



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO ELÉCTROMECAÁNICO

TEMA:

*“CRITERIOS DE PROPUESTA PARA IMPLEMENTACIÓN DE COMPENSACIÓN
REACTIVA EN LA RED DE SUBTRANSMISIÓN A 69 KV DE LA EMPRESA ELÉCTRICA
PROVINCIAL COTOPAXI (ELEPCO S.A.)”*

AUTOR:

CEVALLOS GUACAPIÑA, MICHAEL ESTEBAN

DIRECTOR: IMSC. FREIRE LLERENA, WASHINGTON

LATACUNGA 2022



- 1. INTRODUCCIÓN**
- 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**
- 3. OBJETIVOS**
- 4. MARCO TEÓRICO**
- 5. METODOLOGÍA Y PROCESAMIENTO DE DATOS**
- 6. ANÁLISIS DE RESULTADOS**
- 7. PROPUESTA**
- 8. CONCLUSIONES**
- 9. RECOMENDACIONES**

La compensación reactiva y las empresas distribuidoras

Criterios y tratamiento de la compensación reactiva en el ámbito internacional

Mejoramiento del factor de potencia

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

- En ocasiones las prácticas nacionales e internacionales tratan a la compensación reactiva de una manera que se centran en un área de servicio en particular, delegando este tipo de trabajo a las empresas de distribución de energía eléctrica. A su vez, estas tienen como labor el tomar en cuenta la planificación y expansión del sistema, donde la compensación reactiva es considerada como un aspecto muy importante y crucial para planificar las redes que estén dentro de los rangos de confiabilidad aceptados.
- Un bajo nivel y a su vez un déficit no compensado de potencia reactiva en la red, visto desde un punto de generación, disminuye la capacidad de transmisión de potencia activa por las redes, aumentando las pérdidas en las líneas de transmisión provocado caídas de voltaje, donde la calidad de servicio eléctrico se ve afectado.
- Todos estos fenómenos ayudan a crear normativas para penalizar el consumo excesivo de potencia reactiva, en Ecuador esto se conoce como cargo por bajo factor de potencia. Para evitar esto, las empresas distribuidoras optan por la implementación de bancos de condensadores para no ser penalizados y disminuir los recargos económicos para la empresa.

- **Objetivo general**

Desarrollar una metodología de análisis con el fin de obtener un criterio de compensación de reactivos en la red de Subtransmisión de la EMPRESA ELECTRICA PROVINCIAL COTOPAXI S.A. (ELEPCO S.A.), y de este modo cumplir con los requerimientos específicos de consumo y las topologías del sistema a 69 kV.

- **Objetivos específicos**

Analizar la teoría de sistemas eléctricos de potencia e identificar los conceptos aplicables a los sistemas de Subtransmisión.

Analizar los datos históricos del sistema a 69 kV de ELEPCO S.A.

Analizar el sistema de Subtransmisión de 69 kV de ELEPCO S.A. en estado estable modelado en el software PowerFactory DigSILENT.

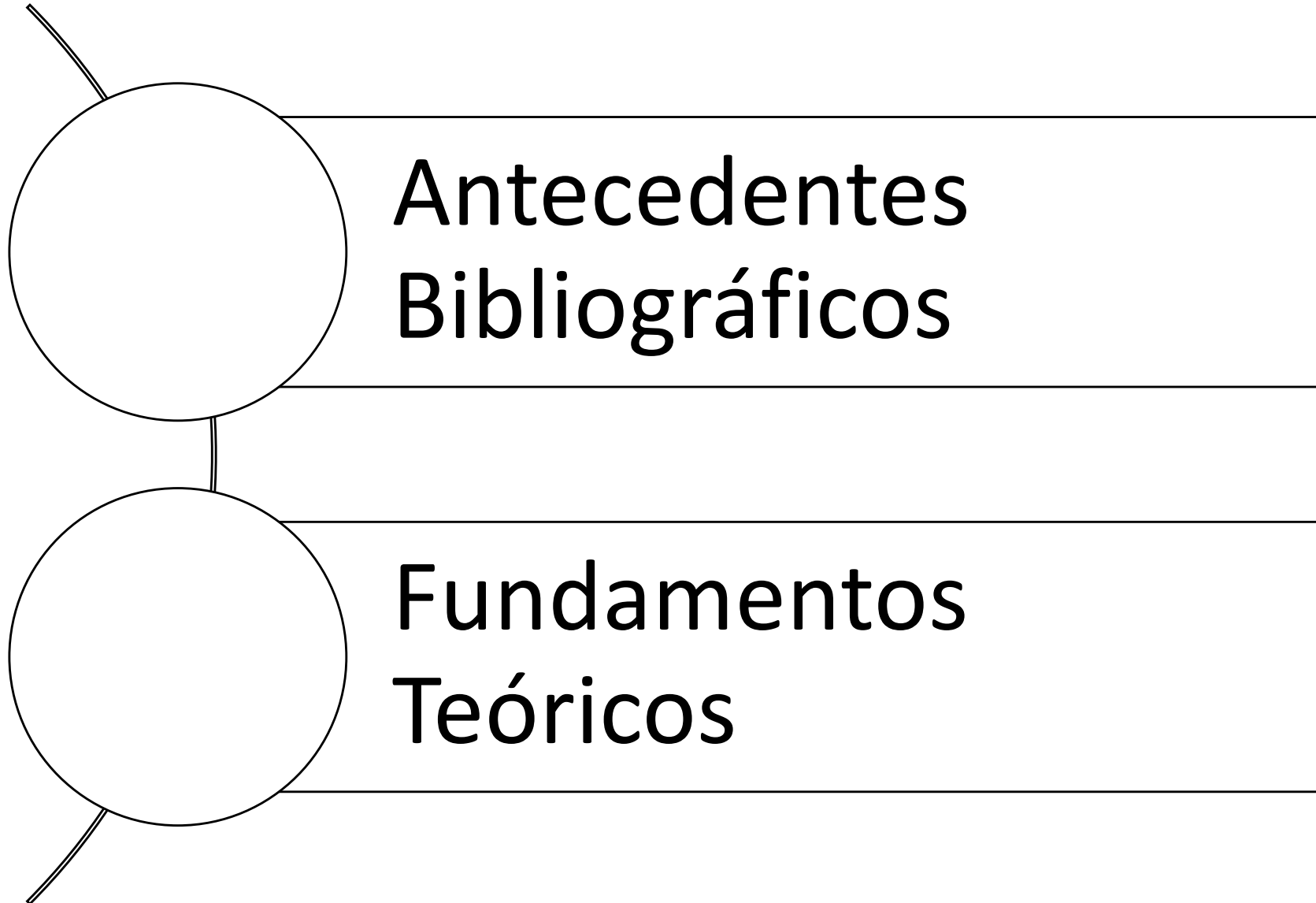
Analizar las prácticas internacionales para el control de reactivos en sistemas de Subtransmisión.

Analizar el marco regulatorio y normativo ecuatoriano, en relación con la compensación de reactivos en sistemas de Subtransmisión, niveles operativos y factor de potencia admisible para las empresas distribuidoras.

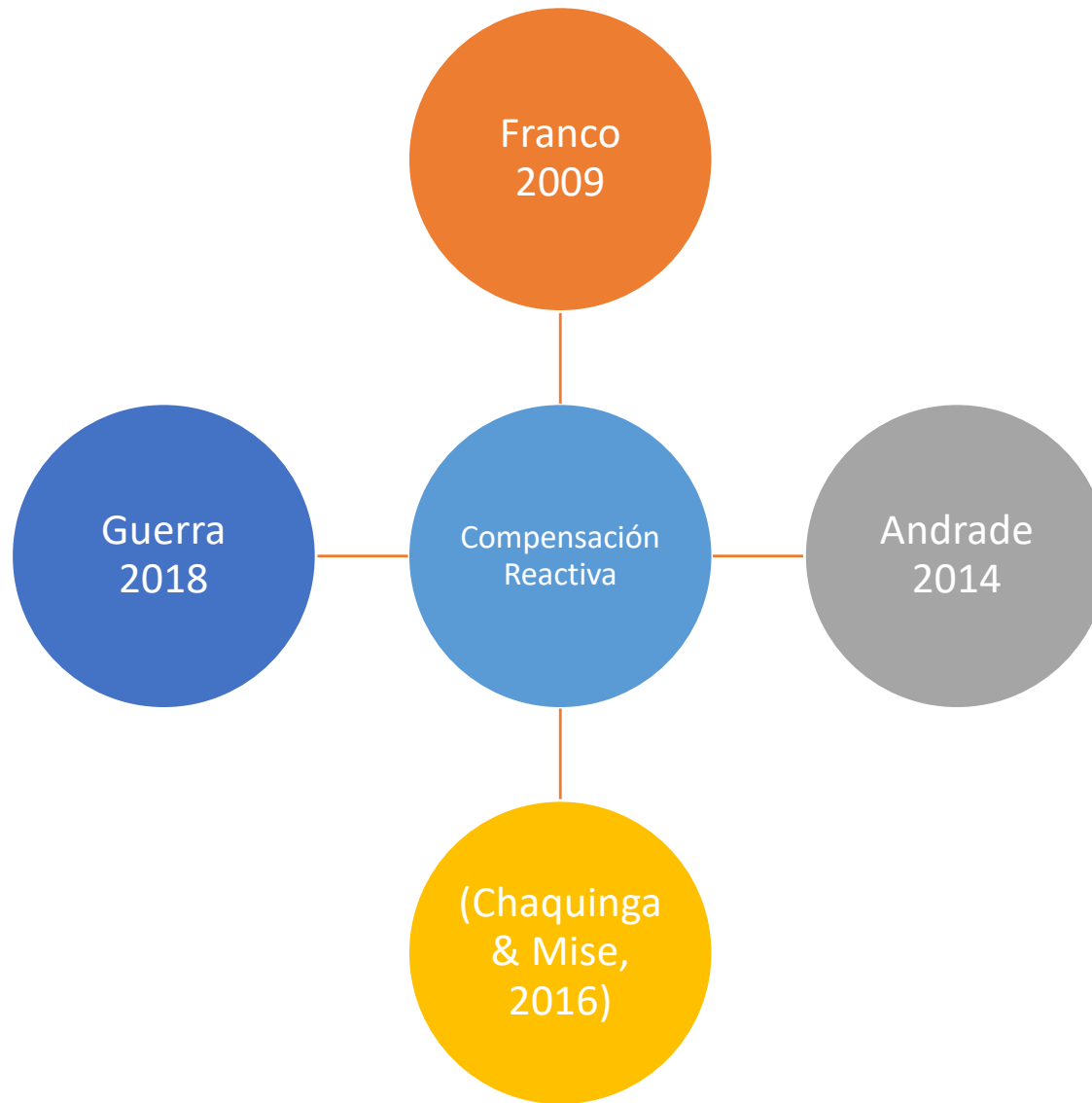
Realizar una propuesta basado en los criterios internacionales tomando en cuenta la topología y datos del sistema a 69 kV de ELEPCO S.A.

