

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA,**  
**ELECTRÓNICA Y SISTEMAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA**  
**ELÉCTRICA**



**OPTIMIZAR LA UBICACIÓN DE BANCO DE CAPACITORES EN  
LA RED DE DISTRIBUCIÓN 10KV PARA MEJORAR LA  
EFICIENCIA ENERGÉTICA DEL ALIMENTADOR (O -162) LA  
YARADA – TACNA.**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**ALEX ROMAN AROCUTIPA ARRATIA**

**WILSON RONALD YUCRA AQUINO**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**PUNO – PERÚ**

**2019**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO-PUNO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA,**  
**ELECTRÓNICA Y SISTEMAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA**  
**ELÉCTRICA**

**OPTIMIZAR LA UBICACIÓN DE BANCO DE CAPACITORES EN LA  
 RED DE DISTRIBUCIÓN 10KV PARA MEJORAR LA EFICIENCIA  
 ENERGÉTICA DEL ALIMENTADOR (O -162) LA YARADA – TACNA.**

TESIS PRESENTADA POR:

**ALEX ROMAN AROCUTIPA ARRATIA**  
**WILSON RONALD YUCRA AQUINO**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**



APROBADA POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

PRESIDENTE: .....  
 M.Sc. MARIO MAMANI PAMPA

PRIMER MIEMBRO: .....  
 D.Sc. LEONIDAS VILCA CALLATA

SEGUNDO MIEMBRO: .....  
 Ing. FELIPE CONDORI CHAMBILLA

DIRECTOR / ASESOR: .....  
 M.Sc. JULIO FREDY CHURA ACERO

TEMA: Sistemas Eléctricos de Distribución  
 ÁREA: Electricidad

FECHA DE SUSTENTACIÓN 19 DE DICIEMBRE DEL 2019

## DEDICATORIA

*Este trabajo está dedicado especialmente al ser a quien le debo la mayor parte de lo que soy.*

*A mi madre TEODORA AQUINO YAPO, quien con su amor, dedicación y esfuerzo me brindó el apoyo y la confianza necesaria para alcanzar mi meta y me inculco el don de la humildad y la generosidad.*

*A mi Padre, ISIDORO YUCRA APAZA, por ser mi mejor amigo, consejero y ejemplo a seguir. Está tesis y todo lo que logre hacer será gracias a su fortaleza, virtudes y valores inculcados en mí.*

*A mis hermanos ARACELY, OLGER que en vida fueron siempre los llevaré en mi corazón.*

*A mi hermana CRIZ por su apoyo incondicional.*

*A mi esposa MARIELA, a mi amado hijo ADRIANO, que es mi motor y motivo  
En esta lucha para seguir escalando en mi vida profesional, que siempre han estado brindándome su comprensión, cariño y amor.*

*Wilson Ronald, YUCRA AQUINO*

*Este trabajo está dedicado especialmente al ser a quien le debo la mayor parte de lo que soy, a mi madre, quien con su amor, dedicación y esfuerzo me brindó el apoyo y la confianza necesaria para alcanzar mi meta y me inculco el don de la humildad y la generosidad.*

*A mi padre, por preocuparse de mi rendimiento académico en la etapa escolar, sin duda el saber que estabas pendiente de mis notas en cierto modo me obligaba a preocuparme a mí también por ellas. A mi hermana, por su constante apoyo para lograr esta meta. Este logro es tan nuestro como de todos ustedes.*

*Alex Roman, AROCUTIPA ARRATIA*

## AGRADECIMIENTO

*A la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, a la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, por los conocimientos impartidos a lo largo de mi formación profesional.*

*Un agradecimiento muy especial merece la comprensión, paciencia y el ánimo recibidos de mi familia y amigos.*

*Expreso mi más sincero agradecimiento a la empresa ELECTROSUR S.A. por facilitarme la información requerida para el desarrollo de la presente tesis.*

*Le doy gracias a Dios por iluminar mi camino, por ser mi luz, mi esperanza mi faro, mi guía, gracias, toda mi gratitud a ti. Padre Santo, gracias por la vida.*

*Wilson Ronald, YUCRA AQUINO*

*Me gustaría que estas líneas sirvan para expresar mi más profundo y sincero agradecimiento a todas aquellas personas que con su ayuda han colaborado en la realización del presente trabajo, en especial a Dios quien con su cuidado y bendición supo guiarme para cumplir mis objetivos.*

*Expreso mi más sincero agradecimiento a la empresa ELECTROSUR S.A. por facilitarme la información requerida para el desarrollo de la presente tesis.*

*A todos ellos, muchas gracias*

*Alex Roman, AROCUTIPA ARRATIA*

## ÍNDICE GENERAL

<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>3</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>4</b>
<b>ÍNDICE GENERAL .....</b>	<b>5</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>9</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>11</b>
<b>ÍNDICE DE ACRÓNIMOS .....</b>	<b>12</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>13</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>15</b>
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>17</b>
<b>1.INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>17</b>
1.1. Descripción de la investigación .....	17
1.2. Antecedentes de la investigación .....	18
1.3. Problema de investigación .....	20
1.4. Formulación del problema .....	21
1.4.1. Problema general.....	21
1.4.2. Problemas específicos .....	21
1.5. Objetivos de investigación .....	21
1.5.1. Objetivo general.....	21
1.5.2. Objetivos específicos .....	22
1.6. Hipótesis.....	22
1.6.1. Hipótesis general.....	22
1.6.2. Hipótesis específico .....	22
<b>CAPÍTULO II .....</b>	<b>23</b>
<b>2. REVISIÓN DE LITERATURA .....</b>	<b>23</b>
2.1. Marco teórico .....	23
2.2. Definiciones conceptuales.....	24
2.2.1. Sistema de distribución .....	24

2.2.2.	Eficiencia energética .....	24
2.2.3.	Definiciones de variables operacionales .....	25
2.3.	Bases teóricas .....	26
2.3.1.	Eficiencia energética .....	26
2.3.2.	Eficiencia energética en redes de distribución .....	27
2.4.	Capacitores .....	28
2.5.	Capacitores en derivación shunt .....	31
2.5.1.	Efectos en la adición de capacitores en shunt .....	33
2.5.2.	Control de tensión .....	34
2.5.3.	Incremento de la capacidad del sistema .....	35
2.5.4.	Reducción de pérdidas del sistema .....	36
2.6.	Instalación de capacitores .....	36
2.6.1.	Compensación simple con capacitores fijos .....	37
2.6.2.	Control de capacitores conectables .....	38
2.6.3.	Tipos de compensación reactiva capacitiva .....	40
2.6.4.	Capacidades estándar de los capacitores .....	46
2.6.5.	Tipos de conexiones de capacitores de montaje aéreo y/o tipo subestación.....	47
2.7.	Consideraciones para la fabricación de banco de capacitores 22.9kv tipo “pole-mounted” .....	50
2.8.	Localización óptima de capacitores OCP .....	51
2.8.1.	Método de cálculo .....	51
2.8.2.	Algoritmos genéticos y computación evolutiva.....	52
2.9.	Costo de capacitores.....	55
2.9.1.	Costo de compra de capacitores .....	56
<b>CAPÍTULO III.....</b>		<b>58</b>
<b>3.</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>58</b>
3.1.	Materiales .....	58
3.2.	Método .....	58
3.2.1.	Analítico.....	58
3.2.2.	Deductivo .....	58

3.3.	Tipo de investigación .....	58
3.4.	Ámbito de estudio .....	59
3.5.	Población y muestra .....	59
3.6.	Identificación de variables. ....	59
3.6.1.	Variables independientes .....	59
3.6.2.	Variables dependientes .....	59
3.7.	Descripción de la metodología.....	59
<b>CAPÍTULO IV .....</b>		<b>61</b>
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>61</b>
4.1.	Descripción del sistema eléctrico de distribución la Yarada - Tacna .....	61
4.1.1.	Tipos de conductores eléctricos utilizados en las redes de distribución de la S.E.T. de Yarada – O162 .....	64
4.1.2.	Nivel de tensión del alimentador O – 162.....	65
4.1.3.	Subestaciones eléctricas de distribución según su potencia instalada .....	66
4.2.	Diagnostico operativo del alimentador O-162 .....	66
4.2.1.	Demanda del alimentador O-162 .....	66
4.2.2.	Factor de potencia .....	71
4.3.	Perfil de tensión el alimentador O – 162.....	72
4.4.	Pérdida de potencia en el alimentador O – 162 .....	72
4.5.	Aplicación del software DIgSILENT Power Factory 15.1.7 .....	73
4.6.	Análisis con DIgSILENT PowerFactory el alimentador O – 162 Yarada- Tacna 79	
4.7.	Diagrama del alimentador O – 162 o flujo del software DIgSILENT Power Factory .....	80
4.8.	Comparación del perfil de tensión con los demás alimentadores de la SET Yarada .....	81
4.9.	Reporte de potencia activa, reactiva de la línea de transmisión 66 kV Yarada ..	83
4.10.	Perfil de tensión y factor de potencia en el alimentador O – 162 sin banco de condensador .....	84
4.11.	Diagrama del alimentador O – 162 con bancos de capacitores instalados .....	87
4.12.	Análisis del perfil de tensión con los demás alimentadores de la SET Yarada ..	88

4.13. Perfil de tensión y factor de potencia en el alimentador O – 162 con banco de condensador .....	90
4.14. Pérdidas en el alimentador O – 162 con banco de capacitores .....	91
4.15. Comparativa de pérdida en el alimentador .....	92
4.16. Ahorro de energía.....	93
4.17. Análisis económico .....	93
4.18. Análisis costo - beneficio .....	93
4.19. Ahorro en reducción de pérdidas .....	95
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>96</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>97</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>98</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>102</b>



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura N° 2.1:</b> Los seis tipos de perfil de demanda en DSM (Demand- side Management), tal como lo define Gellins y Chamberlin (1993).....	27
<b>Figura N° 2.2:</b> Eficacia Energética por perfil de demanda.....	27
<b>Figura N° 2.3:</b> Vista de corte de un capacitador “all-film” de 02 terminales, donde indica:1. terminales para conexión, 2. Terminal de Porcelana; Elemento de Fijacion;4. Cubierta de acero inoxidable;5.Parte Activa .....	29
<b>Figura N° 2.4:</b> Banco de capacitores montaje en poste de redes aéreas de distribución	29
<b>Figura N° 2.5:</b> Cubículo de banco de capacitadores con regulación automática para instalación en interior mina. Diseñado bajo normas NEMA con encerramiento NEMA 4, como se puede apreciar, el diseño toma consideraciones de seguridad a fin de evitar accidentes por electrocución .....	30
<b>Figura N° 2.6:</b> Interior de un cubículo de banco de capacitores de 0.48kv con regulación automática diseñado para interior mina. El diseño es con encerramiento NEMA 4. Nótese los contactores especiales que conmutan y controlan cada capacitor .....	30
<b>Figura N° 2.7:</b> Circuitos inductivos y diagrama fasorial (a) y (c) sin capacitor en shunt: (b) y (d) con capacitor en shunt.....	32
<b>Figura N° 2.8:</b> Efecto de la ubicación de un capacitor en un alimentador con carga uniformemente distribuida, localización usando la regla de los 2/3 .....	38
<b>Figura N° 2.9:</b> Diagrama de circuito de una compensación fija. Ejemplo para transformadores de potencia con circuitos de fusible de carga y las resistencias de descarga en el caso de los fusibles fusionen .....	41
<b>Figura N° 2.10:</b> Representación simplificada de la compensación tipo bulk.....	42
<b>Figura N° 2.11:</b> Representación simplificada de la compensación de tipo centralizada PFR=Relé de actor de potencia (o Regulador).....	43
<b>Figura N° 2.12:</b> Diagrama de circuito esquemático que ilustra los cuatro métodos de compensación.....	44
<b>Figura N° 2.13:</b> Bancos de capacitores en Shunt conectados sólidamente a tierra .....	49
<b>Figura N° 2.14:</b> Bancos de capacitadores en Shunt sin conexión a tierra .....	50
<b>Figura N° 4.1:</b> Diagrama unifilar de la subestación de transformación YARADA .....	62
<b>Figura N° 4.2:</b> Diagrama Unifilar Terna S .....	63

<b>Figura N° 4.3:</b> Modelo del Sistema Eléctrico Tacna.....	64
<b>Figura N° 4.4:</b> Tipo de instalación de conductores alimentador O-162 .....	65
<b>Figura N° 4.5:</b> Curva de la demanda del alimentador O-162 .....	71
<b>Figura N° 4.6:</b> Curva de comportamiento del factor de potencia durante el día .....	71
<b>Figura N° 4.7:</b> Curva de factor de potencia promedio durante un mes .....	72
<b>Figura N° 4.8:</b> Línea Principal de alimentación .....	75
<b>Figura N° 4.9:</b> Cuadro de dialogo de la función de colocación optima de condensadores. Pestaña “Basic Options” .....	76
<b>Figura N° 4.10:</b> Cuadro de dialogo de la función de colocación optima de condensadores. Pestaña “Available Capacitors” .....	77
<b>Figura N° 4.11:</b> Cuadro de dialogo de la función de colocación optima de condensadores. Pestaña “Advanced Options” .....	78
<b>Figura N° 4.12:</b> Informe de resultados del algoritmo de colocación optima de almacenamiento.....	79
<b>Figura N° 4.13:</b> Diagrama del Alimentador O-162 Sin Bancos de Capacitores .....	81
<b>Figura N° 4.14:</b> Perfil de tensión de Alimentadores SET Yarada.....	82
<b>Figura N° 4.15:</b> Perfil de tensión Alimentador O-162 .....	85
<b>Figura N° 4.16:</b> Alimentador O-162 con Banco de Condensadores Instalados .....	88
<b>Figura N° 4.17:</b> Perfil de tensión alimentadores SET Yarada con bancos capacitores .	89
<b>Figura N° 4.18:</b> Perfil de tensión Alimentador O-162 con Banco de Capacitores.....	90

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla N° 2.1:</b> Sistema Eléctrico de ELECTROSUR S.A.....	24
<b>Tabla N° 2.2:</b> Diferencias entre un Condensador Síncrono y Capacitor Estático .....	31
<b>Tabla N° 2.3:</b> Resumen de los beneficios de la aplicación de capacitores en Shunt.....	34
<b>Tabla N° 2.4:</b> Ventajas y desventajas de los diferentes métodos de compensación.....	46
<b>Tabla N° 2.5:</b> Capacidades estándar según IEEE 18 - 2002.....	47
<b>Tabla N° 2.6:</b> Resumen de costos de promedios de banco de capacitadores .....	56
<b>Tabla N° 2.7:</b> Especificaciones de condensadores estándar .....	57
<b>Tabla N° 4.1:</b> Tipos de conductor en alimentador O-162.....	65
<b>Tabla N° 4.2:</b> Características del Alimentador .....	66
<b>Tabla N° 4.3:</b> Subestaciones instaladas en el Alimentador O-162 .....	66
<b>Tabla N° 4.4:</b> Cifras de demanda de las potencias aparente activa, reactiva y factor de potencia durante un día .....	67
<b>Tabla N° 4.5:</b> Datos de demanda de las potencias activa, reactiva, aparente y factor de potencia durante el mes valores máximos durante el día.....	70
<b>Tabla N° 4.6:</b> Pérdidas totales del sistema.....	73
<b>Tabla N° 4.7:</b> Reporte de Alimentadores SET YARADA .....	83
<b>Tabla N° 4.8:</b> Reporte de potencia activa y reactiva Línea de Transmisión 66 kV Yarada .....	84
<b>Tabla N° 4.9:</b> Reporte de potencia activa, reactiva y factor de potencia.....	86
<b>Tabla N° 4.10:</b> Flujo de Potencia con 1 banco de Potencia 150 kVAR .....	91
<b>Tabla N° 4.11:</b> Flujo de Potencia con dos bancos de Potencia 300 kVAR .....	91
<b>Tabla N° 4.12:</b> Flujo de Potencia con tres bancos de Potencia 450 kVAR.....	91
<b>Tabla N° 4.13:</b> Flujo de Potencia con cuatro bancos de Potencia 550 kVAR.....	91
<b>Tabla N° 4.14:</b> Flujo de potencia con cinco bancos de Potencia 900 kVAR .....	92
<b>Tabla N° 4.15:</b> Comparación de pérdidas alimentador O-162 .....	92
<b>Tabla N° 4.16:</b> Presupuesto de implementación de bancos de capacitores .....	94
<b>Tabla N° 4.17:</b> Ahorro de potencia activa .....	95

## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

<b>COES-SINAC</b>	Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado
<b>MINEN</b>	Ministerio de Energía y Minas.
<b>MINAM</b>	Ministerio de Medio Ambiente
<b>OSINERGMIN</b>	Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería
<b>TESUR 3</b>	Transmisora Eléctrica del Sur 3
<b>ELSU S.A.</b>	Electrosur S.A.
<b>ISA REP S.A.</b>	Red de Energía del Perú
<b>EGESUR S.A.</b>	Empresa de Generación Eléctrica del Sur S.A.
<b>CNE</b>	Código Nacional de Electricidad
<b>NTP</b>	Norma Técnica Peruana
<b>DGE</b>	Dirección General de Electricidad
<b>NTCSE</b>	Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos
<b>NTCOTR</b>	Norma Técnica para la Coordinación de la Operación en Tiempo Real de los Sistemas Interconectados
<b>IEC</b>	International Electrotechnical Commission
<b>IEEE</b>	Institute of Electrical and Electronics Engineers
<b>CIGRE</b>	Consejo Internacional de Grandes Sistemas Eléctricos
<b>ANSI</b>	American National Standards Institute
<b>UNE-EN</b>	Norma Española – Norma Europea

El proyecto de tesis muestra la ubicación óptima de banco de capacitores en el Alimentador O-162 La Yarada. Utilizando la técnica de optimización de bancos de capacitores, que fue simulado por el software DIGSILENT Power Factory, el programa permitió la ubicación óptima de condensadores.

El Alimentador O-162 La Yarada, en la actualidad genera mala calidad de producto en dicha terna se está efectuando mejoras continuas a la red existente, pero que no se tiene una solución definitiva al problema de la calidad del producto; por lo que se ha propuesto la instalación de banco de capacitores para solucionar el problema de mala calidad de producto y la demanda que existe en dicha zona; por ser zona exclusiva de agricultura (naranjas, olivos, cebolla, entre otros).

Según la data obtenida del centro de control el Alimentador O-162 registra un promedio mensual de factor de potencia de 0.93, lo cual incumple con lo establecido según Norma Técnica de Calidad de Servicio Eléctrico (NTCSE) que cuyo valor mínimo es de 0.96.

La energía en punto de medición de su demanda máxima es 4114.68 kW y 1753.36 kVAR en el alimentador O-162. Entonces como pérdida de energía se tiene 154.57 kW y 188.88 kVAR, lo cual refleja que se tiene pérdidas de energía en la red. Con respecto al perfil de tensión se tiene un nivel de tensión de 10 kV en la barra y en puntos críticos de la red se llega hasta 9.92 kV. Según norma NTCSE establece que la caída de tensión en zonas rurales en media tensión  $\pm 6\%$  y en zonas urbanas  $\pm 5\%$ .

Obtenido los resultados de la localización óptima de banco de capacitores mediante el Análisis de Optimización, el alimentador O-162 de la S.E.T. YARADA, donde se incorporan banco de condensadores de capacidades de 150 kVAR Y 300 kVAR respectivamente, mejoro las condiciones operativas del sistema eléctrico a través de la

muestra a continuación: se mejora la caída de tensión de 0.96 P.U. a 0.99 P.U. y las pérdidas de potencia se reducen en 61.62 kVAR.

**Palabras claves:** DIgSILENT Power Factory, Reducción de Pérdidas, Demanda Máxima, Banco de Capacitores, Calidad de Energía.

The thesis project shows the optimal location of the capacitor bank in the O-162 La Yarada Feeder. Using the capacitor bank optimization technique, which was simulated by the DIGSILENT Power Factory software, the program allowed the optimal location of capacitors.

The Feeder O-162 La Yarada, currently generates poor product quality in this field is making continuous improvements to the existing network, but there is no definitive solution to the problem of product quality; Therefore, the installation of a capacitor bank has been proposed to solve the problem of poor product quality and the demand that exists in that area; for being exclusive area of agriculture (oranges, olive trees, onion, among others).

According to the data obtained from the control center, the Feeder O-162 registers a monthly average of power factor of 0.93, which does not comply with what is established according to the Technical Standard of Quality of Electrical Service (NTCSE) whose minimum value is 0.96.

The energy at the point of measurement of its maximum demand is 4114.68 kW and 1753.36 kVAR in the O-162 power supply. Then, as a loss of energy there is 154.57 kW and 188.88 kVAR, which reflects that there is a loss of energy in the network. With respect to the voltage profile, there is a voltage level of 10kV at the bar and at critical points of the network it reaches 9.92 kV. According to the NTCSE standard, it establishes that the voltage drop in rural areas at medium voltage  $\pm 6\%$  and in urban areas  $\pm 5\%$ .

Obtained the results of the optimal location of capacitor bank through the Optimization Analysis, the feeder O-162 of the S.E.T. YARADA, where 150 kVAR and 300 kVAR capacitor bank are incorporated respectively, improved the operating conditions of the electrical system through the reduction of reactive power losses and

P.U. is improved and the power losses are reduced by 61.62 kVAR.

**Key words:** DIgSILENT Power Factory, Loss Reduction, Maximum Demand, Capacitor Bank and Energy Quality.



## 1.INTRODUCCIÓN

### 1.1. Descripción de la investigación

Los condensadores se han usado comúnmente para proporcionar compensación de potencia reactiva en sistemas de distribución. Se proporcionan para minimizar las pérdidas de energía y, mantener las mejores regulaciones de voltaje para los buses de carga y mejorar la seguridad del sistema.

La red de distribución está formada por líneas (o cables) y transformadores, su modelo es una impedancia (resistencia y reactancia inductiva en serie).

Las cargas son múltiples y variadas, pero podemos pensar que en esencia son cargas resistivas (iluminación incandescente) o resistivas e inductivas (motores), su conjunto visto desde la red se puede representar con un modelo simple de una resistencia que consume la potencia activa, y una reactancia que corresponde a la potencia reactiva.

En ciertos casos en la red encontramos capacitores, su función es ayudar a un mejor comportamiento de la red (o de la carga), pero en principio se puede concebir la red y las cargas sin capacitores, estos parecen necesarios y convenientes para reducir pérdidas, mejorar valores de tensión, filtrar armónicos y otros efectos que examinaremos.

El Alimentador O-162 de la Yarada – Tacna suministra energía eléctrica a gran parte del sistema de regadío de cultivos utilizando motores produciendo cargas inductivas las cuales deben compensar.

La compensación reactiva en sistemas de distribución, utilizando bancos de capacitores es una opción factible en sistemas de potencia, el problema es la ubicación óptima.

en la red de distribución 10 kV para mejorar la eficiencia energética del Alimentador O – 162 – La Yarada.

El trabajo de investigación se ha estructurado en los siguientes capítulos:

En el Capítulo I, se presenta el planteamiento del problema, antecedentes y objetivos de la investigación; en la que se especifica por qué y los orígenes del problema.

En el Capítulo II, se detalla el marco teórico, de la investigación se conceptúan definiciones relacionadas al tema.

En el Capítulo III, se sistematiza el diseño metodológico adoptado para la recolección y tratamiento de datos, explicando el tipo de investigación.

En el Capítulo IV, se muestra los resultado y discusión de la investigación a través del análisis e interpretación de los datos.

## **1.2. Antecedentes de la investigación**

En el trabajo de investigación (MACHUCA FARFAN 2018) “PROPUESTA DE DISMINUCIÓN DE PÉRDIDAS TÉCNICAS DE ENERGIA ELÉCTRICA Y MEJORAMIENTO DE TENSIÓN DE SERVICIO EN REDES DE DISTRIBUCIÓN EN MEDIA TENSIÓN DE SERVICIO 10KV, (SECHO –C216)” El presente trabajo propone una alternativa de disminución y/o control de pérdidas técnicas de energía eléctrica y análisis de flujo de potencia en redes de distribución en media tensión. La cual analicé el flujo de potencia y resultó la menor cantidad de pérdidas de energía, regularicé según normativa peruana el perfil de tensión un problema de planificación para su configuración y evaluación de los equipos (caída de tensión) y capacidad de distribución de potencia en la red. Que constituye eléctricos. Para la solución de dicho problema se utilizaron criterios técnicos que permitan analizar las combinaciones posibles de la configuración de la red, teniendo en cuenta las restricciones impuestas y de esta manera poder arribar a la solución

energía en forma significativa para el sistema estudiado.

En el trabajo de investigación (LOPEZ QUISPE Y NUÑEZ PAZMIÑO 2017) “DETERMINACIÓN DE LAS PÉRDIDAS TÉCNICAS, A NIVEL DE PRIMARIO EN EL ALIMENTADOR GUARANDA – CHIMBO DE LA SUBESTACIÓN GUARANDA PERTENECIENTE A LA CNEL – BOLIVAR, PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL SERVICIO” Siendo la energía eléctrica el principal insumo que mueve al mundo industrial, y actualmente casi indispensable para los comercios y residencias, pues sin ella las empresas se detuvieron y las economías enteras entrarían en crisis, ante ello las empresas distribuidoras de energía eléctrica extiendan su área de cobertura del servicio por medios de redes eléctricas que a cada momento sufren cambios en su extensión, lo que implica que las características del servicio en los puntos de entrega y consumo no sean los adecuados, principalmente la destinada planificación del crecimiento de las troncales primarias con un mal balanceo de las cargas permite que el bajo nivel de voltaje y altas magnitudes de corriente por el neutro incida directamente en los índices de pérdidas, esto provoca que se incumplan las políticas de calidad de energía que emite en ente regulador que para el caso del Ecuador es la ARCONEL; las distribuidoras día a día se esmeran por tener el menor porcentaje de pérdidas técnicas y no técnicas posibles a través de la implementación de lineamientos de carácter analíticos – correctivos. Por lo antes mencionado, es necesario realizar un estudio para mejorar la calidad de energía a través del estudio de flujos de potencia, el análisis comparativo basado en la regulación 004/01 emitida por la ARCONEL, reglamentos de CNEL EP Matriz y medidas de diferentes parámetros eléctricos en el alimentador Guaranda – Chimbo de la subestación Guaranda de la CNEL EP – Bolívar, ya que la red de distribución mencionada, por sus años de servicio y las condiciones de operación, presenta varios problemas que afectan al normal servicio eléctrico.

DETERMINAR LAS PÉRDIDAS DE ENERGIA DEL ALIMENTADOR 124 PERTENECIENTE AL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA AZOGUES” El presente proyecto muestra un análisis de pérdidas de energía de las líneas de media tensión y baja tensión del alimentador 124 de la sub estación Azogues, perteneciente a la Empresa Eléctrica Azogues C.A considerando que su línea de media tensión en 22.9 kV en el proyecto realizado se hizo un análisis de caídas de tensión en toda su red que se encuentra distribuida en su mayoría en el caso urbano de la ciudad en el cual se tuvo que actualizar su información, la misma que fue recopilada y analizada, considerando que la Empresa tiene parte de información de toda su red y no está conformada en una base de datos integral, para determinar las pérdidas se realizó un análisis de flujo de potencia ayudados por un software que fue el mismo para el análisis de las pérdidas en baja y de esta manera se logró obtener resultados para un futuro análisis de las causas de pérdidas que influyen en estas líneas de media tensión.

### **1.3. Problema de investigación**

La creciente demanda de energía eléctrica exige que los sistemas de distribución sean más eficientes, esto implica una planificación acertada e inversión económica, con el fin de entregar un suministro eléctrico de calidad, cumpliendo con los parámetros exigidos por los agentes reguladores de nuestro país como lo es OSINERGMIN. De acuerdo a la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos (NTCSE), las empresas distribuidoras deben regirse a los niveles de calidad de prestación de servicio eléctrico y procedimientos de evaluación, por ende, la empresa Eléctrica Electrosur S.A no está ajena a dichos reglamentos.

La carga reactiva inductiva y la distorsión armónica originan incremento de pérdidas en las redes y limitan la capacidad de transporte de energía útil disminuyendo, por tanto, la eficiencia del sistema eléctrico. Reducir esas pérdidas de forma óptima,

capacitiva mediante la localización óptima de bancos de capacitores, que además permiten la liberación de la red, y mejora el perfil de tensiones.

La instalación de bancos de capacitores en sistemas de distribución, permite reducir las pérdidas eléctricas en potencia activa y mejora el perfil de tensión a través de la inyección de potencia reactiva, de aquí surge la necesidad de identificar el lugar adecuado de instalación y la capacidad de estos, que optimicen la operación del sistema.

La importancia de esta investigación radica en la localización de bancos de capacitores mediante flujo de potencia utilizando como herramienta principal el software DIGSILENT, el cual sistematiza el proceso de la localización de bancos de capacitores, siendo este de fácil aprendizaje y uso.

#### **1.4. Formulación del problema**

##### **1.4.1. Problema general**

¿Cómo optimizar la ubicación de bancos de capacitores en una red de distribución de 10kV, para mejorar la eficiencia energética del Alimentador O-162 La Yarada?

##### **1.4.2. Problemas específicos**

- ¿Cómo mejorar la calidad de producto en el Alimentador O-162 La Yarada?
- ¿Cuál es la influencia que tiene ubicar óptimamente bancos capacitivos en el Alimentador O-162 La Yarada?

#### **1.5. Objetivos de investigación**

##### **1.5.1. Objetivo general**

Determinar la ubicación de bancos de capacitores en la red de distribución 10 kV para mejorar la eficiencia energética del Alimentador O-162 – La Yarada.

- Mejorar el factor de potencia y minimizar las pérdidas en el Alimentador O-162 La Yarada.
- Implementar bancos de capacitores soluciona problemas de penalidades por bajo factor de potencia.

## **1.6. Hipótesis**

### **1.6.1. Hipótesis general**

La ubicación de bancos de capacitores en la red de distribución 10 kV permitirá mejorar la eficiencia energética en el Alimentador O-162 – La Yarada.

### **1.6.2. Hipótesis específico**

- Mediante el análisis de optimización de ubicación de banco de capacitores se verificará la caída de tensión y pérdidas de energía en el Alimentador O-162.
- La implementación de bancos capacitivos permitirá mejorar el factor de potencia.

## 2. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Marco teórico

Esta tesis pretende proporcionar a la empresa Electrosur S.A una visión para conocer el estado del sistema de distribución y la reducción de pérdidas de energía que permitan atacar, de manera sistemática, el problema de las pérdidas de energía eléctrica, cuyos efectos aquejan, en menor o mayor grado dependiendo del trato y la preocupación a este tema tan delicado dentro de muchas empresas eléctricas tanto del país como en muchas de los países de Latinoamérica.

La Infraestructura eléctrica de Electrosur S.A. cuenta con un total de 16 subestaciones de potencia con transformadores de 138/10 kV, 66/10 kV, 33/22.9 kV y 33/10 kV, con una potencia instalada total de 148.7 MVA. El sistema de distribución primaria está constituido por un total de 2 908 subestaciones de distribución, de las cuales 1 799 pertenecen a Electrosur S.A. y 1 109 son de uso exclusivo.

El Sistema Eléctrico de la empresa Electrosur S.A comprende en distribución las que se aprecian en la Tabla N° 2.1:

Zona	Sistema eléctrico	SED propio	SED exclusivo	Total
Tacna	Tacna	739	344	1088
	Yarada	135	237	372
	Tarata	109	50	159
	Tomasiri	132	120	252
Moquegua	Moquegua	273	130	403
	Pou	39	98	137
	Ichuña	2	5	7
	Moq-Rural	64	10	74
Ilo	Ilo	306	115	421
Total		<b>1799</b>	<b>1109</b>	<b>2908</b>

*Fuente: (Parra, 2005)*

## 2.2. Definiciones conceptuales

La presente investigación se compone de una variable dependiente: eficiencia energética y la variable independiente: sistema de distribución:

### 2.2.1. Sistema de distribución

(MORON, 2009), define al sistema de distribución de energía eléctrica como un conjunto de elementos encargados de conducir la energía desde una subestación de potencia hasta las cargas. Por lo general estos sistemas operan a un factor de potencia en atraso debido a las cargas y aparatos de suministro (redes y transformadores) que son inductivos por naturaleza.

Por lo tanto, los sistemas de energía requieren flujo de kVAR adicional. Se reduce así la capacidad del sistema, se incrementa las pérdidas y origina disminución de los perfiles de tensión.

### 2.2.2. Eficiencia energética

La eficiencia de la energía es un tema al que no se le da mucha importancia por la poca difusión y también quizá sea, porque el gobierno aún no impone normas a cerca del buen uso de la energía.

