a través de la conexión a tierra del transformador en Zig-Zag. Como las bobinas del transformador están conectados en Zig-Zag, las corrientes indicadas en la figura. Se producen flujos magnéticos que son contrabalanceados o compensados con un flujo magnético idéntico en sentido contrario. Por tanto, en cada lado del transformador los flujos se anulan, posibilitando el paso de las corrientes de secuencia cero. Así, este transformador aterriza el sistema aislado a través de una impedancia de secuencia cero, que es muy pequeña. El transformador de puesta a tierra en Zig-Zag presenta una reactancia de secuencia cero X_0 muy pequeña, por tanto, se

consideran aptos para su uso en los sistemas eléctricos aislados. La conexión presentada en la figura anterior puede ser representada esquemáticamente en la siguiente figura.

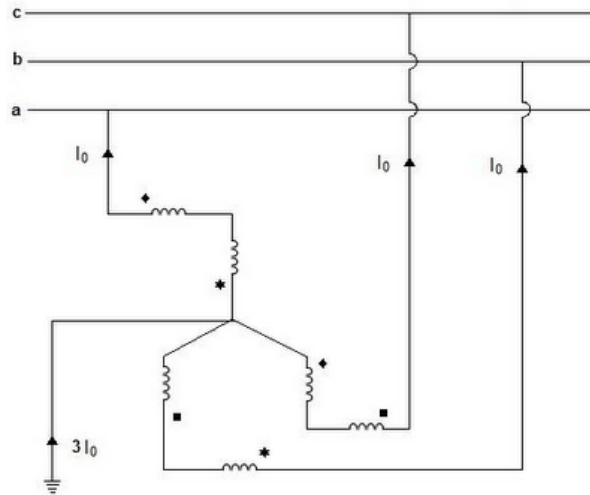


Figura 28. Esquema de conexión del transformador Zig-Zag

Obsérvese en la figura las bobinas que están acopladas en el mismo núcleo del transformador están en paralelo. En una falla monofásica a tierra los flujos son contrarios, aterrando instantáneamente el sistema eléctrico.

3.8.2. Diseño y Especificaciones

Calculo de la Potencia Nominal del Transformador Zig-Zag

La capacidad del transformador zigzag se determina en función de la tensión fase- tierra, de la corriente de falla a tierra diseñada para soportar durante condiciones de falla, y un factor K que depende del tiempo de duración de falla (Electrical Transmission And Distribution Reference Book – Westinghouse):

$$KVA = U_{L-N} \times I_F \times k$$

El factor K que determina el transformador, conexión Zig-Zag, en un tiempo de 10 segundos, ver el siguiente cuadro.

Escala tiempo	Conexión Zig-Zag				
	2.4 a 13.8 kV	23 a 34.5 KV	46 KV	69 kV	92 kV
10 segundos	0.064	0.076	0.080	0.085	0.092
1 minuto	0.104	0.110	0.113	0.118	0.122
2 minutos	0.139	0.153	0.160	0.167	0.174
3 minutos	0.170	0.187	0.196	0.204	0.212
4 minutos	0.196	0.216	0.225	0.235	0.245
5 minutos	0.220	0.242	0.253	0.264	0.275
1 minuto	0.033	0.037	0.040	0.043	0.046
2 minutos	0.046	0.051	0.055	0.060	0.064
3 minutos	0.057	0.064	0.068	0.074	0.080
4 minutos	0.065	0.073	0.078	0.084	0.091
5 minutos	0.073	0.082	0.088	0.095	0.102

Fuente: Electrical Transmission and Distribution Reference book by Central Station of the Westinghouse Electric Corporation.

Calculo de la Impedancia Z_0 de la Red

Al conectar el transformador zigzag al nivel de tensión determinado en kV se obtiene una impedancia de secuencia cero por donde se cierra el circuito para la circulación de la corriente seleccionada de fallas a tierra. La impedancia de secuencia cero es igual a la suma de la impedancia del transformador zigzag y la resistencia de puesta a tierra. Al conectar las redes de secuencia positiva, negativa y cero para una falla monofásica a tierra se tiene el siguiente circuito.

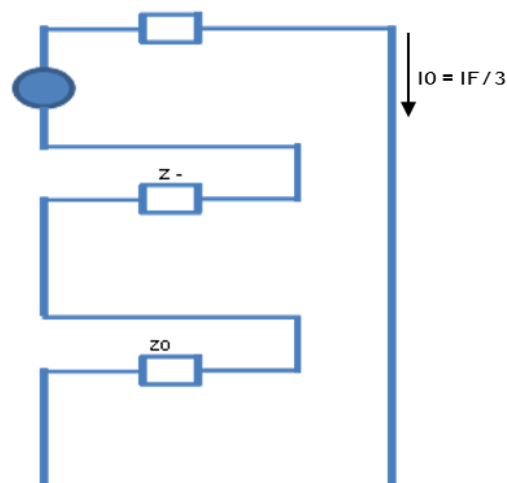


Figura 29. Conexión de la red de secuencia positiva, negativa y cero

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El método analítico aplicado en la presente investigación demandó la aplicación de cálculos tales como, flujos de potencia para los casos de evaluación de 04 posibles soluciones a la implementación de un nuevo transformador de potencia dentro de una subestación, estos casos son:

- *Transformador con Conexionado Ynd11 sin transformador Zigzag.*
- *Transformador con Conexionado Ynd11 con transformador Zigzag.*
- *Transformador con Conexionado Ynyn11 sin devanado de compensación.*
- *Transformador con Conexionado Ynyn11 con devanado de compensación.*

Para todos los casos se evaluaron condiciones de máxima demanda y régimen transitorio por falla simétrica (falla trifásica) y falla asimétrica (falla monofásica).

Adicionalmente, el transformador zig-zag, debido a su requerimiento específico, es necesario ser calculado y diseñado en función a las condiciones del sistema donde será

implementado; por lo tanto, en la presente se realizó el diseño y cálculo para la especificación de este.

4.1. Bajo Condiciones de Corto Circuito Trifásico

El análisis de cortocircuito trifásico se realizó en la barra del lado de baja del transformador de potencia, se ejecutó mediante el programa DigSilent. Los resultados obtenidos en cada conexión se muestran en la tabla 5.

Tabla 5.
Resultado de análisis de cortocircuito trifásico

Conexión	Potencia de Cortocircuito Inicial	Corriente de Cortocircuito Inicial	Corriente Pico	Razón X/R (pico)
	Skss (MVA)	Ikss (kA)	Ip (kA)	Xtor
Ynd11 sin Trafo Zig-zag	332.1	5.8	15.3	20.4
Ynd11 con Trafo Zig-zag	332.1	5.8	15.3	20.4
Ynyn11 sin devanado de compensación	332.1	5.8	15.3	20.4
Ynyn+d11 con devanado de compensación	332.1	5.8	15.3	20.4

Como se puede apreciar de los resultados ante una falla trifásica el resultado es el mismo debido a que la corriente de cortocircuito trifásico depende única y exclusivamente de la impedancia de cortocircuito del transformador, que es una especificación de compra de los transformadores de potencia. Los resultados de las simulaciones se pueden apreciar en el Anexo 03.

4.2. Bajo Condiciones de Corto Circuito Monofásico

El análisis de cortocircuito monofásico se realizó en la barra del lado de baja del transformador de potencia, se ejecutó mediante el programa DigSilent. Los resultados obtenidos en cada conexión se muestran en la tabla 6.

Tabla 6.
Resultado de análisis de cortocircuito monofásico

Conexión	Potencia de Cortocircuito Inicial fase A	Corriente de Cortocircuito Inicial fase A	Corriente Pico fase A	Impedancia a secuencia cero- Parte Real	Impedancia a secuencia cero- Parte Imaginaria	Impedancia a secuencia positiva- Parte Real	Impedancia a secuencia positiva- Parte Imaginaria
	Skss A (MVA)	Ikss A (kA)	Ip A (kA)	R0 (Ohm)	X0 (Ohm)	R1 (Ohm)	X1 (Ohm)
Ynd11 sin Trafo Zig-zag	0	0	0	1412.26	-1017616	0.18	3.6
Ynd11 con Trafo Zig-zag	134.9	7.08	12.46	3.63	0.73	0.18	3.6
Ynyn11 sin devanado de compensación	99.59	5.23	13.79	0.43	4.8	0.18	3.6
Ynyn+d11 con devanado de compensación	99.59	5.23	13.79	0.43	4.8	0.18	3.6

Transformador YNd11 sin implementación de Transformador Zig-Zag:

En el conexionado Ynd11 las corrientes de cortocircuito, tienden a ser cero, lo cual será imposible que un relé con funciones básicas de protección de feeder o alimentador pueda discriminar y actuar a fin de proteger los equipos y personas; por lo tanto, se deberá implementar relés con funciones especiales (sensitivo, direccionalidad de corriente, otros), el uso de estos relés incrementa el costo de protección ya que requerirán en algunos casos la implementación de transformadores de corriente toroidales para censar las corrientes homopolares.

Transformador YNd11 con implementación de Transformador Zig-Zag:

En el conexionado Ynd11 con transformador zig-zag si muestra los valores de corriente de cortocircuito considerables, debido a que el transformador zig-zag sirve de camino a la corriente de falla, de tal manera, que estas se pueden detectar e interrumpir a fin de protección al transformador de potencia.

Transformador YNyn con o sin devanado de compensación:

En el conexionado Yyn11, en el caso de tener y no tener devanado de compensación siempre se registrará las corrientes de cortocircuito considerables ya que se encuentra aterrado y así se pueda detectar estas, e interrumpir a fin de protección del transformador de potencia. Cabe señalar que el transformador Estrella – Estrella sin devanado de compensación, presenta características operativas no recomendables mencionadas en los ítems anteriores.

4.3. Diseño del Transformador Zig-Zag

MEMORIA DE CALCULO- DIMENSIONAMIENTO DE TRAF0 ZIGZAG

1. DATOS DE TRANSFORMADOR

POTENCIA NOMINAL	MVA :	75
TENSION NOMINAL	kV :	33
CORRIENTE NOMINAL	A :	1312.16

2. DATOS PARA DISEÑO

Tensión Nominal (kV)	kV :	33
Corriente 3I0 (A)	A :	3851
Resistencia de puesta a tierra	:	S/R
Corriente 3f	A :	16880

3. CALCULO DE POTENCIA

$$KVA = U_{L-N} \times I_F \times k$$

POTENCIA zz	:	4695.77 KVA
-------------	---	-------------

La capacidad mínima del transformador zigzag debe ser **4695.77 kVA** para poder soportar una corriente de falla a tierra de **3851 A** durante **10 segundos**.

