



**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA**  
**ELÉCTRICA**

**“Estudio de operatividad de transformador de 20mva para satisfacer el incremento de máxima demanda en SET Pomalca”**

**TESIS PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE :**

Ingeniero Mecánico Electricista

**AUTOR:**

Gil Rodríguez, David Saul (Orcid.org/0000-0002-2000-1794)

**ASESOR:**

Mgtr. Celada Padilla, James Skinner. (Orcid.org/0000-0002-5901-2669)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Generación, Transmisión y Distribución

**LINÍA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:**

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

**CHICLAYO-PERU**

**2022**

## **Dedicatoria**

Este proyecto de investigación se lo dedico a mi familia que siempre estuvieron brindándome su apoyo incondicional, para poder cumplir mi objetivo trazado.

## **Agradecimiento**

Agradezco a Dios y a mi familia por guiarme en cada una de mis metas y objetivos, por otro lado, el agradecimiento a dos grandes profesionales:

Ing. José Martin Dávila Pérez

Ing. José Miguel Navarro Rubiño

Quienes me brindaron su constante apoyo para crecer profesionalmente.

## Índice de contenidos

Carátula.....	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Resumen .....	vii
Abstract.....	viii
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. MARCO TEORICO.....	8
III. METODOLOGÍA.....	22
3.1. Tipo y diseño de Investigación.....	22
3.2. Variables y operacionalización. ....	22
3.3. Población, muestra y muestreo.....	24
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos. ....	24
3.5. Procedimientos.....	26
3.6. Método de análisis de datos.....	27
IV. RESULTADOS .....	28
V. DISCUSION .....	84
VI. CONCLUSIONES.....	89
VII. RECOMENDACIONES.....	90
REFERENCIAS .....	98
ANEXOS	

## Índice de tablas

Tabla 1. Máxima demanda 2016 - 2017.....	4
Tabla 2. Operacionalización de variables .....	23
Tabla 3. Se tiene los registros de los valores de la máxima demanda.....	35
Tabla 4. Horas demanda % Potencia Máxima 2006-2007 .....	37
Tabla 5. Horas demanda % Potencia Máxima 2008-2009 .....	38
Tabla 6. Horas demanda % Potencia Máxima 2010-2011 .....	39
Tabla 7. Horas demanda % Potencia Máxima 2012 .....	40
Tabla 8. Horas demanda % Potencia Máxima Acumulado 2006-2012.....	41
Tabla 9. Evolución demanda energética SE Pomalca 2004-2012 .....	42
Tabla 10. Energía Eléctrica Demandada Línea POM-201 (2004-2012) .....	44
Tabla 11. Energía Eléctrica Demandada Línea POM-202 (2004-2012).....	45
Tabla 12. Datos Producción Perú 2005-2012 .....	48
Tabla 13. Evolución demográfica Chiclayo 2000-2012.....	51
Tabla 14. Proyecciones crecimiento económico 2012-2016.....	53
Tabla 15. Previsión Productor Bruto Interno.....	54
Tabla 16. Evolución población distrito de Pomalca 2013-2043 .....	56
Tabla 17. Estimación potencia máxima demanda horizonte 30 años.....	58
Tabla 18. Niveles de tensión – escenario Avenida 2017 .....	59
Tabla 19. Flujo de potencia a través de las líneas de transmisión Avenida 2017.....	60
Tabla 20. Flujo de potencia del transformador de potencia Avenida 2017 .....	61
Tabla 21. Resultados de nivel de tensión en periodo de Estiaje .....	62
Tabla 22. Resultados de cargabilidad de la línea de trasmisión y del transformador de Potencia en periodo de Estiaje.....	63
Tabla 23. Flujo de potencia del transformador de potencia escenario Estiaje 2017.....	64
Tabla 24. Flujo de potencia a través de las líneas de transmisión Estiaje 2017 .....	64
Tabla 25. Características mecánicas de aisladores de soporte (cerámica).....	68
Tabla 26. Nota (1): según IEC 60815: niveles de contaminación IV: 31 mm/kV.....	70
Tabla 27. Terminal termocontraible de 23 Kv.....	74
Tabla 28. Terminal termocontraible de 23 Kv.....	74
Tabla 29. Inversión Inicial del Proyecto.....	78
Tabla 30. Flujo de Caja.....	80
Tabla 31. Cálculo del Valor Actual Neto.....	81
Tabla 32. Cálculo de la Tasa Interna de Retorno .....	83

## Índice de Figuras

Figura 1. Evolución de la Máxima demanda en Chile, 2016 .....	1
Figura 2. Potencia Máxima Instantánea en España (MW) .....	2
Figura 3. Comparación de Máxima demanda en el Perú año 2016 – 2017 .....	3
Figura 4. Máxima demanda 2016 – 2017 .....	4
Figura 5. Evolución consumo per cápita de energía en Perú .....	4
Figura 6. Transformador de Potencia - Grupo de conexión .....	10
Figura 7. Conexión estrella de un transformador de potencia .....	11
Figura 8. Conexión Triángulo de Transformador .....	11
Figura 9. Circuito equivalente y aproximado de un transformador de Potencia .....	12
Figura 10. Desfasaje de señales eléctricas Relaciones de transformación .....	13
Figura 11. Relación de Transformación .....	13
Figura 12. Flujo de Potencia en un Transformador .....	14
Figura 13. Diagrama típico de carga para el sector doméstico urbana. ....	15
Figura 14. Curva de Carga.....	15
Figura 15. Curva de Generación y Generación Ordenada .....	16
Figura 16. Potencia Instalada Vs Carga Demandada .....	16
Figura 17. Ecuaciones que relacionan la energía activa, reactiva y aparente.....	17
Figura 18. Vista electromecánica: Patio de Llaves de subestación de potencia .....	18
Figura 19. Modelo equivalente Diferencial Línea de Transmisión .....	19
Figura 20. Ecuaciones de Flujo de Potencia Línea de Transmisión .....	20
Figura 21. Flujo de Potencia Aparente Línea de Transmisión .....	20
Figura 22. Parámetros de Líneas de Transmisión .....	21
Figura 23. Seccionadora llegada de línea 1 .....	29
Figura 24. Seccionador llegada línea 2 y pórtico de barraje .....	30
Figura 25. Transformadores de tensión barras 60Kv .....	30
Figura 26. Transformador de potencia y bahía asociada .....	31
Figura 27. Patio 22,9 Kv .....	32
Figura 28. Bahías salidas de línea 22,9Kv .....	33
Figura 29. Transformador de tensión barras 22,9Kv .....	33
Figura 30. Llegada y Salida líneas 60kV en la SE Pomalca .....	34
Figura 31. Evolución de la Potencia Activa, Reactiva y Aparente en SET Pomalca. ....	36
Figura 32. Horas demanda % Potencia Máxima 2006-2012.....	40
Figura 33. Horas demanda % Potencia Máxima Acumulado 2006-2012 .....	41
Figura 34. Evolución de la demanda energética SE Pomalca 2004-2012 (MWh) .....	43
Figura 35. Evolución de la demanda energética SE Pomalca 2004-2012 (%) .....	43
Figura 36. Evolución Porcentual PIB 2005-2012 .....	49
Figura 37. Evolución demográfica Pomalca 2000-2012 .....	52
Figura 38. Previsión Producto Bruto Interior 2017-2043.....	55
Figura 39. Previsión Evolución de la población Pomalca 2013-2043 .....	57

## Resumen

El sector eléctrico en el que está comprendido la SET Pomalca, que está dentro de la Provincia de Chiclayo, es uno de los mas que ha experimentado desarrollo debido al crecimiento poblacional de la zona como también al crecimiento industrial, específicamente en el sector agroindustrial.

En el presente proyecto de investigación se ha realizado para determinar la funcionalidad de la incorporación del transformador de 20 MVA en la SET Pomalca, de acuerdo a la demanda del consumo de energía en la zona de influencia, tanto en el sector domiciliario como en el sector industrial, con las proyecciones en función al crecimiento económico del País. La incorporación en la SET Pomalca de un transformador de 20 MVA, se hizo por la necesidad de que el transformador actual de 9 MVA, operaba a niveles de plena carga durante prolongado tiempo, y ello estaba superditado a que los incrementos de cargas no eran compensados con la oferta de energía en la zona.

Se recopiló información estadística de los consumos de energía en los últimos cinco años, así como también los aspectos de inherentes a las cargas eléctricas, realizando las proyecciones para los próximos 20 años, teniendo en cuenta la influencia del crecimiento económico del país.

La descripción de las características técnicas de los elementos que forman parte de la ampliación de la sub estación, están en función a los flujos de energía a través de las tres barras que la sub estación alimenta tanto para el sector residencial como para el industrial. En el aspecto económico, los indicadores muestran la factibilidad del proyecto en el plazo de 10 años, con una tasa interna de retorno del 48% anual y una relación beneficio costo de 4.1.

Palabras Clave: Transformador de potencia, crecimiento económico, demanda de energía.

## **Abstract**

The electrical sector in which SET Pomalca is included, which is within the Province of Chiclayo, is one of the most experienced due to the population growth of the area as well as industrial growth, specifically in the agroindustrial sector.

In the present research project has been carried out to determine the functionality of the incorporation of the 20 MVA transformer in the SET Pomalca, according to the demand of energy consumption in the area of influence, both in the home sector and in the sector industrial, with projections based on the economic growth of the country. The incorporation into the SET Pomalca of a 20 MVA transformer was made because of the need for the current 9 MVA transformer to operate at full load levels for a prolonged period of time, and this was superdited by the fact that the load increases were not compensated with the supply of energy in the area.

Statistical information on energy consumption in the last five years was collected, as well as the inherent aspects of electric charges, making projections for the next 20 years, taking into account the influence of the country's economic growth.

The description of the technical characteristics of the elements that are part of the extension of the sub station, are a function of the energy flows through the three bars that the sub station feeds for both the residential and industrial sectors. In the economic aspect, the indicators show the feasibility of the project within 10 years, with an internal rate of return of 48% per year and a benefit-cost ratio of 4.1

Keywords: Power Transformer, economic growth, energy dema.

## I. INTRODUCCIÓN

En Chile, ubicado en la región sudamericana, es reconocido a nivel mundial por su destacada industria minera, especialmente en la producción de cobre. Con una larga tradición minera que se remonta a siglos atrás, posicionado como el primer productor de cobre a nivel global. La minería ha sido un pilar fundamental en la economía chilena durante décadas, en el año 2016. El país cuenta con una geología privilegiada, rica en depósitos de minerales, y una sólida infraestructura para la extracción y exportación de recursos mineros, Su tasa de crecimiento fue 2.5% desde el 2006. El cobre, en particular, ha sido el mineral más importante y representativo de la industria minera chilena. Se ha ganado el título de "primer productor mundial de cobre" debido a sus vastas reservas y a la producción sostenida a lo largo de los años. La industria del cobre chilena ha mantenido su capacidad para adaptarse a las tendencias del mercado y mantener altos niveles de producción, lo que le ha permitido liderar la producción global. (Ministerio de Energía de Chile, Anuario estadístico de Energía, 2017).

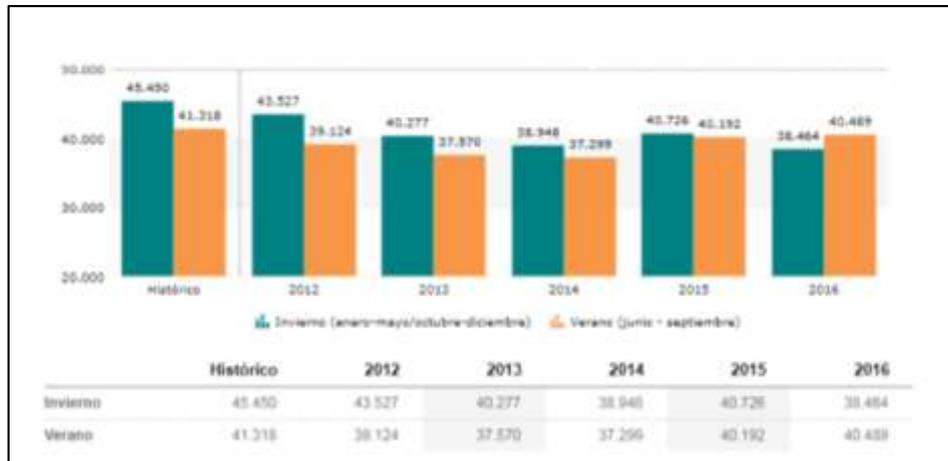


**Figura 1.** Evolución de la Máxima demanda en Chile, 2016

Fuente: Ministerio de energía Chile, 2016

El grupo de países que conforman la unión europea tienen una gran demanda de energía y centrándonos en España en las estaciones que pasan por este país durante el invierno y el verano, el estado ha implantado programas para decrecer el luso de energía contaminante y reemplazarla por energías limpias, con todos los esfuerzos realizados igual la demanda eléctrica consume en promedio unos 40000

MW, esto se da por el crecimiento constante del consumo por el sector industrial, se debe tener en cuenta que también existe el aporte de la generación eléctrica renovable por las tecnologías eólica y solar (España, 2017).



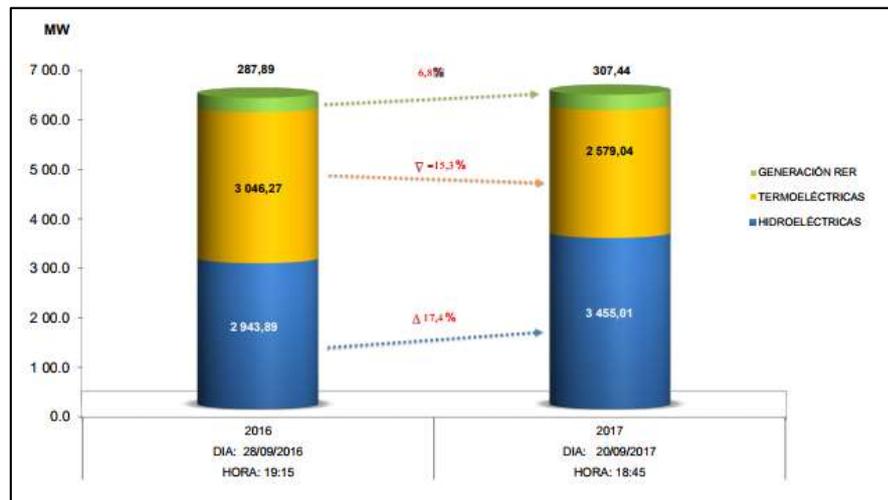
**Figura 2.** Potencia Máxima Instantánea en España (MW)  
Fuente: Ministerio de energía España, 2017

La necesidad de la energía está supeditado a parámetros de crecimiento o de producción, la demanda se impone a través del consumo individual de cada persona, pero la concientización en la población de un consumo razonable está creciendo por tal motivo existe actualmente un pensamiento de cuidado con el consumo de energía (Agencia Internacional de la Energía, 2016).

En varios países durante el año 2015 se realizó un incremento de emisión de energía eléctrica en los países de Rusia (1083 TWh), Estados Unidos (4402 TWh), China (5552 TWh) e India (1220 TWh) (OSINERGMING, 2016). Los cual es en su conjunto sumaron el 56% de energía eléctrica del año 2015. También podemos decir que los países latinoamericanos participaron en menor producción pero con una importancia relevante con Venezuela (126 TWh), Argentina (144 TWh), México (304 TWh) y Brasil (583 TWh) y en nuestro país sólo se alcanzó una producción de energía eléctrica de 48 TWh (OSINERGMING, 2016).

En nuestro país Perú el 20 de septiembre a las 18:45 se registró una máxima demanda eléctrica de 6341.49 MW, el cual superó el promedio de 6278.06 MW, el cual se muestra una diferencia la cual quedó registrada además en el mismo mes

y el año 2016 también hubo una demanda similar con un incremento de 63 MW (COES, 2017).



**Figura 3.** Comparación de Máxima demanda en el Perú año 2016 – 2017  
Fuente: Ministerio de energía Perú, 2016-2017

Entre los años 2016 y 2017 se registró una demanda variable comparando los meses en que se dieron los incrementos, observándose que siempre la tendencia es el incremento y en razones muy similares en el Perú. Se entendió que la producción energética debe estar en constante crecimiento para poder cubrir la demanda que cada vez es mayor (COES, 2017).

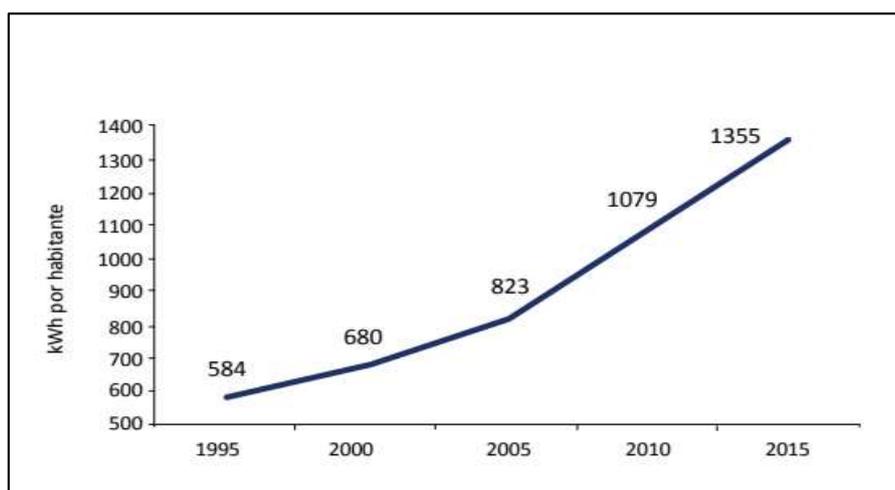
**Tabla 1.** Máxima demanda 2016 - 2017

MESES	2017	2016	VARIACIÓN 2016/2015
ENERO	6 573,25	6 300,95	4,32%
FEBRERO	6 529,48	6 450,09	1,23%
MARZO	6 595,58	6 444,91	2,34%
ABRIL	6 449,99	6 392,84	0,89%
MAYO	6 427,46	6 268,29	2,54%
JUNIO	6 400,77	6 241,94	2,54%
JULIO	6 312,86	6 191,07	1,97%
AGOSTO	6 303,86	6 189,62	1,85%
SETIEMBRE	6 341,49	6 278,06	1,01%

**Figura 4.** Máxima demanda 2016 – 2017

Fuente: COES, 2017

El crecimiento del consumo individual eléctrico en el año 1995 era menor a los 600 KWH, y según los registros de consumo al año 2015 se presenta un valor de 1335 KW, lo que se observa que en 20 años cada familia o habitantes en promedio han duplicado el consumo de energía eléctrica. Es decir que de alguna manera a través de este indicador podemos decir que la calidad de vida del poblador en el Perú ha llegado a un nivel superior. Además, el indicador de crecimiento del sistema que electrifica la ciudad indicó un 92% de estas instalaciones se incrementó (OSINERGMIN, 2016).



**Figura 5.** Evolución consumo per cápita de energía en Perú

Fuente: COES, 2017

El consumo de energía per cápita promedio es de 1300 KWH en todo el territorio del Perú, y para nuestra la parte del norte la demanda genera un consumo de 451 KWH per cápita de Lambayeque, lo cual indica que hay una diferencia muy representativa. Vale decir que los principales sectores económicos de Lambayeque son el turismo y el comercio, además de otros. Por la explosión del proyecto olmos nuestra región se perfila a un crecimiento de energía en su consumo en el sector de la producción de alimentos (Ministerio de Energía y Minas, 2016).

La potencia del transformador que cuenta la Subestación eléctrica de Pomalca es de 60/22,9/10kV-7/7/2(9/9/2,5) MVA (ONAN/ONAF), la cual abastece a Chiclayo y todos sus alrededores. Sin embargo la necesidad de mayor energía eléctrica cada vez por el crecimiento poblacional y también el consumo de la empresa agroindustrial Pomalca ponen al borde de su máxima capacidad a la subestación y mención, además se une también los negocios que se generan y los cual es también consumen más energía por su proliferación y todos estos motivos se unen para que constantemente llegar a la potencia de 9 MBA , la cual es su máxima capacidad del transformador que está en la sub estación en mención.

La empresa agroindustrial Pomalca es la que procesa la caña de azúcar para producir azúcar, se ve en la necesidad constante de la subestación eléctrica de Pomalca, donde la necesidad de energía eléctrica está enlazada a su producción pero no se encuentra un enlace constante de la gerencia de la subestación y la gerencia de la empresa agroindustrial para coordinar los puntos o picos más altos de consumo de energía y estos puedan ser equilibrados para no dejar sin energía apartes de la población que también la necesitan.

La formulación del problema se resume mediante la pregunta: ¿Cómo satisfacer el incremento de la Máxima Demanda en la SET Pomalca, si se realiza el estudio de operatividad del Transformador de 20 MVA?

De acuerdo a la realidad ya antes expuesta se incrementó la fuerza del transformador de 9 MBA a 20 MBA lo cual fue justificado por el constante crecimiento de demanda de energía eléctrica, no solamente para la población si no para el proceso productivo empresarial, además fue una inversión de gran

cobertura ya que la estación generó mayor ingreso por la misma demanda que existe y el incremento de precios en sus tarifas.

La demanda existente en la zona justifica el gasto en tecnología para incrementó en la potencia del transformador, así como de todos los insumos o accesorios que necesitaba para su puesta en operación activa. Los efectos inmediatos son un mejor servicio, cubrir la demanda, además de crear nuevas necesidades en la zona de influencia de la subestación.

Podemos decir que la subestación justifica el equipamiento por la calidad eficacia y eficiencia del servicio brindado, además de la reducción de costos porque las pérdidas técnicas serán mínimas, también podemos decir se mejorará la coordinación, sistemas de protección actualizados, medición constante y control en tiempo real, dando un mantenimiento óptimo que garantice que la subestación de Pomalca este al 100%.

Con los equipos antiguos se mostraban en los indicadores niveles bajos de eficiencia porque la subestación tiene equipos que fueron instalados en los años 90, con esta tecnología antigua las emisiones de gases al medio ambiente se incrementa por el uso de ser energía a gas natural, carbón, Diesel o de origen térmica, lo cual originaba mayores niveles de ineficiencia con lo cual generaba pérdidas, entonces al equipar la subestación con tecnología más eficiente reduciríamos la emisión de gases de una manera eficiente y eficaz.

En el aspecto social la justificación de la investigación tuvo sentido porque los niveles de calidad de vida se incrementaron además de un servicio eléctrico constante y precios que están determinados por el comité de operación económica, dando vigor a toda la zona de influencia la cual brinda beneficios a los distritos los cuales distribuye la energía eléctrica.