Aplicar el criterio de compensación en un sistema de Subtransmisión zonal seleccionado (S/E Mulaló ,S/E Lasso ,S/E Salcedo) y generar una propuesta de compensación en la misma.

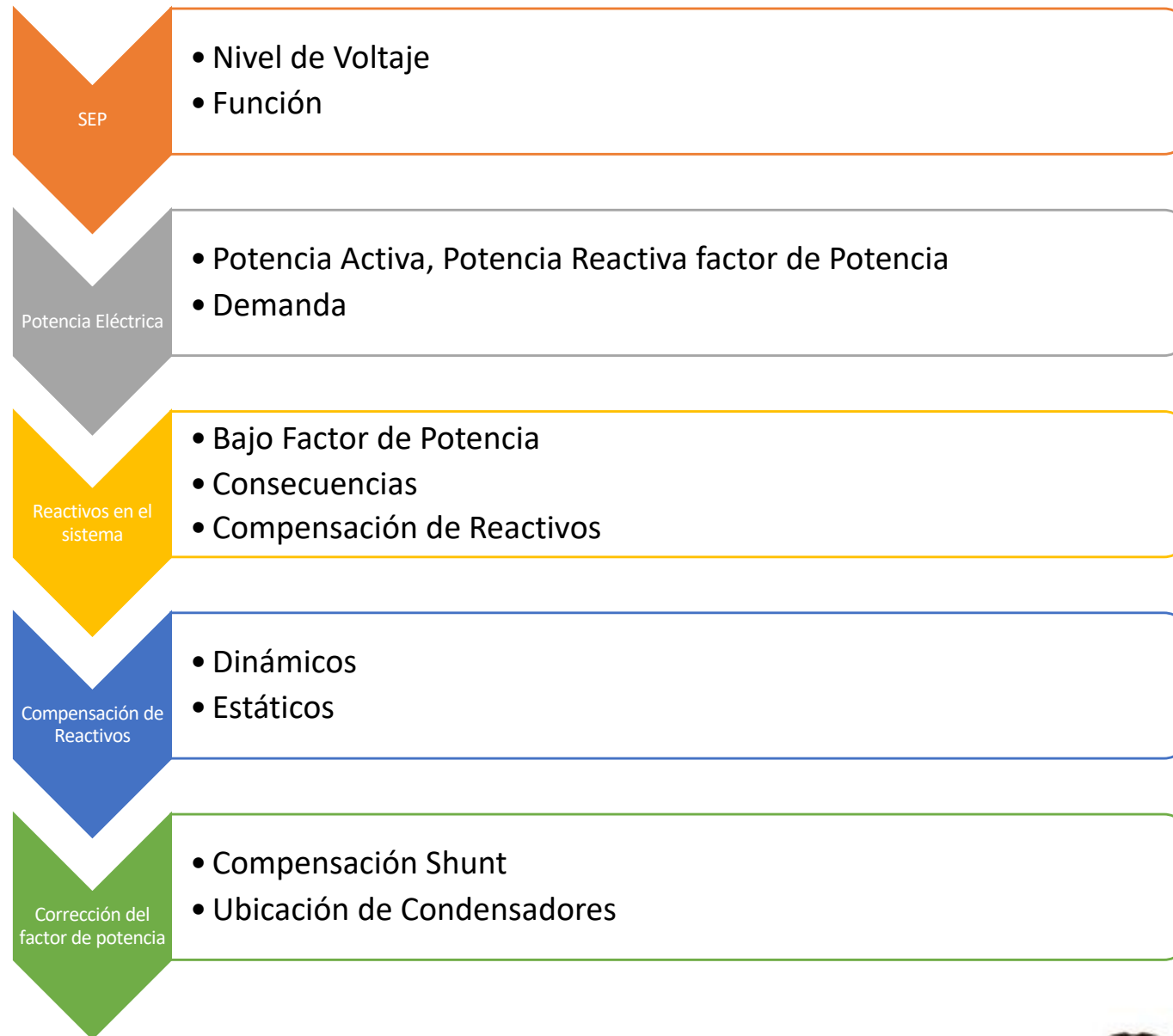
Validar la propuesta de compensación mediante el software PowerFactory DigSILENT de simulación.



Antecedentes Bibliográficos



Fundamentos teóricos



Normativas Regulatorias Ecuatorianas

- ACERNNNR 002/20
- CONELEC 003/08

Criterios de compensación de reactivos en EE.UU.

- NERC
- ISO NEW ENGLAND
- EKPC
- SRP

Investigación
Bibliográfica



Experimental



Comparativo
Descriptivo

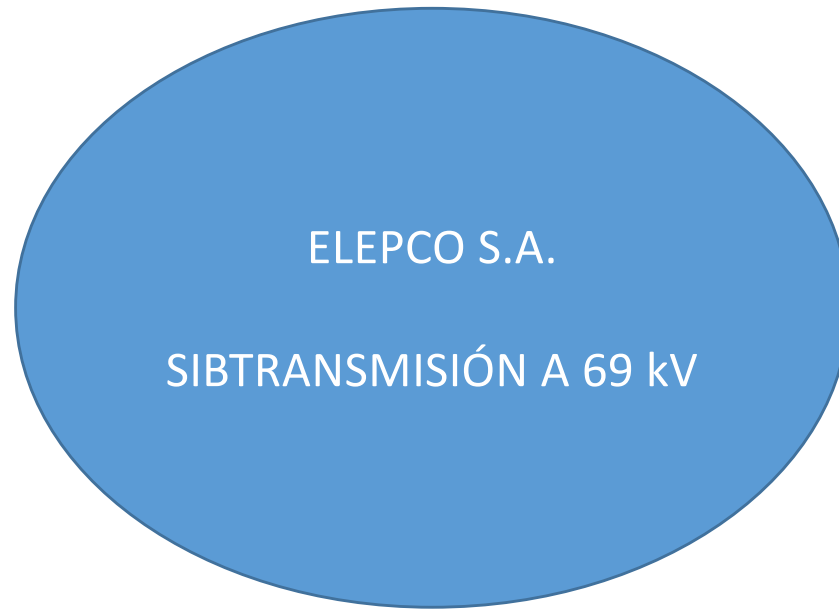


Predictivo

Hipótesis

La investigación se centra en **experimental**, por lo que se debe comprobar la hipótesis en base a realización de un modelo

PROCESAMIENTO DE DATOS



SISTEMA AMBATO

SISTEMA MULALÓ

SISTEMA LA MANÁ

DEMANDAS DEL SISTEMA A 69 kV AÑO 2019

| Demanda de las subestaciones por alimentador | | | | |
|--|----------------|-------|----------------|-------|
| S/E | Demanda Máxima | | Demanda Mínima | |
| | MW | MVAr | MW | MVAr |
| FAIRIS | 1.551 | 0.605 | 0.537 | 0.024 |
| SALCEDO_A1 | 3.753 | 0.901 | 1.825 | 0.566 |
| SALCEDO_A2 | 2.089 | 0.353 | 0.987 | 0.332 |
| SALCEDO_A3 | 3.370 | 0.645 | 1.852 | 0.608 |
| SALCEDO_A4 | 1.530 | 0.323 | 0.864 | 0.193 |
| HOLCIM | 4.500 | 1.500 | 4.500 | 1.500 |

SISTEMA AMBATO

| Demanda de las subestaciones por alimentador | | | | |
|--|----------------|-------|----------------|-------|
| S/E | Demanda Máxima | | Demanda Mínima | |
| | MW | MVAr | MW | MVAr |
| SIGCHOS_A1 | 0.814 | 0.058 | 0.335 | 0.038 |
| SIGCHOS_A2 | 0.157 | 0.008 | 0.092 | 0.006 |
| LASSO_A1 | 2.389 | 0.578 | 1.324 | 0.246 |
| LASSO_A2 | 1.791 | 0.280 | 0.886 | 0.184 |
| LASSO_A3 | 1.654 | 0.422 | 1.311 | 0.408 |
| LASSO_A4 | 1.195 | 0.410 | 0.528 | 0.086 |
| LASSO_A5 | 4.300 | 1.300 | 4.300 | 1.300 |
| S/E FAMILIA | 5.470 | 1.798 | 5.470 | 1.798 |
| MULALO_A1 | 1.686 | 0.217 | 1.068 | 0.200 |
| MULALO_A2 | 3.376 | 0.751 | 1.795 | 0.541 |
| MULALO_A4 | 2.480 | 0.791 | 2.135 | 0.633 |
| LA COCHA_A1 | 1.263 | 0.042 | 0.629 | 0.005 |
| LA COCHA_A3 | 1.215 | 0.308 | 0.466 | 0.243 |
| LA COCHA_A4 | 0.224 | 0.011 | 0.119 | 0.005 |
| LA COCHA_A5 | 2.702 | 0.345 | 1.289 | 0.253 |
| EL CALVARIO_A1 | 1.366 | 0.303 | 0.771 | 0.272 |
| EL CALVARIO_A2 | 1.664 | 0.211 | 0.481 | 0.136 |
| EL CALVARIO_A3 | 1.055 | 0.263 | 0.657 | 0.163 |
| EL CALVARIO_A4 | 2.316 | 0.535 | 1.280 | 0.468 |
| SAN RAFAEL_A1 | 3.170 | 0.672 | 1.952 | 0.613 |
| SAN RAFAEL_A2 | 1.953 | 0.389 | 1.257 | 0.593 |
| SAN RAFAEL_A3 | 2.838 | 0.640 | 1.763 | 0.515 |
| PUJILÍ_A12 | 2.610 | 0.451 | 1.210 | 0.083 |
| PUJILÍ_A23 | 1.287 | 0.184 | 0.624 | 0.124 |
| S/E CRS | 2.500 | 0.822 | 0.750 | 0.247 |

SISTEMA MULALÓ

| Demanda de las subestaciones por alimentador | | | | |
|--|----------------|-------|----------------|-------|
| S/E | Demanda Máxima | | Demanda Mínima | |
| | MW | MVAr | MW | MVAr |
| LA MANÁ_A1 | 1.517 | 0.688 | 0.683 | 0.497 |
| LA MANÁ_A2 | 2.078 | 1.128 | 0.896 | 1.062 |
| LA MANÁ_A3 | 2.581 | 0.637 | 1.412 | 0.460 |
| LA MANÁ_A4 | 1.267 | 0.536 | 0.699 | 0.368 |