La selección de un transformador zigzag:

Potencia nominal	:	4696	kVA
Tensión nominal	:	33	kV
Corriente nominal x fase	:	82.16	A

En el Anexo 04 se detalla mayores procedimientos para el diseño del transformador Zig-Zag.

4.4. Evaluación Económica

Para la comparación se tomará como base el precio de un transformador 138/35.5 kV de 75 MVA Ynd11. Cuyo monto es de 1'130,000.00 dólares americanos. La cotización se adjunta en el Anexo 05. Cotización Referencial.

El precio de un transformador de potencia 138/33 kV de 75 MVA Ynyn11 se considerará igual al de la conexión Ynd11.

Para obtener el costo del transformador YnYn11 con devanado de compensación se usará la tabla 7, donde muestra el porcentaje de aumento al contar con el devanado de compensación.

Tabla 7.
Porcentajes de aumento para devanado de compensación

	Precio	Peso	Dimensiones	Pérdidas
Diseño CON Terciario frente a diseño SIN Terciario	+ 3 ÷ + 6 %	+ 4 ÷ + 10 %	+ 2 ÷ + 8 %	+ 1 ÷ + 4 %

Ramos, A.: Consideraciones acerca de la utilización de arrollamientos de estabilización en transformadores de potencia estrella-estrella y su aplicación a la red de Unión Fenosa Distribución. Tesis de máster, Universidad Carlos III de Madrid, febrero 2010.

Para tener una buena comparación económica se tendrá que ver la necesidad de complementar algún equipo en algunos casos para que el transformador de potencia trabaje en buenas condiciones y no sufra algún problema en eventos que pudiera ocurrir en el sistema.

La tabla 8 presenta los costos necesarios por cada tipo de conexión.

Tabla 8.
Costos para cada tipo de conexión

Tipo de Conexión	Costo del Transformador (\$)	Costos Adiciones (\$)			Total
		Transformador Zigzag	Relés especiales	Devanado de Compensación	
Ynd11	1,130,000.00		30,000.00		1,160,000.00
Ynd11	1,130,000.00	114,000.00			1,244,000.00
Ynyn11	1,130,000.00				1,130,000.00
YnYn+d11	1,130,000.00			67,800.00	1,197,800.00

Como se puede apreciar en el cuadro la conexión más aceptable económicamente es el transformador de potencia Ynyn11, sin embargo, por las condiciones operativas presenta condiciones no favorables al sistema, tales como corrientes armónicas del tercer orden, así como inestabilidad ante desequilibrio de tensiones y cargas, por tanto, no se recomienda este tipo de conexionado.

Por otra parte, los conexionados recomendables son: la implementación del transformador de potencia Ynd11 más transformador zig-zag cuyo costo bordea el \$/ 1'244,000.00 dólares americanos y la implementación del transformador YnYn+d11 (con devanado de compensación) cuyo costo borde \$/ 1'197,800.00 dólares americanos; por tanto, salta evidentemente que esta última a pesar de tener un costo más elevado en el suministro del transformador es la alternativa más económica respecto al complemento con el transformador Zig-Zag; por otro lado no se ha evaluado la probabilidad de fallas que puede ocurrir en el transformador zig-zag durante su periodo de operación, ya que de ocurrir una contingencia el sistema se convertiría en un sistema delta, poniendo en riesgo el conjunto siendo necesario la implementación de contingencias tales como relés sensitivos, transformadores toroidales, así como una correcta operación para cambiar el grupo de protección de sistema aterrado ficticiamente a sistema delta aislado.

4.5. Cuadro Comparativo de Alternativas Óptimas

Tabla 9.

Cuadro comparativo de alternativas óptimas

	TTRANSFROMADOR ZIG ZAG	TRANSFORMADOR DE COMPENSACION
VENTAJAS	<p>-Hace frente a la elevada corriente en los neutros.</p> <p>- Eliminan las sobretensiones transitorias, y las tensiones de fase tierra en las fases.</p> <p>-No se produce desequilibrio en el primario cuando se presenta desequilibrio en el secundario.</p> <p>- Conexiones Estrella – Zigzag. Balancear cargas en sistemas muy desbalanceados y permite el acceso y distribución del neutro.</p> <p>- Conexiones Delta – Zigzag. Apto para hacer frente a los armónicos de tres (3°,9°, 15°), atrapándolos.</p>	<p>-Tiene la posibilidad de funcionar con solo dos de sus transformadores.</p> <p>-Las impedancias de los transformadores no necesitan ser igual.</p> <p>-Tener este tipo de transformador se utiliza en circunstancia de falla o cuando las instalaciones tienen proyección de crecimiento.</p>
DESVENTAJAS	<p>-Si una de las fases tiene falla a tierra, el voltaje aplicado a cada fase del transformador ya no está en equilibrio.</p> <p>-Necesariamente las impedancias deben de ser iguales.</p> <p>Principalmente se utiliza en lado de media o baja</p>	<p>-Limita la potencia disponible aproximadamente 60 al 80%. (Déficit de potencia aparente).</p> <p>-La potencia total que los dos transformadores juntos pueden producir equivalentemente a dos tercios del valor nominal del banco original</p> <p>-Debe fluir una corriente de retorno muy grande en el neutro del circuito primario.</p>
RECOMENDACIONES	<p>-Se recomienda su uso cuando el sistema eléctrico opera totalmente aislado de tierra o puestos a tierra a través de una impedancia.</p> <p>-Este transformador aterriza el sistema aislado a través de una impedancia de secuencia cero X_0 muy pequeña. Por lo que se considera apto para su uso en sistemas eléctricos aislados.</p>	<p>Se recomienda su uso como medida temporal</p> <p>Su instalación dependerá de áreas que se espera crecimiento de carga.</p>
COSTOS	1,244,000.00	1,197,800.00
TIEMPO DE FABRICACION	8 a 9 meses	9 a más meses
NOTA	Los transformadores son completamente independientes entre sí, por lo que los circuitos magnéticos también lo son, no produciéndose, por lo tanto, ninguna interferencia o interacción entre los flujos magnéticos producidos.	

CONCLUSIONES

- De las evaluaciones, se ha identificado que el conexionado YNyn, es una alternativa técnicamente desfavorable pero económicamente factible; sin embargo, se descarta en la presente investigación ya que no cumple ambas condiciones (Técnica y económica).
- La alternativa Ynd11 más transformador zig-zag, cumple con aspectos técnicos óptimos, sin embargo, requiere de mayor equipamiento para garantizar su correcta operación por lo que no cumple las condiciones planteadas (“EQUIPO QUE NO EXISTE, EQUIPO QUE NO FALLA”); por tanto, se convierte en la alternativa económicamente más costosa.
- Finalmente llegamos a la conclusión que la alternativa técnica y económicamente óptima es la implementación del transformador YnYn+d11 (con devanado de compensación), debido a que cumple con todas las condiciones técnicas operativas, así como la de menor costo entre las alternativas que cumplen el aspecto técnico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [01] **WILLIAM D. STEVENSON, G.** (1979). Análisis de Sistemas Eléctricos de Potencia.
- [02] **MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS.** (2008). www.minem.gob.pe.
- [04] <http://www.minem.gob.pe>
- [05] **MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS.**
- [06] **COMITÉ DE OPERACIÓN ECONÓMICA DEL SISTEMA INTERCONECTADO NACIONAL.**
(2017). Informe del Diagnóstico de las condiciones operativas del SEIN 2019-2028.
- [07] **RAMÍREZ CASTAÑO, S.** (2009). Redes de Distribución de Energía. Colombia: Manizales, Tercera Edición.
- [08] **SAMANIEGO, J. L.** (2009). Cambio climático y desarrollo en América Latina y el Caribe: una reseña. Santiago de Chile: CEPAL - gtz.
- [09] **SÁNCHEZ CARLESSI, H., & REYES MEZA, C.** (1996). Metodología y diseños en la investigación científica (Segunda ed.). Lima, Perú: Gráfica Los Jazmines.
- [10] **SHORT, T.** (2004). ELECTRIC POWER DISTRIBUTION - HANDBOOK. New York: CRC PRESS.
- [11] **ABB.** (2017). Seguridad Aumentada con el DCB.

ANEXOS

**ANEXO 01: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS Y TABLA DE DATOS
TECNICOS GARANTIZADOS DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA**

TABLA DE DATOS TECNICOS GARANTIZADOS
TRANSFORMADOR DE POTENCIA TRIFÁSICO 138/35.5 kV
60/75 MVA (ONAN/ONAF)

Nº	DESCRIPCION	UNIDAD	REQUERIDO	GARANTIZADO
1.0	DATOS GENERALES			
1.01	Fabricante		Inf. Fabricante	
1.02	Tipo		Trifásico Dos devanados	
1.03	País de fabricación		Inf. Fabricante	
1.04	Altitud de instalación	m.s.n.m.	2400	
1.05	Normas de fabricación		IEC 60076	
2.0	DATOS NOMINALES Y CARACTERISTICAS			
2.01	Frecuencia nominal	Hz	60	
2.02	Potencia nominal continua (ONAN / ONAF)		ONAN ONAF	
	- Primario	MVA	60 75	
	- Secundario	MVA	60 75	
2.03	Relación de transformación en vacío AT/BT			
	- Primario	kV	138 (+/-13 x 1.25%)	
	- Secundario	kV	35.5	
2.04	Características de Tensión:			
	- Tensión nominal			
	. Devanado de AT	kV	138	
	. Devanado de MT	kV	35.5	
	- Tensión máxima de servicio			
	. Devanado de AT	kV	145	
	. Devanado de MT	kV	36	
2.05	Conexión de los arrollamientos		YNd11	
2.06	Número de terminales			
	- Número de terminales en el primario + neutro	#	4	
	- Número de terminales en el secundario	#	3	
2.07	Esquemas			
	- Esquema de conexión primario		Estrella - neutro aterrado	
	- Esquema de conexión secundario		Delta	
2.08	Temperatura con carga continua para temperatura ambiente máximo de 40 °C			
	- Aceite	°C	60	
	- Arrollamiento	°C	65	
2.09	Impedancia de cortocircuito en la posición central (Posc. 14)	%	10.6	
2.10	Tolerancia para aplicar a la tensión de cortocircuito, en % del valor garantizado según IEC 76 - 5 sobre:			
	- Toma principal (central)	%	Según norma IEC	
	- Toma principal (superior)	%	Según norma IEC	
	- Toma principal (inferior)	%	Según norma IEC	
2.11	Corriente nominal a potencia de régimen ONAN y ONAF			
	toma de tensión nominal			
	- Arrollamiento primario (ONAN/ONAF)	A	Inf. Fabricante	
	- Arrollamiento secundario (ONAN/ONAF)	A	Inf. Fabricante	