El objetivo general de la investigación fue: Estudiar la operatividad de Transformador de 20MVA para satisfacer el incremento de Máxima Demanda En SET POMALCA.

Para direccionar en lo que motivo general se manifestaron los objetivos específicos siendo: Diagnosticar la situación actual y proyectar el consumo de energía en la SET Pomalca; Realizar un estudio de los flujos de carga en las tres barras de la

SET, bajo posibles escenarios de Avenida y Estiaje, a máxima, media y mínima demanda utilizando el software de Digsilent Power Factory 15.1.7; Determinar las características del equipamiento, garantizando la operatividad, el servicio de calidad, y la cobertura de las necesidades energéticas de la zona; Realizar un análisis económico, utilizando los indicadores económicos, tales como Tasa Interna de Retorno, Valor Actual Neto y Relación Beneficio Costo.

## II. MARCO TEÓRICO

La investigación tiene como respaldo otras investigaciones similares de acuerdo a las varias variables:

KVGOTTARDO (2007) mencionó que la investigación sobre el control de energía y el diseño de una subestación eléctrica en un proceso minero fue presentó en la universidad nacional de ingeniería, se concluyó que el transformador provisional de 6 MVA, 50/10.5 KV se diseñó provisionalmente la subestación para la mina marca punta oeste en su primera fase. Luego se instaló el transformador de 10-12 MVA, 50/10.5 KV como equipo definitivo, brindando cargas eléctricas hasta 24,5 MW cuando se realizó la proyección de cargas eléctricas de la exploración minera, también en la segunda proyección se realizó en función a la demanda de minerales.

El trabajo de investigación en la SET Pomalca cuenta con similitudes al realizar el diagnóstico de la potencia industrial, en la fabricación del azúcar el cual se proyectan ampliaciones y por lo tanto la necesidad energética será aún mayor, entendiéndose de la urgencia para ampliar de 9 a 20 MVA, ya que es una necesidad del entorno empresarial industrial además del explosión y crecimiento de la zona de Pomalca y anexos.

KAUEFATI (2010), la investigación sobre EL DISEÑO DE SUBESTACIONES CON INGENIERÍA BÁSICA, realizada en la universidad Simón Bolívar, la cual fue para obtener el Título profesional de Ingeniero Electricista, tuvo los objetivos siguientes: diseñar de manera básica la construcción de la subestación para subtransmisión con arreglo de barras en anillo con una potencia de 115/34,5 KV; los cuales tienen la necesidad de otros objetivos específicos para un eficiente progreso de las acciones operativas a realizar. Los objetivos específicos son:

Investigación se realiza el cálculo de la malla de Tierra correspondiente, análisis de corto circuito, flujo de carga y mediciones de resistividad del suelo en la subestación.

Además, el dimensionar los toma corriente y los cables que alimentan el circuito de iluminación de la subestación a utilizar en ella.

Proyectar según las normas de emergencia establecidas los niveles de iluminación interior.

Para la implementación de la SET Pomalca se debe realizar un análisis de corto circuito de la estación, flujo de cargas, cálculo de protección eléctrica y resistividad del suelo. Además, se debe calcular las medidas de las distancias que se ubican los circuitos alimentadores para el correspondiente cableado de la SET, sin descuidar las luces de emergencia conexiones internas de iluminación y otros. Se debe tener una metodología adecuada que permita medir con precisión los elementos necesarios que necesita el transformador de 20 MVA de potencia debe ser asistido de manera óptima.

Según Barrantes (2011), en la investigación sobre el control de subestaciones eléctricas y el diseño del sistema de protección para tesis de grado en Madrid de la Universidad Carlos III, se resumió que para lograr los objetivos se manifiestan las siguientes acciones, la base de la investigación cuenta con 10 partes los cuales se denotan como capítulos además tienen sus complementos con anexos. La primera parte se presentan objetivos de la investigación, informando el lugar donde se desarrolla la Cereal y se explica los puntos a tratar en cada uno de las partes de la investigación. La segunda parte concentra criterios y elementos que caracterizan particularidades generales en la subestación de electricidad, las cuales se necesita para indagar e iniciar la investigación del sistema de control y protección. También estarán expuestas las definiciones de lógicas de enclavamiento y del diagrama unifilar para aplicar en la estación la Cereal. De la investigación previa nos concentramos en puntos relevantes del capítulo 3 y cuatro porque se enlazan con la investigación en cuanto al sistema de control y protección y la operatividad de los equipamientos; es importante resaltar que analizar la operación de los equipos esta tiene parámetros en modo y forma de operar el transformador para los niveles de potencia que pueda suministrarse correctamente la energía eléctrica, por medio de los conductores o alimentadores que se encuentran distribuidas en el área jurisdiccional de la SET Pomalca.

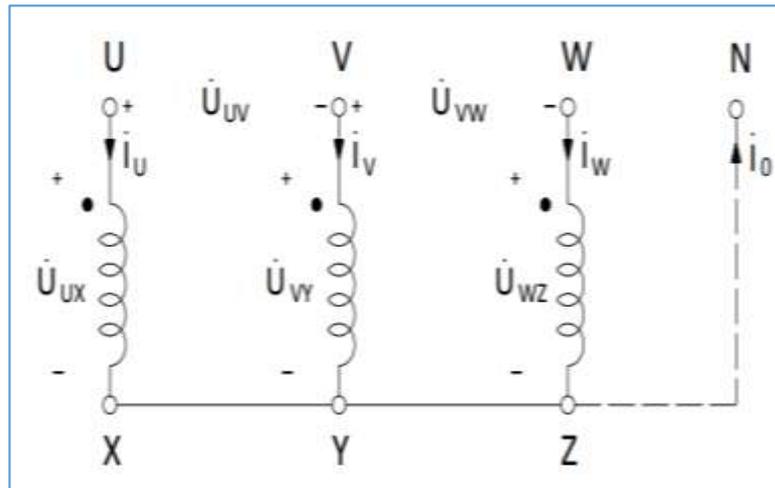
## Conexión de Transformadores.

La determinación de la relación de un transformador en términos de intensidad de corriente eléctrica y de tensión eléctrica es de acuerdo a la conexión interna de las bobinas tanto de las partes primarias y secundarias, además también se puede establecer la relación que existe entre la intensidad y la tensión de corriente eléctrica del desfase, tanto de la línea como de la fase.

ÍNDICE DE DESFASE	SÍMBOLO DE AGRUPAMIENTO	DIAGRAMA FASORIAL		ESQUEMA DE CONEXIONES		RELACIONES TRANSFORMACIÓN
		ALTA TENSIÓN	BAJA TENSIÓN			
6 (180°)	Dd6					$\frac{N_1}{N_2}$
	Yy6					$\frac{N_1}{N_2}$
	Dz6					$\frac{2 N_1}{3 N_2}$
11 (330°) (-30°)	Dy11					$\frac{1 N_1}{\sqrt{3} N_2}$
	Yd11					$\sqrt{3} \frac{N_1}{N_2}$
	Yz11					$\frac{2 N_1}{\sqrt{3} N_2}$

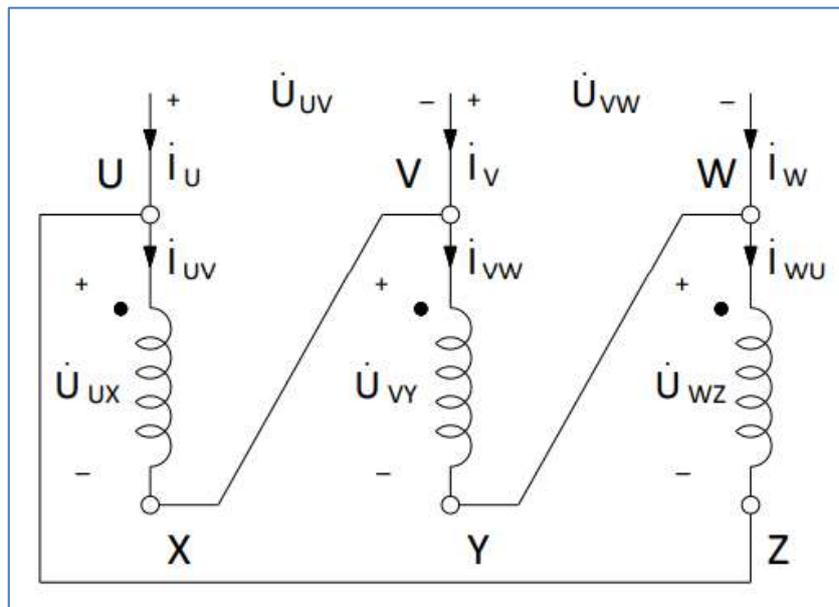
**Figura 6.** Transformador de Potencia - Grupo de conexión  
Fuente: Medel, 2014

### Conexión Estrella



**Figura 7.** Conexión estrella de un transformador de potencia  
Fuente: Medel,2014

### Conexión Triángulo

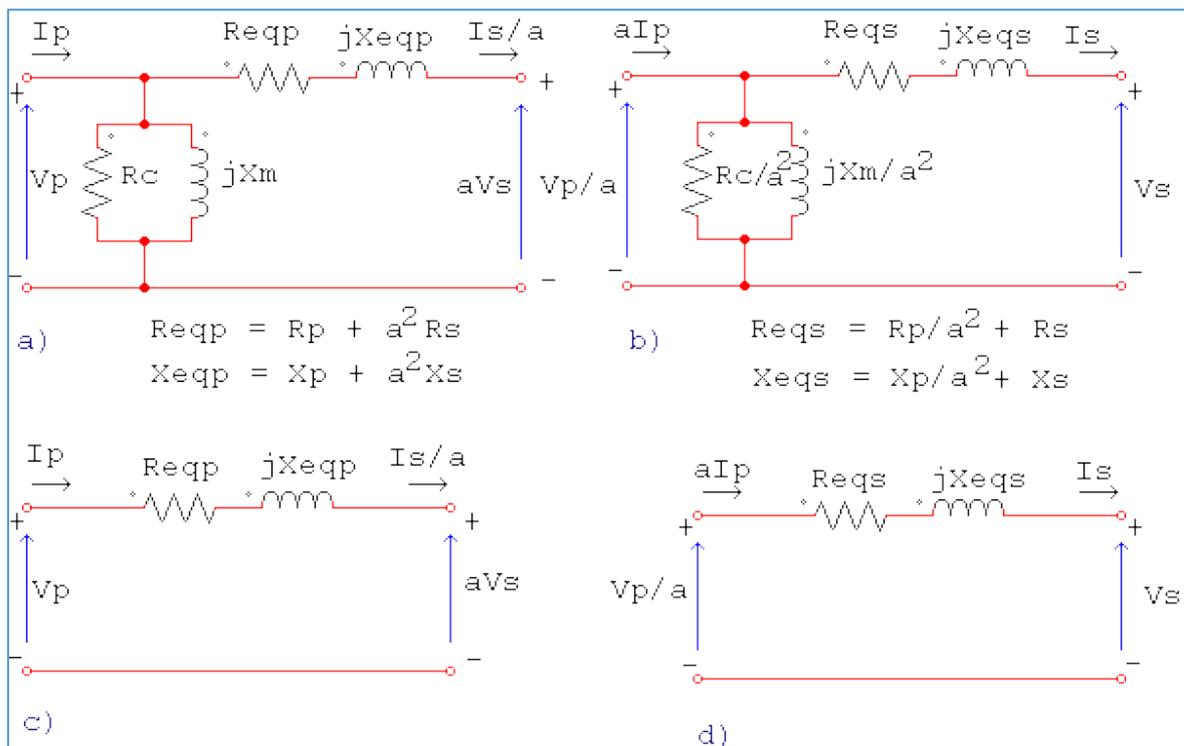


**Figura 8.** Conexión Triángulo de Transformador  
Fuente: Medel,2014

## Circuitos equivalentes aproximados de un transformador.

Varios diseños del transformador en imágenes pasadas normalmente tienen un nivel superior de complejidad mayor a la necesidad con el objetivo de lograr óptimos resultados en prácticas de ingeniería aplicativas.

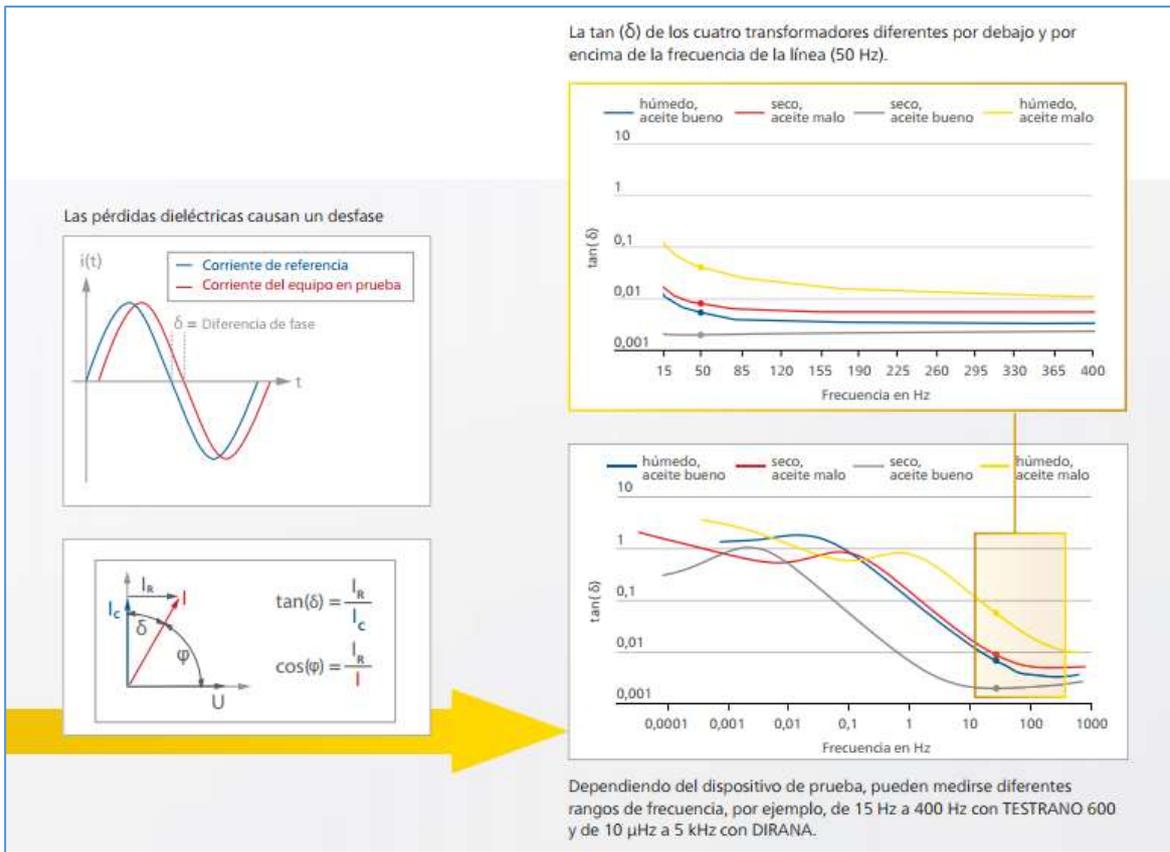
El añadir otro nodo al circuito, es una de las principales quejas porque complica el circuito más de lo necesario cuando no existe la necesidad, ahí la solución se vuelve más compleja.



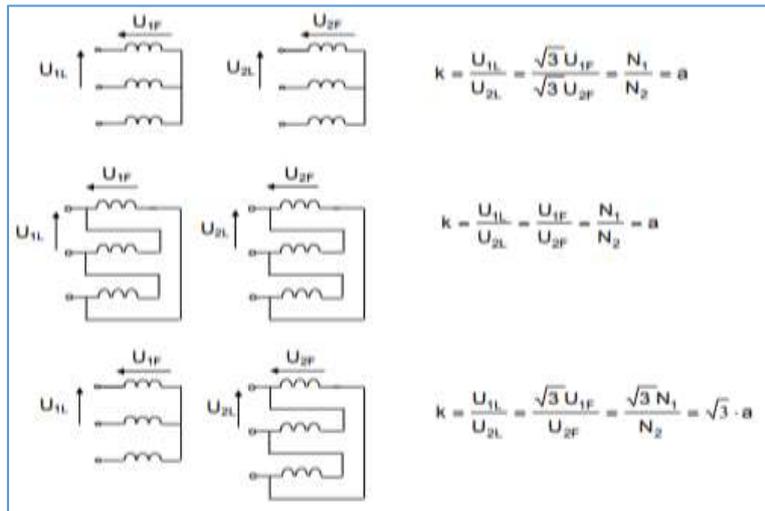
**Figura 9.** Circuito equivalente y aproximado de un transformador de Potencia  
 Fuente: Medel, 2014

## Pruebas a Transformadores

Estas pruebas tienen el objetivo principalmente de diagnosticar los desperdicios de energía que se da en el núcleo del transformador como el hierro, además otro metal importante es el cobre el cual está como bobinado a los lados del alto y bajo voltaje las pruebas se hacen a circuito corto abierto además cargados.

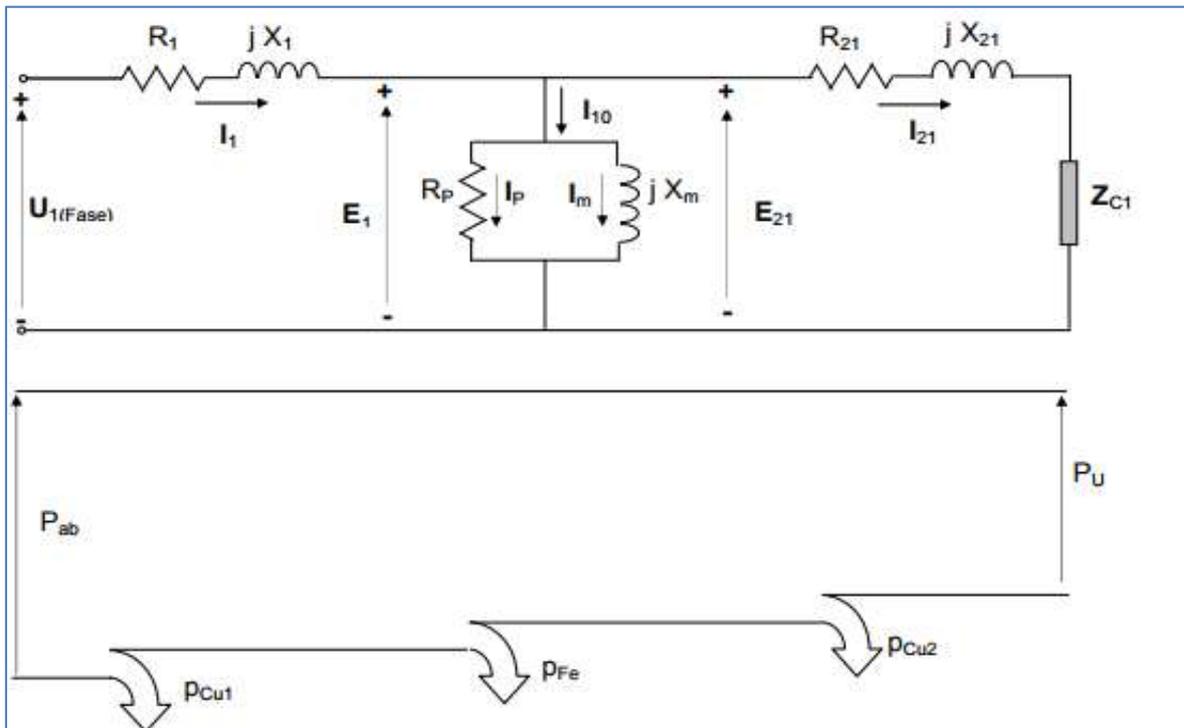


**Figura 10.** Desfasaje de señales eléctricas Relaciones de transformación  
Fuente: Medel, 2014



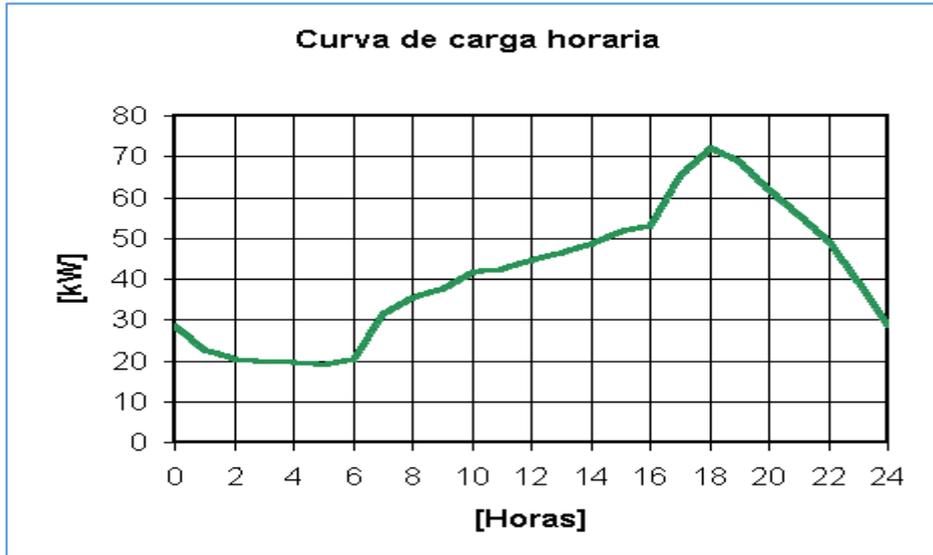
**Figura 11.** Relación de Transformación  
Fuente: Medel, 2014

En cuanto al Flujo de potencias. En una fase de un transformador el circuito equivalente debe estar alineado a la potencia donde se activa el circuito representando la tercera parte del mismo.