SISTEMA LA MANÁ

VOLTAJES p.u. EN BARRAS DEL SISTEMA 69 kV

SISTEMA AMBATO

| Barra | Voltajes en Barras (pu) | | | |
|---------|-------------------------|--------|----------------|--------|
| | Demanda Máxima | | Demanda Mínima | |
| | V [kV] | V [pu] | V [kV] | V [pu] |
| Fairis | 68.233 | 0.989 | 68.366 | 0.991 |
| Salcedo | 67.527 | 0.978 | 67.890 | 0.984 |
| Holcim | 67.248 | 0.975 | 67.613 | 0.979 |

SISTEMA MULALÓ

| Barra | Voltajes en Barras (pu) | | | |
|---------------------|-------------------------|--------|----------------|--------|
| | Demanda Máxima | | Demanda Mínima | |
| | V [kV] | V [pu] | V [kV] | V [pu] |
| Sigchos 69 kV | 69.3622 | 1.0052 | 68.6951 | 0.9956 |
| Lasso 69 kV | 69.4086 | 1.0059 | 68.6578 | 0.9950 |
| Familia 69 kV | 69.4791 | 1.0069 | 68.7011 | 0.9957 |
| Mulalo 69 kV | 69.8280 | 1.0120 | 69.0000 | 1.0000 |
| Laigua 69 kV | 69.0468 | 1.0007 | 68.7030 | 0.9957 |
| La Cocha 69 kV | 68.8978 | 0.9985 | 68.7086 | 0.9958 |
| San Rafael 69 kV | 68.3703 | 0.9909 | 68.3224 | 0.9902 |
| Pujilí 69 kV | 68.2330 | 0.9889 | 68.2584 | 0.9893 |
| C.R.S. 69 kV | 68.6887 | 0.9955 | 68.5227 | 0.9931 |
| La Cocha 13.8 kV | 13.7132 | 0.9937 | 13.7087 | 0.9934 |
| El Calvario 13.8 kV | 13.7312 | 0.9950 | 13.9374 | 1.0100 |
| El Calvario 23 kV | 23.3138 | 1.0136 | 23.6535 | 1.0284 |
| Illuchi 2 13.8 kV | 14.2235 | 1.0307 | 14.4250 | 1.0453 |
| Illuchi 1 24 kV | 24.3330 | 1.0139 | 24.6602 | 1.0275 |

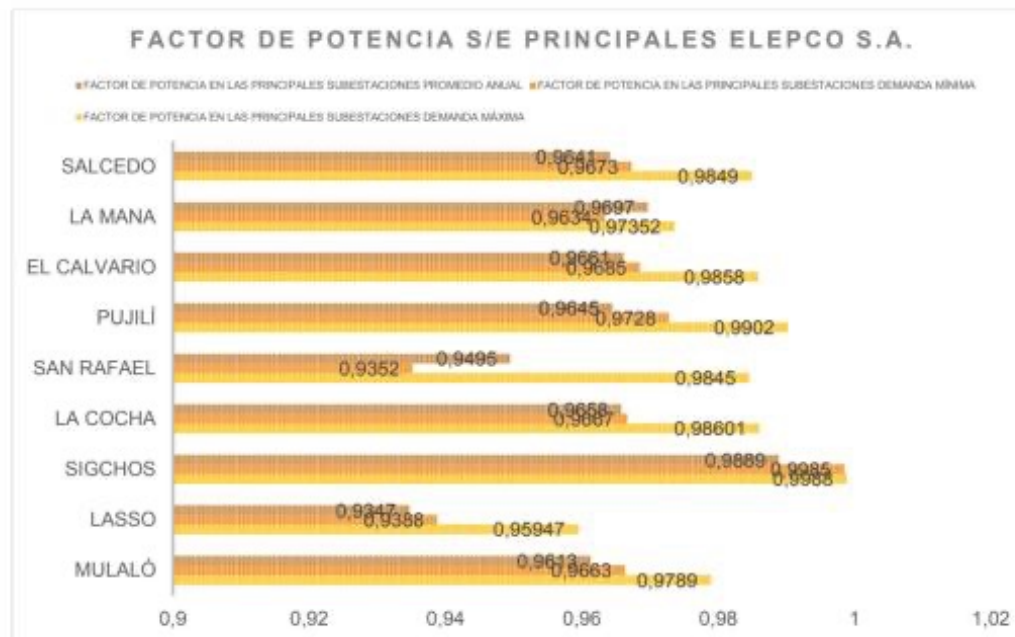
SISTEMA LA MANÁ

| Barra | Voltajes en Barras (pu) | | | |
|-------------------|-------------------------|--------|----------------|--------|
| | Demanda Máxima | | Demanda Mínima | |
| | V [kV] | V [pu] | V [kV] | V [pu] |
| Quevedo 69 kV | 68.9310 | 0.9990 | 69.0000 | 1.0000 |
| Calope 69 kV | 70.1334 | 1.0164 | 70.5436 | 1.0224 |
| La Maná 69 kV | 69.9942 | 1.0144 | 70.4656 | 1.0212 |
| La Maná 13.8 kV | 13.8251 | 1.0018 | 13.9565 | 1.0113 |
| Catazacón 13.8 kV | 12.8092 | 0.9282 | 13.6848 | 0.9917 |
| El Estado 13.8 kV | 13.4484 | 0.9745 | 13.7307 | 0.9950 |

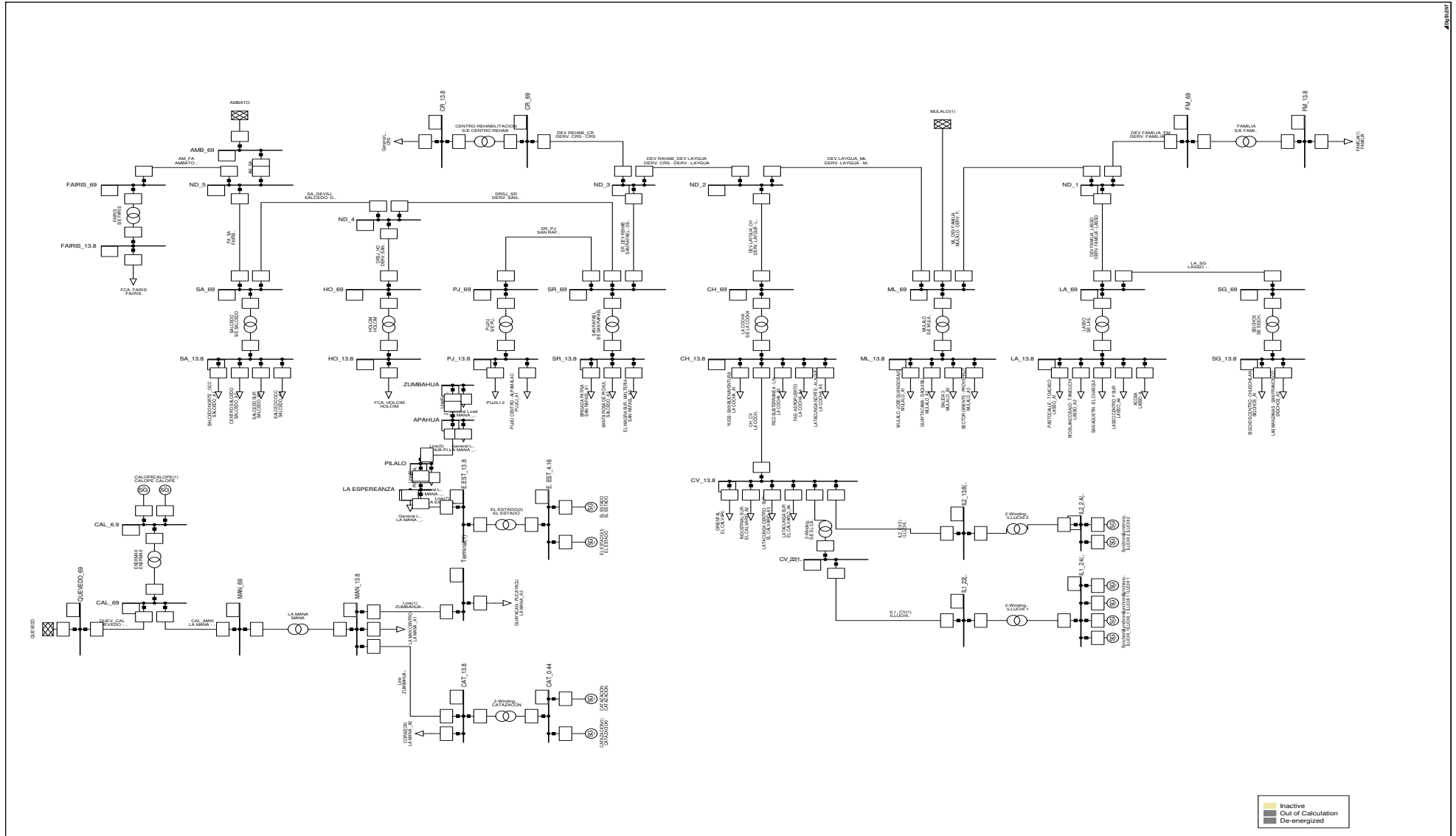
FACTOR DE POTENCIA EN LAS PRINCIPALES S/E A 69 kV

| Factor de potencia de las principales subestaciones | | | |
|---|----------------|----------------|----------------|
| S/E | Demanda máxima | Demanda mínima | Promedio anual |
| Mulaló | 0,9789 | 0,9663 | 0,9613 |
| Lasso | 0,95947 | 0,9388 | 0,9347 |