Nº	DESCRIPCION	UNIDAD	REQUERIDO	GARANTIZADO
2.12	Corriente en vacío a través de:			
	- Arrollamiento de alta tensión	A	Inf. Fabricante	
	- Arrollamiento de media tensión	A	Inf. Fabricante	
2.13	Tolerancia para aplicar a la corriente de vacío expresada en % del valor garantizado según IEC	%	Según norma IEC	
2.14	Aptitud del transformador para soportar cortocircuitos externos			
	según IEC 60076-5			
	- Corriente del cortocircuito simétrico, a resistir durante 3 s			
	. Arrollamiento primario	kA	Inf. Fabricante	
	. Arrollamiento secundario	kA	Inf. Fabricante	
3.0	NIVELES DE AISLAMIENTO			
3.01	Aislamiento externo			
a	Lado primario 138 kV			
	- Tensión Máxima del Equipo	kV	170	
	- Tensión de sostenimiento a frecuencia industrial, 1 min	kV	325	
	- Tensión de sostenimiento al impulso 1,2/50 ms	kVp	750	
b	Lado secundario 33 kV			
	- Tensión Máxima del Equipo	kV	52	
	- Tensión de sostenimiento a frecuencia industrial, 1 min	kV	95	
	- Tensión de sostenimiento al impulso 1,2/50 ms	kVp	250	
3.02	Aislamiento Interno (de los arrollamientos)			
a	Arrollamiento primario			
	- Tensión Máxima del Equipo	kV	145	
	- Tensión de sostenimiento a frecuencia industrial, 1 min	kV	275	
	- Tensión de sostenimiento al impulso 1,2/50 ms	kVp	650	
b	Arrollamiento secundario			
	- Tensión Máxima del Equipo	kV	36	
	- Tensión de sostenimiento a frecuencia industrial, 1 min	kV	70	
	- Tensión de sostenimiento al impulso 1,2/50 ms	kVp	170	
4.0	AISLADORES PASATAPAS (BUSHING)		Si	
4.01	Pasatapas del primario (138 kV)			
	- Fabricante		Inf. Fabricante	
	- Tipo		Inf. Fabricante	
	- Material		Porcelana	
	- Norma		IEC 60137	
	- Corriente nominal	A	Inf. Fabricante	
	- Corriente de cortocircuito de corta duración (3 s)	kA	Inf. Fabricante	
	- Corriente de cortocircuito dinámica	kAp	Inf. Fabricante	
	- Línea de fuga específica	mm/kV	25	
	- Distancia de arco	mm	Inf. Fabricante	
4.03	Pasatapas del secundario (33 kV)			
	- Fabricante		Inf. Fabricante	
	- Tipo		Inf. Fabricante	
	- Material		Porcelana	
	- Norma		IEC 60137	
	- Corriente nominal	A	Inf. Fabricante	
	- Corriente de cortocircuito de corta duración (3 s)	kA	Inf. Fabricante	
	- Corriente de cortocircuito dinámica	kAp	Inf. Fabricante	

Nº	DESCRIPCION	UNIDAD	REQUERIDO	GARANTIZADO
	- Línea de fuga específica	mm/kV	25	
	- Distancia de arco	mm	Inf. Fabricante	
5.0	LIMITE DE ELEVACION DE TEMPERATURA			
	Gradientes de temperatura a plena carga en la toma central en ONAN/ONAF			
	- En el devanado	°C	<65	
	- En aceite, parte más alta	°C	<60	
6.0	CAPACIDAD DE SOBRECARGA			
	Sobrecarga permanente admisible, basada en la temperatura más alta del arrollamiento, sin exceder 5 °C del límite garantizado en condiciones ONAF, según IEC 60354	MVA	Inf. Fabricante	
7.0	PERDIDAS GARANTIZADAS			
	- Pérdida total en vacío (pérdidas en el hierro) a la tensión y frecuencia nominal, con la toma de tensión nominal a 75 °C, en condiciones ONAN - Tap central	kW	<=32.3 @ Vnom	
	- Pérdidas totales en el cobre a tensión nominal y temperatura de cobre a 75 °C, en condiciones ONAN - Tap central	kW	<=166.1 kW @ 138/35.5 kV 60 MVA	
8.0	DATOS GENERALES DEL ACEITE AISLANTE			
	- Fabricante		Inf. Fabricante	
	- Tipo		SHELL DIAL-D o similar	
	- Designación del fabricante		Inf. Fabricante	
	- Densidad máxima a 20 °C	kg/m ³	Inf. Fabricante	
	- Viscosidad cinemática máxima:			
	. a + 20 °C	mm ² /s	Inf. Fabricante	
	. a + 15 °C	mm ² /s	Inf. Fabricante	
	- Punto de inflamación, valor mínimo	°C	Inf. Fabricante	
	- Punto de solidificación	°C	Inf. Fabricante	
	- Valor máximo de la neutralización	mg/KOH/g	Inf. Fabricante	
	- Azufre corrosivo		No	
	- Rigidez dieléctrica mínima	kV/mm	Inf. Fabricante	
9.0	INFORMACION SOBRE EL DISEÑO			
	- Densidad máxima de flujo en las columnas a:			
	. Tensión nominal	W/m ²	< 1,8	
	. 105 % de la tensión nominal	W/m ²	< 1,8	
	- Densidad máxima de flujo en los yugos a:			
	. Tensión nominal	W/m ²	< 1,8	
	. 105 % de la tensión nominal	W/m ²	< 1,8	
	- Densidad máxima de corriente a plena carga en la derivación principal			
	. Arrollamiento de alta tensión	A/mm ²	< 3,0	
	. Arrollamiento de media tensión	A/mm ²	< 3,0	
10.0	MASAS, DIMENSIONES Y ESQUEMAS			
10.01	Masas			
a	Masa total del transformador, dispuesto para entrar en servicio	kg	Inf. Fabricante	
b	Masa de:			

Nº	DESCRIPCION	UNIDAD	REQUERIDO	GARANTIZA DO
	- Aceite	kg	Inf. Fabricante	
	- Conjunto núcleo y bobinas	kg	Inf. Fabricante	
	- Tanque y accesorios	kg	Inf. Fabricante	
	- Cobre activo	kg	Inf. Fabricante	
	- Acero activo en el núcleo	kg	Inf. Fabricante	
c	Masa de transporte de la pieza más pesada	kg	Inf. Fabricante	
10.02	Dimensiones			
a	Altura de la fundación a:			
	- Punto más alto del tanque	mm	Inf. Fabricante	
	- Punto más alto del conservador	mm	Inf. Fabricante	
	- Punto más alto del gancho de la grúa para sacar el conjunto núcleo y bobinas	mm	Inf. Fabricante	
b	Espacio total previsto en el suelo			
	- Longitud	mm	Inf. Fabricante	
	- Ancho	mm	Inf. Fabricante	
10.03	Croquis de dimensiones		Si	
10.04	Color del Transformador de Potencia		RAL 7035	
10.05	Espesor de Pintura		Inf. Fabricante	
10.07	Conectores lado de 138 kV		Si, para conductor AAAC de 240 mm ²	
10.08	Salida de cables en cajuela en el lado de 33 kV		Si	
11.0	ESFUERZOS SISMICOS			
	- Aceleración en dirección horizontal	g	0.5	
	- Aceleración en dirección vertical	g	0.3	
	- Frecuencia de Oscilación	Hz	10	
12.00	RADIADORES			
	- Tipo		Inf. Fabricante	
	- Marca		Inf. Fabricante	
	- Fabricante		Inf. Fabricante	
	- Cantidad	#	Inf. Fabricante	
12.01	Dimensiones principales			
	- Largo	mm	Inf. Fabricante	
	- Ancho	mm	Inf. Fabricante	
	- Altura	mm	Inf. Fabricante	
12.02	Características generales de los radiadores			
	- Material		Inf. Fabricante	
	- Presiones hidrostáticas			
	. Sistema aceite	kPa	Inf. Fabricante	
	- Máxima temperatura de operación	°C	Inf. Fabricante	
12.03	Capacidad de cada enfriador			
	- Aceite	m ³	Inf. Fabricante	
12.04	Área útil del intercambiador	m ²	Inf. Fabricante	
13.00	EQUIPOS DE MONITOREO Y CONTROL			
13.01	Monitor de Temperatura Digital de aceite y arrollamientos		Si	

