



**Universidad Nacional de Ingeniería**  
**Facultad de Electrotecnia y computación**  
**Ingeniería Eléctrica**

Tesis monográfica para optar al Título de Ingeniero Eléctrico.

**Tema:**

Estudio de los parámetros eléctricos en la red de media tensión del circuito SKL4020 de Santa Clara en Nueva Segovia.

**Autores:**

- Darruel Noel Castellón Acevedo.  
Carnet: 2015-0143U
  
- William José Mercado Córdoba.  
Carnet: 2017-0400U

**Docente:**

- Msc. Ramiro Arcia Lacayo.

**Managua, Nicaragua. Junio de 2022.**

## **Dedicatoria**

El presente trabajo de titulación lo dedicamos primeramente a Dios por el don de la vida, por ser nuestra guía y fortaleza para culminar nuestra carrera universitaria, así como todas las metas que nos hemos propuesto a lo largo del camino.

A nuestros padres que con su amor, apoyo incondicional e incontables consejos brindados día a día son nuestros pilares y ejemplos de vida, que con sus sacrificios lograron formarnos con valores e hicieron de nosotros mejores personas.

A nuestra familia y a cada persona que son parte de nuestras vidas, que siempre nos brindaron palabras de motivación y nos dieron su apoyo con una grata sonrisa.

A nuestros amigos y compañeros de carrera, que hicieron nuestro paso por la universidad mucho más agradable, compartiendo innumerables momentos que siempre recordaremos.

A nuestros profesores pieza fundamental en nuestra formación académica y especialmente al Msc. Ramiro Arcia por ser nuestro tutor y mostrar su interés en brindarnos de sus conocimientos para el desarrollo del proyecto de titulación.

## **Agradecimientos**

Primeramente, agradecemos de manera muy especial a Dios por darnos salud, inteligencia y la fortaleza para alcanzar una meta más en nuestras vidas que es lograr finalizar la carrera universitaria.

Agradecemos a nuestros padres y madres, quienes son nuestro apoyo incondicional para afrontar los retos que se nos presentan en la vida, que con mucho cariño y sacrificio han hecho grandes esfuerzos por un darnos un mejor porvenir. Les agradecemos nuevamente por confiar en nosotros a pesar de las dificultades presentadas a lo largo de este caminar.

Gracias a nuestro tutor Msc. Ramiro Arcia quien con su paciencia, conocimiento, exigencia y amistad nos ha guiado para el desarrollo del proyecto monográfico.

A la Universidad Nacional de Ingeniería, los profesores, ingenieros y compañeros de carrera por darnos la oportunidad de crecer en conocimientos y formarnos como profesionales.

## Índice de contenido

I Capítulo: Generalidades.....	1
Introducción .....	1
Antecedentes.....	3
Justificación .....	4
Objetivos .....	6
Objetivo General.....	6
Objetivos Específicos.....	6
Marco Teórico.....	7
1.1. Pérdidas de energía en distribución.....	7
1.1.1. Pérdidas Técnicas.....	7
1.1.2. Efectos y causas que originan las pérdidas técnicas. ....	8
1.1.3. Pérdidas no técnicas o administrativas.....	9
1.2. Estudio de Cargabilidad. ....	10
1.3. Cálculo de caída de tensión.....	11
1.3.1. Normativa de Servicio Eléctrico (NSE).....	12
1.3.2. Regulación de voltaje.....	12
1.4. Balance de Energía. ....	13
1.5. Programa de Simulación PSS SINCAL. ....	14
1.5.1. Flujos de potencia y pérdidas técnicas. ....	15
1.5.2. Método Gauss-Seidel. ....	16
II Capítulo: Programas a utilizar para el estudio de la red SKL4020.....	18
2.1. Base de Datos de Instalaciones (BDI).....	18
2.2. AUTOCAD.....	20
2.3. Google Earth. ....	22
III Capítulo: Estudio de la Red MT. SKL-L4020. ....	24
3.1. Descripción y delimitación de la S.E. Santa Clara.....	24
3.2. Características técnicas de la red de media tensión. ....	24
3.3. Red de Media Tensión. ....	25
3.3.1. Red Troncal. ....	25
3.3.2. Línea derivada y subderivada. ....	27
3.4. Cargabilidad de la red de media tensión. ....	29

3.4.1.	Cargabilidad del interruptor de cabecera SKL-L4020.....	30
3.4.2.	Cargabilidad del interruptor telecontrolado ITC-N2055. ....	31
3.4.3.	Cargabilidad del interruptor telecontrolado ITC-N2076. ....	32
3.4.4.	Cargabilidad del interruptor telecontrolado ITC-N1635. ....	33
3.4.5.	Cargabilidad del interruptor telecontrolado ITC-N3372. ....	34
3.5.	Balance de cargas. ....	35
3.5.1.	Balance de cargas del circuito SKL4020. ....	36
3.5.2.	Balance de cargas del interruptor telecontrolado ITC-N2055. ....	38
3.5.3.	Balance de cargas del interruptor telecontrolado ITC-N2076. ....	39
3.5.4.	Balance de cargas del interruptor telecontrolado ITC-N1635. ....	40
3.6.	Balance de energía del circuito de distribución SKL4020. ....	41
3.7.	Corrida de Flujo del SKL4020 en PSS SINCAL.....	41
3.7.1.	Caída de tensión. ....	41
3.7.2.	Pérdidas Técnicas.....	45
IV	Capítulo: Propuestas de mejoras en la Red SKL4020.....	47
4.1.	Instalación de Reguladores de Voltaje. ....	47
4.1.1.	Pérdidas Técnicas.....	53
4.2.	Instalación de Reguladores y Conversión de LAMT1Ø a LAMT3Ø.....	55
4.2.1.	Pérdidas Técnicas.....	59
4.3.	Repotenciación de Red Troncal y Conversión de LAMT1Ø a LAMT3Ø.....	60
4.3.1.	Pérdidas Técnicas.....	63
V	Capítulo: Conclusiones. ....	66
	Bibliografía.....	68
	Anexos. ....	70
	Anexo 1: Teoría Básica del Regulador de Voltaje.....	71
	Anexo 2: Métodos de Flujos de Carga en PSS SINCAL. ....	75
	Anexo 3: Modelado de una red en PSS SINCAL. ....	76
	Anexo 4: Instalación de los Reguladores de Voltaje en PSS SINCAL.....	86
	Anexo 5: Localización de los ITC en SKL4020. ....	89

# I Capítulo: Generalidades

## Introducción

La empresa DISNORTE-DISSUR (DN-DS), es la encargada de distribuir y velar por el buen uso de toda la red eléctrica a nivel nacional, prestando un servicio de energía eléctrica de calidad y continuidad, encargándose de suplir la demanda energética de nuevos clientes ya sean estos de sectores residenciales, comerciales e industriales.

Durante las etapas de planeación, operación y expansión de los sistemas eléctricos se vuelve indispensable verificar que la instalación sea adecuada para los fines con los que se diseñaron, considerando las diferentes condiciones de operación normal o ante posibles maniobras que puedan ocurrir.

Las mejoras que se realizan para mantener los parámetros de calidad, confiabilidad y continuidad del servicio eléctrico son de vital importancia para el desarrollo de las actividades del ser humano tanto en labores cotidianas desde la zona doméstica e industrial.

En la base de datos de instalaciones (BDI), se logra obtener información de una red de media tensión, observándose de manera gráfica o por medio de matrículas o códigos elementos registrados que se encuentran en estado activo o fuera de servicio del circuito, estos podrían ser: línea troncal, derivadas monofásicas, bifásicas o trifásicas, interruptores, interruptores telecontrolados (ITC), seccionadores, fusibles, seccionalizadores y centros de transformación.

Actualmente la red SKL-L4020 propiedad de DN-DS, dispone de una infraestructura compuesta por: 761.43 kilómetros de red de media tensión; 1,204 centros de transformación, 1,244 transformadores y una potencia instalada de 16,563 KVA. Se distribuye un promedio diario de 52.74 Mwh, aproximando al mes 1634.84 MWh/mes.

Las redes eléctricas tienden cada vez a realizar maniobras de retroalimentación, sean esto producto de descargos realizados en la red o una falla que se presente en el tramo. Por lo que es requerido que la línea se encuentre dimensionada para soportar dichos escenarios, desde su ampacidad del tramo de conductor, hasta las protecciones que se encuentran coordinadas para actuar en casos de presentarse futuras fallas.

Por lo tanto, las maniobras son de vital importancia para mantener la continuidad del servicio eléctrico, sin que los clientes presenten grandes afectaciones de ámbito económico o en caso de hospitales, clínicas y centros de salud pérdidas de vidas humanas.

## Antecedentes

En el repositorio institucional de la UNI (Universidad Nacional de Ingeniería) se encuentran monografías que están enfocadas en el análisis de la calidad del servicio de la red eléctrica en Nicaragua. Se interpretan resultados de las siguientes investigaciones monográficas:

Análisis del deterioro de la red eléctrica (circuito BTH-3050. DISNORTE-DISSUR); Barrio Batahola, Managua. Elaborado por: Ricardo Aarón Arce Sandoval y Javier Martínez Astorga. Tutor: Msc. Ramiro Arcia Lacayo. Julio del 2019.

“Diseño de redes de distribución en derivación que alimenta a la Comunidad Villa El Carmen, ubicado en el departamento de Managua, Municipio de San Rafael del Sur”. Elaborado por: Williams Scander Arteaga. Tutor: Msc. Ramiro Arcia Lacayo. junio de 2018.

Efectos de la interrupción del suministro eléctrico y adaptación de los sistemas eléctricos a eventos extremos. Estos estudios se mantienen muy relacionados con nuestro trabajo, ya que a nivel nacional existen interrupciones en el suministro eléctrico de cualquier naturaleza, por ejemplo: Cortocircuito en las líneas, funcionamiento inapropiado de las protecciones, caída de postes, fenómenos naturales, entre otros.

A nivel internacional o regional:

Análisis de cargabilidad de redes eléctricas de distribución, basado en la Modificación del Algoritmo de Gauss-Seidel. Elaborado por: Henry Saúl Gancino Bustillos. Tutor: Ing. Diego Francisco Carrión Galarza. Noviembre de 2020.

Proyecto realizado en la Universidad Nacional de Córdoba, el cual se titula como “Planificación de nuevos distribuidores para alimentación de proyectos inmobiliarios en la zona de Nueva Córdoba, Alta Córdoba y Alberdi en media tensión y baja tensión).



## Justificación

Demostrando la problemática que existe en las redes eléctricas, sean estas caídas de tensión, fluctuaciones en la red, altos porcentajes de pérdidas técnicas, redes con porcentajes altos de cargabilidad, entre otros, generadas como consecuencias de un desbalance del circuito, así mismo de una mala configuración o potenciación del tramo que prestan condiciones capaces de producir daños al cliente o a la distribuidora. Si no se desarrolla un estudio de análisis eléctrico, no se pueden evitar o disminuir dichas condiciones negativas.

Dentro de estas condiciones negativas, las pérdidas no técnicas se van obviando por el hecho de que no toda la energía que se produce, se vende y se factura, es decir los aparatos de medición no lo contabiliza como entregado a los usuarios y por tanto no son motivos de cobro.

Para la distribuidora esto representa en el ámbito de facturación una pérdida, ya que no tiene retribución económica de esta. Sin embargo, para modo de estudio y mejora de la red en la entrega del servicio, las pérdidas no técnicas no constituyen una pérdida real de energía, la energía sí está siendo utilizada por un usuario (cliente o no), que comete un fraude o hurto al no pagar por el servicio. Por tanto, para este tipo de estudio, aunque estas pérdidas son cuantificables no se consideran debido a que no proceden del alimentador principal o de las características propias de la red, más bien como un problema de legalización en la prestación del servicio.

Al realizar dicho estudio en la red, todos los consumidores de este circuito serán beneficiados, ya que al finalizarlo será necesario plantear y demostrar las mejoras adecuadas para la red y que al momento de implementarse no se encuentren muy alejadas de la realidad.

Adicionalmente el crecimiento de la demanda de energía eléctrica ha llevado a que el nivel de carga de la red de media tensión sea mayor, lo cual implica una

flexibilidad limitada para la atención de contingencias y alimentación de cargas futuras.

Teniendo como base estas necesidades, se encontró que posiblemente el circuito SKL-L4020 posee problemas críticos de cargabilidad en operación normal y contingente, que requieren de una pronta intervención que permita mediante reconfiguraciones, alcanzar los niveles óptimos para una mejor prestación del servicio. Es importante mencionar que, al día de hoy la operación de los sistemas y los circuitos eléctricos, requieren una disminución en la cantidad de maniobras y en el tiempo que estas demandan.

# Objetivos

## Objetivo General

Presentar propuestas de mejoras en los parámetros eléctricos de la red SKL4020, localizada en Santa Clara, Nueva Segovia, utilizando la herramienta PSS SINCAL.

## Objetivos Específicos

- Verificar la carga instalada en la red del circuito, haciendo uso de la base de datos de instalaciones (BDI) propiedad de DN-DS.
- Detallar el estado actual de la red SKL4020, en los valores de desbalance y cargabilidad del sistema.
- Realizar simulaciones con el PSS SINCAL para analizar el estado de los parámetros eléctricos y pérdidas técnicas en la red de distribución.
- Proponer adecuaciones en la red que permita mejorar el estado de los parámetros eléctricos y pérdidas técnicas.

## Marco Teórico

### 1.1. Pérdidas de energía en distribución.

De acuerdo con (Maldonado, 2017), las pérdidas de energía son el equivalente a la diferencia de la energía comprada (inyectadas al sistema de distribución) y la energía vendida (Energía Medida o salidas por usuario).

Es importante mencionar que el nivel de pérdidas de una empresa distribuidora de energía es una medida de su eficiencia técnica, comercial, y administrativa para atender el servicio demandado por sus clientes. Las pérdidas de energía se clasifican en Técnicas y No técnicas o Administrativas.

#### 1.1.1. Pérdidas Técnicas.

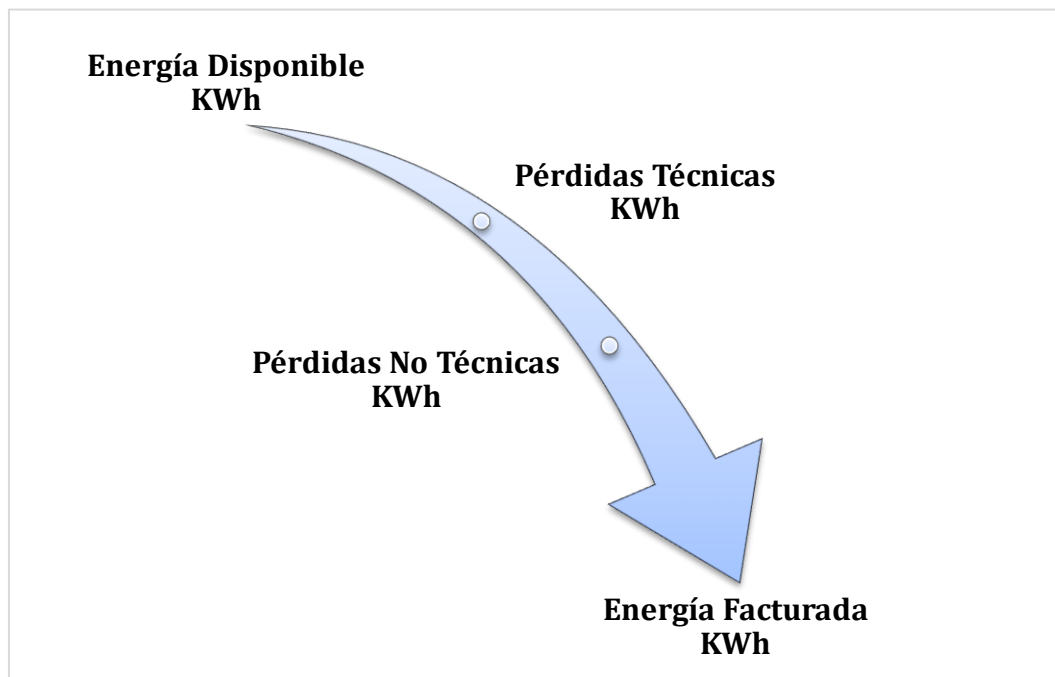
Las pérdidas técnicas constituyen una parte de la energía que no es aprovechada y que el sistema requiere para su operación, es decir, toda la energía que se pierde en los diferentes equipos, redes o elementos que forman parte del sistema de distribución, cuya función es conducir y transformar la electricidad (Olade, 2016).

Estos valores pueden ser determinados por métodos de medición, tanto digitales como analíticos utilizando de las herramientas que se dispongan, sean estos hardware, software, instrumentos de medición, entre otros. Estos porcentajes representan la energía que se pierde durante la transmisión y la distribución de la energía.

Este efecto surge como consecuencia de un calentamiento natural de los tramos de conductores que transportan la electricidad desde las plantas generadoras. Este tipo de pérdidas es normal en distribución y transmisión de energía, por lo tanto, no pueden ser eliminadas totalmente, pero sí reducirse a través del mejoramiento para obtener una red eficiente.

Según (Franco, Alberto Tama, 2017) para lograr un plan adecuado de control y reducción de pérdidas técnicas, se debe tener en cuenta los siguientes parámetros:

- Diagnóstico del estado actual del sistema.
- Proyección de la carga instalada, tomando en cuenta el crecimiento vegetativo.
- Estudios de flujo de cargas, para optimizar la operación en las líneas y redes.
- Estudio de flujo de potencia en el circuito.
- Realizar estudios de reconfiguración de la red de media tensión.



**Figura1:** Las pérdidas de la energía eléctrica.

**Fuente:** Elaborado por Ing. Alberto Tama, Asesor de la Gerencia General Eléctrica, Ecuador.

### 1.1.2. Efectos y causas que originan las pérdidas técnicas.

#### a) Pérdidas por el efecto Joule.

Cuando una corriente atraviesa un conductor isotérmico, se produce una generación de calor. Este efecto ocurre gracias a la transferencia de energía eléctrica a través del tramo de un conductor (Hernández, Valverde, 2017).

A continuación, se presenta la siguiente ecuación:

$$P = 3 * I^2 * R * L \quad (\text{Watts})$$

**Ecuación 1:** Pérdidas por efecto Joule.

**Fuente:** DN-DS, Manual de LAMT V7.

El calor que se desarrolla producto del paso de la corriente, es directamente proporcional a la resistencia presente en el tramo (Maldonado, 2017). Estas pérdidas por efecto joule se manifiestan principalmente en:

- Calentamiento de tramos en el conductor de las derivadas.
- Calentamiento de las bobinas de los transformadores de distribución.

#### b) Pérdidas por histéresis y corrientes parásitas.

Cuando existe una potencia que sirve exclusivamente para magnetizar el núcleo, dicha potencia no tiene otra aplicación práctica, por lo tanto, se le puede considerar como potencia perdida en la imantación del núcleo del transformador y es llamada pérdida por histéresis (Fernández Jon, 2017)

Por otro lado, los equipos eléctricos están formados por tramos de conductor, mediante el cual se mueve en un campo magnético variable, dando lugar a corrientes inducidas que circulan por la red, estas corrientes se denominan de Foucault y son corrientes que generan pérdidas (Olade, 2016).

Estas pérdidas normalmente aumentan en proporción al volumen de energía distribuida.

#### 1.1.3. Pérdidas no técnicas o administrativas.

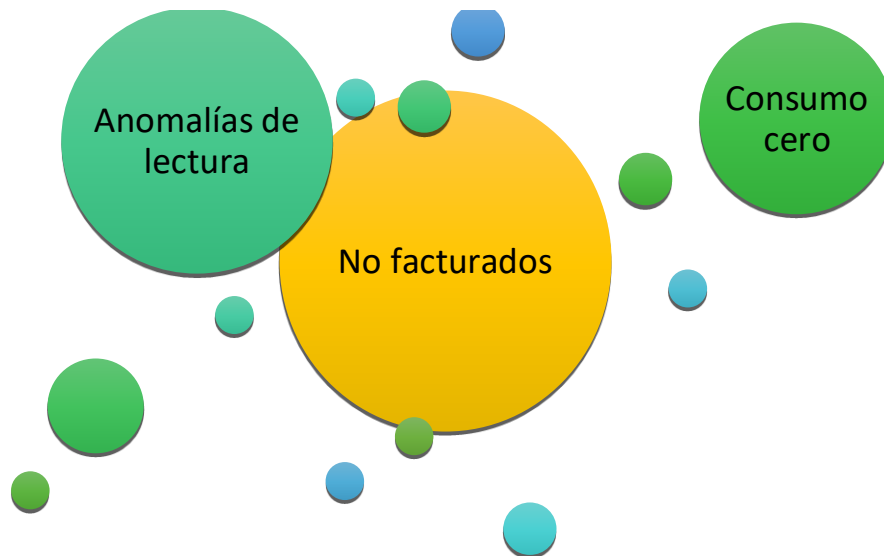
No toda la energía eléctrica que se genera, logra venderse y facturarse. Todas las empresas suministradoras del servicio de electricidad registran pérdidas en la energía que generan y tienen disponible para su venta. Una proporción de la energía se queda por ahí, podría ser que el aparato de medición no lo contabiliza como entregado a los usuarios, y, por lo tanto, no puede ser objeto de cobro (González,

2019). Las pérdidas no técnicas representan y obedecen principalmente al uso clandestino del servicio de la compañía y a errores administrativos.

Las pérdidas administrativas se clasifican en 3 tipos:

1. Anomalías de lectura.
2. Consumo cero.
3. No facturados.

### Clasificación de Pérdidas Administrativas



**Figura 2:** Clasificación de pérdidas administrativas.

**Fuente:** DN-DS, Presentación de pérdidas técnicas y no técnicas.

### 1.2. Estudio de Cargabilidad.

La elaboración de un estudio de cargabilidad, se realiza con el fin de determinar la capacidad de carga que mantiene la red (Ganzino, Henry, 2020). Este análisis se logra extrayendo una base de datos de todos los suministros asociados a dicho circuito, por lo cual se realiza la diversificación de las cargas según su consumo. Esto nos permite conocer con mayor exactitud la suma total en valores de potencia activa (kW) o potencia aparente (KVA), al mismo tiempo nos permite extraer el

promedio del consumo en KW que son de gran utilidad para la realización de cálculos de caída de tensión para la red.

Mediante este análisis se obtienen los valores de cargabilidad del transformador de potencia de la S.E. que alimenta dicho circuito. Su importancia radica en que se verifica si el transformador se encuentra sobrecargado o sobre dimensionado y así el proyectista pueda optar por una solución viable, asegurando la continuidad del servicio eléctrico.

### 1.3. Cálculo de caída de tensión.

Las características propias que presentan las redes de distribución, impulsan a realizar el cálculo de caída de tensión que se produce en la línea, siendo uno de los factores importantes, la resistencia propia de los conductores. Los cálculos son aplicables a un tramo de línea, por lo cual la caída de tensión en el circuito, es la suma de estas caídas.

De acuerdo con (Ministerio de ciencia y tecnología UCO, 2020), la aplicación del siguiente método, nos permite obtener resultados muy aproximados y útiles para brindar soluciones para la configuración de la línea.

A continuación, se expresa la siguiente ecuación:

$$e = 10^5 * \frac{(R + X * tg\phi)}{U^2} * P * L \quad (\%)$$

**Ecuación 2:** Ecuación para cálculo de caídas de tensión.

**Fuente:** Guía BT-Anexo 2.

Si el conductor de las fases y el neutro son de diferente aleación y calibre, se expresa la siguiente ecuación:

$$e = 10^5 * \frac{(R_F + R_N) + (2 * X * tg\phi)}{U^2} * P * L \quad (\%)$$

**Ecuación 3:** Ecuación de caídas de tensión cuando el conductor de fase y neutro son distintos.

**Fuente:** Guía BT-Anexo 2.



Se define:

$e$  = caída de tensión

$L$  = longitud de tramo de línea

$RF$  = resistencia conductor de fase

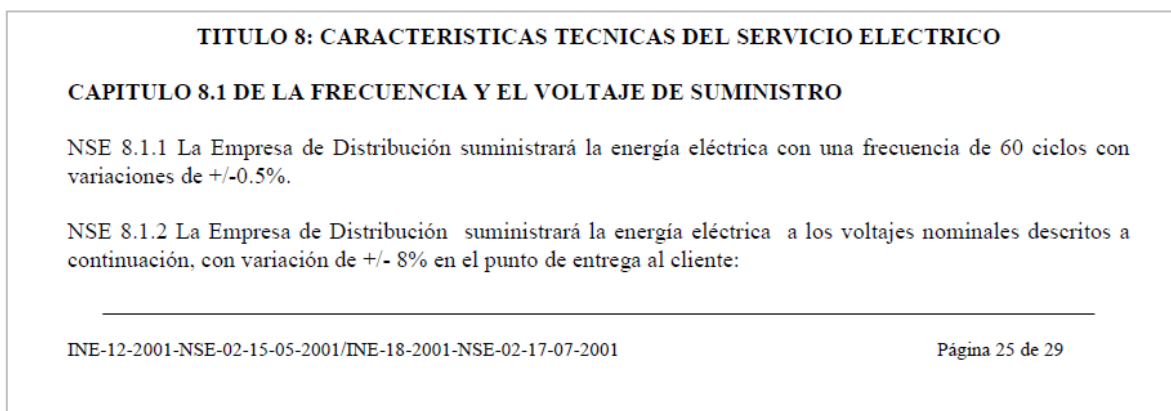
$RF$  = resistencia conductor de neutro

$X$  = reactancia del conductor  $\frac{\Omega}{km}$

$\varphi$  = de fase entre tensión e intensidad

### 1.3.1. Normativa de Servicio Eléctrico (NSE).

De acuerdo a la normativa de servicio eléctrico (Octavio Salinas y Gonzalo Pérez, INE, 2001), debe garantizarse estrictamente los porcentajes establecidos. Para efectos de cálculos eléctricos empleados en los proyectos, se establecen las siguientes restricciones:



**Figura 3:** Parámetros establecidos por la Normativa de Servicio Eléctrico.

**Fuente:** Normativa del Servicio eléctrico (NSE).

### 1.3.2. Regulación de voltaje.

Una de las principales obligaciones a cumplir por parte de las empresas Distribuidoras de Energía, es entregar a los clientes un nivel de voltaje que se encuentre dentro de los límites establecidos por la NSE.

Generalmente la mayoría de las pérdidas activas en sistemas eléctricos de distribución se han debido a la caída de voltaje, el mismo que se da por la corriente que fluye a través de la impedancia de la línea.

En la mayoría de los casos, cuando los clientes son de primera categoría, tal es el caso de agentes grandes consumidores, Hospitales, Centros Comerciales, entre otros, estos límites de regulación de voltaje deben ser más exigentes y en este caso se limitan a valores de +/-5% del voltaje nominal.

#### **1.4. Balance de Energía.**

El balance de energía, es la relación existente entre la energía que se vende en un tiempo determinado para una zona específica, medidos a través de bolsas energéticas, comparándolos con la energía que se le factura al consumidor, mediante los procesos comerciales (Ganzino, Henry,2020).

Los valores que nos den como resultado son los que permiten hacer uso de ellos para realizar el análisis y conocer la desviación existente entre ambos, así poder formular y conocer los valores de pérdidas totales.