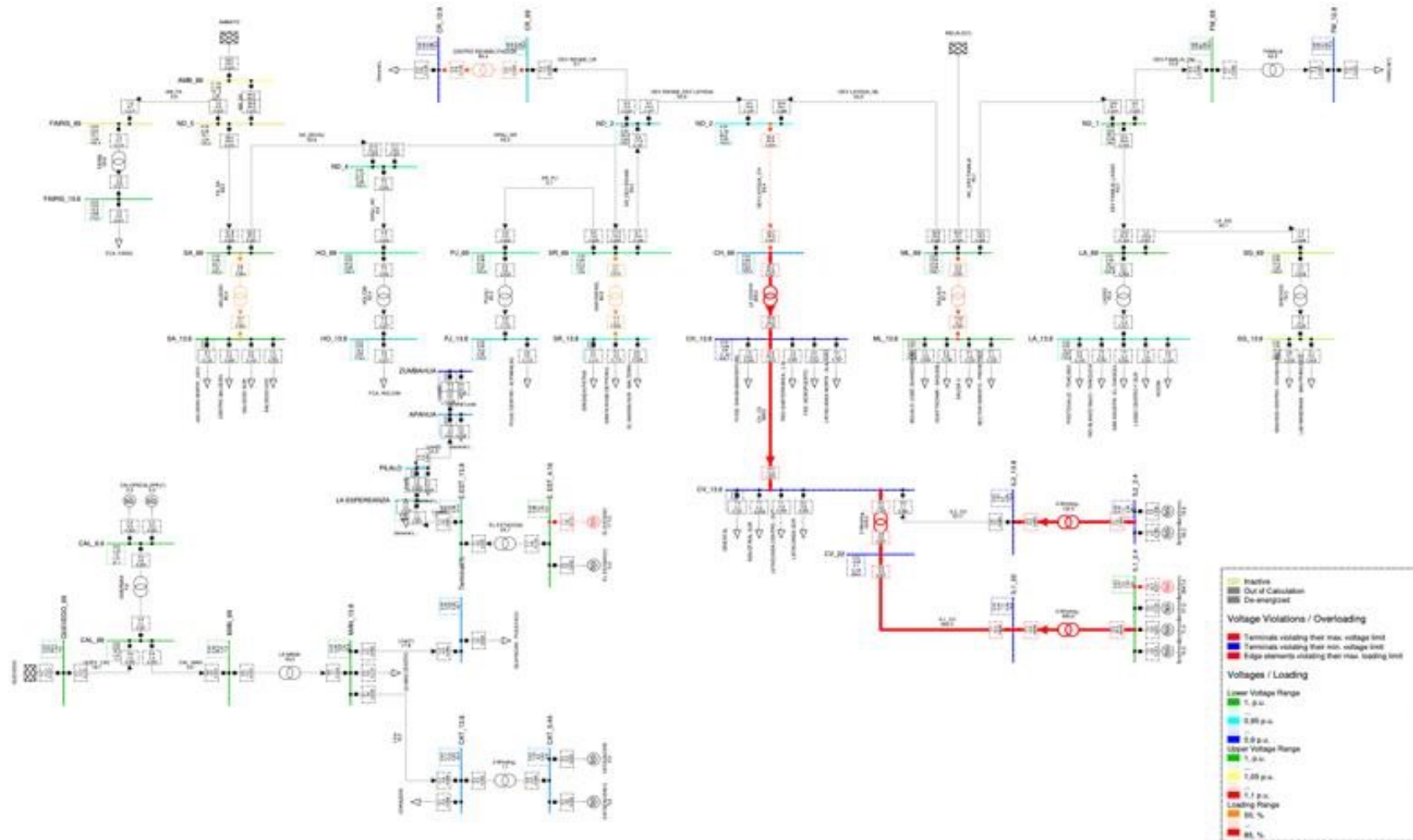
| S/E | Demanda máxima | Demanda mínima | Promedio anual |
|-------------|----------------|----------------|----------------|
| Pujilí | 0,9902 | 0,9728 | 0,9645 |
| El Calvario | 0,9858 | 0,9685 | 0,9661 |
| La Maná | 0,97352 | 0,9634 | 0,9697 |
| Salcedo | 0,9849 | 0,9673 | 0,9641 |



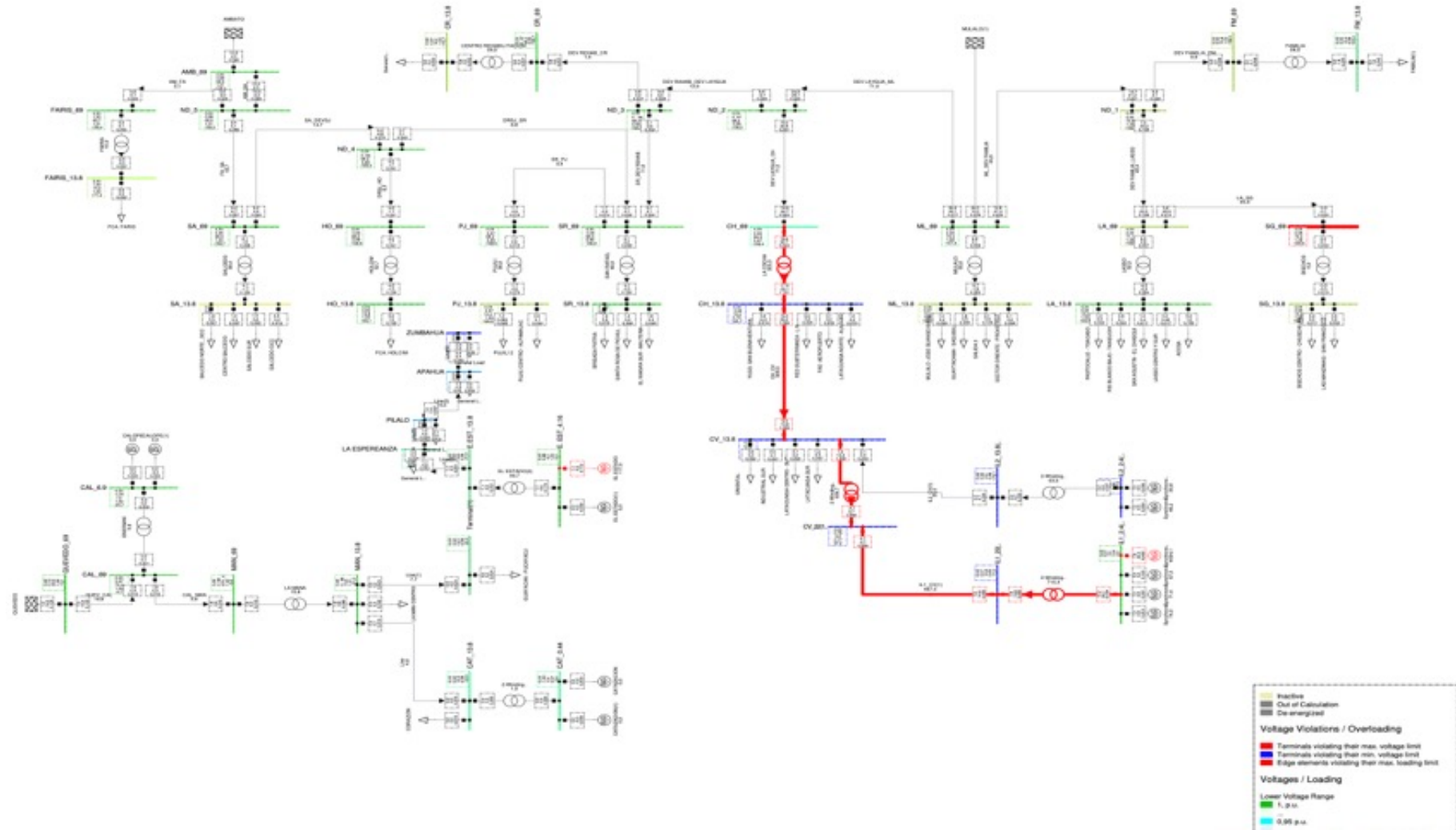
ANÁLISIS DE RESULTADOS



Simulación en Demanda Máxima



Simulación en Demanda Mínima



Cargabilidad de las líneas de subtransmisión

| Línea | Cargabilidad | |
|--------------------|----------------|----------------|
| | Demanda máxima | Demanda mínima |
| | % Cargabilidad | % Cargabilidad |
| Ambato - Fairis | 8.89 | 4.75 |
| Fairis - Salcedo | 28.78 | 19.96 |
| Salcedo - San Juan | 55.36 | 15.31 |
| San Juan - Holcim | 9.95 | 7.12 |

SISTEMA AMBATO

| Línea | Cargabilidad | |
|----------------------------------|----------------|----------------|
| | Demanda máxima | Demanda mínima |
| | % Cargabilidad | % Cargabilidad |
| Mulaló - Derivación Familia | 43.13 | 34.61 |
| Derivación Familia - Lasso | 44.63 | 37.96 |
| Derivación Familia - Familia | 11.56 | 10.68 |
| Laigua - Mulaló | 66.70 | 18.30 |
| Laigua - Derivación C.R.S. | 32.54 | 13.02 |
| Derivación C.R.S. - C.R.S. | 6.33 | 1.88 |
| Derivación San Juan - San Rafael | 46.72 | 9.68 |
| San Rafael - Pujilí | 5.93 | 4.33 |
| Laigua - La Cocha | 74.30 | 42.32 |
| Lasso - Sigchos | 42.60 | 27.22 |
| La Cocha - El Calvario | 83.22 | 72.69 |
| El Calvario - Illuchi 2 | 57.56 | 27.18 |
| El Calvario - Illuchi 1 | 80.75 | 37.28 |

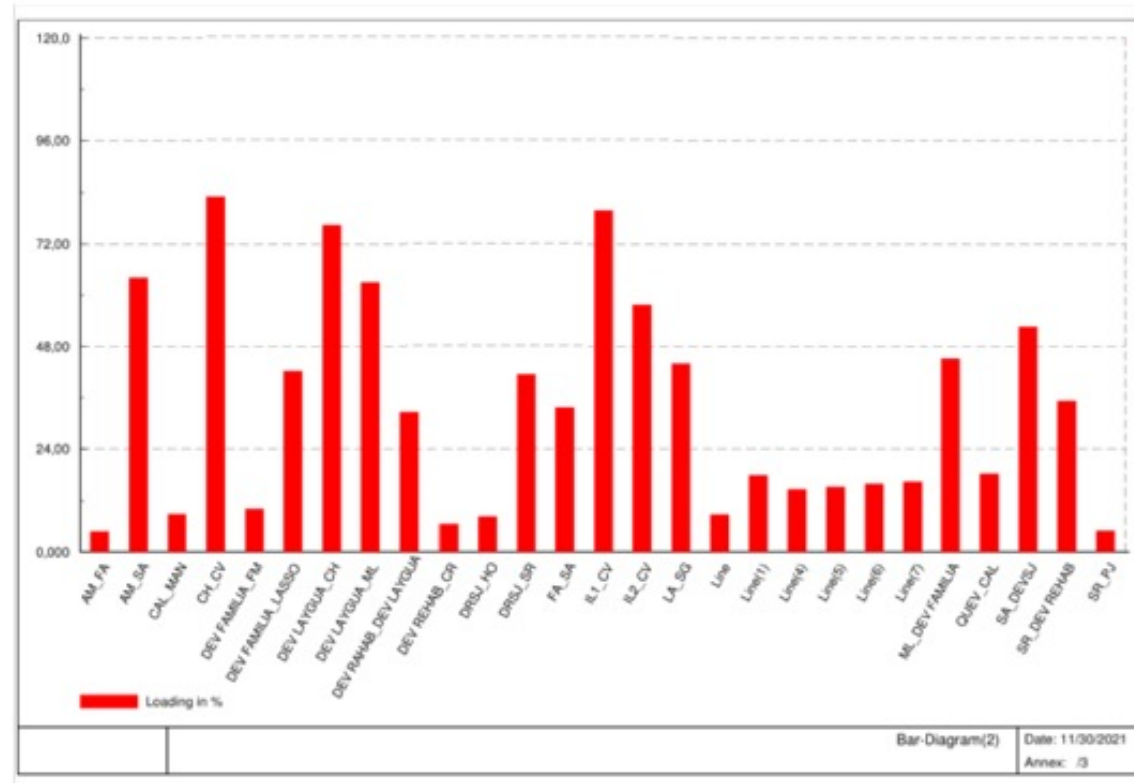
SISTEMA MULALÓ

| Línea | Cargabilidad | |
|------------------|----------------|----------------|
| | Demanda máxima | Demanda mínima |
| | % Cargabilidad | % Cargabilidad |
| Quevedo - Calope | 20.51 | 22.77 |
| Calope - La Maná | 10.42 | 3.39 |