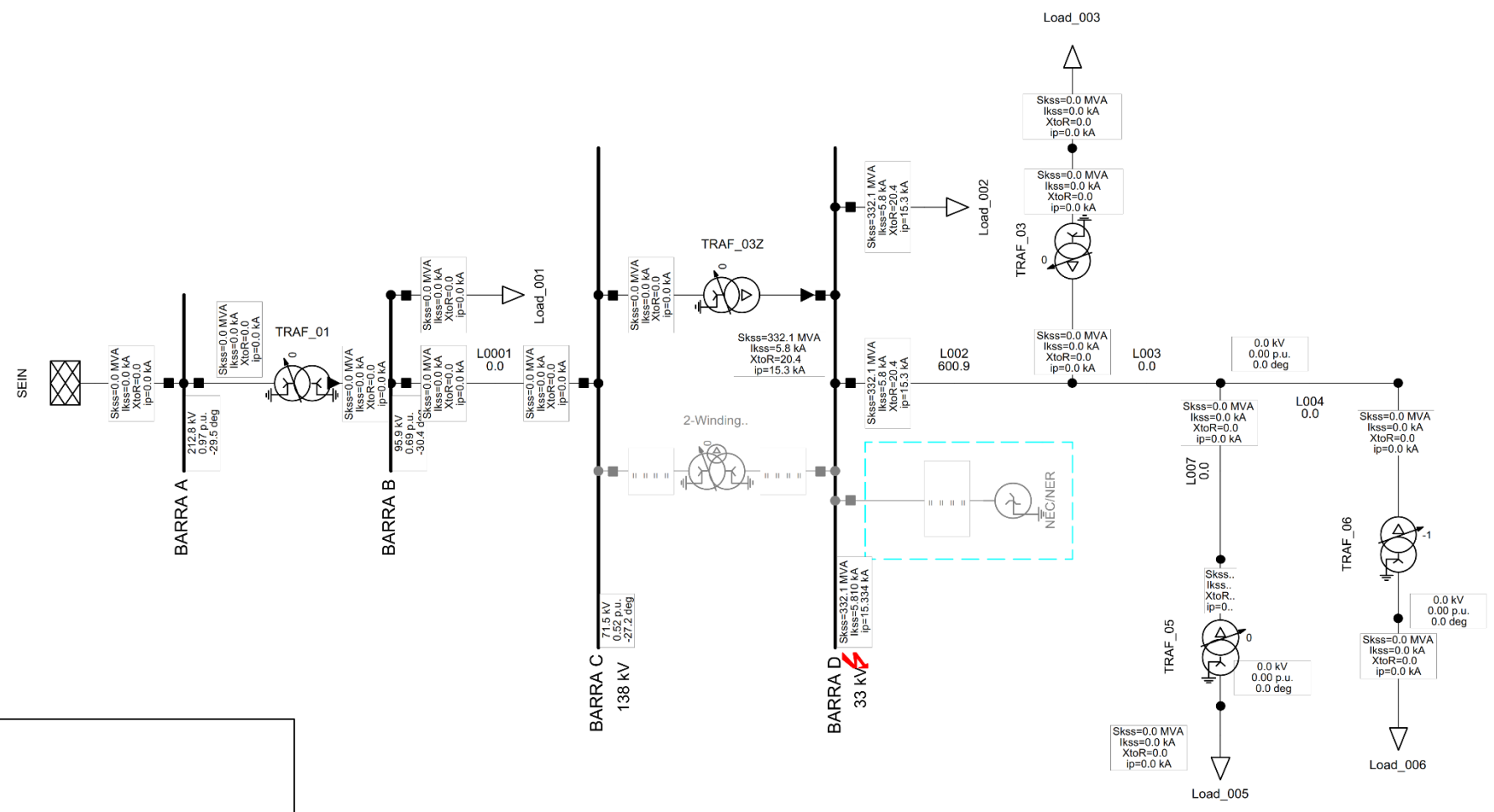
Nº	DESCRIPCION	UNIDAD	REQUERIDO	GARANTIZA DO
	- Operación y marcha de ventiladores	°C	Inf. Fabricante	
	- Límites máximo y mínimo de temperatura del aceite	°C	Inf. Fabricante	
	- Funcionamiento normal del sistema de refrigeración	°C	Inf. Fabricante	
	- Señalización, alarmas y disparos		Si	
13.02	Monitor Digital de Humedad y Gases Disueltos		Si	
	- Detección de Humedad del aceite del Transformador		Si	
	- Detección de Gases Disueltos y Diagnostico		Si	
	- Señalización y alarmas		Si	
13.03	Puertos y protocolos de comunicación			
	- Puerto de comunicación		RS485 y fibra óptica/ Ethernet, para integración a SCADA	
	- Protocolos de comunicación		DNP 3.0, IEC 61850	
14.00	CONMUTADOR REGULACION BAJO CARGA			
	- País de fabricación		Inf. Fabricante	
	- Fabricante		Inf. Fabricante	
	- Tipo		Inf. Fabricante	
	- Tensión nominal	kV	138	
	- Corriente nominal	A	Inf. Fabricante	
	- Amplitud de regulación	%	+/-13x1.25 %	
	- Número de posiciones	#	27	
	- Tensión del servomecanismo	Vca	380/220	
	- Tensión de control y mando	Vcc	110	
	- Corriente nominal tap máximo	A	Inf. Fabricante	
	- Corriente nominal tap mínimo	A	Inf. Fabricante	
	- Numero de operaciones para la primera inspección		300,000	
	- Accionamiento a motor (tipo)		Inf. Fabricante	
	- Pruebas		IEC-60076	
	- Accesorios de control y protección		Listado	
	- Nivel de ruido	db	<= 75	
15.00	PANEL DE REGULACION			
	- País de procedencia		Inf. Fabricante	
	- Norma de fabricación		IEC	
	- Marca		Inf. Fabricante	
	- Grado de protección		IP54	
	- Dispositivo de Marcha en Paralelo		Si	
	- Rele de tensión (90), para regulación automática		Si	
	- Marca		MR	
	- Tipo		Tapcon 240	
	- Rango limite tensión superior	V	Inf. Fabricante	
	- Rango limite tensión inferior	V	Inf. Fabricante	
	- Tensión alterna de referencia nominal o valor a consignar	V	Inf. Fabricante	
	- Tensión auxiliar continua	Vcc	110	
	- Rango de sensibilidad	%	Inf. Fabricante	
	- Temporización 1	seg	Inf. Fabricante	
	- Temporización 2	seg	Inf. Fabricante	
	- Tipo de compensación de línea		Inf. Fabricante	
	- Bloqueo de baja tensión	V	Inf. Fabricante	
	- Registro de alta tensión	%	Inf. Fabricante	

Nº	DESCRIPCION	UNIDAD	REQUERIDO	GARANTIZA DO
	- Bloqueo de sobreintensidad		Inf. Fabricante	
	- Factor de expansión		IEC-255	
	- Ensayos (según IEC)		IEC-801, 529	
	- Limite de temperatura ambiente	°C	-25 a 70	
	- Control de transformador en paralelo		Si	
	- Elemento de manejo e indicación		Listado	
	- Rango, Limite tensión inferior	V	Inf. Fabricante	
	- Paso ajustable	V	Inf. Fabricante	
	- Puerto de comunicación		RS232/RS485 y fibra óptica/ Ethernet, para integración a SCADA	
	- Protocolos de comunicación		DNP 3.0, IEC 61850	
	- Transmisión de posición tap			
	- Marca		MR	
	- Tipo		Inf. Fabricante	
	- Limite tensión superior	V	Inf. Fabricante	
	- Limite tensión inferior	V	Inf. Fabricante	
	- Otros			
	- Conmutador local remoto		Si	
	- Indicador Digital de Temperatura		Si	
	- Conmutador Voltimetrico		Si	
	- Botón Pulsador (03 unidades)		Si	
	- Voltímetro o analizador de redes		Si	
	- Indicador de Posición Digital		Si	
	- Lámpara (02 unidades)		Si	
	- Borneras de Pruebas		Si	
16.00	NORMAS ADOPTADAS PARA EL NIVEL DE RUIDO			
	- Nivel de ruido	db	<= 75	
17.00	TRANSFORMADORES DE CORRIENTE EN BUSHING: ONAN/ONAF		Si	
	Los transformadores de corriente deberán cubrir las siguientes funciones:			
	- Protección Diferencial		Si	
	- Protección de Sobrecorriente		Si	
	- Medición		Si	
	- Regulación Bajo Carga		Si	
	- Rele de Imagen Térmica		Si	
17.01	TRANSFORMADORES DE CORRIENTE LADO DE 138 kV			
	Nº de núcleos protección y medición	Und	3	
	- Tipo		Inf. Fabricante	
	Primario			
	- Núcleo Nº 1	A	200-400	
	- Núcleo Nº 2	A	200-400	
	- Núcleo Nº 3	A	200-400	
	Secundario	A	5	
	Consumo y clase de precisión			
	- Núcleo Nº 1		30VA-CI 0.2	
	- Núcleo Nº 2		30VA-5P20	

Nº	DESCRIPCION	UNIDAD	REQUERIDO	GARANTIZA DO
	- Núcleo N° 3		30VA-5P20	
17.02	TRANSFORMADORES DE CORRIENTE LADO DE 33 kV			
	Nº de núcleos protección y medición	Und	3	
	- Tipo			
	Primario			
	- Núcleo N° 1	A	650-1300	
	- Núcleo N° 2	A	650-1300	
	- Núcleo N° 3	A	650-1300	
	Secundario	A	5	
	Consumo y clase de precisión			
	- Núcleo N° 1		30VA-CI 0.2	
	- Núcleo N° 2		30VA-5P20	
	- Núcleo N° 3		30VA-5P20	
18.00	SOPORTE DE PARARRAYOS			
18.01	Lado Primario		Si	
18.02	Lado Secundario		Si	
19.00	REPUESTOS QUE VIENEN CON EL TRANSFORMADOR			
19.01	Aislador pasatapas (Bushing) en 138 kV; de características similares al Ítem 4.1	u	1	
19.02	Aislador pasatapas (bushing) en 33 kV; de características similares al Ítem 4.2	u	1	
19.03	Rele Buchholz para el Transformador (cuba)	u	1	
19.04	Rele de protección para el Conmutador bajo carga	u	1	
19.05	Monitor de Temperatura Digital	u	1	
19.06	Regulador de Tensión Automático	u	1	
19.07	Juego de empaques para todo el Equipo	Gbl	1	
19.08	Porcentaje del volumen del aceite para reserva	%	5	
19.09	Deshumecedor de silicagel para trafo y CBC	u	2	

**ANEXO 02: DIAGRAMA UNIFILAR DEL PROYECTO DE AMPLIACIÓN
DE LA SET CHILINA - AREQUIPA**

**ANEXO 03: RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE CORTOCIRCUITO
TRIFÁSICO Y MONOFÁSICO**



Inactive
 Out of Calculation
 De-energized

Loading of Thermal / Peak Short-Circuit Current

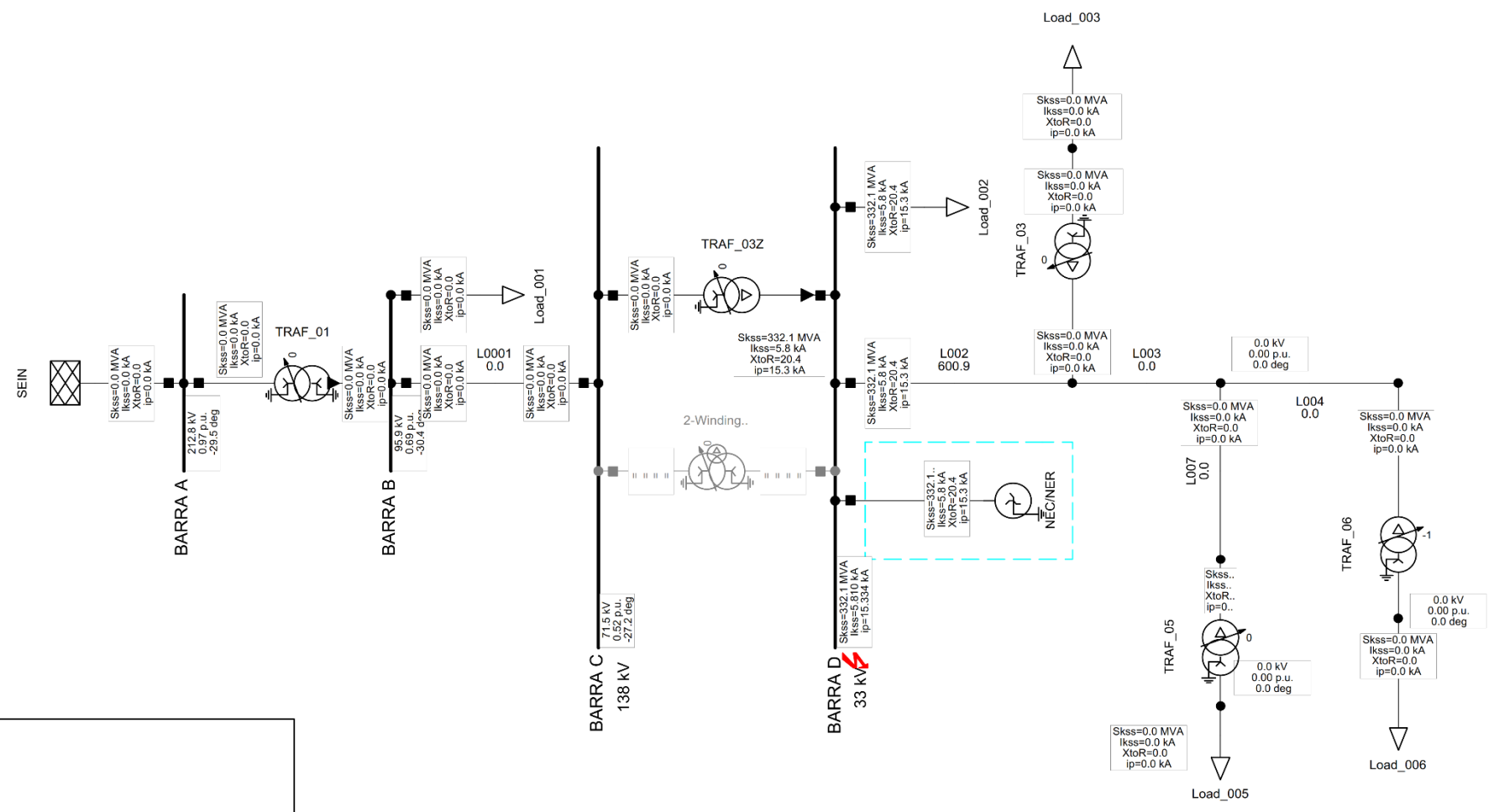
Max. Mech. Loading
 >= 80. %
 >= 85. %
 >= 90. %