La fórmula para calcular el balance de energía es la siguiente:

$$Energía\ perdida = Energía\ entregada - Energía\ facturada$$

Por tanto:

$$\% \text{ pérdidas} = \left( \frac{Energía\ perdida}{Energía\ entregada} \right) * 100$$

**Ecuación 4:** Ecuación para calcular porcentajes de pérdidas.

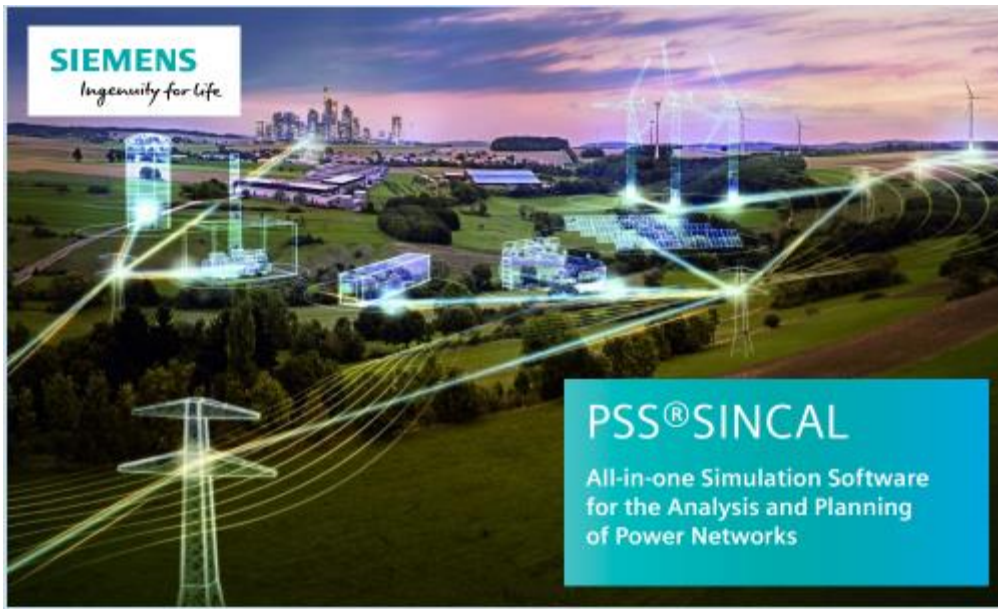
**Fuente:** DN-DS, Manual de LAMT V7.

## **1.5. Programa de Simulación PSS SINICAL.**

El programa PSS SINICAL se implementará para el análisis en estado estable del circuito, es una herramienta de análisis de todo en uno que brinda soporte a los ingenieros de planificación, desde la transmisión hasta la distribución de energía eléctrica (Bilal A. Hassan, 2015). La simulación de redes eléctricas se ve relacionada con el diseño y optimización de los recursos energéticos.

Los sistemas de gran escala como la red de distribución nacional, presenta condiciones de operación en las que es necesaria la implementación de medidas de seguridad para evitar caídas de tensión y colapsos en la red, tomando como referencia que el mantenimiento preventivo responde al análisis de las variables de estado en tiempo real, a través de un programa que proporciona la información necesaria para prevenir alteraciones al servicio eléctrico.

En consecuencia, los modelos exigen el cumplimiento de todas las condiciones de operación de la red, contrayendo grandes cantidades de datos que forman matrices complejas dispersas. (Benjamin Pehle, 2015), nos orienta que la implementación del análisis con simulaciones conlleva el aspecto técnico y económico del software, diversificando el carácter objetivo de la simulación por las múltiples aplicaciones para las que ha sido creado.



**Figura 4:** Pantalla de inicio del PSS SINCAL.  
**Fuente:** DN-DS, Manual de PSS SINCAL, SIEMENS.

#### 1.5.1. Flujos de potencia y pérdidas técnicas.

Según (L. Coria, 2015), para realizar el análisis en estado estable de la red o circuito, se debe de tener en consideración lo siguiente:

- Información técnica del circuito que contenga todos los elementos que forman parte del dominio de la red de distribución a analizar, como pueden ser el calibre de conductor, distancia de los tramos de red, condensadores, transformadores de distribución, transformadores reguladores de tensión, seccionadores, seccionalizadores, interruptores, entre otros.
- Según (Hernández, Valverde, 2017), es necesario las características técnicas de cada uno de los conductores instalados en los tramos, para ser más específicos sus parámetros de impedancia y ampacidad de los mismos.
- Hacer uso de la herramienta LEIKA proporcionada por PSS SINCAL, necesaria para comprobar los datos o parámetros de los conductores de cada tramo.
- Los resultados de mediciones de potencia y energía extraída cada 1 hora, dichas mediciones deben de ser las de cabecera del circuito a realizar el

estudio. Los datos de valores de demanda activa y reactiva, estos se obtendrán de la plataforma SIMEC, (sistema de medición comercial), el cual tiene por función realizar la extracción y recopilación de estos valores medidos en un lapso de 15 minutos durante todas las horas del año.

- No se debe de tomar en cuenta los periodos que ocurrieron fallas en la red, es decir los lapsos de tiempo que el circuito estuvo fuera de servicio, así mismo, maniobras de transferencias de cargas en condiciones de retroalimentación o respaldo. El circuito se debe evaluar en condición normal de operación (L. Coria, 2015).
- Para evaluar los escenarios de carga en el circuito, es necesario dimensionarlo en los perfiles de demanda máxima, media y baja.
- Para obtener mayor precisión en los cálculos de pérdidas técnicas en la red de distribución, se debe aplicar el método “Perfil de carga” para el módulo de flujo de carga.
- El PSS SINCAL nos permite utilizar los métodos de Newthon-Rhapson y Gauss-Seidel para realizar las corridas de flujo. Para este caso seleccionaremos el “Desbalance de fase (Método Gauss-Seidel)”.

#### 1.5.2. Método Gauss-Seidel.

El método de Gauss-Seidel se utiliza para determinar los voltajes en las barras o en los nodos y sus ángulos, además de encontrar estos dos parámetros también se pueden encontrar a través de una serie de iteraciones la potencia reactiva y activa que circula entre dos nodos, el número de iteraciones corresponden al nivel de tolerancia que se les dará dependiendo de la utilización de las líneas.

A continuación, se detalla el algoritmo del flujo de potencia para el sistema de nodos de la IEEE:

Paso 1: Definir los datos de los alimentadores. (Voltaje de los nodos, impedancia de serie entre los nodos, potencia activa, reactiva y aparente de cada nodo).

Paso 2: Definir las matrices de admitancias.

$$Y_{BUS} = [Y_{11} \ Y_{12} \ Y_{21} \ Y_{22}]$$

**Ecuación 4:** Ecuación para calcular Matriz de admitancia Método Gauss-Seidel.

**Fuente:** Análisis de redes eléctricas, Universidad Politécnica Salesiana.

Paso 3: Realización del flujo de potencia.

$$V_k = \frac{1}{Y_{kk}} \left( \frac{S_k^*}{V_k^*} - \sum_{i=1}^n Y_{ki} V_i \right)$$

**Ecuación 5:** Ecuación de cálculo Flujo de potencia, Método Gauss-Seidel.

**Fuente:** Análisis de redes eléctricas, Universidad Politécnica Salesiana.

Paso 4: Cálculo de la potencia activa y reactiva en cada nodo.

$$P_i = \sum_{k=1}^n |V_i Y_{ik} V_k| \cos \cos (\delta_k - \delta_i + \gamma_{ik})$$

**Ecuación 6:** Ecuación para calcular Potencia Activa, Método Gauss-Seidel.

**Fuente:** Análisis de redes eléctricas, Universidad Politécnica Salesiana.

$$Q_i = \sum_{k=1}^n |V_i Y_{ik} V_k| \sin \sin (\delta_k - \delta_i + \gamma_{ik})$$

**Ecuación 7:** Ecuación para calcular Potencia Reactiva, Método Gauss-Seidel.

**Fuente:** Análisis de redes eléctricas, Universidad Politécnica Salesiana.

## II Capítulo: Programas a utilizar para el estudio de la red SKL4020.

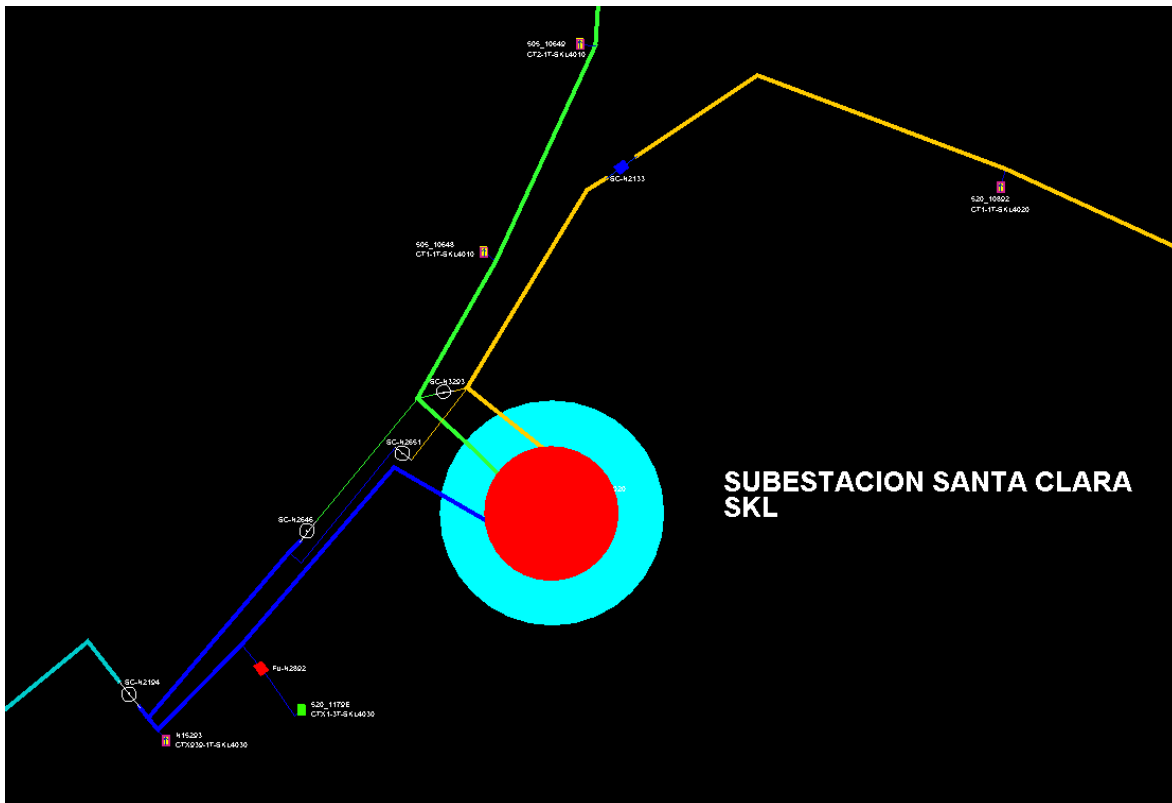
### 2.1. Base de Datos de Instalaciones (BDI).

El BDI es una base de datos, en donde se encuentran representadas gráficamente las instalaciones eléctricas dentro de su área de concesión de la distribuidora a nivel nacional, esto nos ayuda a consultar y verificar, cualquier dato relevante que sea de utilidad para realizar el diseño eléctrico. Esta base de datos contiene todos los elementos que componen una red eléctrica en media tensión, permitiendo ver gráficamente elementos como; transformadores, redes de media tensión (aéreas y soterradas), elementos de protección y reconexión, bancos reguladores, sub estaciones eléctricas, banco de capacitores, entre otros (Williams Arteaga, 2018).



The image shows a software login window for the BDI system. The window has a title bar with a globe icon on the left and standard minimize, maximize, and close buttons on the right. The main content area features a logo on the left consisting of a stylized blue electrical network. To the right of the logo, the letters 'SGD' are displayed in a large, bold, blue font. Below 'SGD', the text 'OPEN SISTEMA DE GESTIÓN DE DISTRIBUCIÓN' is written in a smaller, blue font. Underneath the text, there are three input fields: 'USUARIO:', 'CONTRASEÑA:', and 'NUEVA CONTRASEÑA:'. At the bottom of the window, there are two buttons: 'Aceptar' and 'Salir'.

**Figura 5:** Pantalla de inicio de la Base de Datos de Instalaciones  
**Fuente:** DN-DS, Manual de BDI.



**Figura 6:** Pantallazo de SE SKL, tomada de la Base de Datos de Instalaciones.  
**Fuente:** DN-DS, Ventana Gráfica de BDI.

Este software permite la extracción de los clientes asociados a cualquier centro de transformación instalado en las redes de la distribuidora ya que nos permite extraer todos los suministros en formato de Excel, permitiendo realizar cálculos de Cargabilidad a los transformadores de la zona a adecuar (Williams Arteaga, 2018).

El beneficio de estos programas de la distribuidora, es que ayudan a mejorar la calidad y eficiencia de los proyectos de pérdidas propuestos a realizar, por lo que toda la información que fue obtenida en campo por medio del levantamiento es apoyada con estos sistema, un ejemplo claro es la cartografía de referencia del lugar donde se realizan la adecuaciones de red, esta es proporcionado por el DBI y ayuda al diseñador a determinar desde la oficina posibles clientes considerables a tomar en los cálculos eléctricos.



## 2.2. AUTOCAD.

Es un programa de dibujo asistido por computadora, puedes crear dibujos o planos genéricos en dos y tres dimensiones, documentar proyectos de ingeniería, arquitectura, mapas o sistemas de información geográfica por mencionar algunas industrias y aplicaciones. Los archivos generados por AutoCAD tienen el formato DWG propietario de Autodesk, este es el programa pionero representante de la tecnología CAD (Computer Aided Design).



**Figura 7:** Pantalla de Inicio AutoCAD 2019.

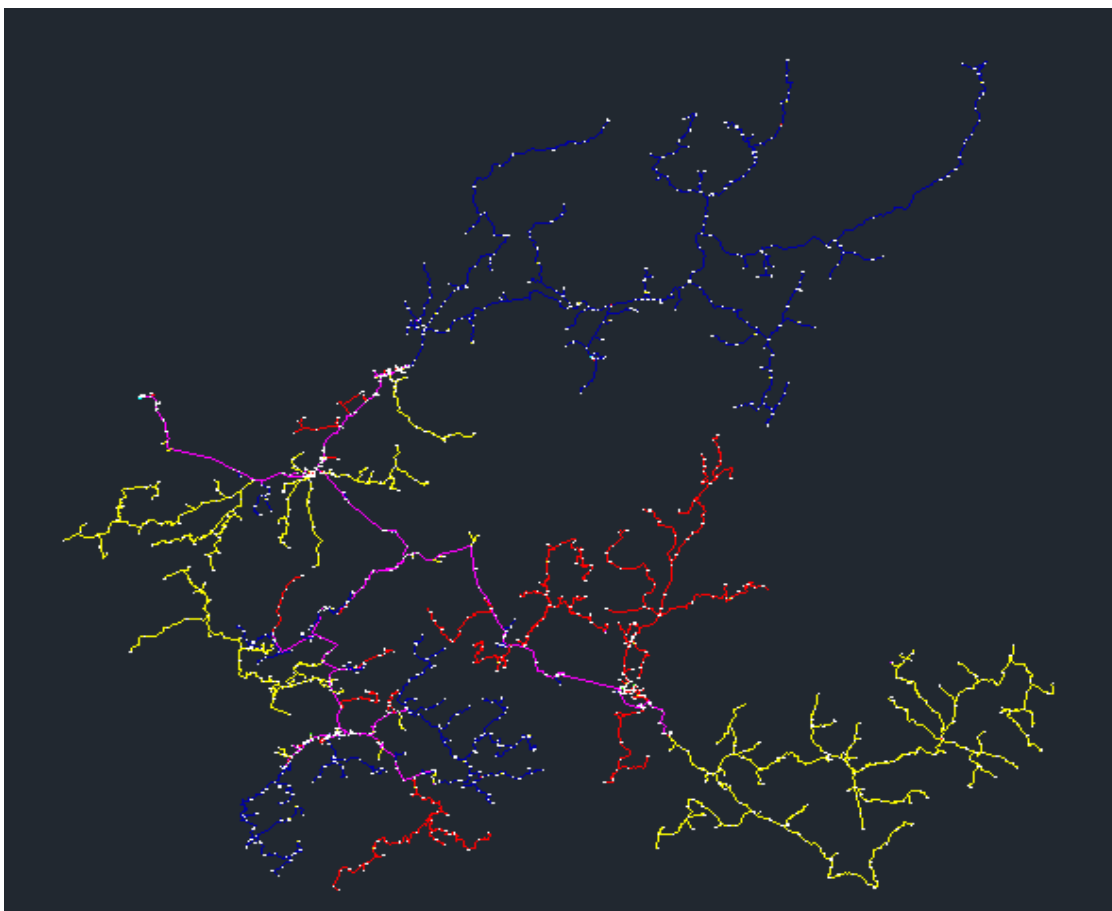
**Fuente:** Autodesk.

Para la elaboración del diseño se utiliza el programa AUTOCAD, donde se plasma lo recopilado de BDI (Base de Datos de Instalaciones), teniendo en cuenta la implementación de las correspondientes simbologías establecidas.

El diseño también deberá de contar con detalles. Cada detalle se realizará con el fin de ayudar al contratista encargado de la construcción del trabajo a tener una visión más clara del tipo de estructura a instalar, los detalles serán revisados y avalado por el coordinador de proyecto (Brayan Duque, 2016).



**Figura 8:** Representación de la red SKL4020 en AutoCAD 2019.  
**Fuente:** Elaboración propia a partir de datos extraídos de BDI.



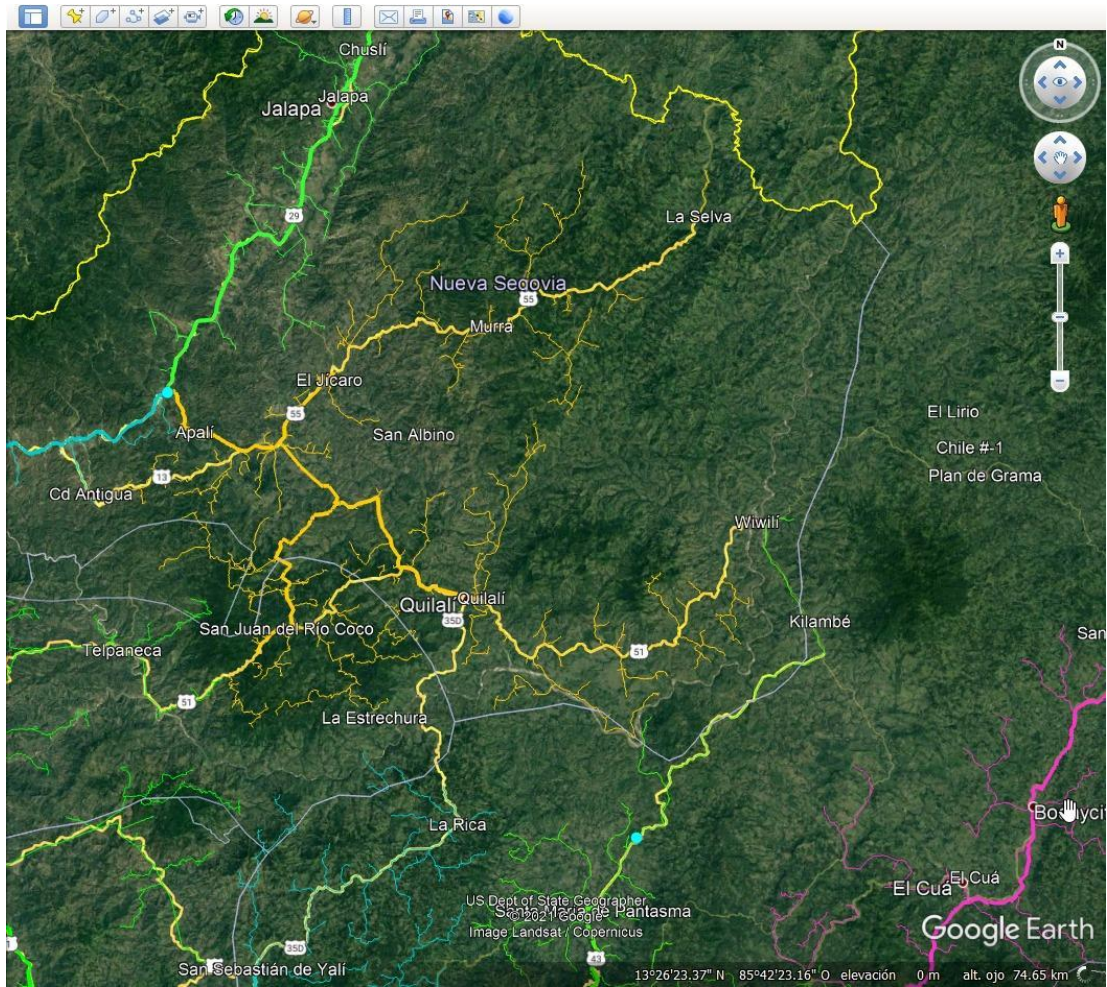
**Figura 9:** Representación de la red SKL4020 en AutoCAD 2019.  
**Fuente:** Elaboración propia a partir de datos extraídos de BDI.

### 2.3. Google Earth.

Google Earth es un programa informático que muestra un globo terráqueo virtual, que permite visualizar múltiple cartografía, basado en imágenes satelitales.

Para este estudio, se ha tratado de reflejar de forma gráfica la información recogida sobre un territorio, en este caso se presenta Santa Clara, Nueva Segovia.

La llegada a los centros de internet ha puesto a disposición de profesores y alumnos, de una ingente cantidad de imágenes: dibujos, fotografías, películas, mapas de todo tipo, fotografías aéreas, satelitales y de herramientas de representación de la realidad. Una de éstas últimas es Google Earth.



**Figura 10:** Representación de la red SKL4020 en Google Earth.  
**Fuente:** Elaboración propia, montaje de red Google Earth.

### III Capítulo: Estudio de la Red MT. SKL-L4020.

#### 3.1. Descripción y delimitación de la S.E. Santa Clara.

La subestación Santa Clara se localiza a un kilómetro al norte del municipio de Santa Clara departamento de Nueva Segovia. Esta subestación cuenta con un transformador de potencia de 15 MVA con voltaje de 69 kV/24.9 kV. Así mismo la S.E. alimenta tres salidas de red en media tensión con las matrículas SMT-SKL4010, SMT-SKL4020 y SMT-SKL4030.

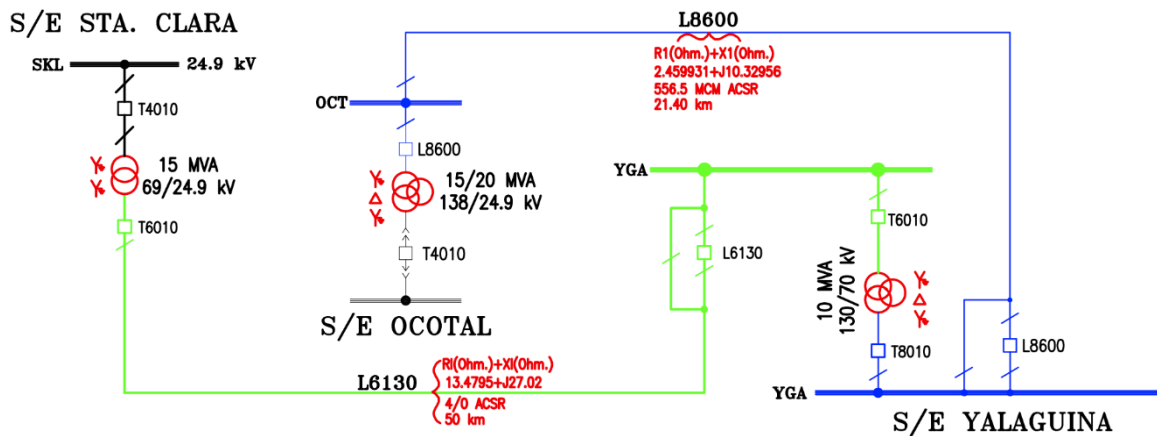


Figura 11: S/E Sta. Clara en el Sistema Interconectado Nacional (SIN).  
Fuente: Tomada del Sistema Interconectado Nacional (SIN).

#### 3.2. Características técnicas de la red de media tensión.

El circuito SKL-L4020 es una salida MT que se encuentra conectado o alimentado por el transformador de potencia SKL-T4010.

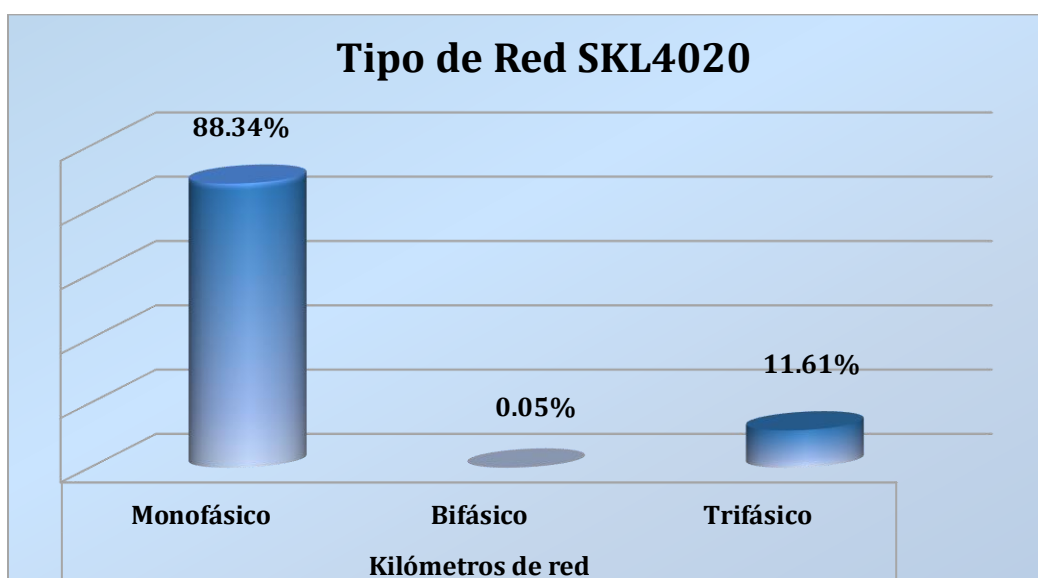
Esta red posee una carga total instalada de 16,563 KVA, distribuidos en 1,244 transformadores que se agrupan en 1,204 centros de transformación. Actualmente el alimentador principal se extiende en 64.07km de red. A este alimentador principal se le conoce como Red Troncal.

Circuito	Tensión (kV)	Configuración de red			Red Troncal (km)	Total red (km)
		Monofásico	Bifásico	Trifásico		
SKL4020	24.9	672.66	0.35	24.36	64.07	761.43

**Tabla 1:** Distribución de los kilómetros de red según la configuración de línea MT.

**Fuente:** Información proporcionada del archivo Inventario de red DN-DS.

En la tabla (1), se determina que este circuito está compuesto en su mayoría por red monofásica, precisamente un 88.34%. La red bifásica constituye un 0.05% y la línea trifásica el 11.61%.



**Gráfico 1:** Porcentaje de red correspondiente al circuito SKL4020.

**Fuente:** Creación propia a partir del archivo Inventario de red DN-DS.

### 3.3. Red de Media Tensión.

#### 3.3.1. Red Troncal.

El alimentador principal llamado también troncal, se caracteriza por ser trifásico y de mayor sección transversal. Se protege a la salida de la subestación distribuidora con un interruptor de recierre automático.