La eficiencia es la capacidad para desarrollar un trabajo, con la menor cantidad de energía posible, sin perder la calidad de trabajo final.



de la intensidad energética y habituando al usuario a consumir lo necesario y no más. las emisiones de CO<sub>2</sub> que enviamos a la atmósfera son cada vez mayores, por ese motivo, la eficiencia energética se ha convertido en una forma de cuidar al planeta ya que, no solo está en usar electrodomésticos que consuman menos, sino en que seamos nosotros quienes consumamos menos y de forma más “verde (Energía, 2017)”.

### 2.2.3. Definiciones de variables operacionales

**VI:** Sistema de Distribución: implica los siguientes parámetros

Conjunto de elementos encargados de conducir la energía desde una subestación de potencia hasta las cargas.

- Capacitores que inyectan potencia reactiva capacitiva (kVAR-c) a las barras y/o nodos del sistema eléctrico
- Carga Reactiva inductiva (kVAR-i) en cada barra del sistema eléctrico que se debe compensar
- Nivel de tensión (kV) en cada barra del sistema eléctrico
- Costo (Compra, instalación operación/depreciación) de capacitores en US\$/kVAR-c

**VD:** Eficiencia Energética: implica los siguientes parámetros

Operación del sistema eléctrico que optimiza el consumo de energía activa a costo mínimo del sistema.

- Incremento del factor de potencia del sistema eléctrico en barras principales del sistema (en %).
- Reducción de pérdidas de potencia y energía. Se mide en (kW) para potencia activa y (kVAR) para potencia reactiva, se analizará cada ramal y para todo el sistema eléctrico.

(%V).

- Beneficio/Costo de la inversión de los bancos de capacitores para el soporte de potencia reactiva (US\$/kVAR).

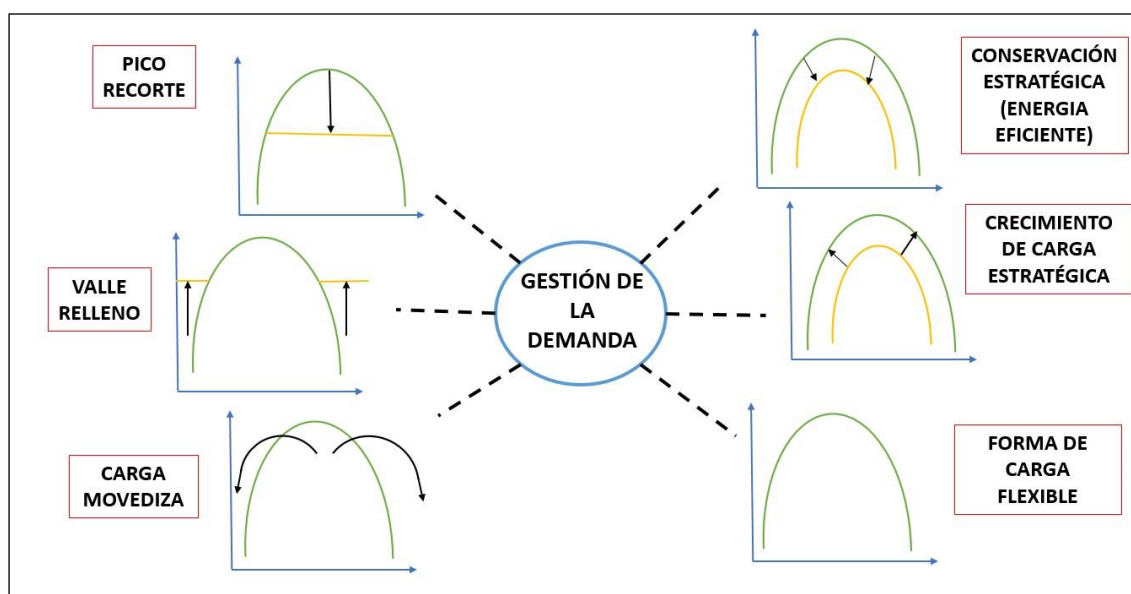
### **2.3. Bases teóricas**

#### **2.3.1. Eficiencia energética**

Es la práctica donde la energía se utiliza de manera más eficiente. La eficiencia energética se puede lograr mediante la implementación de tecnologías eficientes, o la reconfiguración de procesos para ser más eficientes. En esencia, menos energía se usa para conseguir los mismos resultados de producción. (HAWKEN, 1999) argumentan que, en lugar de perseguir un aumento constante del suministro de energía, hay que plantearse como suministrar el uso final de la energía con el menor costo posible, sin afectar los procesos de producción.

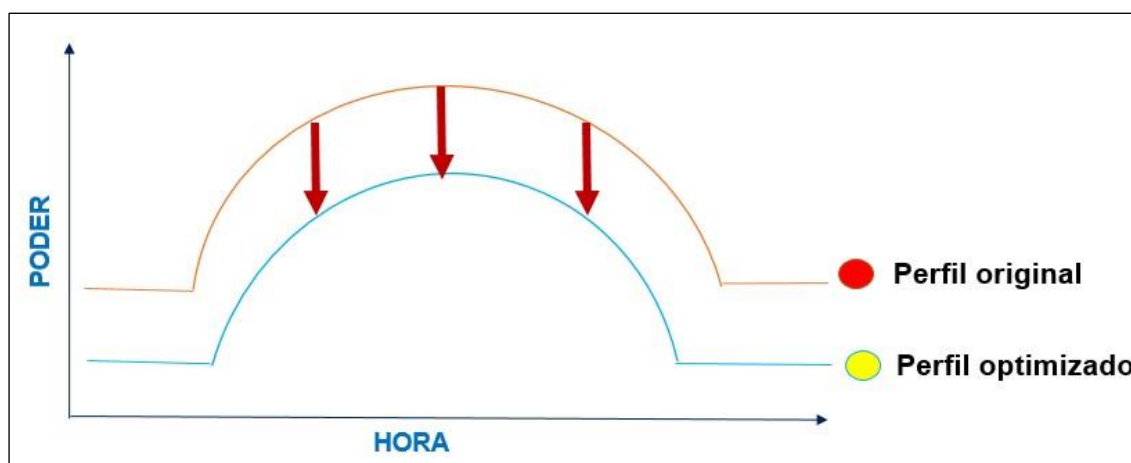
Warren (2015), en su tesis doctoral, manifiesta que una de las estrategias de eficiencia mediante políticas DSM (Demand-Side Management) es la administración del “Load Shape”: (Dar forma a la demanda). La fig. N° 2.1 muestra los seis tipos de “Load Shape” de Chamberlin (1993). La Estrategia de Conservación (Strategic Conservation), o Eficiencia Energética llamada así por otros autores como Niererk (2014), implica que, mediante aplicación de tecnologías eficientes y prácticas de uso final más eficientes, disminuir de forma sostenible la demanda de energía. Ver fig. N° 2.2.

como lo define Gellins y Chamberlin (1993)



Fuente: Warren (2015)

Figura N° 2.2: Eficacia Energética por perfil de demanda



Fuente: Neirek (2014)

### 2.3.2. Eficiencia energética en redes de distribución

Para Ikbal, Mini, & Pawan (2011), la eficiencia energética, en escenario de recursos energéticos limitados, se considera como una fuente de energía en un sistema de distribución. La mejora de la eficiencia energética de los sistemas de distribución mediante la reconfiguración de la red es limitada, ya que se asocia solo con la mejora del perfil de tensiones, mientras que el flujo de potencia activa y reactiva permanece en la

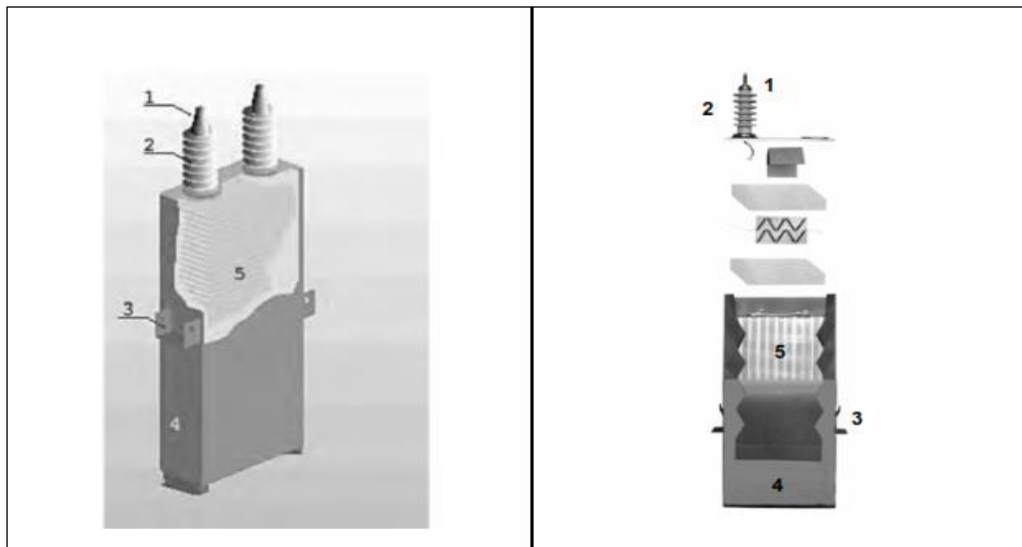
mejora de la eficiencia del sistema, ya que reduce pérdidas de potencia, libera las capacidades kVA de los aparatos de distribución (redes y transformadores), mejora del factor de potencia, el perfil de tensiones del sistema y la capacidad de carga al límite máximo.

#### **2.4. Capacitores**

Natarajan (2005) en su libro “Power System Capacitors”, hace una extensa descripción de capacitores: fundamentos, conceptos, y estándares que aplican a capacitores en sistemas de potencia, especificaciones, Pruebas, ubicación, beneficios, aplicaciones, protección, mantenimiento, swintching, y análisis económico.

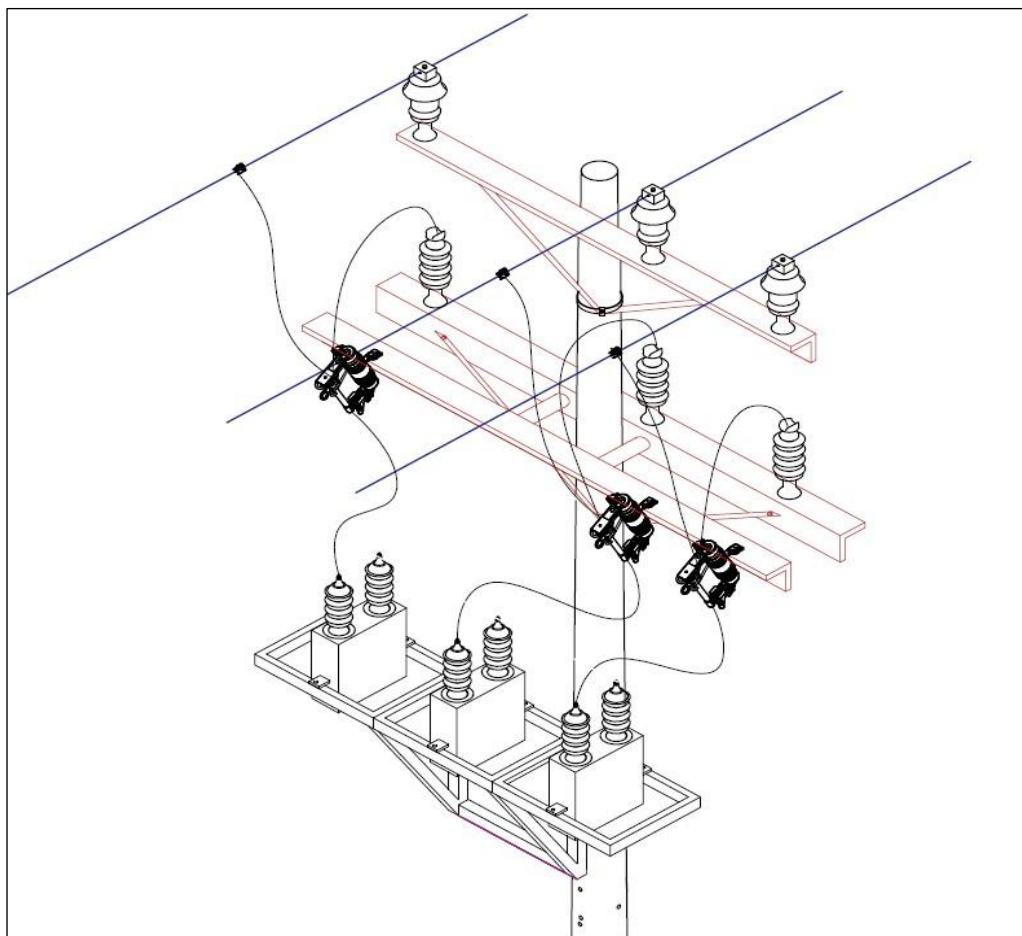
A simple vista un capacitor da la impresión de ser un dispositivo simple y poco sofisticado, únicamente formando por dos placas metálicas separadas por un material aislante dieléctrico, sin partes movibles y que actúa solo bajo la acción de un esfuerzo eléctrico. Sin embargo, un capacitor es un equipo altamente técnico, formado por materiales delgados sometidos a altos esfuerzos eléctricos. La fig. N° 2.3 muestra un corte de una celda de capacitor. La fig. N° 2.4 muestra la utilización de capacitores montados en postes y la fig. N° 2.5 y fig. N° 2.6 muestran la estructura de un banco de capacitores fabricados especialmente en interior mina, con encerramiento tipo NEMA 4.

terminales para conexión, 2. Terminal de Porcelana; Elemento de Fijacion;4. Cubierta de acero inoxidable;5.Parte Activa



*Fuente: Power Sytem Capacitors, Natarajan (2005)*

**Figura N° 2.4:** Banco de capacitores montaje en poste de redes aéreas de distribución



*Elaborado por el equipo de trabajo*

*instalación en interior mina. Diseñado bajo normas NEMA con encerramiento NEMA 4, como se puede apreciar, el diseño toma consideraciones de seguridad a fin de evitar accidentes por electrocución*



*Elaborado por el equipo de trabajo*

**Figura N° 2.6:** Interior de un cubículo de banco de capacitores de 0.48kv con regulación automática diseñado para interior mina. El diseño es con encerramiento NEMA 4. Nótese los contactores especiales que conmutan y controlan cada capacitor



*Elaborado por el equipo de trabajo*

La tecnología en la construcción de bancos de capacitores ha tenido un notable avance en los últimos 50 años, estos avances se reflejan en una mayor capacidad, menores costos por kVAR y una mayor eficiencia.

diferencias entre un capacitor en derivación Shunt (compensador estático) y un capacitor síncrono (máquina síncrona), y se muestran en la tabla N° 2.2.

**Tabla N° 2.2:** Diferencias entre un Condensador Síncrono y Capacitor Estático

Condensador Síncrono	Capacitor Estático
Maquina rotatoria	Equipamiento estático
Control fino de Q con uso de excitación	En pasos
Mayor efecto estabilizador	Ni tanto
Para breves periodos, la maquina puede suministrar excesos de kVAR	Sobrecargar no es recomendable
Pérdidas en máquinas síncronas son mucho más altas que en los capacitores	Bajas pérdidas
Una sola instalación	Los capacitores pueden ser instalados en varias localizaciones en el sistema de distribución
Razon de kVAR es fijo	kVAR puede ser adicionado/decrementado
Falla; unit up or down	Puede fallar es posible
Performance de sobrevoltaje es buena	Sobrevoltaje; moderado o limitado
Armónicos: ninguno	Puede producir armónicos o resonancia con la inductancia del sistema
Respuesta es bastante rápida	Respuesta es condicionada por el sistema

*Fuente: Natarajan, (2005)*

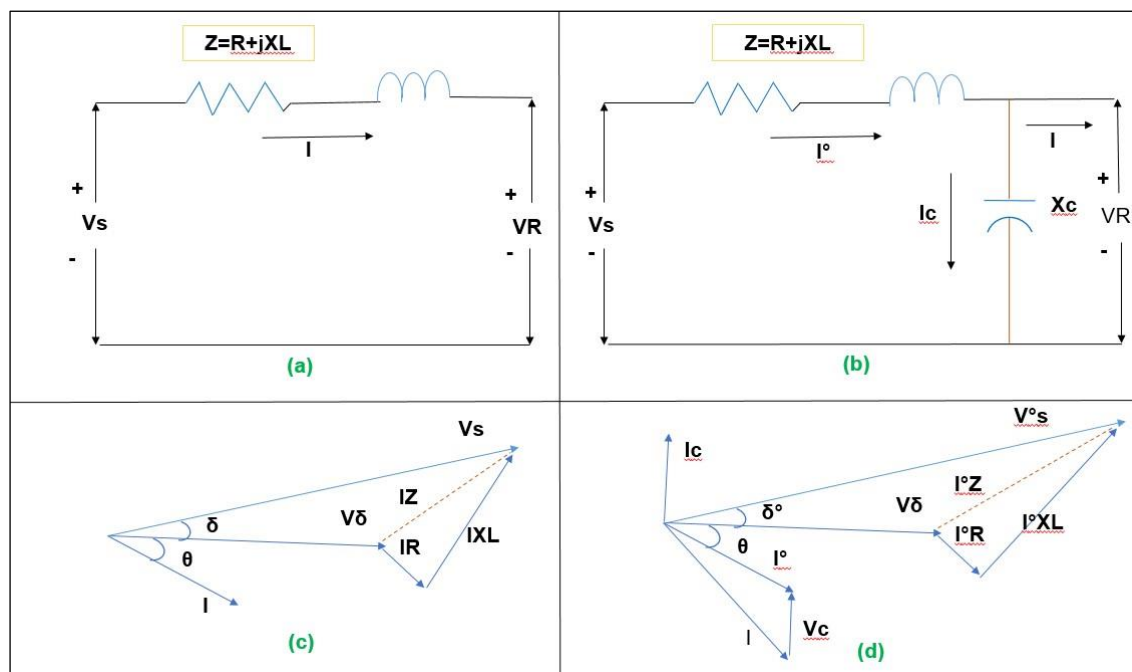
### 2.5. Capacitores en derivación shunt

Los capacitores en derivación shunt (en adelante capacitor en shunt), son usados extensivamente en sistemas de distribución. Un capacitor en shunt suministra la corriente de tipo necesaria para contrarrestar la corriente en desfase debido a la carga inductiva, posee el mismo efecto que un generador o motor síncrono sobre excitado.

La fig. N° 2.7b muestra la aplicación de un capacitor en shunt en un alimentador de distribución, donde, la magnitud de la corriente se reduce, el factor de potencia mejora y consecuentemente la caída de voltaje entre los terminales de recepción y envío se reduce. Ver Albuja J. (2011) y, Biasuz (2010)

La fig. N° N°2.7c y fig. N° 2.7d muestra los diagramas fasoriales que indican el efecto de un capacitor en shunt antes y después de su instalación.

(d) con capacitor en shunt



Fuente: Albuja J. (2011) y Biasuz (2010)

Donde:

- I : Corriente de carga sin BC
- $I^*$  : Corriente de carga con BC
- $I_c$  : Corriente capacitiva
- $V_s$  : Tensión de fuente sin BC
- $V_s^*$  : Tensión de fuente con BC
- $V_r$  : Tensión en la carga
- Z : Resistencia total del ramal
- R : Resistencia total del ramal ( $\Omega$ )
- $X_L$  : Reactancia total del ramal ( $\Omega$ )
- $\Theta$  : Desfasaje angular ( $I/V_r$ ) sin BC
- $\theta^*$  : Desfasaje angular ( $I/V_r$ ) con BC
- $\delta$  : Destaje angular ( $V_r/V_s$ ) sin BC
- $\delta^*$  : Destaje angular ( $V_r/V_s$ ) con B



La mayoría de los sistemas eléctricos operan a un factor de potencia en atraso debido a las cargas inductivas y aparatos de suministro (líneas y transformadores). Los sistemas de energía son inductivos por naturaleza, y requieren flujo de potencia reactiva adicional de la red eléctrica. Pero excesivas demandas de potencia reactiva resultan en una reducción de la capacidad del sistema, aumento de las pérdidas y reducción de la tensión, así como mayores costos de operación.

Bancos de capacitores en shunt son capaces de compensar los requisitos VAR, pero el tamaño del banco, ubicación, el método de control de los capacitores, y de costos consideraciones son cuestiones importantes que necesitan ser optimizados durante la fase de diseño y fase de operación.

Una solución ideal sería una herramienta de localización de capacitores capaces de sopesar todos estos factores y que considera los niveles de carga. Esta solución también debe ser capaz de colocar capacitores para soporte de voltaje y corrección de factor de potencia, mientras se minimiza el coste total de la instalación y el funcionamiento. Como se describe en el estándar IEEE Std 1036-1992, Guía para la Aplicación de Capacitores de Potencia en Derivación, los propósitos de la aplicación de capacitores en shunt se resumen en la Tabla N° 2.3.

Propósito	Beneficios
Soporte VAR	Se obtiene beneficio principal en los sistemas de transmisión y un beneficio secundario para el sistema de distribución
Control de tensión	Se obtiene un beneficio principal para la transmisión y sistemas de distribución.
Incremento de la capacidad del sistema	Da por resultado un beneficio secundario para sistemas de transmisión y un beneficio principal de los sistemas de distribución.
Reducción de pérdidas de energía del sistema	Da por resultado un beneficio secundario para sistemas de transmisión y un beneficio principal de los sistemas de distribución.
Reducción de cargos de facturación	No se aplica a los sistemas de transmisión, pero produce un beneficio principal de los sistemas de distribución.

*Fuente: Tabla N° 1 del estándar IEE. Std 1036 – 1992*

Hofman, Schlabbach, & Just (2012), en su libro, “Reactive Power Compensation, A Practical Guide”, hacen extensa referencia a los beneficios de los capacitores en la generación, distribución de energía e industria. Consideran su contribución a la reducción de emisión de CO<sub>2</sub>.

Larsson (2000), en su tesis doctoral “Coordinated Voltage Control in Electric Power Systems” hace referencia a los capacitores en shunt, como elementos terciarios de control de tensión.

Kundur (2000), en su libro “Power System Stability and Control”, considera que los capacitores en shunt, hasta cierto punto pueden ser usados efectivamente para extender los límites de estabilidad de voltaje, puede también ser usado como “reserva rodante de reactivos” en generadores; en consecuencia, ayuda a prevenir el colapso de voltaje en muchas situaciones; sin embargo, desde el punto de vista de estabilidad de voltaje y control, tienen limitaciones.

### 2.5.2. Control de tensión

Al aplicar capacitores en un sistema el resultado es un aumento del voltaje en el sistema desde el punto de instalación de la generación y también a lo largo de su recorrido.

En el diagrama fasorial de la fig. 2.7b y fig. 2.7d se indica el efecto de la

y fig. 2.7c viene dada por:

$$CV = I_R R + I_X X_L \quad (\text{V}) \quad (2.1)$$

Donde:

$I_R$  : Compensación activa de la corriente, (A)

$I_X$  : Compensación reactiva de la corriente, retrasada al voltaje en  $90^\circ$ . (A)

Con el capacitor instalando al final de la línea como en la fig. 7b y fig.7d el resultado de la caída de voltaje se la calcula como:

$$CV = I_R + I_X I_L - I_C I_L \quad (\text{V}) \quad (2.2)$$

Donde:

$I_C$  : Componente reactiva de la corriente, adelanta al voltaje en  $90^\circ$ .

La diferencia entre las caídas de voltaje calculadas con las ecuaciones (2.1) y (2.2) es el incremento del voltaje debido a la instalación de un capacitor y se expresa así:

$$I_V = I_C X_L \quad (\text{V}) \quad (2.3)$$

La instalación de bancos de capacitores en sistemas de distribución se realiza en los alimentadores o directamente en los puntos de entrega al consumidor, dando como resultado soporte de voltaje a lo largo de todo el recorrido del alimentador, generalmente se conecta en periodos de demanda máxima y se desconectan fuera de estos periodos.

### 2.5.3. Incremento de la capacidad del sistema

El incrementar la capacidad del sistema es el más importante beneficio que justifica la adición de capacitores en sistemas de distribución. Es particularmente significativo cuando las cargas alimentadas del sistema están creciendo rápidamente. Ikbal, Mini, & Pawan (2011) La adición de bancos de capacitores en shunt reduce la demanda (kVA) del sistema, esta capacidad liberada puede ser utilizada para alimentar futuros incrementos de la demanda. La capacidad liberada en alimentadores primarios se

generación.

#### **2.5.4. Reducción de pérdidas del sistema**

La adición de capacitores reduce las pérdidas en los alimentadores de distribución. La potencia reactiva capacitiva suministrada por el capacitor reduce su contraparte inductiva que es característica de la demanda, reduciendo así la magnitud de la corriente de línea, ya que las pérdidas resistivas son función del cuadrado de la corriente  $I^2R$ , la instalación de capacitores reduce las pérdidas del sistema.

Los beneficios de la instalación de un banco se reflejan aguas arriba del punto de instalación, razón por la cual intuitivamente se instala lo más cercano posible a la carga.

#### **2.6. Instalación de capacitores**

Los bancos de capacitores se instalan en todos los niveles de voltaje.

En sistemas de distribución se instalan capacitores en shunt para conseguir la capacidad en KVAR requeridas. En sistemas de potencia se instalan en serie para conseguir el nivel de voltaje requerido y estabilidad. Anderson & Farmer (2009), Kundur (2000).

Según referencias a la recolección de datos de la industria eléctrica indica que el 60 % de capacitores son aplicados en alimentadores, 30 % en las barras de subestaciones y el restante 10 % en sistemas de transmisión.

La aplicación de capacitores para redes de distribución es común a nivel industrial, donde, el ahorro económico justifica la inversión.

Los capacitores instalados en los alimentadores primarios pueden estar montados en postes 'pole-mounted', instalados en compartimentos cerrados 'pad-mounted' o en

conectadas en configuración Y, Y con puesta a tierra o en delta.

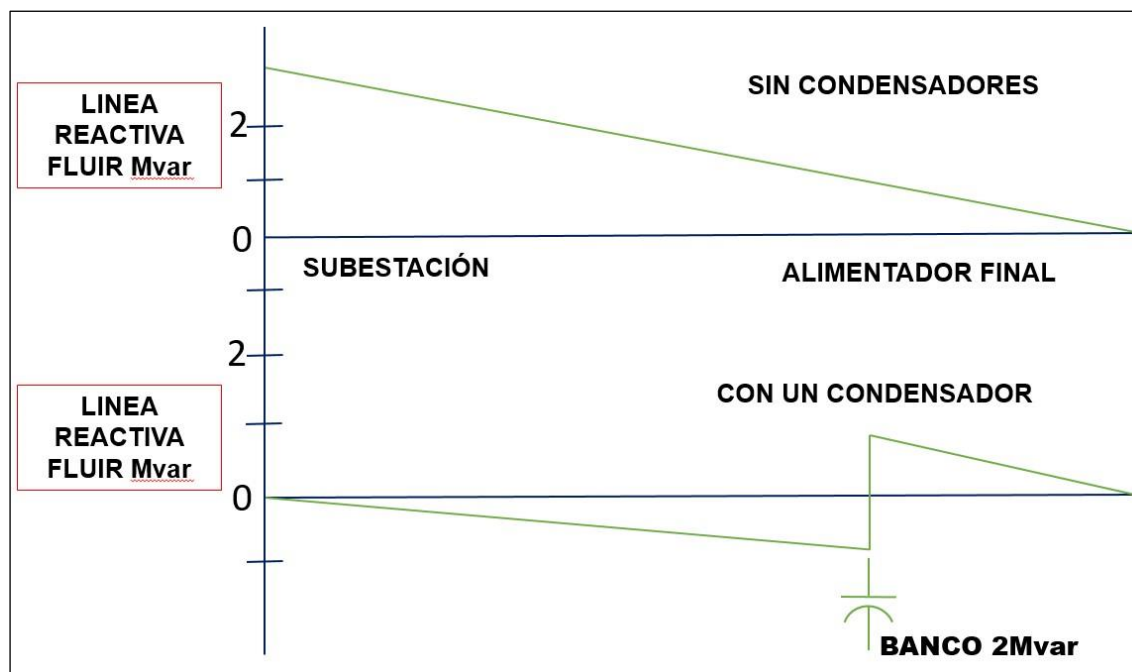
Se puede instalar en los alimentadores dos tipos de bancos de capacitores:

- Capacitores fijos: Para condiciones de mínima variación de demanda.
- Capacitores conectables: Para condición de cargas con demanda variable

### **2.6.1. Compensación simple con capacitores fijos**

En la fig. N° 2.8 se puede observar los efectos de un capacitor en el flujo de potencia reactiva y por consiguiente el perfil de voltaje de un alimentador que presenta una carga uniformemente distribuida tanto para demanda máxima como demanda mínima. Si solamente se instala capacitores fijos se puede observar que puede producirse un aumento considerable del factor de potencia capacitivo, así como también del pico de voltaje, por esta razón se instala capacitores fijos para condiciones de mínima demanda.

uniformemente distribuida, localización usando la regla de los 2/3



*Fuente: Gavasheli (2007)*

## 2.6.2. Control de capacitores conectables

Las últimas tecnologías aplicadas en la industria de los controladores de bancos de capacitores permiten obtener las siguientes formas de control de capacitores conectables:

### 2.6.2.1. Control de tiempo

Es un esquema de control muy sencillo, se conecta y desconecta dependiendo de una hora específica del día, tanto la conexión y desconexión son programables mediante temporizadores horarios digitales, se puede programar horas de baja/alta demanda. Es un control económico, pero puede ser susceptible a operaciones erróneas debido a periodos inesperados de demanda mínima, este tipo de control es poco flexible en el número de operaciones por día.

Otro control sencillo, que opera entre un rango de temperaturas de los conductores. Normalmente conecta el banco entre 30 y 32 °C y lo desconecta si la temperatura se encuentra entre 24 y 27 °C, dependiendo de un análisis de temperatura de los conductores.

#### **2.6.2.3. Control por voltaje**

El banco de capacitores es conectado y desconectado dependiendo del nivel de voltaje. Se programa su operación dentro de una banda de voltajes y con un retardo de tiempo para así disminuir el número excesivo de operaciones. Este tipo de control es apropiado en alimentadores donde los requerimientos de soporte y regulación de voltaje juegan un rol importante.

#### **2.6.2.4. Control por VARS**

Este tipo de control utiliza un medidor de VARS para determinar su operación. Este es un método eficaz para asegurar la operación apropiada para maximizar la reducción de pérdidas.

#### **2.6.2.5. Control por factor de potencia**

Es un control similar al control por VARS, este tipo de control opera el banco dependiendo del factor de potencia.

#### **2.6.2.6. Control por corriente**

Este control opera basado en la corriente de línea relacionándola con la demanda de VARS.

Los tipos de control que requieren señales de voltaje y de corriente, utilizan sensores solamente en una fase para así disminuir su costo, existen también equipos con

un alto grado de precisión no es requerido para el control de los capacitores.

El desarrollo en control electrónico permite la operación de estos bancos ya sean por señales de radiofrecuencia y utilización de señales vía celular, o SCADA lo que permite un mejor control de los bancos de capacitores.