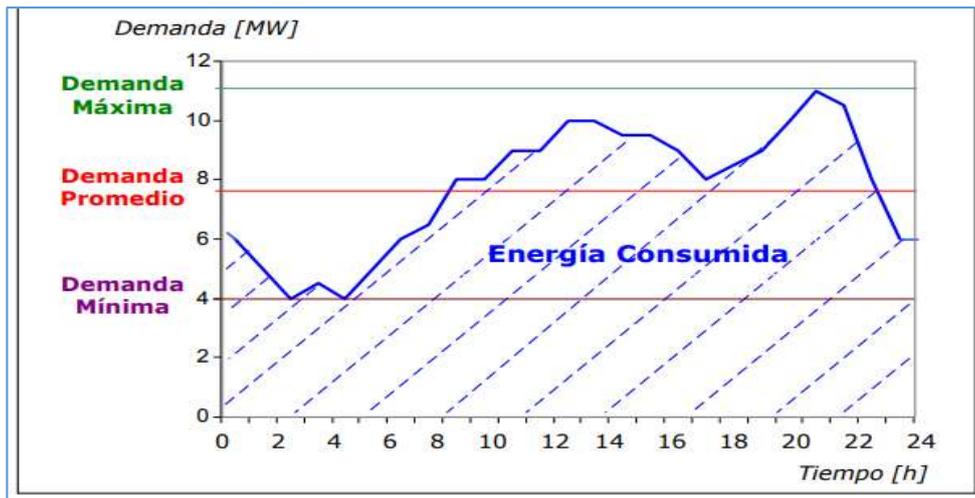


**Figura 12.** Flujo de Potencia en un Transformador  
Fuente: Medel, 2014

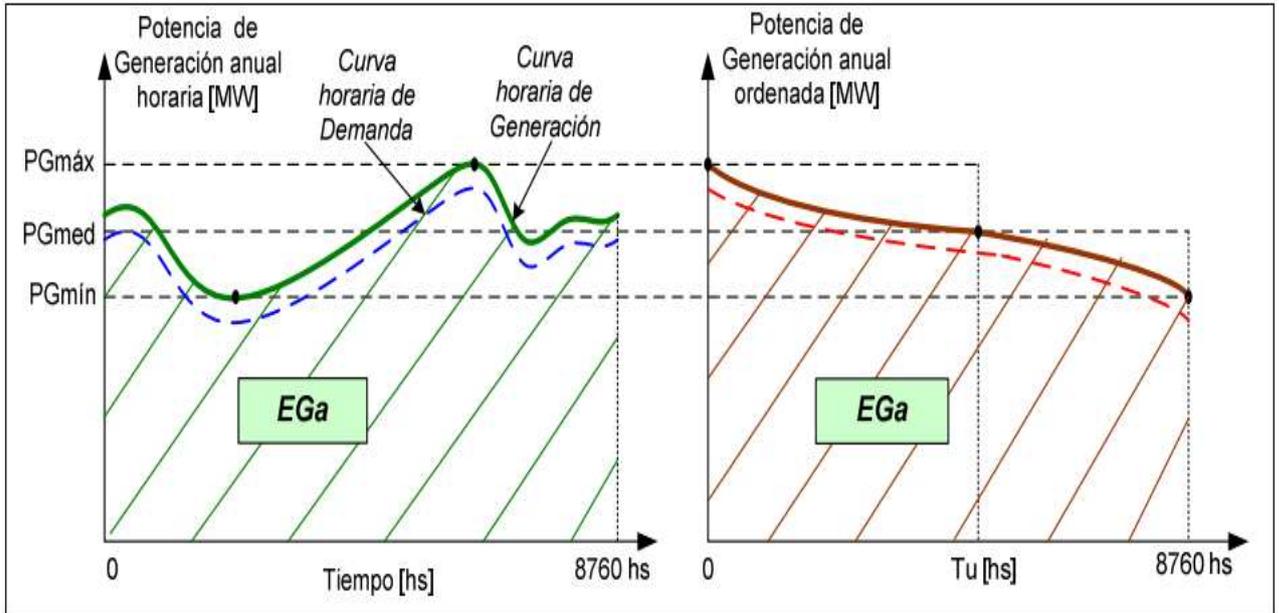
Ahora sobre el diagrama de carga. La curva de carga horaria o también diagrama de carga expone el nivel utilización de energía que durante 24 por horas se consume, teniendo en cuenta que de una manera típica hay altos de consumo entre las 22 y 18 horas como puntos críticos de consumo en alto nivel.



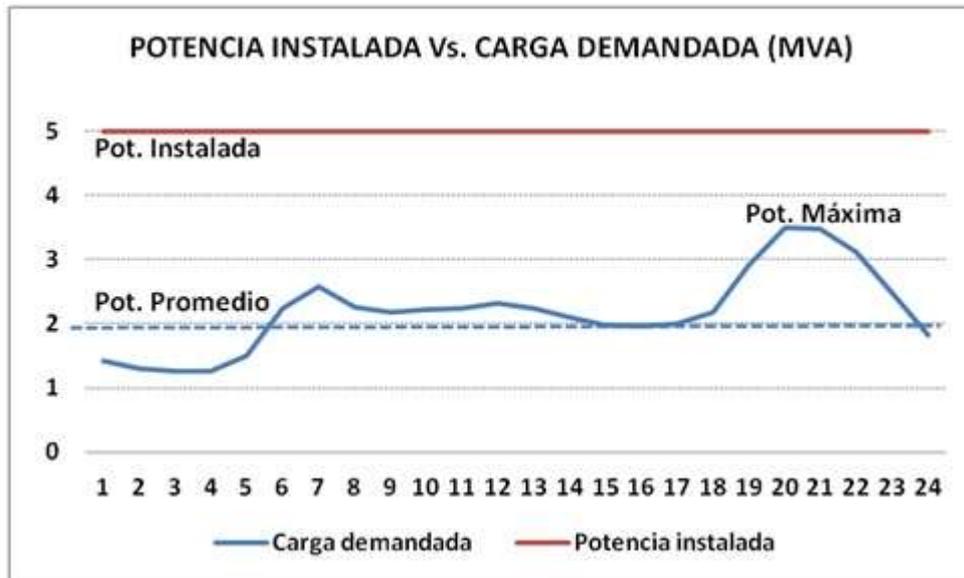
**Figura 13.** Diagrama típico de carga para el sector doméstico urbana.  
Fuente: SEIN, 2014



**Figura 14.** Curva de Carga  
Fuente: SEIN, 2014

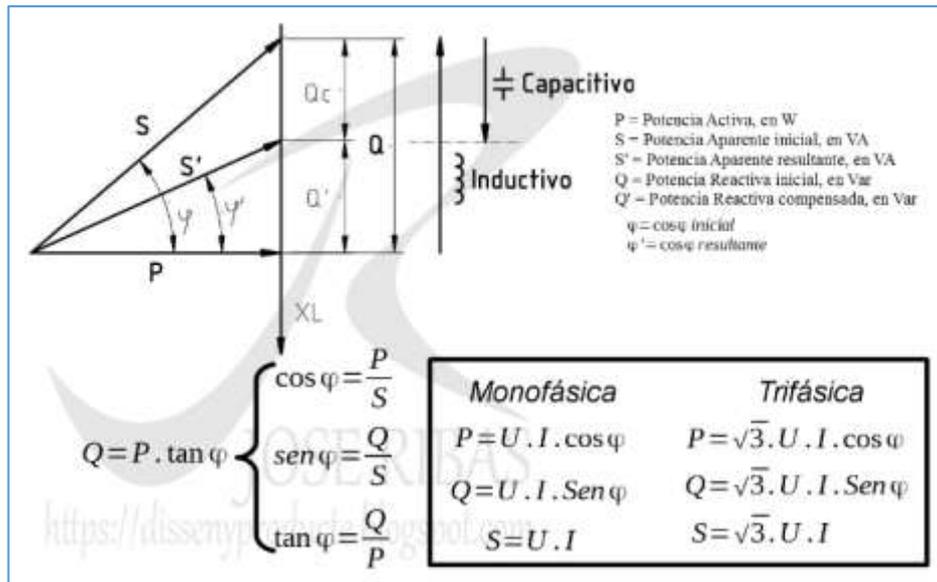


**Figura 15.** Curva de Generación y Generación Ordenada  
Fuente: SEIN, 2014



**Figura 16.** Potencia Instalada Vs Carga Demandada  
Fuente: SEIN, 2014

## Energía Activa y reactiva.



**Figura 17.** Ecuaciones que relacionan la energía activa, reactiva y aparente  
Fuente: Guerrero, 2015

## Factores de carga del SEI

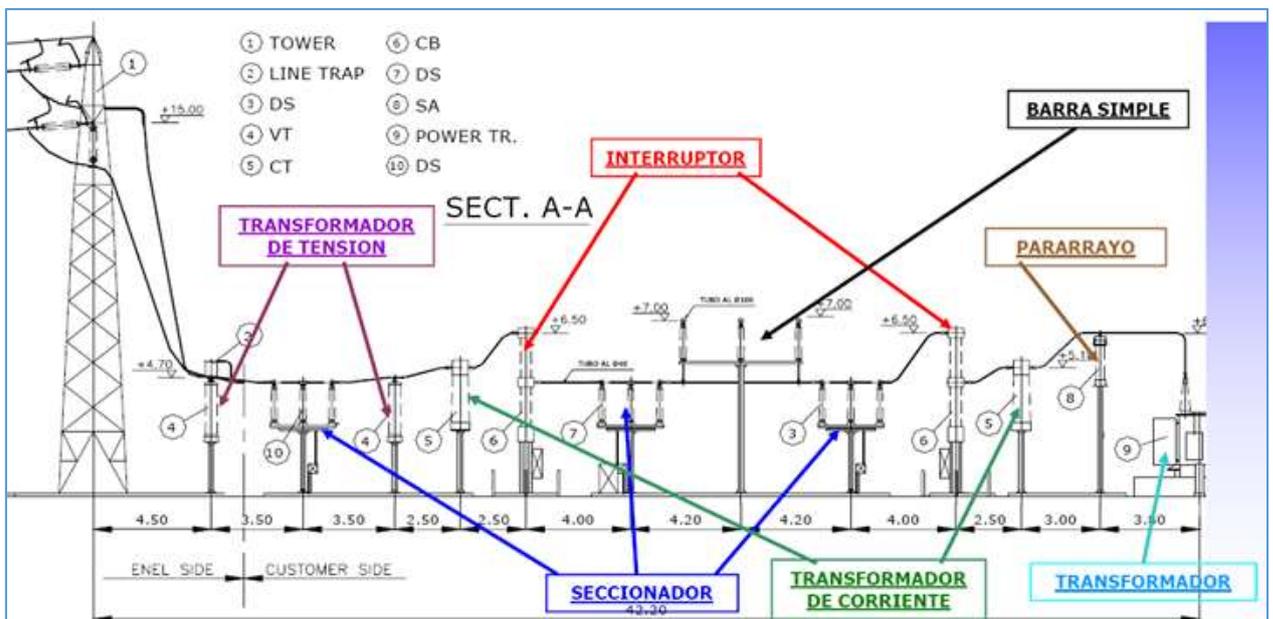
En el curso interregional Training Course On WASP IV/DECPAC Model for electricity System Planing por Brian Manhire, se utilizó la técnica para determinar los factores de carga SEIN fue documentado.

$$f_{c(p)} = \frac{P_{med}(P)}{P_{max}(P)} = \frac{\frac{E(P)}{t(P)}}{P_{max}(P)}$$

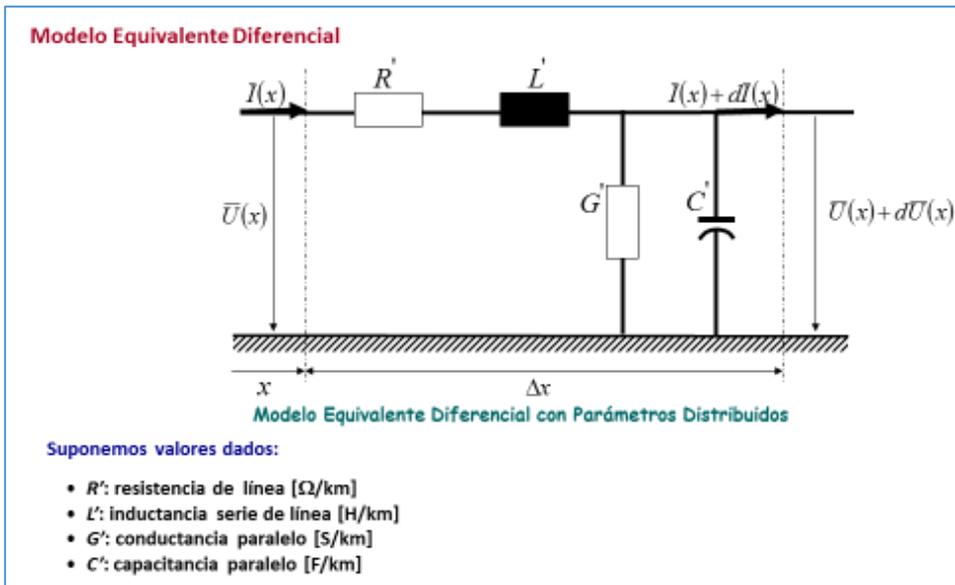
Donde:

$P_{max}(P)$  = Demanda máxima de potencia.

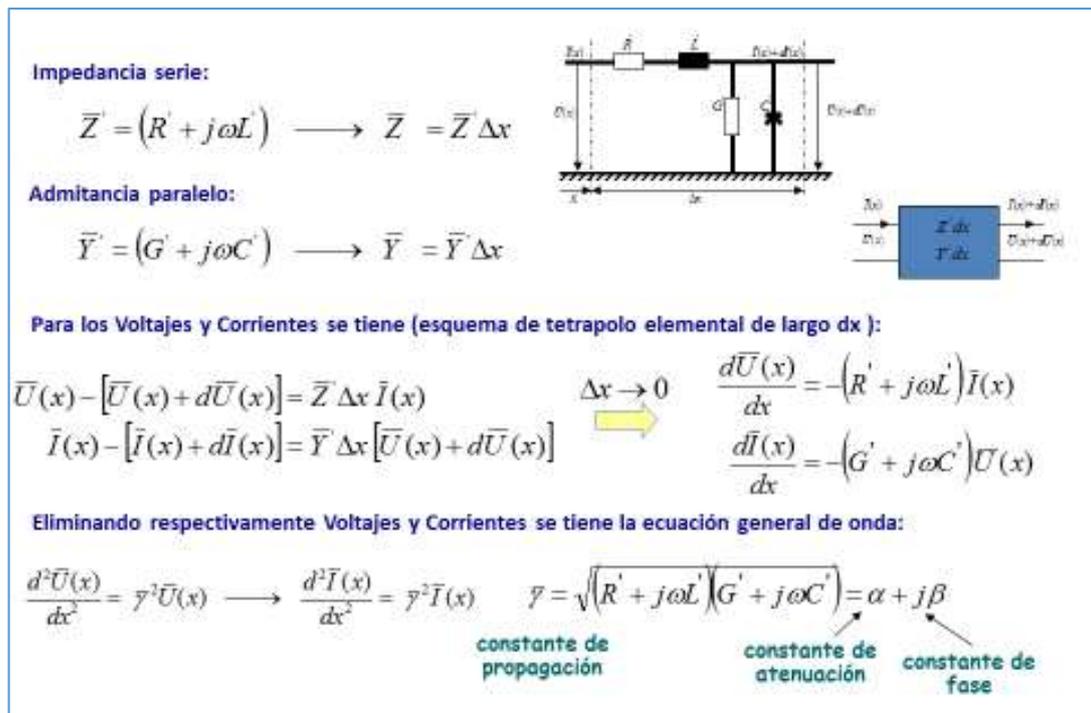
$P_{med}(P)$  = Demanda media de potencia.



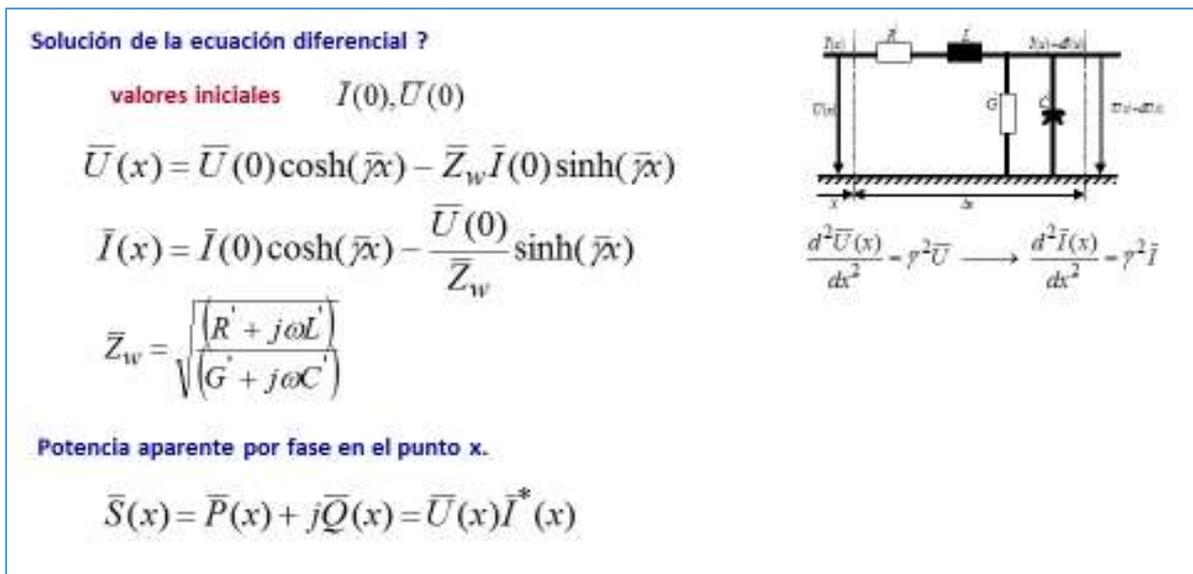
**Figura 18.** Vista electromecánica: Patio de Llaves de subestación de potencia  
Fuente: Guerrero, 2015



**Figura 19.** Modelo equivalente Diferencial Línea de Transmisión  
Fuente: Stevenson, 2012



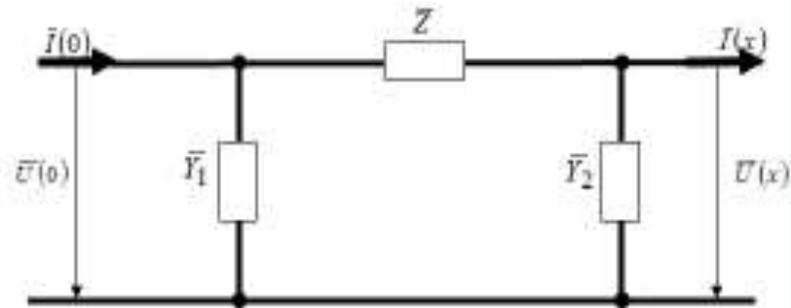
**Figura 20.** Ecuaciones de Flujo de Potencia Línea de Transmisión  
Fuente: Stevenson, 2012



**Figura 21.** Flujo de Potencia Aparente Línea de Transmisión  
Fuente: Stevenson, 2012

**Modelo equivalente monofásico**

$$\begin{aligned}\bar{U}(x) &= \bar{U}(0) - \bar{Z} [\bar{I}(0) - \bar{Y}_1 \bar{U}(0)] \\ &= \bar{U}(0) [1 + \bar{Z} \bar{Y}_1] - \bar{Z} \bar{I}(0) \\ \bar{I}(x) &= \bar{I}(0) - \bar{Y}_1 \bar{U}(0) - \bar{Y}_2 \bar{U}(x) \\ &= \bar{I}(0) [1 + \bar{Z} \bar{Y}_2] - \bar{U}(0) [\bar{Y}_1 + \bar{Y}_2 + \bar{Z} \bar{Y}_1 \bar{Y}_2]\end{aligned}$$



**Comparando coeficientes**

$$\begin{aligned}[1 + \bar{Z} \bar{Y}_1] &= [1 + \bar{Z} \bar{Y}_2] = \cosh(\gamma x) \\ \bar{Z} &= \bar{Z}_w \sinh(\gamma x) \\ [\bar{Y}_1 + \bar{Y}_2 + \bar{Z} \bar{Y}_1 \bar{Y}_2] &= \frac{1}{\bar{Z}_w} \sinh(\gamma x)\end{aligned} \quad \Rightarrow \quad \begin{aligned}Z &= Z_w \sinh(\gamma x) \\ \bar{Y}_1 = \bar{Y}_2 &= \frac{1}{Z_w} \frac{\cosh(\gamma x) - 1}{\sinh(\gamma x)} = \frac{1}{Z_w} \tanh\left(\frac{\gamma x}{2}\right)\end{aligned}$$

**Figura 22.** Parámetros de Líneas de Transmisión

Fuente: Stevenson, 2012

### III. METODOLOGÍA

#### 3.1. Tipo y diseño de Investigación.

**Tipo de investigación:** Aplicativa.

**Diseño de la investigación:** No experimental descriptivo

#### 3.2. Variables y operacionalización.

**Variante independiente:** Operatividad del Transformador de 20MVA

**Definición Conceptual:** es la capacidad para funcionar de manera eficiente y confiable dentro de un sistema eléctrico. Implica varios aspectos, como la capacidad de manejar la carga nominal, mantener la calidad de la tensión, evitar sobrecalentamiento, asegurar una buena eficiencia energética y garantizar la seguridad durante su operación.

**Definición Operacional:** el transformador debe mantener una regulación adecuada de voltaje, asegurando que la tensión de salida esté dentro de los límites aceptables y cumpla con las especificaciones del sistema eléctrico. Esto implica mantener la relación de transformación adecuada y ajustar los reguladores de tensión si es necesario.

**Variable Dependiente:** Máxima Demanda en SET POMALCA.

**Definición Conceptual:** se refiere al momento donde el conjunto de toda las cargas eléctricas y potencias eléctricas funcionan enlazadas durante un período de tiempo el cual mediante el diagrama de carga se analiza la variación.

**Definición Operacional:**

Los requerimientos de energía eléctrica se modifican de acuerdo a las cargas de la zona tienen una variación máxima de demanda de acuerdo a la hora que se toma el diagrama de carga, otra opción que se da es la costumbre del momento para usar la electricidad, supeditando en qué momento existe el consumo masivo para determinar la máxima eficiencia.