Max. Therm. Loading
 >= 100. %

Max. 3-Phase Short-Circuit IEC 60909

Short Circuit Nodes	Nodes
Initial Short-Circuit Power [MVA]	Line-Line Voltage, Magn
Initial Short-Circuit Current [kA]	Voltage, Magnitude [p.u
Peak Short-Circuit Current [kA]	Voltage, Angle [deg]

PowerFactory 15.1.7	Cortocircuito Trifasico Transformador Ynd sin Transformador Zig Zag	Project:
		Graphic: MODELACION
		Date: 7/5/2018
		Annex:



Inactive
 Out of Calculation
 De-energized

Loading of Thermal / Peak Short-Circuit Current

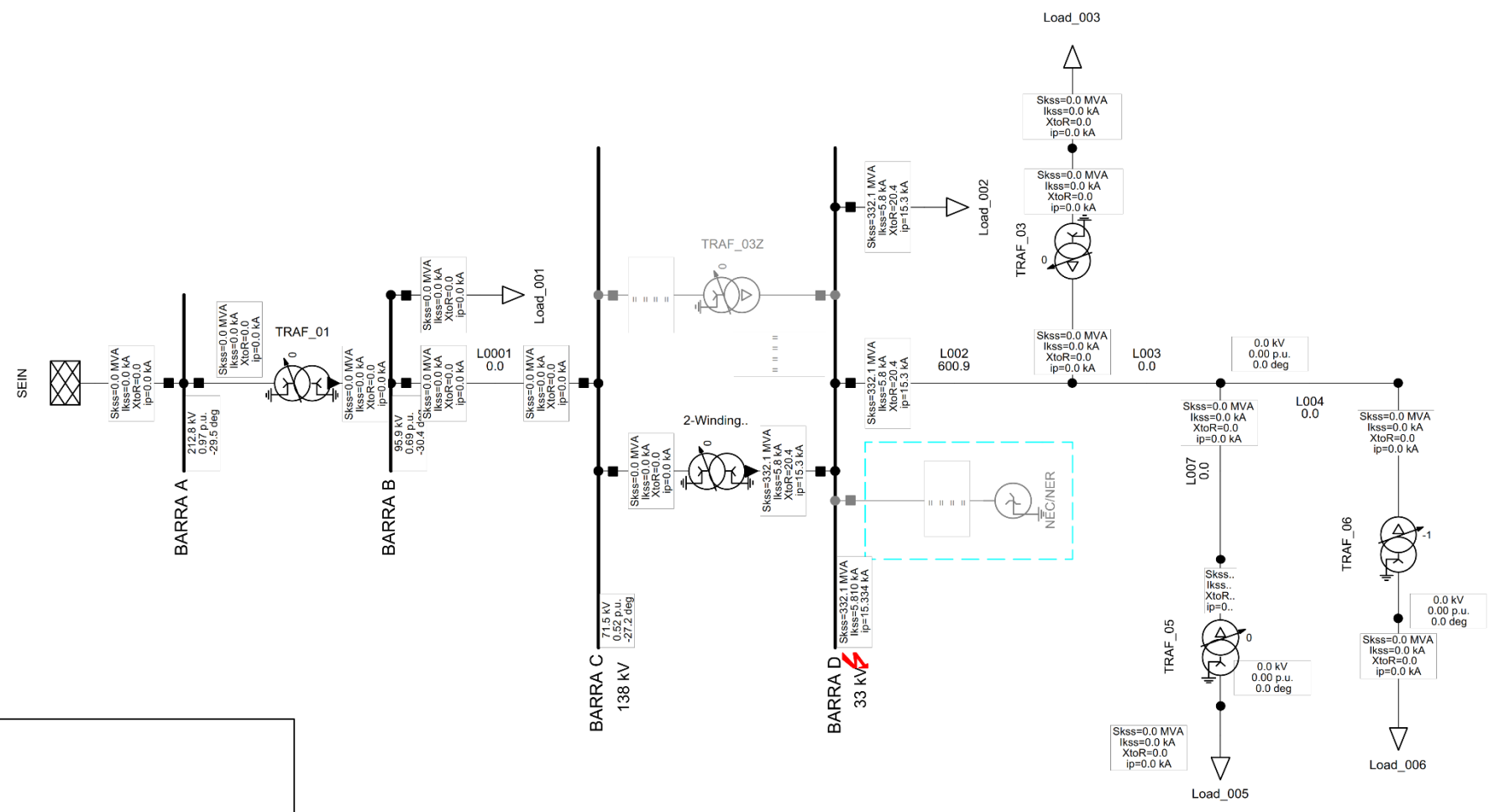
Max. Mech. Loading
 >= 80. %
 >= 85. %
 >= 90. %

Max. Therm. Loading
 >= 100. %

Max. 3-Phase Short-Circuit IEC 60909

Short Circuit Nodes	Nodes
Initial Short-Circuit Power [MVA]	Line-Line Voltage, Magn
Initial Short-Circuit Current [kA]	Voltage, Magnitude [p.u
Peak Short-Circuit Current [kA]	Voltage, Angle [deg]

PowerFactory 15.1.7	Cortocircuito Trifasico Transformador Ynd con Transformador Zig Zag	Project:
		Graphic: MODELACION
		Date: 7/5/2018
		Annex:



Inactive
 Out of Calculation
 De-energized

Loading of Thermal / Peak Short-Circuit Current

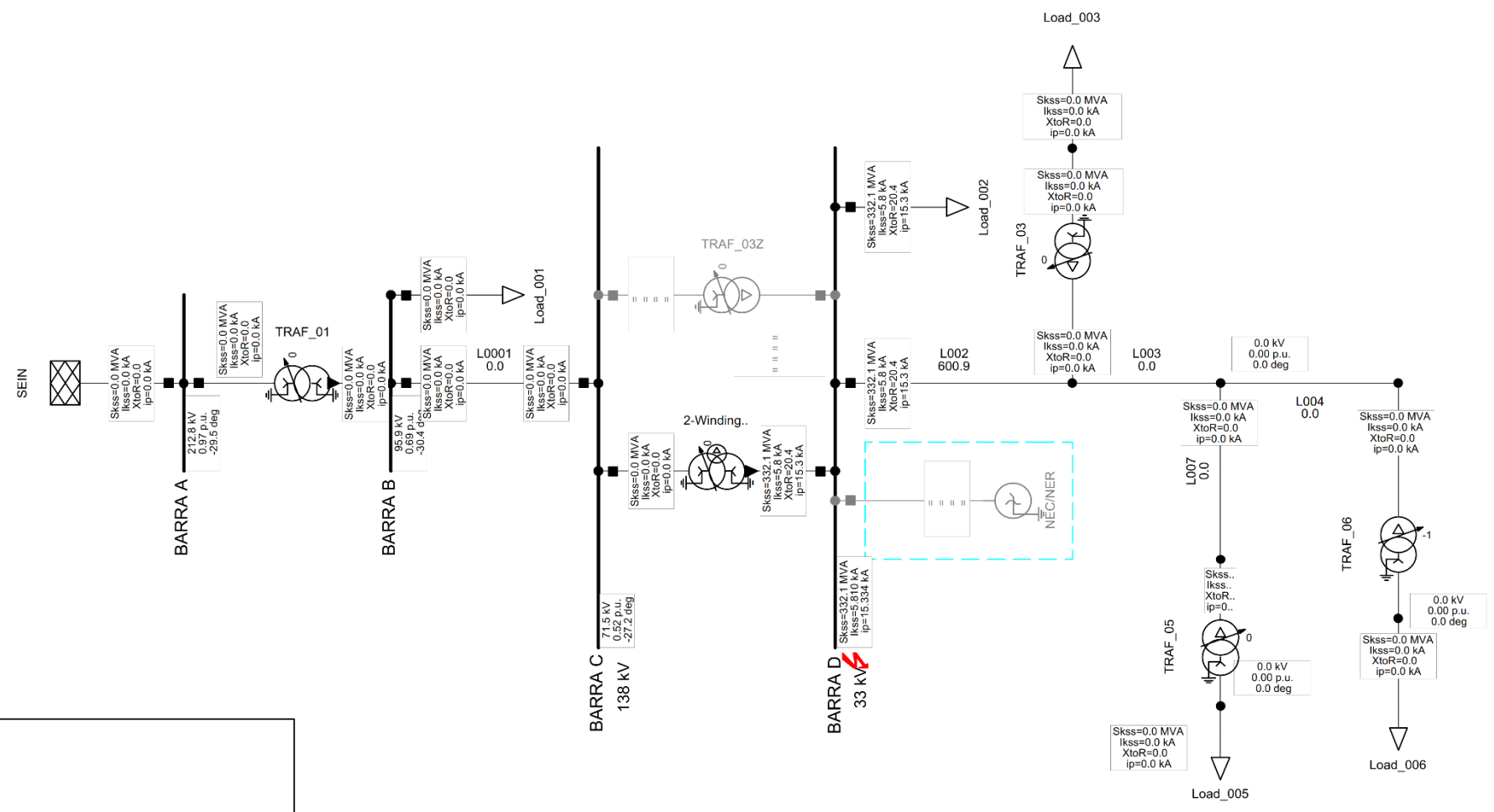
Max. Mech. Loading
 >= 80. %
 >= 85. %
 >= 90. %