### **2.6.3. Tipos de compensación reactiva capacitiva**

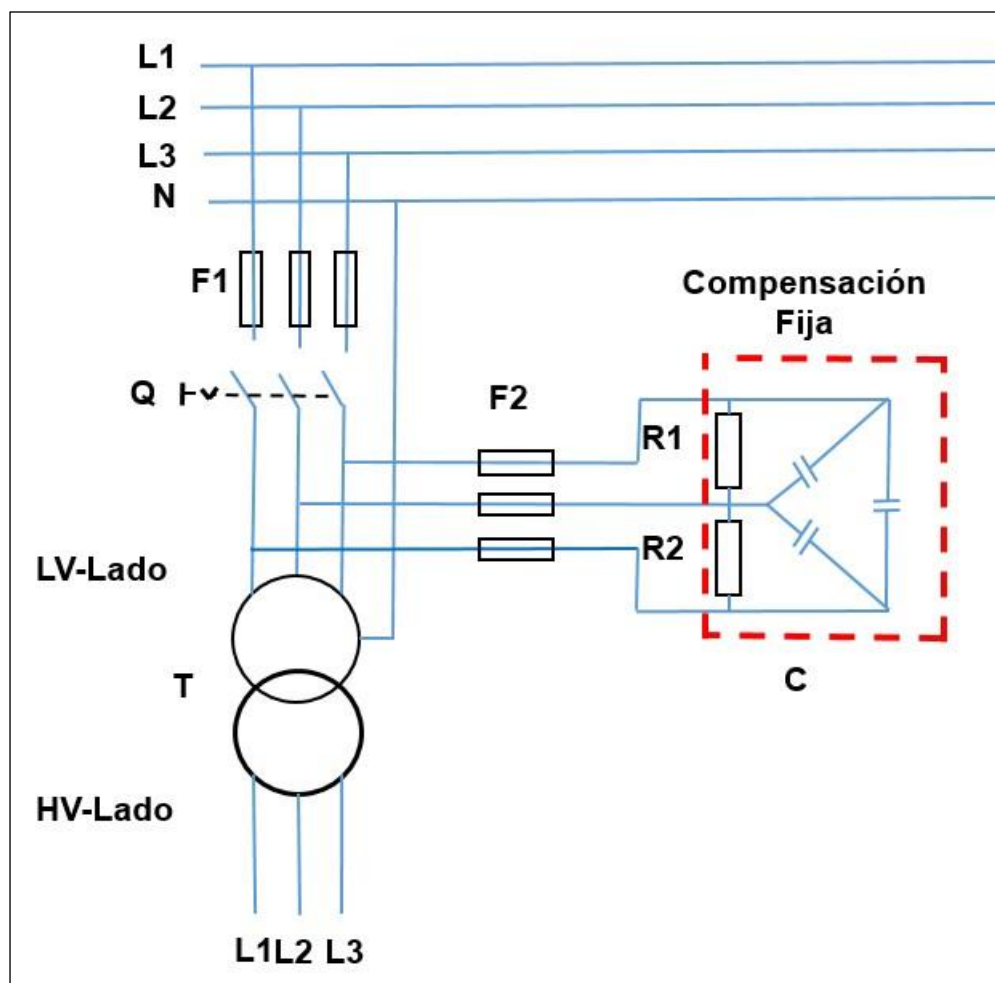
Hofman, Schlabbach, & Just (2012), describen los diferentes tipos de compensación capacitiva.

#### **2.6.3.1. Compensación simple o del tipo individual**

La potencia reactiva oscila entre el capacitor y la carga a través de un cable corto. Un interruptor automático adecuado conecta directamente los dos componentes. La compensación de tipo simple debería ser aplicable si el consumidor inductivo está trabajando más de un 50 – 70 % del tiempo, preferiblemente a una potencia constante o nominal. Las aplicaciones típicas de este método de compensación están en motores asíncronos, transformadores de potencia, lámparas fluorescentes con inductores en serie, etc.



de potencia con circuitos de fusible de carga y las resistencias de descarga en el caso de los fusibles fusionen



Fuente: Hofman, Schlabbach, & Just (2012)

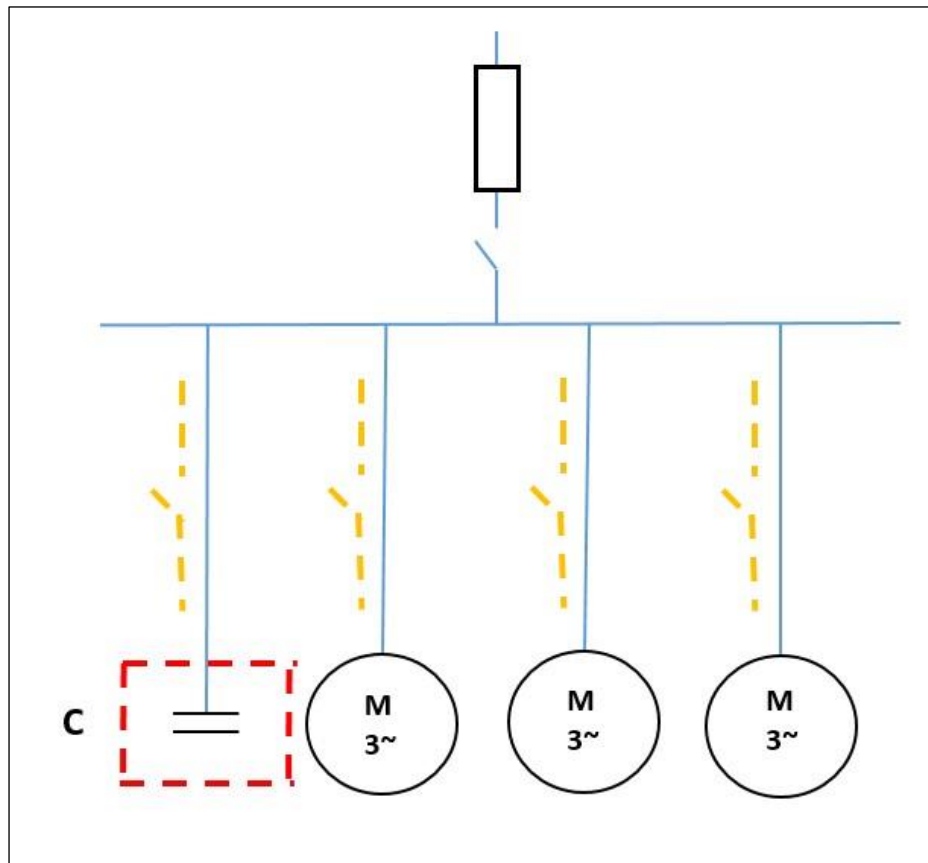
### 2.6.3.2. Compensación agrupada o tipo bulk

Este método de compensación es aplicable para consumidores inductivos que se instala localmente y muy cerca de la carga, para la mayoría de las veces se encuentran en paralelo a la operación. Debido a la demanda total de energía reactiva, un capacitor es suficiente. Se distingue entre dos modos de conmutación o bien si todos los consumidores se están ejecutando en paralelo continuamente, o si los consumidores individuales están funcionando a intervalos.

Suponiendo que en el primer caso que todos los consumidores, incluyendo el capacitor de compensación se conectan por un contactor, no hay entonces necesidad de

fig. N° 2.10) el capacitor tiene su propio contactor. Sin embargo, el capacitor puede ser proporcionalmente menor porque no todos los consumidores se conmutan al mismo tiempo.

*Figura N° 2.10: Representación simplificada de la compensación tipo bulk*



*Fuente: Hofman Schlabbach, & Just (2012)*

Sobre todo, es mejor si la compensación de tipo bulk se encuentra a nivel de la placa de sub-distribución. Como se mencionó anteriormente, no hay que olvidar que la potencia reactiva requerida de los consumidores oscila con la compensación. Esto requiere grandes secciones transversales de cables. La compensación tipo bulk, se utiliza a menudo por razones económicas en industrias, fábricas y minería.

### 2.6.3.3. Compensación tipo centralizada

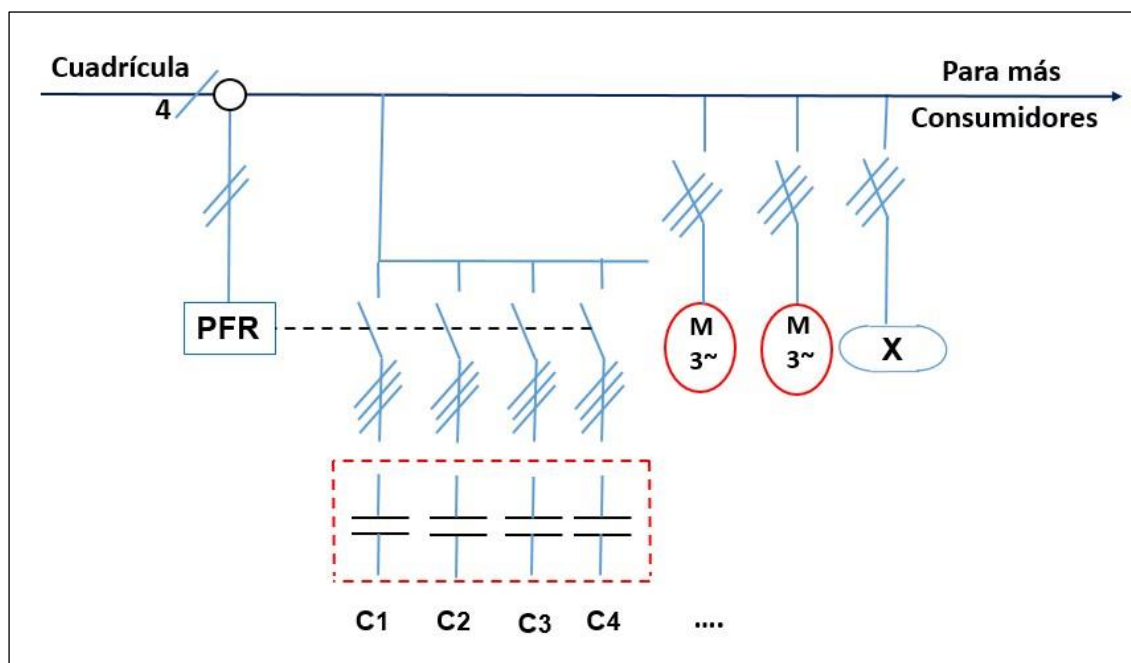
En las plantas grandes con altas fluctuaciones de la carga, se hace uso de la compensación del tipo centralizada controlados automáticamente por un relé de factor de

mantener el factor de potencia requerido. Los bancos automáticos de compensación se suelen instalar en paneles de distribución o cubículos.

Los relés de factor de potencia controlan la demanda de potencia reactiva de manera constante en el punto de inyección y conmutan capacitores de diferentes tamaños o iguales. El relé de factor de potencia también registra capacitores fijos. Sin embargo, no son capaces de desconectarse caso de sobre compensación. Por lo tanto, en la determinación del tipo de compensación simple, el factor de potencia deseado  $\cos \varphi_d$  debe ser inferior a la unidad.

Si se requiere lograr un factor de potencia más alto en el punto de alimentación, el relé del factor de potencia lo hace automáticamente debido al factor de potencia objetivo consignado.

**Figura N° 2.11:** Representación simplificada de la compensación de tipo centralizada  
PFR=Relé de factor de potencia (o Regulador)

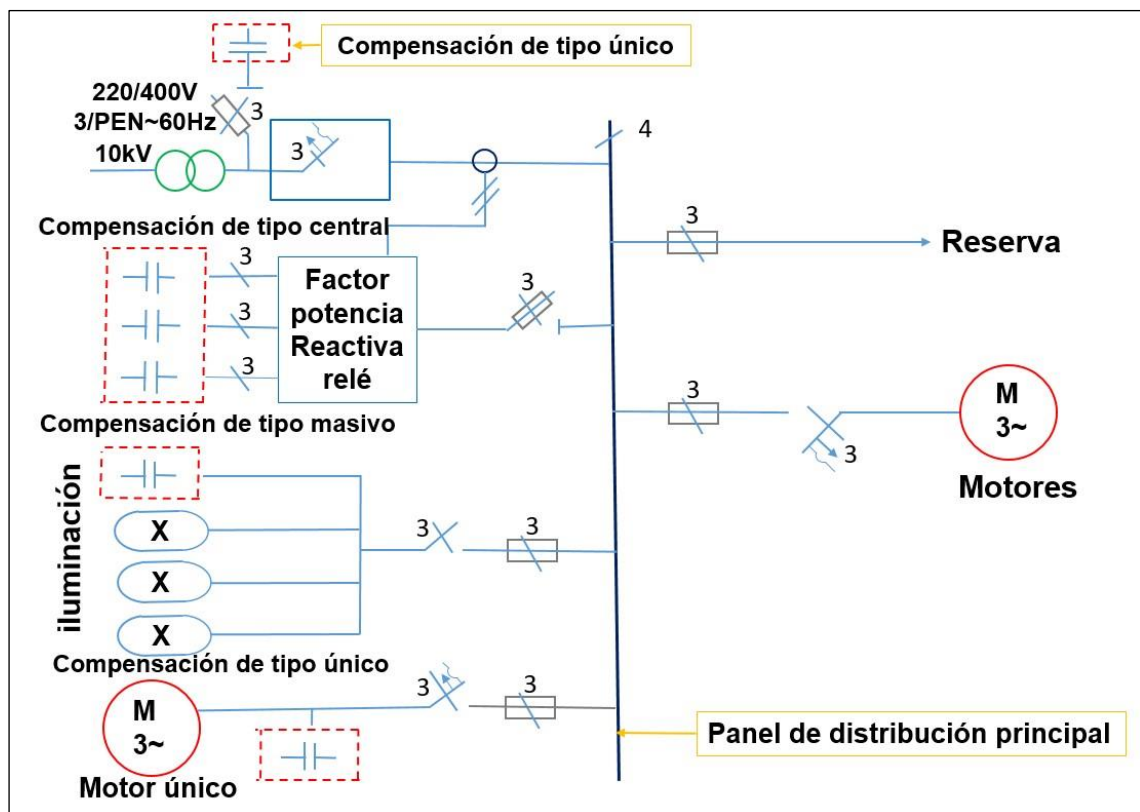


**Fuente:** Hofman, Schlabbach, & Just (2012)

La cuestión de cómo compensar la potencia reactiva mediante los métodos descritos se resuelve individualmente por las disposiciones locales de los consumidores. Como se mencionó anteriormente, por un lado, es más fácil compensar la potencia reactiva a los consumidores inductivos por medio de compensación de tipo simple, pero por otra parte la suma de los capacitores fijos conectados puede aumentar la demanda real.

Esta es la razón por la cual, el tipo de compensación mixta a veces son ricos en significado como se ilustra en la fig. N° 2.12, que muestra una instalación industrial con diferentes consumidores como un motor con una compensación de tipo simple; la iluminación está dotado de compensación tipo bulk, y todos los demás consumidores son compensados por el control automático de la compensación centralizada.

*Figura N° 2.12: Diagrama de circuito esquemático que ilustra los cuatro métodos de compensación*



*Fuente: Hofman, Schlabbach. &, (2012)*

compensación.

Tipo de compensación	Aplicaciones	Ventajas	Desventajas
Compensación del tipo individual	En empleo bajo cargas con un consume constante cada consumidor está conectado a un capacitor determinada por su demanda de potencia reactiva.	Compensación local en el consumidor Reducción de pérdidas de transmisión a lo largo de los cables Cualquier uso de contactor	Los costos de inversión para muchos pequeños capacitores individuales son más de un capacitor de capacidad idéntica No utilización para posteriores tareas de compensación en caso de solo algunas horas de funcionamiento de los consumidores.
Compensación del tipo agrupado (Bulk)	Varios consumidores son compensados por un capacitor controlado por un contactor separado dependiendo del tiempo de los consumidores están en funcionamiento.	Menores costos de inversión para el capacitor (s) Reducción de pérdidas de transmisión a lo largo de los cables y menos caída de voltaje.	Todos los cables entre el capacitor (s) y los consumidores están cargados adicionalmente por potencia reactiva.
Compensación del tipo centralizado	Preparación de las cargas y potencia reactiva (capacitiva) en el punto de alimentación	Utilización optimizada de los capacitores Supervisión más fácil Control automático de potencia reactiva Mejoras en el voltaje estabilidad Extensiones posibles en cualquier tiempo Mejor y más rápida adaptación a la demanda actual de la potencia reactiva.	Todos los cables entre el capacitor (s) y los consumidores están cargados adicionalmente por potencia reactiva.
Compensación del tipo mixto	Compensación del tipo individual, por ejemplo lámparas fluorescentes de tipo agrupado (Bulk) o compensación del tipo centralizada de los consumidores restantes.	Utilización optimizada De los capacitores Supervisión más fácil control automático del poder reactivo Mejoras en el voltaje, estabilidad Extensiones posibles en cualquier tiempo.	Todos los cables entre el capacitor y los consumidores están cargados adicionalmente por potencia reactiva.

*Fuente: Hofman, Schlabbach. &, (2012)*

#### 2.6.4. Capacidades estándar de los capacitores

Las capacidades estándar se encuentran definidas en la Norma IEEE Std 18-2002 (IEEE, 2002) y se muestran en la tabla 2.4, los capacitores no deben ser aplicados si se violan cualquiera de las siguientes limitaciones:

incluyendo armónicas, pero excluyendo transitorios.

- 135 % de los kVA nominales.
- 135 % de la corriente nominal basada en su potencia y voltaje nominales.

Según el estándar IEEE 18-2002 (IEEE, 2002), los capacitores no darán menos que potencia reactiva a voltaje sinusoidal y frecuencia nominal, y no más de 110 % de este valor, medido a 25°C en contenedor uniforme y temperatura interna.

*Tabla N° 2.5: Capacidades estándar según IEEE 18 - 2002*

Voltios,rms (terminal a terminal)	KVAr	Numer o de fases	BIL kV
216	5,7,1/2,13 1/3,20,y 25	1 y 3	30
240	2.5,5,7 ½,10,15,20,25,y50	1 y 3	30
480,600	5.10.15.20.25.35.50.60 y 100	1 y 3	30
2400	50,100,150,200,300,400 y 500	1 y 3	75,95,125,150, y 200
2770	50,100,150,200,300,400,500,600	1 y 3	75,95,125,150, y 200
4160,4800	50,100,150,200,300,400,500,600,700,y 800	1 y 3	75,95,125,150 y 200
6640,7200,7620,8320,9540,9960	50,100,150,200,300,400,500,600,700,800	1	95,125,150, y 200
11400,12470,13280,13800,14400	50,100,150,200,300,400,500,600,700 y 800	1	125,150, y 200
15125	100,150,200,300,400,500,600,700 y 800	1	125,150, y 200
19920	100,150,200,300,400,500,600,700 y 800	1	150 y 200
20800,21600,22800,23800,24940	100,150,200,300,400,500,600,700, y 800	1	150 y 200

*Fuente: IEEE.Std 18MT 2002 IEEE Standar para condensadores de potencia en derivación*

### 2.6.5. Tipos de conexiones de capacitores de montaje aéreo y/o tipo subestación

Los bancos de capacitores trifásicos se pueden conectar en un alimentador primario en configuración delta, estrella puesto a tierra o estrella sin puesta a tierra. El tipo de conexión depende del tipo de sistema al que se conecte y de los requerimientos de protección.

Según Brunello, Bogdan, & Wester (2003), los bancos de capacitores en estrella conectados a tierra se componen de unidades de capacitores conectados en serie y en paralelo por fase y proporcionan un camino de baja impedancia a tierra. La fig. 2.13 muestra las disposiciones típicas de los bancos.

Las ventajas de los bancos de capacitores en shunt conectados a tierra, son las siguientes:

- Su trayectoria de baja impedancia a tierra proporciona la autoprotección inherente a corrientes de descargas atmosféricas y darle cierta protección contra sobretensiones. Los bancos pueden operar sin descargadores de sobretensión aprovechando la capacidad de los capacitores de absorber la sobretensión.
- Ofrecer un camino de baja impedancia para corrientes de alta frecuencia y por lo que se pueden usar como filtros en los sistemas con alto contenido de armónicos. Sin embargo, deberá tenerse precaución para evitar la resonancia entre el banco de capacitores y el sistema.
- Reducidas tensiones transitorias para los interruptores automáticos y otros equipos de conmutación.

Desventajas de los bancos de capacitores en shunt con conexión a tierra:

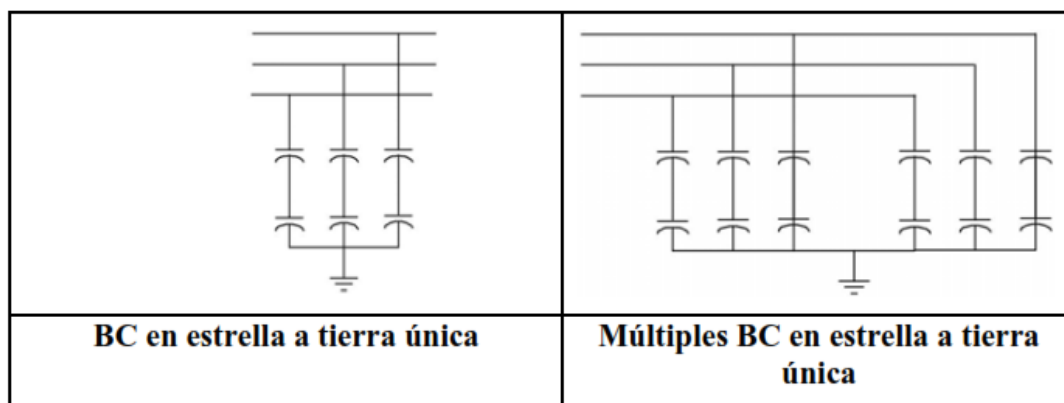
- Aumento de la interferencia en circuitos de telecomunicaciones debido a la circulación armónica.
- Circulación de corrientes inrush y armónicos puede causar operaciones inadvertidas y / o sobre-operación de los relés de protección y fusibles.



aparecen en los transformadores de corriente (CT) secundarios debido al efecto de la alta frecuencia, y corrientes de alta amplitud.

- Reactores de inrush.

**Figura N° 2.13:** Bancos de capacitores en Shunt conectados sólidamente a tierra



*Fuente: Brunello, Bogdan, & Wester (2003)*

**2.6.5.2. Bancos en conexión estrella no conectados a tierra**

Típicos arreglos de BC en estrella sin conexión a tierra se muestran en la fig. 2.14, Brunello, Bogdan, & Wester, (2003). Los bancos en estrella sin conexión a tierra no permiten corrientes de secuencia cero, corrientes del tercer armónico, o grandes corrientes de descarga del capacitor durante fallas a tierra del sistema. (Fallas fase a fase aún pueden ocurrir y darán lugar a grandes corrientes de descarga). Otra ventaja es que las sobretensiones que aparecen en los secundarios de los CT no son tan altos como en el caso de los bancos conectados a tierra. Sin embargo, el neutro debe ser aislado para la tensión total de línea, ya que temporalmente es fase potencial cuando el banco es conmutado o cuando una unidad de capacitor falla en un banco configurado con un solo grupo de unidades. Para los bancos por encima de 15 kV esto puede ser muy costoso.

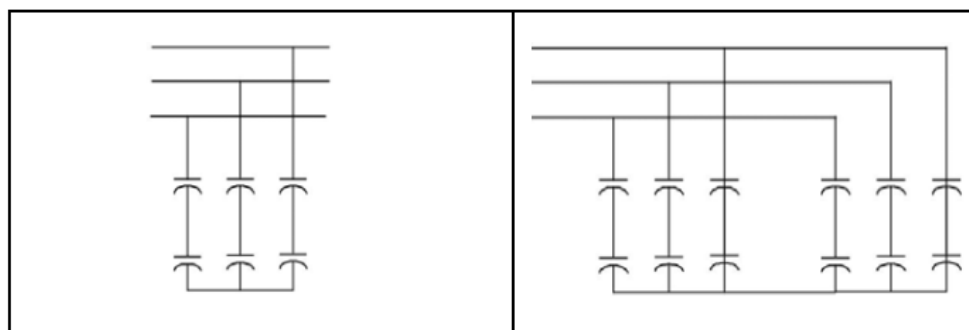
Puede producirse un efecto de resonancia en configuraciones delta y estrella sin puesta a tierra (neutro flotante) cuando ocurre una falla y se abren una o dos fases del lado de la generación, el banco de capacitores se comporta como fuente al tratar de

conectados en el lado de la carga y pueden sufrir severos daños.

Por esta razón la conexión de estrella sin puesta a tierra no se la recomienda para las siguientes condiciones:

1. En alimentadores con demanda reducida donde la mínima carga por fase fuera del capacitor no excede en 150 % la capacidad nominal por fase del banco.
2. Con bancos de capacitores fijos.
3. En alimentadores con interruptores monofásicos
4. En alimentadores con transferencia de carga de emergencia.
5. Instalación en secciones después de un seccionador fusible o reconector monofásico.

*Figura N° 2.14: Bancos de capacitores en Shunt sin conexión a tierra*



*Fuente: Brunello, Bogdan, & Wester (2003)*

## 2.7. Consideraciones para la fabricación de banco de capacitores 22.9kv tipo “pole-mounted”

Nelson (1984), en su reporte IEEE “High-Altitude Considerations for Electrical Power Systems and Components”, hace referencia al diseño y aplicación de capacitores sobre 1800 msnm. La humedad y la densidad relativa del aire (RAD) a condiciones de gran altitud, modifican el diseño de los bushing por el mayor esfuerzo dieléctrico. Nelson (1984), recomienda para capacitores de potencia:

aplicación particular.

2. Coordinar en nivel de aislamiento con apropiado y adecuado descargador de sobretensiones (pararrayos).

Mupparty (2011), en su estudio, considera los efectos de los transitorios de tensión a la conexión/desconexión de los bancos en media tensión, Por lo general se debe instalar en serie con conmutadores bajo carga para evitar arcos eléctricos durante la operación.

## **2.8. Localización óptima de capacitores OCP**

### **2.8.1. Método de cálculo**

ETAP®, Thinking Power (2011), indica que el módulo OCP utiliza algoritmos genéticos para la localización óptima de capacitores. El algoritmo genético es una técnica de optimización basado en la teoría de la selección natural. Un algoritmo genético comienza con una generación de soluciones con una amplia diversidad de representar las características de todo el espacio de búsqueda. Por mutación y cruce, se seleccionan las mejores características y se lleva a la siguiente generación. La solución óptima se puede llegar a través de las generaciones repetidas. El OCP de ETAP utiliza este método, valido para realizar comparaciones alternativas.

Sin embargo, este método sólo posibilita recuperar información de la red, pero, en general, no es posible conocer el cálculo que ejecuta el programa. En otras palabras, el software también es una caja negra que da las salidas necesarias para las entradas especificadas. En consecuencia, la función objetivo se convierte también en una caja negra.

Entonces no es posible calcular el gradiente de la función o el grupo de acción; sin embargo, es posible flexibilizar la entrada de las características de los capacitores con el Análisis Combinatorio.

Entre los principales algoritmos evolutivos se encuentran los algoritmos genéticos introducidos por J. H. Holland en 1962, las estrategias evolutivas desarrolladas por Rechemberg en 1963 y la programación evolutiva por L. Fogel en 1962.

Para Marczyk (2004), un algoritmo genético (o AG para abreviar) es una técnica de programación que imita a la evolución biológica como estrategia para resolver problemas. Dado un problema específico a resolver, la entrada del AG es un conjunto de soluciones potenciales a ese problema, codificadas de alguna manera, y una métrica llamada función de aptitud (fitness) que permite evaluar cuantitativamente a cada candidata. Estas candidatas pueden ser soluciones que ya se sabe que funcionan, con el objetivo de que el AG las mejore, pero se suelen generar aleatoriamente.

Diferentes investigaciones hacen referencia a los algoritmos genéticos, para la localización óptima de capacitores en sistema eléctricos: Swarup (2005), Ellithy, Al-Hinai, & Moosa (2008), Ziari, Ledwich, Ghosh, Cornforth, & Wishart (2010), Neelima & Subramanyam (2012), Davoodi, Davoudi, I., & A. (2012), Leiva G. (2001), Gallego, Escobar, & Rodas (2004), Chopade & Bikdash (2011), Ching-Tzong, Guor-Rurng, & Chin-Cheng (2001), Dnyaneshvar, Watpade, & Sonwane (2016), Sonwane & Kushare (2012), Augugliaro, y otros (2015), Díaz, Harnisch, Sanhueza, & Olivares (2010), Gupta & Brar (2010). Para Ellithy, Al-Hinai, & Moosa (2008), los AG utilizan una representación “cromosómica”, que requiere la solución a ser codificada como una cadena de longitud finita. La estructura básica del AG elemental es la siguiente:

En primer lugar, se genera una población inicial de soluciones construida aleatoriamente. Dentro de esta población se obtienen nuevas soluciones durante el ciclo genético utilizando operadores de cruce (crossover) y mutación. Crossover produce una nueva solución de un par de progenitores (padres) seleccionado aleatoriamente, las

nueva solución.

Mutación da como resultado ligeros cambios en la nueva estructura de la solución y mantiene la diversidad de soluciones. Cada nueva solución se decodifica y se estima sus valores de la función objetivo “Fitness” (aptitud). Estos valores son una medición de la calidad que se utiliza para comparar diferentes soluciones. La comparación es dada por un procedimiento de selección que decide cual solución es mejor: la recientemente obtenida o es la peor solución en la población.

La mejor solución se une a la población y el peor es desechado. Si la población contiene soluciones equivalentes a las siguientes selecciones, se eliminan las redundancias y el tamaño de la población disminuye.

Después de varias repeticiones de la secuencia de selección de cruce (crossover), nuevas soluciones construidos aleatoriamente se generan para volver a llenar la población disminuida, y se inicia un nuevo ciclo genético.

El bucle iterativo se ejecuta hasta que se satisface la condición de terminación. La condición de terminación se cumple cuando ya sea el proceso ha convergido o se ha alcanzado el número máximo especificado de generaciones. El grado de cambio en la calidad de los individuos dentro de la población a través de generaciones sucesivas puede servir como una medida para la convergencia. Antes de que el algoritmo termine finalmente, el mejor individuo de la última generación se devuelve como la solución de la optimización.

- **Evaluación de la aptitud (Fitness)**

La evaluación de la aptitud (Fitness) es proporcionada por la función objetivo. La función Fitness diseñada para la localización óptima de capacitores para redes de

describen en 2.2.5.2. y 2.2.5.4.

- **Parámetros de control**

Los valores de los parámetros de control influyen en la performance de los algoritmos genéticos. Por ejemplo, el número de generaciones requeridas por la optimización depende de los valores de los parámetros de control. Las siguientes cantidades se refieren como los parámetros de control:

- El tamaño de la población  $n_p$
- La longitud cromosoma  $l_c$
- La probabilidad de cruce  $P_c$
- La probabilidad de mutación  $P_m$

Pruebas de funcionamiento de los algoritmos genéticos han indicado que una alta tasa de cruce (Crossover) y una baja tasa de mutación (Mutation) son normalmente requeridas para obtener buenos resultados. Los valores típicos para  $P_c$  se encuentran dentro del rango de [0.6, 0.95] y los valores típicos de  $P_m$  se encuentran dentro del rango de [0.01, 0.1]. Los altos valores de  $P_c$  están cerca de la convergencia superior límite de fuerza, mientras que las altas tasas de mutación promueven la diversidad entre la población.

El tamaño de la población tiene que ser lo suficientemente grande para suministrar estructuras genéticas suficientes para permitir una amplia variedad de material genético a trabajar. El tamaño de la población debe depender de la longitud del cromosoma. Cuanto mayor sea la longitud del cromosoma, mayor es el espacio de soluciones cubierta, y por lo tanto, mayor debería ser el tamaño de la población.

Otras configuraciones apropiadas pueden variar considerablemente para diferentes tipos de problemas para los cuales se utiliza el algoritmo genético. Por lo tanto,

performance del algoritmo genético.

## 2.9. Costo de capacitores

Albuja J. (2011) y Estrada S. (2003), en sus correspondientes tesis realizan el análisis económico detallado para la función objetivo de costos en la instalación de capacitores, los análisis dan mayor alcance para encontrar la anualidad de la inversión. Albuja J. (2011) indica que el costo de instalación de un banco de capacitores de tamaño  $u$  en la ubicación  $i$  donde viene dado en una parte por la inversión e instalación y por otra parte la asociada a la operación y mantenimiento, reposición/depreciación y retiro.

Estrada, Tovar, & Gutiérrez, (2005) infieren que para determinar el costo anual de la inversión se distribuyen todos los desembolsos en una serie uniforme. El valor anualizado representa los gastos totales derivados de instalación, operación, mantenimiento, reposición y retiro al final de su vida útil. Estrada S. (2003), Chopade & Bikdash (2011), y otros autores refieren que la vida útil de un banco de capacitores, se considera hasta 15 años. Generalmente se asume que el valor de retiro es despreciable. Los gastos de operación y mantenimiento anual son aprox. 2% del costo de inversión.

En 2.5.4.se muestra la función objetivo costo mínimo que usa el módulo OCP de ETAP y en la tabla 2.5 se muestra el resumen de costos ingresados para el presente estudio. Para propósito de análisis, comúnmente es útil estimar el costo correspondiente a capacidades de bancos diferentes a las disponibles comercialmente. La tabla 2.6 muestra costos comerciales de capacitores. En general, el costo de un banco depende de su capacidad y nivel de tensión, para hacer de un banco fijo uno conectable se requiere de la instalación de interruptores bajo carga, de un sistema de control y del equipamiento necesario para enviar las señales necesarias para su control, lo cual incrementa el costo de inversión.