**Tabla 2.** Operacionalización de variables

VARIABLES DE ESTUDIO	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSION	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
Variable Independiente: <b>OPERATIVIDAD DE TRANSFORMADOR DE 20MVA</b>	Un transformador de 20MVA es una máquina eléctrica utilizada para cambiar el nivel de voltaje de la corriente alterna en sistemas de transmisión y distribución de energía eléctrica. Su capacidad nominal de 20 megavoltiamperios (MVA) indica la cantidad máxima de potencia que puede transferir de manera continua. El transformador consta de dos o más bobinas de alambre enrolladas alrededor de un núcleo magnético de hierro laminado. La bobina primaria se conecta a la fuente de energía eléctrica y la bobina secundaria se conecta a la carga o al sistema de distribución. El número de vueltas en cada bobina y la relación entre ellas determinan la relación de transformación del voltaje.	La relación de transformación relaciona los parámetros en ambos lados del transformador. La reducción al máximo de pérdidas de energía, depende de los parámetros de funcionamiento del transformador en cuanto a la tensión y la corriente de la fase y de línea.	Lado de Baja tensión.  Lado de Alta Tensión	Tensión eléctrica.  Frecuencia eléctrica  Factor de potencia  Potencia activa y reactiva	Intervalo  Nominal  Intervalo  Intervalo
Variable Independiente:  Máxima Demanda en SET POMALCA.	Las variaciones se analizan con el diagrama de carga, entonces la máxima demanda se mide en el pico más alto de consumo, en la cual la sumatoria eléctrica de todas las potencias instantáneas de las cargas eléctricas durante un lapso de tiempo.	Las modificaciones de acuerdo a las necesidades de energía eléctrica de un lugar en específico, estos pueden variar el valor de la máxima demanda, como también lugar o el tiempo del diagrama de carga. Y estos puntos dependerá la denominada eficiencia de consumo energético y esta enlazado a la cultura de uso de la energía.	Valor de la máxima demanda  Duración de la máxima demanda.  Momento de la máxima demanda	Máxima demanda  Horas de máxima demanda.  Horario diario	Intervalo  Intervalo  Intervalo

### 3.3. Población, muestra y muestreo

**Población:** se conforma por el conjunto total de individuos o elementos que se desea estudiar, se toma como la muestra de la investigación. Esto implica que todos los elementos de interés en la población son incluidos en el estudio, sin realizar ningún tipo de selección o muestreo. Se busca obtener información precisa y completa sobre cada individuo de la población. Esto puede ser factible en casos donde la población es pequeña o manejable, o cuando es posible acceder y recopilar datos de todos los elementos en un tiempo y costo razonables.

- **Criterios de inclusión:** se tomará las singularidades de los sujetos para incluirlos en la muestra es decir que tendrán que estar involucrados con las variables.
- **Criterios de exclusión:** los sujetos de la población que no tengan alineamiento a las variables serán apartados porque no sumarán a la investigación.

**Muestra:** la muestra en la investigación será no probabilística ya que la población y la muestra son iguales. La cual estará en anexos.

**Muestreo:** sólo se utiliza cuando una muestra es probabilística y se debe aplicar la fórmula muestral según el porcentaje de confianza que tenga la necesidad la investigación.

**Población:** SET del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional.

**Muestra:** Es el Transformador de Potencia 20 MVA, que es el equipo al cual se va a determinar sus parámetros de funcionamiento.

**Muestreo:** Se identificó al equipo debido a que tiene una potencia por debajo de la demanda eléctrica, según el Registro Histórico de Máxima Demanda, desde el año 2016.

### 3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

Técnica de recolección de datos

Para la presente investigación se utilizó las siguientes técnicas, realizadas en campo:

**Observación:**

Por cuyo medio la observación nos da el beneficio de conocer la operatividad física de la subestación de Pomalca y el funcionamiento de sus componentes, además la importancia que recae sobre la toma de decisiones por el análisis de las condiciones en que se encuentra la subestación de Pomalca.

**Análisis documental:**

Se realizó indagaciones sobre investigaciones previas de tesis revistas publicaciones libros fuentes de internet y otros que sea necesaria y que sustente nuestra investigación.

**Instrumentación de recolección de datos**

**Guía de observación:** da a conocer el estado de los componentes de la subestación, teniendo la certeza de la actual realidad y grado o niveles de funcionamiento de los equipos en la subestación.

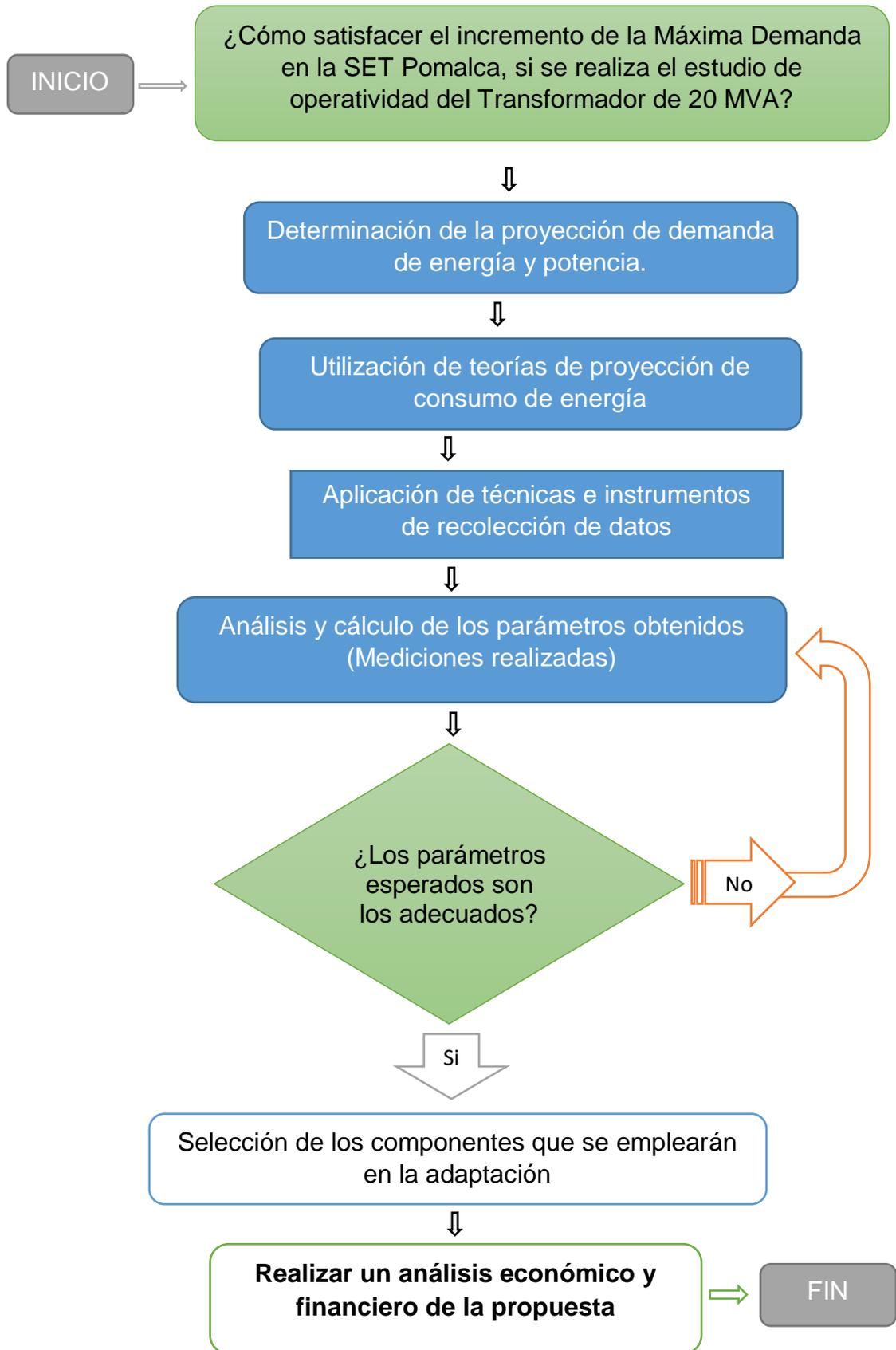
**Guía de análisis de documentos:** se analizan documentos técnicos y reportes que respalden lo observado dando fe de las características observadas.

**Ficha documentaria:****Validez y confiabilidad:**

**a.) Validez:** la investigación será revisada por ingenieros especialistas del tema que brindarán su opinión de manera cuidadosa precisa correcta y mediante un proceso exhaustivo, dando su opinión sobre los resultados de la investigación.

**b.) Confiabilidad:** los datos registrados en la investigación son confiables porque se tomó en cuenta la totalidad de la información.

### 3.5. Procedimientos



### **3.6. Método de análisis de datos**

La información obtenida fue cuidadosamente analizada mediante un proceso matemático a través de ecuaciones que miden la transferencia de energía dando especificaciones precisas del grado de electricidad producido en la subestación SET Pomalca. En cuanto a la información numérica fue procesada y se fue clasificando los datos con medios electrónicos de manera sistematizada, estando de acuerdo con las unidades de las variables de manera correspondiente. Se usó la estadística descriptiva para el procesamiento y análisis de la información la cual fue procesada mediante tabulaciones que nos permitan dar una ordenada organización mediante gráficos y tablas que sean accesibles de interpretar dando resultados fiables.

### **3.7. Aspectos éticos**

Se mantuvo la información obtenida de manera responsable, verás y sobre todo manteniendo la confidencialidad de los documentos antecedentes o datos, para prever conflictos de intereses que pudieran ocasionar la información obtenida.

## IV. RESULTADOS

4.1. Se realizó el Diagnóstico del consumo de energía y las proyecciones de consumo de energía en la SET Pomalca.

Descripción de las instalaciones existentes

La Subestación Pomalca, tenía las siguientes instalaciones y equipos:

Bahía para el seccionamiento de las líneas de alimentación de 60kV, pórtico de barraje y llegada de líneas 60kV y transformadores de tensión de barras 60kV, siendo las características de los mismos las que se indican a continuación:

Transformador de tensión 60:  $\sqrt{3}/0.1$ :  $\sqrt{3}/0.1$ kV 325 BIL

Seccionador de línea con cuchillas de puesta a tierra 72,5kV 800A 325kV BIL

Pararrayos Ozn 60kV 325kV BIL

Conductor de barraje AAAC 240 mm<sup>2</sup>



**Figura 23.** Seccionadora llegada de línea 1  
Fuente: ENSA, 2017



**Figura 24.** Seccionador llegada línea 2 y pórtico de barraje  
Fuente: ENSA, 2017



**Figura 25.** Transformadores de tensión barras 60Kv  
Fuente: ENSA, 2017

Bahía para la protección del transformador de potencia en el nivel de tensión de 60 kV, compuesta por seccionado, interruptor y descargador de sobretensiones; transformador de potencia 7-9/7-9/2-2,5 MVA 60/22,9/10 kV y bahía de protección del transformador en el nivel de tensión de 22,9kV compuesta por descargadores de sobretensiones seccionador, interruptor y seccionador de maniobra para la conexión al barraje de 22,9 kV.

Pararrayos Ozn 60 kV 325 kV BIL

Transformador de potencia 7-9/7-9/2-2,5 MVA ONAN-ONAF 60/22,9/10 kV

Pararrayos Ozn 18 kV 170 kV BIL

Interruptor de potencia 72,5 kV 1200A 20 kA 325 kV BIL

Seccionador 24 kV 630A 125 kV BIL

Interruptor de media tensión 24 kV 630A 125 kV BIL



**Figura 26.** Transformador de potencia y bahía asociada  
Fuente: ENSA, 2017

Pórtico de barraje de 22,9kV en él se incluye la bahía de protección para tres salidas de líneas (una actualmente reserva), el transformador de servicios auxiliares que da servicio a toda la subestación y transformadores de tensión de barras.

Reconectador autónomo 24kV, 560A, 12kA, 150kV BIL con transformadores de intensidad de rangos de corriente 600-500-400-300-200-100/5A

Transformadores de tensión 22,9:  $\sqrt{3}/0,1$ :  $\sqrt{3}/0,1$  kV 125kV BIL

Transformador de servicios auxiliares 22,9/0,4-0,23 kV 50kVA



**Figura 27.** Patio 22,9 Kv  
Fuente: ENSA, 2017



**Figura 28.** Bahías salidas de línea 22,9Kv  
Fuente: ENSA, 2017



**Figura 29.** Transformador de tensión barras 22,9Kv  
Fuente: ENSA, 2017

## LÍNEAS DE ALIMENTACIÓN 60KV

La subestación Pomalca tenía una Línea de Transmisión 60 kV. proveniente de la Subestación Chiclayo Norte, la cual es la línea alimentadora, y salía una Línea de Transmisión 60 kV. hacia la subestación Tumán.



**Figura 30.** Llegada y Salida líneas 60kV en la SE Pomalca  
Fuente: ENSA, 2017

### 4.2. Líneas de alimentación 22,9kv

La subestación Pomalca tenía tres celdas de salidas de líneas de media tensión, de las cuales una de ellas esta como reserva. Por lo tanto, contaba con dos líneas para la evacuación de la energía.

Se Determinó del incremento de la Potencia Instalada.

La SET de Pomalca, operaba con un Transformador de 9MVA, en sus tres barras de distribución de energía eléctrica, incrementaba su potencia instalada hasta un valor en el cual las proyecciones en 30 años, garanticen su operatividad dentro de un rango de eficiencia.

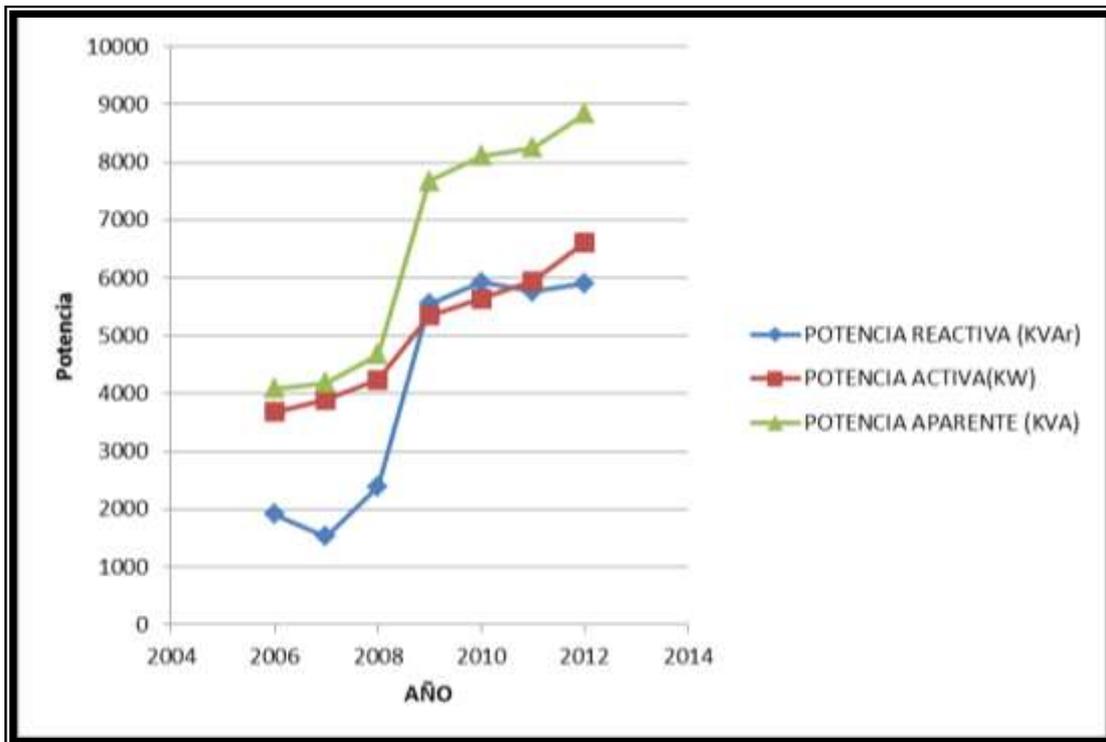
Electronorte, que es la empresa que opera la SET Pomalca, tuvo la incorporación de un transformador de potencia de 20 MVA, basado en los históricos de consumo, como también en las proyecciones de consumo de energía, que tiene relación directa con el crecimiento de las actividades económicas de la zona de influencia, influenciado con el incremento del PBI.

**Tabla 3.** Se tiene los registros de los valores de la máxima demanda.

EVOLUCIÓN DEMANDA POTENCIA SE POMALCA					
AÑO	POTENCIA ACTIVA(KW)	POTENCIA REACTIVA (KVAr)	POTENCIA APARENTE (KVA)	INCREMENTO ANUAL POTENCIA APARENTE	CRECIMIENTO ANUAL PAIS
2006	3.681	1.912,5	4.088,52	-	7,7
2007	3.895,2	1.522,8	4.182,28	2,29%	8,9
2008	4.235,4	2.386,8	4.677,57	11,84%	9,8
2009	5.342,11	5.543,63	7.674,99	64,08%	0,9
2010	5.635,23	5.921,02	8.108,38	5,65%	8,8
2011	5.941,18	5.759,81	8.248,57	1,73%	6,9
2012	6.611,69	5.906,37	8.842,44	7,20%	6,3

Evolución de Máxima Demanda en la SET Pomalca

Fuente: ENSA, 2015



**Figura 31.** Evolución de la Potencia Activa, Reactiva y Apparente en SET Pomalca.  
Fuente: ENSA, 2015

También se realizó un análisis de cantidad de horas que demanda ciertos porcentajes de la potencia máxima demandada, con el objetivo de analizar el estado de carga a lo largo del año del transformador de potencia:

2006			2007		
	Tº total (horas)	% anual		Tº total (horas)	% anual
100%-90%	Tº total (horas)	% anual	100%-90%	Tº total (horas)	% anual
	31,5	0,36%		9	0,10%
90%-80%	Tº total (horas)	% anual	90%-80%	Tº total (horas)	% anual
	199,25	2,27%		271,75	3,10%
80%-70%	Tº total (horas)	% anual	80%-70%	Tº total (horas)	% anual
	1644,5	18,77%		1798	20,53%

70%-60%	Tº total (horas)	% anual	70%-60%	Tº total (horas)	% anual
	1820,25	20,78%		1985,5	22,67%
60%-50%	Tº total (horas)	% anual	60%-50%	Tº total (horas)	% anual
	1802	20,57%		2308	26,35%
0-50%	Tº total (horas)	% anual	0-50%	Tº total (horas)	% anual
	3262,5	37,24%		2387,75	27,26%

**Tabla 4.** Horas demanda % Potencia Máxima 2006-2007

Fuente: ENSA, 2015

2008			2009		
100%-90%	Tº total (horas)	% anual	100%-90%	Tº total (horas)	% anual
	15,25	0,17%		9,75	0,11%
90%-80%	Tº total (horas)	% anual	90%-80%	Tº total (horas)	% anual
	363,25	4,14%		62,5	0,71%
80%-70%	Tº total (horas)	% anual	80%-70%	Tº total (horas)	% anual
	1944,5	22,14%		344,5	3,93%
70%-60%	Tº total (horas)	% anual	70%-60%	Tº total (horas)	% anual
	1948	22,18%		2242,25	25,60%
60%-50%	Tº total (horas)	% anual	60%-50%	Tº total (horas)	% anual
	2445	27,83%		2916	33,29%
0-50%	Tº total (horas)	% anual	50%-0%	Tº total (horas)	% anual
	2068	23,54%		3184,75	36,36%

**Tabla 5.** Horas demanda % Potencia Máxima 2008-2009

Fuente: ENSA, 2015

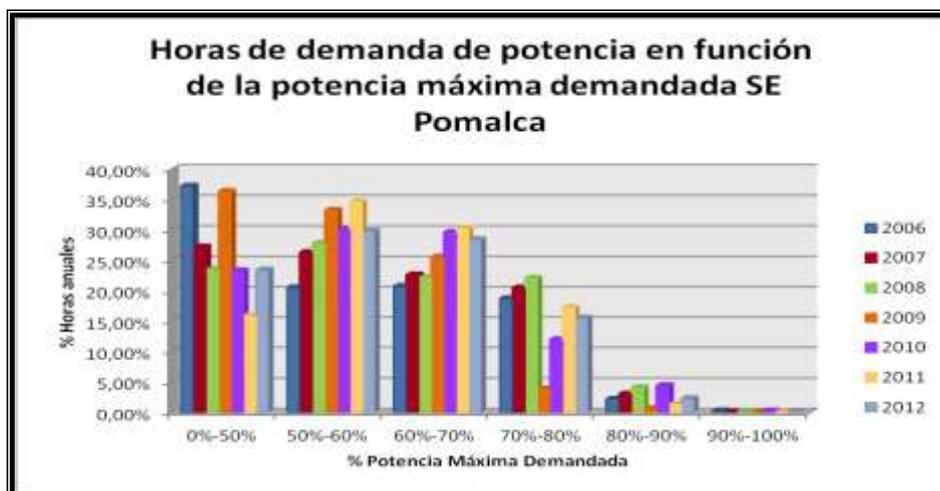
2010			2011		
100%-90%	Tº total (horas)	% anual	100%-90%	Tº total (horas)	% anual
	29,75	0,34%		20,75	0,24%
90%-80%	Tº total (horas)	% anual	90%-80%	Tº total (horas)	% anual
	393,25	4,49%		123,75	1,41%
80%-70%	Tº total (horas)	% anual	80%-70%	Tº total (horas)	% anual
	1056	12,05%		1518,5	17,33%
70%-60%	Tº total (horas)	% anual	70%-60%	Tº total (horas)	% anual
	2597,5	29,65%		2655,5	30,31%
60%-50%	Tº total (horas)	% anual	60%-50%	Tº total (horas)	% anual
	2637	30,10%		3041,25	34,72%
50%-0%	Tº total (horas)	% anual	50%-0%	Tº total (horas)	% anual
	2046,25	23,36%		1400,25	15,98%

**Tabla 6.** Horas demanda % Potencia Máxima 2010-2011

Fuente: ENSA, 2015

2012		
100%-90%	Tº total (horas)	% anual
	28	0,32%
90%-80%	Tº total (horas)	% anual
	205,75	2,34%
80%-70%	Tº total (horas)	% anual
	1368,75	15,58%
70%-60%	Tº total (horas)	% anual
	2498,75	28,45%
60%-50%	Tº total (horas)	% anual
	2622,5	29,86%
50%-0%	Tº total (horas)	% anual
	2060,25	23,45%

**Tabla 7.** Horas demanda % Potencia Máxima 2012  
Fuente: ENSA, 2015



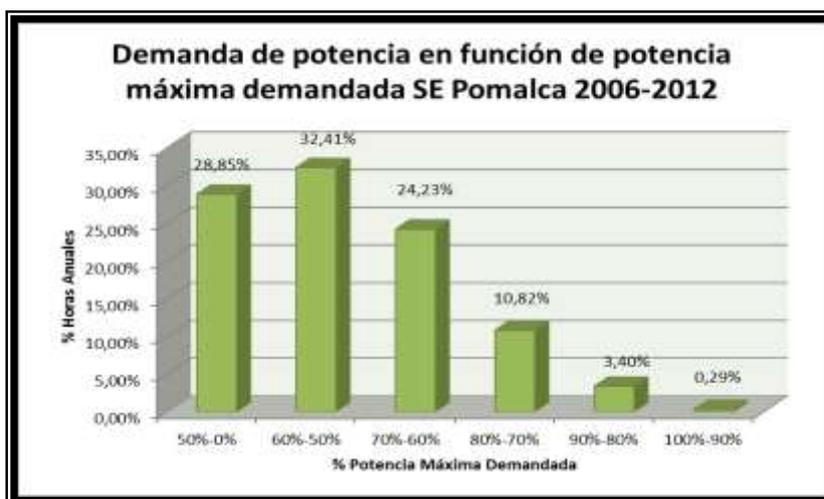
**Figura 32.** Horas demanda % Potencia Máxima 2006-2012  
Fuente: ENSA, 2015

Teniendo en cuenta que el transformador de potencia que existió en la Subestación Pomalca de una potencia 9 MVA, ya que estaba muy próximo a llegar al límite de potencia del transformador.