SISTEMA LA MANÁ

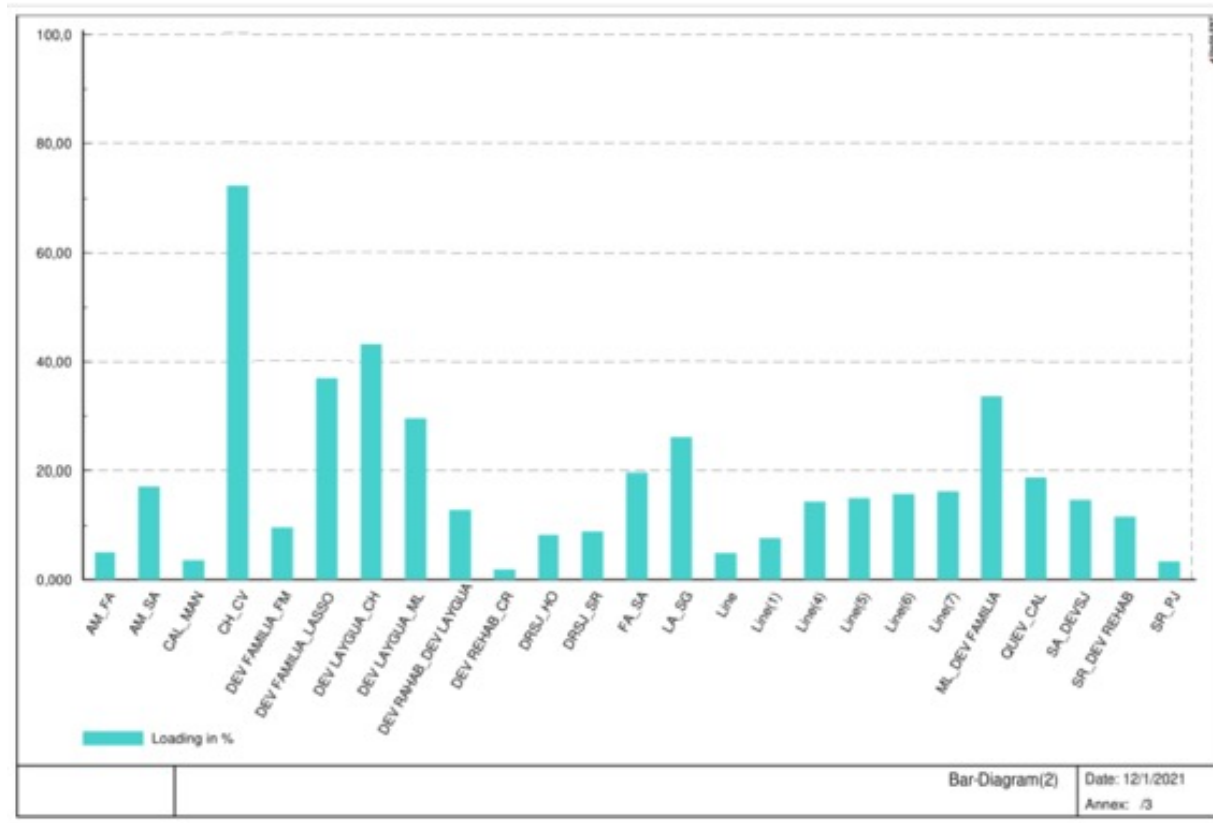
Cargabilidad de las líneas de subtransmisión

Demanda Máxima



Cargabilidad de las líneas de subtransmisión

Demanda Mínima



Cargabilidad de los transformadores

| Cargabilidad | | |
|---------------|----------------|----------------|
| Transformador | Demanda Máxima | Demanda Mínima |
| | % Cargabilidad | % Cargabilidad |
| Fairis | 35.97 | 10.87 |
| Salcedo | 54.64 | 36.64 |
| Holcim | 18.65 | 11.36 |

SISTEMA AMBATO

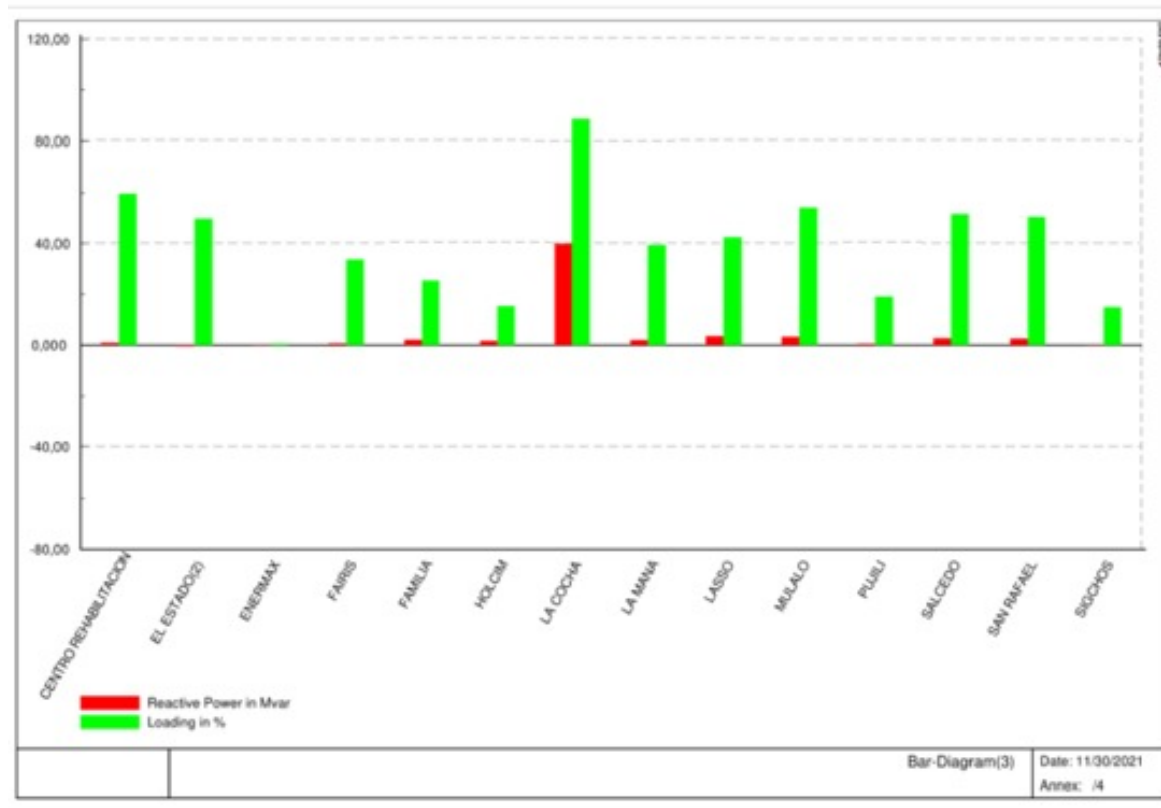
| Cargabilidad | | |
|---------------|----------------|----------------|
| Transformador | Demanda Máxima | Demanda Mínima |
| | % Cargabilidad | % Cargabilidad |
| Mulaló | 55.67 | 38.03 |
| Lasso | 42.14 | 41.89 |
| Familia | 25.32 | 22.86 |
| Sigchos | 18.97 | 5.23 |
| La Cocha | 85.97 | 76.58 |
| C.R.S. | 59.71 | 22.81 |
| San Rafael | 51.74 | 25.68 |
| Pujilí | 20.84 | 11.46 |
| El Calvario | 83.52 | 65.68 |
| Illuchi 1 | 85.67 | 68.78 |
| Illuchi 2 | 85.87 | 66.95 |