Max. Therm. Loading
 >= 100. %

Max. 3-Phase Short-Circuit IEC 60909

Short Circuit Nodes	Nodes
Initial Short-Circuit Power [MVA]	Line-Line Voltage, Magn
Initial Short-Circuit Current [kA]	Voltage, Magnitude [p.u]
Peak Short-Circuit Current [kA]	Voltage, Angle [deg]

PowerFactory 15.1.7	Cortocircuito Trifasico Transformador Ynyn sin devanado de compensación	Project:
		Graphic: MODELACION
		Date: 7/5/2018
		Annex:



Inactive
 Out of Calculation
 De-energized

Loading of Thermal / Peak Short-Circuit Current

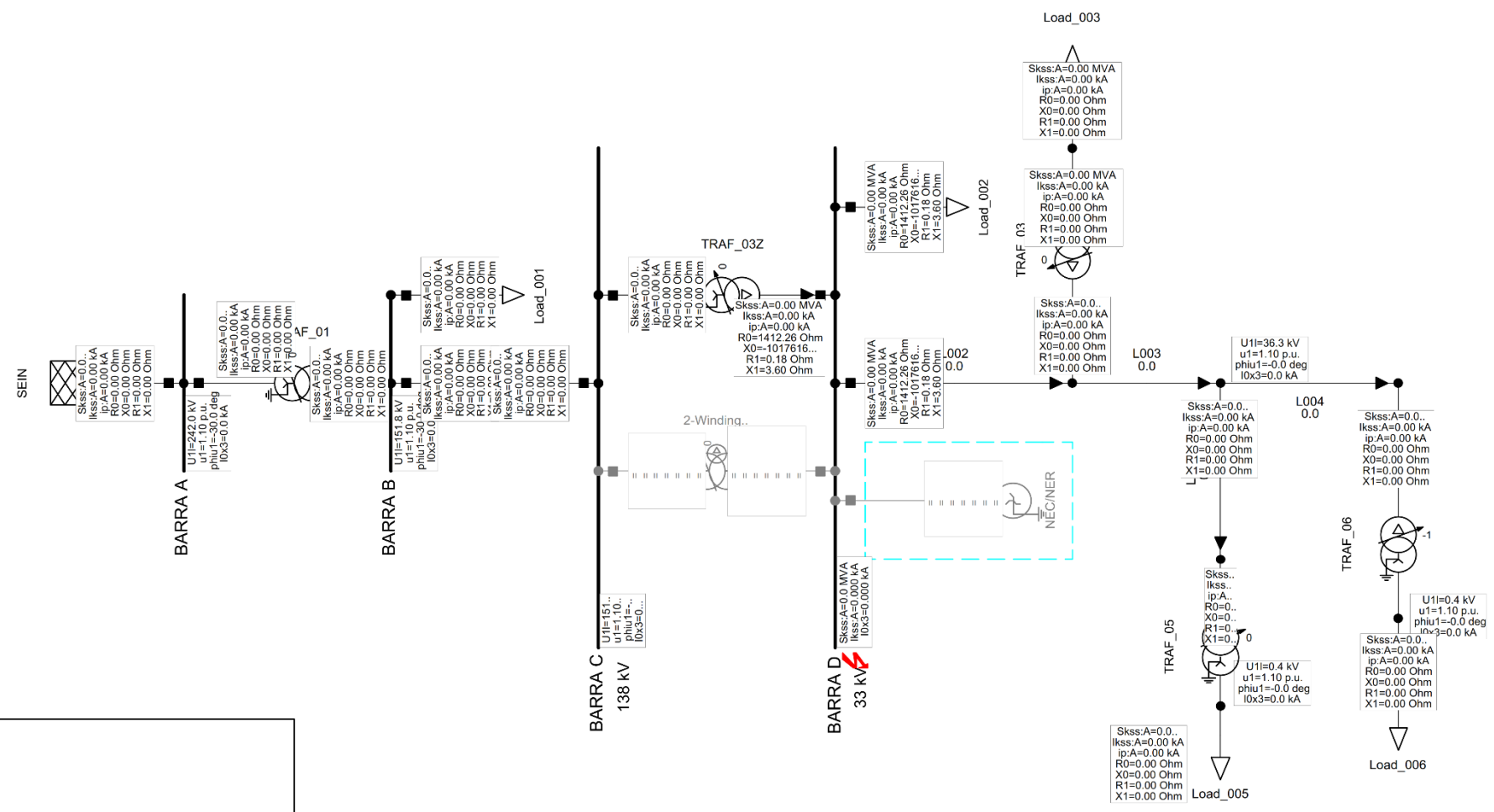
Max. Mech. Loading
 >= 80. %
 >= 85. %
 >= 90. %

Max. Therm. Loading
 >= 100. %

Max. 3-Phase Short-Circuit IEC 60909

Short Circuit Nodes	Nodes
Initial Short-Circuit Power [MVA]	Line-Line Voltage, Magn
Initial Short-Circuit Current [kA]	Voltage, Magnitude [p.u
Peak Short-Circuit Current [kA]	Voltage, Angle [deg]

PowerFactory 15.1.7	Cortocircuito Trifasico	Project:
	Transformador Yyn con devanado de compensación	Graphic: MODELACION
		Date: 7/5/2018
		Annex:



Inactive
 Out of Calculation
 De-energized

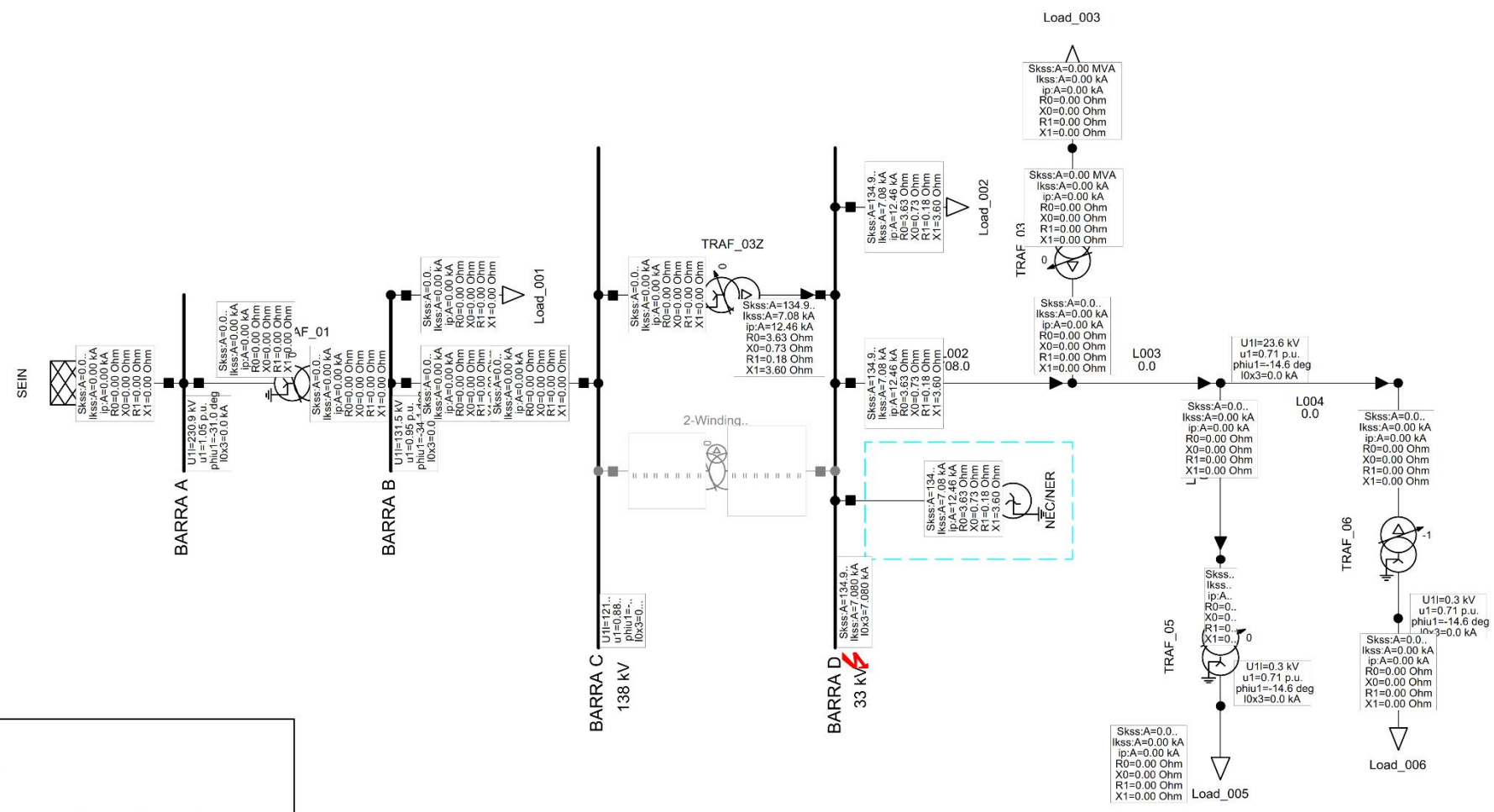
Loading of Thermal / Peak Short-Circuit Current

Max. Mech. Loading >= 80. %
 >= 85. %
 >= 90. %
 Max. Therm. Loading >= 100. %

Max. Single Phase to Ground IEC 60909

Short Circuit Nodes	Nodes
Initial Short-Circuit Power A [MVA]	Line to Line Positive
Initial Short-Circuit Current A [kA]	Positive-Sequence Vol
3*10 [kA]	Positive-Sequence Vol

PowerFactory 15.1.7	Cortocircuito Monofásico Transformador Ynd sin Transformador Zig Zag	Project:
		Graphic: MODELACION
		Date: 7/5/2018
		Annex:



Inactive
 Out of Calculation
 De-energized

Loading of Thermal / Peak Short-Circuit Current

Max. Mech. Loading

- >= 80. %
- >= 85. %
- >= 90. %

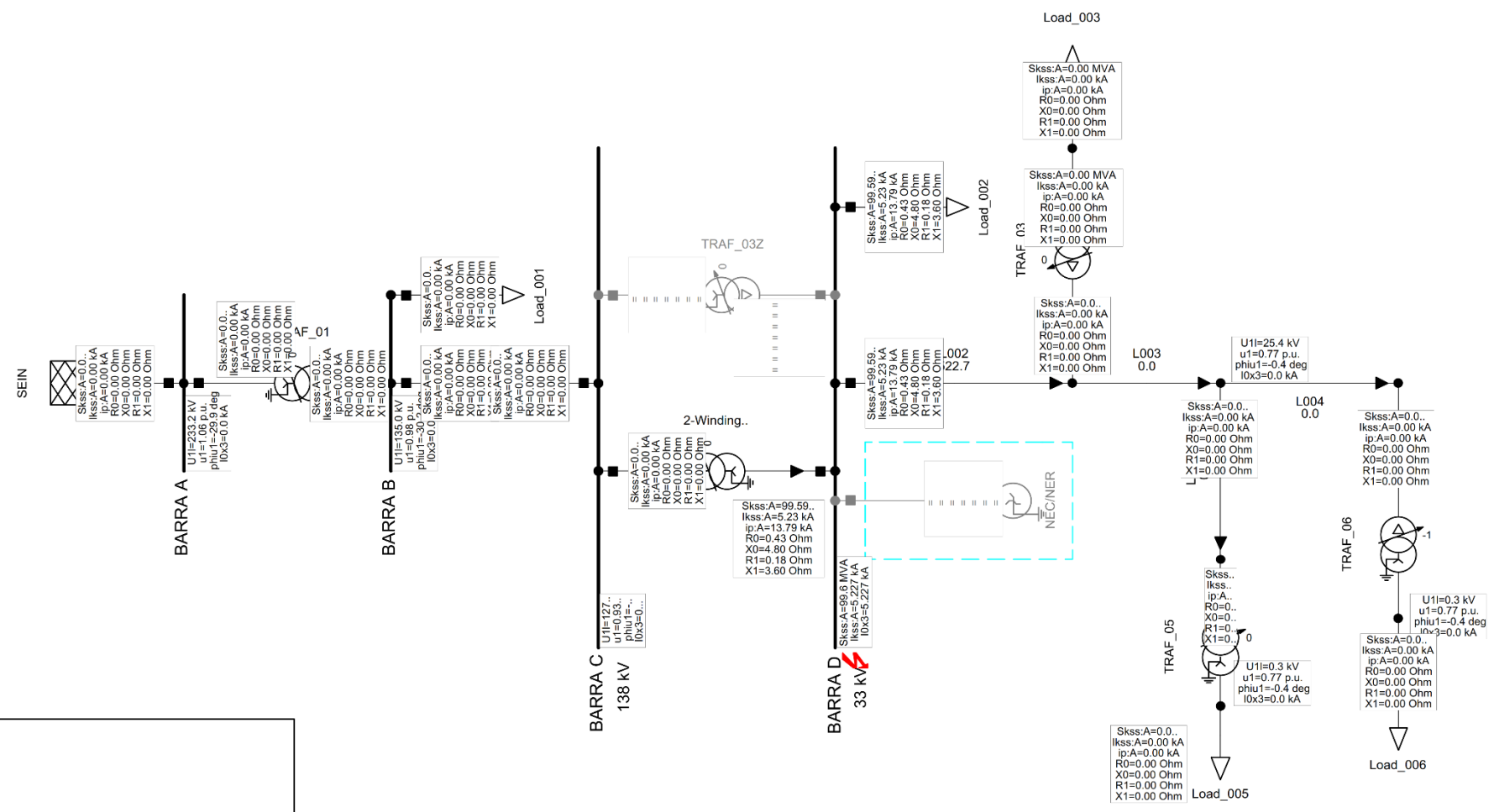
Max. Therm. Loading

- >= 100. %

Max. Single Phase to Ground IEC 60909

Short Circuit Nodes	Nodes
Initial Short-Circuit Power A [MVA]	Line to Line Positive
Initial Short-Circuit Current A [kA]	Positive-Sequence Vol
3*10 [kA]	Positive-Sequence Vol

PowerFactory 15.1.7	Cortocircuito Monofásico Transformador Ynd con Transformador Zig Zag	Project: Graphic: MODELACION Date: 7/5/2018 Annex:
---------------------	---	---



Loading of Thermal / Peak Short-Circuit Current

Inactive
 Out of Calculation
 De-energized

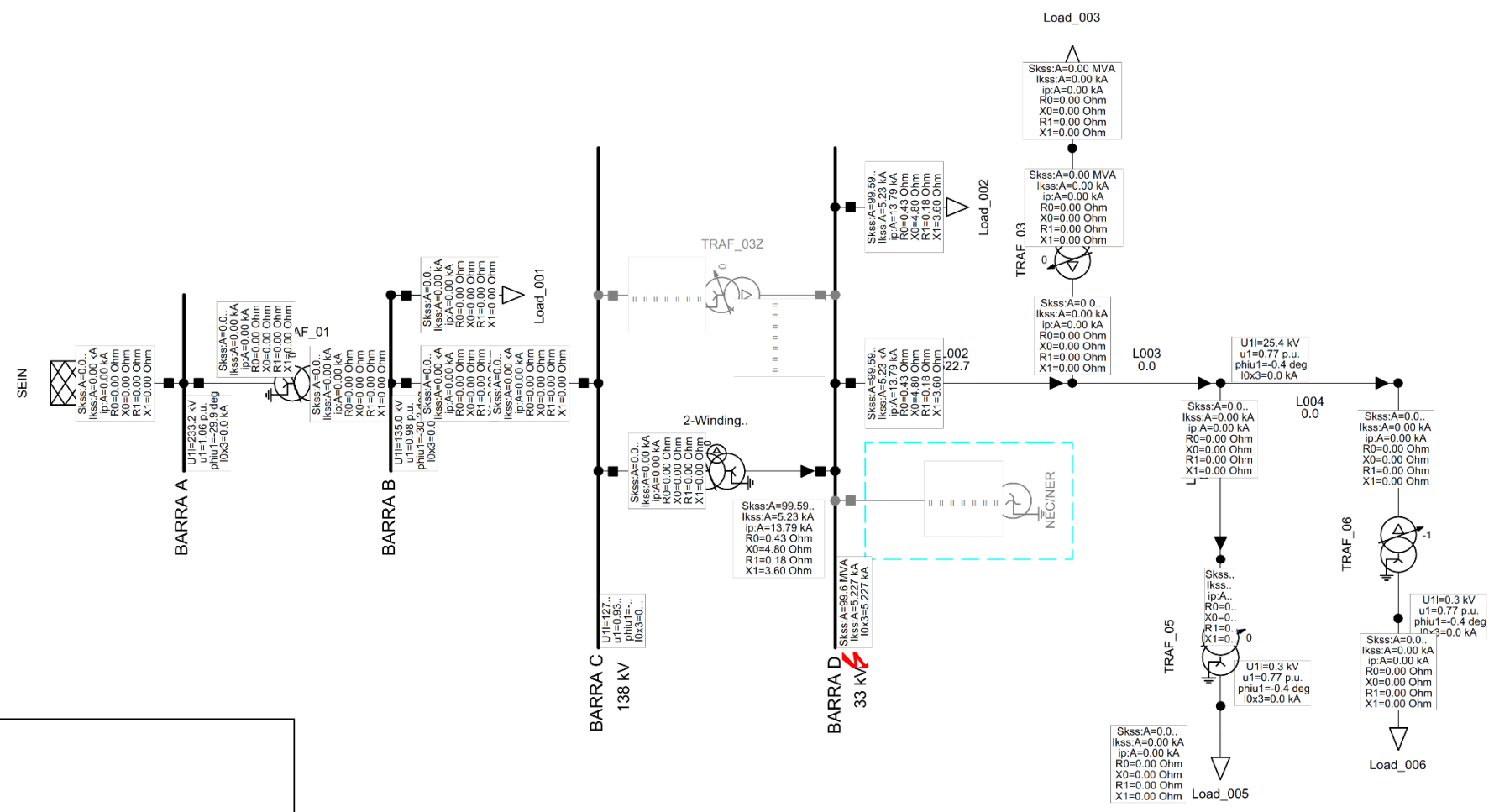
Max. Mech. Loading
 >= 80. %
 >= 85. %
 >= 90. %

Max. Therm. Loading
 >= 100. %

Max. Single Phase to Ground IEC 60909

Short Circuit Nodes	Nodes
Initial Short-Circuit Power A [MVA]	Line to Line Positive
Initial Short-Circuit Current A [kA]	Positive-Sequence Vol
3*10 [kA]	Positive-Sequence Vol

PowerFactory 15.1.7	Cortocircuito Monofásico Transformador Yyn sin devanado de compensación	Project: Graphic: MODELACION Date: 7/5/2018 Annex:
---------------------	--	---



Inactive
 Out of Calculation
 De-energized

Loading of Thermal / Peak Short-Circuit Current

Max. Mech. Loading

- >= 80. %
- >= 85. %
- >= 90. %

Max. Therm. Loading

- >= 100. %

Max. Single Phase to Ground IEC 60909

Short Circuit Nodes	Nodes
Initial Short-Circuit Power A [MVA]	Line to Line Positive
Initial Short-Circuit Current A [kA]	Positive-Sequence Vol
3*10 [kA]	Positive-Sequence Vol

PowerFactory 15.1.7	Cortocircuito Monofásico Transformador Yynn con devanado de compensación	Project:
		Graphic: MODELACION
		Date: 7/5/2018
		Annex:

**ANEXO 04: CALCULO DEL TRANSFORMADOR DE ATERRAMIENTO
FICTICIO ZIG-ZAG**

MEMORIA DE CALCULO- DIMENSIONAMIENTO DE TRAFZO ZIGZAG

1. DATOS DE TRANSFORMADOR

POTENCIA NOMINAL	MVA	:	75
TENSION NOMINAL	kV	:	33
CORRIENTE NOMINAL	A	:	1312.16

2. DATOS PARA DISEÑO

Tensión Nominal (kV)	kV	:	33
Corriente 3I0 (A)	A	:	3851
Resistencia de puesta a tierra		:	S/R
Corriente 3f	A	:	16880

3. CALCULO DE POTENCIA

$$KVA = U_{L-N} \times I_F \times k$$

POTENCIA zz	:	4695.77	KVA
-------------	---	---------	-----

La capacidad mínima del transformador zigzag debe ser 4695.77 kVA para poder soportar una corriente de falla a tierra de 3851 A durante 10 segundos.