La topología actual que cuentan los circuitos de media tensión ha sido definida por el documento de Arquitectura de red, que es vigente desde el año 2006 e implementada por la empresa Disnorte-Dissur.

De la red troncal surgen los ramales y racimos hacia los transformadores de distribución. Los elementos de maniobra que deben estar instalados en la troncal son interruptores telecontrolado y seccionadores.

La red troncal del SKL4020 está conformada por tramos de distintos calibres de conductor. Estos calibres son #3/0, #1/0, #2 y #4 ACSR. Se considera que la carga demandada no puede superar los 240 amperios (ampacidad del conductor 1/0 ACSR) esto se debe a la existencia de un tramo cerca de la salida MT que posee un calibre 1/0. En dicho tramo va a circular la mayor carga que el circuito demande.

Aunque en la troncal se encuentren instalados tramos de calibre #4 ACSR cuya ampacidad es de 140 amperios y calibre #2 de 185 amperios, estos no son considerados una limitante para el ajuste del disparo o de la demanda que pueda asumir el circuito, por el hecho que se encuentran instalados en puntos de la red donde la carga no superará los 140 amperios.

<b>Configuración Red Troncal SKL4020</b>			
Tipo de conductor 3Ø	Ampacidad (Amp)	Longitud total (km)	Red Troncal (%)
# 4 ACSR	140	4.41	7%
# 2 ACSR	185	2.2	3%
# 1/0 ACSR	240	33.96	53%
# 3/0 ACSR	315	23.5	37%
<b>Total de km de red</b>		<b>64.07</b>	<b>100%</b>

**Tabla 2:** Porcentaje de red troncal según calibre de conductor instalado.

**Fuente:** Creación propia a partir del uso de la Base de datos de Instalaciones.

En la tabla anterior se determina que la mayor parte de red troncal instalada en el SKL4020 es de calibre 1/0 ACSR (53%). Cabe mencionar que la existencia de este calibre de conductor en las cercanías de la subestación, aumenta sustancialmente las caídas de tensión en los extremos receptores de las cargas, debido a una mayor resistencia que esta ofrece al paso de la corriente, comparándolo con respecto al calibre de conductor #3/0 ACSR.

### 3.3.2. Línea derivada y subderivada.

Las líneas derivadas, como su nombre lo indica se derivan de la red troncal o alimentador principal mediante equipo de seccionamiento y protección (cortacircuitos fusibles). Dependiendo de las fases que alimentan serán monofásicas o trifásicas.

Las subderivadas o racimos, salen de las derivadas (ramales), cuya utilidad es alimentar muy pocos transformadores monofásicos (fase-neutro). Estas líneas no deben de tener contemplada la posibilidad de ser alimentadas desde otras líneas secundarias o principales.

Según el Manual de Construcción de Proyecto de Red Eficiente y Sostenible (PRES), las derivadas y/o subderivadas monofásicas no pueden sobrepasar el 5% de la potencia instalada total en el circuito correspondiente.

En el circuito SKL4020 se verificó la potencia instalada en cada una de sus derivadas 1Ø con respecto a la potencia total instalada en la red, considerando únicamente aquellas que muestran un alto porcentaje de carga.

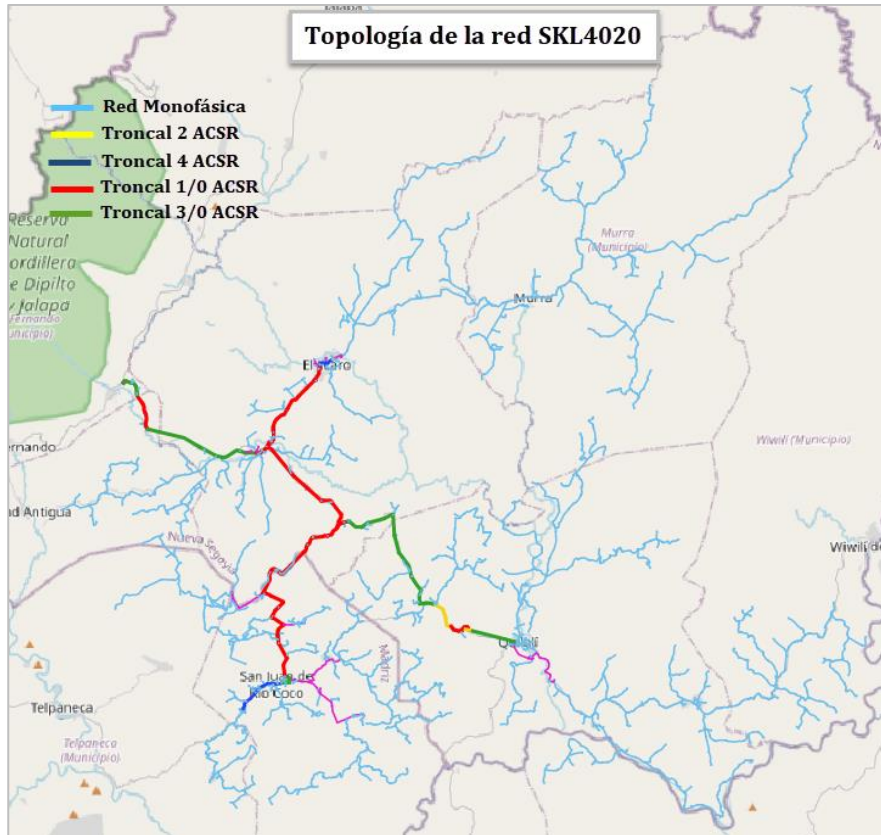


Potencia Instalada en derivadas 1Ø del SKL4020								
Referencia	Potenica Inst. (KVA)	Potencia Inst. SKL4020 (KVA)	Dirección	Fase R	Fase S	Fase T	Calibre Conductor	Potencia Total Inst. (%)
FU-N2987	2,565	16,563	Nueva Segovia-El Jicaro		x		4 ACSR	15.5%
FU-N3762	2092.5	16,563	Nueva Segovia-Quilali-Wiwili			x	1/0 ACSR	12.6%
FU-N2090	1122.5	16,563	Nueva Segovia-Quilali	x			4 ACSR	6.8%
FU-N3502	597.5	16,563	Nueva Segovia-Quilali		x		1/0 ACSR	3.6%
FU-N1886	555	16,563	Nueva Segovia-Ciudad antigua			x	4 ACSR	3.4%
FU-N2089	465	16,563	Nueva Segovia-Quilali	x			2 ACSR	2.8%
FU-N2110	410	16,563	Madriz-San Juan de Rio Coco			x	4 ACSR	2.5%
FU-N2123	410	16,563	Madriz-San Juan de Rio Coco		x		1/0 ACSR	2.5%

**Tabla 3:** Potencia instalada en las derivadas monofásicas del SKL4020.

**Fuente:** Creación propia a partir del uso de la Base de datos de Instalaciones.

En la tabla (3), se observa que tres derivadas monofásicas no cumplen con lo establecido, por lo que es necesaria una conversión a red trifásica para evitar desequilibrios de corrientes y voltajes nocivos para la calidad del servicio. Así mismo es de importancia recalcar la existencia de carga comprometida, como es el caso del Hospital Bello Amanecer el cuál se ubica en la derivada del FU-N3762.



**Figura 12:** Topología actual de la red SKL4020.  
**Fuente:** Creación propia a partir del programa QGIS.

### 3.4. Cargabilidad de la red de media tensión.

Para calcular la cargabilidad de un circuito es necesario conocer el valor en que se encuentra ajustado el arranque primario por fase o ajuste de disparo. Este valor se logra ajustar considerando las maniobras de retroalimentación con otros circuitos adyacentes.

La red SKL4020 es capaz de realizar maniobras de retroalimentación con los circuitos SKL4010 y SKL4030; aunque solo puede asumir carga parcial, debido a que se encuentra limitado el ajuste de disparo por la ampacidad del conductor en la red troncal, no obstante, existen otros factores que se deben de tomar en consideración como capacidad de los TC (Transformadores de corriente) y del cable de potencia.

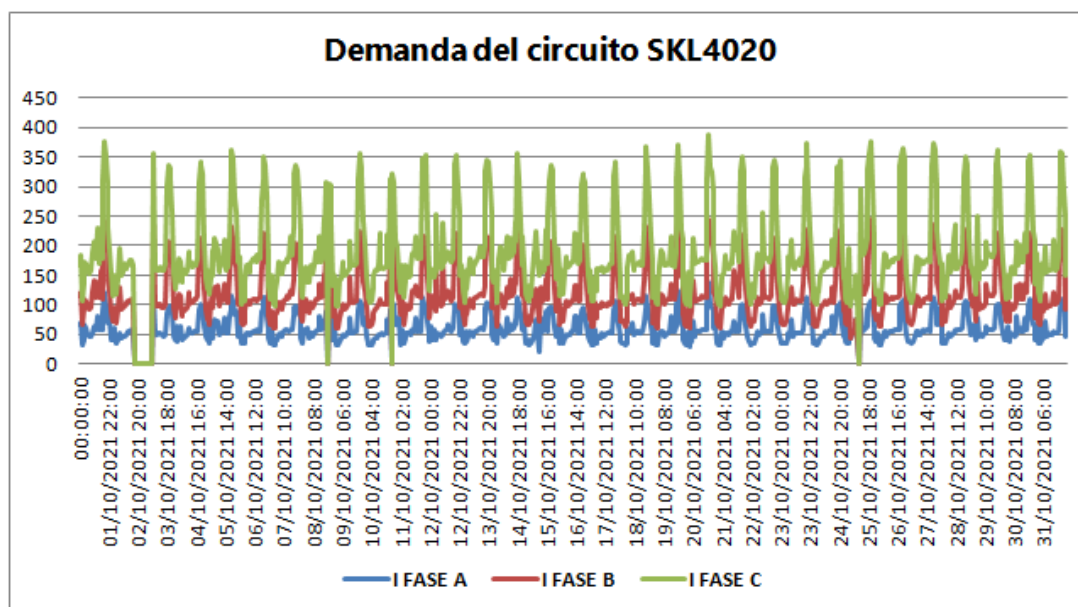
### 3.4.1. Cargabilidad del interruptor de cabecera SKL-L4020.

El circuito SKL4020 registró su máxima demanda en el mes de octubre del año 2021, con un valor de 5.42 MW, que equivalen aproximadamente a 148 amperios.

Actualmente el circuito tiene un ajuste de disparo de 190 amperios (6.97 MW), cuyo valor se encuentra establecido para asumir carga parcial de los circuitos adyacentes (SKL4010 y SKL4030), considerando que no es posible proporcionar los niveles de tensión establecidos en la NSE.8.1.2. En otras palabras, este ajuste es considerado por las caídas de tensión que existen al asumir mayor carga de los otros circuitos.

La red alcanzó el 78% de su arranque primario. Lo que indica que no puede asumir una carga mayor a 42 amperios (1.54 MW) en estado de apoyo, al ocurrir lo contrario el interruptor de cabecera actuaría y dejaría fuera de servicio a la red.

Considerando la ampacidad del conductor troncal 1/0 ACSR cuya capacidad nominal es de 230 amperios, el circuito se cargó a un 64% en operación normal. El transformador de corriente en el SKL4020, con una relación de transformación de 2000/1, se mantuvo en 7.4% de cargabilidad.



**Gráfico 2:** Comportamiento de la demanda del circuito SKL4020 en el mes de octubre.

**Fuente:** Creación propia a partir del archivo de cargabilidad de los circuitos DN-DS.

En el gráfico anterior, se observa un aumento de la demanda en horas pico, esto se debe a que la mayoría de su carga instalada es de tipo residencial, así mismo, demuestra que la fase C está más cargada con respecto a las otras, es decir, el circuito se encuentra en condiciones de desbalance.

Es importante mencionar que esta red cuenta con tres Interruptores telecontrolados (ITC) o también conocidos como Reconectores, estos además de proteger la red ante cualquier fallo realizan constantemente mediciones de los parámetros eléctricos presentes aguas abajo del punto de instalación.

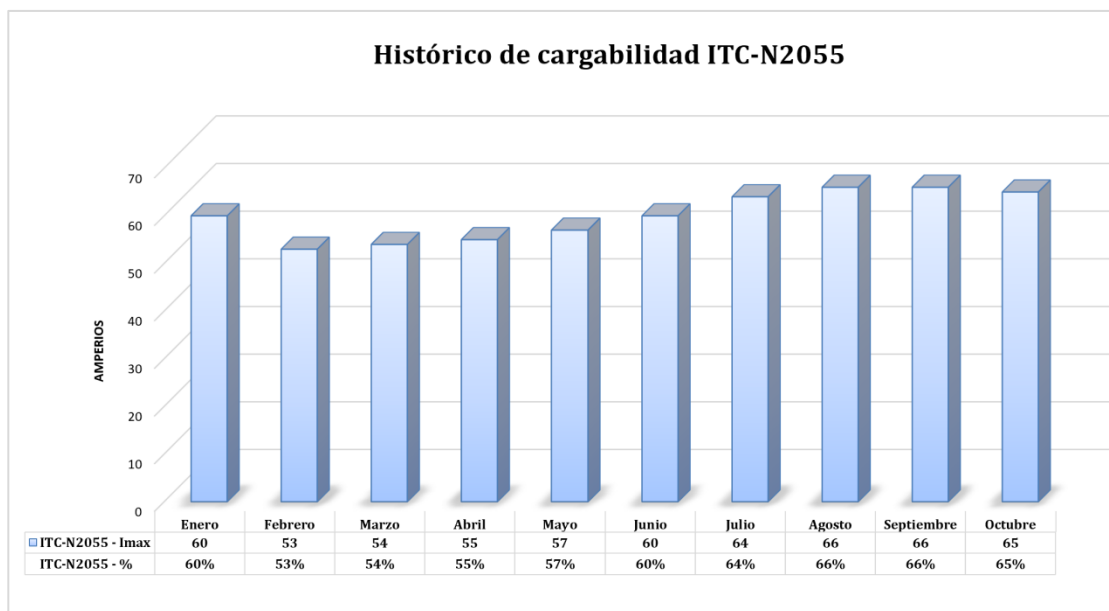
#### 3.4.2. Cargabilidad del interruptor telecontrolado ITC-N2055.

El ITC-N2055 se encuentra localizado en la carretera “El Júcaro”, Nueva Segovia. Este interruptor telecontrolado (ITC), registró su máxima demanda en los meses de agosto y septiembre del año 2021.

Cabe mencionar que protege a la derivada con mayor potencia instalada, la cual representa aproximadamente al 15.5% de la potencia total instalada en la red, parámetro que no cumple a lo establecido en el Manual de construcción (PRES).

Actualmente el ITC tiene un ajuste de disparo de 100 amperios para fase y 65 amperios para neutro. Por tanto, el interruptor telecontrolado en esos dos meses presentó una cargabilidad aproximadamente del 66%.

De acuerdo a estos resultados no es necesario un aumento de la capacidad de arranque primario. Es necesaria la conversión de red monofásica a trifásica y realizar balance de carga entre fases.



**Gráfico 3:** Histórico de cargabilidad del Interruptor Telecontrolado ITC-N2055.  
**Fuente:** Creación propia a partir del archivo de cargabilidad de los ITC DN-DS.

### 3.4.3. Cargabilidad del interruptor telecontrolado ITC-N2076.

El ITC-N2076 se encuentra localizado en la carretera “Las vueltas hacia Quilalí”, Nueva Segovia. Este interruptor telecontrolado registró su máxima demanda en los meses de abril y octubre del año 2021.

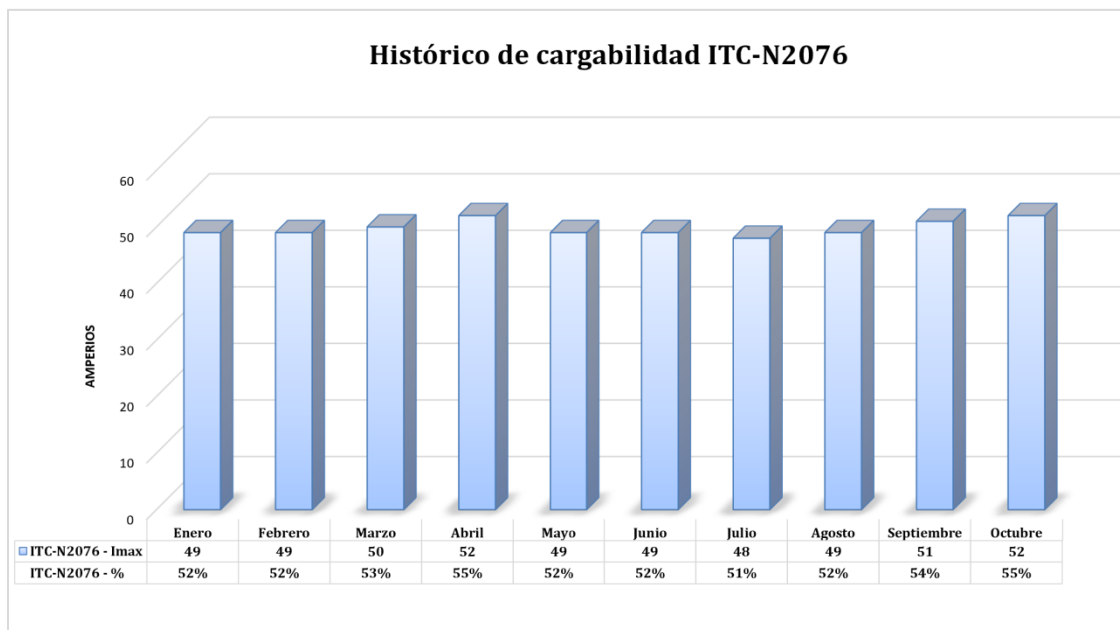
Aguas abajo de este ITC se encuentra la segunda y tercera derivada que no cumplen a lo establecido en el Manual de construcción (PRES).

Estas derivadas son:

1. Derivada 1Ø en FU-N3762, ubicado en carretera Quilalí-Wiwilí, con 12.36%.
2. Derivada 1Ø en FU-N2090, ubicado en Quilalí, con 6.8%.

Actualmente posee un ajuste de disparo de 95 amperios para fase y 60 amperios para neutro. Por tanto, el interruptor telecontrolado en esos dos meses presentó una cargabilidad aproximadamente del 54.7%.

De acuerdo a estos resultados no es necesario un aumento de la capacidad de arranque primario, sin embargo, es prioritaria la conversión de red monofásica a trifásica y realizar balance de carga entre fases.



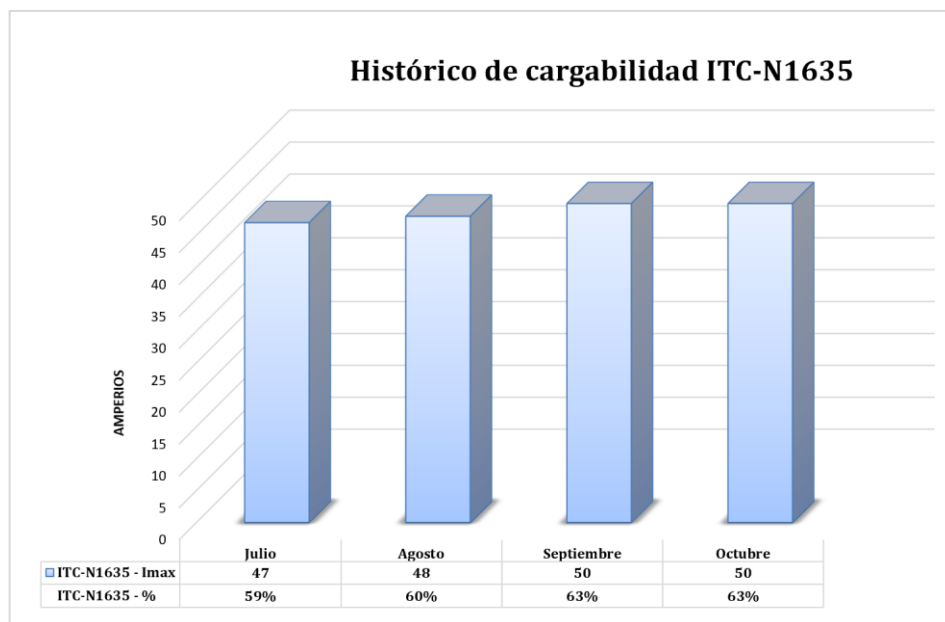
**Gráfico 4:** Histórico de cargabilidad del interruptor telecontrolado ITC-N2076.  
**Fuente:** Creación propia a partir del archivo de cargabilidad de los ITC DN-DS.

#### 3.4.4. Cargabilidad del interruptor telecontrolado ITC-N1635.

El ITC-N1635 se encuentra localizado en la carretera “San Juan Rio Coco”, Nueva Segovia. Este interruptor telecontrolado registró su máxima demanda en los meses de septiembre y octubre del año 2021.

Actualmente posee un ajuste de disparo de 80 amperios para fase y 40 amperios para neutro. Por tanto, el interruptor telecontrolado en esos dos meses presentó aproximadamente una cargabilidad del 62.5%.

De acuerdo a estos resultados no es necesario un aumento de la capacidad de arranque primario, sin embargo, es necesaria la conversión de monofásica a trifásica y realizar balance de carga entre fases.



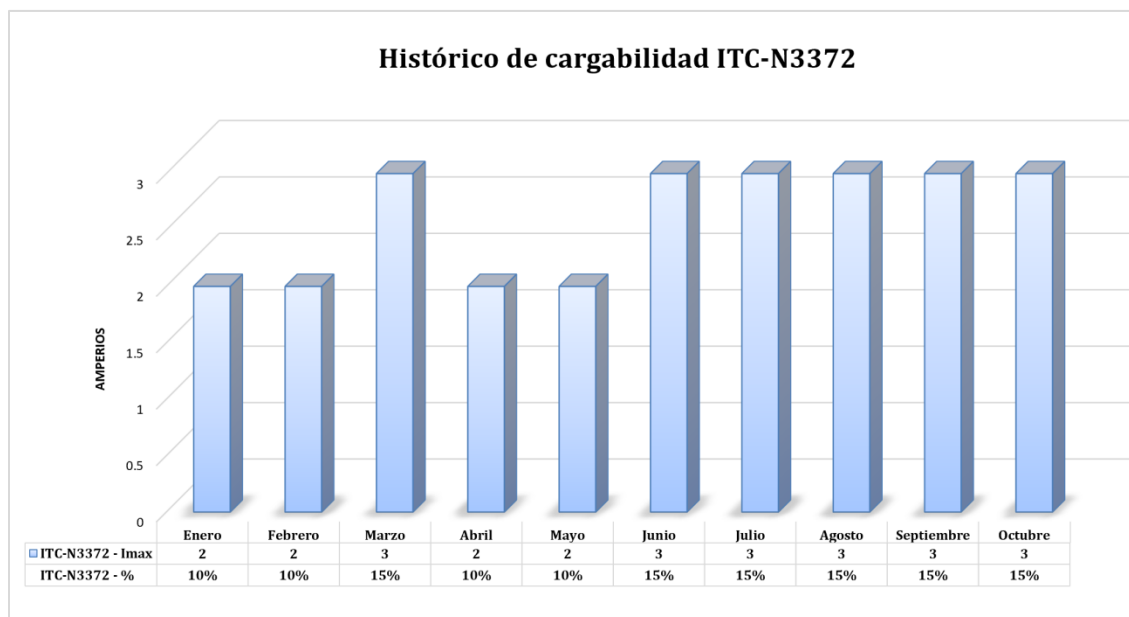
**Gráfico 5:** Histórico de cargabilidad del interruptor telecontrolado ITC-N1635.  
**Fuente:** Creación propia a partir del archivo de cargabilidad de los ITC DN-DS.

#### 3.4.5. Cargabilidad del interruptor telecontrolado ITC-N3372.

El ITC-N3372 se encuentra localizado en Wiwili, Nueva Segovia, en una derivada monofásica por lo que registra únicamente la fase T.

Al ser el único ITC monofásico del circuito, se encuentra configurado el ajuste de disparo a 20 amperios para fase. No posee ajuste de neutro y su carga no supera los 3 amperios. Por tanto, el interruptor telecontrolado presentó aproximadamente una cargabilidad del 15%.

Producto a que la carga en este punto o tramo de red son bajas, no se necesita un aumento de la capacidad de arranque primario, ni de conversión de red monofásica a trifásica.



**Gráfico 6:** Histórico de cargabilidad del interruptor telecontrolado ITC-N3372.  
**Fuente:** Creación propia a partir del archivo de cargabilidad de los ITC DN-DS.

### 3.5. Balance de cargas.

En los sistemas de distribución es común encontrar cargas monofásicas a lo largo de los alimentadores trifásicos lo cual ocasiona un aumento en las pérdidas técnicas del sistema. Las elevadas corrientes en el neutro, ocasionadas por el desbalance de las cargas, pueden generar disparos indeseados en las protecciones así como una limitación adicional en la capacidad de las líneas dada por el límite térmico del conductor de neutro.

El desbalance se origina entre las corrientes de fases, especialmente por la existencia de transformadores monofásicos a lo largo del alimentador, esto significa que en la práctica es imposible lograr un balance total del sistema. No obstante, sí es posible disminuir el porcentaje de desbalance de un sistema (medido por las corrientes de secuencia cero) mediante un conjunto de cambios en las fases a las que están conectadas las cargas.

Un sistema con corrientes desbalanceadas produce voltajes desbalanceados, que arrastran caídas de voltajes en líneas, transformadores, entre otros. De tal manera



que un sistema de distribución con cargas desequilibradas representa un costo mayor de operación. En resumen, un sistema de distribución con las magnitudes de corrientes de sus fases prácticamente equilibradas es el ideal.

El grado de desbalance puede ser expresado mediante un índice de desbalance que es definido como se muestra en la siguiente ecuación:

$$d = \frac{\max [(I_a - I_{prom}), (I_b - I_{prom}), (I_c - I_{prom})]}{I_{prom}} * 100\% \quad (1)$$

**Ecuación 8:** Ecuación para calcular desbalance de carga.

**Fuente:** WESTINGHOUSE Electric Corporation. Distribution System.

Donde:

$$I_{prom} = \left[ \frac{I_a + I_b + I_c}{3} \right] \quad (2)$$

*d*: Porcentaje de desbalance

*I<sub>a</sub>, I<sub>b</sub>, I<sub>c</sub>*: Magnitud de la corriente de fase (A)

*I<sub>prom</sub>*: Magnitud de la corriente promedio de las tres fases (A)

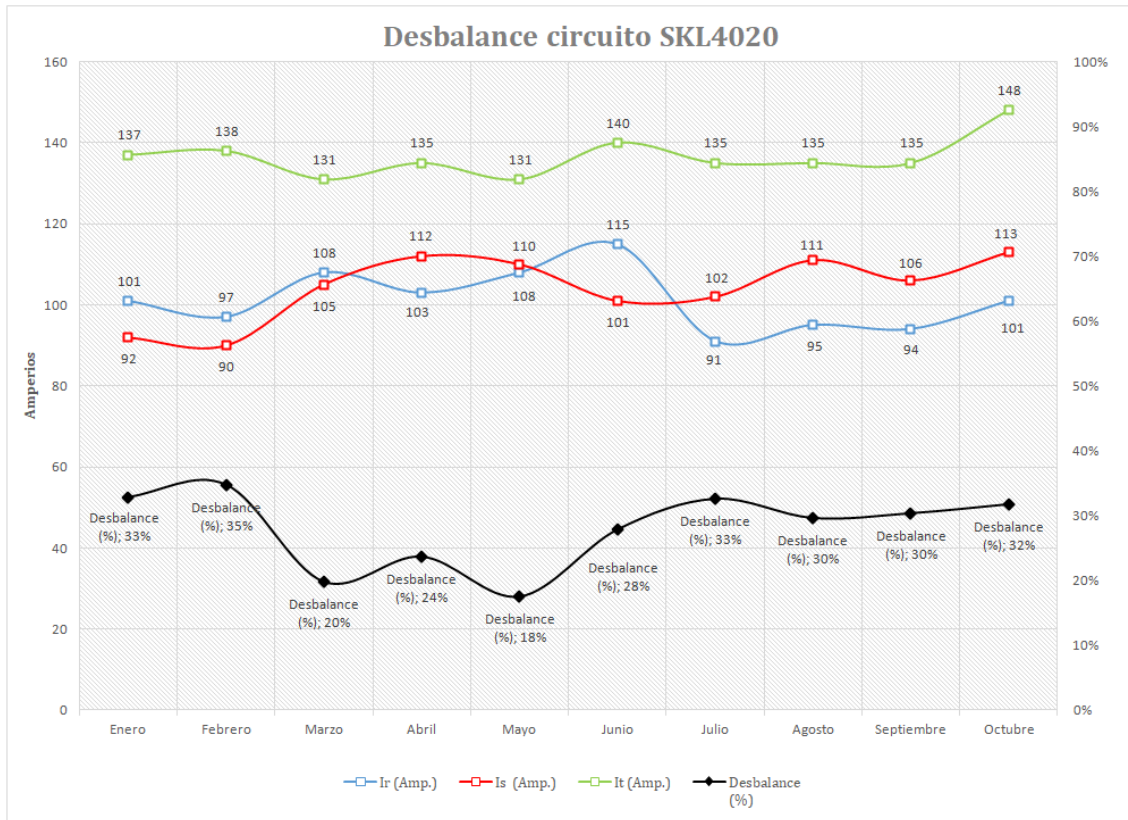
**Ecuación 9:** Ecuación para calcular la magnitud de la corriente promedio.