SISTEMA MULALÓ

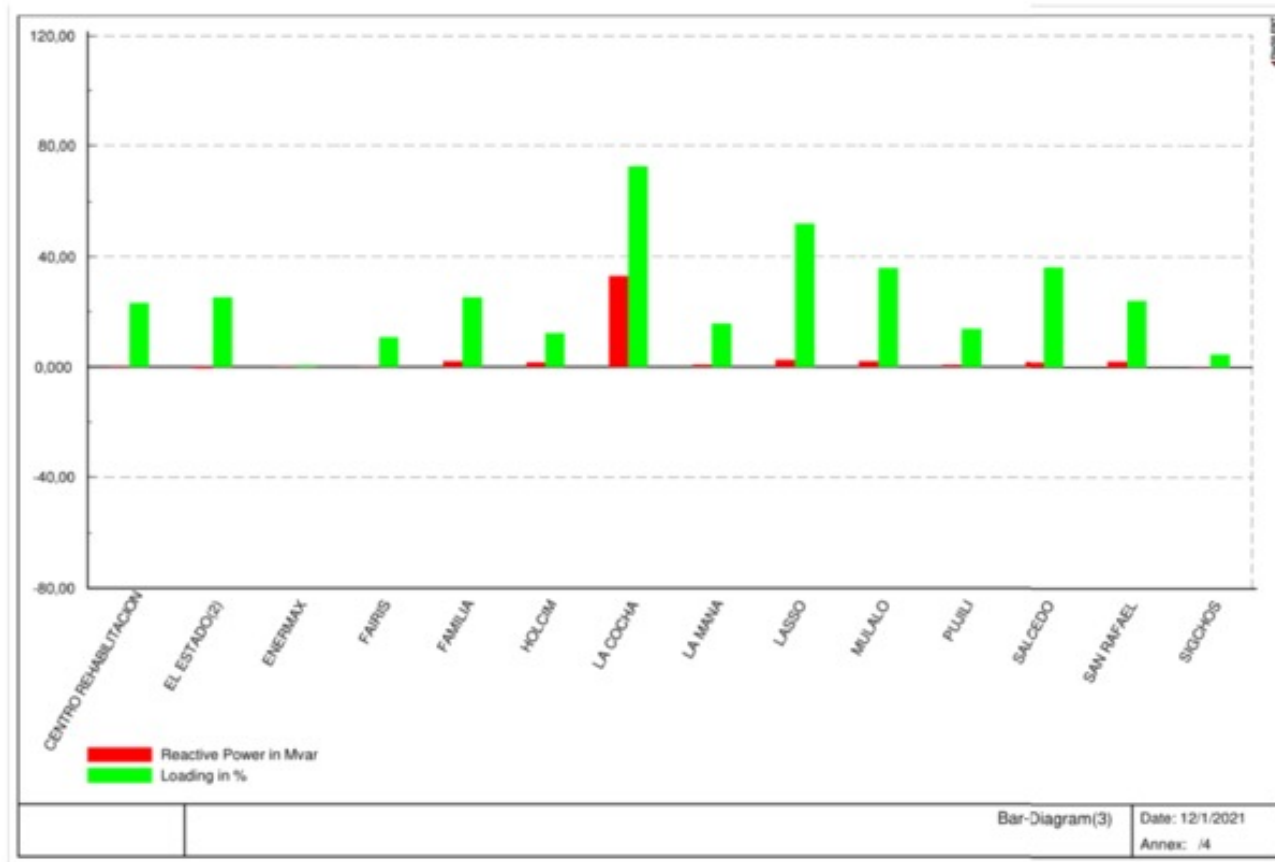
| Transformador | Cargabilidad | |
|---------------|----------------|----------------|
| | Demanda máxima | Demanda mínima |
| | % Cargabilidad | % Cargabilidad |
| La Maná | 38.78 | 17.74 |
| Catazacón | 10.85 | 4.49 |
| El Estado | 48.51 | 23.18 |

SISTEMA LA MANÁ

Cargabilidad de los transformadores en Demanda Máxima



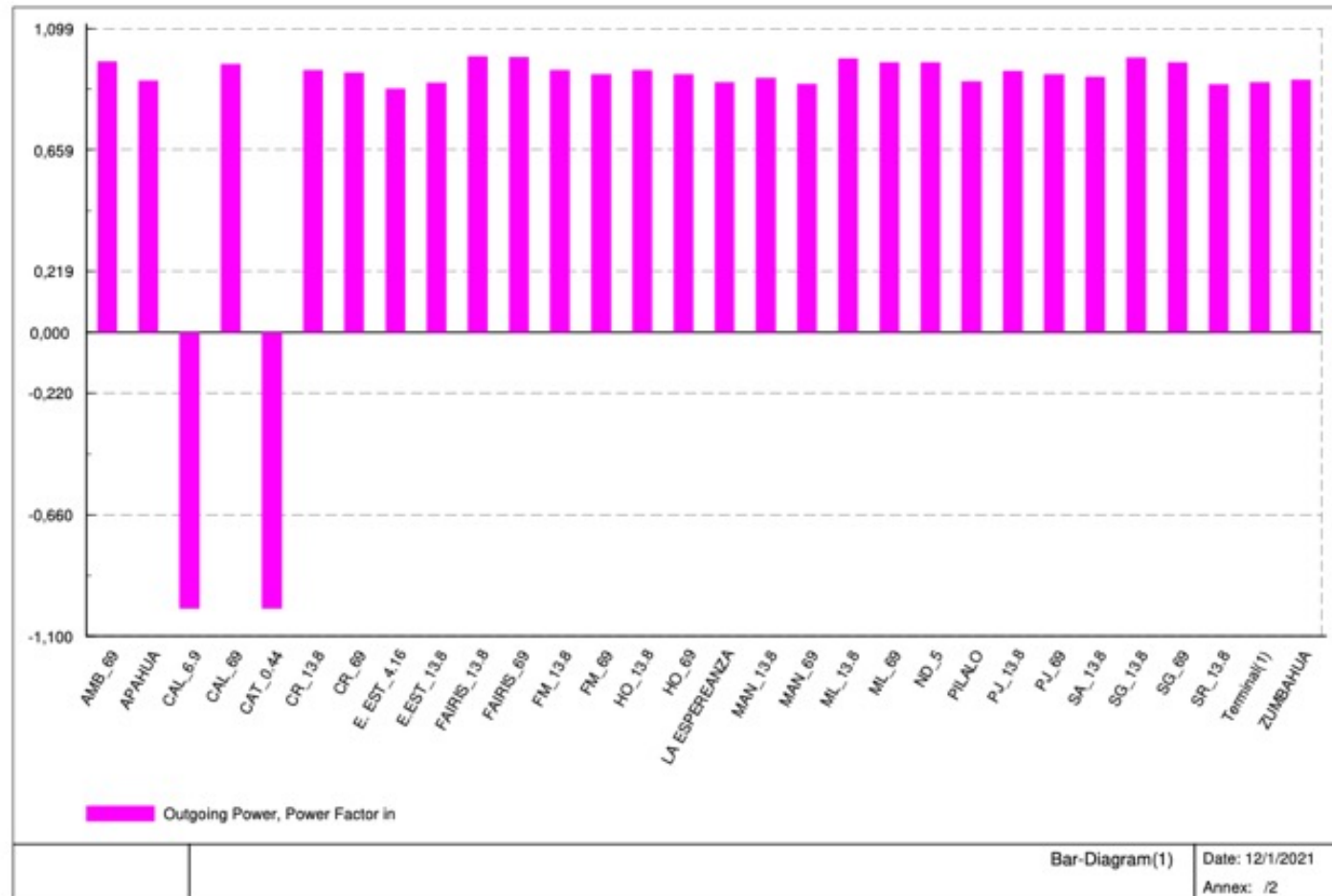
Cargabilidad de los transformadores en Demanda Mínima



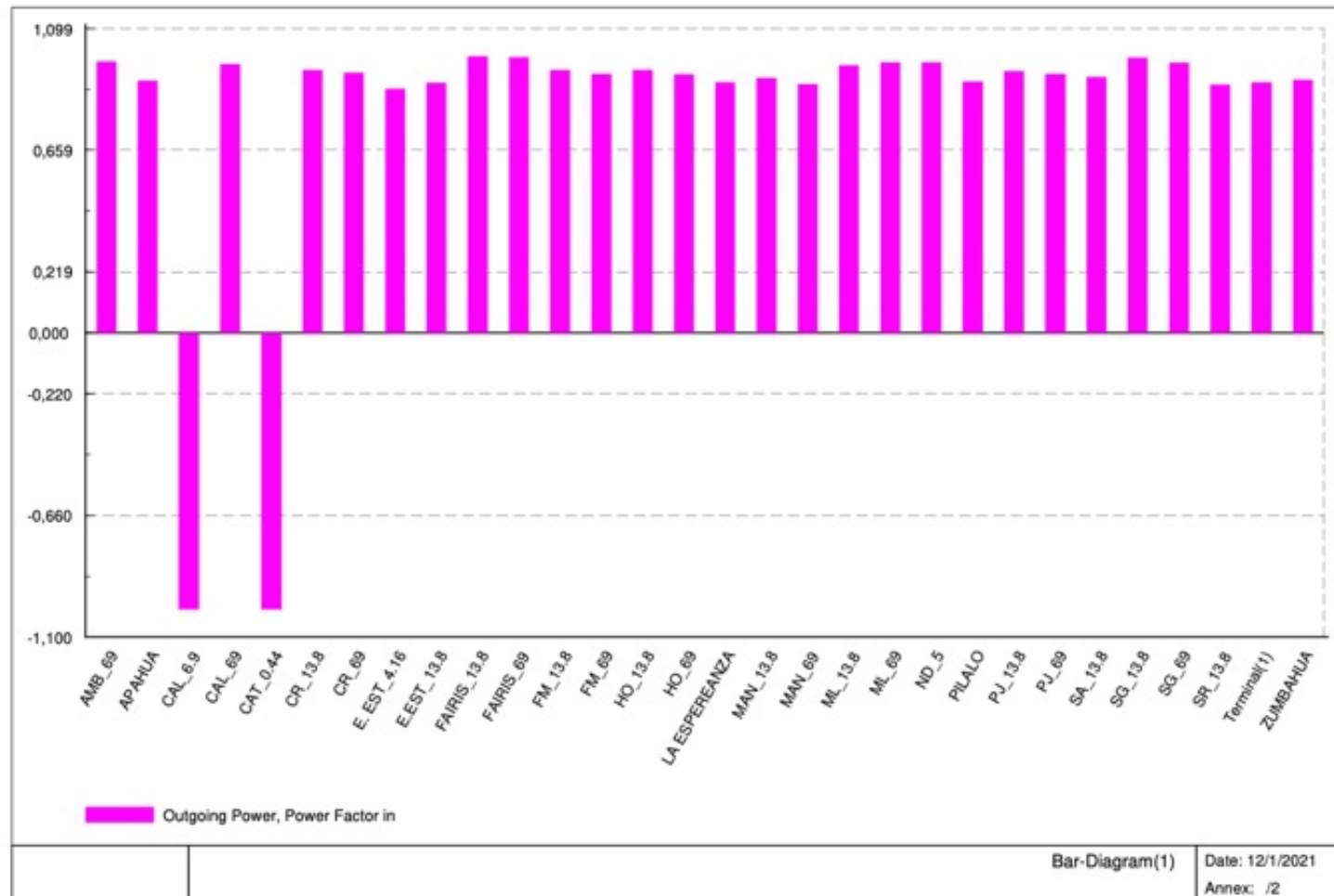
Factor de Potencia en las Principales Subestaciones

| Factor de potencia de las principales subestaciones | | |
|--|-----------------------|-----------------------|
| S/E | Demanda Máxima | Demanda Mínima |
| Mulaló | 0,9709 | 0,9621 |
| Lasso | 0,9618 | 0,9545 |
| Sigchos | 0,9889 | 0,9987 |
| La Cocha | 0,9790 | 0,9623 |
| San Rafael | 0,9990 | 0,9845 |
| Pujilí | 0,9867 | 0,9790 |
| El Calvario | 0,9990 | 0,9787 |
| La Maná | 0,9923 | 0,9767 |
| Salcedo | 0,9767 | 0,9785 |