A continuación, se muestra una tabla resumen del total de los periodos función en porcentajes de la potencia máxima demandada en el periodo 2006-2012:

TOTAL PERIODO 2006-2012		
Porcentaje de potencia máxima	Horas totales	Horas totales (%)
100%-90%	134,25	0,29%
90%-80%	1557	3,40%
80%-70%	4957,75	10,82%
70%-60%	11106,75	24,23%
60%-50%	14855,75	32,41%
50%-0%	13225	28,85%

**Tabla 8.** Horas demanda % Potencia Máxima Acumulado 2006-2012  
Fuente: ENSA, 2015



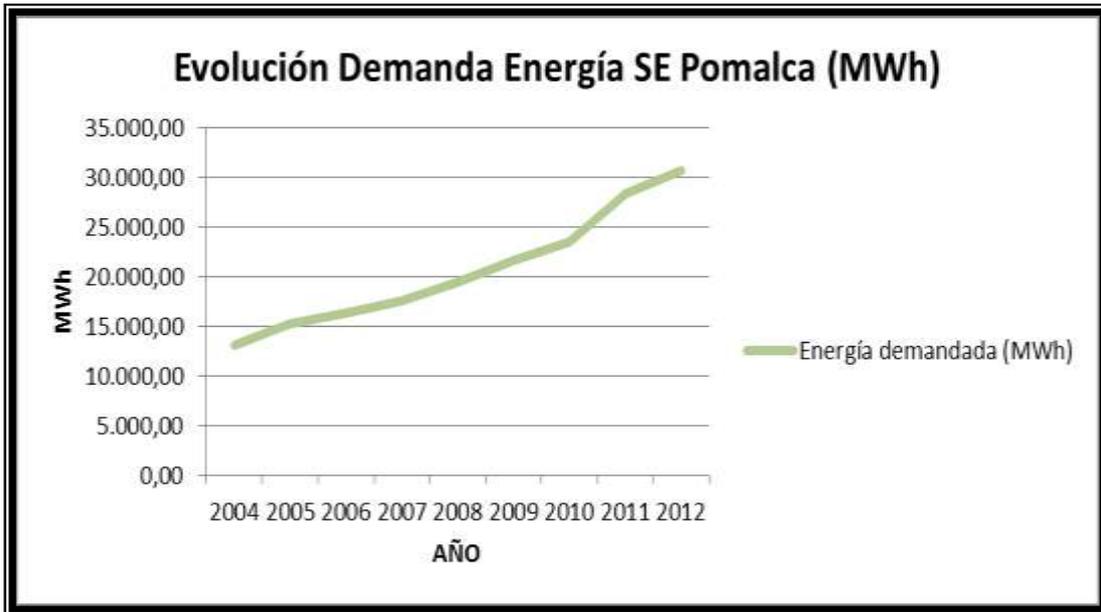
**Figura 33.** Horas demanda % Potencia Máxima Acumulado 2006-2012  
Fuente: ENSA, 2015

#### 4.3. Se hizo el análisis de la demanda de energía

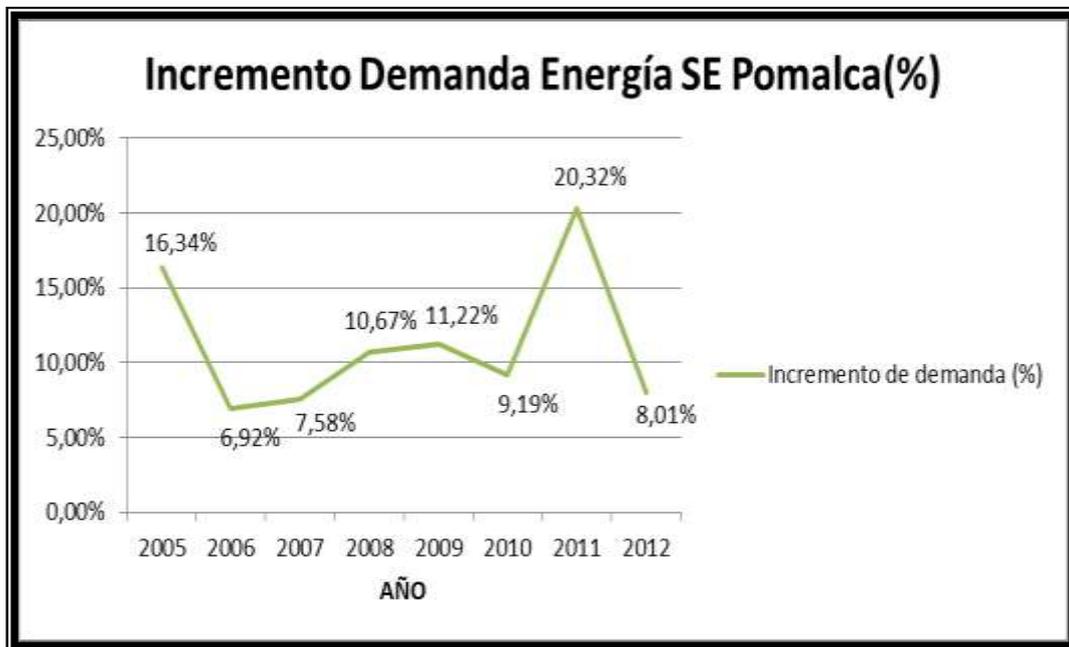
A continuación, se muestra una tabla de la demanda energética anual de la Subestación Pomalca en el periodo 2004-2012.

Evolución demanda energética SE Pomalca 2004-2012		
Año	Energía demandada (MWh)	Incremento de demanda (%)
2004	13.098,74	-
2005	15.239,39	16,34%
2006	16.293,64	6,92%
2007	17.528,07	7,58%
2008	19.398,71	10,67%
2009	21.575,84	11,22%
2010	23.557,90	9,19%
2011	28.344,64	20,32%
2012	30.615,01	8,01%

**Tabla 9.** Evolución demanda energética SE Pomalca 2004-2012  
Fuente: ENSA, 2015



**Figura 34.** Evolución de la demanda energética SE Pomalca 2004-2012 (MWh)  
Fuente: INEI 2015



**Figura 35.** Evolución de la demanda energética SE Pomalca 2004-2012 (%)  
Fuente: INEI 2015

**Tabla 10. Energía Eléctrica Demandada Línea POM-201 (2004-2012)**

ENERGÍA ELÉCTRICA DEMANDADA AMT POM-201 (kWh)													
MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTAL AÑO
AÑO													
2004	185.320,80	175.308,75	185.756,60	172.572,25	170.798,48	167.889,90	171.807,80	168.719,30	164.000,35	172.817,45	168.675,32	185.520,08	2.089.187,08
2005	195.582,12	175.093,10	194.321,53	183.260,65	179.573,43	168.278,43	171.607,10	176.410,65	172.334,23	184.574,32	180.166,47	198.170,00	2.179.372,03
2006	209.513,07	195.056,62	211.869,93	198.382,89	196.965,60	194.451,16	199.758,76	201.270,20	198.655,79	207.389,30	209.228,65	227.348,02	2.449.890,00
2007	242.226,84	223.158,94	246.620,67	229.409,31	229.339,67	219.624,68	231.620,17	235.904,48	237.802,01	237.915,32	240.071,93	258.831,09	2.832.525,11
2008	271.335,95	332.704,87	320.294,46	300.469,12	300.208,87	332.965,56	313.065,08	320.436,21	301.408,28	283.461,68	274.424,66	321.759,49	3.672.534,23
2009	331.707,00	287.511,67	319.268,97	306.520,98	316.782,67	280.717,13	351.409,24	467.072,17	497.668,62	486.071,13	505.842,24	513.087,02	4.663.658,84
2010	566.385,23	474.289,01	576.201,86	537.818,79	471.975,45	417.319,87	497.594,01	556.976,94	581.304,67	606.218,46	604.778,79	670.408,42	6.561.271,50
2011	844.363,40	827.662,52	949.470,25	844.484,72	914.934,75	872.826,14	867.677,35	878.678,73	749.750,51	830.800,12	735.475,91	756.911,64	10.073.036,05
2012	735.017,95	724.316,07	805.395,53	635.691,00	879.059,00	981.903,00	1.056.002,00	1.140.784,00	1.078.239,00	1.125.397,00	1.228.539,00	1.089.430,00	11.479.773,55

Fuente: INEI 2012

ENERGÍA ELÉCTRICA DEMANDADA AMT POM-202(kWh)													
MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTAL AÑO
AÑO													
2004	928.035,00	1.032.506,32	1.074.537,17	985.502,26	860.830,11	675.415,19	777.544,76	959.338,11	919.998,33	855.174,59	1.003.556,66	937.119,15	11.009.557,65
2005	915.773,06	923.439,27	1.035.650,03	1.074.054,19	1.029.560,82	996.242,80	1.125.872,70	1.178.299,00	1.156.051,60	1.213.790,64	1.199.212,06	1.212.071,61	13.060.017,79
2006	1.248.561,21	1.055.915,46	1.035.602,90	1.142.498,75	1.136.722,22	1.138.417,15	1.220.454,14	1.144.044,99	1.189.000,66	1.214.740,68	1.206.539,80	1.111.250,48	13.843.748,43
2007	1.199.165,86	988.811,39	1.278.149,83	1.168.189,83	1.251.454,15	1.171.241,68	1.215.730,73	1.243.628,04	1.255.711,99	1.305.352,23	1.298.664,04	1.319.449,53	14.695.549,31
2008	1.301.286,22	1.303.032,01	1.278.608,26	1.194.213,56	1.114.172,13	1.327.628,39	1.358.707,07	1.373.903,46	1.292.486,50	1.408.326,09	1.336.878,08	1.436.931,37	15.726.173,12
2009	1.429.937,98	1.307.475,27	1.460.662,31	1.432.440,58	1.305.981,72	1.425.599,35	1.447.604,95	1.463.421,63	1.439.960,87	1.447.115,72	1.469.063,54	1.282.914,73	16.912.178,64
2010	1.518.112,52	1.299.369,52	1.256.936,58	1.253.163,80	1.451.133,43	1.403.326,87	1.453.887,58	1.468.659,74	1.487.135,02	1.530.622,17	1.501.662,60	1.372.617,39	16.996.627,23
2011	1.514.770,27	1.464.067,98	1.223.811,48	1.457.339,33	1.567.055,81	1.299.077,18	1.630.380,83	1.609.755,58	1.558.601,38	1.640.773,57	1.575.254,32	1.730.720,67	18.271.608,40
2012	1.569.530,74	1.417.422,41	1.307.202,27	1.364.622,00	1.632.943,00	1.623.519,00	1.614.450,00	1.655.100,00	1.717.383,00	1.745.525,00	1.760.501,00	1.727.038,00	19.135.236,42

**Tabla 11. Energía Eléctrica Demandada Línea POM-202 (2004-2012)**  
Fuente: INEI 2015

#### 4.4. Se hizo el análisis del crecimiento económico y demográfico

Dado que la demanda de potencia y el consumo de energía eléctrica, fue íntimamente relacionado con el crecimiento demográfico y económico de la región o país, se realizó un análisis para determinar cómo se ha comportado la demanda de energía eléctrica y de potencia frente a estos dos parámetros:

##### **Análisis económico**

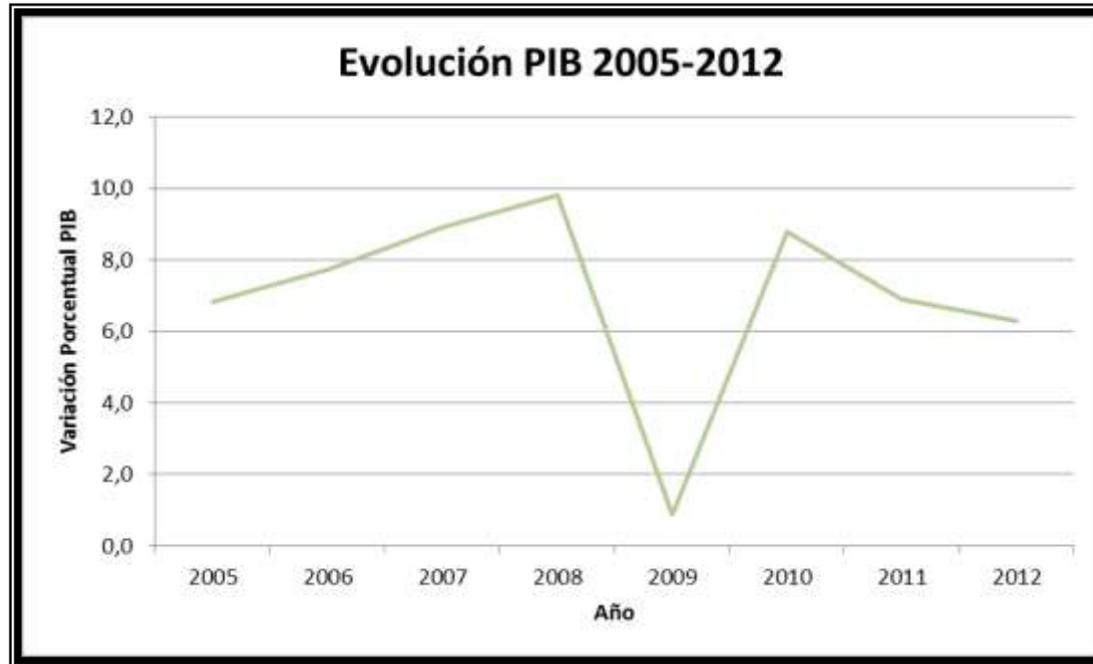
Para el análisis del crecimiento económico del país se utilizaron como indicador el aumento porcentual del PBI, obteniéndose los datos del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI).

Los datos obtenidos de este organismo son los siguientes para el periodo 2005-2012:

**Tabla 12. Datos Producción Perú 2005-2012****Tabla 1.**

PRODUCCIÓN	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Producto Bruto Interno (Variación porcentual real)	6,8	7,7	8,9	9,8	0,9	8,8	6,9	6,3
Producto Bruto Interno (Miles de millones de nuevos soles)	262	302	336	371	382	435	487	526
VAB no primario (Variación porcentual real)	6,8	8,7	10,8	10,3	0,8	10,2	7,4	7,1
Demanda Interna (Variación porcentual real)	5,8	10,3	11,8	12,3	-2,8	13,1	7,1	7,4
Inversión privada (Porcentaje del PBI)	15,5	16,4	18,2	21,5	17,7	19,2	19,6	21,5
Inversión bruta fija (Porcentaje del PBI)	18,4	19,5	21,5	25,9	22,9	25,1	24,1	26,7

Fuente: INEI 2015



**Figura 36.** Evolución Porcentual PIB 2005-2012  
Fuente: INEI 2015

Conviene comentar que el PBI del año 2009 no es dato significativo de la tendencia económica del país durante los últimos, ya que esta reducción tan brusca del crecimiento se debe a la crisis internacional que se produjo dicho año y a dificultades en la implantación del plan de estímulo económico desarrollado por el gobierno de Perú.

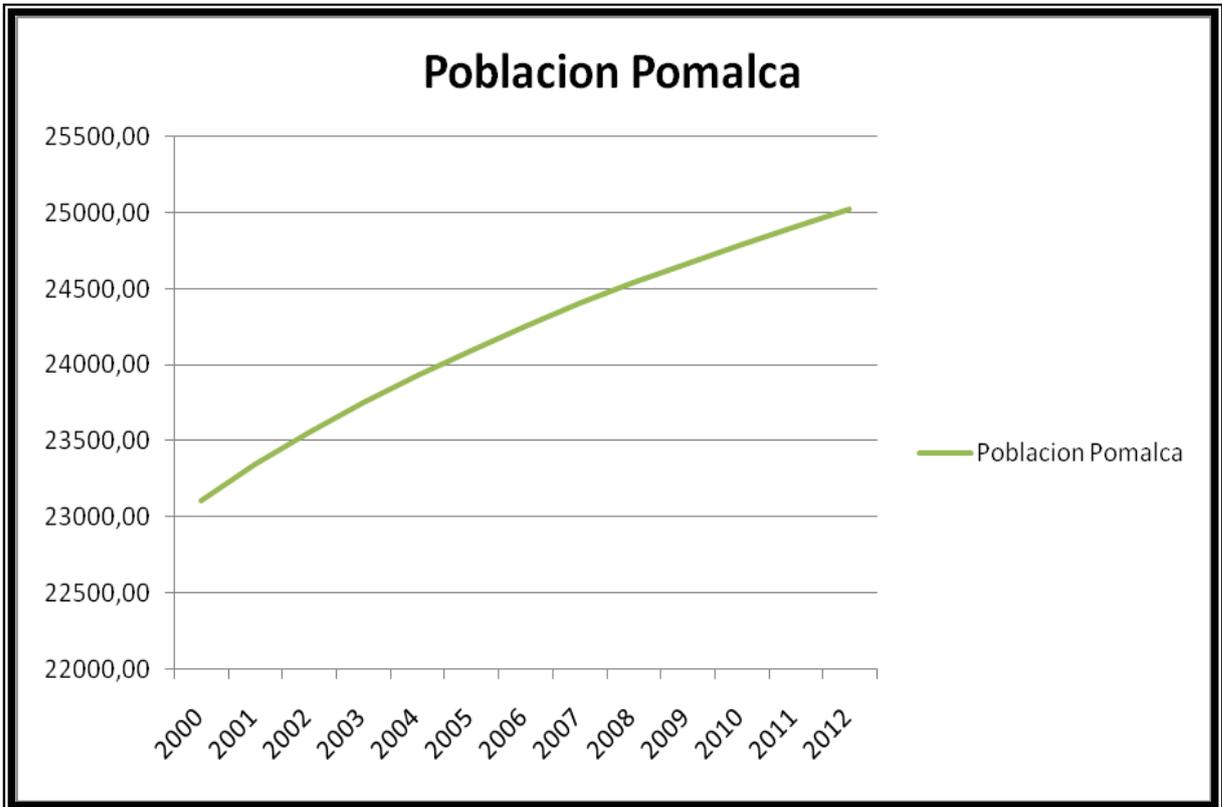
## **Análisis demográfico**

Para el análisis de la evolución de la demanda se han tomado datos proporcionados por INEI del departamento de Pomalca, siendo los siguientes:

Evolución población distrito Pomalca		
Año	Población	Incremento
2000	23112,00	
2001	23350,00	1,02%
2002	23561,00	0,90%
2003	23751,00	0,80%
2004	23928,00	0,74%
2005	24097,00	0,70%
2006	24256,00	0,66%
2007	24401,00	0,59%
2008	24536,00	0,55%
2009	24663,00	0,51%
2010	24787,00	0,50%
2011	24907,00	0,48%
2012	25020,00	0,45%

**Tabla 13.** Evolución demográfica Chiclayo 2000-2012  
Fuente: INEI 2015

Se logró observar que la población de la región de Pomalca ha crecido durante los últimos años, pero se ha ido disminuyendo progresivamente el crecimiento.



**Figura 37.** Evolución demográfica Pomalca 2000-2012  
Fuente: INEI 2015

Acorde a los datos anteriormente mostrados se obtienen las siguientes conclusiones:

El incremento de la potencia demandada no guardaba una realización directa con aumento del PBI general del país. Se debe tener en cuenta que se está analizando una potencia de 7MVA, por lo que la instalación de una o varias actividades industriales, por ejemplo, pueden suponer un incremento notable de la potencia demandada.

La demanda de energía eléctrica experimenta un incremento acorde con el incremento de la economía de la región y con el aumento de la población.

La población de la región de Pomalca ha aumentado durante el periodo 2000-2012 pero se aprecia una deceleración en el crecimiento de la población.

## ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN FUTURA (HORIZONTE 30 AÑOS)

Electro Norte S.A. preciso realizar una ampliación de potencia de la Subestación Pomalca que permitió la operación de la Subestación durante 30 años, garantizándose en nivel de confiabilidad y disponibilidad del suministro adecuado. Para ello se realizó una estimación de la demanda de potencia con un horizonte temporal de 30 años, basándonos en los datos anteriormente mostrados y las proyecciones de crecimiento del PBI y de crecimiento demográfico. Además, en la realización del presente estudio se han considerado las solicitudes de ampliación de potencia o nuevos suministros durante el año 2013.