Los costos de compra de capacitores en Perú, con las características descritas en la sección 2.2.3.6 y sección 2.2.3.7 se muestran en resumen en la tabla 2.6. Los costos para el estudio que han sido ingresados al toolbox del OCP de ETAP, son costos promedio de compra y se muestran en la tabla 2.5

**Tabla N° 2.6:** Resumen de costos de promedios de banco de capacitadores

Artículo	Nivel de tensión de capacitor (Kv)	Tamaño del capacitor	A Costo de compra por kVAr (US\$/kVAr)	B Costo de instalación (US\$/.)	C Costo de operación (US\$/banco/año)	D Costo de pérdidas de energía activa (US\$/kWh)
1	22.9	600	30.00	5000.00	1350.00	0.066
2	4.16	100	135.00	2000.00	980.00	
3	2.4	100	125.00	2000.00	900.00	
4	0.48	100	55.00	1000.00	500.00	

*Fuente: International capacitor S.A*



Fases	3
Frecuencia	60 Hz
Tensiones	240,480,600 V.a.c.
Tensión de control	Por medio de transformador de control protegido con interruptor termomagnético secundario
Circuito de control	Con tablillas terminales del tipo “conexión sin tornillos” y tablilla cortocircuitable para el transformador de corriente
Capacidad en kVAR	30 a 1200
Secuencia de pasos	1;1;1.....,1;2;2.....,1;2;3.....,1;2;4...;1;2;4;8...o automático.
Gabinete: compacto optivar OPT y modular	Para uso interior (NEMA 1), en lámina en calibres 12 y 14, con acabado en pintura en polvotexturizada en color beige en estructura, puertas y cubiertas.
Montaje de envolvente	Autosoportado al suelo, con provisiones para anclaje y zócalo integrado.
Capacitores	De polipropileno metalizado en zinc, para 80 °C continuos de temperatura, bajo norma NEMA ANSI EIA-456 y aprobación UL.
Descarga de condensadores	Por medio de resistencias individuales.
Protección de condensadores	Por medio de dispositivo de sobrepresión para cada capacitor aprobado por UL.
Indicación de fallo	En forma visual para cada celda.
Regulador de FP	Hecho en Alemania, microprocesador, con medición integrada, puerto de comunicación y software (opcional).
Protección general	Con pararrayos secundario contra picos de tensión e interruptor termomagnético.
Acometida	Por la parte superior o lateral.
Protección de pasos	Con fusibles de alta capacidad interruptiva
Conexión de pasos	Contactores, aprobados por NEMA, para un mínimo de 200000 operaciones eléctricas, 165% veces su corriente nominal en categoría AC-3
Transferencia de corriente	Núcleo partido encapsulado
Altitud máxima	2500 msnm
Normas	NEMA ANSI EIA-456-A, IEC 831-1 y 2, NMX-J-203.
Mantenimiento	100% reparable en campo

*Fuente: International capacitor S.A.*

### **3. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. Materiales**

- La información estadística y teorías relacionadas al presente trabajo de investigación han sido copiadas de Electrosur S.A. y las diferentes entidades del gobierno en materia energética que disponen de la información requerida.
- Base de datos del organismo supervisor de la inversión en energía y minería (OSINERGMIN).
- Base datos Electrosur S.A.
- Documentos de trabajo del COES SINAC

#### **3.2. Método**

##### **3.2.1. Analítico**

El método científico para abordar el análisis es el hipotético deductivo, consiste en un procedimiento que parte de una aseveración en calidad de hipótesis y busca refutar o falsear tales hipótesis, deduciendo de ellos conclusiones que deben confrontarse con los hechos (Bernal, 2006, Pág. 56).

##### **3.2.2. Deductivo**

Se aplicará en la simplificación del modelo sobre parametrizado hasta obtener una especificación robusta y parsimoniosa del proceso generador de datos (PGD), especificada.

#### **3.3. Tipo de investigación**

El presente trabajo de investigación es de enfoque cuantitativo, según el período y secuencia de ocurrencia es longitudinal, y según el análisis y alcance de los resultados

ubicación de banco de capacitores en la red de distribución 10 kV para mejorar la eficiencia energética del alimentador (O -162) la Yarada - Tacna”

### **3.4. Ámbito de estudio**

El ámbito de estudio será desarrollado en sistema Eléctrico de distribución de Electrosur S.A.-TACNA, Alimentador O-162, Yarada

### **3.5. Población y muestra**

La población para el presente estudio serán el sistema eléctrico de Electrosur S.A. y la muestra de análisis será el Alimentador O-162, Yarada -Tacna.

### **3.6. Identificación de variables.**

La presente investigación se compone de una variable dependiente: eficiencia energética y la variable independiente: sistema de distribución:

#### **3.6.1. Variables independientes**

- Método de Optimización

#### **3.6.2. Variables dependientes**

- Localización de banco de capacitores
- Estado operativo del alimentador
- Mejora de condiciones operativas del alimentador

### **3.7. Descripción de la metodología**

Se procederá de la siguiente manera:

- Análisis e interpretación de los datos registrados en mediano plazo por la oficina de centro de control de Electrosur S.A.
- Análisis e interpretación de los datos de pérdidas de potencia activa y caídas de tensión del alimentador.

del método planteado para la localización óptima de bancos capacitores.

El programa de simulación por computador de sistemas eléctricos de potencia DIgSILENT Power Factory permite realizar análisis de flujos de carga, flujo de potencia óptimo, fallos por cortocircuito, estabilidad, despacho económico, entre otros. Trabaja en un ambiente gráfico e interactivo con el usuario y está orientado al personal técnico, de ingeniería y para fines educativos en el análisis de sistemas de potencia.

La herramienta está centrada principalmente en la simulación de sistemas de potencia interconectados, ya que permite trabajar los modelos por áreas y zonas, permitiendo realizar las tareas comunes a los programas para simulación de sistemas de potencia básicos (flujos de carga y fallas por cortocircuito) y además tareas comunes a los programas de simulación intermedios (estabilidad, despacho económico, flujo óptimo, análisis de contingencia). DIgSILENT Power Factory es un paquete de simulación de sistemas de potencia que posee una interfaz gráfica e interactiva con el usuario. Para su ejecución se requiere de cualquiera de las siguientes plataformas operativas: Windows XP, Windows Seven siendo esta última la más recomendada cuando se simulan sistemas de gran tamaño. Las principales características del programa son: Simulación en el tiempo: La solución de los flujos de potencia se realiza continuamente a medida que transcurre un período de tiempo determinado. Lo anterior permite que al realizar cambios en la generación, carga o intercambio en MW de un sistema de potencia, los resultados sean visualizados inmediatamente sobre el diagrama unifilar.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Electrosur S.A., es la empresa concesionaria de distribución de energía eléctrica; con concesiones que abarcan los departamentos de Tacna y Moquegua.

Se describe detalladamente las condiciones actuales de operación del Alimentador O-162 perteneciente a la Subestación Eléctrica de Transformación SET Yarada, ya que a consecuencia de esto se tiene como resultados el comportamiento de los parámetros eléctricos más importantes que nos permite tomar decisiones acertadas para mejorar la operación del sistema eléctrico en conjunto.

### 4.1. Descripción del sistema eléctrico de distribución la Yarada - Tacna

El sistema de distribución eléctrico de la ciudad de Tacna SET Yarada, actualmente posee el nivel de tensión 10 kV; como se puede observar en la figura N° 4.1, este presenta el diagrama unifilar la subestación eléctrica de transformación de la Yarada, está constituida por 5 alimentadores de distribución en un mismo nivel de tensión, las cuales son O-161, O-162, O-163, O-164, O-165. Los mismos que distribuyen energía eléctrica. De los cuales el alimentador O-162 será parte de este estudio por ser el más crítico.

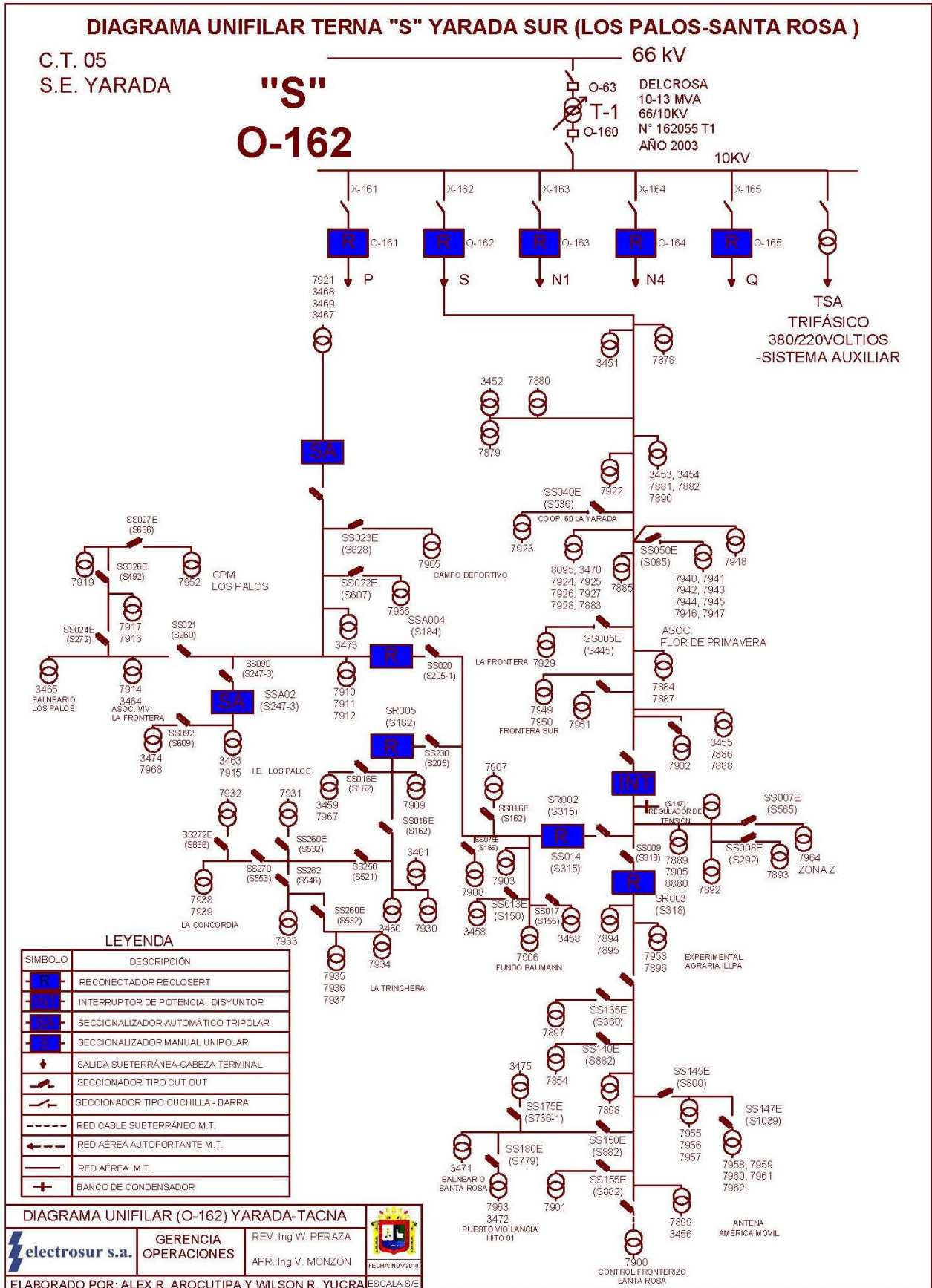
La subestación eléctrica de transformación la Yarada, en el año 2019 suministro potencia reactiva para una demanda máxima de 4.1 MW registrado el 16 de enero a horas 08:30 a.m., el cual presenta una topología radial con uniones.

Figura N° 4.1: Diagrama unifilar de la subestación de transformación YARADA

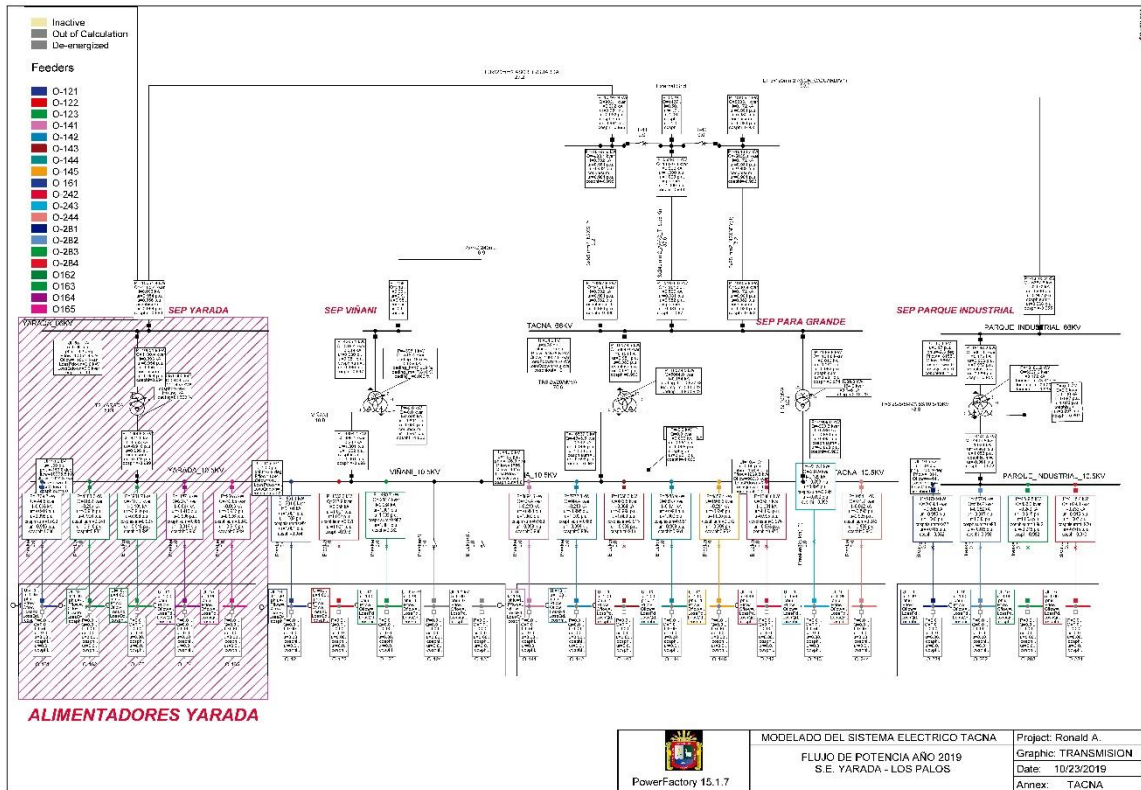
ALIMENTADOR POR ZONA				"S"	
CENTRO DE TRANSFORMACIÓN "S.E. YARADA" (TACNA)					
DIAGRAMA ZONA					
S.E. YARADA	RED PRIMARIA 10KV. TERNA "S"	N° SED	CIENTES	KVA INSTALADO	SECTOR Y/O ZONAS (C.P.M. Los Palos, Complejo Santa Rosa).
T1 DEL CROSA	O-162	2	24	150	C.P. Yarada Sector Coop. 60. Pozos:AS-146
	SS012	2	15	162.5	C.P. Yarada Sector Coop. 60. Parcela 17
		1	1	25	C.P. Yarada Sector Coop. 60. Parcela 38A
	O-161	8	14	450	C.P. Yarada AS-147, AS-56 (P-43), IRHS-64.
	SS040E	1	1	50	C.P. Yarada MIAGROSUR
	O-163	8	10	940	C.P. Yarada PozolRHS-64, Asoc. Agroindustrial 4 Suyos, IRHS 63 Santa Catalina
	SS050E	1	1	75	Asoc. Flor de Primavera, Pachacutec.
	O-164	1	1	75	C.P. Yarada Agroindustrial Peru posible AS-75
	SS005E	1	1	37.5	C.P. Yarada Agroindustrial Frontera del Sur
	O-165	4	4	137.5	C.P. Yarada Agroindustrial Frontera del Sur
	SS080E	1	1	75	C.P. Yarada Rene Huisa
	SS004E	3	19	272.5	C.P. Yarada AS 74, Fundo los Granados.
	SS006	1	1	75	C.P. Yarada Vicente Vargas
	SI002	5	11	370	Asoc. de Vivienda Pecuaria Residentes de llave
	SS007E	1	1	160	Asoc. Zona "Z" Pozo 1.
	SS008E	1	1	25	C.P. Yarada Gregorio Cabrera
	SR003	3	4	250	Asoc. San Valentin, Acopio Rio Seco, Extractora OLIBU SAC.
	SS130E	1	1	75	Estacion Experimental Agraria ILLPA Puno. exportadora cauñani.
	SS140E	1	1	75	Asoc. Jose Olaya.
	SS145E	1	1	37.5	Asoc. Exportadores Sol del Inca.
	SS147E	3	1	150	BALNEARIO SANTA ROSA I ETAPA
	SS150E	5	1	125	Irrigacion el Pedregal.
	SS175E	1	1	100	Arnaldo Osmayo.
	SS180E	2	2	62.5	Puesto Policial Hito 1
	SS155E	1	2	75	Balneario Santa Rosa.
	SS014	2	3	125	Complejo Santa Rosa Pozo de Agua AS-99
	SR002	1	1	800	Antena America Movil, Antiguo Complejo Santa Rosa.
	SS155E	1	1	800	Nuevo Control Fronteriso Santa Rosa.
	SS013E	1	2	125	Pozo AS 57 (P-04).
	SS017E	1	1	50	Renato Casaretto Los Palos.
	SS018E	1	1	25	A.H. Criamen 26 de Octubre Las Lagunas.
	SS075E	1	1	125	AS-58 (P-05)
	SS230	1	1	25	Albaclara
	SS020	1	1	37.5	AS-51 (P-2-P)
	SR004	2	9	75	AS-51 8P-2P).
	SS018	2	4	50	Felix Maquera Chura, Angela Torres Torres.
	SS019	2	21	275	Asoc. 184 Asoc. L a Concordia, Asoc. Agroindustrial Nueva Frontera.
	SS250E	2	1	37.5	Asoc. La Concordia II Etapa.
	SS260E	2	1	100	Asoc. La Concordia II Etapa.
	SS262	2	4	80	Asoc. Agropecuaria la Trinchera..
SS270	2	4	87.5	Asoc. La Concordia II Etapa, Los Cenizales.	
SS272E	2	1	25	Asoc. La Concordia Parcela 29.	
SS275E	2	12	187.5	Felix Alferez, Just Perez.	
SS022E	2	1	10	Transformador para conexión scada.	
SS023E	2	1	37.5	Campo Deportivo Municipal Los Palos	
SS024E	2	1	25	Antena Telefonica Nextel Los Palos.	
SA01	2	1	100	AS-54, (P-1).	
SS072	2	60	50	CPM Pueblo Los Palos.	
SS080	2	30	265	AS-162, Comite de regantes.	
SSA02	2	35	150	AS-52 (P-3), AS-53 (P-4-P), Colegio CPM Los Palos.	
SS021	3	72	200	AS-50, Asoc. La Frontera.	
SS024E	2	2	50	Jorge Sarmiento, Rall Cabrera.	
SS026	1	1	25	Pedro Garcia Flores, Asentamiento N° 1 Los Palos Yarada Baja	
SS027E	1	1	25	Cirilo Coaquira Quispe, Asentamiento N° 1 Los Palos Yarada Baja	
DIAGRAMA ZONA YARADA ALIMENTADOR O-162					
electrosur s.a.					
REV. Ing. V. PERAZA					
GERENCIA OPERACIONES		APR. Ing. V. MONZON			
ELABORADO POR: ALEX R. AROCUTIPA Y WILSON R. YUCRA		TOTAL		112	394
				7527.5	TERNA "S"

TESIS: OPTIMIZAR LA UBICACION DE BANCO DE CAPACITORES EN LA RED DE DISTRIBUCION 10KV PARA MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGETICA DEL ALIMENTADOR (O-162) LA YARADA TACNA.

Fuente: Electrosur S.A.



Fuente: Electrosur S.A.



*Elaborado por el equipo de trabajo*

#### 4.1.1. Tipos de conductores eléctricos utilizados en las redes de distribución de la S.E.T. de Yarada – O162

El Alimentador O-162 tiene variedad de tipos de conductores, según las condiciones requeridas del sistema de distribución. El cual garantiza la transferencia de potencia y correcto funcionamiento del sistema de distribución; se identifican dos tipos de materiales del conductor las cuales son cobre y aluminio, debido a las buenas características de estos materiales.

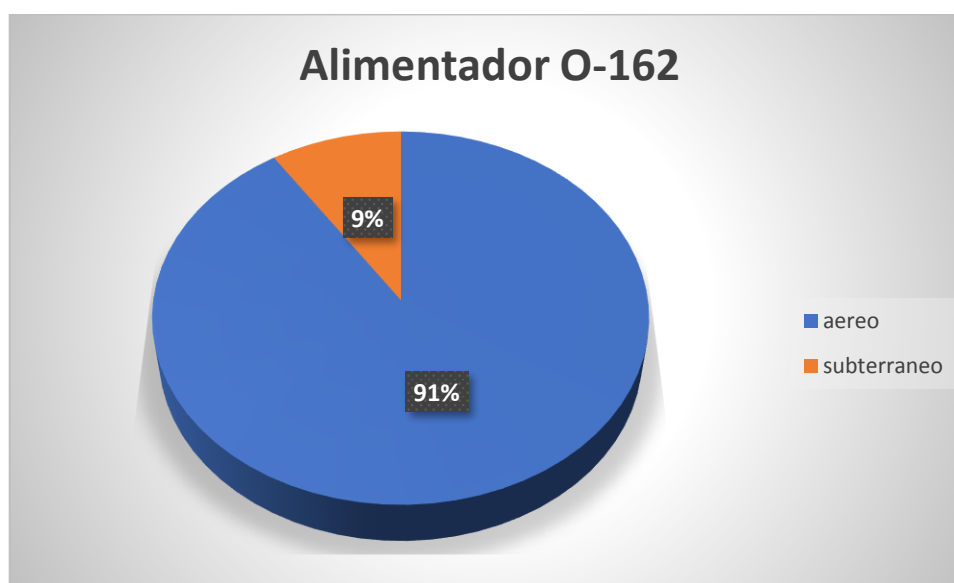


N°	TIPO	MATERIAL	DISTANCIA
1	AAAC	Aluminio	75Km
2	ACSR	Cobre	25Km

*Fuente: Base de datos GIS-2019 Electrosur S.A.*

En la Figura N° 4.4 se puede observar que la mayor parte de este alimentador es de instalación aérea.

**Figura N° 4.4:** Tipo de instalación de conductores alimentador O-162



*Fuente: Base de datos GIS-2019 Electrosur S.A.*

#### 4.1.2. Nivel de tensión del alimentador O – 162

El alimentador O-162 tiene un total de 114 subestaciones de distribución hasta el momento la cual es alimentado por la subestación de transformación de la Yarada salida en 5 barras con una tensión nominal de 10 kV, está por medio de transformadores que transforma en valores de: 440 V, 380 V y 220 V y así finalmente suministrar a los usuarios finales.

ALIMENTADOR	NOMBRE	UBICACIÓN	TERNAS	NIVELES DE TENSIÓN DE ALIMENTADORES
O-162	Yarada	Tacna	Una terna	10/66 kV

*Fuente: Base de datos 2019 ElectroSur S.A.*

#### 4.1.3. Subestaciones eléctricas de distribución según su potencia instalada

En la tabla N° 4.3 se muestra las subestaciones con sus respectivas potencias instaladas.

*Tabla N° 4.3: Subestaciones instaladas en el Alimentador O-162*

N°	POTENCIA	CANTIDAD
1	25KVA	25
2	50KVA	70
3	75KVA	21
4	100KVA	15
5	150KVA	8

*Fuente: ElectroSur S.A*

#### 4.2. Diagnostico operativo del alimentador O-162

Con el objetivo de analizar, se realiza un diagnostico detallado del alimentador O-162, estas condiciones influyen directamente en la operación normal de los sistemas de distribución y a su vez repercuten en los aspectos económico de operatividad.

##### 4.2.1. Demanda del alimentador O-162

De acuerdo a los resultados de reportes proporcionados por la oficina de centro de control de ElectroSur S.A. el Alimentador O-162 presenta una demanda máxima de 4114.68 kW y 1753.36 kVAr en un día típico del mes de febrero del año 2019 como se aprecia en la tabla N° 4.4.

*durante un día*

FECHA	YARADA			
	O – 162			
	kW	kVAR	kVA	FP
1/02/2019 12:15:00 AM	1,478.25	265.14	1,501.84	0.95
1/02/2019 12:30:00 AM	1,525.06	278.95	1,550.36	0.95
1/02/2019 12:45:00 AM	1,612.87	302.07	1,640.92	0.95
1/02/2019 1:00:00 AM	1,813.01	389.20	1,854.31	0.95
1/02/2019 1:15:00 AM	2,006.55	497.09	2,067.21	0.94
1/02/2019 1:30:00 AM	2,159.60	550.93	2,228.76	0.94
1/02/2019 1:45:00 AM	2,216.44	578.46	2,290.69	0.94
1/02/2019 2:00:00 AM	2,235.51	586.44	2,311.15	0.94
1/02/2019 2:15:00 AM	2,350.83	677.35	2,446.47	0.94
1/02/2019 2:30:00 AM	2,444.15	734.98	2,552.27	0.94
1/02/2019 2:45:00 AM	2,477.05	735.82	2,584.03	0.94
1/02/2019 3:00:00 AM	2,552.27	750.99	2,660.46	0.94
1/02/2019 3:15:00 AM	2,615.68	773.29	2,727.59	0.94
1/02/2019 3:30:00 AM	2,629.01	783.59	2,743.30	0.94
1/02/2019 3:45:00 AM	2,638.41	793.23	2,755.07	0.94
1/02/2019 4:00:00 AM	2,674.06	810.37	2,794.15	0.94
1/02/2019 4:15:00 AM	2,722.60	836.36	2,848.17	0.94
1/02/2019 4:30:00 AM	2,833.55	916.85	2,978.19	0.93
1/02/2019 4:45:00 AM	2,876.00	936.98	3,024.79	0.93
1/02/2019 5:00:00 AM	2,962.91	987.96	3,123.29	0.93
1/02/2019 5:15:00 AM	3,035.88	1,071.21	3,219.33	0.93
1/02/2019 5:30:00 AM	3,072.30	1,124.77	3,271.72	0.93
1/02/2019 5:45:00 AM	3,122.76	1,149.44	3,327.58	0.93
1/02/2019 6:00:00 AM	3,236.63	1,223.66	3,460.22	0.93
1/02/2019 6:15:00 AM	3,414.90	1,322.24	3,661.95	0.94
1/02/2019 6:30:00 AM	3,489.24	1,374.04	3,750.04	0.94
1/02/2019 6:45:00 AM	3,514.79	1,393.39	3,780.91	0.93
1/02/2019 7:00:00 AM	3,591.71	1,470.04	3,880.91	0.93
1/02/2019 7:15:00 AM	3,648.57	1,499.13	3,944.55	0.93
1/02/2019 7:30:00 AM	3,701.42	1,538.78	4,008.54	0.93
1/02/2019 7:45:00 AM	3,846.23	1,628.70	4,176.86	0.93
1/02/2019 8:00:00 AM	3,866.17	1,640.51	4,199.83	0.93
1/02/2019 8:15:00 AM	3,929.68	1,683.72	4,275.19	0.93
1/02/2019 8:30:00 AM	4,114.67	1,753.36	4,371.17	0.93
1/02/2019 8:45:00 AM	3,991.72	1,710.46	4,342.75	0.93
1/02/2019 9:00:00 AM	3,965.87	1,686.30	4,309.49	0.93
1/02/2019 9:15:00 AM	3,937.22	1,663.06	4,274.04	0.93
1/02/2019 9:30:00 AM	3,935.40	1,659.08	4,270.82	0.93
1/02/2019 9:45:00 AM	3,950.31	1,668.65	4,288.28	0.93
1/02/2019 10:00:00 AM	3,911.69	1,640.17	4,241.64	0.93
1/02/2019 10:15:00 AM	3,813.38	1,593.26	4,132.84	0.93

1/02/2019 10:45:00 AM	3,731.71	1,534.17	4,034.76	0.93
1/02/2019 11:00:00 AM	3,739.41	1,540.92	4,044.45	0.93
1/02/2019 11:15:00 AM	3,738.90	1,535.80	4,042.04	0.93
1/02/2019 11:30:00 AM	3,773.50	1,537.83	4,074.83	0.93
1/02/2019 11:45:00 AM	3,757.72	1,528.33	4,056.63	0.93
1/02/2019 12:00:00 PM	3,741.85	1,552.04	4,050.96	0.93
1/02/2019 12:15:00 PM	3,600.35	1,498.44	3,899.72	0.93
1/02/2019 12:30:00 PM	3,594.25	1,482.18	3,887.86	0.93
1/02/2019 12:45:00 PM	3,577.83	1,478.12	3,871.14	0.93
1/02/2019 1:00:00 PM	3,560.12	1,466.64	3,850.39	0.93
1/02/2019 1:15:00 PM	3,579.78	1,471.24	3,870.32	0.93
1/02/2019 1:30:00 PM	3,610.50	1,490.69	3,906.13	0.93
1/02/2019 1:45:00 PM	3,622.01	1,499.60	3,920.18	0.93
1/02/2019 2:00:00 PM	3,637.77	1,519.51	3,942.37	0.93
1/02/2019 2:15:00 PM	3,634.48	1,516.16	3,938.04	0.93
1/02/2019 2:30:00 PM	3,655.51	1,527.45	3,961.80	0.93
1/02/2019 2:45:00 PM	3,644.88	1,514.95	3,947.18	0.93
1/02/2019 3:00:00 PM	3,634.43	1,510.78	3,935.93	0.93
1/02/2019 3:15:00 PM	3,639.94	1,516.22	3,943.11	0.93
1/02/2019 3:30:00 PM	3,643.65	1,517.42	3,946.99	0.93
1/02/2019 3:45:00 PM	3,518.23	1,467.22	3,811.91	0.93
1/02/2019 4:00:00 PM	3,497.40	1,455.49	3,788.17	0.93
1/02/2019 4:15:00 PM	3,418.44	1,451.74	3,713.93	0.93
1/02/2019 4:30:00 PM	3,346.80	1,418.13	3,634.85	0.93
1/02/2019 4:45:00 PM	3,218.68	1,318.05	3,478.10	0.93
1/02/2019 5:00:00 PM	3,022.70	1,201.75	3,252.84	0.93
1/02/2019 5:15:00 PM	2,528.87	913.35	2,688.76	0.94
1/02/2019 5:30:00 PM	2,243.31	736.60	2,361.14	0.95
1/02/2019 5:45:00 PM	1,119.27	356.69	1,174.73	0.96
1/02/2019 6:00:00 PM	729.65	212.72	760.03	0.99
1/02/2019 6:15:00 PM	396.78	1.54	396.78	1.00
1/02/2019 6:30:00 PM	417.02	0.00	417.02	1.00
1/02/2019 6:45:00 PM	431.45	0.00	431.45	1.00
1/02/2019 7:00:00 PM	437.08	0.00	437.08	1.00
1/02/2019 7:15:00 PM	443.87	0.00	443.87	1.00
1/02/2019 7:30:00 PM	447.15	0.00	447.15	1.00
1/02/2019 7:45:00 PM	441.06	0.00	441.06	1.00
1/02/2019 8:00:00 PM	427.60	0.00	427.60	0.99
1/02/2019 8:15:00 PM	422.63	0.00	422.63	1.00
1/02/2019 8:30:00 PM	424.26	0.00	424.26	1.00
1/02/2019 8:45:00 PM	418.66	0.00	418.66	1.00
1/02/2019 9:00:00 PM	409.26	0.00	409.26	1.00
1/02/2019 9:15:00 PM	471.26	0.02	471.26	1.00
1/02/2019 9:30:00 PM	488.77	0.00	488.77	1.00
1/02/2019 9:45:00 PM	479.14	0.00	479.14	0.99