**Fuente:** WESTINGHOUSE Electric Corporation Distribution System.

### 3.5.1. Balance de cargas del circuito SKL4020.

Se considera que un circuito está desbalanceado cuando la diferencia entre la fase más cargada y la menos cargada es mayor al 15% (Llamo, 2007).

El circuito SKL4020 para el mes de octubre del 2021, presentó su mayor cargabilidad y un desbalance aproximado de 32%. No obstante, en febrero del mismo año el circuito registró su máximo desbalance de cargas entre fases con un aproximado 35%.



**Gráfico 7:** Desbalance del circuito SKL4020 desde el mes de enero hasta octubre del 2021.  
**Fuente:** Creación propia a partir del archivo de cargabilidad de los circuitos DN-DS.

En el gráfico (7), podemos observar los máximos desbalances que se presentan en el circuito durante el mes de enero hasta octubre del año 2021. Los valores indicados de corrientes son en demanda máxima, se tomó como valor referencial esta demanda, por ser la de mayor consumo y elevadas corrientes.

Por el desbalance antes mencionado el circuito muestra las siguientes características:

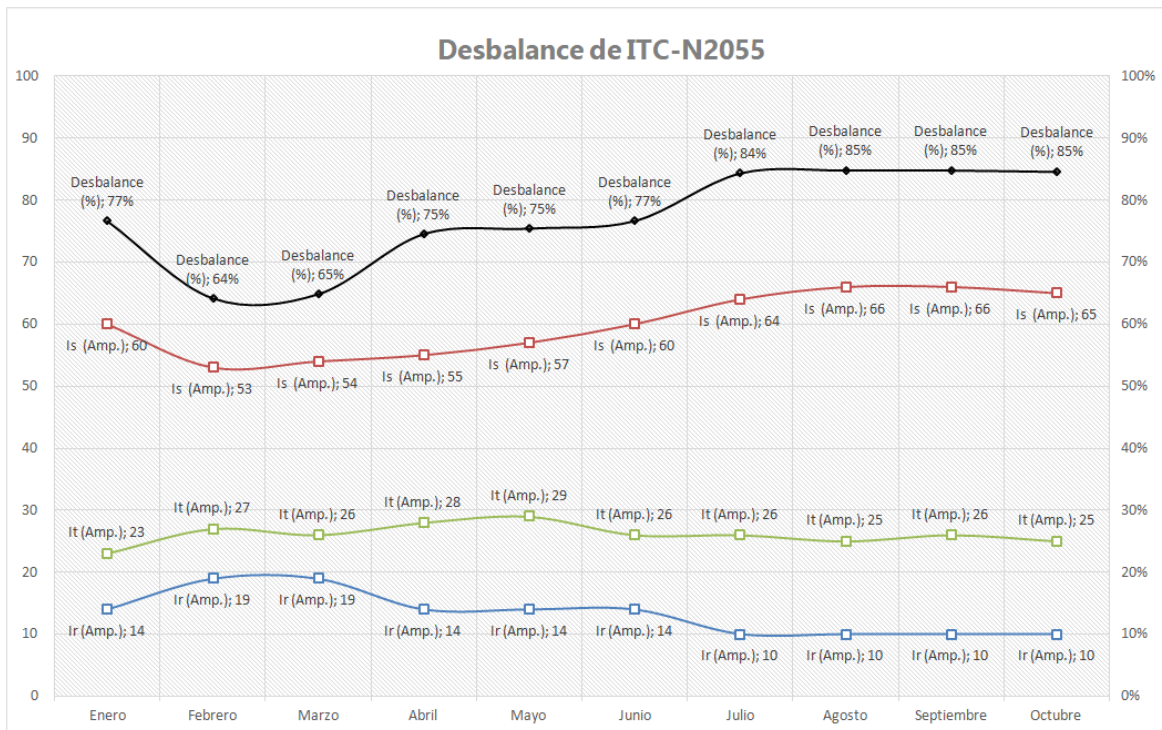
1. La mayoría de la carga instalada del circuito es monofásica y está conectada a la fase T.
2. Producto al desbalance de corrientes del circuito SKL4020, existen altos porcentajes de caídas de tensión en los extremos de las derivadas 1Ø.

3. Las pérdidas técnicas son significativas al estar una fase más cargada con respecto a la otra se produce un mayor calentamiento natural de los conductores, a esto se le conoce como efecto Joule.
4. Elevadas corrientes en el neutro, ocasionadas por el desbalance de las cargas, generan disparos indeseados de las protecciones de media línea y cabecera.

La empresa distribuidora Disnorte-Dissur establece que la máxima diferencia de desbalance entre fases no debe sobrepasar el 10%, sin embargo, en el margen del 11-20% se considera admisible.

### 3.5.2. Balance de cargas del interruptor telecontrolado ITC-N2055.

El interruptor telecontrolado se ubica aguas arriba de la derivada a “El Júcaro”, derivada alimentada por la fase S la cual no cumple con el criterio de potencia instalada en una derivada 1Ø.



**Gráfico 8:** Desbalance del interruptor telecontrolado ITC-N2055 en el año 2021.

**Fuente:** Creación propia a partir del archivo de cargabilidad de los ITC DN-DS.

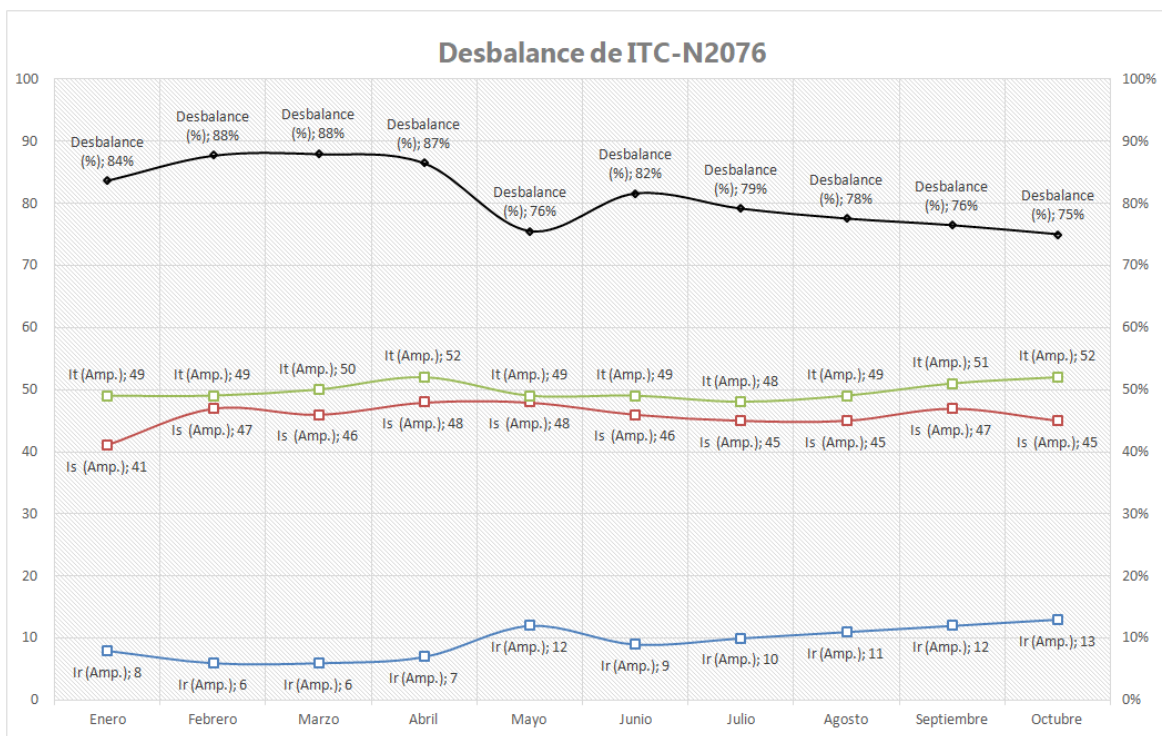
En el gráfico (8), se logra observar que la fase S es la mayor cargada con respecto a las otras, a consecuencia de este resultado las cargas instaladas sufren un desbalance de hasta el 85%.

Por tanto, en este escenario no se cumplen con los niveles de tensión de  $- + 8\%$  establecidos en la Normativa de Servicio Eléctrico.

### 3.5.3. Balance de cargas del interruptor telecontrolado ITC-N2076.

El interruptor telecontrolado se ubica aguas arriba de las derivadas monofásicas que alimentan el sector de Quilalí y Wiwilí.

Para el estudio este ITC es de vital importancia por su zona de cobertura, dentro de la cual existen derivadas que se encuentran por encima de lo normado en su potencia instalada, y al ser extremos de red sufren de caídas de tensión.



**Gráfico 9:** Desbalance del interruptor telecontrolado ITC-N2076 en el año 2021.

**Fuente:** Creación propia a partir del archivo de cargabilidad de los ITC DN-DS.

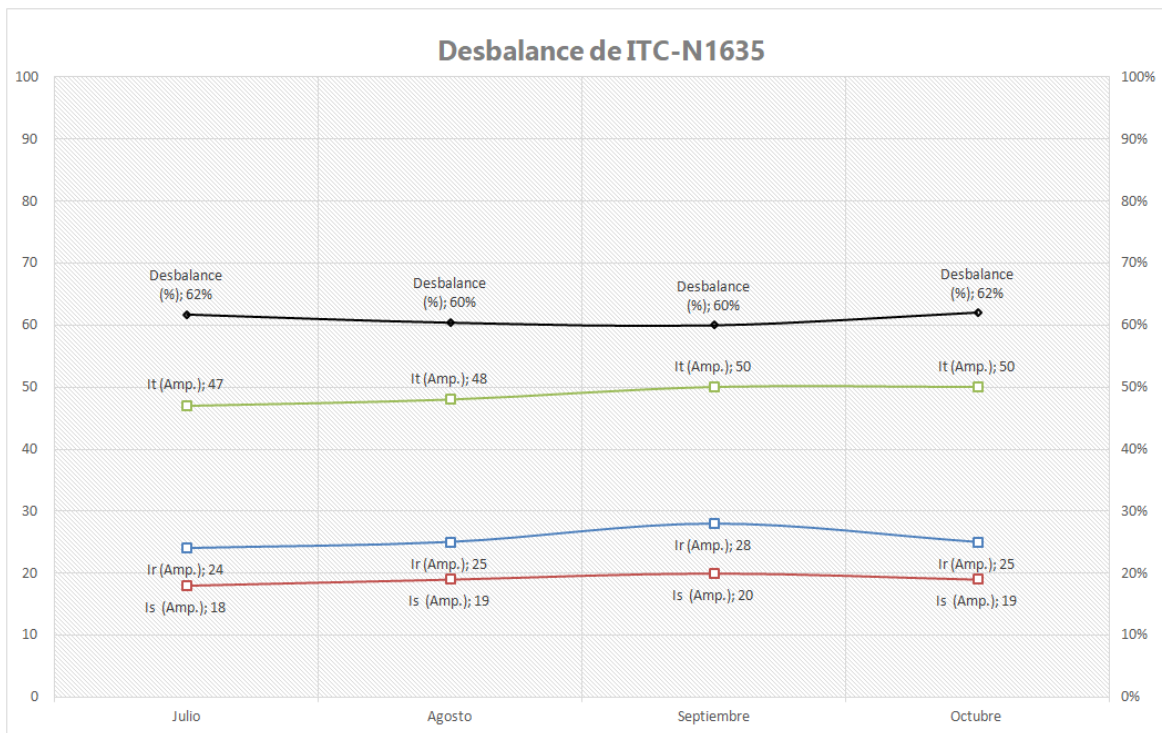
En el gráfico (9), se logra observar que la fase R es la menor cargada con respecto a las otras, a consecuencia de este resultado las cargas instaladas sufren un desbalance de hasta el 88%.

Por tanto, en este escenario no se cumplen con los niveles de tensión de  $- + 8\%$  establecidos en la Normativa de Servicio Eléctrico.

#### 3.5.4. Balance de cargas del interruptor telecontrolado ITC-N1635.

El interruptor telecontrolado se ubica aguas arriba de la derivada monofásica que alimentan el sector de San Juan Rio Coco. Cabe mencionar que en este punto el circuito no sufre de altos porcentajes de caídas de tensión, por lo que se mantiene dentro del margen.

En el gráfico (10), se logra observar que la fase T es la mayor cargada, a consecuencia de este resultado las cargas instaladas sufren un desbalance de hasta el 62%.



**Gráfico 10:** Desbalance del interruptor telecontrolado ITC-N1635 en el año 2021.

**Fuente:** Creación propia a partir del archivo de cargabilidad de los ITC DN-DS.

### 3.6. Balance de energía del circuito de distribución SKL4020.

El balance de energía presentado por el circuito SKL4020 en los meses de agosto, septiembre y octubre del año 2021 son los siguientes:

Balance de Energía de la red SKL4020				
Variables (Mwh)		Año 2021		
		Agosto	Septiembre	Octubre
1	Extraído	1,609.61	1,587.93	1,704.46
2	Facturado	1,029.76	1,002.98	1,070.22
3	Energía Sustraída	8.03	0.00	1.20
4	Total Facturado	1,029.76	1,002.98	1,070.22
5	Diferencia	579.86	584.95	634.24
6	% Pérdidas Mes	36.02%	36.84%	37.21%

**Tabla 4:** Balance de energía del circuito SKL4020.

**Fuente:** Creación propia a partir de información del archivo "Balance de energía DN-DS".

### 3.7. Corrida de Flujo del SKL4020 en PSS SINCAL.

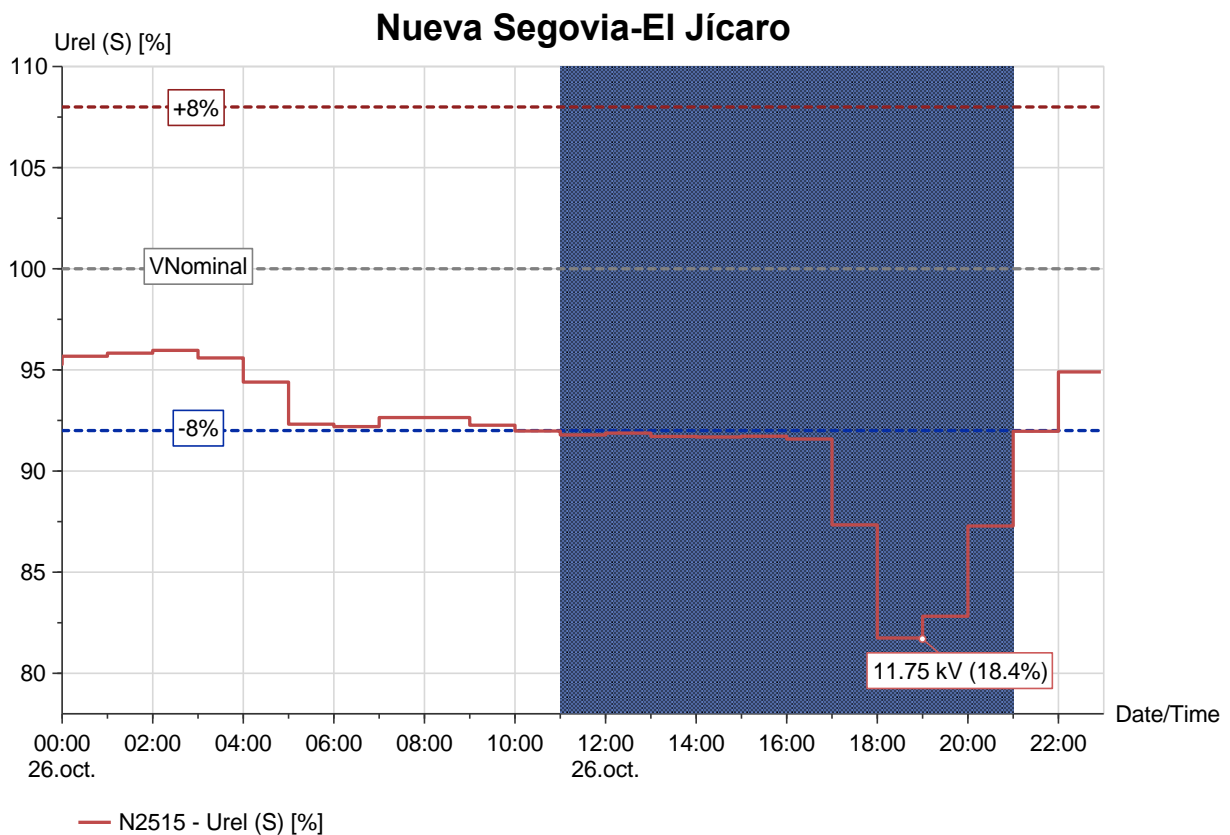
#### 3.7.1. Caída de tensión.

Los circuitos de distribución que presentan una gran extensión de red normalmente las tensiones de salida del circuito son ajustadas por un regulador de control automático que permite un aumento del nivel de tensión en los extremos de la red. Es importante mencionar que al utilizar un regulador de tensión para mejorar la tensión a entregar al cliente las cargas instaladas en las cercanías de este tienden a sobrepasar los niveles permisibles normados.

En condición actual la red de media tensión SKL4020 no cumple con lo establecido por la N.S.E, para determinar los niveles de caída de tensión alcanzados en la trayectoria más alejada del circuito se realizará una corrida de flujo.

Realizada la corrida de flujo en PSS SINICAL, se confirma que en el tramo más alejado de la derivada monofásica “El Júcaro” la fase S entrega un nivel de tensión de 11.75 kV, cuyo valor corresponde a un 18.4% de caída con respecto a la tensión nominal.

El voltaje nominal de este circuito es de 14.4 kV y los niveles se mantienen por debajo de lo permisible a partir de las 11:00 hasta las 21:00 horas. En este tiempo los usuarios se encuentran comprometidos a sufrir daños de aislamiento en sus electrodomésticos o equipos industriales como motores y transformadores.



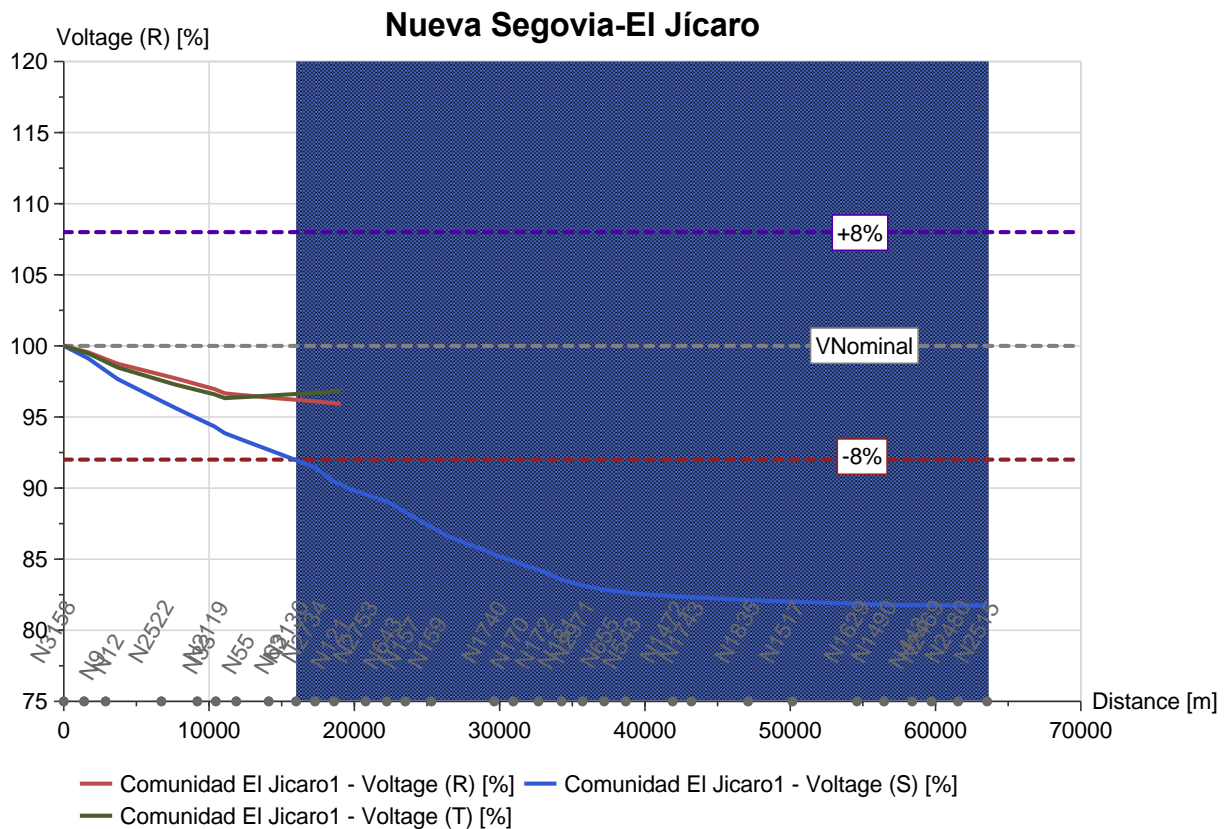
**Gráfico 11:** Caída de tensión en la derivada monofásica “El Júcaro”.  
**Fuente:** Creación propia a partir de la corrida de Flujo en PSS SINICAL.

El gráfico (11), representa el comportamiento de la tensión en un período de 24 horas. Los datos utilizados corresponden al día de máxima demanda del mes de octubre del año 2021.

Para evaluar las caídas de tensión en las derivadas de gran longitud se ha optado por crear rutas en las cuales se observe el comportamiento del perfil de tensión desde la salida del circuito de media tensión SKL4020 hasta los puntos más alejados de esta red.

Para el estudio se definieron las siguientes rutas:

Ruta “Derivada El Júcaro”.



**Gráfico 12:** Caída de tensión desde la S.E. hasta la derivada “El Júcaro”.

**Fuente:** Creación propia a partir de la corrida de Flujo en PSS SINCAL.

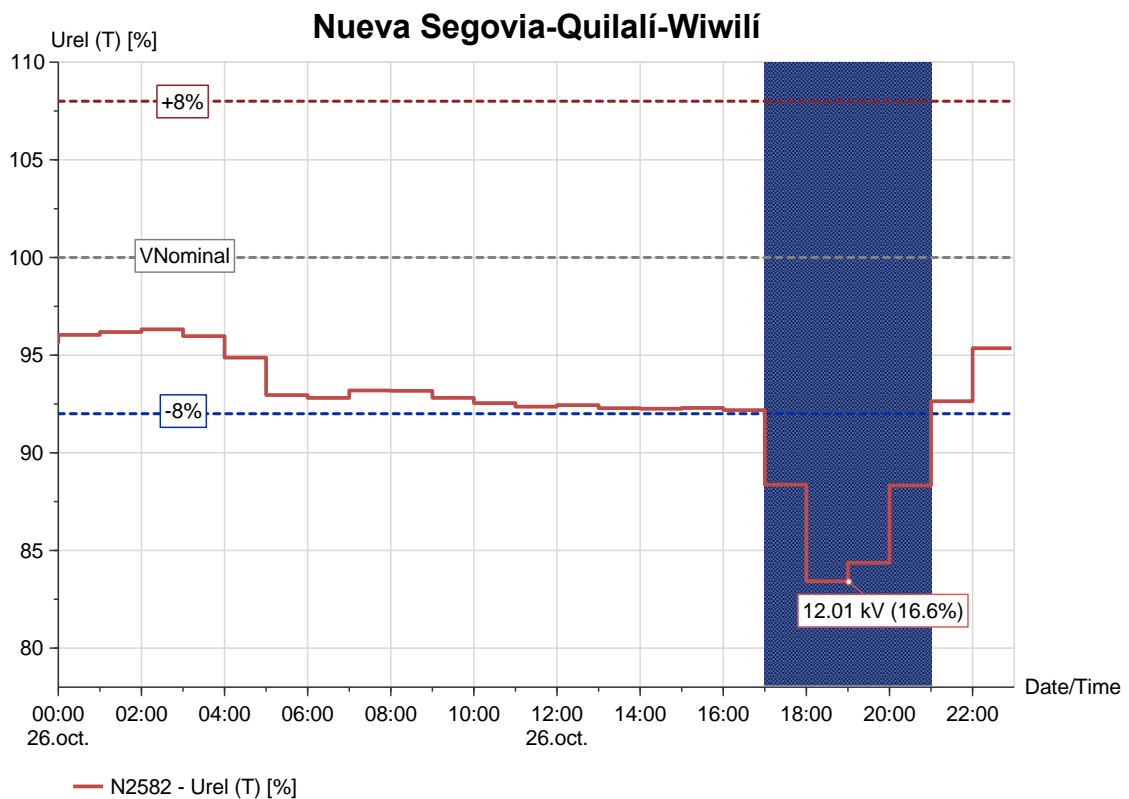
En el gráfico (12), se aprecia que aproximadamente a los 16 km de red empieza a descender el nivel de tensión de la fase S manteniéndose por debajo del valor establecido por la NSE.



Otra zona de estudio es la derivada “Quilalí-Wiwilí” ya que presenta problemas con la entrega de voltaje. Se ubica el tramo más alejado de la derivada para evaluar el margen de caída.

La fase T suministra un nivel de tensión de 12.01 kV, valor que corresponde a un 16.6% de caída, a partir de las 17:00 hasta las 21:00 horas.