## ANÁLISIS ECONÓMICO

Según los datos proporcionados por INEI las proyecciones de crecimiento económico son las siguientes:

PRODUCCIÓN	2012	2013	2014	2015	2016
Producto Bruto Interno (Variación porcentual real)	6,3	5,5 - 6,0	5,8 - 6,3	5,8 6,3	- 5,8 - 6,3
Producto Bruto Interno (Miles de millones de nuevos soles)	526	561	604	652	705
Inversión privada (Porcentaje del PBI)	21,4	2,2	22,7	23,2	23,6
Demanda Interna (Variación porcentual real)	7,4	6,5	5,8	5,8	5,8

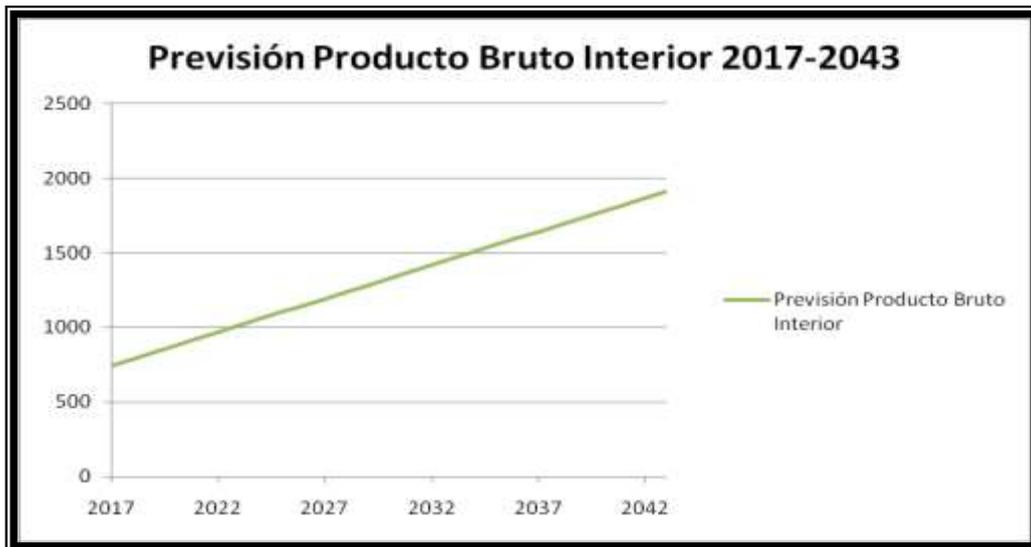
**Tabla 14.** Proyecciones crecimiento económico 2012-2016

Fuente: INEI 2015

Siguiendo la tendencia de los datos mostrados en la tabla anterior se obtienen los datos del producto bruto interior para el periodo de análisis del estudio:

Año	Producto Bruto Interno (Miles de millones de nuevos soles)	Año	Producto Bruto Interno (Miles de millones de nuevos soles)
2017	744,3	2030	1328
2018	789,2	2031	1372,9
2019	834,1	2032	1417,8
2020	879	2033	1462,7
2021	923,9	2034	1507,6
2022	968,8	2035	1552,5
2023	1013,7	2036	1597,4
2024	1058,6	2037	1642,3
2025	1103,5	2038	1687,2
2026	1148,4	2040	1777
2027	1193,3	2041	1821,9
2028	1238,2	2042	1866,8
2029	1283,1	2043	1911,7

**Tabla 15.** Previsión Productor Bruto Interno  
Fuente: INEI 2015



**Figura 38.** Previsión Producto Bruto Interior 2017-2043  
Fuente: INEI 2015

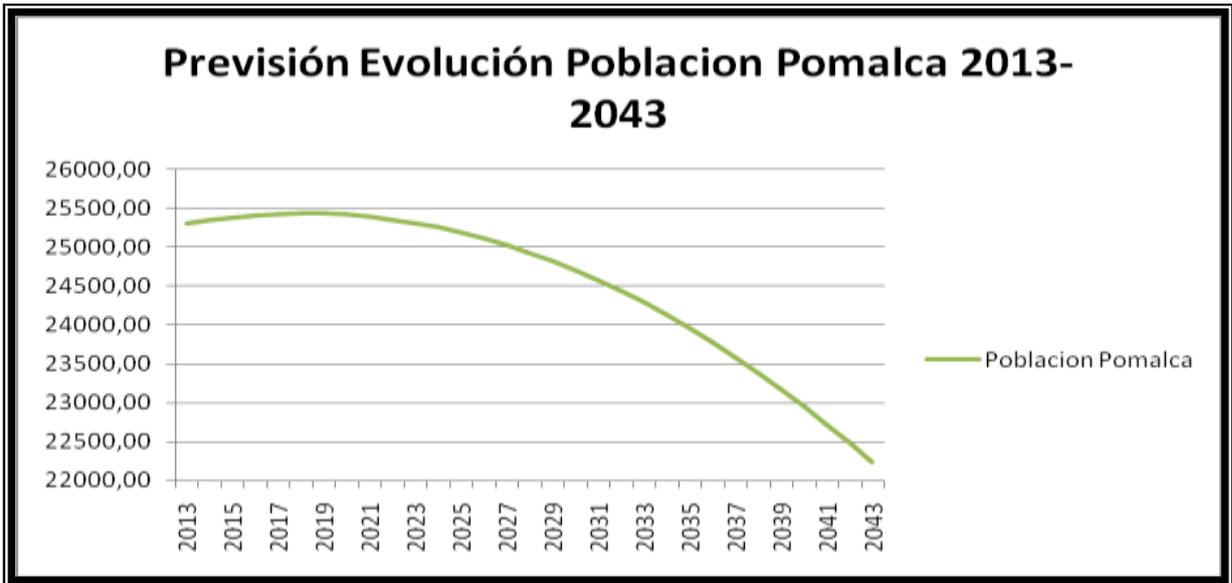
Los datos obtenidos se utilizaron a continuación para determinar la potencia del transformador de potencia a instalar.

### **ANÁLISIS DEMOGRÁFICO**

Se realizó un análisis de la evolución demográfica de la región de Chiclayo donde se toman como referencia los datos proporcionados por INEI y se realiza una proyección de crecimiento demográfico hasta el año 2022. Como se puede apreciar el crecimiento demográfico seguirá aumentando, pero se producirá una desaceleración. Dado que no se tienen datos desde el año 2026 al año 2043 se estima un incremento anual del 1% para este periodo.

Año	Población	Año	Población
2013	25.297,42	2029	24.818,22
2014	25.344,94	2030	24.700,46
2015	25.382,14	2031	24.572,38
2016	25.409,00	2032	24.433,96
2017	25.425,54	2033	24.285,22
2018	25.431,74	2034	24.126,14
2019	25.427,62	2035	23.956,74
2020	25.413,16	2036	23.777,00
2021	25.388,38	2037	23.586,94
2022	25.353,26	2038	23.386,54
2023	25307,82	2039	23.175,82
2024	25.252,04	2040	22.954,76
2025	25.185,94	2041	22.723,38
2026	25.109,50	2042	22.481,66
2027	25.022,74	2043	22.229,62
2028	24.925,64		

**Tabla 16.** Evolución población distrito de Pomalca 2013-2043  
Fuente: INEI 2015



**Figura 39.** Previsión Evolución de la población Pomalca 2013-2043  
Fuente: INEI 2015

Como se puede apreciar la previsión apunta a que la población del distrito de Pomalca se redujo con el paso del tiempo. Este comportamiento es tipo de las economías en crecimiento donde la población abandona los pequeños núcleos de población para emigrar a los grandes núcleos de población.

### **ESTIMACIÓN POTENCIA NECESARIA DEL TRANSFORMADOR**

Según los datos aportados anteriormente y la previsión de entrada en el sistema de gran carga se realizó a continuación un estudio en función estos parámetros analizados anteriormente. Para la realización de este análisis se ha de tener en cuenta que, aunque la población descienda el consumo de energía per cápita de un país en crecimiento aumenta con el paso de los años.

Según estas previsiones en la siguiente tabla se muestra la potencia máxima demandada para cada año:

Año	Potencia (MVA)	Año	Potencia (MVA)
2013	9,44	2029	17,30
2014	10,07	2030	17,66
2015	10,74	2031	18,00
2016	11,46	2032	18,33
2017	11,94	2033	18,65
2018	12,46	2034	18,95
2019	12,97	2035	19,24
2020	13,47	2036	19,51
2021	13,95	2037	19,77
2022	14,41	2038	20,02
2023	14,87	2039	20,25
2024	15,31	2040	20,47
2025	15,74	2041	20,67
2026	16,15	2042	20,87
2027	16,55	2043	21,04

**Tabla 17.** Estimación potencia máxima demanda horizonte 30 años  
Fuente: ENSA 2015

**Tabla 2.**

Por lo tanto para dar servicio al futuro crecimiento de la región de influencia de la Subestación Pomalca, fue necesaria la instalación de un transformador de potencia de 20MVA en régimen de funcionamiento ONAN y 25 MVA en régimen ONAF para que sea capaz de soportar los picos de potencia requerida durante los últimos años del estudio.

Se Realizó el estudio de los flujos de carga en las tres barras de la SET, bajo posibles escenarios de Estiaje y Avenida, a mínima demanda, máxima, media utilizando el software de Digsilent Power Factory 15.1.7.

### **Flujo de Carga Utilizando Software Digsilent Power Factory 15.1.7.**

La finalidad al analizar y observar de esta parte del estudio sobre el desempeño el sistema de electrificación en condiciones estándar o normales, a fin de realizar una evaluación detención de barras y observar sus niveles, además observar las líneas de transmisión y transformadores de potencia verificando la potencia activa y reactiva.

Además, se observó que existen varias situaciones en la cual el equipamiento opera superando su capacidad, y esto se observó al verificar la capacidad de transmisión de sus componentes.

Para el análisis de flujo de potencia se ha considerado la configuración del sistema eléctrico interconectado nacional (SEIN) para el año 2017 de acuerdo lo establecido por el COES.

Con los datos de la SET, se realizaron la simulación del flujo de carga para determinar cómo varían los niveles de tensión en la 3 barra, si exceden el 5% de la tensión nominal en los distintos escenarios de operación.

Resultados de nivel de tensión en periodo de avenida

BARRA	Tensión Nominal	ESCENARIO AVENIDA 2017					
		Máxima Demanda		Media Demanda		Mínima Demanda	
	[kV]	[kV]	p.u.	[kV]	p.u.	[kV]	p.u.
POMALCA 60	60	60.48	1.01	60.77	1.01	61.57	1.03
POMAL10	10	10.07	1.01	10.12	1.01	10.25	1.03
POMAL22.9	22.9	23.02	1.01	23.13	1.01	23.46	1.02

**Tabla 18.** Niveles de tensión – escenario Avenida 2017  
Fuente: Simulación Digsilent Power Factory 15.1.7. SET POMALCA

Resultados de cargabilidad de la línea de trasmisión y del transformador de Potencia en periodo de avenida

Nombre	Busbar i	Busbar j	ESCENARIO AVENIDA 2017														
			Máxima Demanda					Media Demanda					Mínima Demanda				
			Terminal i		Terminal j		Loading	Terminal i		Terminal j		Loading	Terminal i		Terminal j		Loading
			MW	Mvar	MW	Mvar	%	MW	Mvar	MW	Mvar	%	MW	Mvar	MW	Mvar	%
L-6051	CHICLAYO NORTE 60	POMAL 60kV	11.99	4.04	-11.94	-3.97	22.03	10.15	3.31	-10.11	-3.29	18.54	6.16	1.76	-6.14	-1.81	11.02

**Tabla 19.** Flujo de potencia a través de las líneas de transmisión Avenida 2017  
Fuente: Simulación Digsilent Power Factory 15.1.7. SET POMALCA

Transformador	UBICACIÓN	ESCENARIO AVENIDA 2017										
		Mínima Demanda										
		HV			MV			LV			% loading	
		MV	MW	Mvar	MV	MW	Mvar	MV	MW	Mvar		
TRAFO_NUEVO POMALCA	SET Pomalca	3.36	3.14	1.18	-3.14	-1.14	3.34	0.00	0.00	0.00	16.36	

Transformador	UBICACIÓN	ESCENARIO AVENIDA 2017										
		Máxima Demanda										
		HV			MV			LV			% loading	
		MV	MW	Mvar	MV	MW	Mvar	MV	MW	Mvar		
TRAFO_NUEVO POMALCA	SET Pomalca	5.74	5.36	2.07	-5.36	-1.94	5.70	0.00	0.00	0.00	28.49	

Transformador	UBICACIÓN	ESCENARIO AVENIDA 2017										
		Media Demanda										
		HV			MV			LV			% loading	
		MV	MW	Mvar	MV	MW	Mvar	MV	MW	Mvar		
TRAFO_NUEVO POMALCA	SET Pomalca	5.45	5.08	1.96	-5.08	-1.84	5.40	0.00	0.00	0.00	26.89	

**Tabla 20.** Flujo de potencia del transformador de potencia Avenida 2017  
Fuente: Simulación Digsilent Power Factory 15.1.7. SET POMALCA

**Tabla 21.** Resultados de nivel de tensión en periodo de Estiaje  
Niveles de tensión – escenario Estiaje 2017

BARRA	Tensión Nominal	ESCENARIO ESTIAJE 2017					
		Máxima Demanda		Media Demanda		Mínima Demanda	
		[kV]	p.u.	[kV]	p.u.	[kV]	p.u.
POMAL 60kV	60	60.62	1.01	61.00	1.02	61.65	1.03
POMAL10	10	10.02	1.00	10.10	1.01	10.23	1.02
POMAL22.9	22.9	22.94	1.00	23.13	1.01	23.43	1.02

**Tabla 22.** Resultados de cargabilidad de la línea de transmisión y del transformador de Potencia en periodo de Estiaje  
Fuente: Simulación Digsilent Power Factory 15.1.7. SET POMALCA

Transformador	UBICACIÓN	ESCENARIO ESTIAJE 2017									
		Máxima Demanda									
		HV			MV			LV			% loading
		MV	MW	Mvar	MV	MW	Mvar	MV	MW	Mvar	
TRAFO_NUEVO POMALCA	SET Pomalca	5.82	5.42	2.10	-5.42	-1.96	5.77	0.00	0.00	0.00	28.78
Transformador	UBICACIÓN	ESCENARIO ESTIAJE 2017									
		Media Demanda									
		HV			MV			LV			% loading
		MV	MW	Mvar	MV	MW	Mvar	MV	MW	Mvar	
TRAFO_NUEVO POMALCA	SET Pomalca	4.80	4.48	1.71	-4.48	-1.62	4.77	0.00	0.00	0.00	23.60

Transformador	UBICACIÓN	ESCENARIO ESTIAJE 2017										
		Mínima Demanda										
		HV			MV			LV			% loading	
		MV	MW	Mvar	MV	MW	Mvar	MV	MW	Mvar		
TRAFO_NUEVO POMALCA	SET Pomalca	3.11	2.91	1.09	-2.91	-1.05	3.10	0.00	0.00	0.00	15.13	

**Tabla 23.** Flujo de potencia del transformador de potencia escenario Estiaje 2017  
Fuente: Simulación Digsilent Power Factory 15.1.7. SET POMALCA

Nombre	Busbar i	Busbar j	ESCENARIO ESTIAJE 2017														
			Máxima Demanda					Media Demanda					Mínima Demanda				
			Terminal i		Terminal j		Loading	Terminal i		Terminal j		Loading	Terminal i		Terminal j		Loading
			MW	Mvar	MW	Mvar	%	MW	Mvar	MW	Mvar	%	MW	Mvar	MW	Mvar	%
L-6051	CHICLAYO NORTE 60	POMAL 60kV	11.86	4.08	-11.81	-4.01	21.80	9.19	2.99	-9.16	-2.99	16.73	5.89	1.68	-5.88	-1.74	10.53

**Tabla 24.** Flujo de potencia a través de las líneas de transmisión Estiaje 2017  
Fuente: Simulación Digsilent Power Factory 15.1.7. SET POMALCA

Las simulaciones de flujos de potencia, su análisis de los resultados en operación normal se pudo observar los siguientes.

Los niveles de tensión en las barras se encontraron dentro del rango permitido por la NTCSE (+/-5% de la tensión nominal) en los distintos escenarios de operación.

No se observaron sobrecargas en las líneas.

No se observaron sobre en el transformador de potencia.

Se Determinó la cobertura de las necesidades energéticas de la zona, como las características de equipamiento, servicio de calidad y garantizar la operatividad.

Especificaciones Técnicas de los Equipos y/o Materiales.

## **Aisladores**

La presente especificación tiene por alcance los aisladores soporte para niveles de tensión 22,9 kV

IEC 60305 Aisladores para líneas aéreas con tensión nominal superior a 1000 V - Unidades aisladoras de cerámica o vidrio para corriente alterna. sistemas - Características de las unidades aisladoras del tipo capuchón y pasador.

IEC 60273 Sistemas con tensiones nominales superiores a 1000 V, con característica de los aisladores de poste de interior y exterior

IEC 60120 Dimensiones de acoplamiento de bola y casquillo de unidades de aisladores de cadena IEC 60168 Pruebas en aisladores de poste interiores y exteriores de material cerámico o vidrio para sistemas con voltajes nominales superiores a 1000 V

IEC 60672 Especificación para materiales aislantes de cerámica y vidrio

Aisladores IEC 61109 para líneas aéreas - Aisladores compuestos de suspensión y tensión para c.a. sistemas con una tensión nominal superior a 1 000 V - Definiciones, métodos de ensayo y criterios de aceptación

IEC 60672 Especificación para materiales aislantes de cerámica y vidrio

IEC 60383 Aisladores para líneas aéreas con tensión nominal superior a 1000 V

IEC 60437 Prueba de interferencia de radio en aisladores de alto voltaje

IEC 60575 Prueba de rendimiento termo mecánico y prueba de rendimiento mecánico en unidades de aisladores de cadena. 1109 - Aisladores compuestos para c.a. Líneas aéreas de tensión nominal superior a 1000 V.

Dispositivos de bloqueo IEC 60372 para acoplamientos de bola y casquillo de unidades de aisladores de cadena: dimensiones y pruebas.

### **CONDICIONES AMBIENTALES**

Altura msnm : 18 metros.

Temperatura mínima /media / máxima : 14,4°C / 21,7°C / 34°C

Contaminación : Normal.

Nivel isocerámico 40 días de tormentas al año

Velocidad máxima del viento : 45 km/h

Velocidad máxima del viento : 94 km/h (Según CNE-Suministro)

### **CARACTERÍSTICAS DE LOS AISLADORES**

Proveer del aislamiento para equipos es la función eléctrica de los aisladores. Para resistir la potencia electrodinámica en el caso que se genere una explosión por corto circuito, los aisladores deben tener la capacidad y la alternativa para dispersar la corriente en partes Tierra y activas.

Los equipos de aislamiento deben estar preparados para la polución de la zona y las condiciones más severas del clima, contando con accesorios diseñados que protejan los equipos de la intemperie.

Las partes del aislador debe estar construida de componentes no higroscópicos, también el exterior metálico debe estar cubierto con un aislador en las partes principales eliminando el flujo electrostático. Manteniendo esfuerzos sobre la contracción y expansión que los aisladores deben controlar.

El factor de seguridad no será inferior al 2,5. Por este motivo todo el trabajo mecánico en la construcción del aislante y sus especificaciones técnicas físicas, deben soportar cargas establecidas y máximas según la necesidad.

Para mantener un requerimiento óptimo el aislador debe cumplir los requerimientos de las normas internacionales ISC los cuales deben estar contruidos de manera vertical con las características nominales.

Los equipos de aislamiento deben contar con el número de referencia técnica, marca comercial, fabricante y año de fabricación.

### **Aisladores de soporte**

La fabricación de aisladores según norma IC 60273, tienen la función de soprtar tensiones superiores a 1000 V” en poster exteriores e interiores en sistemas de tensión nominal, estos aisladores deben ser suministrados de manera completa, es decir con todos sus elementos necesarios que permita su instalación.

Estará fabricado de porcelana, con material de primera calidad, con proceso eléctrico húmedo (wet-process). El borde de la campana estará construido para que sea fácil su limpieza y lavado. Serán del tipo estándar o tipo FOG dependiendo del nivel de contaminación en donde serán instalados.

Además, la consecuencia es que el material mantendrá ciertas características como no absorción de agua, soportar altas temperaturas de combustión, baja porosidad resistencia al calor y alta resistencia mecánica

El equipo de aislamiento debe estar preparado para soportar alta tensión incluso cuando se den cortocircuitos, es decir deben soportar conductores y barrajes relacionados.

Los aisladores de soporte estarán normalizados de acuerdo con su resistencia mecánica. Las clases de resistencia mecánica normalizadas para los aisladores de soporte de material cerámico se presentan a continuación:

Clase de Resistencia	Fuerza (N)
2	2000
4	4000
6	6000
8	8000
10	10000
12,5	12500
16	16000
20	20000
25	25000
31,5	31500
40	40000

**Tabla 25.** Características mecánicas de aisladores de soporte (cerámica)  
Fuente: Elaboración propia

La fuerza indicada en la tabla anterior fue la máxima carga aplicable horizontalmente en la parte superior del aislador cuando éste se instala en forma normal vertical.

La determinación de la clase de resistencia mecánica del aislador se realiza después de que se hayan hecho los cálculos de esfuerzos en la parte superior del mismo.

La designación de los aisladores de soporte exteriores, de acuerdo con la norma IEC 60273, se realizará con la letra "C" representando con ella aisladores cilíndricos de cerámica.

De acuerdo con lo anterior, una designación C6-125 significa un aislador cilíndrico para uso exterior en material cerámico con una resistencia a la flexión clase 6 (6000N) para ser empleado en una subestación con tensión soportada asignada al impulso tipo rayo BIL 125 kV.

### **Características de la porcelana aislante**

Esta porcelana aislante producida por vía húmeda tiene altas propiedades dieléctricas y mecánicas, inercia química y alto punto de fusión. Toda la superficie expuesta está cubierta con barniz marrón brillante, que es de textura sólida, resistente al agua, buen brillo, color uniforme, color uniforme y sin deformación.

Toda la porcelana utilizada debe estar limpia, densa, uniforme, no porosa y libre de tensiones severas, grietas, burbujas, laminaciones, manchas, huecos, materias extrañas u otros defectos que puedan acortar la vida útil del aislador. La superficie del reloj de porcelana, que resiste la tensión mecánica transferida desde las partes metálicas, está completamente esmerilada o ranurada.

El área agrietada o acanalada deberá ser de ancho uniforme, colocada de manera que la carga se distribuya adecuadamente y deberá cubrir completamente la parte metálica.

### **Elementos de Metal**

La pieza metálica debe estar diseñada para transferir el esfuerzo mecánico a la campana por medio de compresión y para asegurar una distribución uniforme de dicho esfuerzo.

Las partes metálicas deben ser uniformes, sin grietas y sin defectos como agujeros, arrugas o porosidad, sin puntas ni esquinas, que reducirían la resistencia mecánica y afectarían la correcta confiabilidad del material.

## Características eléctricas

Para cumplir como aisladores deben cumplir las siguientes características de la tabla:

### Características eléctricas básicas

Descripción		Tensión Nominal del Sistema Vn, kV
		22,9
Tensión soportada asignada al impulso tipo rayo, Up, BIL, Kv		125
Tensión máxima del material Um, kV		24
Frecuencia nominal, fr Hz		60
Distancia de fuga mínima entre fase y tierra, mm. (1)	nivel IV	1116
Tensión soportada asignada de corta duración a frecuencia industrial 1 min seco Ud, Kv		50

**Tabla 26.** Nota (1): según IEC 60815: niveles de contaminación IV: 31 mm/kV.  
Fuente: Elaboración propia

## **CABLES AISLADOS Y TERMINALES**

Las prescripciones aplicables de la última edición de las normas, todos los cables aislados deberán cumplir con especificaciones:

Publicación IEC 60227: "Cables con aislamiento de cloruro de polivinilo para tensiones nominales hasta 450/750 V". Publicación IEC 60228: "Conductores de cable aislados"

Publicación IEC 61089: "Tendido concéntrico de cables redondos para cables aéreos trenzados"

Publicación IEC 60502: "Cables de potencia aislados extrusionados y sus accesorios para tensiones nominales de 1 kV ( $U_m=1,2$  kV) a 30 kV ( $U_m=36$  kV)".