Factor de Potencia en las Principales Subestaciones Demanda Máxima



Factor de Potencia en las Principales Subestaciones Demanda Mínima



Datos con inconscistencia

El Alimentador número 1 de la Subestación Mulaló en el mes de Agosto del año 2019 se encuentra valores negativos a las 23 horas y todo el mes su nivel de factor de potencia es muy por debajo de los 0,92 , de igual forma en el Alimentador número 4 los niveles del factor de potencia son menores a la norma.

| | | | |
|-----|------------|--------------------|--------------------|
| :50 | 0,91904771 | 1175,000900 | 172,0255192 |
| 23 | -0,9081508 | 1124,668826 | 175,3823836 |
| :00 | -0,9092733 | 1162,838657 | 171,6356906 |
| :10 | -0,911077 | 1143,231092 | 174,5032729 |
| :20 | -0,9067536 | 1141,761783 | 191,1729822 |
| :30 | -0,905947 | 1104,406133 | 171,8608827 |
| :40 | -0,9090177 | 1104,939557 | 179,7317725 |
| :50 | -0,9068361 | 1090,835735 | 163,3897006 |

PROPUESTA

- **Datos :**
- Institución: ELEPCO S.A
- Beneficiarios : Sistema de subtransmisión a 69 kV
- Ubicación : S/E Mulalo, S/E Lasso, :S/E Slacedo, Parroquias de Lasso , Tanicuchi, San Miguel de Salcedo

Objetivo : Incrementar el nivel del factor de potencia en la red de Subtransmisión a 69 kV de ELEPCO S.A. específicamente en las subestaciones Mulaló , Lasso y Salcedo mediante la implementación de compensación reactiva usando el criterio Salt River Project , y mejorar la calidad de energía en el sistema

Comparación de Criterios Internacionales

| Lineamientos y enfoque de los criterios de compensación de reactivos Internacionales | | | | | |
|--|----------|--|------------------|---|--|
| Criterio | Tipo | Contexto | Nivel de Voltaje | Escenarios | Requisitos de simulación y Estudios |
| NERC (ERCOT, FRCC MISO) | Operador | Compensación de línea | Mayor a 69 kV | <ul style="list-style-type: none"> • Pre Contingencia • Post Contingencia • Régimen Permanente | <ul style="list-style-type: none"> • Mantener la estabilidad en el voltaje de barras. • Se simula desde un 2,5% a 5 % con sobrecarga con referencia a demanda máxima • Estudios de Flujo de potencia y análisis de niveles de voltaje • Se utiliza para simulaciones dinámicas. • Se realiza un estudio que cubre un plazo que van desde 6 a 20 años. |
| ISO New Englad | Operador | Compensación de Línea. Corrección del factor de potencia. | Mayor a 69 kV | <ul style="list-style-type: none"> • Pre Contingencia • Post Contingencia • Régimen Permanente | <ul style="list-style-type: none"> • Se considera las cargas del sistema en tres estados: Demanda mínima, Demanda media y Demanda Máxima. • El factor de potencia debe empezar o setear con un valor de 0.998. • Cada nivel de carga se evalúa un f.p. máximo y un f.p. mínimo en cada componente y áreas. • En el f.p. máximo no debe ser menor a la unidad. • Para la simulación existen tres restricciones: Evitar colapsos de voltajes, mantener niveles de voltaje en el sistema de distribución y en los equipos aguas abajo del sistema. • Análisis del flujo de potencia en demanda mínima, media y máxima. • Se lo utiliza para simulaciones dinámicas |

Comparación de Criterios Internacionales

| Criterio | Tipo | Contexto | Nivel de Voltaje | Escenarios | • Requisitos de simulación y Estudios |
|---|--|---|-----------------------|---------------------------------|---|
| Salt River Project (S.R.P.) | Utilidad (Demanda máxima aproximada a a 7000 MW) | Corrección del Factor de Potencia en subestaciones transformadoras | Sobre los 69 kV | Demanda máxima según estaciones | <ul style="list-style-type: none"> • Consumo de potencia activa y reactiva de cada transformador de subestación. • Banco de condensadores propuestos según su tamaño y estado en el momento de máxima demanda. • Flujo de potencia con implementación de condensadores. • Puede analizar demandas proyectadas para estudios de planificación desde 1 año en adelante. |
| East Kentucky Power Cooperative Inc (EKPC) | Utilidad (Demanda máxima aproximada a a 2890 MW) | Planificación de Subestaciones en MV y BV. Corrección del factor de potencia en subestaciones en el lado de bajo Voltaje. | Entre 12,5 kV y 69 kV | Demanda máxima según estaciones | <ul style="list-style-type: none"> • Consumo de potencia activa y reactiva de cada transformador de subestación. • Corrección del factor de potencia del rango entre 0,95 a 0,99. • Se evalúa al sistema en condiciones de demanda máxima |

Valor de Qc para la implementación en el sistema

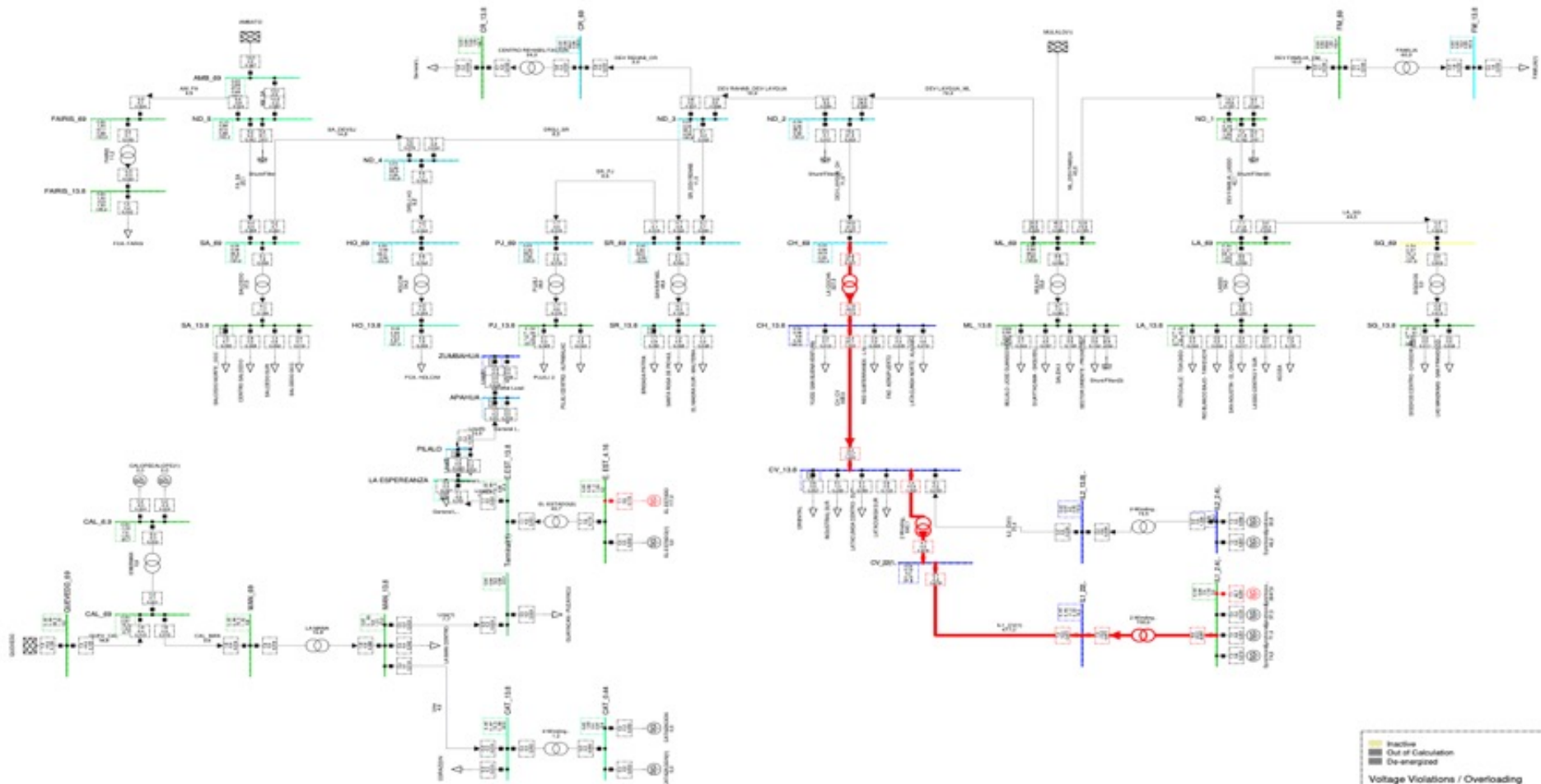
| Valor de condensador Qc a instalar | | | | |
|------------------------------------|-----------------|-------------------------------|------------------------------|-----------------------|
| S/E | Potencia (MW) | Factor de potencia real Anual | Factor de potencia a mejorar | Condensador Qc (MVAr) |
| S/E Mulaló | 7,54 | 0,9613 | 0,98 | 0,811 |
| S/E Lasso | 11,33 | 0,9347 | 0,98 | 0,958 |
| S/E Salcedo | 10,74 | 0,9641 | 0,98 | 0,574424 |

Condesnadores comerciales

- S/E Mulaló: Condensador Intemperie-exterior, fijo tipo “Console and Pole”
 $Q_c = 0.8125 \text{ MVAr}$ $V = 13.8 \text{ kV}$
- S/E Lasso: Condensador Intemperie-exterior, fijo tipo “Console and Pole”
 $Q_c = 0.9 \text{ MVAr}$ $V = 69 \text{ kV}$
- S/E Salcedo: Condensador Intemperie-exterior, fijo tipo “Console and Pole” $Q_c = 0.6 \text{ MVAr}$ $V = 69 \text{ kV}$



Modelamiento en Demanda Máxima con compensación reactiva del sistema a 69 kV según el criterio SRP