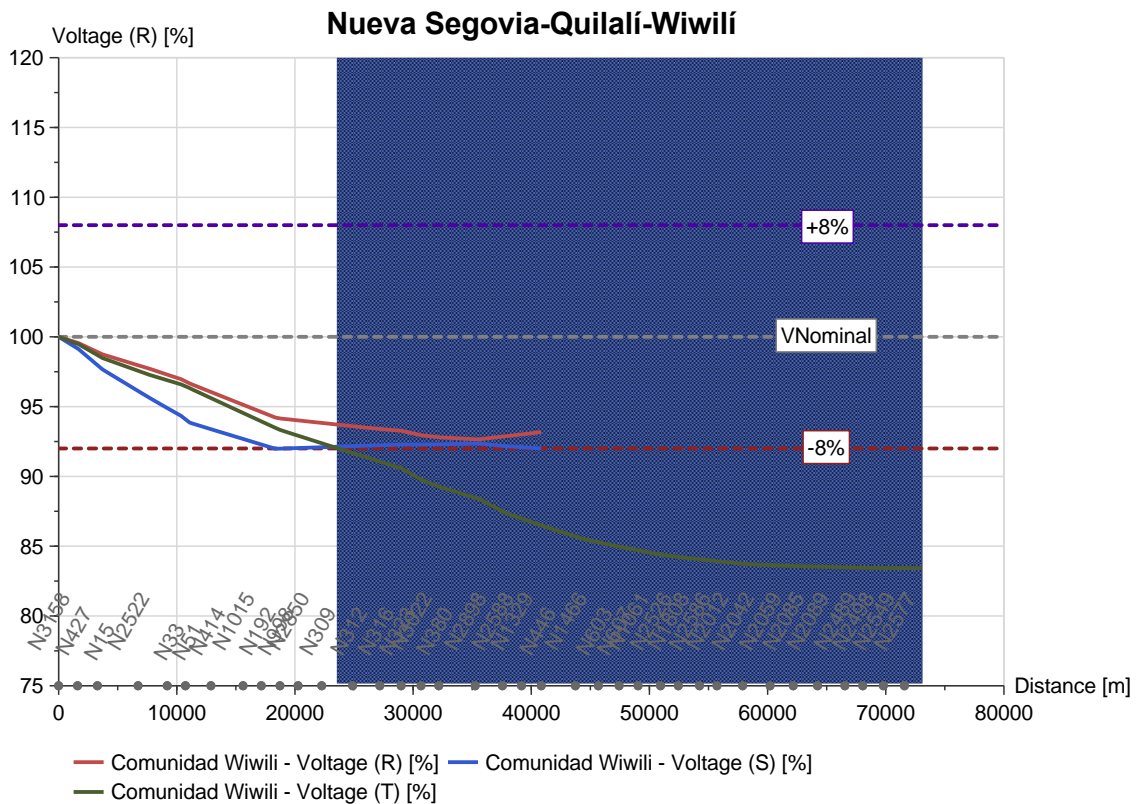
A como se muestra en la siguiente gráfica:



**Gráfico 13:** Caída de tensión en la derivada monofásica “Quilalí-Wiwilí”.

**Fuente:** Creación propia a partir de la corrida de Flujo en PSS SINCAL.

## Ruta “Derivada Quilalí-Wiwilí”.



**Gráfico 14:** Caída de tensión desde la S.E. hasta la derivada “Quilalí-Wiwilí”.

**Fuente:** Creación propia a partir de la corrida de Flujo en PSS SINCAL.

En el gráfico (14), se aprecia que aproximadamente a los 23.6 km de red empieza a descender el nivel de tensión de la fase T manteniéndose por debajo del valor establecido por la NSE.

### 3.7.2. Pérdidas Técnicas.

Realizada la corrida de flujo de la red de distribución del circuito SKL4020, se extraen los resultados de pérdidas en plantillas de Excel.

Cabe aclarar que el siguiente cálculo representa las pérdidas por transporte en el conductor MT, por tanto, no incluye las pérdidas por transformación y las pérdidas no técnicas.

Los resultados se detallan en la siguiente tabla:

<b>PÉRDIDAS MT, SKL-L4020 octubre 2021</b>						
Circuito	Perfil	Mes	Extracción calculada (KWh)	Pérdidas MT (KWh)	% Pérdidas MT SKL4020	% Pérdidas Totales 2021
SKL-L4020	1	Octubre 2021	1,805,577	81,218.2	4.50%	4.50%
	<b>TOTAL</b>		<b>1,805,577</b>	<b>81,218</b>	<b>4.50%</b>	<b>4.50%</b>

<b>Extracción real Octubre 2021 ( KWh)</b>	1,704,459.32	4.77%
--	--------------	-------

**Tabla 5:** Pérdidas Técnicas del circuito SKL4020.

**Fuente:** Creación propia a partir de la corrida de Flujo de PSS SINCAL”.

De lo antes presentado se determina que se pierde aproximadamente el 4.5% de la energía inyectada al circuito debido la distribución de esta.

## **IV Capítulo: Propuestas de mejoras en la Red SKL4020.**

En este capítulo se evaluarán tres escenarios para mejorar las condiciones actuales de la red del SKL4020, dichos escenarios estarán focalizados en la mejora del perfil de tensión suministrado a los usuarios y a la reducción de pérdidas técnicas.

Los escenarios a evaluar son los siguientes:

- Instalación de reguladores de voltaje.
- Instalación de reguladores de voltaje y conversión de LAMT1Ø a LAMT3Ø.
- Repotenciación de Red Troncal más conversión de LAMT1Ø a LAMT3Ø.

### **4.1. Instalación de Reguladores de Voltaje.**

Mantener la tensión dentro de los límites definidos siempre ha sido un parámetro esencial en la planificación de redes eléctricas para sistemas de distribución. Los reguladores permiten mantener un perfil de tensión estable y es una solución comúnmente utilizada.

Para mejorar el perfil de tensión entregado a los usuarios del circuito SKL4020, se propone la instalación de dos bancos de reguladores trifásicos con controlador automático, que posean una capacidad de 432 KVA cada uno.

El primer banco de regulador trifásico se debe instalar aproximadamente a 1.3km posterior al ITC-N2055 o a los 14.3km de red troncal utilizando la ruta “Derivada El Júcaro”.

Los resultados se detallan en la siguiente tabla:

<b>Banco de Regulador Trifásico "El Júcaro"</b>			
<b>Fase</b>	<b>Tensión nominal (kV)</b>	<b>Tensión Entrada (kV)</b>	<b>Tensión Salida (kV)</b>
R	14.4	13.85	14.48
S		13.33	14.71
T		13.88	14.42

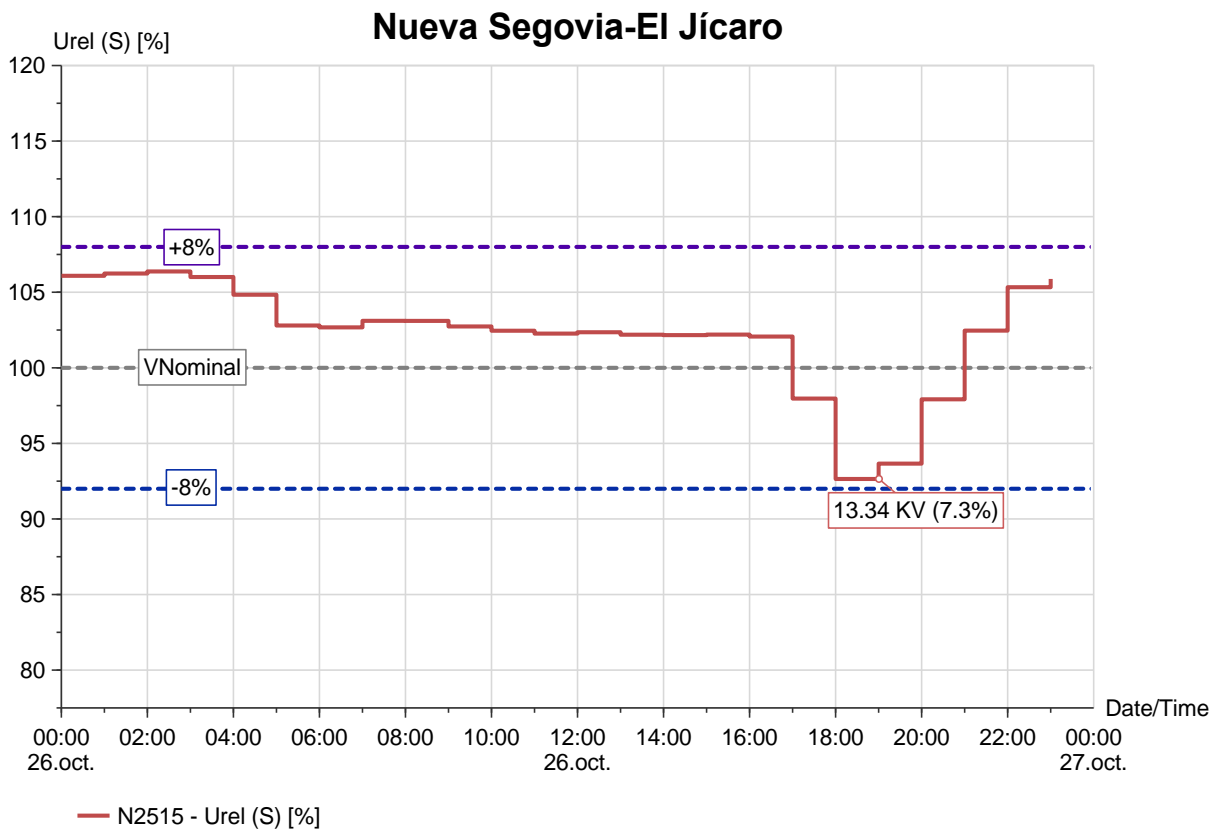
**Tabla 6:** Niveles de tensión en la entrada y salida del Banco de Regulador.  
**Fuente:** Creación propia a partir de la corrida de Flujo de PSS SINCAL”.

Al instalar este regulador, la tensión de salida en la fase S supera en un 2.19% al voltaje nominal normado, sin embargo, este incremento es necesario para que en horario de demanda máxima del circuito la tensión suministrada en el punto más lejano se encuentre en el margen de lo permisible.

Los ajustes de taps realizados en la simulación fueron los siguientes:

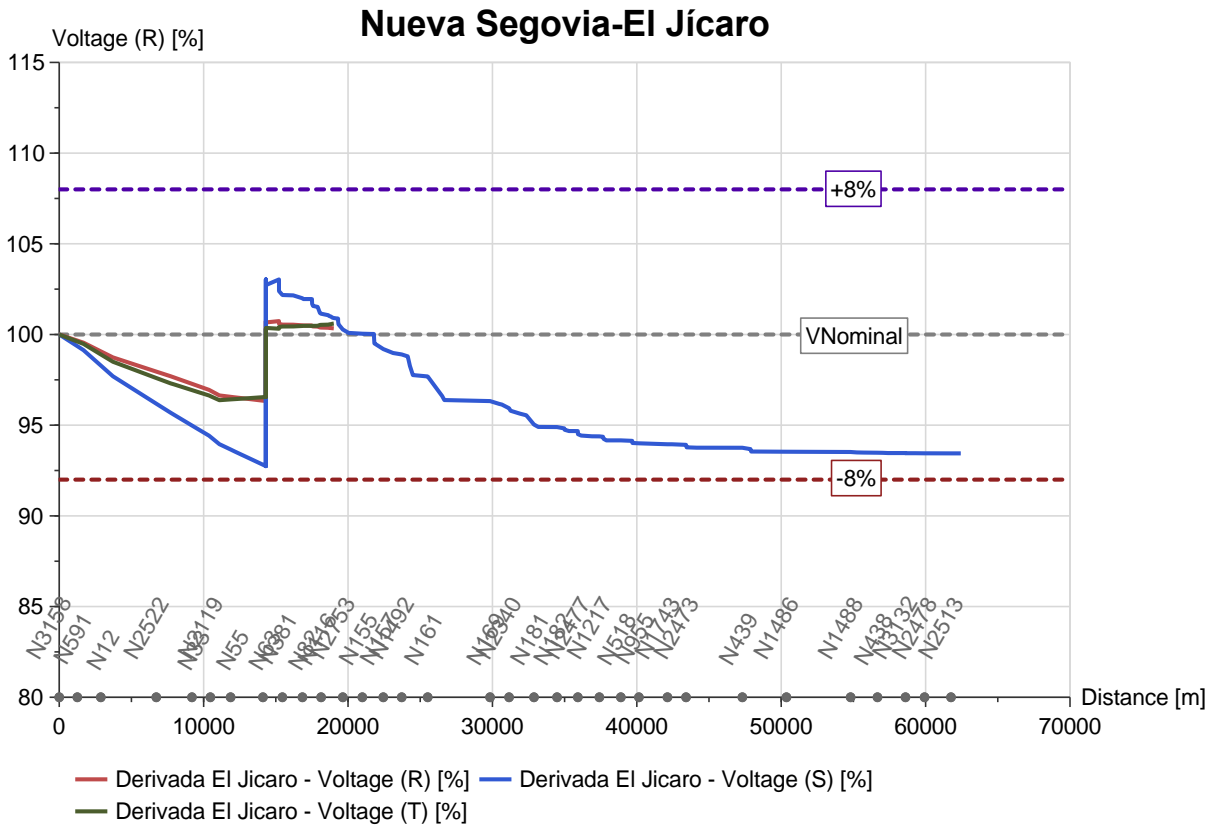
- Fase R, el regulador se encuentra ajustado en el taps +7.
- Fase S, el regulador se encuentra ajustado en el taps +15.
- Fase T, el regulador se encuentra ajustado en el taps +6.

A continuación, se presenta la gráfica del comportamiento del perfil de tensión en un periodo de 24 horas.



**Gráfico 15:** Caída de tensión en la derivada monofásica “El Júcaro”.  
**Fuente:** Creación propia a partir de la corrida de Flujo en PSS SINCAL.

En el gráfico (15), se observa que la tensión mínima suministrada es de 13.34 kV en demanda máxima (entre las 18:00 y 19:00 horas) lo que corresponde al 7.3% de caída de tensión.



**Gráfico 16:** Caída de tensión desde la S.E. hasta la derivada “El Jícaro”.  
**Fuente:** Creación propia a partir de la corrida de Flujo en PSS SINCAL.

En el gráfico (16), se observa una mejora en el perfil de tensión debido a la instalación del banco de regulador en el punto propuesto. Es importante aclarar que la Fase S necesita un ajuste superior de taps para que exista una mayor regulación en la salida del banco y se entregue un adecuado nivel de tensión en el extremo de la derivada.

El segundo banco de regulador trifásico se debe instalar aproximadamente a los 4.88 km posterior al ITC-N2076 o a los 22.5 km de red troncal utilizando la ruta “Derivada Quilalí-Wiwilí”.

Los resultados se detallan en la siguiente tabla:

Banco de Regulador Trifásico "Quilalí-Wiwilí"			
Fase	Tensión nominal kV	Tensión Entrada (kV)	Tensión Salida (kV)
R	14.4	13.48	14.58
S		13.25	14.42
T		13.29	14.66

**Tabla 7:** Niveles de tensión en la entrada y salida del Banco de Regulador.

**Fuente:** Creación propia a partir de la corrida de Flujo de PSS SINCAL".

Al instalar el segundo banco de regulador, la tensión de salida en la fase T supera en un 1.8% al voltaje nominal normado, sin embargo, este incremento es necesario para que en horario de demanda máxima del circuito la tensión suministrada en el punto más lejano se encuentre en el margen de lo permisible.

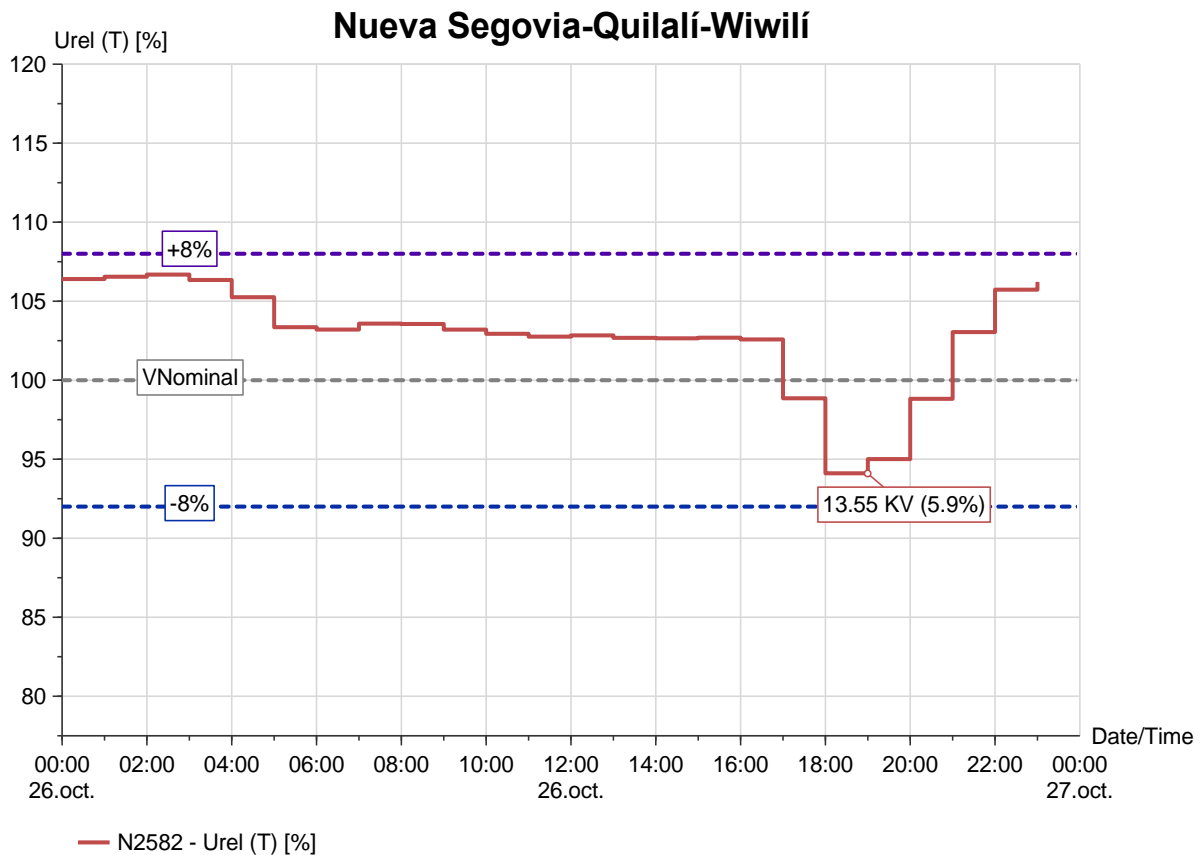
Es importante mencionar que los niveles de tensión de salida de ambos bancos de reguladores se encuentran ajustados para que en horarios de demanda mínima no se genere una sobretensión.

Los ajustes de taps realizados fueron los siguientes:

- Fase R, el regulador se encuentra ajustado en el taps +12.
- Fase S, el regulador se encuentra ajustado en el taps +13.
- Fase T, el regulador se encuentra ajustado en el taps +15.

A continuación, se presenta la gráfica del comportamiento de la tensión en un período de 24 horas.

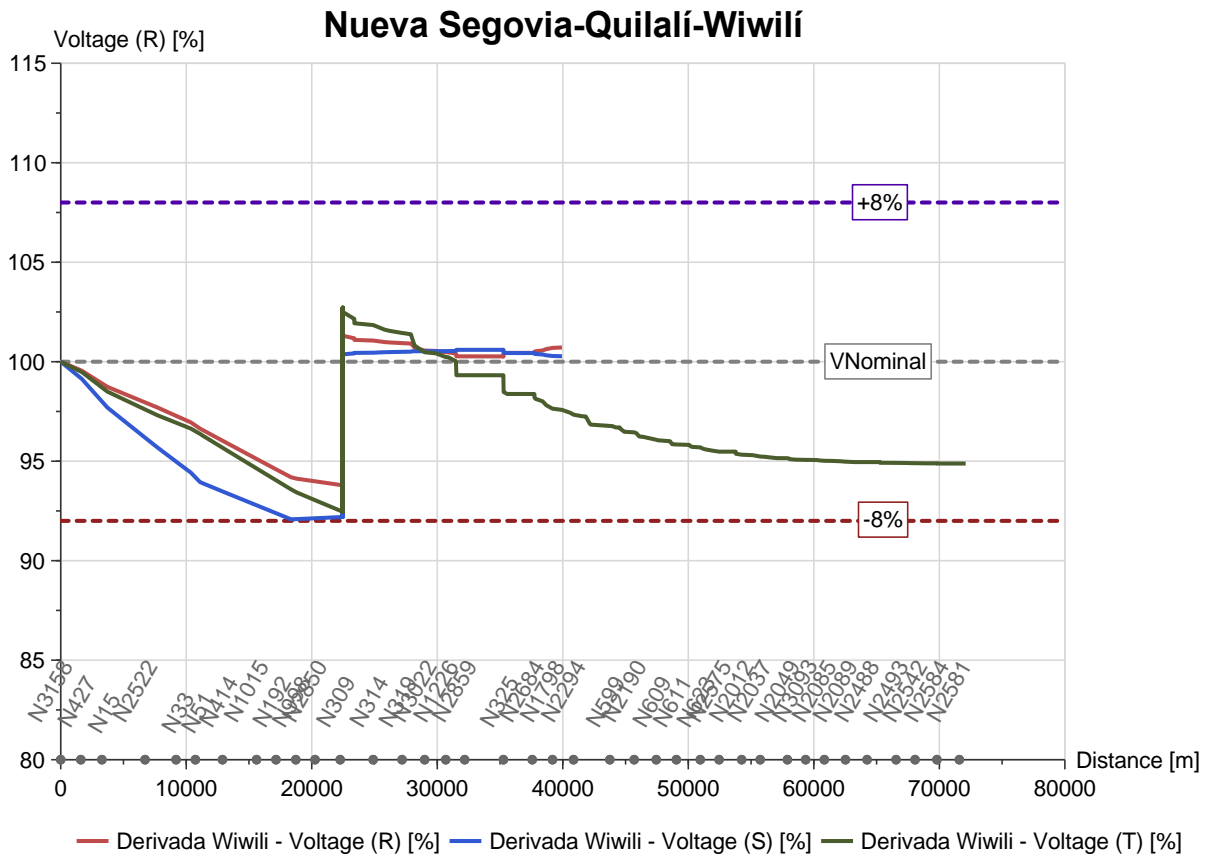




**Gráfico 17:** Caída de tensión en la derivada monofásica "Quilalí-Wiwilí".  
**Fuente:** Creación propia a partir de la corrida de Flujo en PSS SINCAL.

En el gráfico (17), se observa que la tensión mínima suministrada es de 13.55 kV en demanda máxima (entre las 18:00 y 19:00 horas) lo que corresponde al 5.9% de caída de tensión.

Este valor de tensión se encuentra dentro de los límites de regulación, por lo que existe una diferencia del 10.7% de caída con respecto al escenario actual.



**Gráfico 18:** Caída de tensión desde la S.E. hasta la derivada “Quilalí-Wiwilí”.

**Fuente:** Creación propia a partir de la corrida de Flujo en PSS SINCAL.

En el gráfico (18), se observa una mejora en el perfil de tensión debido a la instalación del banco de regulador en el punto propuesto. Es importante aclarar que la Fase T necesita un ajuste superior de taps para que exista una mayor regulación en la salida del banco y se entregue un adecuado nivel de tensión en el extremo de la derivada.

#### 4.1.1. Pérdidas Técnicas.

La corrida de flujo se realizó con los bancos de reguladores trifásicos ya instalados en los puntos mencionados de la red de distribución.

Los resultados se detallan en la siguiente tabla:

<b>PÉRDIDAS MT, SKL-L4020 octubre 2021</b>						
Circuito	Perfil	Mes	Extracción calculada (KWh)	Pérdidas MT (KWh)	% Pérdidas MT SKL4020	% Pérdidas Totales 2021
SKL-L4020	1	Octubre 2021	1,801,087	76,716.4	4.26%	4.26%
<b>TOTAL</b>			<b>1,801,087</b>	<b>76,716.4</b>	<b>4.26%</b>	<b>4.26%</b>

<b>Extracción real Octubre 2021 ( KWh)</b>	1,704,459.32	4.50%
--	--------------	-------

**Tabla 8:** Pérdidas Técnicas del circuito SKL4020.

**Fuente:** Creación propia a partir de la corrida de Flujo de PSS SINCAL”.

De lo antes presentado se determina:

- Se pierde aproximadamente el 4.26% de la energía que se transporta en las líneas de distribución.
- El porcentaje de pérdidas disminuye levemente por la mejora en los niveles de caída de tensión.

#### 4.2. Instalación de Reguladores y Conversión de LAMT1Ø a LAMT3Ø.

En este escenario se propone la conversión de 35.55 km de red MT monofásica a trifásica y la instalación de los dos bancos de regulador trifásico propuestos en el primer escenario.

El primer banco de regulador trifásico se debe instalar aproximadamente a los 1.3km posterior al ITC-N2055 o a los 14.3km de red troncal utilizando la ruta “Derivada El Júcaro”.

Los resultados se detallan en la siguiente tabla:

Banco de Regulador Trifásico "El Júcaro"			
Fase	Tensión nominal kV	Tensión Entrada (kV)	Tensión Salida (kV)
R	14.4	13.6	14.60
S		13.74	14.56
T		13.79	14.61

**Tabla 9:** Niveles de tensión en la entrada y salida del Banco de Regulador.

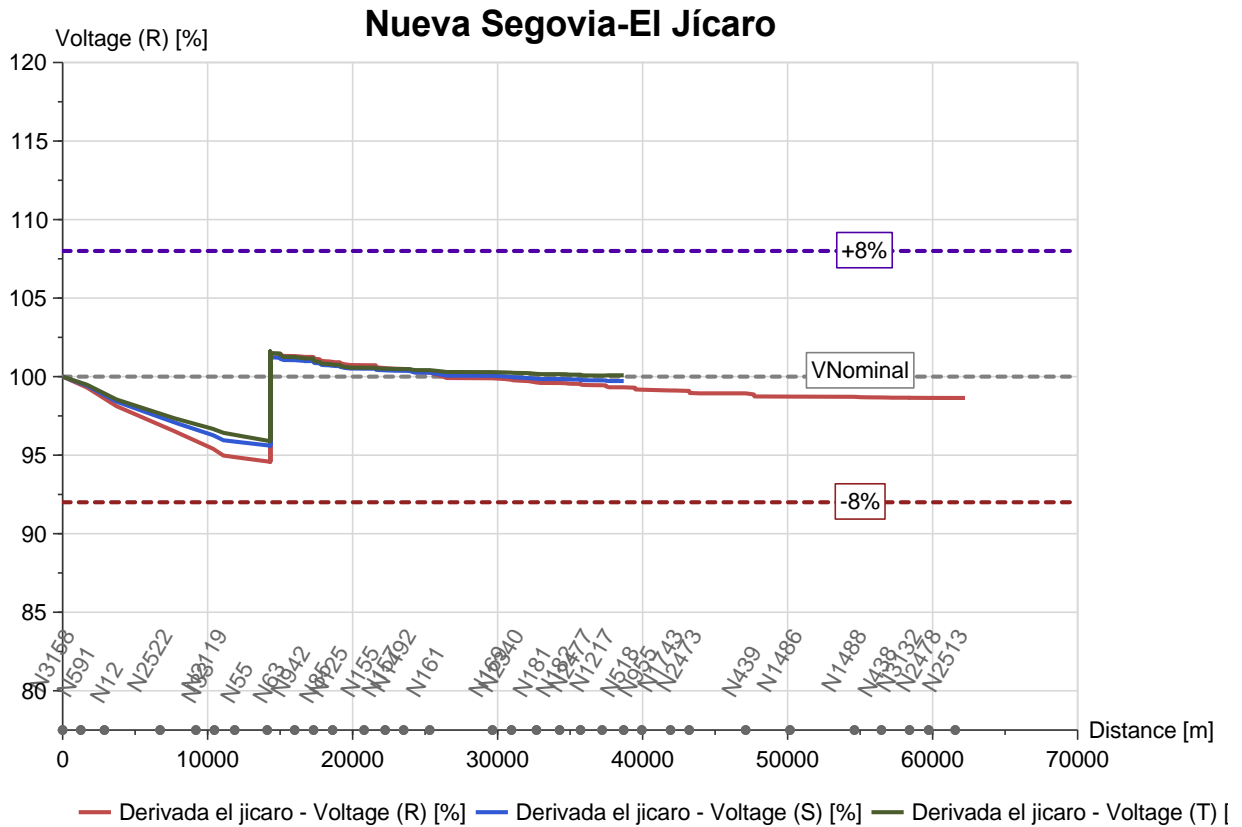
**Fuente:** Creación propia a partir de la corrida de Flujo de PSS SINICAL”.