Publicación IEC 60754-2: "Examen de gases liberados durante la combustión de cables eléctricos".

Publicación IEC 60332: "Ensayo de cables en condiciones de incendio"

Publicación IEC 60811: "Métodos generales de prueba para materiales de aislamiento y revestimiento de cables". Publicación IEC 60885: "Métodos de prueba eléctrica para cables eléctricos"

ASTM B 231: "Especificación para conductores de aluminio trenzados concéntricos"

ASTM B 8: "Especificación estándar para conductores de cobre trenzados concéntricos duros, semiduros o blandos". ASTM B 230: "Especificación para alambre de aluminio 1350-H19 para uso eléctrico"

ASTM B 496: "Especificación estándar para conductores de cobre trenzados concéntricos circulares compactos"

Publicación IEEE 48 "Requisitos para el empalme de cables de CA de alto voltaje"

ASTM B 416: "Especificación estándar para conductores de acero revestidos de aluminio con rosca concéntrica"

Publicación ICEA S-60-524: "Alambres y cables con aislamiento de polietileno termo endurecible reticulado para transmisión y distribución de energía".

## **Condiciones Ambientales**

Altura msnm	:	18 metros.
Temperatura mínima /media / máxima	:	14,4°C / 21,7°C / 34°C
Contaminación	:	Normal.
Nivel isoceráunico	:	40 días de tormentas al año
Velocidad máxima del viento	:	94 km/h (Según CNE-Suministro)
Velocidad máxima del viento	:	45 km/h

## **Cables de Energía:**

El cable de alimentación suministrado por el solicitante utiliza hilo de aluminio, aislamiento XLPE y cubierta de PVC. Los cables XLPE están diseñados, fabricados y probados de acuerdo con las publicaciones ASTM, IEC y ICEA.

Los cables de energía estaban impregnados en sus chaquetas la información técnica referente al cable, fabricante y otros datos adicionales básicos.

Los cables y conductores están diseñados y probados de acuerdo con las publicaciones de ASTM correspondientes. Luego se aplica una cinta semiconductora al conductor para lograr una adhesión total del aislador. El aislante es polietileno reticulado extruido concéntricamente sobre una tira semiconductora. Aislamiento medio y mínimo según publicaciones ICEA. El nivel de aislamiento del cable es del 100%.

La superficie exterior del aislador es una tira semiconductora montada concéntricamente con la tira interior para extender una distribución constante radial del área eléctrica. En la tira semiconductora exterior hay una tira de cobre metálico con propiedades definidas en la publicación correspondiente. Finalmente, se debe proporcionar una cubierta de PVC para proteger mecánicamente el cable.

El solicitante presentó una oferta para la puesta a tierra de la pantalla del cable para su aprobación. Los cables terminados se embalan en rollos con el menor desperdicio posible, y dado que no se permite la conexión de estos cables, los

tramos son terminados, lo que sella los extremos de los tramos en ellos y garantiza la protección mecánica de los cables durante el transporte y manejo. Los cables para la instalación están en marcha. Las bobinas deben cumplir con las especificaciones de este documento.

### **Cables De Fuerza Y Control**

El alambre está hecho de alambre de cobre recocido electrolíticamente con una sección transversal redonda. Los conductores deben cumplir con los requisitos de la publicación IEC 60502 para cables con tensión de aislamiento superior o igual a 0,6/1 kV en el material tipo PVC/A.

Los cables con aislamiento de 1 kV cumplen con los requisitos de la publicación IEC 60227-1 y se utilizan con las modificaciones de cableado requeridas para tareas de interfaz. El aislador debe aplicarse de tal manera que tenga la mayor adherencia posible, pero que sea posible retirarlo sin dañar el conductor. El material aislante debe ser tipo TW, termoplástico ignífugo y resistente al calor y la humedad. Se deben usar rellenos en los espacios entre los cables para dar al ensamblaje una sección transversal esencialmente circular que consiste en plástico. La forma del material de relleno cumple con la publicación IEC 60227-1 5.3. secciones y IEC 60502 6.6. a los requisitos de la sección.

La compatibilidad del material de aislamiento puede ser cubierta interior extruido es adecuada para la temperatura de funcionamiento del cable. Si no se usa masilla, el recubrimiento interno ingresará al espacio entre los núcleos, pero no adherirse a los núcleos. Cuando se coloca la tapa interior, la junta en lo ideal mantendrá una formación de círculo. La carcasa interior debe cumplir con 5.4 de la publicación IEC 60227-1. y CEI 60502 6.6. a los requisitos del párrafo

La pantalla está hecha de cobre y la aplicación se realiza preferiblemente por tejido para lograr una cobertura de al menos el 90%. La resistencia CC de la pantalla a 20 °C debe ser inferior a 2 ohmios/km. La cubierta exterior es negra y cumple con la cláusula 12 de la publicación IEC 60502 para cables con una tensión de aislamiento superior o igual a 0,6/1 kV. Para cables aislados de 1000 V, la cubierta debe cumplir con los requisitos de la publicación IEC 60227-1.

Se emplearán los siguientes tipos de cables de control:

COMPOSICIÓN	U	CANTIDAD	TIPO CONDUCTOR
4x4 mm <sup>2</sup>	m	588	C.C.-NYSY-1kV
12X2,5 mm <sup>2</sup>	m	140	C.C.-NYSY-1kV

**Tabla 27. Terminal termocontraible de 23 Kv**

Fuente: Elaboración propia

El terminal consta básicamente de un tubo de alta constante dieléctrica y un aislante de caucho de silicona. Los terminales deben ser bloques de goma preformados con un mecanismo de control de voltaje incorporado que utiliza un concepto de ecuilización de voltaje capacitivo de alta constante dieléctrica.

Los aisladores de caucho termorretráctil deben estar hechos de caucho de silicona. Los aisladores de caucho de silicona constan de ocho faldones. Los terminales ensamblados y sus componentes deben cumplir con los requisitos del estándar IEEE 48 para terminales de clase 1 y las secciones relevantes del estándar IEEE 404. Los terminales deben ser adecuados para su uso en cables con un rango de temperatura de funcionamiento de 90 °C y una temperatura de sobrecarga de emergencia de 130 °C. °C

La clasificación de corriente del terminal debe ser mayor que la clasificación de corriente del cable que utiliza la terminal.

Los terminales deben ser aptos para cables de cobre, con pantalla concéntrica, aislamiento XLPE, tensión de aislamiento 23 kV, de las siguientes dimensiones:

Calibre según ASTM	Sección (mm <sup>2</sup> )	Diámetro Aislamiento (mm)	Número de Hilos
500 MCM	240	45,6	61

**Tabla 28. Terminal termocontraible de 23 Kv**

Fuente: Elaboración propia

El alojamiento de la caja de conexiones pantalla puesta a tierra debe tener grado de protección IP68 EN 60529. Hay cinco prensaestopas en un lado; tres entradas de cable concéntricas para conexión al blindaje del cable en el cabezal o terminal, un cuarto cable para conexión a tierra del sistema y un quinto cable para entrada al cable de tierra de la caja. En los conductores de cable apantallado, los terminales engastados irán apoyados sobre placas aislantes.

Transformador de Potencia de 20 MVA

Descripción

Capacidad de potencia: 20000kva

Nivel de tensión: 16/16/5.33 (20/20/6.67) MVA (ONAN7ONAF) 60/22.9/10 KV

Tipo de regulación de tensión: apagado-circuito o encendido-ioad

Tocando rango:  $\pm 5\%$   $\pm 2 \times 2.5\%$   $\pm 4 \times 2.5\%$

Frecuencia: 50Hz o 60Hz

Fases: tres o solo

Símbolo de la conexión: dyn11, yyn0 (o según lo solicitado)

Impedancia de cortocircuito: impedancia estándar

Altitude no superior a 1000 m, temperatura ambiente no superior a 40oc. Si no puede cumplir tales condiciones, modularemos los parámetros de acuerdo con la norma.

## **Material Constructivo del Transformador**

Líneas de cobre libres de oxígeno de baja resistividad, que será más suave y libre de Burr después de series de tratamiento superficial adicional, así que la pérdida de carga de nuestro transformador es menor y el rendimiento eléctrico es mejor.

Placas de acero al silicio de alta calidad que son de menor pérdida de unidad, Y la carga de los transformadores es menor.

Piezas de aislamiento de madera de alta calidad, que no se dividirán ni se mueven incluso bajo la influencia del circuito corto.

Aceite de transformador filtrado a fondo que contiene menos agua, gas e impurezas, lo que hace que nuestros transformadores funcionen mejor.

Material de sellado de caucho de alta calidad, que puede prevenir los transformadores de envejecimiento o fuga.

Los indicadores utilizados del valor actual neto si incluyeron al realizar la evaluación económica del proyecto y la relación Beneficio Costo.

N°	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO S/:	PARCIALES S/.	TOTAL, GENERAL. SOLES
	SUMINISTRO DE MATERIALES					
1	ESTRUCTURAS METALICAS	Unidad	1	71670.22	71670.22	
2	CONDUCTORES, CABLES	M	1435.8	18.6	26705.10	
3	ACCESORIOS DE CONDUCTORES Y CABLES	Unidad	1	14447.60	14447.60	
4	EQUIPOS DE COMUNICACIÓN	Unidad	1	308511.31	308511.31	
5	TABLERO DE MEDICION CONTROL Y PROTECCION PARA TRANSFORMADOR DE POTENCIA	Unidad	1	200676.77	200676.77	
6	PARARRAYOS DE OXIDO METALICO	Unidad	1	18450.00	18450.00	
7	SISTEMA DE PUESTA A TIERRA PROFUNDA Y SUPERFICIAL	Unidad	1	17231.15	17231.15	
8	TRANSFORMADOR DE POTENCIA 16/16/5.33 (20/20/6.67) MVA (ONAN7ONAF) 60/22.9/10 KV	Unidad	1	1587200	1587200	
	TOTAL SUMINISTRO DE MATERIALES					2244892.15
	MONTAJE ELECTROMECHANICO					
9	TRABAJOS PRELIMINARES	Unidad	1	86445.86	86445.86	
10	MONTAJE ESTRUCTURAS METALICAS Y SISTEMA DE BARRAS	Unidad	1	23617.51	23617.51	
11	MONTAJE DE EQUIPOS DE MANIOBRA Y PROTECCION DE TRANSFORMADOR DE POTENCIA EXISTENTE REUBICADO	Unidad	1	7973.20	7973.20	
12	MONTAJE DE TRANSFORMADOR DE POTENCIA 16/16/5,33 MVA. - 60/22,9/10 Kv	Unidad	1	22404.60	22404.60	

13	REUBICACION DE TRANSFORMADOR DE POTENCIA 60/22,9/10 kV - 7/7/2 MVA.	Unidad	1	14635.79	14635.79
14	MONTAJE Y DESMONTAJE DE TERMINALES DE CABLE Y CABLES DE POTENCIA	Unidad	1	6646.75	6646.75
15	MONTAJE EQUIPOS DE COMUNICACIÓN	Unidad	1	42970.63	42970.63
16	INSTALACION DE CABLES, TERMINALES, PIEZAS, CONECTORES Y TUBOS	Unidad	1	14029.53	14029.53
17	INSTALACION TEMPORAL SALIDA A SET TUMAN	Unidad	1	5776.42	5776.42
18	SISTEMA DE PUESTA A TIERRA	Unidad	1	59160.25	59160.25
19	PRUEBAS Y PUESTA EN SERVICIO	Unidad		30333.43	30333.43
TOTAL MONTAJE ELECTROMECHANICO					313993.97
OBRAS CIVILES					
14	TRABAJOS PRELIMINARES	Unidad	1	58229.58	58229.58
15	DEMOLICIONES	Unidad	1	12810.57	12810.57
16	MOVIMIENTO DE TIERRAS	Unidad	1	25747.15	25747.15
17	ESTRUCTURAS	Unidad	1	43019.95	43019.95
18	CANALETAS SUBTERRANEAS	Unidad	1	9556.88	9556.88
19	ACABADOS	Unidad	1	651.04	651.04
TOTAL OBRAS CIVILES					150015.17
TOTAL DE LA AMPLIACION S/.					2708901.29

**Tabla 29.** Inversión Inicial del Proyecto.  
Fuente elaboración propia

## **Ingresos del Proyecto.**

### **Venta de energía.**

De acuerdo a la tabla 13, el crecimiento anual de la máxima demanda es del 6.6%, que equivale a un incremento promedio de 630 KW anual que, en términos de venta de energía, aplicando el factor de carga promedio que es de 0.6, a un costo de S/. 0.45, se tiene un ingreso de:

$$\text{Ingresos Anuales} = \text{MD} * \text{FC} * 24 * 365 * \text{CU}$$

Donde.

MD: Máxima Demanda.

FC: Factor de carga.

CU: Costo Unitario de Kw-h.

Reemplazando valores, se tiene.

$$\text{Ingresos Anuales} = 630 * 0.6 * 24 * 365 * 0.45 = \text{S}/.1408428$$

Los indicadores de proyección económica, su cálculo

Flujo de caja del proyecto.

Los ingresos es la parte fundamental en el flujo de caja además de los gastos e inversiones iniciales del proyecto, analizados durante un período de 10 años, ya que se trata de un proyecto a mediano plazo, consulte la tabla para obtener más detalles.

Años	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Inversión Inicial (S/.)	2708901.29										
Ingresos Ventas de Energía (S/.)		1408428	1408428	1408428	1408428	1408428	1408428	1408428	1408428	1408428	1408428
Egresos. Mantenimiento (S/.)		70421	70421	70421	70421	70421	70421	70421	70421	70421	70421
Utilidad: Ingresos - Egresos (S/.)		1338007	1338007	1338007	1338007	1338007	1338007	1338007	1338007	1338007	1338007

**Tabla 30.** Flujo de Caja  
Fuente elaboración propia

## Valor Actual Neto

Valores de ingresos y gastos mensuales, llegando a 0 por mes al inicio del proyecto, con una tasa mensual de 3.5% y una tasa anual de 15% a 20%. Se considera como interés bancario por tratarse de un proyecto privado.

Utilidad actualizada al tiempo 0:

$$Ia = \frac{In * [(1 + i) ] ^n - 1}{[i * (1 + i)^n]}$$

Dónde:

n: total de Años: 10

In: Utilidad Mensual (Ingresos – Egresos): S/. 1338007

Ia: Utilidad actualizada al mes 0.

i: Tasa de Interés: 3.5% Mensual

Los valores se asignarán de acuerdo a la formula, En dónde podemos utilizar la hoja de cálculo o Excel asignando el comando VNA.

Año	Utilidades	
1	1338007	
2	1338007	
3	1338007	
4	1338007	
5	1338007	
6	1338007	
7	1338007	
8	1338007	
9	1338007	
10	1338007	
	=VNA(0.035,E12:E21)	
	11 127 676	

**Tabla 31.** Cálculo del Valor Actual Neto  
Fuente: Hoja de cálculo, comando VNA Excel

Se obtiene:  $Ia = S/. 11\,127\,676$

Ahora podemos decir que la diferencia entre la utilidad actualizada y el valor actual neto de la investigación es:  $11\,127\,676 - 2\,708\,901.29 = S/. 8\,418\,774.71$

### Tasa Interna de Retorno

Al calcular la tasa interna de retorno, el ingreso descontado de la tasa de interés determinable es igual a la inversión inicial en el proyecto.

$$Inv = \frac{In * [(1 + TIR) ] ^n - 1}{[TIR * (1 + TIR)^n]}$$

Dónde:

n; Número de Años. 10

TIR: Tasa Interna de Retorno.

Inv: Inversión Inicial S/.2708901.29

Ia: S/. 1338007 de Utilidades Anuales

Año	Utilidades
0	-2708901.29
1	1338007
2	1338007
3	1338007
4	1338007
5	1338007
6	1338007
7	1338007
8	1338007
9	1338007

10	1338007
	TIR(E12:E22)
	48%

**Tabla 32.** Cálculo de la Tasa Interna de Retorno  
Fuente: Hoja de cálculo, comando TIR Excel

Sustituya los valores y, utilizando el método de aproximación o el software Microsoft Excel, calcule el valor de la TIR equivalente a una tasa de interés anual del 48 %, que es superior a una tasa de interés anual del 15 % al 20 %. relación costo-beneficio

La relación beneficio/costo está determinada por:

$B/C = \text{Número de servicios públicos actualizados al año 0} / \text{Inversión inicial del proyecto}$

Valor de sustitución:  $11127676/2708901.29$  es 4.

## V. DISCUSIÓN

El crecimiento económico está muy ligado al crecimiento del consumo de energía, en la misma proporción, siendo ambos interdependientes. En la subestación de Pomalca, la incorporación del transformador de 20 MVA, garantizo el crecimiento de la demanda de energía eléctrica hasta el año 2037, con una máxima demanda de 19.77 MVA.

En la zona de influencia de la SET Pomalca, tiene al sector industrial, específicamente a la transformación de la caña de azúcar como el principal consumidor de energía eléctrica; los sistemas de éstas plantas industriales tienen en sus instalaciones componentes que utilizaron el vapor de agua como sustancia de trabajo para generar energía térmica y así satisfacer los requerimientos de energía calorífica para sus diferentes procesos en la elaboración del azúcar; sin embargo, la tendencia es de reemplazar dichos sistemas de vapor de agua por sistemas eléctricos, que son más fáciles de controlar, modificar, transportar y automatizar los procesos.

Los flujos de energía en las diferentes barras, está en función a las necesidades de energía tanto de la población como del sector industrial, a pesar que los equipos electrodomésticos cada vez son más eficientes consumiendo menos energía eléctrica, sin embargo, se requiere de más de éstos equipos electrodomésticos en cada una de las viviendas de la zona de influencia de la Sub estación.

La SET de Pomalca, opera con un Transformador de 9MVA, en sus tres barras de distribución de energía eléctrica, incrementando su potencia instalada hasta un valor en el cual las proyecciones en 30 años, garanticen su operatividad dentro de un rango de eficiencia.

Electronorte, que es la empresa que opera la SET Pomalca, justifica la incorporación de un transformador de potencia de 20 MVA, basado en los históricos de consumo, como también en las proyecciones de consumo de energía, que tiene relación directa con el crecimiento de las actividades económicas de la zona de influencia, influenciado con el incremento del PBI.

La función eléctrica de los aisladores es proveer el aislamiento para equipos.

El aislador debe tener el camino de propagación de corriente necesario entre los componentes activos y tierra y debe ser capaz de soportar las cargas electrocinéticas que se producen en caso de cortocircuito. Los aisladores y accesorios para exteriores están diseñados adecuadamente para funcionar bien en las condiciones climáticas y de contaminación más duras que se encuentran en el sitio.

Los aisladores deben diseñarse de modo que las tensiones que surjan de la contracción y expansión de del aislador en alguna de sus partes no deben provocar su deterioro. Las áreas duras de metal y los materiales aislantes deben estar contorneados para evitar áreas o puntos con altas concentraciones de corriente electrostática. Todas las partes del conjunto del aislador expuestas a la intemperie deben estar hechas de materiales no higroscópicos.

La carga mecánica de la estructura del aislador y sus propiedades físicas son tales que cuando el aislador soporta la carga de trabajo máxima especificada, el factor de seguridad no será inferior a 2,5. Los aisladores se diseñarán y fabricarán verticalmente a sus propiedades nominales de acuerdo con los requisitos de las normas internacionales IEC o normas equivalentes reconocidas.

Todos los aisladores están marcados con las iniciales o marca del fabricante, año de fabricación y número de referencia técnica. Los aisladores de poste se fabrican según la norma IEC 60273 "Características de los aisladores de poste de interior y exterior para sistemas con tensión nominal superior a 1000 V", deben ser cilíndricos y se suministran completos con accesorios para su fijación a la estructura. Son de alta calidad. porcelana, fabricada por el método húmedo.

La capucha tuvo que ser contorneada para que fuera más fácil de lavar y limpiar. Pueden ser estándar o niebla, según el grado de contaminación del lugar de instalación.

Tienen propiedades como resistencia al calor o alta temperatura de combustión, su porosidad es baja por lo tanto el agua no se absorbe con facilidad, gran resistencia metálica y dureza. Se proporcionarán protectores o elementos aislantes de soporte para las barras y los conductores asociados. Su estructura tiene la capacidad para resistir sin errores operativas simultáneas, incluidas las que surgen en condiciones

de cortocircuito. El aislante es polietileno reticulado extruido concéntricamente sobre una cinta semiconductora. Aislamiento medio y mínimo según publicaciones ICEA. El nivel de aislamiento del cable es del 100%. La superficie exterior del aislador es una tira semiconductora montada concéntricamente con la tira interior para lograr una distribución radial uniforme del campo eléctrico. Sobre la tira semiconductora exterior se coloca una tira de cobre metálico con las propiedades especificadas en la publicación correspondiente. Finalmente, se debe proporcionar una cubierta de PVC para proteger mecánicamente el cable. El solicitante presentó una oferta para la puesta a tierra de la pantalla del cable para su aprobación. Los cables terminados se embalan en rollos con el menor desperdicio posible, y dado que no se permite la conexión de estos cables, los tramos son terminados, lo que sella los extremos de los tramos en ellos y garantiza la protección mecánica de los cables durante el transporte y manejo. Los cables para la instalación están en marcha. Las bobinas deben cumplir con las especificaciones de este documento. El alambre consiste en alambre de cobre recocido electrolíticamente con una sección transversal redonda. Los conductores deben cumplir con los requisitos de Clase 2 especificados en la publicación IEC 60228. El material de aislamiento es del tipo PVC/A, que cumple los requisitos de la publicación IEC 60502 para cables con tensión de aislamiento superior o igual a 0,6/1 kV. Cables aislados de 1 kV que cumplan con los requisitos de la publicación IEC 60227-1 para las modificaciones de cables requeridas para tareas de interfaz. Se acuerda aplicar el aislamiento de forma que se adhiera lo mejor posible, pero que permita retirarlo sin dañar el conductor. El material aislante debe ser tipo TW, termoplástico ignífugo y resistente al calor y la humedad.