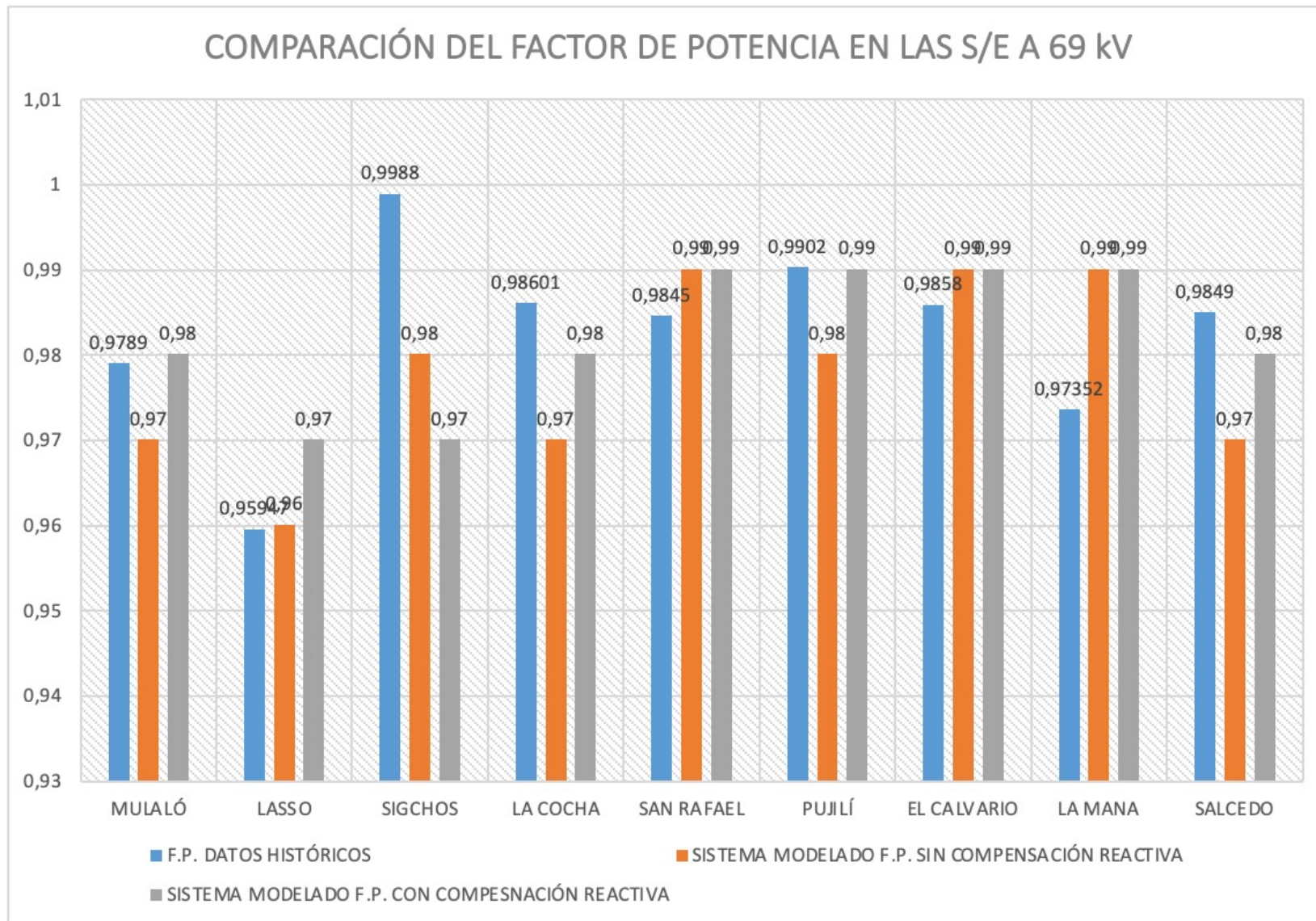
Factor de Potencia en Las Subestaciones Principales

| Factor de potencia con compensación reactiva | |
|---|-----------------------|
| S/E | Demanda máxima |
| Mulaló | 0,98 |
| Lasso | 0,97 |
| Sigchos | 0,97 |
| La Cocha | 0,98 |
| San Rafael | 0,99 |
| Pujilí | 0,99 |
| El Calvario | 0,99 |
| La Maná | 0,99 |
| Salcedo | 0,98 |

Factor de Potencia en las Subestaciones Mulaló , Lasso y Salcedo

| S/E | F.p. Datos históricos | F.p. con Compensación reactiva |
|------------|------------------------------|---------------------------------------|
| Mulaló | 0,9789 | 0,9804 |
| Lasso | 0,95947 | 0,9707 |
| Salcedo | 0,9849 | 0,9853 |

Comparación del Factor de Potencia



Niveles de Voltaje en p.u. y cargabilidad de las líneas de subtransmisión

| Voltajes en Barras (pu) | |
|-------------------------|--------------------------|
| Barra | Demanda Máxima V [pu] |
| Fairis | 1.00 |
| Salcedo | 0.98 |
| Holcim | 0.98 |
| Lasso 69 kV | 1.00 |
| Familia 69 kV | 1.00 |
| La Cocha 69 kV | 0.95 |
| San Rafael 69 kV | 0.99 |
| Pujilí 69 kV | 0.99 |
| CRS 69 kV | 0.98 |
| La Cocha 13.8 kV | 0.96 |
| El Calvario 13.8 kV | 0.99 |
| El Calvario 23 kV | 0.95 |
| Quevedo 69 kV | 1.00 |
| Calope 69 kV | 1.02 |
| La Maná 69 kV | 1.02 |
| La Maná 13.8 kV | 1.01 |
| Catazacón 13.8 kV | 0.98 |
| El Estado 13.8 kV | 0.98 |

| Cargabilidad | |
|-------------------------------|----------------|
| Línea | % Cargabilidad |
| Ambato - Fairis | 5,2555 |
| Fairis - Salcedo | 20,4435 |
| Salcedo - San Juan | 7,942 |
| San Juan - Holcim | 8,857 |
| Mulaló - Derivación Familia | 24,6735 |
| Derivación Familia - Lasso | 43,6985 |
| Derivación Familia - Familia | 10,032 |
| Laigua - Mulaló | 42,815 |
| Laigua - Derivación C.R.S. | 15,163 |
| Derivación C.R.S. - C.R.S. | 2,0135 |
| Derivación C.R.S - San Rafael | 12,584 |
| San Rafael - Pujilí | 5,5335 |
| Laigua - La Cocha | 48,785 |
| Lasso - Sigchos | 34,9 |
| La Cocha - El Calvario | 73,809 |
| El Calvario - Iluchi 2 | 76,182 |
| Quevedo - Calope | 18,7345 |
| Calope - La Maná | 3,999 |

CONCLUSIONES

- Se efectuó un análisis de los aspectos teóricos que conllevan los estudios de potencia reactiva que provocan un factor de potencia bajo, identificando aquellos que en particular podrían aplicarse a los sistemas de Subtransmisión que existen en Ecuador.
- Principalmente se hizo un levantamiento bibliográfico de los detalles de los criterios de compensación de reactivos de forma internacional, basados en la experiencia de las empresas y operadores internacionales, en la manera de identificación de requerimientos de datos y parámetros del sistema, que posteriormente son esenciales para la realización de compensación de reactivos en sistemas de Subtransmisión.
- Con relación a las regulaciones y normativas ecuatorianas, se pudo identificar aspectos vigentes que nos dieron los puntos de referencia para determinar si cumplen con los valores establecidos acorde a la regulación establecida ARCERNR 002/08 a su vez poner en contexto los criterios internacionales para poder realizar una comparación y verificar el criterio que más se ajuste al sistema a 69 kV de ELEPCO S.A.

CONCLUSIONES

- Se obtuvo en cuenta los aspectos y parámetros del sistema a 69 kV de ELEPCO S.A., a su vez se realizó las comparaciones de experiencias internacionales con respecto a compensación reactiva dando lugar al criterio como propuesta de SRP (Salt River Project) que se ajusta al sistema a 69 kV de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi teniendo en consideración el mejoramiento del factor de potencia.
- El factor de potencia en las subestaciones del sistema a 69 kV de ELEPCO S.A. y en los puntos de alimentación para los usuarios comerciales, industriales y residenciales se encuentran dentro de los límites operacionales según la regulación, se puede decir que no es necesario la realización de una compensación reactiva en la actualidad.
- Para la realización del criterio de compensación reactiva, el caso de estudio se centra en las subestaciones Mulaló, Lasso y Salcedo, dado que son los puntos con mayor afluencia de industrias y algo no menos importante es la recolección de valores muy por debajo de la norma sobre el factor de potencia también se encuentran valores negativos en el mes de Agosto del año 2019 en los alimentadores A1 y A4 de la S/E Mulaló, todo esto presentándose en el momento del análisis de los datos históricos.

CONCLUSIONES

- Se aplica el criterio SRP y se propone la implementación de 3 bancos de condensadores de tal manera que se deben conectar al sistema de forma CENTRALIZADA O GLOBAL en los puntos de conflicto teniendo como finalidad generar la propuesta establecida en el estudio.
- Finalmente, esta propuesta es validada mediante la simulación en el software Power Factory DigSILENT logrando un incremento en el factor de potencia en los puntos analizados y lograr mantener todos puntos del sistema a 69 kV de ELEPCO S.A dentro de los niveles establecidos por la regulación. La cargabilidad en las líneas y transformadores también tienen una reducción considerable a un aproximado del 10 %.
- El trabajo futuro para la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi ELEPCO S.A. es la evaluación y validación del criterio propuesto que posteriormente podrá ser implementado, pero se debe tener en cuenta que el estudio realizado no toma en cuenta aspectos económicos, aspectos técnicos de construcción y dimensionamiento de componentes de compensación reactiva (condensadores, baterías y conductores).

RECOMENDACIONES

- Se debe tomar en cuenta un análisis y realizar un estudio sobre la calidad de energía anualmente de todo el sistema de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A. con lo que se logrará observar los estados y las condiciones operativas, esto ayudará a proponer mejoras, implementaciones, re potencialización o construcciones de sistemas que aportarán al mejoramiento de la calidad de energía en la provincia de Cotopaxi.
- Se recomienda a ELEPCO S.A. tener una base de datos actualizada, esto ayudará a sus operadores y al área de planificación realizar trabajos con mayor facilidad y el tiempo ocupado para filtrar datos de varios años y meses postergados, serán ocupados para la realización de análisis y evaluar al sistema en menos tiempo.
- Los criterios internacionales conforme al mejoramiento del factor de potencia consideran muchos aspectos técnicos los cuales la empresa no proporciona o a su vez carece de esta información, se debería tomar en cuenta gestionar en equipos de medición más actuales dado a un alto crecimiento en el ámbito tecnológico.
- Al momento existen líneas de Subtransmisión con un exceso de carga, ayudaría mucho un análisis en el lado de bajo voltaje para observar cuál podría ser el motivo y así lograr un equilibrio de carga aguas abajo de los alimentadores logrando una mejora en la calidad de servicio.
- Si bien el factor de potencia está por encima de la norma, algunos datos proporcionados por la empresa fueron menores y en ocasiones valores negativos, se recomienda realizar un estudio para verificar el motivo y aspectos que pueden estar afectando al sistema para obtener estos valores en el factor de potencia.