Los ajustes de taps realizados fueron los siguientes:

- Fase R, el regulador se encuentra ajustado en el taps +11.
- Fase S, el regulador se encuentra ajustado en el taps +9.
- Fase T, el regulador se encuentra ajustado en el taps +9.

Cabe mencionar que el conductor seleccionado para la conversión de red MT es de sección transversal 1/0 ACSR.

Se realizó el balance de cargas para que no existan derivadas 1Ø, que no cumplan con el porcentaje de carga instalada indicado por la guía para la elaboración de redes eficientes y sostenibles.



**Gráfico 19:** Caída de tensión desde la S.E. hasta la derivada “El Jícaro”.

**Fuente:** Creación propia a partir de la corrida de Flujo en PSS SINCAL.

En el gráfico (19), se observa una mejora en el perfil de tensión debido a la instalación del banco de regulador en el punto propuesto, así como la conversión de la red MT3Ø y el balance de las cargas. Es importante mencionar que la fase R presenta una tensión mínima de 14.04 kV (2.5%).

El segundo banco de regulador trifásico se debe instalar aproximadamente a los 4.88 km posterior al ITC-N2076 o a los 22.5 km de red troncal utilizando la ruta “Derivada Quilalí-Wiwilí”.

Los resultados se detallan en la siguiente tabla:

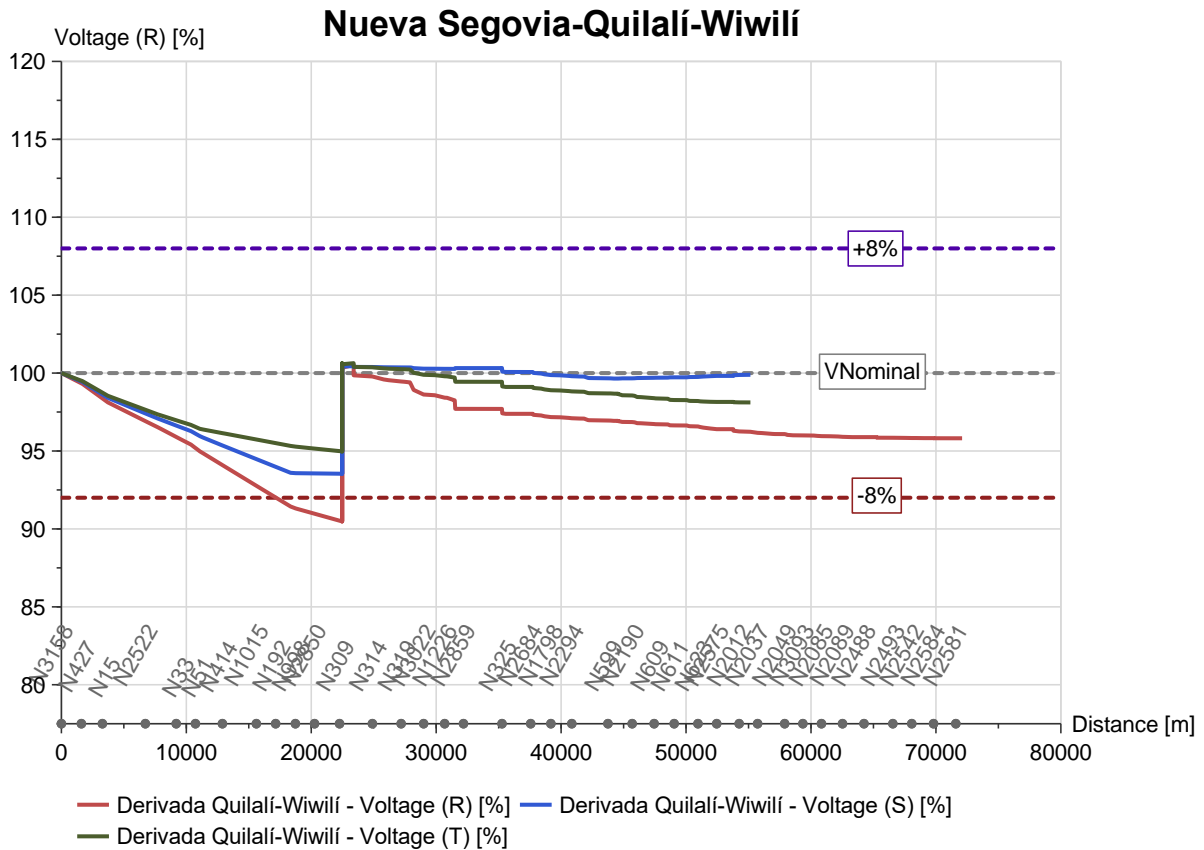
<b>Banco de Regulador Trifásico "Quilalí-Wiwilí"</b>			
<b>Fase</b>	<b>Tensión nominal kV</b>	<b>Tensión Entrada (kV)</b>	<b>Tensión Salida (kV)</b>
R	14.4	13.01	14.45
S		13.45	14.44
T		13.65	14.47

**Tabla 10:** Niveles de tensión en la entrada y salida del Banco de Regulador.

**Fuente:** Creación propia a partir de la corrida de Flujo de PSS SINCAL”.

Los ajustes de taps realizados fueron los siguientes:

- Fase R, el regulador se encuentra ajustado en el taps +16.
- Fase S, el regulador se encuentra ajustado en el taps +11.
- Fase T, el regulador se encuentra ajustado en el taps +9.



**Gráfico 20:** Caída de tensión desde la S.E. hasta la derivada “Quilalí-Wiwilí”.

**Fuente:** Creación propia a partir de la corrida de Flujo en PSS SINCAL.

En el gráfico (20), se observa la mejora del perfil de tensión debido a la instalación del banco de regulador en el punto propuesto, así como la conversión de la red MT3Ø y el balance de las cargas.

Cabe mencionar que los niveles de caída de tensión se mantienen dentro de lo permisible. La fase R posee una tensión mínima de 13.79 kV equivalente a 4.25% de caída de tensión.

#### 4.2.1. Pérdidas Técnicas.

Realizada la corrida de flujo se presentan los siguientes resultados:

<b>PÉRDIDAS MT, SKL-L4020 octubre 2021</b>						
Circuito	Perfil	Mes	Extracción calculada (KWh)	Pérdidas MT (KWh)	% Pérdidas MT SKL4020	% Pérdidas Totales 2021
SKL-L4020	1	Octubre 2021	1,779,736	64,312.5	3.61%	3.61%
	<b>TOTAL</b>		<b>1,779,736</b>	<b>64,312</b>	<b>3.61%</b>	<b>3.61%</b>

<b>Extracción real Octubre 2021 ( KWh)</b>	1,704,459.32	3.77%
--	--------------	-------

**Tabla 11:** Pérdidas Técnicas del circuito SKL4020.

**Fuente:** Creación propia a partir de la corrida de Flujo de PSS SINCAL”.

De lo antes presentado se determina:

- Se pierde aproximadamente el 3.61% de la energía que se transporta en las líneas de distribución.
- El porcentaje de pérdidas disminuye por la conversión de red monofásica a trifásica, balanceo de cargas y la mejora en la entrega de los niveles de tensión.



#### **4.3. Repotenciación de Red Troncal y Conversión de LAMT1Ø a LAMT3Ø.**

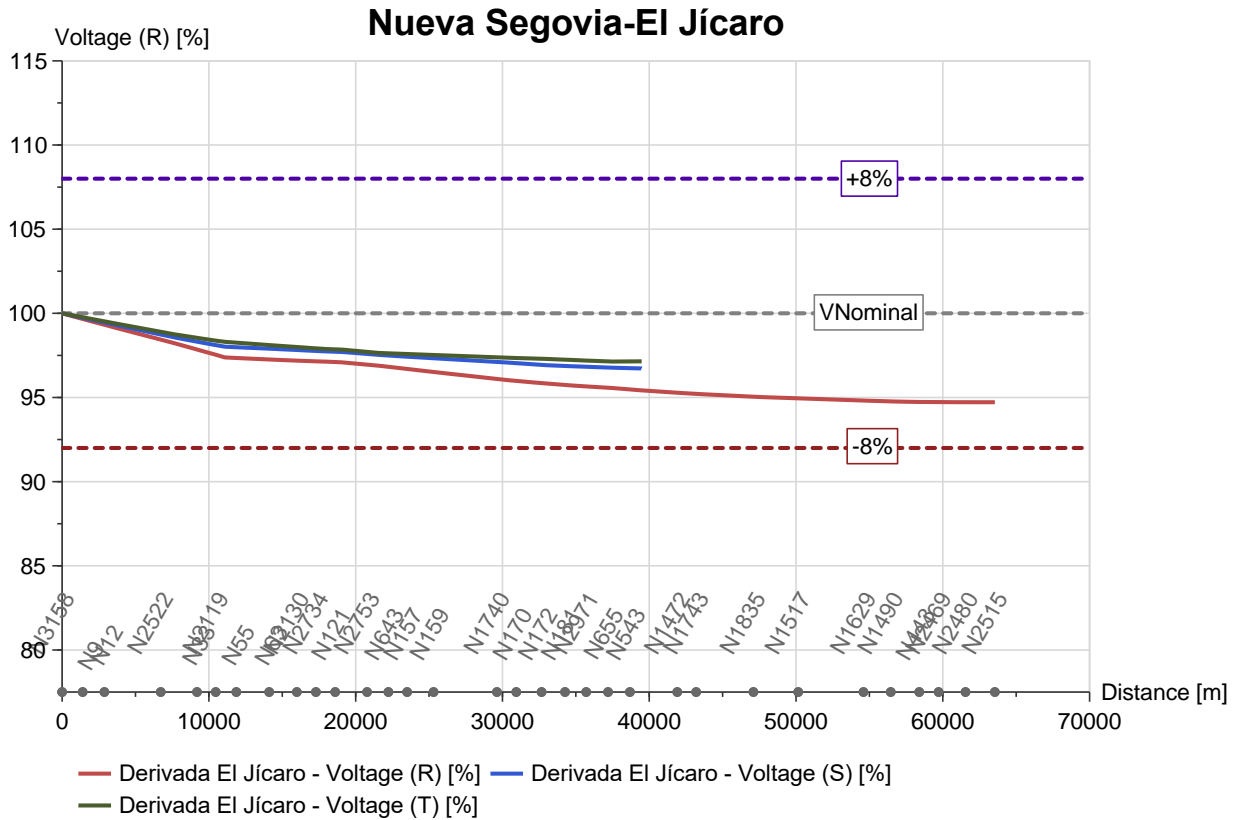
La repotenciación de conductores consiste en el aumento del calibre del conductor de una línea, con el objetivo de conseguir una disminución en el costo de las pérdidas inherentes por el flujo de potencia que circula.

El costo del conductor que se va a instalar sumando al costo de la mano de obra requerida para la instalación, debe ser compensado con el ahorro propio de la reducción de las pérdidas de energía.

La propuesta de mejora para el circuito de distribución SKL4020, consiste en la repotenciación de 43.5 km de red Troncal y la conversión de 35.5 km de red monofásica a trifásica.

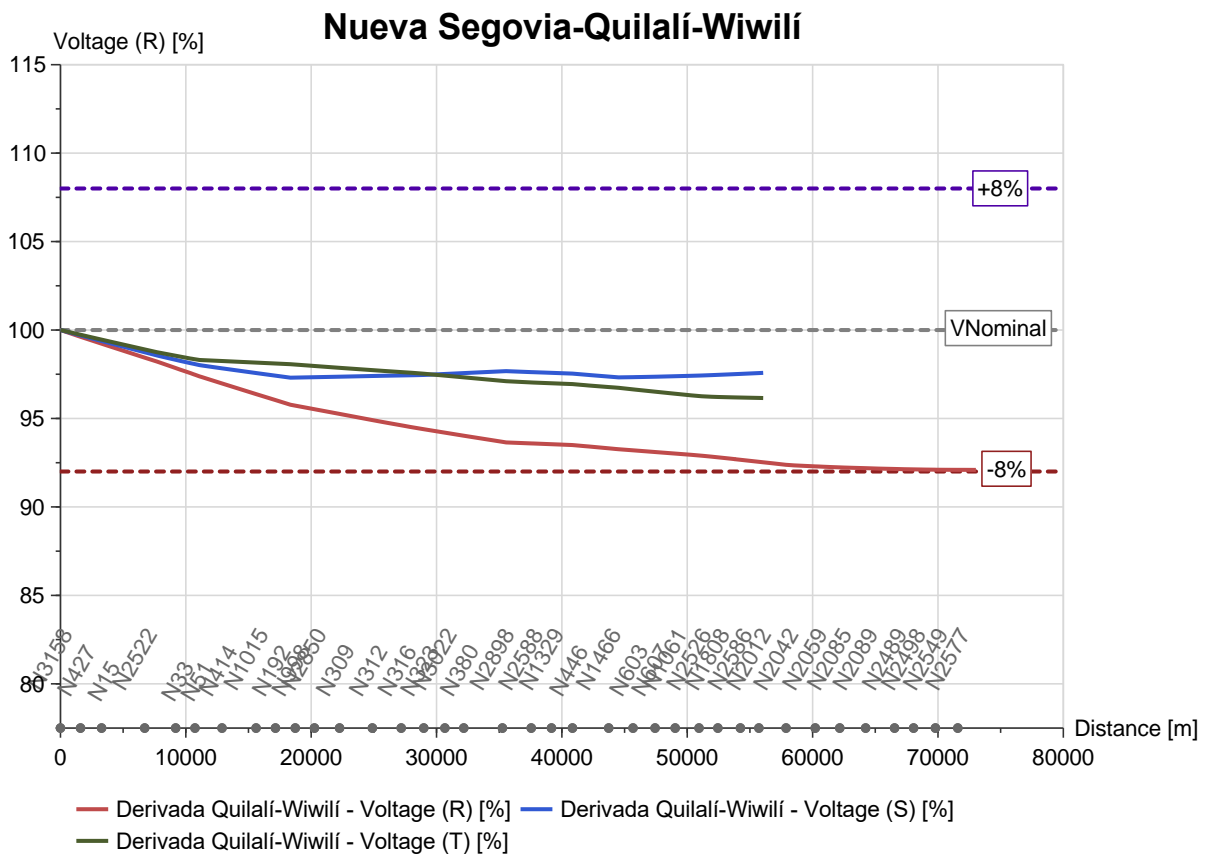
El calibre a instalar para la repotenciación de la red Troncal es 336.4 ACSR y en el caso de la conversión de red MT trifásica se utilizará 1/0 ACSR.

Una característica importante de este circuito, es la variedad de calibres de red Troncal instalados, este recurso provoca un aumento en las pérdidas de energía por transporte en la red MT.



**Gráfico 21:** Caída de tensión desde la S.E. hasta la derivada “El Júcaro”.  
**Fuente:** Creación propia a partir de la corrida de Flujo en PSS SINCAL.

En el gráfico (21), se presenta una mejora de los niveles de tensión entregados comparado al escenario actual del SKL4020. La fase R posee una tensión mínima de 13.67 kV equivalente a 5.03% de caída de tensión. Este resultado es evaluado en horario de demanda máxima y cumple con los niveles establecidos por la NSE.



**Gráfico 22:** Caída de tensión desde la S.E. hasta la derivada “Quilalí-Wiwilí”.

**Fuente:** Creación propia a partir de la corrida de Flujo en PSS SINCAL.

En el gráfico (22), se presenta una mejora de los niveles de tensión entregados comparado al escenario actual del SKL4020, sin embargo, la fase R posee una tensión mínima de 13.25 kV equivalente a 8% de caída de tensión, valor que se mantiene en el límite que se establece en la NSE.

Cabe mencionar que al momento de la repotenciación de la red Troncal y la conversión de la red LAMT1Ø a LAMT3Ø las pérdidas de energías disminuyen significativamente.

#### 4.3.1. Pérdidas Técnicas.

Realizada la corrida de flujo se presentan los siguientes resultados:

<b>PÉRDIDAS MT, SKL-L4020 octubre 2021</b>						
Circuito	Perfil	Mes	Extracción calculada (KWh)	Pérdidas MT (KWh)	% Pérdidas MT SKL4020	% Pérdidas Totales 2021
SKL-L4020	1	Octubre 2021	1,746,475	31,045.0	1.78%	1.78%
	<b>TOTAL</b>		<b>1,746,475</b>	<b>31,045</b>	<b>1.78%</b>	<b>1.78%</b>

<b>Extracción real Octubre 2021 ( KWh)</b>	1,704,459.32	1.82%
--	--------------	-------

**Tabla 12:** Pérdidas Técnicas del circuito SKL4020.

**Fuente:** Creación propia a partir de la corrida de Flujo de PSS SINCAL”.

De lo antes presentado se determina:

- Se pierde aproximadamente el 1.78% de la energía que se transporta en las líneas de distribución.
- El porcentaje de pérdidas disminuye por la repotenciación de red Troncal, conversión de red monofásica a trifásica, balanceo de cargas y la mejora en la entrega de los niveles de tensión.

Consolidado de los resultados de las Pérdidas Técnicas:

Pérdidas Técnicas MT. SKL-L4020 Octubre 2021						
Circuito	Escenario	Mes	Extracción calculada (KWh)	Perdidas MT (KWh)	% Pérdidas MT SKL4020	Disminución de pérdidas
SKL-L4020	Actual	Octubre 2021	1,805,577	81,218.2	4.50%	-
	Primer propuesta		1,801,087	76,716.4	4.26%	0.24%
	Segunda propuesta		1,779,736	64,312.5	3.61%	0.88%
	Tercer propuesta		1,746,475	31,045.0	1.78%	2.72%

**Tabla 13:** Consolidado de las Pérdidas Técnicas del circuito SKL4020.  
**Fuente:** Creación propia a partir de la corrida de Flujo de PSS SINCAL”.

En la siguiente tabla se reflejan los costos en US\$/MWh que representan los porcentajes de pérdidas por transporte en el circuito SKL4020.

Pérdidas Técnicas MT en US\$/MWh						
Costo MWh	Escenario	Pérdidas MT (MWh)	Pérdidas US\$/mes	Diferencia US\$/MWh	Pérdidas US\$/año	Diferencia US\$/MWh
\$ 147.2617	Actual	81.218	\$ 11,960.33	-	\$ 143,523.96	-
	Primer propuesta	76.716	\$ 11,297.38	\$ 662.95	\$ 135,568.61	\$ 7,955.35
	Segunda propuesta	64.312	\$ 9,470.76	\$ 2,489.57	\$ 113,649.17	\$ 29,874.79
	Tercer propuesta	31.045	\$ 4,571.75	\$ 7,388.58	\$ 54,860.95	\$ 88,663.01

**Tabla 14:** Consolidado de las Pérdidas Técnicas del circuito SKL4020.  
**Fuente:** Creación propia a partir de la corrida de Flujo de PSS SINCAL”.

Cabe mencionar que la diferencia (US\$/MWh) es el resultado de las Pérdidas MT (MWh) de las propuestas de mejoras con respecto al escenario actual.

La diferencia (US\$/MWh) es de suma importancia para obtener el tiempo de recuperación de un proyecto o propuesta y definir la rentabilidad del mismo. Para obtener este tiempo se necesita la inversión aproximada de la propuesta con respecto a la disminución en US\$ anual de estos mismos.

Inversión aproximada de las propuestas de mejoras para el circuito SKL4020.

Inversión de las Propuestas de Mejoras						
Escenario	Elementos a instalar	Cantidad	Costo	Total de costos US\$	Diferencia US\$/MWh	Tiempo Recuperación
Primer propuesta	Bancos de Reguladores de Voltaje COOPER POWER VR-32	2	\$ 300.000.0	\$ 300.000.0	\$ 7,955.35	37.7
Segunda propuesta	Bancos de Reguladores de Voltaje COOPER POWER VR-32	2	\$ 300.000.0	\$ 1.722.000.0	\$ 29,874.79	57.6
	Construcción de km LAMT3Ø (1/0 ACSR)	35.55	\$ 1,422.000.0			
Tercer propuesta	Construcción de km LAMT3Ø (336.4 ACSR)	43.56	\$ 2,831,400.0	\$ 4,253,400.0	\$ 88,663.01	48.0
	Construcción de km LAMT3Ø (1/0 ACSR)	35.55	\$ 1,422.000.0			

**Tabla 15:** Consolidado de las Pérdidas Técnicas del circuito SKL4020.

**Fuente:** Creación propia a partir de la corrida de Flujo de PSS SINCAL”.

Para la distribuidora la inversión a realizar y el tiempo en recuperarlo no es rentable, sin embargo, es una pérdida económica que debe ser asumida para que cumplan y entreguen los parámetros establecidos en la NSE. a cada uno de los consumidores de la red MT. SKL4020.

## **V Capítulo: Conclusión.**

En el proceso de estudio de los parámetros eléctricos de la red de media tensión del circuito SKL4020, se llegan a las siguientes conclusiones:

Haciendo uso de la herramienta BDI (Base de datos de instalaciones), se verificó la carga instalada en las derivadas del circuito SKL4020 y se clasificaron de acuerdo a los criterios de construcción.

El escenario actual y en estudio, el circuito de media tensión SKL4020 posee problemas de desbalance de cargas con una cargabilidad máxima del 78% sin considerar el factor de crecimiento vegetativo de las cargas.

Realizada la corrida de flujo de potencia en PSS SINCAL, se determinó que la red no cumple con las normas establecidas para la entrega de los parámetros eléctricos como son los niveles de caídas de tensión de hasta un 18.04% en los extremos de la red. Por esta razón las pérdidas técnicas equivalen al 4.5% mensual, que en costo anual representa \$143,523.96.

Como necesidad de realizar adecuaciones a la red utilizando la herramienta PSS SINCAL, se presentan tres escenarios de mejoras. En el primer escenario se consigue ajustar los niveles de tensión para que en los extremos de la red se encuentren dentro de lo permisible, sin embargo, las derivadas monofásicas no cumplen con los criterios de construcción y las pérdidas técnicas equivalen a 4.26% mensual, que en costo anual representa \$135,568.61.

El segundo escenario demostró una gran mejora en los niveles de tensión entregados a los extremos del circuito y que gracias a la conversión de red trifásica se lograron balancear las cargas para cumplir con los criterios de construcción de las derivadas monofásicas.

La implementación del balance de cargas aporta beneficios de seguridad en la operación del circuito, pero los ahorros en los costos de pérdidas del sistema no son

significativos. Las pérdidas técnicas en este escenario equivalen al 3.61% mensual, que en costo anual representa \$113,649.17.

El tercer escenario implementa una repotenciación de red Troncal del SKL4020 y la conversión de tramos de red monofásicos a trifásicos, los resultados obtenidos indican que el porcentaje de pérdidas técnicas disminuyó considerablemente ya que equivalen al 1.78% mensual, que en costo anual representa \$54,860.95. Sin embargo, los niveles de caídas de tensión se encuentran en el límite de lo permisible. Aparte de la reducción de las pérdidas técnicas de energía, se tiene un mejoramiento en la cargabilidad de los conductores.



## Bibliografía

Disnorte-Dissur. (2001). El Consejo De Dirección Del Instituto Nicaragüense De Energía. 15/10/21, de Disnorte-Dissur Sitio web: <http://www.mem.gob.ni/wp-content/uploads/2017/05/9-resolucion-006-2000-normativa-de-servicio-electrico.pdf>

Disnorte-Dissur. (2021). Manual de Construcción de Redes de Distribución. 15/10/21, de Disnorte-Dissur Sitio web: <https://www.disnorte-dissur.com.ni/marco-regulatorio/manual-de-construccion-de-redes-de-distribucion.html>

(DISPAC), E. D. (2015). “Manual De Mantenimiento Para Redes De Alta Tensión, Baja Tensión”.

Olade, (2016). Manual para el control de Pérdidas Eléctricas, Volumen I.

Correa Carlos, Bolaños Ricardo. (2007). “Balance de Fases Multiobjetivo”. Revista de Ingeniería, UTP, Colombia.

Maldonado, Remigio Ing. (2017). “Reflexiones sobre Las Pérdidas de Energías Eléctricas”. Revista CIEEP, N°8. Quito, junio.

Navarro, Rafael de Gracia (2018). “La Eficiencia en las Redes: Niveles de pérdidas y reducción de fraude Energético. Capítulo 10. ASEP, Panamá.

Franco, Ing. Alberto Tama (MGE, MBA Asesor de la Gerencia General de la Corporación Eléctrica del Ecuador), Revista CRIEEL Ed 33.

L. Coria (2015), “Análisis de Flujos De Carga,” Volumen 1, No 1, pp. 117–202.

Quiros, J. (2019). “Incremento De Margen de Estabilidad de Tensión del Sistema Eléctrico Nacional”. Costa Rica, San José.

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (2017). “Estudio de Las Pérdidas de Energía en Conductores Eléctricos”. Riobamba, Ecuador. Enlace: [https://www.researchgate.net/publication/322222106\\_Estudio\\_de\\_las\\_perdidas\\_de\\_energia\\_en\\_conductores\\_electricos\\_mediante\\_termografia\\_infrarroja](https://www.researchgate.net/publication/322222106_Estudio_de_las_perdidas_de_energia_en_conductores_electricos_mediante_termografia_infrarroja)

Eduardo Segundo Hernández Dávila. (2017). “Estudio de Las Pérdidas de Energía en Conductores Eléctricos Mediante Termografía Infrarroja”. Congreso Internacional de Ingeniería. Sitio web:

[https://www.researchgate.net/publication/322222106\\_Estudio\\_de\\_las\\_perdidas\\_de\\_energia\\_en\\_conductores\\_electricos\\_mediante\\_termografia\\_infrarroja](https://www.researchgate.net/publication/322222106_Estudio_de_las_perdidas_de_energia_en_conductores_electricos_mediante_termografia_infrarroja)

González Torrez, Freddy Augusto. (2019). “Estudio de causas incidentes en las pérdidas no técnicas en baja tensión de una empresa distribuidora de alta demanda (115)”. Guayaquil, Ecuador: Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

Henry Saúl Gancino Bustillos. (2020). “Análisis de Cargabilidad de Redes Eléctricas de Distribución basado en la modificación del Algoritmo de Gauss-Seidel”. 15/10/21, de Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito. sitio web:

<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19417/1/ups%20-%20tts208.pdf>

Williams Arteaga (2018). “Diseño de redes de distribución en derivación que alimenta a la comunidad Villa El Carmen, ubicado en el departamento de Managua, Municipio de San Rafael del Sur”. Managua, Nicaragua: Universidad Nacional de Ingeniería.