La selección de un transformador zigzag:

Potencia nominal	:	4696	kVA
Tensión nominal	:	33	kV
Corriente nominal x fase	:	82.16	A

CALCULO Y DIMENCIONAMIENTO DEL TRANSFORMADOR ZIG - ZAG

1. DATOS DEL SISTEMA

1.1. Transformador de Potencia

Descripción	Und	Valor
Potencia	MVA	75
Tensión Lado de Alta	kV	138
Tensión Lado de Baja	kV	33
Corriente Nominal Lado de Alta	A	313.78
Corriente Nominal Lado de Baja	A	1312.16
Z _{cc} (1,2)	M ohm	9.375
Z _{cc} (0)	M ohm	9.375
Z _{trans} (1,2)	ohm	23.81
Z _{trans} (0)	ohm	23.81

1.2. Valores del sistema

Descripción	Und	Valor
Corriente de Corto Circuito Lado de 33 kV	kA	3.851
Impedancia del Sistema en 33 kV	ohm	4.95
Ángulo de Impedancia en 33 kV	deg	78.58
Resistencia del Sistema en 33 kV	ohm	0.98
Reactancia del Sistema en 33 kV	ohm	4.85

2. CALCULOS EN POR UNIDAD

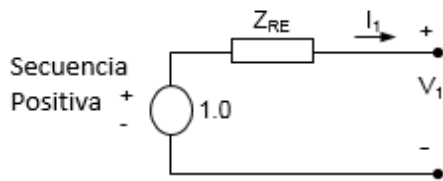
2.1. Bases del Sistema en 33 kV

Descripción	Und	Valor
Potencia Base (N _B)	MVA	75
Tensión Base (V _B)	kV	33
Corriente Base (I _B)	A	1312.16
Impedancia Base (Z _B)	ohm	14.52

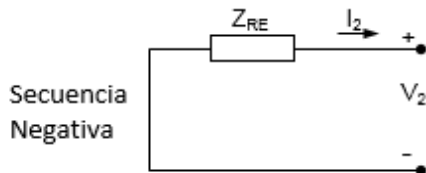
2.2. Cálculo de la Impedancia en Valores Unitarios

Descripción	Und	Valor
Impedancia de la Red (Z _{RE})	PU	0.34
Resistencia de la Red (R _{RE})	PU	0.07
Reactancia de la Red (X _{RE})	PU	0.33

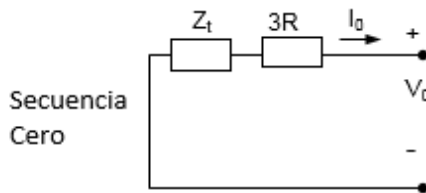
2.3. Red de Secuencia Positiva, Negativa y Cero Para una Falla Monofásica en 33 kV



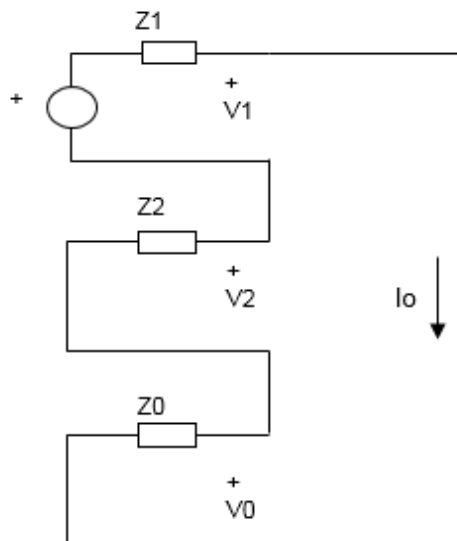
$$Z_1 = Z_{RED} = 0.34 \text{ ohm} \dots\dots\dots(1)$$



$$Z_2 = Z_{RED} = 0.34 \text{ ohm} \dots\dots\dots(2)$$



$$Z_0 = Z_t + 3R \dots\dots\dots(3)$$



$$I_0 = \frac{1}{Z_1 + Z_2 + Z_0} \dots\dots\dots(4)$$

Reemplazando los valores de (1),(2),(3) en (4)
 Valor de angulo: 60

$$|Z_1 + Z_2 + Z_0| = \sqrt{Z_0^2 + 1.283 Z_0 + 0.455}$$

$$Z_0 = 0.36 \text{ P.U.}$$

$$Z_0 = 5.23 \text{ ohm}$$

3. CÁLCULO DEL TRANSFORMADOR ZIG-ZAG

(*) Considerando que se debe limitar la corriente de falla a tierra a un 10% de la corriente de falla trifásica

$$I_{f1\phi} \leq 10\% I_{f3\phi}$$

3.1. Valores de Corriente de Falla

Descripción	Und	Valor
If1Ø (Máximo a limitar)	A	385.1
If1Ø (Seleccionado a Limitar)	A	3851
If1Ø (Seleccionado a Limitar)	P.U.	2.935

3.2. Cálculo de la Potencia del transformador

La potencia de cortocircuito es dada por la siguiente fórmula:

$$N_{ZZ} = (kV_{LN}) \times I_F \times K$$

Descripción	Und	Valor
Tensión del Transformador	kV	33.00
Constante k para 10 Segundos	-	0.064
Pzz (Potencia Calculada)	kVA	4695.77
Pzz (Potencia Seleccionada)	kVA	1500.00

4. CÁLCULO DE LA RESISTENCIA DE ATERRAMIENTO

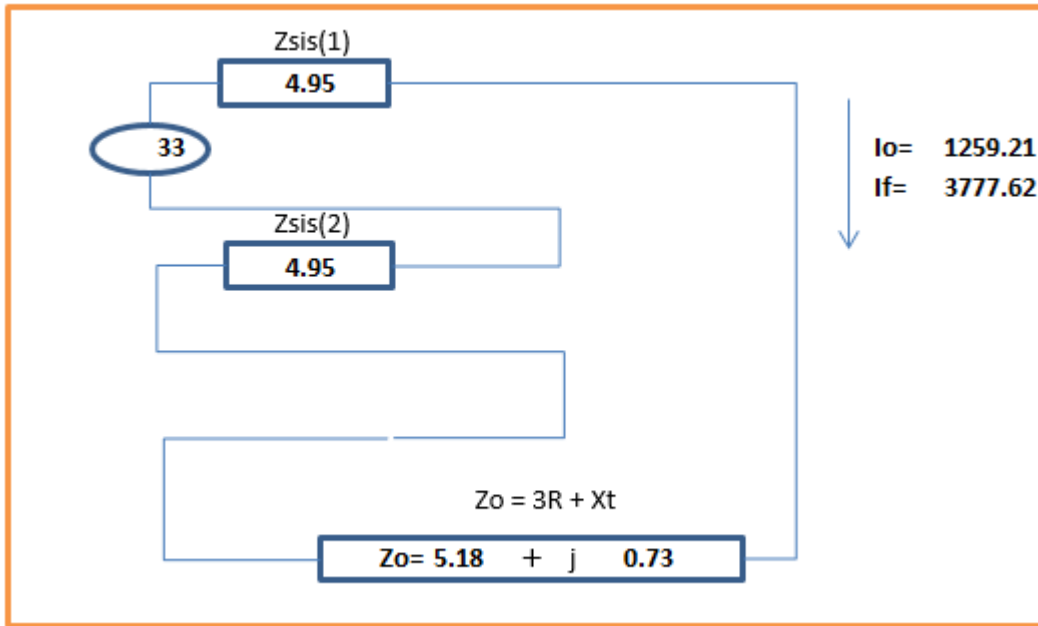
4.1 Cálculo de Resistencia de Aterramiento

$$R = \frac{\sqrt{Z_0^2 - X_0^2}}{3} \quad \Rightarrow \quad R = \frac{\sqrt{5.23^2 - 0.73^2}}{3} = 1.73$$

Descripción	Und	Valor
Impedancia de Corto Circuito	%	0.10
Impedancia del Transformador Zig-Zag	Ohm	0.73
Resistencia de Aterramiento	Ohm	1.73

RESUMEN DE RESULTADOS DEL TRANSFORMADOR ZIG -ZAG

DESCRIPCIÓN	UND	VALOR
TENSIÓN DEL SISTEMA	kV	33.00
CORRIENTE DE FALLA A LIMITAR	Amp	3851
IMPEDANCIA DE SECUENCIA CERO	ohm	5.23
REACTANCIA DE SECUENCIA CERO DEL TRAFIO	ohm	0.73
RESISTENCIA DE ATERRAMIENTO	ohm	1.73
POTENCIA NOMINAL	kVA	1500.00



**ANEXO 05: COTIZACIÓN DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA
PROPUESTO**



COTIZACION PRESUPUESTAL Nro FL-2762-1

RAZON SOCIAL : -

Referencia:

Tel.:
ATENCION : DEYVIS MELGAR LAZO
PROYECTO : VARIOS

Fecha: 04/06/2018
Ejecutivo: Ing. Saul Alejandro Estela

ITEM	DESCRIPCION	CANT.	MON	UNIT.	TOTAL
1.0	SE Chilina // Transformador de Potencia Trifásico Potencia: 60/75 MVA (ONAN/ONAF) Relación de Transformación: 138/35.5 kV Grupo de conexión: YNd11 Altura de Operación: 2400 msnm Norma de Fabricación: IEC 60076	1.00	US\$	1,130,000.00	1,130,000.00
2.0	Sistema Contra Incendio y Explosión de Transformador de Potencia Sistema Contra Incendio y Explosión de Transformador de Potencia 60/75 MVA 138/35.5 kV	1.00	US\$	85,000.00	85,000.00
3.0	SE Alto Selva Alegre // Transformador de Potencia Trifásico Potencia: 20/25 MVA (ONAN/ONAF) Relación de Transformación: 33.5/10.4 kV Grupo de conexión: YNd11 Altura de Operación: 2400 msnm Norma de Fabricación: IEC	1.00	US\$	502,667.00	502,667.00
4.0	Sistema Contra Incendio y Explosión de Transformador de Potencia Sistema Contra Incendio y Explosión de Transformador de Potencia 20/25 MVA 33.5/10.4 kV	1.00	US\$	75,000.00	75,000.00
TOTAL: US\$ 1,642,667.00					

CONDICIONES COMERCIALES:

Precios : Expresados en Dólares Americanos (USD) por los equipos puestos en nuestros almacenes en Lima. Los precios no incluyen IGV.

Plazo de Entrega : 240 días, contados desde la fecha de emisión de la Orden de Compra, de la fecha de aprobación de los planos y de la fecha del pago del adelanto; LO QUE OCURRA ÚLTIMO. Los planos para aprobación deberán ser devueltos en un plazo no mayor a siete (7) días.

Lugar de Entrega : Almacenes Electrowerke S.A. - Lima.

Forma de Pago : 50% de Adelanto, saldo contra entrega de los equipos.

Garantía : Los equipos están garantizados contra cualquier defecto de fabricación o mano de obra por un periodo de DOCE (12) MESES a partir de la entrega. Para la aplicación de la garantía, los equipos deberá contar con la constancia de supervisión de la instalación por nuestro especialista.

ELECTROWERKE S.A.
Av Pardo y Aliaga N° 699 Oficina 301, San Isidro, Lima.

RUC 20386239828

Telef. : 422-4015
Fax : 355-2184

SGC-FOR-014. Versión 01. 28/05/2015

Validez : Treinta (30) días a partir de la fecha.
Costo de Cancelación :
del Pedido :
Incluye :
No Incluye :