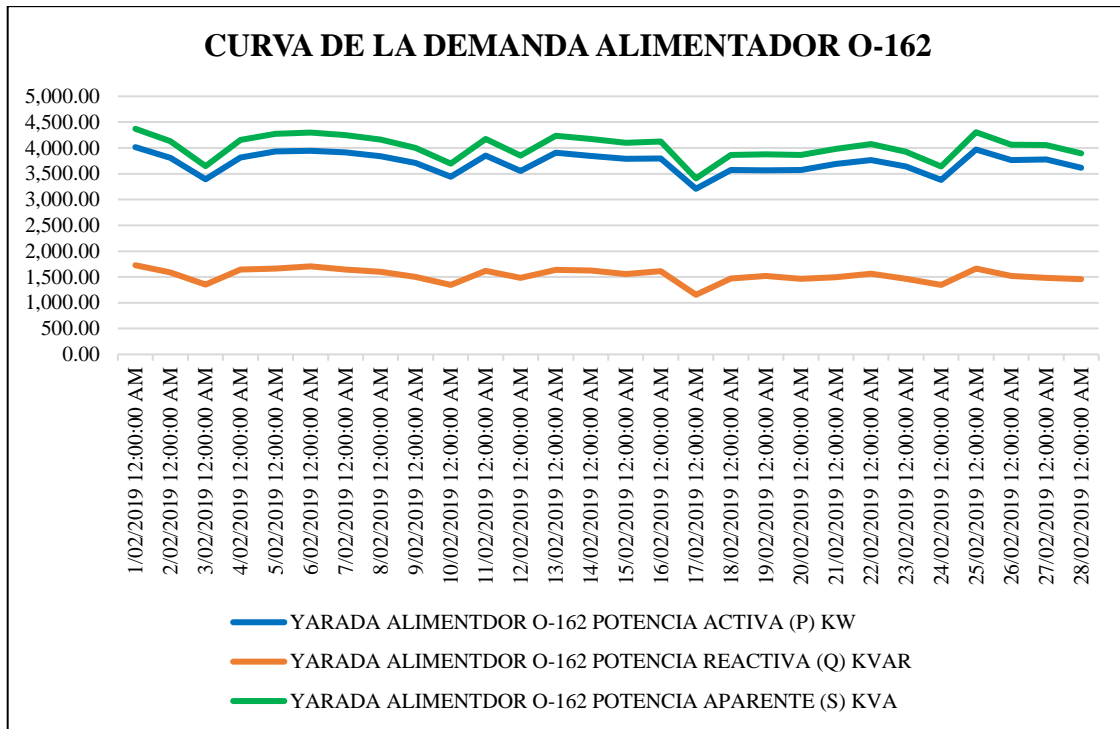
1/02/2019 10:15:00 PM	459.55	0.00	459.55	0.98
1/02/2019 10:30:00 PM	447.53	0.00	447.53	0.99
1/02/2019 10:45:00 PM	438.71	0.00	438.71	0.99
1/02/2019 11:00:00 PM	429.49	0.00	429.49	0.99
1/02/2019 11:15:00 PM	550.69	9.93	550.78	0.99
1/02/2019 11:30:00 PM	933.66	149.60	945.57	0.97
1/02/2019 11:45:00 PM	1,835.42	474.62	1,895.79	0.95

*Fuente: Electrosur S.A*

potencia durante el mes valores máximos durante el día

YARADA ALIMENTADOR O-162				
FECHA Y HORA	POTENCIA ACTIVA (P)	POTENCIA REACTIVA (Q)	POTENCIA APARENTE (S)	FACTOR DE POTENCIA $\cos\Phi$
	KW	KVAR	KVA	FP
1/02/2019 8:30:00 AM	4,114.67	1,753.36	4371.1656	0.9300
2/02/2019 9:00:00 AM	3810.6423	1586.7534	4127.8059	0.9300
3/02/2019 8:45:00 AM	3389.6221	1350.5820	3648.7819	0.9300
4/02/2019 8:45:00 AM	3815.6465	1642.2356	4154.0457	0.9300
5/02/2019 9:00:00 AM	3934.7830	1660.6301	4270.8558	0.9300
6/02/2019 10:15:00 AM	3945.2771	1704.2552	4297.6386	0.9300
7/02/2019 9:00:00 AM	3916.1619	1641.5842	4246.3069	0.9300
8/02/2019 12:30:00 PM	3840.3328	1601.3290	4160.8185	0.9300
9/02/2019 11:45:00 AM	3709.9241	1504.0289	4003.2037	0.9300
10/02/2019 8:15:00 AM	3444.2969	1343.2770	3696.9682	0.9400
11/02/2019 7:30:00 AM	3849.4160	1619.8259	4176.3429	0.9300
12/02/2019 7:45:00 AM	3551.7871	1483.0315	3848.9705	0.9300
13/02/2019 9:00:00 AM	3905.6760	1637.1508	4234.9224	0.9300
14/02/2019 8:30:00 AM	3847.3450	1623.0811	4175.6982	0.9300
15/02/2019 8:45:00 AM	3790.8088	1554.2878	4097.0773	0.9300
16/02/2019 9:45:00 AM	3793.5342	1613.1344	4122.2693	0.9300
17/02/2019 10:00:00 AM	3208.6184	1154.5952	3410.0326	0.9400
18/02/2019 10:30:00 AM	3572.8530	1469.2040	3863.1385	0.9300
19/02/2019 9:00:00 AM	3567.5095	1517.9271	3877.0126	0.9300
20/02/2019 7:30:00 AM	3575.0212	1462.9098	3862.7557	0.9400
21/02/2019 10:00:00 AM	3689.5308	1495.7209	3981.1830	0.9300
22/02/2019 8:30:00 AM	3762.4504	1560.2844	4073.1463	0.9300
23/02/2019 4:15:00 PM	3643.7249	1463.3756	3926.6015	0.9300
24/02/2019 7:30:00 AM	3379.6084	1348.8171	3638.8268	0.9400
25/02/2019 9:00:00 AM	3969.1777	1664.2311	4303.9560	0.9300
26/02/2019 9:15:00 AM	3764.6213	1519.9404	4059.8759	0.9400
27/02/2019 7:15:00 AM	3775.2776	1481.4816	4055.5528	0.9400
28/02/2019 9:15:00 AM	3613.5444	1456.6310	3896.0849	0.9300

Fuente: Base de datos centro de control-2019 Electrosur S.A.

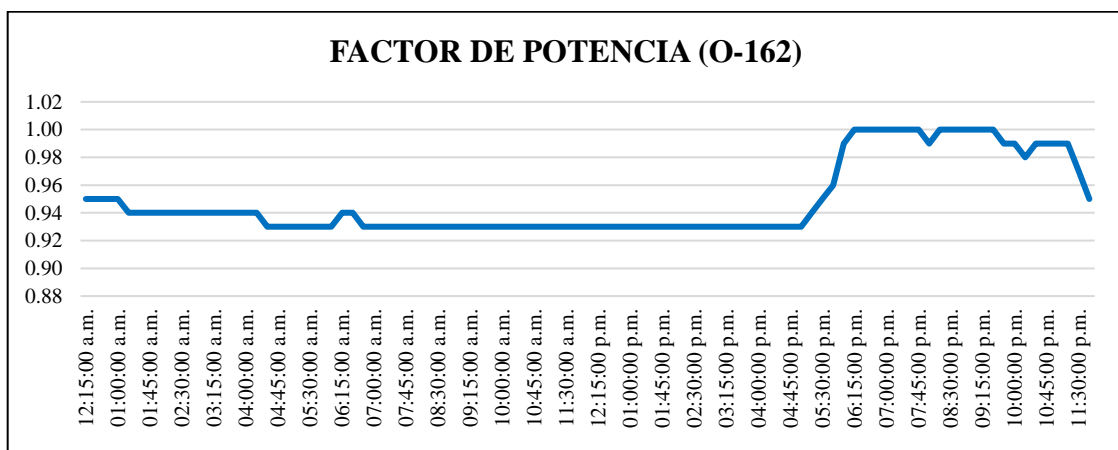


Elaborado por el equipo de trabajo

#### 4.2.2. Factor de potencia

El factor de potencia para una demanda máxima de 4114.68 kW y 1753.36 kVAR en un día típico del mes de febrero del año 2019, es de 0.93.

Figura N° 4.6: Curva de comportamiento del factor de potencia durante el día

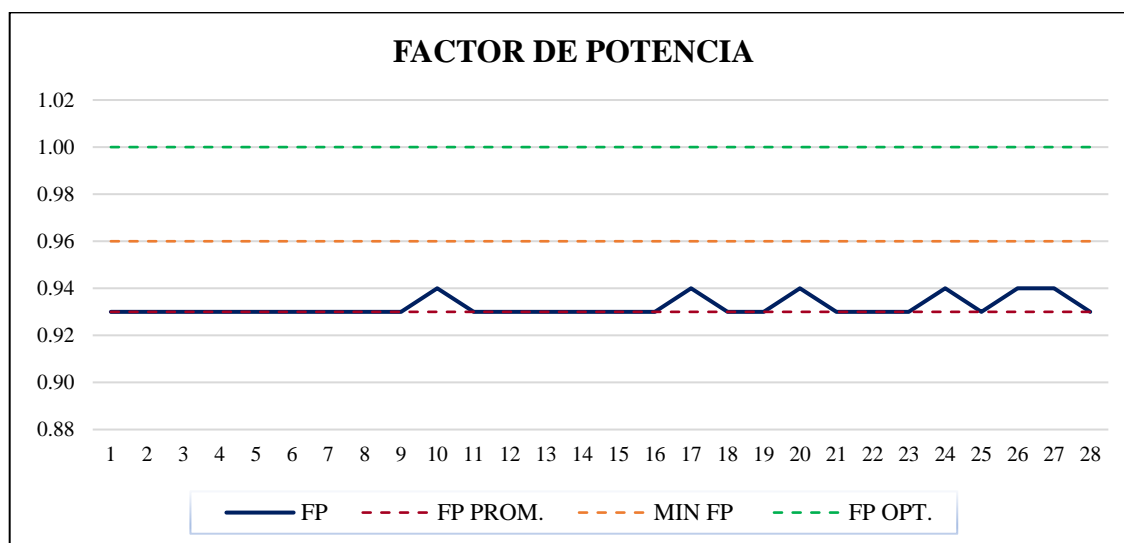


Elaborado por el equipo de trabajo

Según la data obtenida del centro de control el Alimentador O-162 registra un promedio mensual de factor de potencia de 0.93, lo cual incumple con lo establecido

es de 0.96.

**Figura N° 4.7:** Curva de factor de potencia promedio durante un mes



*Elaborado por el equipo de trabajo*

#### 4.3. Perfil de tensión el alimentador O – 162

Con respecto al perfil de tensión se tiene un nivel de tensión de 10kV en la barra y en puntos críticos de la red se llega hasta 9.92 KV. Según norma NTCSE establece que la caída de tensión en zonas rurales en media tensión  $\pm 6\%$  y en zonas urbanas  $\pm 5\%$ .

#### 4.4. Pérdida de potencia en el alimentador O – 162

Uno de los criterios determinantes para la intervención de un sistema eléctrico de distribución, son las pérdidas de potencia que se presentan para ello se procesa los datos en el Software DIgSILENT Power Factory 15.1.7 con el que se simuló el sistema de estudio.



NODO	ALIMENTADOR	P Perdidas kW	Q Pérdidas kVAR	P Generada kW	Q Generada kVAR	P Carga kW	Q Carga kVAR
BARRA YARAD A 10.5KV	O-162	154.57	188.18	4114.65	1753.36	879.45	756.45

*Fuente: Reporte de DIgSILENT Power Factory*

#### 4.5. Aplicación del software DIgSILENT Power Factory 15.1.7

El programa de simulación por computador de sistemas eléctricos de potencia DIgSILENT Power Factory permite realizar análisis de flujos de carga, flujo de potencia óptimo, fallas por cortocircuito, estabilidad, despacho económico, entre otros. Trabaja en un ambiente gráfico e interactivo con el usuario y está orientado al personal técnico, de ingeniería y para fines educativos en el análisis de sistemas de potencia. La herramienta está centrada principalmente en la simulación de sistemas de potencia interconectados, ya que permite trabajar los modelos por áreas y zonas, permitiendo realizar las tareas comunes a los programas para simulación de sistemas de potencia básicos (flujos de carga y fallas por cortocircuito) y además tareas comunes a los programas de simulación intermedios (estabilidad, despacho económico, flujo óptimo, análisis de contingencia).

DIgSILENT Power Factory es un paquete de simulación de sistemas de potencia que posee una interfaz gráfica e interactiva con el usuario. Para su ejecución se requiere de cualquiera de las siguientes plataformas operativas: Windows XP, Windows Seven, Windows 10 siendo esta última más recomendada cuando se simulan sistemas de gran tamaño. Las principales características del programa son: Simulación en el tiempo: La solución de los flujos de potencia se realiza continuamente a medida que transcurre un periodo de tiempo determinado. Lo anterior permite que al realizar cambios en la generación, carga o intercambio en MW de un sistema de potencia, los resultados sean visualizados inmediatamente sobre el diagrama unifilar.

El algoritmo de colocación óptima de baterías de condensadores o almacenamiento en redes de distribución calcula el mejor bus para colocar una o varias baterías de condensadores con el objetivo de minimizar el coste total anual de la red de distribución. En este coste se tienen en cuenta los siguientes componentes:

Coste anual de las baterías de condensadores (Inversión, mantenimiento, seguros), indicado en la pestaña “descripción” del tipo de batería de condensadores.

Coste de las pérdidas de energía en la red que pueden reducirse por los condensadores debido a la mejora del perfil de tensión y debido al transporte de potencia reactiva no realizado.

Coste ficticio de penalización para los buses de la red con una tensión fuera de la banda permitida

Existen dos procedimientos para encontrar la configuración óptima del almacenamiento:

Análisis de sensibilidad: permite encontrar los buses candidatos para la colocación de las baterías de condensadores.

Optimización: permite determinar las ubicaciones reales y los tamaños de las baterías de condensadores. Esta optimización puede realizarse tanto para un único nivel de carga como para una serie de niveles de carga diferentes específicos.

- **Análisis de sensibilidad**

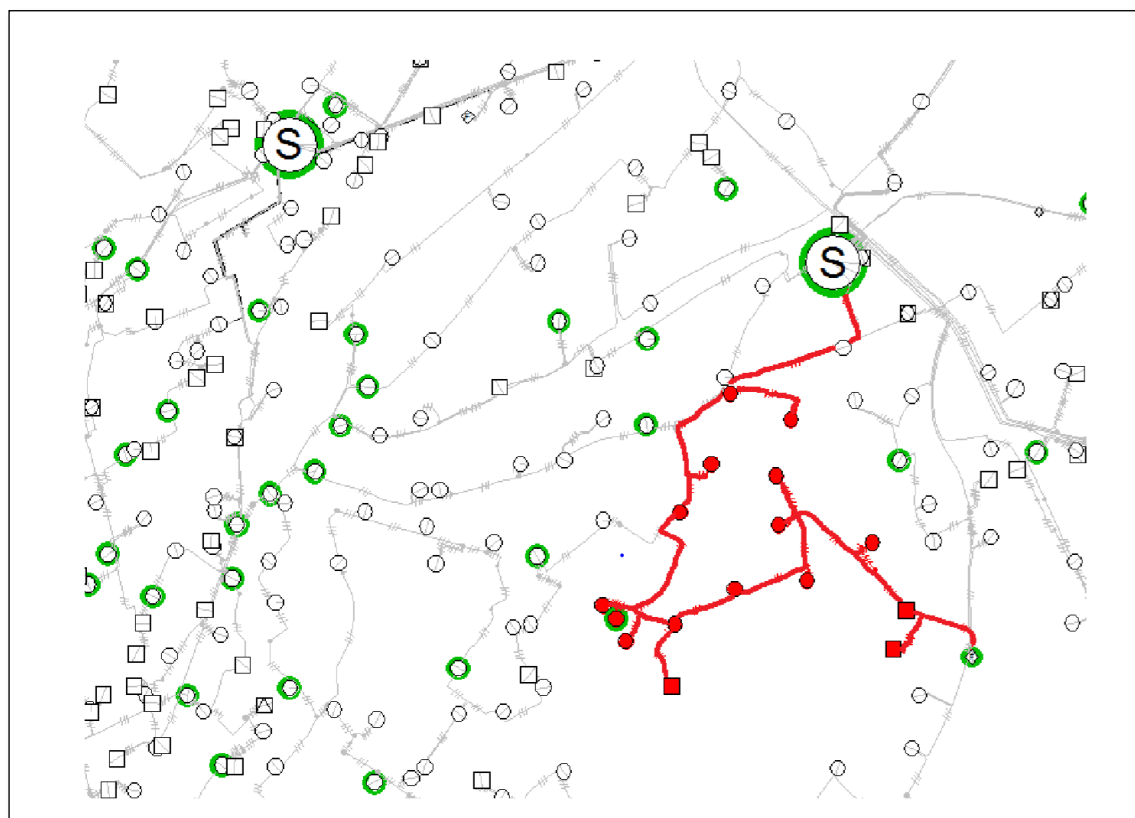
Utilización del tamaño de batería de condensadores mínimo disponible.

Utilización de tamaño de batería de condensadores máximo disponible.

Utilización del tamaño de batería de condensadores determinado por los requisitos de potencia reactiva de la carga.

consumo de energía reactiva de la carga.

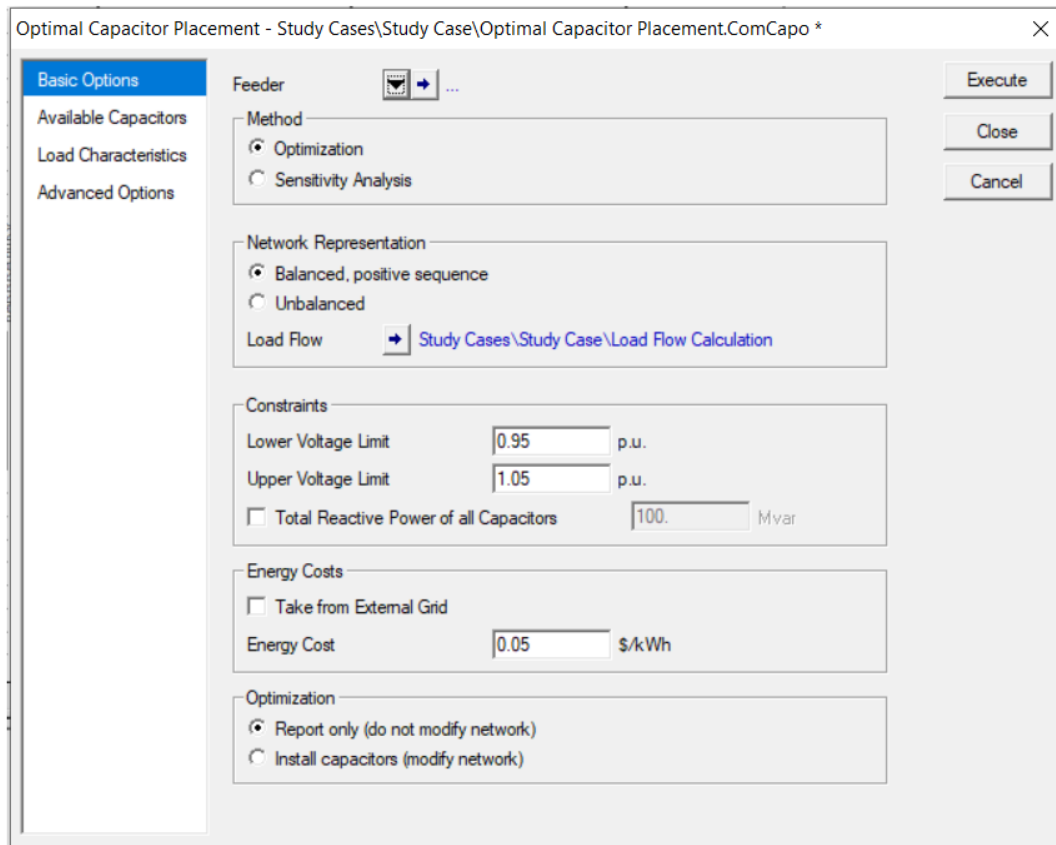
*Figura N° 4.8: Línea Principal de alimentación*



*Fuente: Catalogo del Software DIgSILENT PowerFactory*

En DIgSILENT PowerFactory tras seleccionar la barra de herramienta “Optimal Capacitor Placement”, es posible realizar el análisis de sensibilidad utilizando la opción “Calculate Optimal Capacitor Placement”

## Pestaña "Basic Options"



*Fuente: Software Digsilent PowerFactory*

En la figura 28 se muestra el cuadro de dialogo de la función de colocación optima de baterías de condensadores en la que se deben introducir los siguientes ajustes:

Línea de alimentación principal en la cual se desea colocar las baterías de condensadores.

Método a utilizar para la colocación de las baterías de condensadores.

Tipo de representación de red para resolver el flujo de cargas.

Límites de tensión máximo y mínimo a tener en cuenta durante el cálculo.

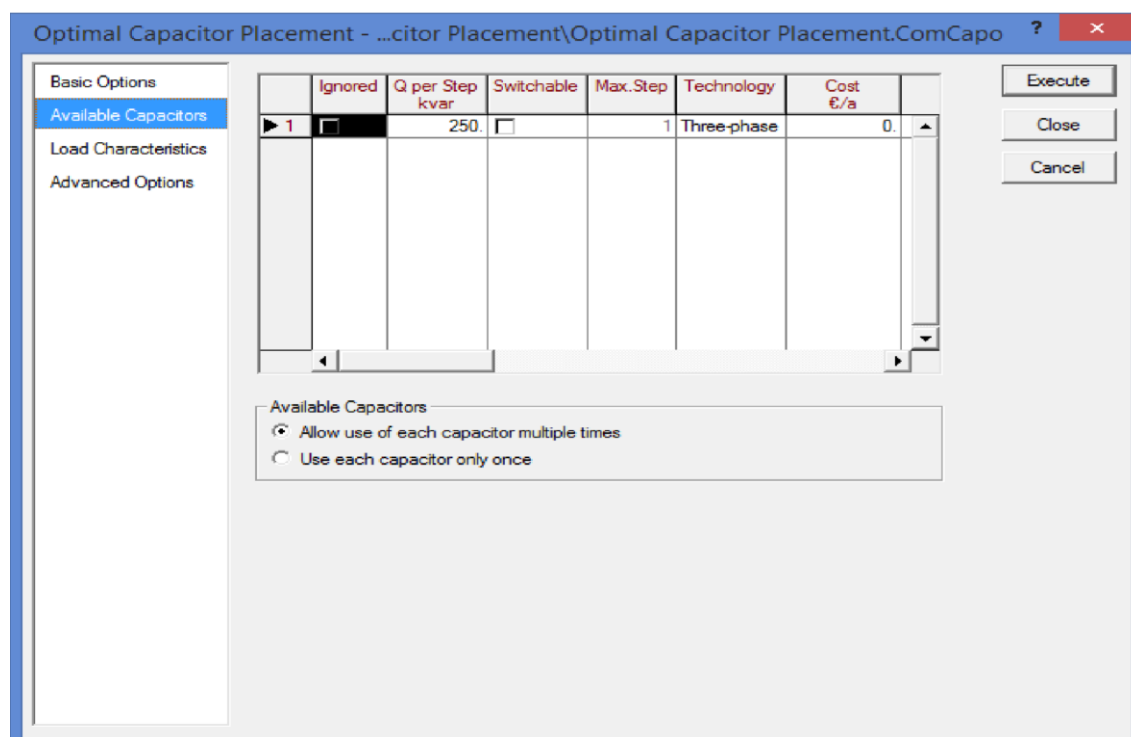
Coste de la energía perdida en la red de distribución. Puede tomarse el valor introducido en los elementos que representan la red externa o especificar un valor nuevo.

En este caso se indica un coste de 0.05 kWh (valor por defecto).

informe o modificar la red e incluir las baterías de condensadores en los buses encontrados como óptimos.

En la pestaña “Available Capacitors” es posible introducir el tamaño de las baterías de condensadores a instalar como se muestra a continuación.

**Figura N° 4.10:** Cuadro de dialogo de la función de colocación óptima de condensadores. Pestaña “Available Capacitors”

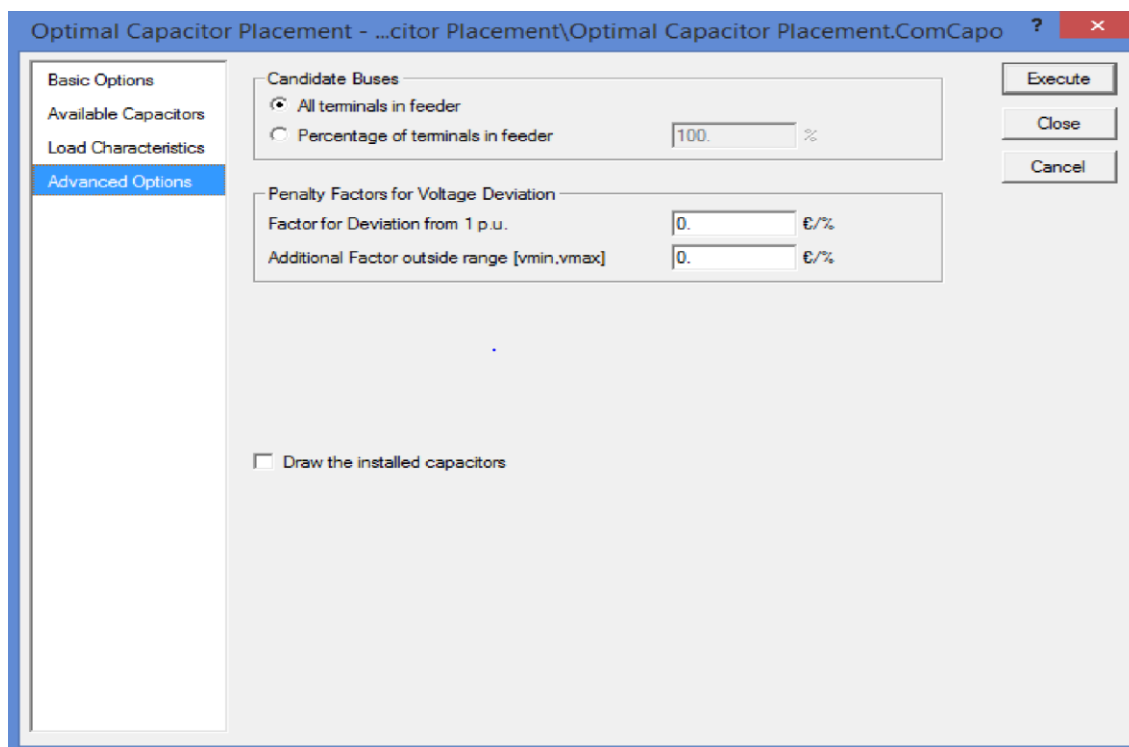


*Fuente: Digsilent Power Factory*

En la tabla de la ventana de dialogo de la figura N° 4.10 se pueden definir diferentes tamaños de baterías de condensadores a instalar, mientras que en la parte inferior se debe indicar:

- Si se quieren utilizar los diferentes tamaños definidos tantas veces como sea necesario y posible hasta alcanzar la cifra máxima introducida en el campo 5.
- Si se quiere instalar únicamente una batería de condensadores de cada uno de los tamaños específicos.

## Pestaña "Advanced Options"



*Fuente: Digsilent Power Factory*

Por último, en la pestaña de opciones avanzadas es posible seleccionar los buses que se quieren considerar como candidatos a la instalación de las baterías de condensadores (todos o un porcentaje que se especifique). También es posible introducir factores de penalización por desviación de los rangos de tensión.

- **Optimización**

A continuación, se realizará la optimización para el caso definido en el apartado anterior. Tan solo será necesario modificar el campo 2 de la figura N° 4.11 para seleccionar "Optimisation". Tras cambiar el método de optimización, en la pestaña de opciones avanzadas aparecerá un nuevo campo en el que se puede introducir el número máximo de iteraciones hasta finalizar el cálculo.

Introduciremos un número máximo de 20 iteraciones a modo de ejemplo.

Con los valores ajustados, el algoritmo de colocación óptima iterará tras la colocación de una batería de condensadores para comprobar si se puede conseguir una

siguiente.

Figura N° 4.12: Informe de resultados del algoritmo de colocación óptima de almacenamiento

Network Representation		Balanced, positive sequence	1 year	Constraints	Upper Voltage Limit	1.05 p.u.		
Time period under consideration				Lower Voltage Limit	0.95 p.u.			
Energy Costs				Limit Reactive Power of all Capacitors	Yes			
Take from External Grid		No		Maximum	10000.00 kvar			
Energy Cost		0.05 €/kWh						
<b>Costs</b>				<b>Reactive power of installed capacitors</b>				
Before Optimisation				Before Optimisation				
Power Losses				New Capacitors				
Voltage Violations				After Optimisation				
Total								
After Optimisation								
Power Losses								
Voltage Violations								
Costs of new capacitors								
Total								
Saved Costs								
Power Losses								
Voltage Violations								
Total								
New Capacitors	Busbar	Technology	Station	Costs	Phases	Vector Group	Un [kV]	Capacitor
Shunt/Filter 11	ND_2705	ABC		0.00 €/a	abc	D	20.00	250.00 kvar
Shunt/Filter 9	ND_2706	ABC		0.00 €/a	abc	D	20.00	250.00 kvar
Shunt/Filter 7	ND_2707	ABC		0.00 €/a	abc	D	20.00	250.00 kvar
Shunt/Filter 8	ND_2874	ABC	TRFSTAT_037	0.00 €/a	abc	D	20.00	250.00 kvar
Shunt/Filter 10	ND_2877	ABC	TRFSTAT_038	0.00 €/a	abc	D	20.00	250.00 kvar
Shunt/Filter 5	ND_2969	ABC		0.00 €/a	abc	D	20.00	250.00 kvar
Shunt/Filter 2	ND_3028	ABC		0.00 €/a	abc	D	20.00	250.00 kvar
Shunt/Filter 3	ND_3029	ABC		0.00 €/a	abc	D	20.00	250.00 kvar
Shunt/Filter 4	ND_3086	ABC		0.00 €/a	abc	D	20.00	250.00 kvar
Shunt/Filter 6	ND_3298	ABC	TRFSTAT_335	0.00 €/a	abc	D	20.00	250.00 kvar
Shunt/Filter 1	ND_3315	ABC	TRFSTAT_341	0.00 €/a	abc	D	20.00	250.00 kvar
New Capacitors	Busbar	Technology	Station	Load Level	Act. Step	Max. Step		
Shunt/Filter 11	ND_2705	ABC		Load Level 100 %	1	1		
Shunt/Filter 9	ND_2706	ABC		Load Level 100 %	1	1		
Shunt/Filter 7	ND_2707	ABC		Load Level 100 %	1	1		
Shunt/Filter 8	ND_2874	ABC	TRFSTAT_037	Load Level 100 %	1	1		
Shunt/Filter 10	ND_2877	ABC	TRFSTAT_038	Load Level 100 %	1	1		
Shunt/Filter 5	ND_2969	ABC		Load Level 100 %	1	1		
Shunt/Filter 2	ND_3028	ABC		Load Level 100 %	1	1		
Shunt/Filter 3	ND_3029	ABC		Load Level 100 %	1	1		
Shunt/Filter 4	ND_3086	ABC		Load Level 100 %	1	1		
Shunt/Filter 6	ND_3298	ABC	TRFSTAT_335	Load Level 100 %	1	1		
Shunt/Filter 1	ND_3315	ABC	TRFSTAT_341	Load Level 100 %	1	1		

Fuente: Digsilent Power Factory

En este, informe se muestra el periodo de tiempo considerado (1 año), Los límites de tensión fijados para los buses (mínimo 0.95 p.u. y máximo 1.05 p.u.), así como los costes anuales de la red antes y después de realizar la optimización.

#### 4.6. Análisis con Digsilent Power Factory el alimentador O – 162 Yarada-Tacna

Se desarrolla todo lo concerniente al aplicativo de la tesis; que viene a ser el software Digsilent Power Factory basado en el método de optimización, se explica el proceso de aplicación, el proceso de localización de banco de capacitores; iniciando en un modelo de prueba y luego en el alimentador O-162 de la subestación de transformación

de capacitores.

Elementos de grafico de DIgSILENT PowerFactory:

**LÍNEA:** Representación de una red primaria del sistema de distribución. Al insertar la figura de línea el software ofrece una amplia selección del tipo de material, sección y disposición de conductores; es necesario que se ingrese la longitud de la red primaria insertada.

**BARRA:** Representación de un nodo de la red. Es necesario definir de manera correcta todos los parámetros (color, dimensión y código) de cada barra o nodo en un inicio ya que modificaciones posteriores pueden llevar a errores en los cálculos.