Brayan Duque (2016). “Pereira, Risaralda- Colombia Universidad Tecnológica de Pereira, Programa de Tecnología Eléctrica Pereira. Diseño de Red Eléctrica de Distribución Secundaria (Baja Tensión) para un Sector de 250 viviendas Corales -Cuba”.

Universidad de Córdoba. (2020). Guía técnica de aplicación del reglamento electrotécnico para baja tensión. 15/10/21, de Universidad de Córdoba. Sitio web:

[http://www.uco.es/electrotecniaetsiam/reglamentos/Guia\\_Tecnica\\_REBT/guia\\_bt\\_anexo\\_2\\_sep03R1.pdf](http://www.uco.es/electrotecniaetsiam/reglamentos/Guia_Tecnica_REBT/guia_bt_anexo_2_sep03R1.pdf)

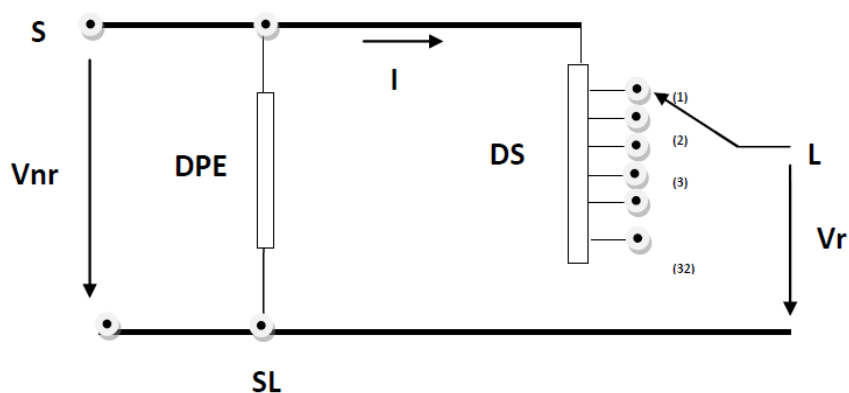
INE (17 de 07 del 2001). Ley de la Industria Eléctrica (Ley 272). Normativa de Servicio Eléctrico. Managua, Managua, Nicaragua.

WESTINGHOUSE Electric Corporation. (1965). “Electric Utility Reference Book: Distribution System”. First Edition, USA.

# **Anexos.**

## Anexo 1: Teoría Básica del Regulador de Voltaje.

Los Reguladores de Voltaje son autotransformadores que poseen un ajuste automático de taps, que permiten variar el voltaje entregado a la carga y funciona automático bajo carga.



**Figura 13:** Diagrama del Regulador de Voltaje.

**Fuente:** Cálculo, selección y ubicación óptima de Reguladores de Voltaje en MT.

En donde:

I: Corriente debida a la carga que circula toda por el devanado serie (DS).

DS: Devanado serie dividido en, por ejemplo 32 taps de 5/8% cada uno.

DPE: Devanado paralelo de excitación.

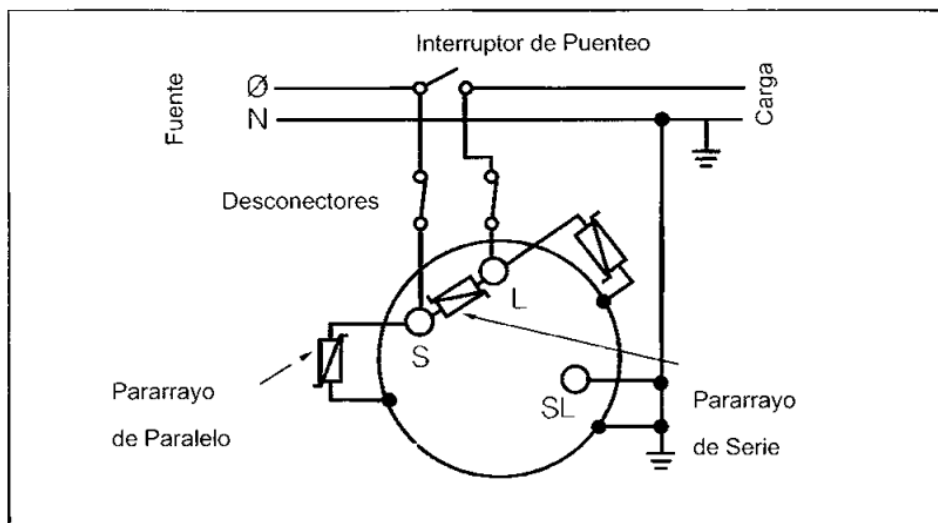
Vnr: Voltaje no regulado.

Vr: Voltaje regulado.

S, L y SL: Fuente, Carga y Fuente-Carga respectivamente.

Los reguladores de voltaje se diseñan para corregir el voltaje de línea en +/-10% en 32 pasos, 16 hacia arriba y 16 hacia abajo, cada paso representa 5/8%, que es 0,75 V en una escala de 120 V.

Un regulador monofásico consta de tres bushings, la fuente (S), la carga (L) y la fuente-carga (SL) con el devanado serie entre S y L.



**Figura 14:** Diagrama del Regulador de Voltaje.

**Fuente:** Cálculo, selección y ubicación óptima de Reguladores de Voltaje en MT.

### **Conexión de Reguladores de Voltaje.**

Los reguladores de voltaje tienen tres tipos de conexiones que se pueden utilizar, estrella (Y), en delta ( $\Delta$ ) y en delta abierto.

El tipo de conexión a emplear dependerá del voltaje nominal del regulador, del voltaje nominal del alimentador de distribución y del monto de regulación necesitado.

Conexión en Estrella: Sistemas de 4 hilos, normalmente en circuitos trifásicos tienen tres reguladores monofásicos conectados línea a neutro. La conexión de línea a neutro es apropiada tanto para circuitos monofásicos y bifásicos. Cada regulador controla el voltaje independientemente en cada fase del circuito, para así ayudar al desbalance de voltaje y el voltaje en estado estacionario.

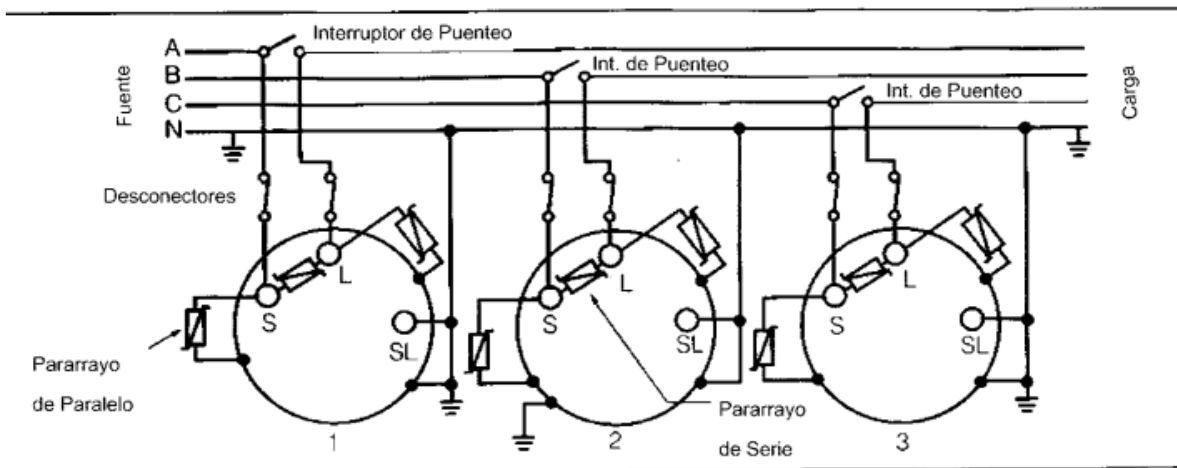
Conexión en Delta Abierta: Este tipo de conexión necesita dos reguladores monofásicos cada uno fase-fase.

Conexión en Delta Cerrado: Se requiere conectar tres reguladores fase-fase. Usando esta conexión delta cerrado el límite de regulación se extiende en un 50%, es decir de  $\pm 10\%$  a  $\pm 15\%$ .

En las dos conexiones en delta, los reguladores ven un desplazamiento de fase de corriente respecto al voltaje línea-línea. En la conexión principal con factor de potencia unitario de la carga, la corriente a través del regulador adelanta el voltaje de línea a línea por  $30^\circ$ .

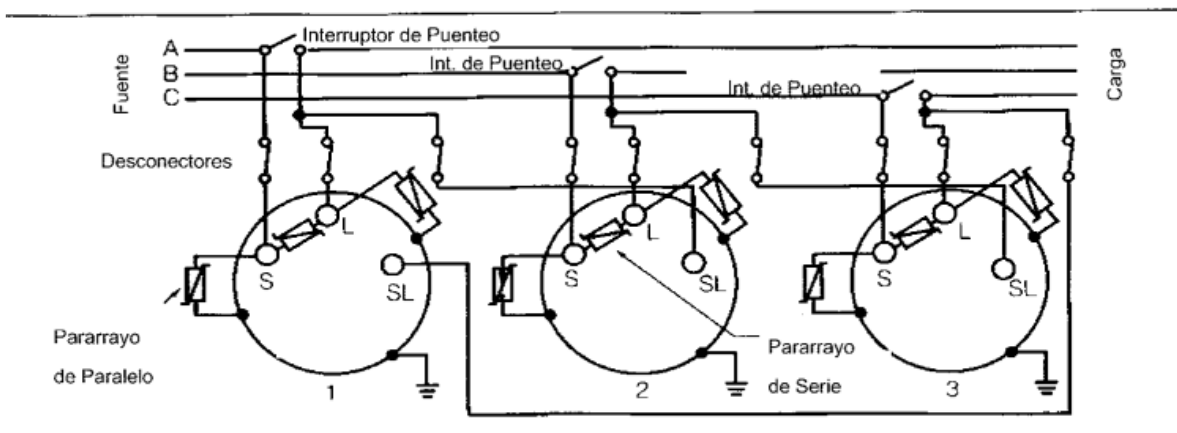
A continuación, se muestran las conexiones de reguladores de voltaje:

### Conexión en Estrella:



**Figura 15:** Diagrama de conexión en estrella para el banco Regulador de Voltaje.  
**Fuente:** Cálculo, selección y ubicación óptima de Reguladores de Voltaje en MT.

### Conexión en Delta:



**Figura 16:** Diagrama de conexión en delta para el banco Regulador de Voltaje.  
**Fuente:** Cálculo, selección y ubicación óptima de Reguladores de Voltaje en MT.

Los Reguladores de voltaje tienen un relé de regulación que controla el ajuste de taps de forma automática mediante un motor eléctrico, los cuales poseen tres configuraciones básicas para el control de cambio de taps:

Voltaje de ajuste: Este es el voltaje deseado en la salida del regulador.

Ancho de Banda: Los controles del regulador de voltaje monitorean la diferencia entre el voltaje medido y el voltaje de ajuste. Solo cuando la diferencia excede la mitad del ancho de banda, el cambio de tap comienza. Usa ancho de banda al menos de dos veces el tamaño de paso, 1.5 V para +/-10% en reguladores de 32 pasos.

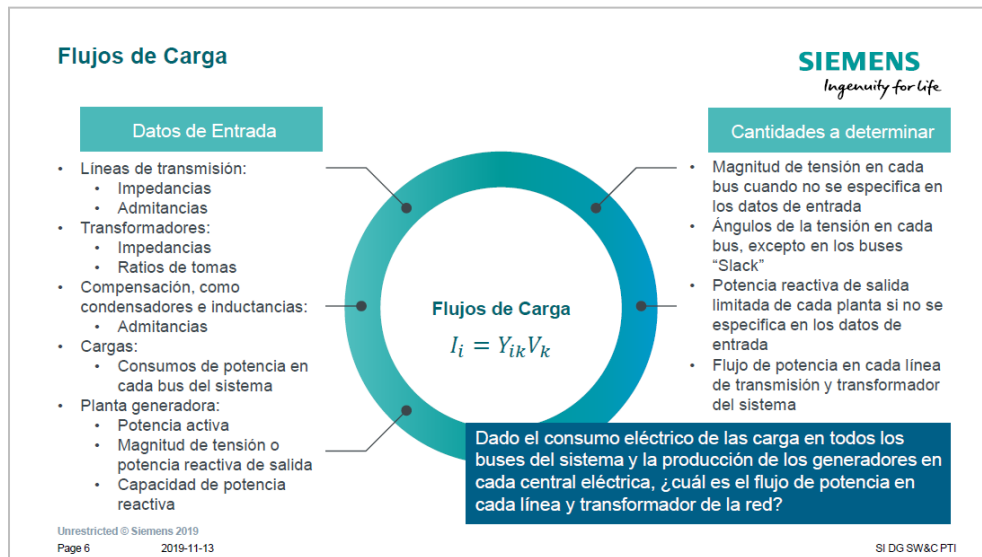
Tiempo de Retardo: Es el tiempo de espera entre el tiempo cuando el voltaje sale de banda y cuando el controlador inicia el cambio de tap. Típicamente el tiempo de retardo está entre un rango de 30 a 60 segundos.

### **Montaje de Reguladores de Voltaje.**

El regulador o banco de reguladores puede ser montado en una plataforma tipo H, o en una base de concreto al nivel del piso con su malla perimetral. La primera opción se utiliza más aplicada a las redes aéreas de distribución y la segunda opción es aplicable a grandes consumidores.

## Anexo 2: Métodos de Flujos de Carga en PSS SINCAL.

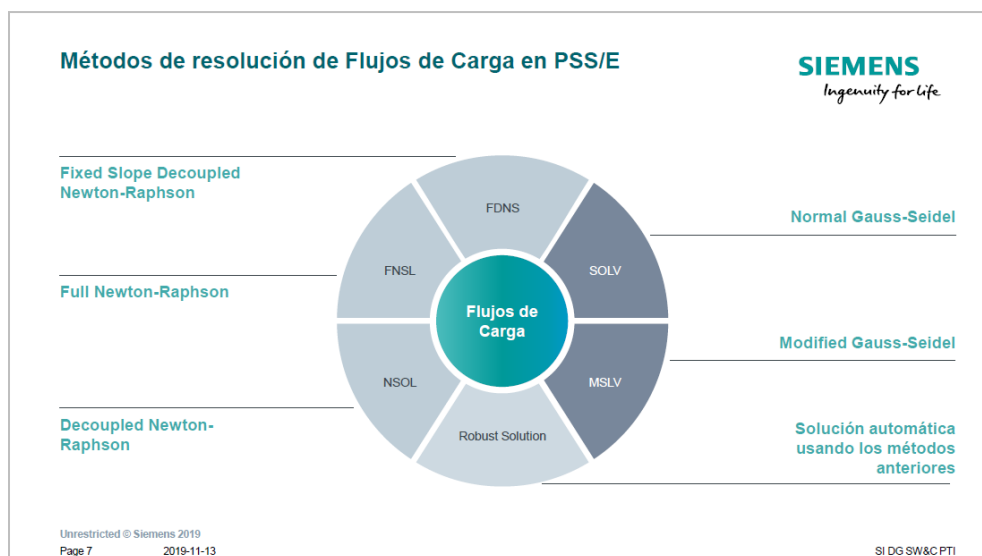
A continuación, se presentan los parámetros evaluados por PSS SINCAL para realizar las corridas de flujo.



**Figura 17:** Flujos de carga en PSS SINCAL.

**Fuente:** SIEMENS, Flujos de carga PSS SINCAL.

### Métodos que utiliza PSS SINCAL para realizar las corridas de flujo.



**Figura 18:** Corridas de flujos de cargas en PSS SINCAL.

**Fuente:** SIEMENS, Flujos de carga PSS SINCAL.



## **Anexo 3: Modelado de una red en PSS SINCAL.**

### **1. Base de datos.**

Para simular el circuito en PSS SINCAL, se necesita armar primeramente la base de datos, documento de Excel que consta con información extraída de la Base de Datos de Instalaciones.

Esta información extraída son los códigos de tramos, longitudes de tramos, coordenadas iniciales y coordenadas finales, calibre de conductor, Tipo de conductor 1 (monofásico), tipo de conductor 2 (Bifásico), tipo de conductor 3 (Trifásico), tipo de conductor neutro, para el caso de las resistencias, reactancias inductivas y capacitiva se utiliza el módulo de Leika; herramienta adicional de PSS SINCAL que proporciona todos estos datos.

También se extraen los datos puntuales de los Centros de transformación, protecciones eléctricas, banco de capacitores, banco de reguladores o cualquier elemento que se encuentre instalado en la red con el objetivo de que los resultados a obtener sean los más ajustados a la realidad.

A todos los elementos contenidos en la base de datos se le asigna un nodo el cual corresponde a unas coordenadas de inicio y de final.

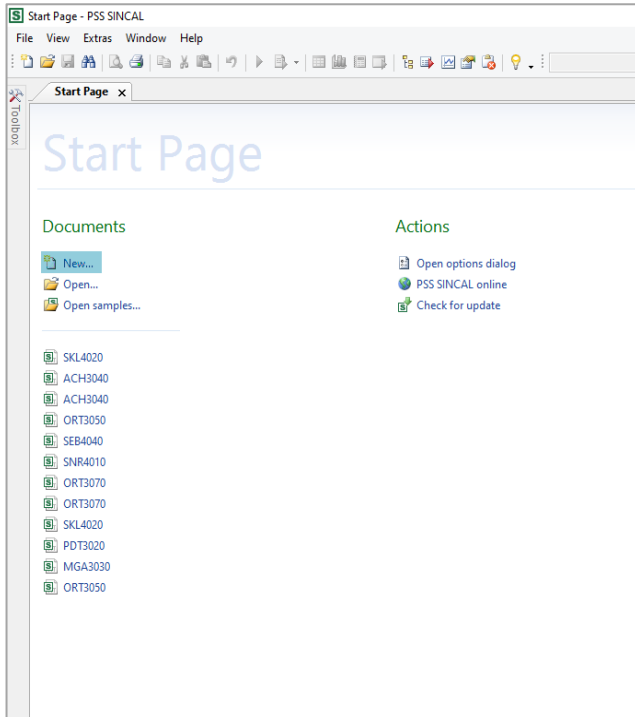
### **2. Armado de Archivo Eleint.**

Realizada una vez la base de datos y comprobado que contiene la información requerida, se necesita vincularla a un libro de Excel que se denomina "Eleint" (archivo Excel compatible con la herramienta PSS SINCAL).

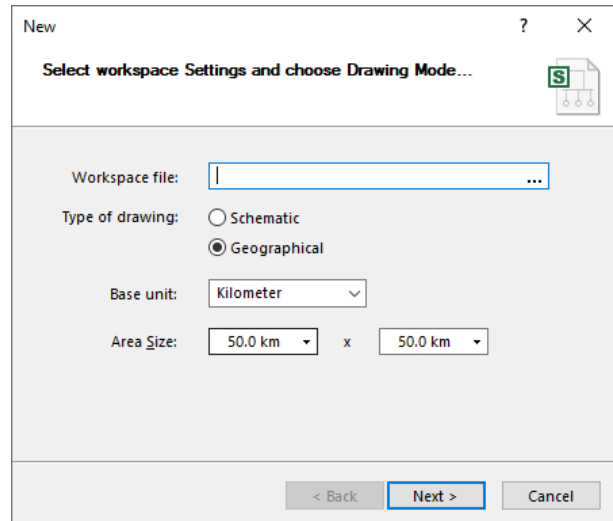
En la figura anterior se muestra la pestaña "GraphicElement", en donde se encuentra la información que PSS SINCAL requiere para modelar la red.

### 3. Montaje de la Red en PSS SINCAL.

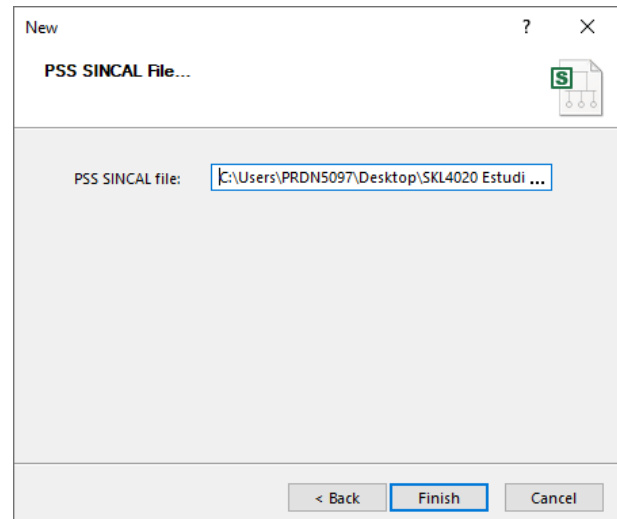
En las siguientes ilustraciones se muestra el procedimiento para el escalado del circuito de distribución en la herramienta PSS SINCAL.



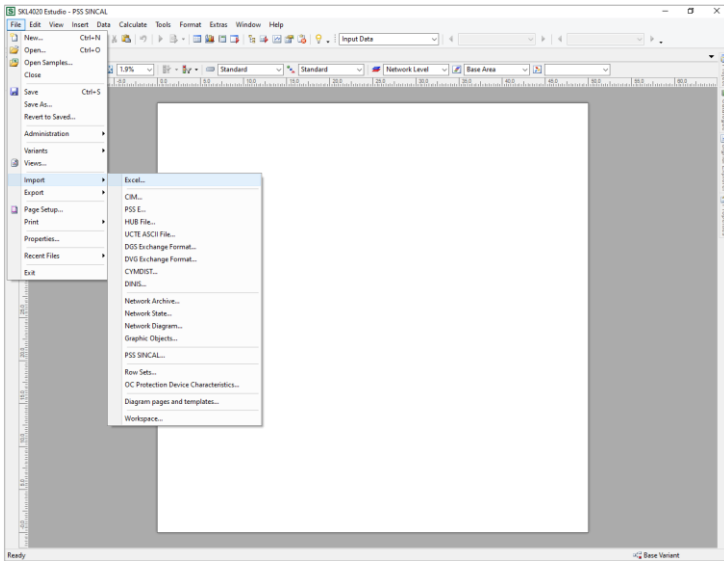
**Figura 19:** Montaje de Red en PSS SINCAL.  
**Fuente:** Herramienta PSS SINCAL 18.0.



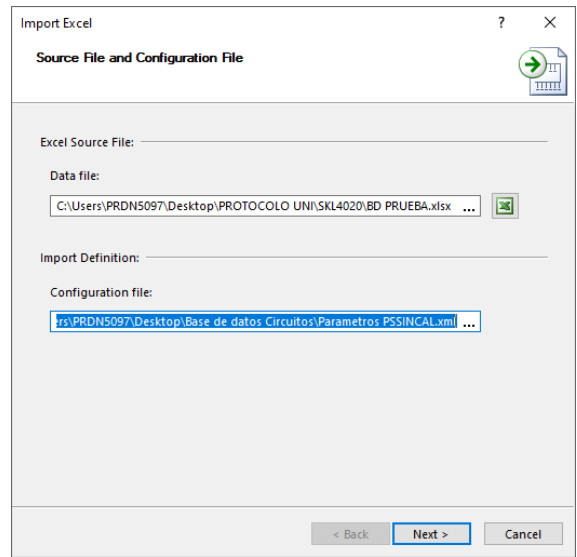
**Figura 20:** Montaje de Red en PSS SINCAL.  
**Fuente:** Herramienta PSS SINCAL 18.0.



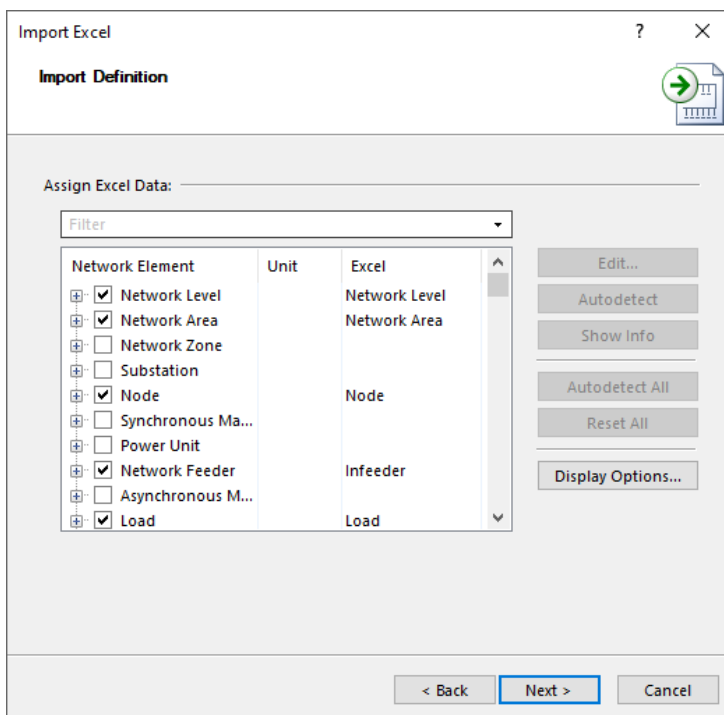
**Figura 21:** Montaje de Red en PSS SINCAL.  
**Fuente:** Herramienta PSS SINCAL 18.0.



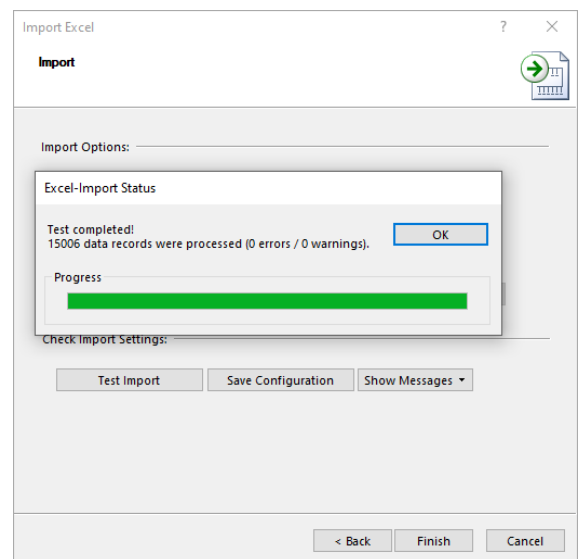
**Figura 22:** Montaje de Red en PSS SINCAL.  
**Fuente:** Herramienta PSS SINCAL 18.0.



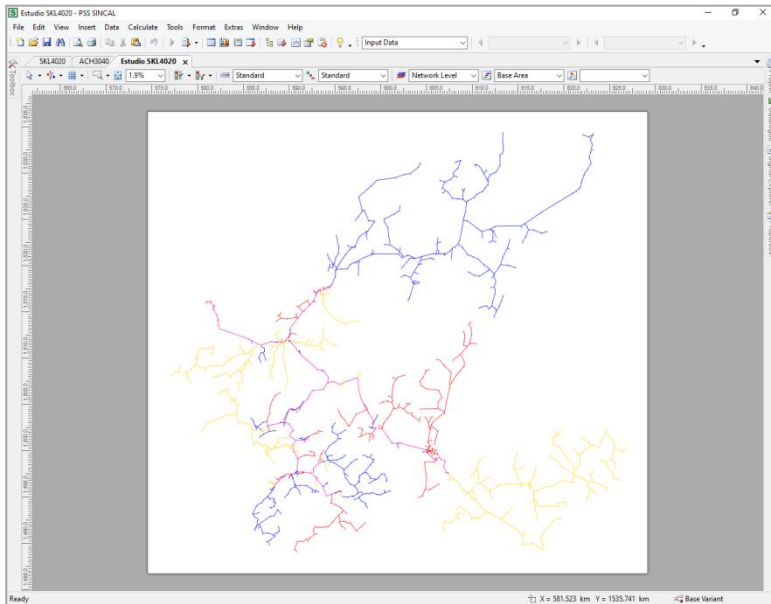
**Figura 23:** Montaje de Red en PSS SINCAL.  
**Fuente:** Herramienta PSS SINCAL 18.0.