Los compuestos a base de plástico se utilizan cuando se requieren rellenos en los orificios de los cables para proporcionar componentes con una sección transversal mayoritariamente circular. El relleno debe cumplir con 5.3 de la publicación IEC 60227-1. y CEI 60502 6.6. a los requisitos del párrafo

Una cubierta interior extruida es adecuada para la temperatura de funcionamiento del cable y es compatible con el material de aislamiento. Cuando no se usa relleno, la tapa interior cubre el espacio entre los núcleos, pero no se adhiere a los núcleos. Cuando se coloca la tapa interior, todo tiene una forma casi circular. La carcasa

interior cumple con la publicación IEC 60227-1 5.4. y CEI 60502 6.6. a los requisitos del párrafo

La pantalla está hecha de cobre y se aplica a través de una trenza para lograr una cobertura mínima del 90%. La resistencia CC de la pantalla a 20 °C debe ser inferior a 2 ohmios/km. La cubierta exterior es de color negro y cumple con los requisitos de la cláusula 12 de la publicación IEC 60502 para cables con una tensión de aislamiento superior o igual a 0,6/1 kV. Para cables aislados de 1000 V, la cubierta cumple con los requisitos de la publicación IEC 60227-1.

La fuerza indicada en la tabla anterior es la máxima carga aplicable horizontalmente en la parte superior del aislador cuando éste se instala en forma normal vertical.

La determinación de la clase de resistencia mecánica del aislador se realizó después de que se hayan hecho los cálculos de esfuerzos en la parte superior del mismo.

La designación de los aisladores de soporte exteriores, de acuerdo con la norma IEC 60273, se realiza con la letra "C" representando con ella aisladores cilíndricos de cerámica.

De acuerdo con lo anterior, una designación C6-125 significa un aislador cilíndrico para uso exterior en material cerámico con una resistencia a la flexión clase 6 (6000N) para ser empleado en una subestación con tensión soportada asignada al impulso tipo rayo BIL 125 kV.

Los compuestos plásticos se utilizan cuando se van a rellenar agujeros de alambre para proporcionar secciones con una sección transversal generalmente circular. El relleno debe estar de acuerdo con 5.3 de IEC 60227-1. y CEI 60502 6.6. para satisfacer las necesidades técnicas.

La cubierta interior extendida es adecuada para la temperatura de trabajo del cable y es compatible con el equipo de protección. Si no se utiliza el lubricante, la cubierta interior cubre el espacio entre las roscas, pero no se pega a las roscas. Cuando se coloca la cubierta interior, todo se envuelve a su alrededor. La unidad interior cumple con IEC 60227-1 Publicación 5.4. y CEI 60502 6.6. para satisfacer las necesidades del área.

El escudo está hecho de cobre y se usa tejiendo hasta al menos un 90%. La resistencia del blindaje de CC a 20 °C debe ser inferior a 2 ohmios/km. La cubierta exterior es negra y cumple con IEC 60502 cláusula 12 para cables con una tensión de al menos 0,6/1 kV. Para cables aislados de 1000 V, el revestimiento cumple con la publicación IEC 60227-1.

## VI. CONCLUSIONES

Se hizo la evaluación actual de la subestación, en el cual se determinó que actualmente opera en los últimos cinco años con un porcentaje de plena carga entre el 60 y 70%, en un periodo de tiempo entre el 30 y 40% del tiempo total, sin embargo, existen periodos de 0.25 a 9.40% del tiempo total en el cual el transformador funciona entre el 90 y 100% de plena carga. En la proyección de la máxima demanda se determinó que en el año 2037 será de 19.77 MVA, con lo cual la instalación del transformador de 20 MVA satisface ese crecimiento.

En el análisis de los flujos de cargas al utilizar el Software Digsilent Factory 15.1.7, se realizó la simulación con el transformador de 20 MVA, se determinó que los niveles de tensión en las barras en los distintos escenarios de operación deben encontrarse en un rango aceptado de NTCSE (+/- 0.05 de la tensión nominal).

Se describió las características técnicas de los elementos de la sub estación de Pomalca, de acuerdo al flujo de energía en las diferentes barras de 10 y 22.9 KV.

Se hizo el análisis económico y mostraron una tasa interna de retorno del 48% al año, el indicador de costo beneficio fue de 4.1, el valor actual neto del proyecto fue de S/ 8 418 774.71, resultados aceptables para que el proyecto de inversión sea factible.

## **VII. RECOMENDACIONES**

Los datos de consumo eléctrico deben de conocerse en tiempo real no solamente en la subestación, sino también en una central de monitoreo para evaluar posibles fallas en el sistema eléctrico y de esa manera efectuar las labores de reparación y mantenimiento en el menor tiempo posible.

La capacitación al personal que opera la sub estación para que ellos mismos realicen el mantenimiento de los circuitos que entran en modo de fallas.

Implementar mayores medidas de seguridad en los alrededores del transformador de 20 MVA, para evitar accidentes eléctricos a la hora de efectuar labores de supervisión y mantenimiento.

## REFERENCIAS:

TORIBIO SALAZAR, Albert Paul. Análisis de pre-operatividad de la línea de transmisión carhuaquero-Cajamarca Norte–Caclic para su interconexión al sein en 220 Kv. 2015.

CHOLOTA MOROCHO, Edwin Orlando. Gestión de datos del análisis físico-químico y su influencia en el tiempo de entrega de indicadores de operatividad de los transformadores de distribución de la empresa INEDYC. 2017. Tesis de Maestría. Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial. Dirección de Posgrado. Maestría en Gestión de Bases de Datos.

SALDIVIA, Francisco; ACEVEDO, EDUAR; PÉREZ, Rómulo. Estrategias de mantenimiento predictivo aplicables a transformadores de potencia de una empresa eléctrica. En 11th Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology. México. 2013.

CAYAMBE ABAD, Freddy Paúl; MARTÍNEZ GARZÓN, Juan Gabriel. Análisis de la vida útil de transformadores de potencia en régimen de explotación. Aplicación al sistema nacional de transmisión ecuatoriano. 2013. Tesis de Licenciatura. QUITO/EPN/2013.

CAPA CARRILLO, Javier Gerardo; PARRALES PALADINES, Richard Fernando. Estudio de coordinación de protecciones del sistema de generador-transformador y línea de evacuación en la Unidad N°3 de la Central Hidroeléctrica Minas-San Francisco. 2018.

NARANJO YÉPEZ, Aurelio Andrés; FERAUD LÓPEZ, Miguel Alfonzo; VILLACRÉS SALAZAR, Raúl Javier. Diseño de un módulo para protección diferencial de transformadores. 2015. Tesis de Licenciatura.

BERMEO, Claudio Geovanny. Estudio de pérdidas de energía en los transformadores utilizados por las empresas ubicadas en la zona del parque industrial.

AROCUTIPA GUEVARA, José Manuel. Propuesta de esquema de protección del transformador T46-162, de la SE Combapata, ante recierres en la línea I-1005. 2015.

SOLÓRZANO MORENO, Oliver Jesús. Estudio del diseño en base a las especificaciones técnicas del fabricante en el funcionamiento de los transformadores de distribución en la Central Hidroeléctrica Santa Teresa, Cusco. 2021.

ESCOBAR, Castro; MIGUEL, Mesmer. Ordenamiento óptimo del parque de transformadores para reducir los costos de alivio de sobrecarga.

SALDÍVAR HINOJOSA, Juan José. Estudio de niveles de eficiencia en transformadores de distribución en función del perfil de carga. N/A, 2018.

DÍAZ ZÁRATE, María Fernanda; OTORONGO CORNEJO, Manuel Rigoberto. Estudio de factibilidad para la instalación de una fábrica de Transformadores de Distribución. 2016. Tesis de Licenciatura. Quito: UCE.

MARTINEZ, KARLA VARELA. Estudio experimental de un transformador de calor por absorción con intercambiadores helicoidales múltiples anidados. 2021.

ÁLVAREZ MARIÑO, Casimiro, et al. Estudio de la respuesta en muy alta frecuencia en transformadores de potencia. 2014. Tesis Doctoral. Enxeñaría eléctrica.

SOTO MARÍN, Oscar Julián. Estudio de Falla de Transformadores de Distribución en el Oriente de Caldas. Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Computación.

MARIN ARMUTO, Félix; CHAMPI HUANCA, Rolando. Análisis y evaluación de cargabilidad del transformador de potencia de Chahuares y los alimentadores en 22.9 kv al año 2020, La Convención-Cusco. 2016.

MARIÑO, Casimiro Álvarez. Estudio de la respuesta en muy alta frecuencia en transformadores de potencia. Universidad de Vigo. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Vigo, Vigo, 2014.

PETRUSKA VILLACRESES, María Cristina. Análisis para el cambio de pintura en la fabricación de transformadores de distribución de energía eléctrica en la empresa Ecuatran SA. 2005. Tesis de Licenciatura. QUITO/PUCE/2005.

VEGA, MA Venegas. Cálculo de Pérdidas en Tanques de Transformadores Utilizando el Método del Elemento Finito. ESIME IPN Sección de Estudios de Posgrado e Investigación. Tesis, Cd. De México, 2007.

HANCCO PRADA, Blanca Martina. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE MONITOREO ELÉCTRICO PARA REDUCIR LAS FALLAS INTEMPESTIVAS EN LOS TRANSFORMADORES DE POTENCIA DE ALTA TENSION. EMPRESA ABB SA LIMA 2016. 2016.

MAURO, Luz Marina Parraguez. Propuesta teórica de liderazgo transformador y mejora de cultura organizacional en instituciones educativas de educación secundaria. EDUCARE ET COMUNICARE: Revista de investigación de la Facultad de Humanidades, 2018, vol. 6, no 2, p. 19-31.

AYALA GARCIA, Wellington. Estudio de factibilidad de la línea de producción de transformadores secos de distribución clase F. 2001. Tesis Doctoral. Universidad del Rosario.

MAYORGA CARRASCO, Lourdes Paola. Levantamiento de la integración de una bahía de transformador en una subestación con sistema de control y medición híbrido. 2008. Tesis de Licenciatura. QUITO/EPN/2008.

CARRUITERO JARA, Lenyn Yraldo; CAUDER RODOLFO, Otiniano Niquin. Diseño de un equipo de procesos de termo vacío para mejorar las propiedades dieléctricas del aceite contaminado en transformadores de hasta 10000 KVA. 2020.

URQUIZA CUADROS, Domingo Javier. Aportaciones al diagnóstico de transformadores de potencia mediante el análisis de compuestos furánicos en el aceite. 2017.

VILLANUEVA HERNÁNDEZ, Héctor Daniel, et al. Obtención de parámetros en transformadores mediante elementos finitos usando ANSYS. 2007.

CARMONA, Estela Díaz. El veganismo como consumo ético y transformador. Un análisis predictivo de la intención de adoptar el veganismo ético. 2017. Tesis Doctoral. Universidad Pontificia Comillas.

CASANUEVA ÁLVAREZ, Carlos, et al. Estudio del efecto de una carga por encima de la máxima especificada en la placa de características en un transformador de potencia. 2021.

DUTÁN AMAY, Luis Manuel. Modelación y análisis del relee diferencial para transformadores de potencia con conexión YYd usando ATP-EMTP. 2008. Tesis de Licenciatura. QUITO/EPN/2008.

ROTETA, Jon Gastelurrutia. Modelación térmica de la refrigeración por convección natural de transformadores de distribución de tipo onan. 2011. Tesis Doctoral. Universidad de Navarra.

GESTOSO, Jesús Chouza. Modelización de transformadores trifásicos de tres columnas para el estudio de regímenes desequilibrados y el análisis de potencias trifásicas. 2011. Tesis Doctoral. Universidad da Coruña.

ARANCIBIA ALTAMIRANO, Sebastián Andrés. Estudio, análisis y simulación de dos o más inversores multinivel híbridos simétricos conectados en paralelo a través de transformadores multi-interfase.

AMAGUAYA, Adriano; ALCÍVAR, Wilson. Estudio y análisis de la calidad de la energía eléctrica de un banco de transformadores en media tensión a la empresa Hidalgo & Hidalgo en la ciudad de Guayaquil. 2019.

RODRÍGUEZ LÁZARO, Jhon Anderson. Determinación de la potencia requerida por 62 transformadores eléctricos de distribución en el área de concesión de Electro Oriente SA. 2019.

BERNAL PINCAY, Luis Alberto; RAMIREZ MOLINA, Max Jimmy. Determinación de la Cantidad Adecuada de Usuarios por Transformador de Potencia en Zonas de Santa Elena a Nivel de Baja Tensión Considerando Eficiencia Energética. 2015.

VITERI TOQUICA, Diego; GARZÓN BUSTOS, Cesar; NARVAÉZ CUBILLOS, Alexander. Análisis de confiabilidad en subestaciones eléctricas tipo maniobra

implementando el transformador de tensión con núcleo de potencia. Ingeniería, 2017, vol. 22, no 1, p. 65-82.

ZUÑIGA BUSTAMANTE, Jorge Bruno. Cálculo de pérdidas en el diseño del núcleo de un transformador de distribución aplicando el método de los elementos finitos. 2016.

JURADO LÓPEZ, Raúl. Modelamiento del transformador trifásico en sistemas eléctricos con presencia de armónicos. 2013.

LANDY VISCAÍNO, Wilson Rene. Desarrollo de un modelo de sistema de control y monitoreo de parámetros operacionales de un transformador de potencia, para el diagnóstico y detección temprana de fallas (Aplicado a un transformador de la Empresa Transelectric). 2015. Tesis de Licenciatura.

FLORES CRUZ, Carlos Alberto. Propuesta de modelo de perfil sistémico-sostenible-transformador para la gestión pedagógica ambiental del currículo universitario en la Universidad Nacional de San Martín-Tarapoto, 2019. 2020.

## **ANEXOS:**

- Matriz de Operacionalización de variables DEBE Cumplir con el formato de la guía de investigación.
- Guía De Observación.
- Ficha de evaluación de instrumento de recolección de datos.

## Matriz de Operacionalización de variables

Variables de estudio	Definición Conceptual	Definición Operacional	DIMENSION	Indicadores	Escala de medición
Variable Independiente: <b>OPERATIVIDAD DE TRANSFORMADOR DE 20MVA</b>	La operatividad del transformador son conjuntos de acciones que realiza el transformador, modificando sus parámetros de funcionamiento para satisfacer a los cambios de las cargas eléctricas conectadas.	Los parámetros de funcionamiento del transformador se refieren a la tensión y a la corriente tanto de fase como de línea, que varían en función a la impedancia de la carga, reduciendo al máximo las pérdidas de energía. La relación de transformación relaciona los parámetros en ambos lados del transformador.	Lado de Baja tensión.  Lado de Alta Tensión	Tensión eléctrica.  Frecuencia eléctrica  Factor de potencia  Potencia activa y reactiva	Intervalo  Nominal  Intervalo  Intervalo
Variable Independiente:  <b>Máxima Demanda en SET POMALCA.</b>	La máxima demanda corresponde a una instante en donde la suma de todas las potencia eléctricas instantáneas de las cargas eléctricas están accionadas durante un periodo, dicha variación se analiza en el diagrama de carga.	La variación del valor de la máxima demanda, como también la hora de su ubicación en el diagrama de carga, puede modificarse de acuerdo a las solicitudes de energía que requieren las cargas de esa zona, sino también de la cultura de uso de la energía eléctrica a la que se denomina eficiencia en el consumo de energía.	Valor de la máxima demanda  Duración de la máxima demanda.  Momento de la máxima demanda	Máxima demanda  Horas de máxima demanda.  Horario diario	Intervalo  Intervalo  Intervalo

## GUIA DE OBSERVACIÓN

TESIS: “ESTUDIO DE OPERATIVIDAD DE TRANSFORMADOR DE 20MVA PARA SATISFACER EL INCREMENTO DE MAXIMA DEMANDA EN SET POMALCA, 2017”

ENERGÍA ELÉCTRICA DEMANDADA AMT POM-202(kWh)													
MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTAL AÑO
AÑO													
2004	928.035,00	1.032.506,32	1.074.537,17	985.502,26	860.830,11	675.415,19	777.544,76	959.338,11	919.998,33	855.174,59	1.003.556,66	937.119,15	11.009.557,65
2005	915.773,06	923.439,27	1.035.650,03	1.074.054,19	1.029.560,82	996.242,80	1.125.872,70	1.178.299,00	1.156.051,60	1.213.790,64	1.199.212,06	1.212.071,61	13.060.017,79
2006	1.248.561,21	1.055.915,46	1.035.602,90	1.142.498,75	1.136.722,22	1.138.417,15	1.220.454,14	1.144.044,99	1.189.000,66	1.214.740,68	1.206.539,80	1.111.250,48	13.843.748,43
2007	1.199.165,86	988.811,39	1.278.149,83	1.168.189,83	1.251.454,15	1.171.241,68	1.215.730,73	1.243.628,04	1.255.711,99	1.305.352,23	1.298.664,04	1.319.449,53	14.695.549,31
2008	1.301.286,22	1.303.032,01	1.278.608,26	1.194.213,56	1.114.172,13	1.327.628,39	1.358.707,07	1.373.903,46	1.292.486,50	1.408.326,09	1.336.878,08	1.436.931,37	15.726.173,12
2009	1.429.937,98	1.307.475,27	1.460.662,31	1.432.440,58	1.305.981,72	1.425.599,35	1.447.604,95	1.463.421,63	1.439.960,87	1.447.115,72	1.469.063,54	1.282.914,73	16.912.178,64
2010	1.518.112,52	1.299.369,52	1.256.936,58	1.253.163,80	1.451.133,43	1.403.326,87	1.453.887,58	1.468.659,74	1.487.135,02	1.530.622,17	1.501.662,60	1.372.617,39	16.996.627,23
2011	1.514.770,27	1.464.067,98	1.223.811,48	1.457.339,33	1.567.055,81	1.299.077,18	1.630.380,83	1.609.755,58	1.558.601,38	1.640.773,57	1.575.254,32	1.730.720,67	18.271.608,40
2012	1.569.530,74	1.417.422,41	1.307.202,27	1.364.622,00	1.632.943,00	1.623.519,00	1.614.450,00	1.655.100,00	1.717.383,00	1.745.525,00	1.760.501,00	1.727.038,00	19.135.236,42

AUTOR: GIL RODRÍGUEZ, DAVID SAUL

Nombre	Busbar i	Busbar j	ESCENARIO AVENIDA 2017														
			Máxima Demanda					Media Demanda					Mínima Demanda				
			Terminal i		Terminal j		Loadin g	Terminal i		Terminal j		Loadin g	Terminal i		Terminal j		Loadin g
			MW	Mva r	MW	Mva r	%	MW	Mva r	MW	Mva r	%	M W	Mva r	MW	Mva r	%
L-6051	CHICLAYO NORTE 60	POMAL 60kV	11.9 9	4.04	- 11.9	- 3.97	22.03	10.1 5	3.31	- 10.1	- 3.29	18.54	6.1 6	1.76	- 6.1	- 1.81	11.02

FICHA DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

DATOS GENERALES DEL EXPERTO.

Apellidos y Nombres:

Calero Núñez Luis Alberto

Profesión:

Ingeniero Mecánico Electricista

Grado académico:

Ingeniero

Actividad laboral actual:

Jefe de Departamento de Ventas y  
Clientes Menores de Electromorte S.A.

  
LUIS ALBERTO CALERO NUÑEZ  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA  
REG. CIP. 71887

Estimado(a) experto(a):

El instrumento de recolección de datos a validar es de la tesis: "ESTUDIO DE OPERATIVIDAD DE TRANSFORMADOR DE 20MVA PARA SATISFACER EL INCREMENTO DE MAXIMA DEMANDA EN SET POMALCA"

Con el objetivo de corroborar la validación del instrumento de recolección de datos, por favor le pedimos responda a las siguientes interrogantes:

1. ¿Considera pertinente la aplicación de esta encuesta para los fines establecidos en la investigación?

Es pertinente: Si Poco pertinente: No es pertinente: \_\_

Por favor, indique las razones:

AYUDA A la RECOLECCIÓN DE los  
DATOS a Trabajar

2. ¿Considera que la encuesta formula las preguntas suficientes para los fines establecidos en la investigación?

Son suficientes: Insuficientes:

Si

Por favor, indique las razones:

NOS BRINDA la INFORMACIÓN NECESARIO  
PARA los DATOS a Trabajar.

3. ¿Considera que las preguntas están adecuadamente formuladas de manera tal que el encuestado no tenga dudas en la elección y/o redacción de sus respuestas?

Son adecuadas: Si Poco adecuadas: \_\_ Inadecuadas: \_\_

Por favor, indique las razones:

Las Preguntas son claras y precisas

  
LUIS ALBERTO CALERO NUÑEZ  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA  
REG. CIP. 71887

1. ¿Califique los ítems según un criterio de precisión y relevancia para el objetivo del instrumento de recolección de datos.

Ítem	Precisión			Relevancia			Sugerencias
	Muy precisa	Poco precisa	No es precisa	Muy relevante	Poco Relevante	Irrelevante	
1	/			/			
2	/			/			
3	/			/			

2. ¿Qué sugerencias haría Ud. para mejorar el instrumento de recolección de datos?

*Las recolecciones de datos tienen que ser  
CON UN OBJETIVO DIRECTO a tratar*

Le agradecemos por su colaboración.

Fecha de  
evaluación:

  
**LUIS ALBERTO GALERO NUÑEZ**  
**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**  
**REG. CIP. 71887**

Firma del Experto.

## Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, **James Skinner Celada Padilla**, docente de la Facultad / Escuela de posgrado Ingeniería y Escuela Profesional / P.F.A Programa académico SUBE de la Universidad César Vallejo (filial o sede), asesor (a) del Trabajo de Investigación / Tesis titulada:

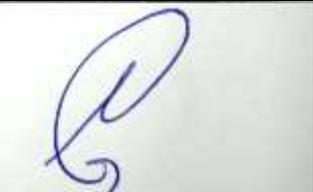
**“Estudio de Operatividad de Transformador de 20mva para satisfacer el incremento de Máxima Demanda en SET Pomalca”**

del autor **David Saúl Gil Rodríguez**, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 16% verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender el trabajo de investigación / tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Lugar y fecha,

Apellidos y Nombres del Asesor: Celada Padilla, James Skinner	
DNI 16782335	Firma 
ORCID 0000-0002-5901-2669	