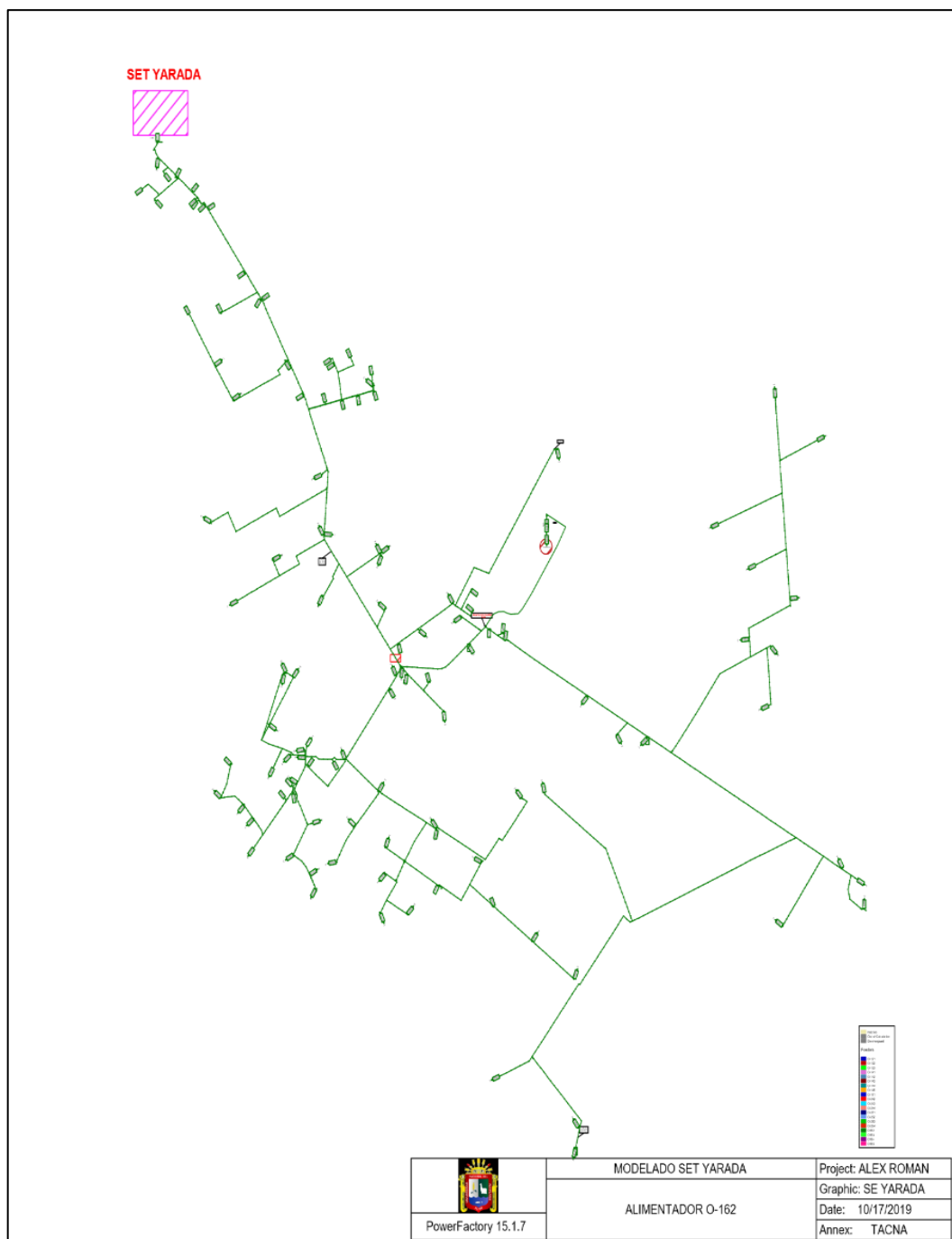
**CARGA:** Representación de una carga cualquiera en el sistema de distribución graficado. Es necesario ingresar desde el principio de manera correcta los valores de potencia activa y reactiva.

**CAPACITOR:** Representación de un banco de capacitores que se conectara al sistema de distribución.

#### **4.7. Diagrama del alimentador O – 162 o flujo del software DIgSILENT Power Factory**

A continuación, se observa el diagrama del Alimentador O-162 dibujado en el software con sus respectivos cargas, barras, líneas y capacitores.

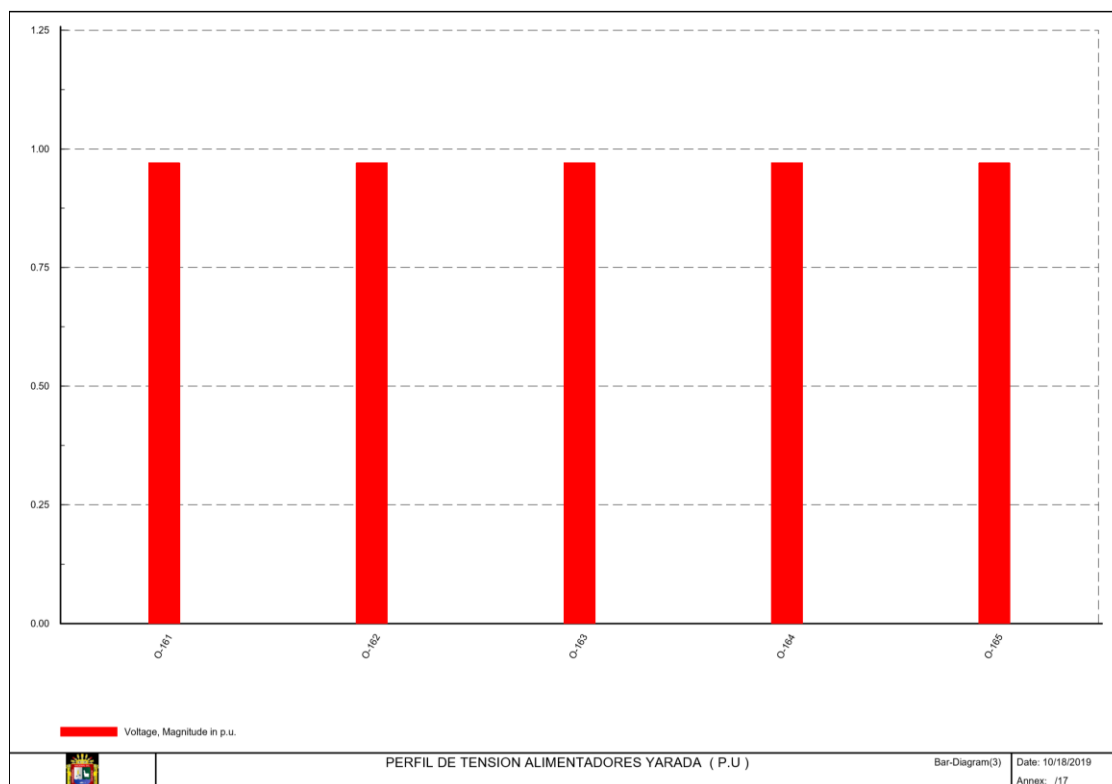




*Elaborado por el equipo de trabajo*

#### 4.8. Comparación del perfil de tensión con los demás alimentadores de la SET Yarada

En la figura N° 4.14, se aprecia los perfiles de tensión de cada alimentador de la subestación de transformación la Yarada.



*Elaborado por el equipo de trabajo*

Donde se puede observar que el nivel de tensión en valores por unidad en la barra O-162 es 0.96 p.u., lo cual indica que dicho alimentador se encuentra al límite de los valores establecidos según la Norma técnica de Calidad de Servicios Eléctricos (NTCSE).

A continuación, en la tabla N° 4.7 de muestra el reporte obtenido de los alimentadores de la subestación de transformación de la SET Yarada.

Load Flow Calculation							Feeder
AC Load Flow, balanced, positive sequence			Automatic Model Adaptation for Convergence			No	
Automatic Tap Adjust of Transformers			Max. Acceptable Load Flow Error for			1.00 kVA	
Consider Reactive Power Limits			Nodes			0.10 %	
			Model Equations				
					DIGSILENT PowerFactory 15.1.7	Project:	
						Date: 10/18/2019	
Study Case: Base						Annex: / 1	
Name	First Branch	Input Current [kA]	Total Load [kW]	Generation [kW]	Losses [kW]	Max.Loading [%]	Minimum Voltage [p.u.]
0162	Breaker/Switch(	0.249	3960.147	0.000	154.455	292.23	0.839
0163	Breaker/Switch(	0.107	1805.779	0.000	97.673	51.96	0.936
0164	Breaker/Switch(	0.067	1161.775	0.000	26.608	21.30	0.940
0165	Breaker/Switch(	0.057	954.999	0.000	11.950	33.37	0.976
0-161	Breaker/Switch	0.099	1710.425	0.000	60.017	41.82	0.948

Fuente: DIGSILENT PowerFactory

#### 4.9. Reporte de potencia activa, reactiva de la línea de transmisión 66 kV Yarada

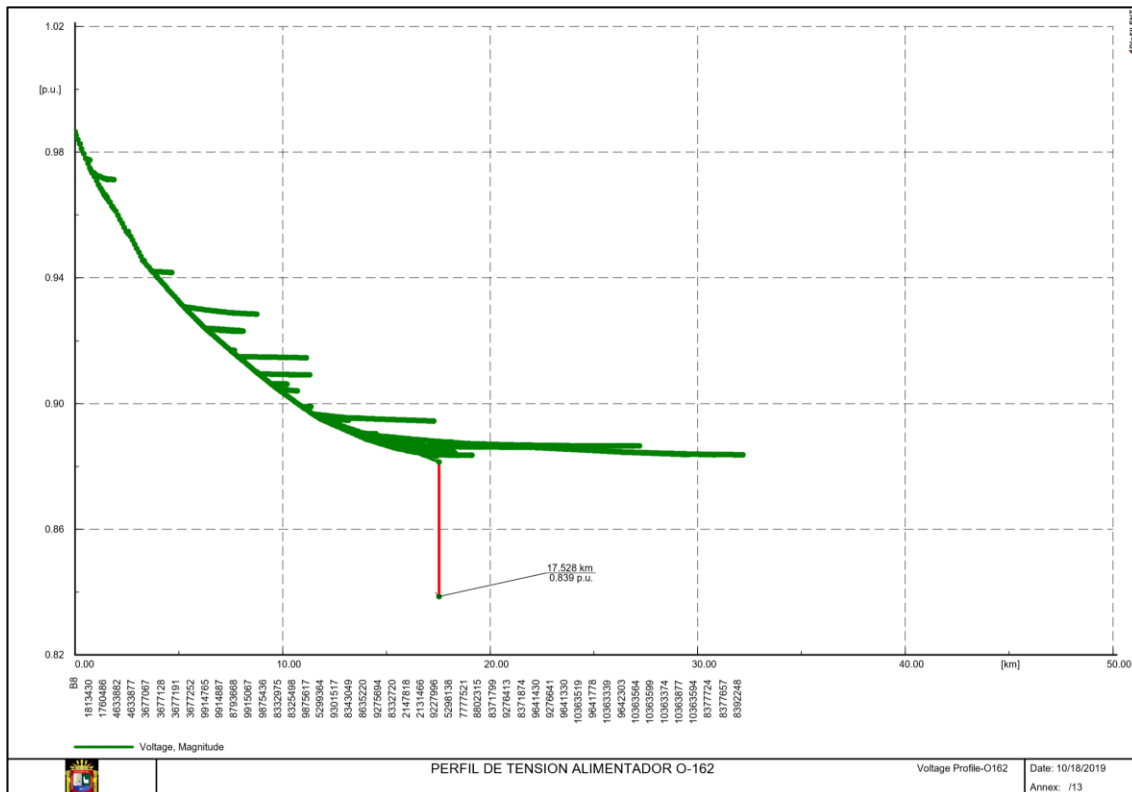
En la Tabla N° 4.8, se tiene los valores reales del nivel de tensión en valores por unidad 0.95 p.u. en la barra de la subestación la Yarada. El tipo de conductor utilizado es de 3x120 mm<sup>2</sup> ASRC y tiene una longitud de 27.30 km. Donde los valores de la potencia activa es 9991.15 KW y potencia reactiva es 2102.89 KVAR lo cual hace ver que se tiene una línea sobrecargada.

Grid: TRANSMISION		System Stage: TRANSMISION		Study Case: Base					Annex: / 3	
rated Voltage [kV]	Bus-voltage [p.u.] [kV]	Active Power [kW]	Reactive Power [kvar]	Power Factor [-]	Current [kA]	Loading [%]	Additional Data			
<b>B6</b>										
YARADA 66K.00	0.95 62.85 -3.08									
Cub 1 /Lne	LT 3x120mm2 ASCR C-9991.15	-2102.89	-0.98	0.09	27.58		Pv:	251.59 kW	cLod:421.45 kvar	L: 27.30 km
Cub_1 /Tr2	T2-YARADA	9991.15 2102.89	0.98	0.09	82.47		Tap:	-6.00	Min: -11	Max: 11
<b>B8</b>										
YARADA 10..50	0.99 10.36 -156.63									
Cubicle/Coup	CB2	1770.45	-31.23	1.00	0.10	0.00				
Cubicle/Coup	CB3	4114.61	1753.28	0.92	0.25	0.00				
Cubicle/Coup	CB4	1903.46	-168.94	1.00	0.11	0.00				
Cubicle/Coup	CB5	1188.39	212.35	0.98	0.07	0.00				
Cubicle/Coup	CB6	966.95	-308.30	0.95	0.06	0.00				
Cub_1 /Tr2	T2-YARADA	-9943.87 -1457.17	-0.99	0.56	82.47		Tap:	-6.00	Min: -11	Max: 11
<b>S</b>										
O-244 10.50	0.99 10.44 -153.82									
Cub 1 /Lod	O-244	0.00	0.00	1.00	0.00		P10:	0.00 kW	Q10: 0.00 kvar	
Cubicle/Coup	CB2	-1054.08	-371.68	-0.94	0.06	0.00				
Cub 1 /Lne	8320347(1)	121.44	42.37	0.94	0.01	1.95	Pv:	0.00 kW	cLod: 0.01 kvar	L: 0.01 km
Cub_1 /Lne	9731770	932.64	329.31	0.94	0.05	11.16	Pv:	0.19 kW	cLod: 0.06 kvar	L: 0.13 km
<b>Single Busbar (1)</b>										
O-162 10.50	0.99 10.36 -156.63									
Cub 1 /Lod	O-162	0.00	0.00	1.00	0.00		P10:	0.00 kW	Q10: 0.00 kvar	
Cubicle/Coup	CB2	-4114.61	-1753.28	-0.92	0.25	0.00				
Cub_1 /Lne	8320746	4114.61	1753.28	0.92	0.25	106.08	Pv:	3.57 kW	cLod: 0.01 kvar	L: 0.04 km
<b>Single Busbar (10)</b>										
O-141 10.50	1.00 10.49 176.05									
Cub 1 /Lod	O-141	0.00	0.00	1.00	0.00		P10:	0.00 kW	Q10: 0.00 kvar	
Cubicle/Coup	CB2	-3894.59	-795.41	-0.98	0.22	0.00				
Cub_1 /Lne	8320373	3894.59	795.41	0.98	0.22	128.65	Pv:	1.72 kW	cLod: 0.21 kvar	L: 0.02 km
<b>Single Busbar (11)</b>										
O-142 10.50	1.00 10.49 176.05									
Cub 1 /Lod	O-142	0.00	0.00	1.00	0.00		P10:	0.00 kW	Q10: 0.00 kvar	
Cubicle/Coup	CB2	-3772.80	-644.39	-0.99	0.21	0.00				
Cub_1 /Lne	8321017	3772.80	644.39	0.99	0.21	56.16	Pv:	4.68 kW	cLod: 1.58 kvar	L: 0.18 km
<b>Single Busbar (12)</b>										
O-143 10.50	1.00 10.49 176.05									
Cub 1 /Lod	O-143	0.00	0.00	1.00	0.00		P10:	0.00 kW	Q10: 0.00 kvar	
Cubicle/Coup	CB2	-1056.35	-473.46	-0.91	0.06	0.00				
Cub_1 /Lne	10060427	1056.35	473.46	0.91	0.06	20.16	Pv:	0.43 kW	cLod: 0.06 kvar	L: 0.13 km
<b>Single Busbar (13)</b>										
O-144 10.50	1.00 10.49 176.05									
Cub 1 /Lod	O-144	0.00	0.00	1.00	0.00		P10:	0.00 kW	Q10: 0.00 kvar	
Cubicle/Coup	CB2	-2985.90	-863.66	-0.96	0.17	0.00				
Cub_1 /Lne	10060738	2985.90	863.66	0.96	0.17	54.12	Pv:	8.71 kW	cLod: 0.17 kvar	L: 0.36 km

Elaborado por el equipo de trabajo

#### 4.10. Perfil de tensión y factor de potencia en el alimentador O – 162 sin banco de condensador

Sobre los perfiles de tensión y factor de potencia en el Alimentador O-162 que se muestra en la Figura N° 4.15, podemos verificar que los perfiles de tensión se encuentran en la gran mayoría por debajo de los valores recomendados.



Elaborado por el equipo de trabajo

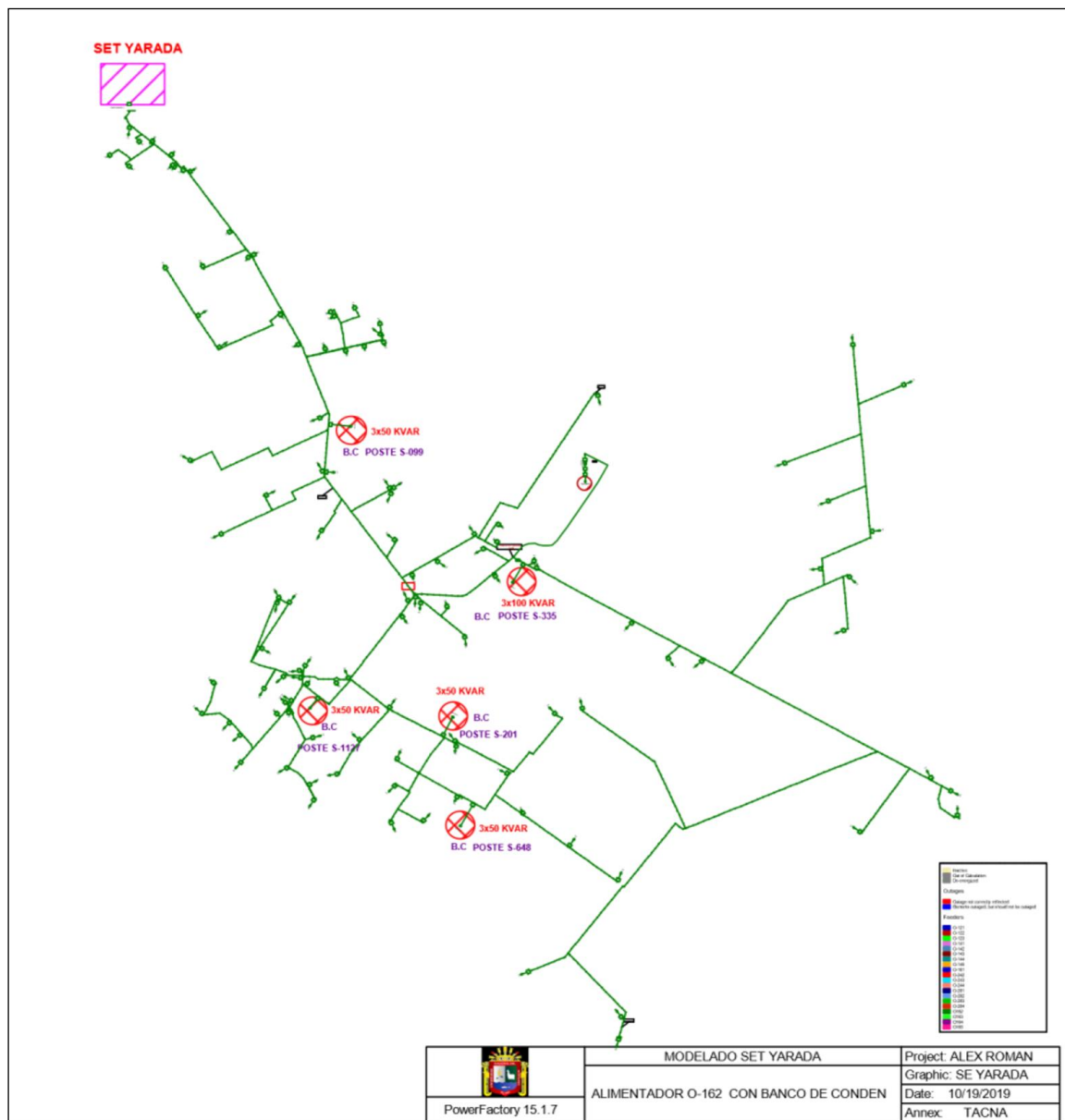


reactiva, factor de potencia y corriente nominal existentes en toda la red de distribución del Alimentador O-162.

#### **4.11. Diagrama del alimentador O – 162 con bancos de capacitores instalados**

En la siguiente figura N° 4.16, se tiene la ubicación óptima de los bancos de capacitores obtenidos mediante el software DIgSILENT Power Factory.

En resumen, del cálculo realizado en el software tenemos los siguientes bancos de 3x50 kVAR poste S-648, 3x50 kVAR poste S-201, 3x100 kVAR poste S-335, 3x50 KVAR Poste S-201 y Banco de 3x50 kVAR S-099. La evaluación de la efectividad de los bancos se realiza con la máxima demanda, cuyos resultados se muestran comparando el consumo de la potencia de la red eléctrica sin y con compensación reactiva.

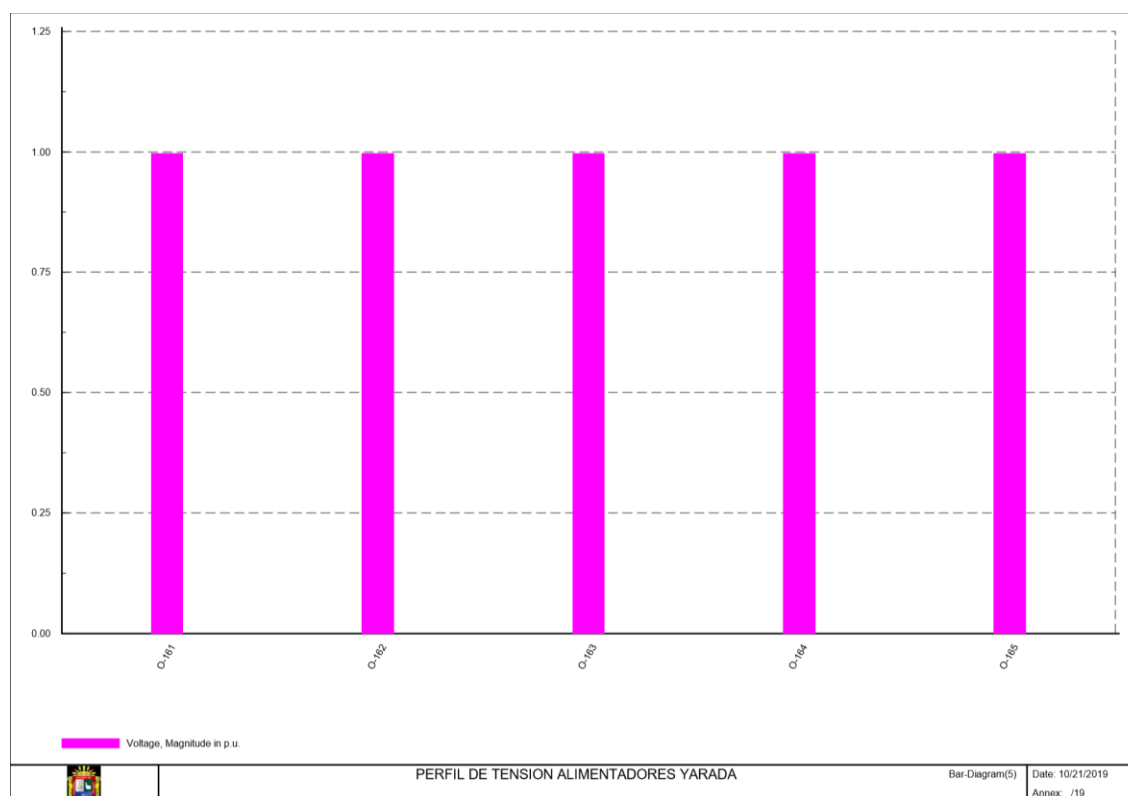


Elaborado por el equipo de trabajo

#### 4.12. Análisis del perfil de tensión con los demás alimentadores de la SET Yarada

En la figura N° 4.17, se presentan las tensiones en P.U de la subestación de transformación Yarada en base a los perfiles de tensión de operación registradas y obtenidas en los flujos de potencia realizados para el alimentador O-162, ante los casos con banco y sin banco, en escenarios de demanda máxima.





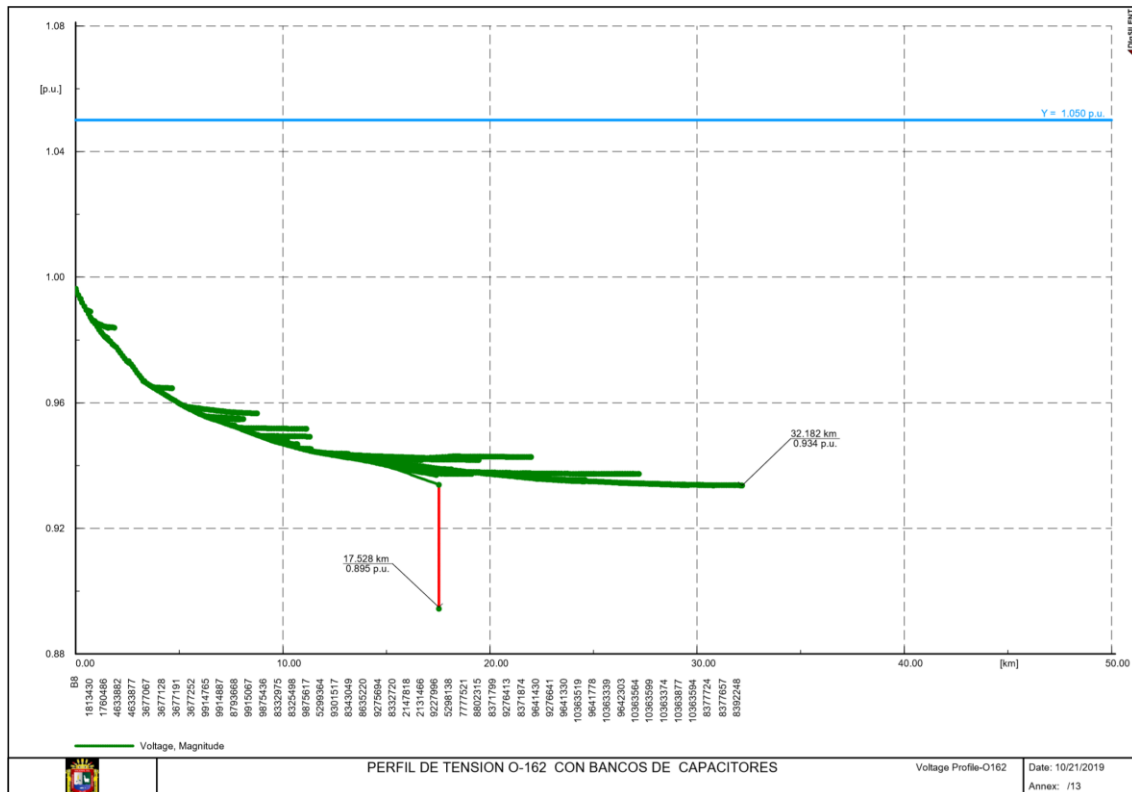
*Elaborado por el equipo de trabajo*

Sobre los perfiles de tensión en los Alimentadores que se muestran en la Figura 36, podemos verificar que los perfiles de tensión se encuentran en la gran mayoría dentro de los valores recomendados encontrándose, sin embargo, inicialmente el Alimentador O-162 en un estado crítico.

Indicar que tiene un 4 % de caída de tensión sin banco de condensadores con una demanda máxima que representa una mala calidad de tensión y una vez implementado los bancos se llega a superar el inconveniente mostrándose en la simulación un perfil de tensión de 0.99 p.u. que equivale a indicar que solo tiene una caída de tensión de 1 % presentándose una mejora de 3 % de mejora en su nivel de tensión.

condensador

Figura N° 4.18: Perfil de tensión Alimentador O-162 con Banco de Capacitores



Elaborado por el equipo de trabajo

En la figura N° 4.18, presenta un nivel de tensión 0.99 P.U, superiores a los recomendados, luego de la ubicación óptima de bancos de capacitores de 150 kVAR y 300 kVAR se supera el problema presentándose una mejora al presentarse un nivel de tensión de 0.93 P.U un valor más aceptable al inicial, por otro lado en el caso del factor de potencia se llega a un valor de 0.98 lo cual mejora claramente la calidad de energía suministrada por la empresa concesionaria.

A continuación, se muestra el orden de la instalación de bancos en los diferentes puntos del Alimentador O-162, donde se obtiene las pérdidas en potencia activa reactiva y caídas de tensión.

**Tabla N° 4.10:** Flujo de Potencia con 1 banco de Potencia 150 kVAR

DATO INICIAL CON 1 BANCO DE 3X50KVAR					
(P) [kW]	(Q) [kVar]	Perdidas (P) KW	Perdidas (Q) KVAR	$\Delta V$ (P.U)	$\Delta V$ KV
4,106.5	1,621.1	146.3	176.5	0.98	10.4

*Elaborado por el equipo de trabajo*

**Tabla N° 4.11:** Flujo de Potencia con dos bancos de Potencia 300 kVAR

DATO INICIAL CON 2 BANCO DE 3X50KVAR					
(P) [kW]	(Q) [kVar]	Perdidas (P) KW	Perdidas (Q) KVAR	$\Delta V$ (P.U)	$\Delta V$ KV
4,100.3	1,486.1	140.2	166.9	0.98	10.4

*Elaborado por el equipo de trabajo*

**Tabla N° 4.12:** Flujo de Potencia con tres bancos de Potencia 450 kVAR

DATO INICIAL CON 3 BANCO DE 3X50KVAR					
(P) [kW]	(Q) [kVar]	Perdidas (P) KW	Perdidas (Q) KVAR	$\Delta V$ (P.U)	$\Delta V$ KV
4,097.1	1,347.8	136.9	160.3	0.98	10.4

*Elaborado por el equipo de trabajo*

**Tabla N° 4.13:** Flujo de Potencia con cuatro bancos de Potencia 550 kVAR

DATO INICIAL CON 3 BANCO DE 3X50KVAR Y 1 BANCO DE 3X100 KVAR					
(P) [kW]	(Q) [kVar]	Perdidas (P) KW	Perdidas (Q) KVAR	$\Delta V$ (P.U)	$\Delta V$ KV
4,090.6	914.8	130.4	140.2	0.99	10.4

*Elaborado por el equipo de trabajo*

DATO INICIAL CON 4 BANCO DE 3X50KVAR Y 1 BANCO DE 3X100 KVAR					
(P) [kW]	(Q) [kVar]	Perdidas (P) KW	Perdidas (Q) KVAR	$\Delta V$ (P.U)	$\Delta V$ KV
4,090.2	765.2	130.1	126.5	1.00	10.5

*Elaborado por el equipo de trabajo*

En la tabla N° 4.14, se tiene las pérdidas del diagrama de prueba de compensación, el cual comparándolo con las pérdidas antes de la compensación de la tabla N° 4.10 se obtiene una reducción en las pérdidas de potencia reactiva de 61.62 KVAR.

Comparando los resultados obtenidos para el diagrama de prueba usando el Software DIGSILENT Power Factory, con los presentados, se observa un alto grado de proximidad de cálculo, lo cual valida el estudio realizado y determina la factibilidad para ser empleado en sistemas reales como el alimentador O-162 – Yarada.

#### 4.15. Comparativa de pérdida en el alimentador

En la TABLA N°4.15. se muestra las pérdidas que arrojo el primer análisis del ALIMENTADOR O-162 y las pérdidas obtenidas después de aplicar las respectivas propuestas.

*Tabla N°4.15: Comparación de pérdidas alimentador O-162*

	P (KW)	Q (KVAR)	PÉRDIDAS(P) KW	PÉRDIDAS(Q) KVAR	$\Delta V$ (P.U)	$\Delta V$ (KV)
Antes	4,114.65	1,753.36	154.57	188.18	0.96	10.08
Después	4,090.2	765.2	130.1	126.5	1.00	10.5

*Elaborado por el equipo de trabajo*

Luego de realizar el balance de carga y optimizar la ubicación de banco de capacitores obtenemos una reducción favorable de pérdidas, como observamos en la tabla 4.15, la diferencia en potencia reactiva es de 61.68kVAR en potencia activa es de 24.47kW.

Para determinar el ahorro de energía que se puede obtener con la implementación de banco de capacitores fijos de tipo poste en la red de distribución se determina de la siguiente manera:

$$E_{ahorro} = E_{p\_inicial} - E_{p\_final} \dots\dots(4.1)$$

Donde:

$E_{ahorro}$  = Energía ahorrada por la implementación de banco de capacitores  
{kW}

$E_{p\_inicial}$  = Pérdida de Energía antes la implementación de banco de capacitores {kW}

$E_{p\_final}$  = Pérdida de energía después de la implementación de banco de capacitores {kW}

**4.17. Análisis económico**

El análisis económico implica la evaluación de los costos beneficio, los cuales permiten establecer los alcances que obtendrá la empresa Electrosur S.A. al implementar los bancos de capacitores.

**4.18. Análisis costo - beneficio**

Es una herramienta financiera que determina la relación entre costos y beneficios asociados a un proyecto de inversión evaluando su rentabilidad.

La relación costo beneficio (C/B), se obtiene al dividir el valor de los ingresos totales o beneficios netos (VAI) entre el valor actual de los costos de inversión o costos totales (VAC) de un proyecto, la relación es la siguiente:

$$C/B = \frac{VAI}{VAC} \dots\dots\dots(4.2)$$

Donde:

C/B= Relación costo beneficio

VAI= Valor actual de inversión

VAC= Valor actual de los costos

su relación es mayor que la unidad.

$C/B > 1$  = el proyecto es rentable

Una vez realizado el análisis del alimentador O-162 y con los resultados arrojados, tomamos en cuenta la instalación de los bancos de capacitores que se plantean. Mediante la cotización en diferentes distribuidores especializados de equipos eléctricos se pudo obtener un precio referencial de los capacitores para ser instalados.

en el alimentador O-162, los cuales se detallan a continuación en la tabla 4.16.

En la TABLA N° 4.16: se muestra el costo de la implementación de banco de capacitores fijos de tipo poste.

*Tabla N° 4.16: Presupuesto de implementación de bancos de capacitores*

PRESUPUESTO DE IMPLEMENTACIÓN DE BANCO DE CAPACITORES EN EL ALIMENTADOR O-162-LA YARADA TACNA				
ITEM	POTENCIA	P/U	CANTIDAD	TOTAL
CAPACITOR	50kVAR	1230	12	S/ 14760.00
CAPACITOR	100kVAR	2500	3	S/ 7500.00
SOPORTE ESTRUCTURA DE F°G° (CONJUNTO).		950	5	S/ 4750.00
TOTAL, MATERIALES				S/ <b>2,7010.00</b>
Mano de Obra (30%)				S/ 8103.00
Gasto Administrativos (5%)				S/ 1350.50
TOTAL				S/ <b>36,463.50</b>

*Elaborado por el equipo de trabajo*

Con el fin de determinar el beneficio económico que la empresa puede obtener por el presente trabajo, citamos los análisis económicos que son concisos y breves, estos serían:

- Cálculo de la energía que se ahorra por la reducción pérdidas implementando el método de optimización de ubicación de banco de capacitores.
- Cálculo de la energía ahorrada por medio de las alternativas planteadas.

En la TABLA N° 4.17: Se muestra el ahorro de energía. Al reducir pérdidas en potencia activa en el alimentador o-162 y el monto recuperado en un año al implementar banco de capacitores.

*Tabla N° 4.17: Ahorro de potencia activa*

DESCRIPCIÓN	(kWh )SOLES		H. SOLES	AHORRO DÍA	MES	TOTAL 1 año
POTENCIA ACTIVA	24.47	S/. 0.33	S/. 8.07	S/. 193.64	S/. ,809.32	S/. 69,711.84

*Elaborado por el equipo de trabajo*

Al implementar banco de capacitores reducimos pérdidas en potencias activa y reactiva y mejoramos los factores de potencia con esto se ahorra s/. 69.711.84 al año lo cual es beneficio de la empresa Electrosur S.A.

## CONCLUSIONES

**PRIMERA.** - De los resultados de la localización óptima de banco de capacitores mediante el Análisis de Optimización, el alimentador O-162 de la S.E.T. YARADA, donde se incorporan banco de condensadores de capacidades de 150 kVAR Y 300 kVAR respectivamente, mejoro las condiciones operativas del sistema eléctrico a través de la reducción de pérdidas de potencia reactiva y mejorando el perfil de tensión. Como se muestra a continuación: se mejora la caída de tensión de 0.96 P.U. a 0.99 P.U. y las pérdidas de potencia se reducen en 61.62 kVAR. por lo tanto, mejorar la calidad de energía.

**SEGUNDA.** - En definitiva, la ubicación óptima de banco de capacitores, mejora los perfiles de tensión y las pérdidas de potencia reactiva de la zona de influencia.

**TERCERA.** - Los registros de los pulsos obtenidos del centro de control de ElectroSur S.A. muestran un promedio del factor de potencia de 0.93 el cual no se encuentra dentro del rango mínimo permitido según la Norma Técnica de Calidad del Servicio Eléctrico (NTCSE). Al implementar la ubicación óptima de banco de capacitores mejora considerablemente el factor de potencia a 0.98 y cumplir con la normativa establecida y así evitar penalizaciones.

**CUARTA.** - Al realizar el análisis del Alimentador O-162 luego de ejecutar la corrida de flujo de potencia se encontró elementos sobrecargados, los cuales son tomados en cuenta para repotenciación y reconfiguración para así poder mejorar la calidad de servicio eléctrico a los clientes conectados al alimentador en estudio.



**RECOMENDACIONES**

**PRIMERA.** -Se sugiere a la empresa concesionaria la adquisición e instalación de los bancos de capacitores recomendados, para mejorar la operatividad de sus redes y brindar una mejor calidad de servicio a los usuarios.

**SEGUNDA.** -Al encontrarse el sistema desbalanceado es necesario hacer modificaciones en la distribución de carga entre fases. No es conveniente tener un sistema desbalanceado, produciéndose problemas como el calentamiento de motores y conductores.

**TERCERA.** - Al término del horizonte de estudio, se deberá recalcular los parámetros eléctricos de operación con la finalidad de mantener o incrementar los bancos de capacitores necesarios.

**CUARTA.** - Al existir conductores con porcentajes elevados de caída de voltaje, cargabilidad, existe pérdidas por calor (Joule), las cuales se ven reflejadas en la tarifa eléctrica de la empresa, que sin duda alguna representa pérdidas económicas a la empresa, para lo cual se recomienda el cambio del calibre de conductores.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Apaza, T. M. (2017). *ESTUDIO DE CONTROL Y DISMINUCIÓN DE PÉRDIDAS DENTRO DEL SERVICIO ELÉCTRICO PUNO*. Universidad Nacional del Altiplano. Puno: UNAP.
- Aragón, C. I., & Eusebio, P. F. (2013). *El Sistema Eléctrico de Interconexión Perú-Ecuador y su Incidencia en los Costos Totales de Energía Eléctrica en el Perú*. Lima: Universidad nacional de Ingeniería. Recuperado el 28 de 03 de 2018, de [http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/2277/1/aragon\\_ci.pdf](http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/2277/1/aragon_ci.pdf)
- Buenalaya, C. S. (2013). *Fijación de Precios en Barra Mayo 2013 – Abril 2014*. Lima: División de Generación y Transmisión – Osinergmin. Recuperado el 02 de 03 de 2017, de [www2.osinerg.gob.pe/2Fprocreg/2Ftarifasbarra/2FPradmntoFjcionPrciosBrraPrdoMyo2013Abril2014/2F130314-PRE-AP-Fita2013PrepublicacionPreciosBarra.ppt](http://www2.osinerg.gob.pe/2Fprocreg/2Ftarifasbarra/2FPradmntoFjcionPrciosBrraPrdoMyo2013Abril2014/2F130314-PRE-AP-Fita2013PrepublicacionPreciosBarra.ppt)
- Celis, M. J. (Agosto de 2016). *Metodología para la estimación de hundimientos de tensión en sistemas eléctricos empleando una cantidad limitada de medidores de calidad de potencia*. Universidad del Valle. Santiago de Cali: UNIVALLE.
- COES, C. d. (2016). *Valorización de las Transferencias de Potencia*. Lima: COES. Obtenido de <http://www.coes.org.pe/Portal/PostOperacion/ValorizacionTransferencias/ValorizacionTransferenciaEP>.
- Cuyutupa, G. J. (2013). *Diseño de la línea de transmisión Pomacocha - Carhuamayo en 220kv*. Universidad Nacional del Centro del Perú. Huancayo: UNCP.
- Gascó, G. M. (2013). *Integración de energías renovables en redes eléctricas inteligentes*. Universidad de Alicante. Alicante: UA.
- González, Q. J. (2002). *Compensación de potencia reactiva en sistemas contaminados con armónicos*. Universidad Central Marta Abreu de las Villas. Santa Clara: UCMAV.

- Husson, G. (2004). *Reflexiones Generales y Enseñanzas del nuevo Mercado Eléctrico Andino*. Argentina: Centro Argentino de Estudios Internacionales, Programa Integración Regional. Obtenido de <http://www19.iadb.org/intal/intalcdi/PE/2008/01407.pdf>
- Martinez, M. A. (2002). *Análisis y estudios de líneas de transmisión en C. A. desbalanceadas*. Universidad Autónoma de Nuevo Leon. UANL.
- Matos, G., Chalmeta, R., & Coltell, O. (2006). *Metodología para la Extracción del Conocimiento Empresarial a partir de los Datos. Información tecnológica*. Cuba: Universidad de Oriente Santiago de Cuba, Departamento de Computación,. Obtenido de <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642006000200011>
- Mendez, L. J. (2006). *Evolución de los costos de transmisión en el Sistema Eléctrico Peruano*. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima: UNI.
- Meza, H. R. (2015). *TRABAJOS DE MANTENIMIENTO A LÍNEAS DE TRANSMISIÓN*. UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO. México: UNAM. Obtenido de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/7511>
- MORON, J. A. (2009). *SISTEMAS ELÉCTRICOS DE DISTRIBUCIÓN*. ESPAÑA: EDITORIAL REVRETE S A.
- Muñoz, G. R. (2015). *Análisis del suministro eléctrico, mejoras de los índices y niveles de calidad en la distribución de energía eléctrica*. Valenciana, España: Universidad Miguel Hernández.
- Muñoz, G. R. (2015). *Análisis del suministro eléctrico, mejoras de los índices y niveles de calidad en la distribución de energía eléctrica*. Valenciana, España: Universidad Miguel Hernández. España: UMH.
- Ortega, M. J., & Alvarez, V. E. (2001). *Método para la Determinación del Pago de la Potencia del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional y su Aplicación*. Cusco: Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

(2012). *Reporte de Análisis Económico Sectorial Sector Eléctrico Año 1 – N° 1 – Julio 2012*. Lima: OSINERGMIN. Recuperado el 20 de 10 de 2017, de [http://www.osinergmin.gob.pe/newweb/pages/Estudios\\_Economicos/77.htm](http://www.osinergmin.gob.pe/newweb/pages/Estudios_Economicos/77.htm)

Parra, P. A. (2005). *VALORIZACION ESTANDAR DE SSITEMAS DE TRANSMISION*. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima: UNI.

FACTOR ENERGÍA (2017)

¿Qué es la eficiencia enérgica? retrieved june 6, 2019, from

<https://www.factorenergia.com/es/blog/eficiencia-energética/que-es-la-eficiencia-energética>

Reinoso, V. J. (2013). *Diseño y simulación de una línea de transmisión de extra alta tensión de 500kv*. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima: UNI.

Salazar, A. M. (2013). *Alternativas de solución para el incremento de cargabilidad en líneas de transmisión del sistema eléctrico nacional*. Universidad Nacional Autónoma de México . México: UNAM.

Santander, H. L. (Diciembre de 2015). *Diseño electromecánico de líneas de transmisión incluyendo compensación distribuida*. Universidad Nacional Autónoma de México. México: UNAM.

Téllez, G. S. (2011). *Comportamiento de conductores eléctricos usados en líneas de transmisión ante esfuerzos electromecánicos y térmicos combinados*. Universidad Nacional de Colombia. UNC.

Villanueva, C. M. (2017). *GESTIÓN DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA CONFIABILIDAD DE LAS REDES DEL SUB SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICO 22.9/13.2 KV DE SAN GABÁN – OLLACHEA*. Universidad Nacional del Altiplano . Puno: UNAP.

*de Alta Tensión y la Prevención de los Riesgos en los Habitantes del Cantón Milagro,*  
*Provincia del Guayas. UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO. Ecuador: UNEMI.*

## ANEXOS

**Anexo 01:** Diagrama Alimentadores MT Maniobra y Zonas Tacna

**Anexo 02:** Diagrama Unifilar Yarada Alimentador O-162 Terna "S"

**Anexo 03:** Modelo del Sistema Eléctrico Tacna

**Anexo 04:** Pulsos de Potencia Activa y Reactiva del Centro de Control Electrosur S.A.

**Anexo 05:** Plano de la Red Eléctrica Electrosur la Yarada (los Palos O-162) Tacna.

**Anexo 06:** Reporte del Digsilent Power Factory de Potencia Activa, Reactiva y Factor de Potencia.

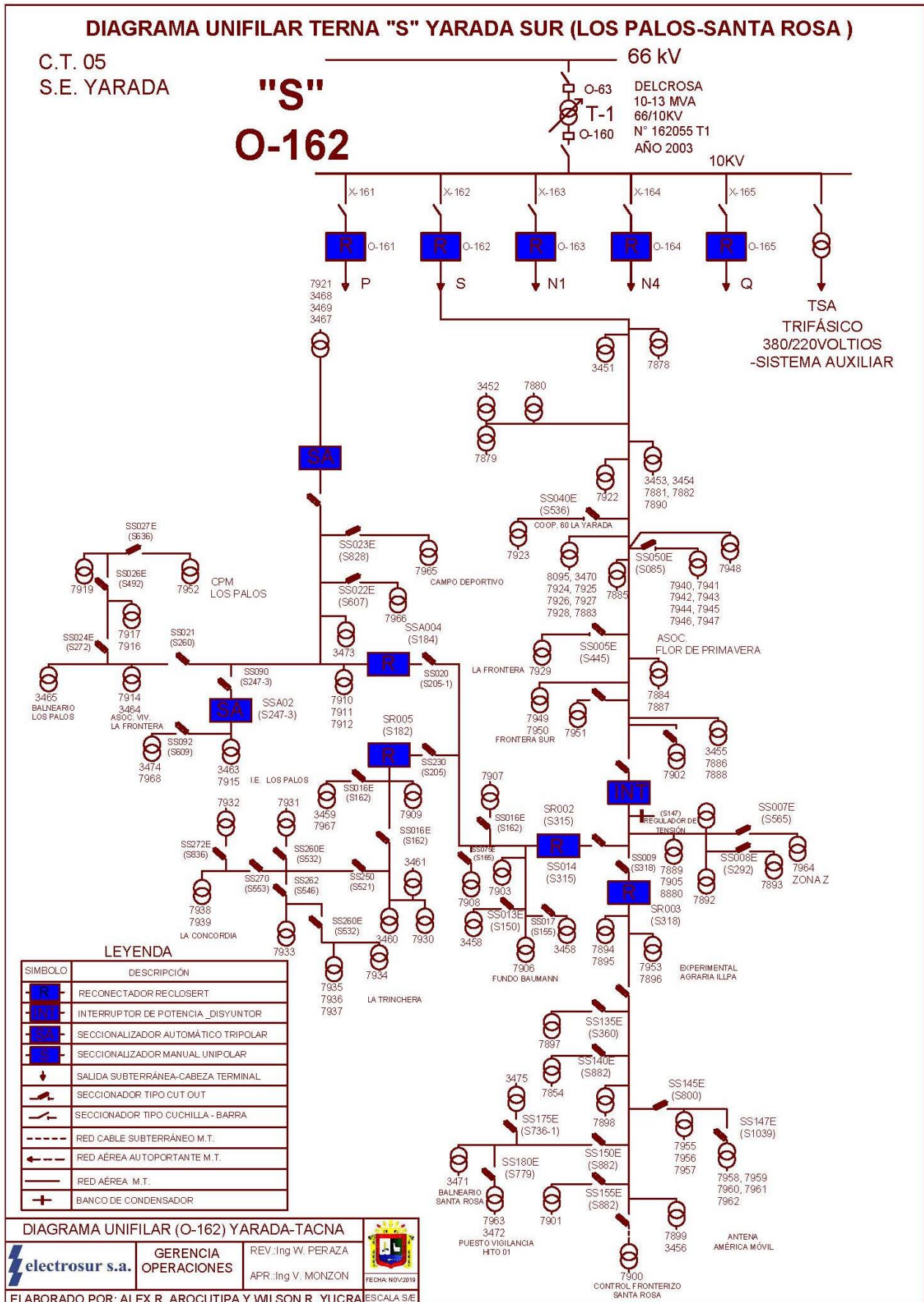
ALIMENTADOR POR ZONA				"S"	
CENTRO DE TRANSFORMACIÓN "S.E. YARADA" (TACNA)					
DIAGRAMA ZONA					
S.E. YARADA	RED PRIMARIA 10KV. TERNA "S"	N° SED	CIENTES	KVA INSTALADO	SECTOR Y/O ZONAS (C.P.M. Los Palos, Complejo Santa Rosa).
O-162 O-161 O-163 O-164 O-165 T1 DELCROSA	SS012	2	24	150	C.P. Yarada Sector Coop. 60. Pozos:AS-146
	SS040E	2	15	162.5	C.P. Yarada Sector Coop. 60. Parcela 17
	SS040E	1	1	25	C.P. Yarada Sector Coop. 60. Parcela 38A
	SS040E	8	14	450	C.P. Yarada AS-147, AS-56 (P-43), IRHS-64.
	SS050E	1	1	50	C.P. Yarada MIAGROSUR
	SS050E	8	10	940	C.P. Yarada PozoIRHS-64, Asoc. Agroindustrial 4 Suyos, IRHS 63 Santa Catalina
	SS005E	8	1	350	Asoc. Flor de Primavera, Pachacutec.
	SS005E	1	1	75	C.P. Yarada Agroindustrial Peru posible AS-75
	SS080E	1	1	37.5	C.P. Yarada Agroindustrial Frontera del Sur
	SS080E	4	4	137.5	C.P. Yarada Agroindustrial Frontera del Sur
	SS004E	1	1	75	C.P. Yarada Rene Huisa
	SS006	3	19	272.5	C.P. Yarada AS 74, Fundo los Granados.
	SS006	1	1	75	C.P. Yarada Vicente Vargas
	SS007E	5	11	370	Asoc. de Vivienda Pecuaria Residentes de llave
	SS008E	1	1	160	Asoc. Zona "Z" Pozo 1.
	SS008E	1	1	25	C.P. Yarada Gregorio Cabrera
	SS135E	3	4	250	Asoc. San Valentin, Acopio Rio Seco, Extractora OLIBU SAC.
	SS140E	1	1	75	Estacion Experimental Agraria ILLPA Puno. exportadora cauñani.
	SS140E	1	1	75	Asoc. Jose Olaya.
	SS145E	1	1	37.5	Asoc. Exportadores Sol del Inca.
	SS147E	3	1	150	BALNEARIO SANTA ROSA I ETAPA
	SS160E	5	1	125	Irrigacion el Pedregal.
	SS175E	1	1	100	Arnaldo Osmayo.
	SS180E	2	2	62.5	Puesto Policial Hito 1
	SS155E	1	2	75	Balneario Santa Rosa.
	SS155E	1	1	50	Complejo Santa Rosa Pozo de Agua AS-99
	SS155E	2	3	125	Antena America Movil, Antiguo Complejo Santa Rosa.
	SS155E	1	1	800	Nuevo Control Fronteriso Santa Rosa.
	SS013E	1	2	125	Pozo AS 57 (P-04).
	SS017E	1	1	50	Renato Casaretto Los Palos.
	SS018E	1	1	25	A.H. Criamen 26 de Octubre Las Lagunas.
	SS075E	1	1	125	AS-58 (P-05)
	SS075E	1	1	25	Albaclara
	SS075E	1	1	37.5	AS-51 (P-2-P)
	SS018	2	9	75	AS-51 8P-2P).
	SS019	2	4	50	Felix Maquera Chura, Angela Torres Torres.
	SS250E	2	21	275	AS. 184 Asoc. L a Concordia, Asoc. Agroindustrial Nueva Frontera.
	SS260E	2	1	37.5	Asoc. La Concordia II Etapa.
	SS262	2	1	100	Asoc. La Concordia II Etapa.
	SS275E	2	4	80	Asoc. Agropecuaria la Trinchera..
SS270	2	4	87.5	Asoc. La Concordia II Etapa, Los Cenizales.	
SS272E	2	1	25	Asoc. La Concordia Parcela 29.	
SS272E	2	12	187.5	Felix Alferez, Just Perez.	
SS022E	2	1	10	Transformador para conexión scada.	
SS023E	2	1	37.5	Campo Deportivo Municipal Los Palos	
SS023E	2	1	25	Antena Telefonica Nextel Los Palos.	
SS072	2	1	100	AS-54, (P-1).	
SS072	2	60	50	CPM Pueblo Los Palos.	
SS090	2	30	265	AS-162, Comite de regantes.	
SSA02	2	35	150	AS-52 (P-3), AS-53 (P-4-P), Colegio CPM Los Palos.	
SS021	3	72	200	AS-50, Asoc. La Frontera.	
SS024E	2	2	50	Jorge Sarmiento, Rall Cabrera.	
SS026	1	1	25	Pedro Garcia Flores, Asentamiento N° 1 Los Palos Yarada Baja	
SS027E	1	1	25	Cirilo Coaquira Quispe, Asentamiento N° 1 Los Palos Yarada Baja	



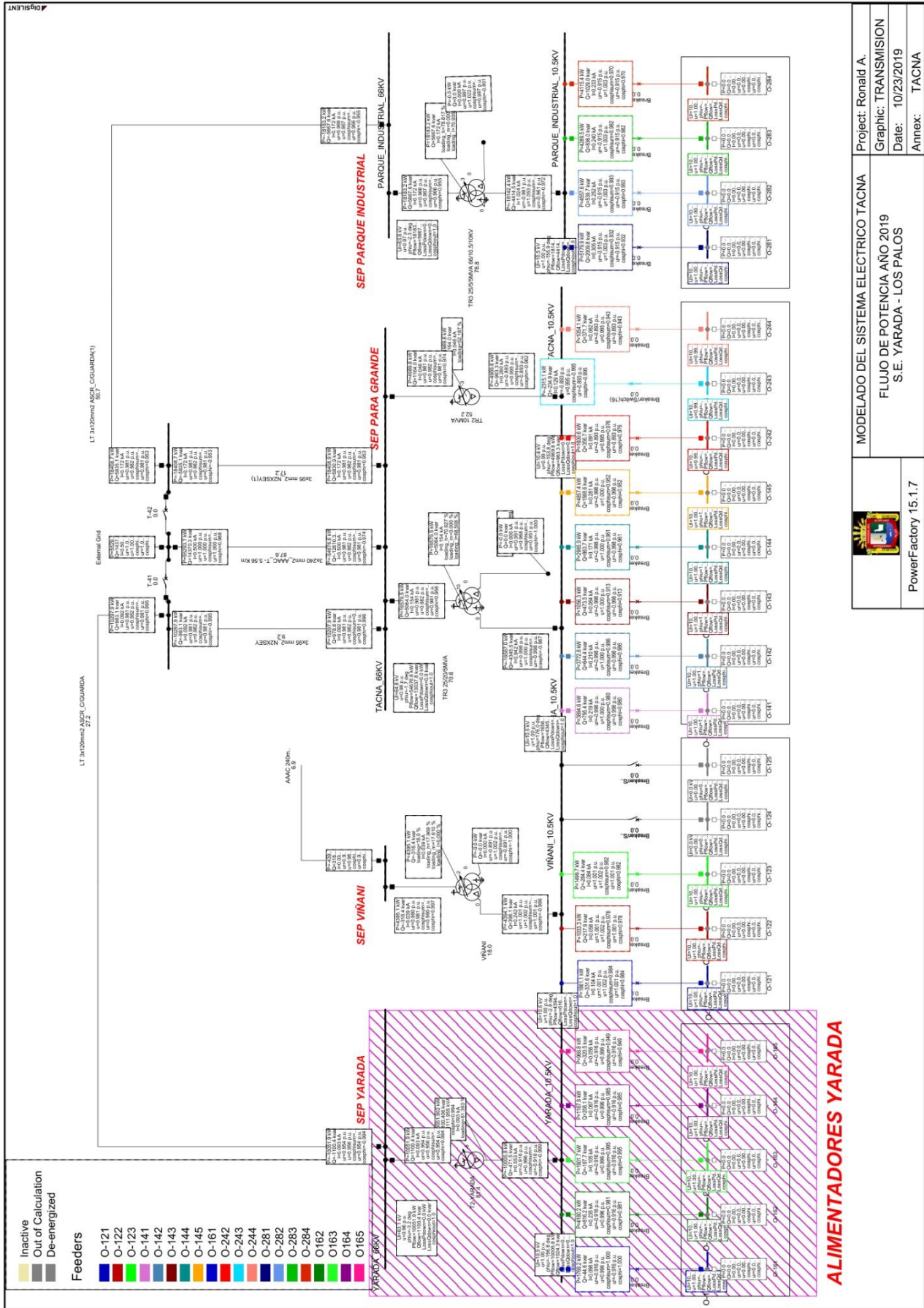
DIAGRAMA ZONA YARADA ALIMENTADOR O-162  
 electrosur s.a.  
 REV. Ing. W. PERAZA  
 APR. Ing. V. MONZON

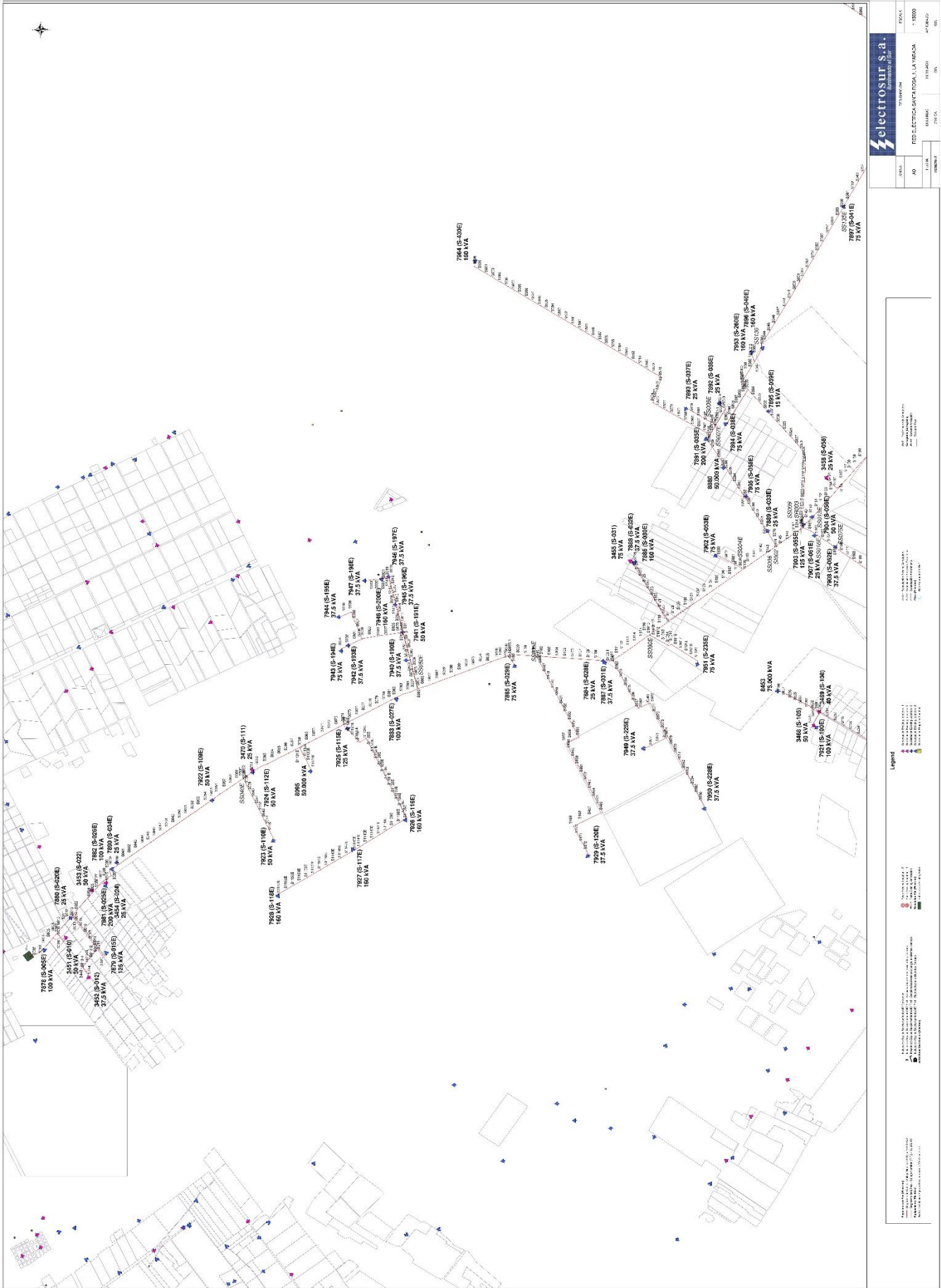
**TOTAL** 112 394 7527.5 **TERNA "S"**

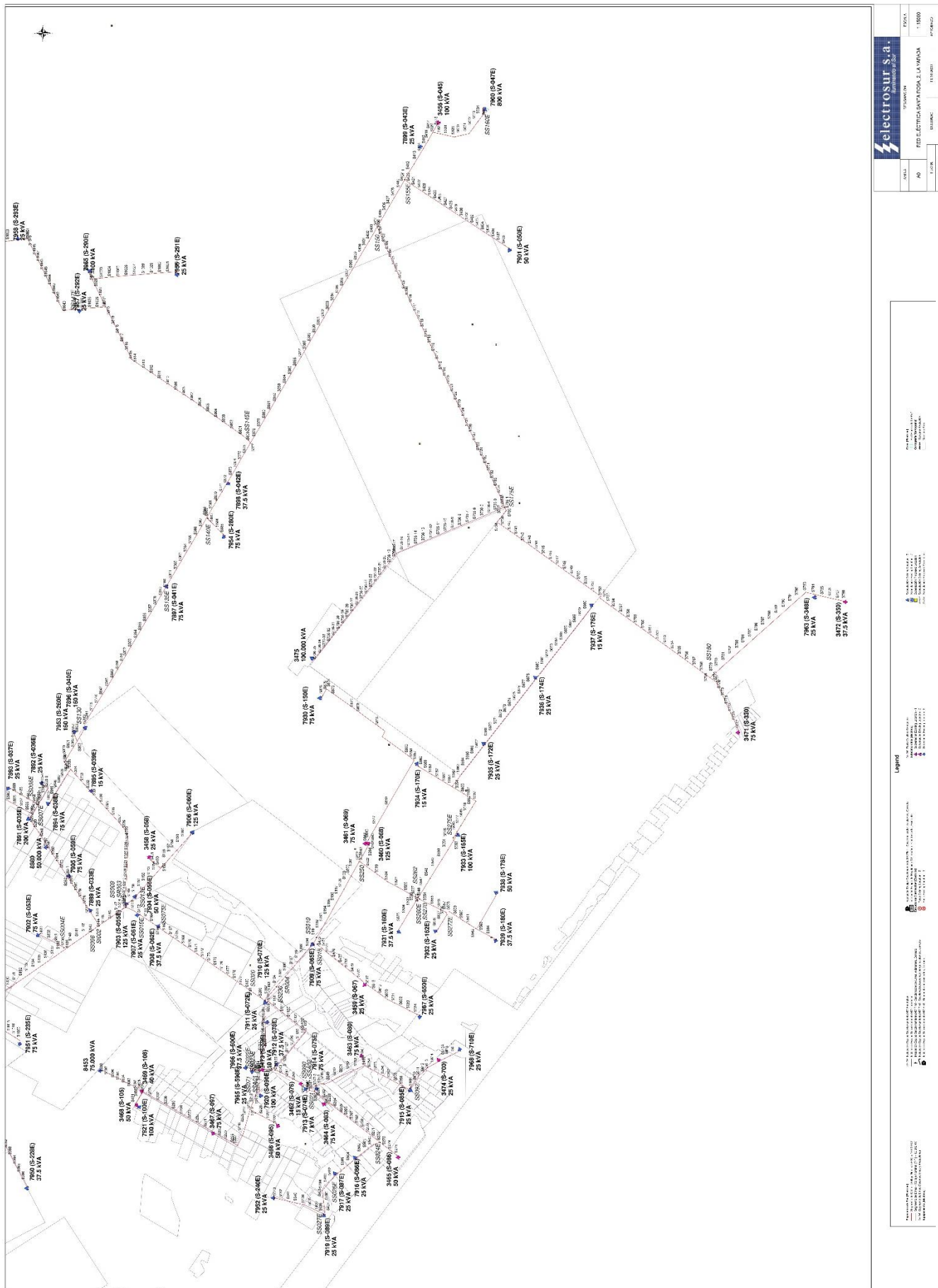
ELABORADO POR: ALEX R. AROCUTIPA Y WILSON R. YUCRA  
 TESIS: OPTIMIZAR LA UBICACIÓN DE BANCO DE CAPACITORES EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN 10KV PARA MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DEL ALIMENTADOR (O-162) LA YARADA, TACNA.











electrosur S.a.	
PROYECTO	ESTRUC
FECHA	15/03/2017
HOJA	01
TITULO	REDELECTRICA SANTA ROSA, LA VANGUARDIA
ESCALA	1:5000
PROYECTISTA	ING. CARLOS...
REVISOR	ING. CARLOS...
APROBADO	ING. CARLOS...
FECHA DE APROBACION	15/03/2017

Legend

- Subestación
- Transformador
- Línea de Transmisión
- Línea de Distribución
- Cableado



Load Flow Calculation							Edge Elements	
AC Load Flow, balanced, positive sequence				Automatic Model Adaptation for Convergence		No		
Automatic Tap Adjust of Transformers				Max. Acceptable Load Flow Error for Nodes		1.00 kVA		
Consider Reactive Power Limits				Model Equations		0.10 %		
						DIgSILENT PowerFactory 15.1.7	Project:	
							Date: 10/18/2019	
Grid: SE YARADA		System Stage: SE YARADA		Study Case: Base		Annex: / 340		
Name	Type	Loading [%]	Busbar	Active Power [KW]	Reactive Power [kvar]	Power.-factor [-]	Current [kA]	Current [p.u.]
3301	Lod		1815230	20.516	5.984	0.96	0.001	1.551
3302	Lod		10270448	13.001	3.792	0.96	0.001	1.584
3303	Lod		1813405	16.766	4.890	0.96	0.001	1.586
3304	Lod		9649306	4.150	1.210	0.96	0.000	1.589
3307	Lod		9647074	13.876	4.047	0.96	0.001	1.581
3308	Lod		9381649	8.867	2.586	0.96	0.001	1.583
3309	Lod		1813325	16.891	4.926	0.96	0.001	1.586
3310	Lod		9291607	16.998	4.958	0.96	0.001	1.586
3311	Lod		1815885	4.801	1.400	0.96	0.000	1.590
3312	Lod		9801807	15.371	4.483	0.96	0.001	1.591
3313	Lod		8275420	4.575	1.334	0.96	0.000	1.592
3314	Lod		1814915	11.715	3.417	0.96	0.001	1.591
3315	Lod		9585711	15.465	4.511	0.96	0.001	1.592
3316	Lod		9492727	11.486	3.350	0.96	0.001	1.593
3317	Lod		10019570	102.151	25.601	0.97	0.006	1.595
3318	Lod		1817865	15.037	4.386	0.96	0.001	1.595
3319	Lod		10150363	21.369	6.232	0.96	0.001	1.575
3320	Lod		8771611	9.931	2.896	0.96	0.001	1.577
3321	Lod		8806852	3.864	1.127	0.96	0.000	1.578
3451	Lod		1813430	171.523	67.790	0.93	0.010	2.650
3452	Lod		9786036	112.942	44.638	0.93	0.007	2.667
3453	Lod		1817360	139.861	55.277	0.93	0.009	2.674
3454	Lod		1818060	65.539	25.902	0.93	0.004	2.682
3455	Lod		9645468	32.011	12.651	0.93	0.002	2.865
3456	Lod		1813475	25.751	10.177	0.93	0.002	2.924
3458	Lod		1814820	8.138	3.216	0.93	0.001	2.895
3459	Lod		1814245	5.996	2.370	0.93	0.000	2.917
3460	Lod		1814130	33.068	13.069	0.93	0.002	2.921
3461	Lod		9153214	19.835	7.839	0.93	0.001	2.922
3462	Lod		8768118	4.760	1.881	0.93	0.000	2.925
3463	Lod		1813520	23.523	9.297	0.93	0.002	2.927
3464	Lod		1814515	23.359	9.232	0.93	0.002	2.928
3465	Lod		8664927	97.807	38.656	0.93	0.007	2.932
3466	Lod		1813555	15.834	6.258	0.93	0.001	2.926
3467	Lod		10317659	23.388	9.244	0.93	0.002	2.927
3468	Lod		1814035	15.367	6.074	0.93	0.001	2.929
3469	Lod		10317750	12.337	4.876	0.93	0.001	2.928
3470	Lod		10274218	30.516	12.061	0.93	0.002	2.753



Grid: SE YARADA		System Stage: SE YARADA		Study Case: Base			Annex: / 341	
Name	Type	Loading [%]	Busbar	Active Power [kW]	Reactive Power [kvar]	Power - factor [-]	Current [kA]	Current [p.u.]
3471	Lod		1817525	18.124	7.163	0.93	0.001	2.931
3472	Lod		1817520	9.047	3.576	0.93	0.001	2.931
3473	Lod		9141314	3.220	1.273	0.93	0.000	2.924
3474	Lod		1815530	7.801	3.083	0.93	0.001	2.927
3475	Lod		10364116	24.146	9.543	0.93	0.002	2.931
3601	Lod		10219585	50.099	14.612	0.96	0.003	2.024
3602	Lod		1814080	6.873	2.005	0.96	0.000	2.022
3603	Lod		1816915	73.327	21.387	0.96	0.004	2.046
3604	Lod		8767935	4.136	1.206	0.96	0.000	2.046
3605	Lod		1813695	60.261	17.576	0.96	0.004	2.048
3606	Lod		1814520	11.775	3.434	0.96	0.001	2.049
3607	Lod		1814255	11.829	3.450	0.96	0.001	2.049
3608	Lod		1817070	12.546	3.659	0.96	0.001	2.046
3609	Lod		8768097	3.232	0.943	0.96	0.000	2.053
3610	Lod		8389108	33.476	9.764	0.96	0.002	2.051
3611	Lod		1817215	22.960	6.696	0.96	0.001	2.054
3612	Lod		1813815	42.624	12.432	0.96	0.003	2.056
3613	Lod		1818040	14.005	4.085	0.96	0.001	2.057
3614	Lod		9947993	27.820	8.114	0.96	0.002	2.058
3615	Lod		1814155	24.484	7.141	0.96	0.001	2.057
3616	Lod		10002755	19.901	5.804	0.96	0.001	2.059
3617	Lod		1813930	38.881	11.340	0.96	0.002	2.059
3618	Lod		9758764	14.375	4.192	0.96	0.001	2.059
3619	Lod		9758520	14.260	4.159	0.96	0.001	2.059
3620	Lod		1814875	14.140	4.124	0.96	0.001	2.059
3751	Lod		1817915	2.220	0.647	0.96	0.000	2.314
3752	Lod		10003211	9.764	2.848	0.96	0.001	2.319
3753	Lod		1813225	3.167	0.924	0.96	0.000	2.320
3754	Lod		1813230	3.164	0.923	0.96	0.000	2.320
3755	Lod		10280230	11.869	3.462	0.96	0.001	2.323
3756	Lod		10280365	8.503	2.480	0.96	0.000	2.326
3757	Lod		9649729	17.654	5.149	0.96	0.001	2.327
3758	Lod		10018994	2.543	0.742	0.96	0.000	2.330
3759	Lod		8664792	1.424	0.415	0.96	0.000	2.333
3760	Lod		10280444	2.726	0.795	0.96	0.000	2.329
3761	Lod		10280516	5.441	1.587	0.96	0.000	2.329
3762	Lod		9902041	5.416	1.580	0.96	0.000	2.330
3763	Lod		9902269	5.423	1.582	0.96	0.000	2.330
3764	Lod		1813290	2.945	0.859	0.96	0.000	2.324
3765	Lod		1813295	2.943	0.858	0.96	0.000	2.324
3766	Lod		9987255	8.706	2.539	0.96	0.001	2.325
3767	Lod		9151694	4.317	1.259	0.96	0.000	2.325
3768	Lod		1816850	4.322	1.261	0.96	0.000	2.325
3769	Lod		1816855	2.878	0.839	0.96	0.000	2.325
3770	Lod		9888966	4.529	1.321	0.96	0.000	2.335
3771	Lod		9909684	4.564	1.331	0.96	0.000	2.335
3772	Lod		1817400	4.414	1.287	0.96	0.000	2.334
3773	Lod		1817465	4.393	1.281	0.96	0.000	2.334
3774	Lod		1817410	3.265	0.952	0.96	0.000	2.335
3775	Lod		1817460	4.340	1.266	0.96	0.000	2.335
3776	Lod		1817435	4.317	1.259	0.96	0.000	2.335

Grid: SE YARADA		System Stage: SE YARADA		Study Case: Base			Annex: / 342	
Name	Type	Loading [%]	Busbar	Active Power [kW]	Reactive Power [kvar]	Power.-factor [-]	Current [kA]	Current [p.u.]
3777	Lod		1817455	4.304	1.255	0.96	0.000	2.335
3778	Lod		1817440	4.297	1.253	0.96	0.000	2.335
3779	Lod		1817450	4.288	1.251	0.96	0.000	2.335
3780	Lod		1817475	4.476	1.306	0.96	0.000	2.336
3781	Lod		1817470	4.458	1.300	0.96	0.000	2.336
3782	Lod		1817485	4.419	1.289	0.96	0.000	2.337
3783	Lod		1817505	4.397	1.282	0.96	0.000	2.337
3784	Lod		1817495	4.380	1.277	0.96	0.000	2.337
3785	Lod		1817515	2.188	0.638	0.96	0.000	2.337
3851	Lod		9233241	5.305	1.547	0.96	0.000	5.184
3852	Lod		9934493	2.012	0.587	0.96	0.000	5.204
3853	Lod		9759238	4.073	1.188	0.96	0.000	5.278
3854	Lod		9774168	5.439	1.586	0.96	0.000	5.277
3855	Lod		9304061	5.219	1.522	0.96	0.000	5.290
3856	Lod		10019111	6.187	1.804	0.96	0.000	5.235
3857	Lod		1814285	6.067	1.769	0.96	0.000	5.242
3858	Lod		9583153	6.063	1.768	0.96	0.000	5.242
3859	Lod		1815910	6.064	1.769	0.96	0.000	5.242
3860	Lod		9303100	1.727	0.504	0.96	0.000	5.260
3861	Lod		9303093	2.879	0.840	0.96	0.000	5.260
3862	Lod		1815630	4.257	1.241	0.96	0.000	5.265
3863	Lod		1814100	5.666	1.653	0.96	0.000	5.264
3864	Lod		9303597	8.237	2.403	0.96	0.000	5.273
3865	Lod		1815070	2.687	0.784	0.96	0.000	5.281
3866	Lod		1815080	2.673	0.780	0.96	0.000	5.282
3867	Lod		9304248	2.559	0.746	0.96	0.000	5.296
3868	Lod		1814145	1.535	0.448	0.96	0.000	5.296
3869	Lod		10211841	4.741	1.383	0.96	0.000	5.317
3870	Lod		9235103	37.778	11.018	0.96	0.002	5.318
3880	Lod		10310218	1.703	0.497	0.96	0.000	5.390
3881	Lod		10309942	1.707	0.498	0.96	0.000	5.390
3882	Lod		10310534	1.700	0.496	0.96	0.000	5.390
3883	Lod		10310761	1.698	0.495	0.96	0.000	5.390
3884	Lod		10161410	1.226	0.357	0.96	0.000	5.351
3895	Lod		9878686	1.878	0.548	0.96	0.000	5.370
3896	Lod		1817335	1.127	0.329	0.96	0.000	5.370
3897	Lod		1812870	6.764	1.973	0.96	0.000	5.391
3898	Lod		1812865	5.063	1.477	0.96	0.000	5.392
3899	Lod		1817180	5.029	1.467	0.96	0.000	5.392
3900	Lod		1813140	10.618	3.097	0.96	0.001	5.394
3901	Lod		1813135	4.944	1.442	0.96	0.000	5.394
3902	Lod		1816305	6.552	1.911	0.96	0.000	5.395
3903	Lod		1812860	10.463	3.052	0.96	0.001	5.396
3904	Lod		8383028	10.462	3.051	0.96	0.001	5.396
3905	Lod		1813120	6.508	1.898	0.96	0.000	5.396
3906	Lod		1813110	6.484	1.891	0.96	0.000	5.397
3907	Lod		1817285	1.613	0.470	0.96	0.000	5.398
3908	Lod		1813100	4.810	1.403	0.96	0.000	5.398
3909	Lod		1813095	2.394	0.698	0.96	0.000	5.399
3910	Lod		1812845	2.361	0.689	0.96	0.000	5.401
3911	Lod		9933618	1.569	0.458	0.96	0.000	5.401



Grid: SB YARADA		System Stage: SB YARADA		Study Case: Base			Annex: / 343	
Name	Type	Loading [%]	Busbar	Active Power [kW]	Reactive Power [kvar]	Power factor [-]	Current [kA]	Current [p.u.]
3912	Lod		9907369	1.565	0.456	0.96	0.000	5.401
3913	Lod		1813085	0.936	0.273	0.96	0.000	5.402
3914	Lod		1812840	3.102	0.905	0.96	0.000	5.403
3915	Lod		1812835	6.204	1.809	0.96	0.000	5.403
3916	Lod		1814510	3.104	0.905	0.96	0.000	5.403
7850	Lod		1813440	120.200	35.058	0.96	0.007	1.555
7851	Lod		1814170	16.909	4.932	0.96	0.001	1.574
7852	Lod		1813340	68.640	20.020	0.96	0.004	1.575
7853	Lod		1814275	14.453	4.215	0.96	0.001	1.565
7854	Lod		1814250	13.306	3.881	0.96	0.001	1.568
7855	Lod		1817770	17.714	5.166	0.96	0.001	1.583
7856	Lod		1813365 (1)	35.527	10.362	0.96	0.002	1.583
7857	Lod		1813370	70.011	20.419	0.96	0.004	1.584
7858	Lod		1813375	53.307	15.547	0.96	0.003	1.586
7859	Lod		1813380	45.332	13.221	0.96	0.003	1.587
7860	Lod		1816430	4.193	1.223	0.96	0.000	1.588
7861	Lod		1816400	4.169	1.216	0.96	0.000	1.589
7862	Lod		9150843	44.390	12.947	0.96	0.003	1.589
7863	Lod		1813395	55.277	16.122	0.96	0.003	1.589
7864	Lod		1814025	13.793	4.023	0.96	0.001	1.589
7865	Lod		1813400	54.960	16.030	0.96	0.003	1.590
7866	Lod		1813345	88.608	25.843	0.96	0.005	1.583
7867	Lod		1813350	196.560	39.913	0.98	0.012	1.590
7868	Lod		1813360	48.807	14.235	0.96	0.003	1.592
7869	Lod		1814685	11.629	3.392	0.96	0.001	1.592
7870	Lod		1813415	30.762	8.972	0.96	0.002	1.593
7871	Lod		1814840	31.637	9.227	0.96	0.002	1.576
7872	Lod		9151144	15.074	4.397	0.96	0.001	1.595
7873	Lod		7854215	9.900	2.888	0.96	0.001	1.560
7874	Lod		1818160	20.367	5.940	0.96	0.001	1.577
7875	Lod		1813310	81.852	23.873	0.96	0.005	1.577
7876	Lod		1813315	63.480	18.515	0.96	0.004	1.577
7877	Lod		1813320	48.335	14.097	0.96	0.003	1.578
7878	Lod		1813425	378.743	149.689	0.93	0.023	4.145
7879	Lod		9730173	381.377	150.730	0.93	0.023	2.667
7880	Lod		1815955	78.401	30.986	0.93	0.005	2.661
7881	Lod		1813420	534.932	211.418	0.93	0.033	2.680
7882	Lod		1815705	249.922	98.775	0.93	0.015	2.687
7883	Lod		1814030	78.590	31.061	0.93	0.005	2.797
7884	Lod		1813970	12.576	4.970	0.93	0.001	2.846
7885	Lod		1814375	45.881	18.133	0.93	0.003	2.825
7886	Lod		1813445	68.310	26.998	0.93	0.004	2.865
7887	Lod		1814710	18.609	7.355	0.93	0.001	2.846
7888	Lod		1815765	16.005	6.326	0.93	0.001	2.865
7889	Lod		1815455	8.577	3.390	0.93	0.001	2.889
7890	Lod		9326776	60.035	23.727	0.93	0.004	2.690
7891	Lod		1813450	65.496	25.885	0.93	0.004	2.892
7892	Lod		9906118	8.167	3.228	0.93	0.001	2.893
7893	Lod		1814825	8.163	3.226	0.93	0.001	2.893
7894	Lod		1818195	22.759	8.995	0.93	0.002	2.909
7895	Lod		7855021	4.636	1.832	0.93	0.000	2.906

Grid: SB YARADA		System Stage: SB YARADA		Study Case: Base			Annex: / 344	
Name	Type	Loading [%]	Busbar	Active Power [kW]	Reactive Power [kvar]	Power. - factor [-]	Current [kA]	Current [p.u.]
7896	Lod		1813460	47.677	18.843	0.93	0.003	2.911
7897	Lod		1818105	21.157	8.362	0.93	0.001	2.915
7898	Lod		1817875	10.218	4.038	0.93	0.001	2.918
7899	Lod		1815470	6.446	2.548	0.93	0.000	2.924
7901	Lod		1813470	4.871	1.925	0.93	0.000	2.924
7902	Lod		1817690	10.479	4.141	0.93	0.001	2.881
7903	Lod		1813480	15.635	6.179	0.93	0.001	2.894
7904	Lod		1817570	6.228	2.461	0.93	0.000	2.894
7905	Lod		9760627	9.581	3.787	0.93	0.001	2.890
7906	Lod		1813490	15.342	6.064	0.93	0.001	2.895
7907	Lod		1815735	3.050	1.206	0.93	0.000	2.896
7908	Lod		1815675	4.408	1.742	0.93	0.000	2.899
7909	Lod		1813500	6.873	2.717	0.93	0.000	2.917
7910	Lod		1813510	11.947	4.722	0.93	0.001	2.914
7911	Lod		1815745	2.388	0.944	0.93	0.000	2.914
7912	Lod		1814150	4.620	1.826	0.93	0.000	2.923
7913	Lod		1814280	0.838	0.331	0.93	0.000	2.926
7914	Lod		1813540	8.954	3.539	0.93	0.001	2.926
7915	Lod		1813525	2.968	1.173	0.93	0.000	2.927
7916	Lod		1814995	2.872	1.135	0.93	0.000	2.931
7917	Lod		1814635	2.865	1.132	0.93	0.000	2.931
7919	Lod		1814835	2.858	1.129	0.93	0.000	2.931
7920	Lod		1813545	12.089	4.778	0.93	0.001	2.925
7921	Lod		1813570	11.664	4.610	0.93	0.001	2.929
7922	Lod		8802147	26.775	10.582	0.93	0.002	2.739
7923	Lod		1814975	23.804	9.408	0.93	0.001	2.750
7924	Lod		8802260	23.151	9.150	0.93	0.001	2.753
7925	Lod		1814980	42.691	16.872	0.93	0.003	2.783
7926	Lod		9914812	31.656	12.511	0.93	0.002	2.787
7927	Lod		9914942	49.187	19.440	0.93	0.003	2.788
7928	Lod		9915109	48.153	19.031	0.93	0.003	2.790
7929	Lod		1814265	8.066	3.188	0.93	0.001	2.832
7930	Lod		7777335	7.391	2.921	0.93	0.000	2.922
7931	Lod		1815260	3.134	1.239	0.93	0.000	2.922
7932	Lod		1817935	2.082	0.823	0.93	0.000	2.922
7933	Lod		1815255	8.256	3.263	0.93	0.001	2.922
7934	Lod		1816860	1.228	0.485	0.93	0.000	2.923
7935	Lod		1816870	2.038	0.806	0.93	0.000	2.923
7936	Lod		1816875	2.028	0.802	0.93	0.000	2.923
7937	Lod		1816885	1.215	0.480	0.93	0.000	2.923
7938	Lod		7777027	4.141	1.637	0.93	0.000	2.922
7939	Lod		1815265	3.110	1.229	0.93	0.000	2.922
7940	Lod		8578917	10.358	4.094	0.93	0.001	2.804
7941	Lod		8578940	13.571	5.363	0.93	0.001	2.805
7942	Lod		8579057	10.025	3.962	0.93	0.001	2.806
7943	Lod		8579070	20.021	7.913	0.93	0.001	2.806
7944	Lod		8793700	10.030	3.964	0.93	0.001	2.806
7945	Lod		8578963	10.114	3.997	0.93	0.001	2.805
7946	Lod		8578986	10.071	3.980	0.93	0.001	2.806
7947	Lod		8794004	10.055	3.974	0.93	0.001	2.806
7948	Lod		1815205	43.384	17.146	0.93	0.003	2.805



Grid: SB YARADA		System Stage: SB YARADA		Study Case: Base			Annex: / 345	
Name	Type	Loading [%]	Busbar	Active Power [kW]	Reactive Power [kvar]	Power factor [-]	Current [kA]	Current [p.u.]
7949	Lod		9875948	6.943	2.744	0.93	0.000	2.849
7950	Lod		9875798	6.919	2.735	0.93	0.000	2.849
7951	Lod		9581843	12.826	5.069	0.93	0.001	2.858
7952	Lod		1816290	2.853	1.128	0.93	0.000	2.931
7953	Lod		9904767	18.157	7.176	0.93	0.001	2.910
7954	Lod		9584842	7.813	3.088	0.93	0.001	2.917
7955	Lod		9609352	9.714	3.839	0.93	0.001	2.921
7956	Lod		9640234	2.425	0.958	0.93	0.000	2.921
7957	Lod		9606616	2.434	0.962	0.93	0.000	2.921
7958	Lod		9640851	2.409	0.952	0.93	0.000	2.921
7959	Lod		9641461	2.392	0.945	0.93	0.000	2.921
7960	Lod		9641930	2.376	0.939	0.93	0.000	2.922
7961	Lod		9642825	2.375	0.939	0.93	0.000	2.922
7962	Lod		9642382	2.375	0.939	0.93	0.000	2.922
7963	Lod		8392232	2.290	0.905	0.93	0.000	2.931
7964	Lod		1815135	18.243	7.210	0.93	0.001	2.896
7965	Lod		1817685	3.048	1.205	0.93	0.000	2.924
7966	Lod		1815515	4.573	1.807	0.93	0.000	2.924
7967	Lod		1815545	2.269	0.897	0.93	0.000	2.917
7968	Lod		1815540	2.958	1.169	0.93	0.000	2.927
7969	Lod		1813950	99.130	28.912	0.96	0.006	1.973
7970	Lod		1814065	13.895	4.053	0.96	0.001	2.015
7971	Lod		1815250	6.973	2.034	0.96	0.000	2.024
7972	Lod		1813580	92.712	27.040	0.96	0.006	2.024
7973	Lod		10117905	11.587	3.380	0.96	0.001	2.024
7974	Lod		1813590	37.403	10.909	0.96	0.002	2.023
7975	Lod		1817870	46.776	13.643	0.96	0.003	2.023
7976	Lod		1813595	47.065	13.727	0.96	0.003	2.023
7977	Lod		1813625	23.041	6.720	0.96	0.001	2.024
7978	Lod		1813940	39.908	11.639	0.96	0.002	2.031
7979	Lod		10020068	17.171	5.008	0.96	0.001	2.039
7980	Lod		1813640	34.036	9.927	0.96	0.002	2.039
7981	Lod		8274411	5.224	1.524	0.96	0.000	2.040
7982	Lod		8277744	5.200	1.517	0.96	0.000	2.041
7983	Lod		1813660	34.221	9.981	0.96	0.002	2.043
7984	Lod		1815150	8.562	2.497	0.96	0.001	2.043
7985	Lod		1816200	8.526	2.487	0.96	0.001	2.044
7986	Lod		1813665	17.033	4.968	0.96	0.001	2.044
7987	Lod		1813675	10.171	2.967	0.96	0.001	2.045
7988	Lod		1814950	7.689	2.243	0.96	0.000	2.043
7989	Lod		1813735	36.422	10.623	0.96	0.002	2.045
7990	Lod		1813685	21.379	6.235	0.96	0.001	2.047
7991	Lod		1813705	21.971	6.408	0.96	0.001	2.049
7992	Lod		8380709	6.829	1.992	0.96	0.000	2.049
7993	Lod		1813710	13.623	3.973	0.96	0.001	2.050
7994	Lod		1813715	20.391	5.947	0.96	0.001	2.050
7995	Lod		1813725	33.365	9.731	0.96	0.002	2.050
7996	Lod		1813730	21.285	6.208	0.96	0.001	2.051
7997	Lod		1813680	14.520	4.235	0.96	0.001	2.046
7998	Lod		1813745	18.741	5.466	0.96	0.001	2.050
7999	Lod		1813755	12.439	3.628	0.96	0.001	2.050

Grid: SE YARADA		System Stage: SE YARADA		Study Case: Base			Annex: / 346	
Name	Type	Loading [%]	Busbar	Active Power [kW]	Reactive Power [kvar]	Power - factor [-]	Current [kA]	Current [p.u.]
8000	Lod		1813765	6.858	2.000	0.96	0.000	2.052
8001	Lod		8792032	10.998	3.208	0.96	0.001	2.054
8002	Lod		1814105	11.043	3.221	0.96	0.001	2.054
8003	Lod		1814160	10.974	3.201	0.96	0.001	2.054
8004	Lod		1813770	10.862	3.168	0.96	0.001	2.055
8005	Lod		1813775	6.502	1.896	0.96	0.000	2.055
8006	Lod		1813785	16.167	4.715	0.96	0.001	2.055
8007	Lod		1813790	8.073	2.354	0.96	0.000	2.055
8008	Lod		1813805	11.590	3.380	0.96	0.001	2.051
8009	Lod		1814900	4.949	1.443	0.96	0.000	2.056
8010	Lod		1813810	3.957	1.154	0.96	0.000	2.056
8011	Lod		1813825	7.328	2.137	0.96	0.000	2.057
8012	Lod		1814955	7.327	2.137	0.96	0.000	2.057
8013	Lod		1817345	2.924	0.853	0.96	0.000	2.057
8014	Lod		1813840	7.259	2.117	0.96	0.000	2.058
8015	Lod		1815695	4.851	1.415	0.96	0.000	2.057
8016	Lod		8360672	7.252	2.115	0.96	0.000	2.057
8017	Lod		1813850	1.978	0.577	0.96	0.000	2.056
8018	Lod		1813845	3.957	1.154	0.96	0.000	2.056
8019	Lod		1813855	7.354	2.145	0.96	0.000	2.056
8020	Lod		1815915	2.801	0.817	0.96	0.000	2.056
8021	Lod		1813865	3.665	1.069	0.96	0.000	2.056
8022	Lod		1813875	8.760	2.555	0.96	0.001	2.057
8023	Lod		1813880	6.395	1.865	0.96	0.000	2.057
8024	Lod		9539003	4.259	1.242	0.96	0.000	2.057
8025	Lod		1813890	6.352	1.853	0.96	0.000	2.057
8026	Lod		1813900	3.347	0.976	0.96	0.000	2.057
8027	Lod		8378393	7.987	2.329	0.96	0.000	2.057
8028	Lod		1813905	3.326	0.970	0.96	0.000	2.057
8029	Lod		1816350	5.923	1.727	0.96	0.000	2.057
8030	Lod		1814880	7.702	2.246	0.96	0.000	2.057
8031	Lod		1814970	3.674	1.072	0.96	0.000	2.058
8032	Lod		1815890	10.615	3.096	0.96	0.001	2.059
8033	Lod		1813915	7.068	2.061	0.96	0.000	2.059
8034	Lod		1814860	4.130	1.204	0.96	0.000	2.059
8035	Lod		1815680	3.421	0.998	0.96	0.000	2.059
8036	Lod		1814085	3.450	1.006	0.96	0.000	2.059
8037	Lod		1814450	3.331	0.972	0.96	0.000	2.059
8038	Lod		1814865	5.044	1.471	0.96	0.000	2.059
8039	Lod		1813935	3.366	0.982	0.96	0.000	2.059
8040	Lod		9758574	3.314	0.967	0.96	0.000	2.059
8041	Lod		1815285	3.274	0.955	0.96	0.000	2.059
8042	Lod		1815290	3.243	0.946	0.96	0.000	2.059
8043	Lod		1815270	3.235	0.944	0.96	0.000	2.060
8044	Lod		1815275	4.839	1.411	0.96	0.000	2.060
8045	Lod		1815715	3.222	0.940	0.96	0.000	2.060
8046	Lod		1815280	4.852	1.415	0.96	0.000	2.060
8047	Lod		1816025	3.415	0.996	0.96	0.000	2.060
8048	Lod		1816250	3.410	0.995	0.96	0.000	2.060
8049	Lod		1816255	3.408	0.994	0.96	0.000	2.060
8050	Lod		9943270	17.610	5.136	0.96	0.001	5.391

Grid: SE YARADA		System Stage: SE YARADA		Study Case: Base			Annex: / 347	
Name	Type	Loading [%]	Busbar	Active Power [kW]	Reactive Power [kvar]	Power factor [-]	Current [kA]	Current [p.u.]
8051	Lod		10077078	36.717	10.709	0.96	0.002	5.386
8052	Lod		10232313	36.681	10.698	0.96	0.002	5.386
8053	Lod		9208462	59.022	17.215	0.96	0.003	5.183
8054	Lod		1813605	45.548	13.285	0.96	0.003	5.255
8055	Lod		9933238	45.492	13.268	0.96	0.003	5.256
8056	Lod		1813610	30.328	8.846	0.96	0.002	5.256
8057	Lod		9933260	9.097	2.653	0.96	0.001	5.256
8058	Lod		1813615	61.642	17.979	0.96	0.004	5.252
8059	Lod		1813985	23.123	6.744	0.96	0.001	5.252
8060	Lod		9758274	42.290	12.334	0.96	0.003	5.278
8061	Lod		9209260	56.444	16.463	0.96	0.003	5.277
8062	Lod		9304213	19.996	5.832	0.96	0.001	5.295
8063	Lod		9157955	42.441	12.378	0.96	0.003	5.296
8064	Lod		1814115	8.041	2.345	0.96	0.000	5.293
8065	Lod		9867724	63.003	18.375	0.96	0.004	5.243
8066	Lod		1817695	62.952	18.361	0.96	0.004	5.244
8067	Lod		9302780	15.462	4.510	0.96	0.001	5.249
8068	Lod		9302953	24.297	7.086	0.96	0.001	5.255
8069	Lod		10059588	58.715	17.125	0.96	0.003	5.267
8070	Lod		1813955	14.702	4.288	0.96	0.001	5.264
8071	Lod		9303344	14.624	4.265	0.96	0.001	5.265
8072	Lod		1814005	79.073	23.062	0.96	0.005	5.321
8073	Lod		9304853	24.869	7.253	0.96	0.001	5.315
8074	Lod		1816345	18.434	5.377	0.96	0.001	5.318
8075	Lod		1818125	18.419	5.372	0.96	0.001	5.319
8076	Lod		1813215	98.702	28.788	0.96	0.006	2.319
8077	Lod		1816060	54.813	15.987	0.96	0.003	2.327
8078	Lod		1815740	12.536	3.656	0.96	0.001	2.329
8079	Lod		1814010	41.655	12.149	0.96	0.002	2.329
8080	Lod		1813245	47.952	13.986	0.96	0.003	2.332
8081	Lod		1815085	7.272	2.121	0.96	0.000	2.333
8082	Lod		1817900	7.310	2.132	0.96	0.000	2.333
8083	Lod		1817040	22.439	6.545	0.96	0.001	2.332
8084	Lod		1813265	44.824	13.073	0.96	0.003	2.335
8085	Lod		7777155	5.739	1.674	0.96	0.000	2.334
8086	Lod		1813250	22.808	6.652	0.96	0.001	2.334
8087	Lod		1813255	22.183	6.470	0.96	0.001	2.336
8088	Lod		1817115	8.386	2.446	0.96	0.000	2.328
8089	Lod		1813270	53.379	15.569	0.96	0.003	2.329
8090	Lod		1813280	90.276	26.330	0.96	0.005	2.324
8091	Lod		1814855	57.436	16.752	0.96	0.003	2.324
8092	Lod		1813300	71.009	20.711	0.96	0.004	2.325
8093	Lod		1817930	27.686	8.075	0.96	0.002	2.335
ROCIO QUENTA(1)	Lod		Terminal(1)	227.915	90.078	0.93	0.444	3.088
S.B. N°16	Lod		Terminal(5)	45.509	9.241	0.98	0.003	2.330
S.B. N°17	Lod		Terminal(4)	40.630	8.250	0.98	0.002	2.330
S.B. N°12	Lod		Terminal(2)	112.979	22.941	0.98	0.007	2.049
S.B. N°13	Lod		Terminal(3)	111.476	22.636	0.98	0.007	2.049
S.B. N°14	Lod		Terminal(6)	104.403	21.200	0.98	0.006	1.595
Shunt/Filter	Shnt		9647095	0.000	-274.181	0.00	0.016	0.956
Shunt/Filter(1)	Shnt		2789571	0.000	-136.390	0.00	0.008	0.954