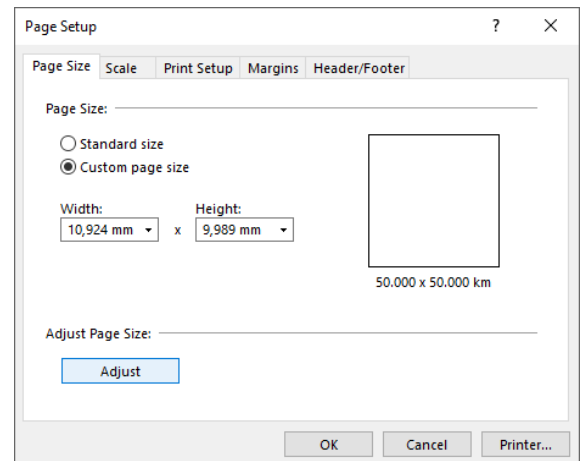
**Figura 24:** Montaje de Red en PSS SINCAL.  
**Fuente:** Herramienta PSS SINCAL 18.0.



**Figura 25:** Montaje de Red en PSS SINCAL.  
**Fuente:** Herramienta PSS SINCAL 18.0.



**Figura 26:** Montaje de Red en PSS SINCAL.  
**Fuente:** Herramienta PSS SINCAL 18.0.



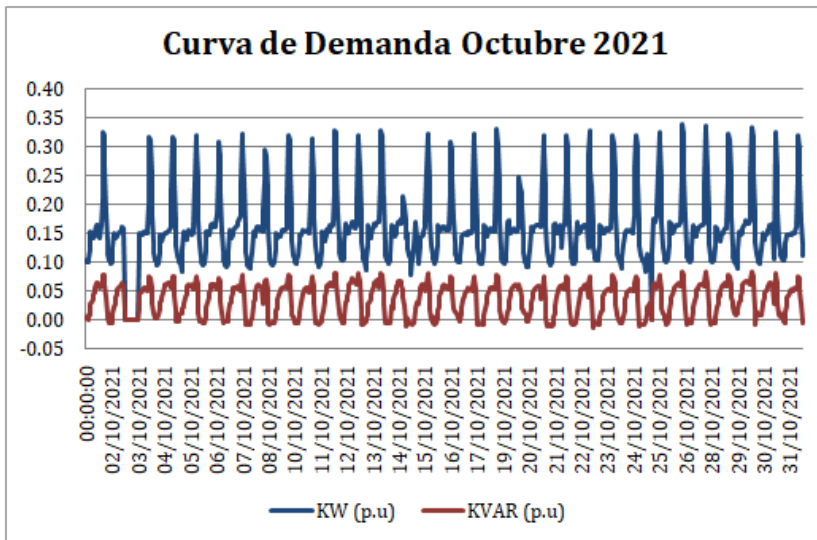
**Figura 27:** Montaje de Red en PSS SINCAL.  
**Fuente:** Herramienta PSS SINCAL 18.0.

Una vez escalado el circuito de media tensión en el PSS SINCAL se necesitan las siguientes consideraciones:

- Depurar los archivos de energía cuarto horarios extraídos.
- Los valores a introducir serán en valor de por unidad.

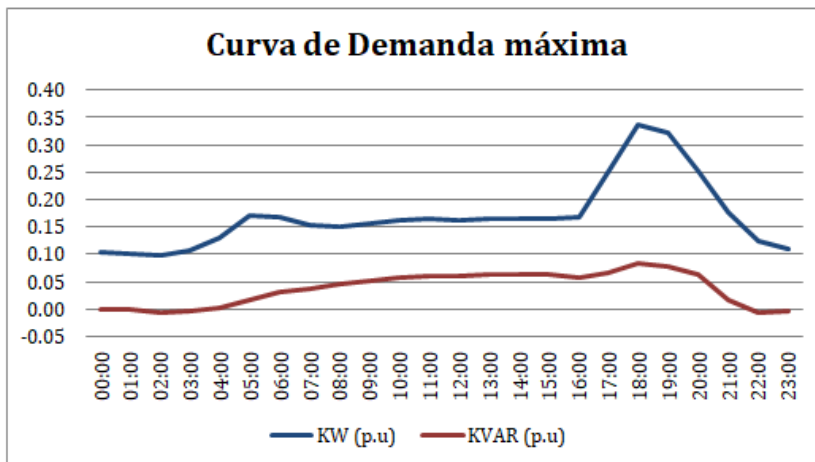
Cabe mencionar que el objetivo de la depuración es extraer Flicker y retroalimentaciones del circuito en estudio.

Una vez que se tiene el perfil en cuarto horario evaluado y depurado, hay que convertirlo en perfil horario y dividirlo entre la potencia instalada del circuito para obtener los valores en por unidad.



**Figura 28:** Curva de Demanda Máxima SKL4020.  
**Fuente:** Cargabilidad de los circuitos DN/DS.

DIA		KW (p.u)	KVAR (p.u)
26/10/2021	00:00	0.1029	0.0002
26/10/2021	01:00	0.1004	-0.0022
26/10/2021	02:00	0.0991	-0.0068
26/10/2021	03:00	0.1065	-0.0041
26/10/2021	04:00	0.1305	0.0022
26/10/2021	05:00	0.1695	0.0163
26/10/2021	06:00	0.1664	0.0306
26/10/2021	07:00	0.1540	0.0383
26/10/2021	08:00	0.1514	0.0449
26/10/2021	09:00	0.1563	0.0526
26/10/2021	10:00	0.1606	0.0569
26/10/2021	11:00	0.1637	0.0593
26/10/2021	12:00	0.1617	0.0596
26/10/2021	13:00	0.1642	0.0620
26/10/2021	14:00	0.1640	0.0639
26/10/2021	15:00	0.1641	0.0617
26/10/2021	16:00	0.1683	0.0582
26/10/2021	17:00	0.2484	0.0659
26/10/2021	18:00	0.3375	0.0834
26/10/2021	19:00	0.3219	0.0789
26/10/2021	20:00	0.2509	0.0619
26/10/2021	21:00	0.1767	0.0164
26/10/2021	22:00	0.1235	-0.0080
26/10/2021	23:00	0.1089	-0.0029



**Figura 29:** Curva día de Demanda Máxima.  
**Fuente:** Cargabilidad de los circuitos DN/DS.

**Figura 30:** Perfil ingresado en PSS SINCAL.  
**Fuente:** Cargabilidad de los circuitos DN/DS.

#### 4. Ajustes de cálculos en la herramienta PSS SINCAL.

Flujo de potencia:

Realizar este estudio en el PSS SINCAL permite determinar flujos de potencia activa y reactiva, nivel de tensión en los distintos puntos de la red, porcentajes de pérdidas técnicas, presentar alternativas para la planificación de nuevos sistemas, ampliación de las redes existentes, entre otras.

Al realizar el cálculo de Flujo de potencia en el PSS SINCAL se deben ajustar los parámetros de frecuencia y tensión de servicio.

Ajustes generales:

View Date:

Es la fecha de inicio del perfil que se ingresará al realizar la corrida de flujo mediante el método de “Load Profile”.

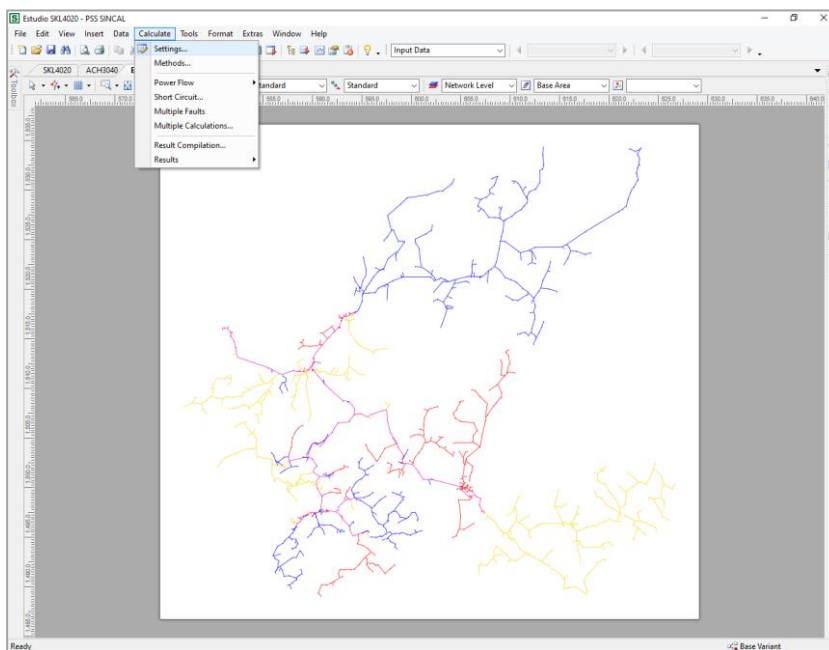
Frequency:

Se introduce el valor de la frecuencia con la que el sistema va a trabajar. Para el caso de Nicaragua la frecuencia asignada por la Normativa de Servicio Eléctrico (NSE), es de 60 Hz.

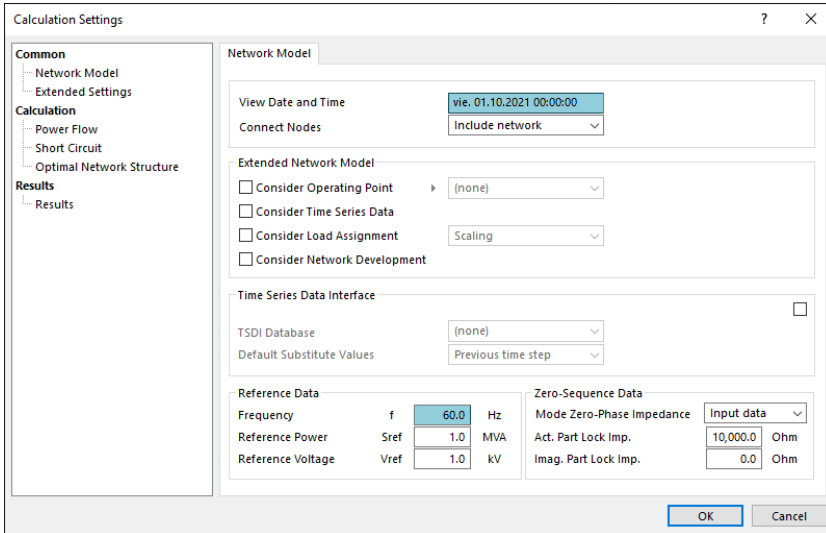
Load Flow Procedure:

Apartado donde se selecciona el método de cálculo para realizar la corrida de flujo de potencia.

Los ajustes de estos parámetros se muestran a continuación en las siguientes figuras.

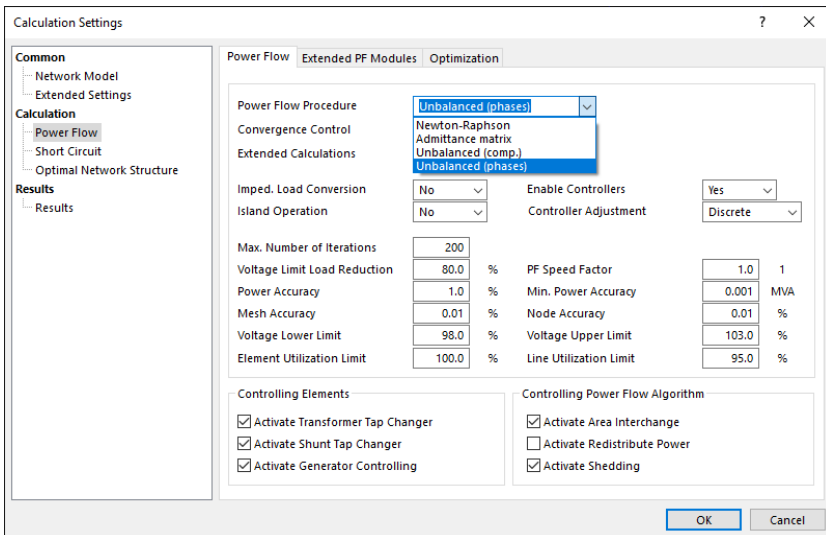


**Figura 31:** Red en PSS SINCAL.  
**Fuente:** Herramienta PSS SINCAL 18.0.



**Figura 32:** Ajustes a realizar en PSS SINCAL.

**Fuente:** Herramienta PSS SINCAL 18.0.



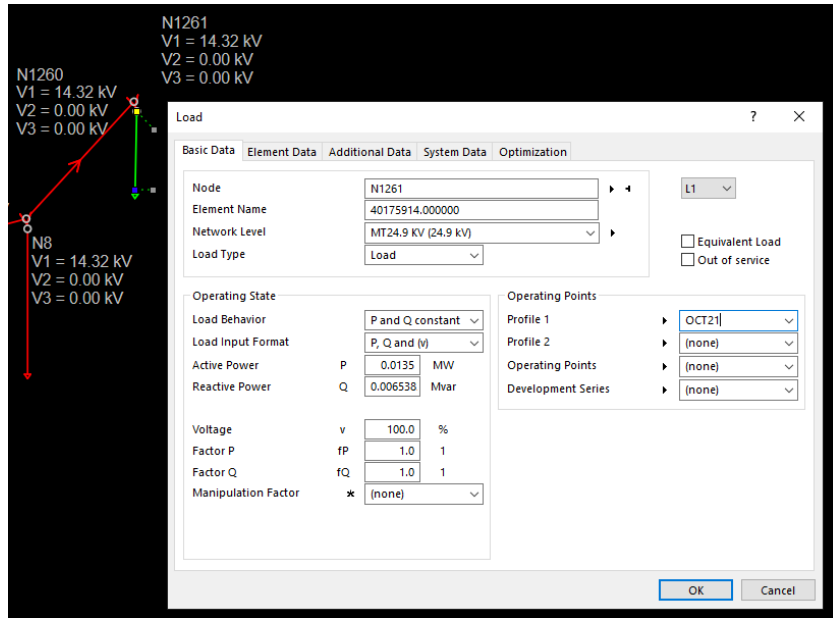
**Figura 33:** Ajustes a realizar en PSS SINCAL.

**Fuente:** Herramienta PSS SINCAL 18.0.

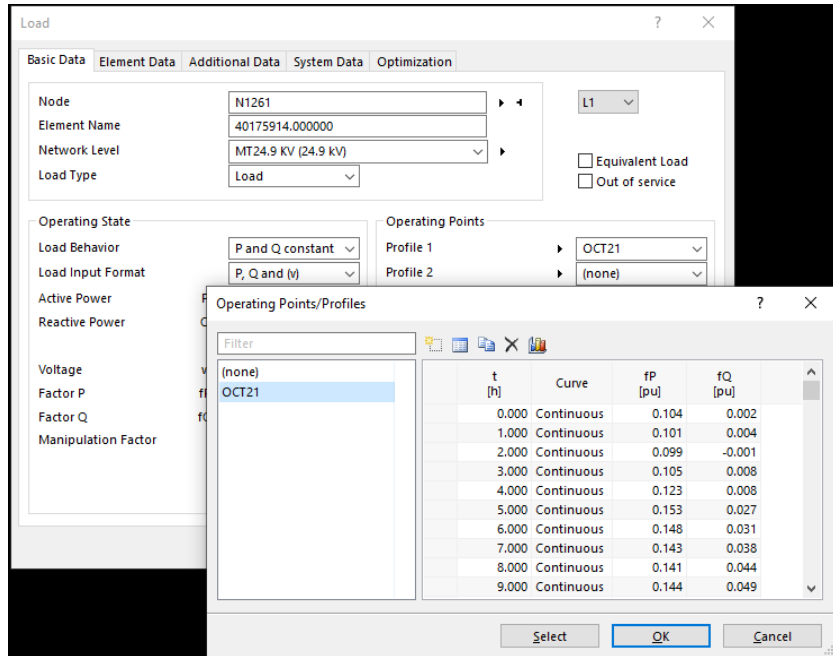
## 5. Creación del Profile en PSS SINCAL.

Para la creación del Profile se utiliza el perfil (p.u) depurado del mes a evaluar, en este caso se evaluó el mes de octubre del año 2021.

El profile se crea seleccionando una carga aleatoria del circuito y de manera ordenada seguir los siguientes pasos:

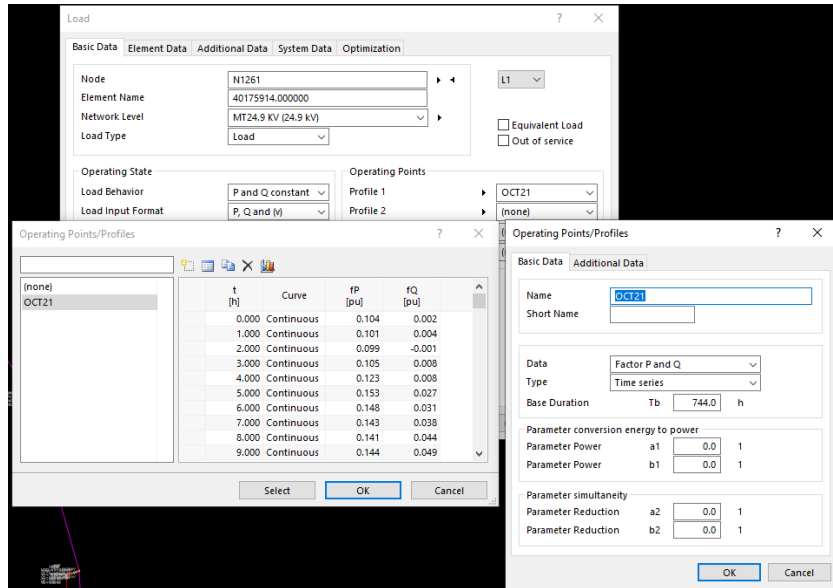


**Figura 34:** Ajustes a realizar en PSS SINCAL.  
**Fuente:** Herramienta PSS SINCAL 18.0.

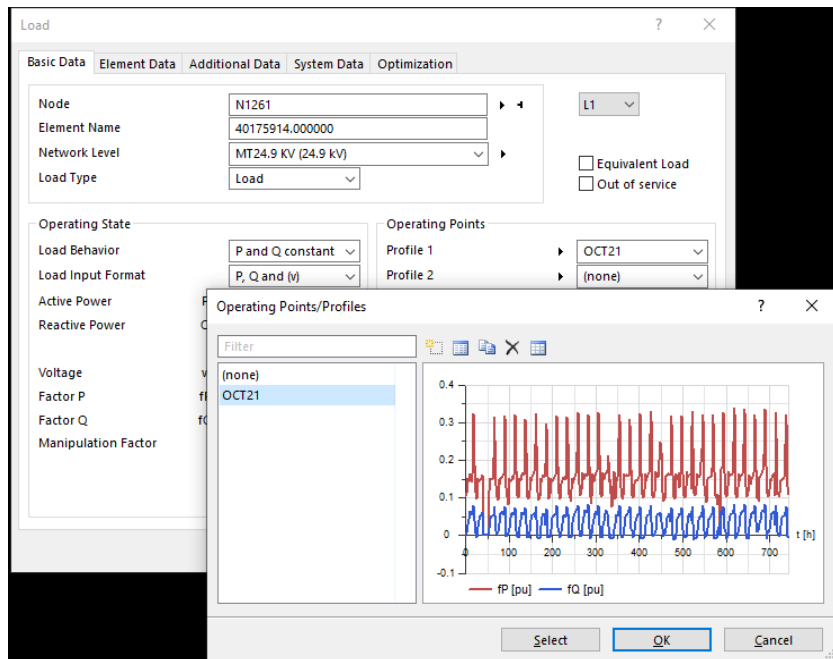


**Figura 35:** Ajustes a realizar en PSS SINCAL.  
**Fuente:** Herramienta PSS SINCAL 18.0.





**Figura 36:** Ajustes a realizar en PSS SINCAL.  
**Fuente:** Herramienta PSS SINCAL 18.0.

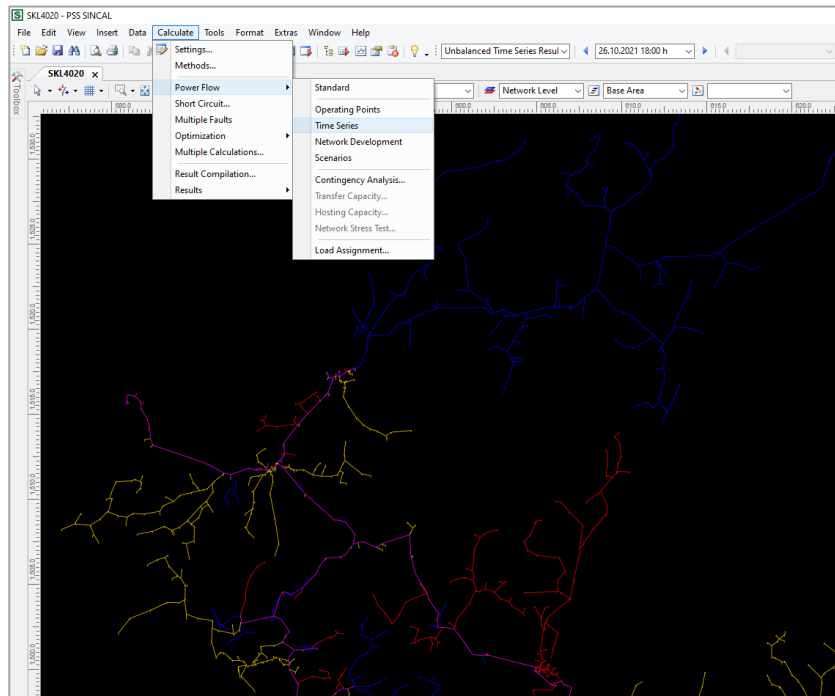


**Figura 37:** Ajustes a realizar en PSS SINCAL.  
**Fuente:** Herramienta PSS SINCAL 18.0.

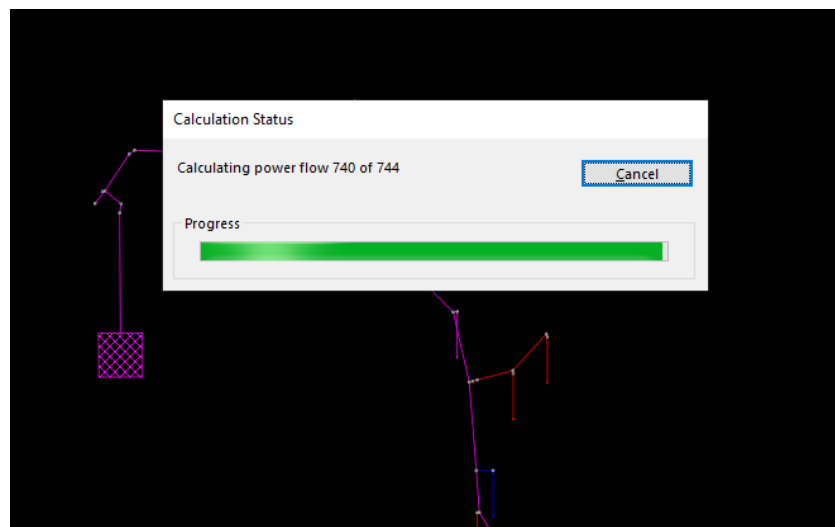
Cabe mencionar que este procedimiento se añade solo a la carga determinada, por lo que es necesario realizar la selección de todas las cargas del circuito y añadirle el perfil de energía, para este caso es el “OCT21”.

## 6. Simulación por Load Profile del SKL4020.

En las próximas imágenes se muestra el proceso para utilizar el método “Power Flow” de la herramienta PSS SINCAL.



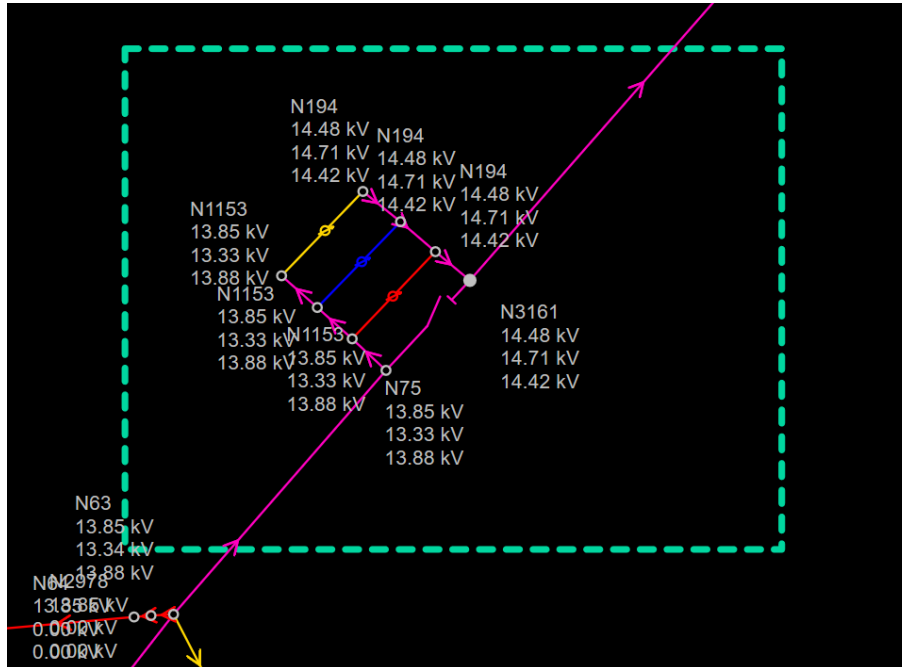
**Figura 38:** Ajustes a realizar en PSS SINCAL.  
**Fuente:** Herramienta PSS SINCAL 18.0.



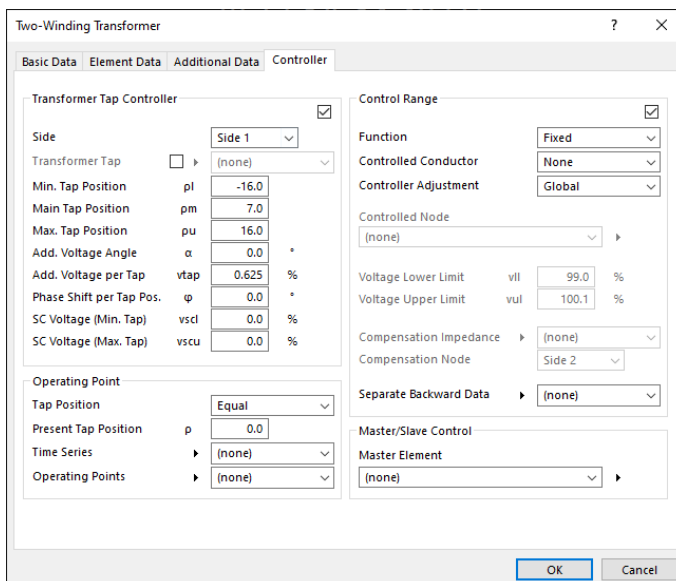
**Figura 39:** Ajustes a realizar en PSS SINCAL.  
**Fuente:** Herramienta PSS SINCAL 18.0.

## Anexo 4: Instalación de los Reguladores de Voltaje en PSS SINCAL.

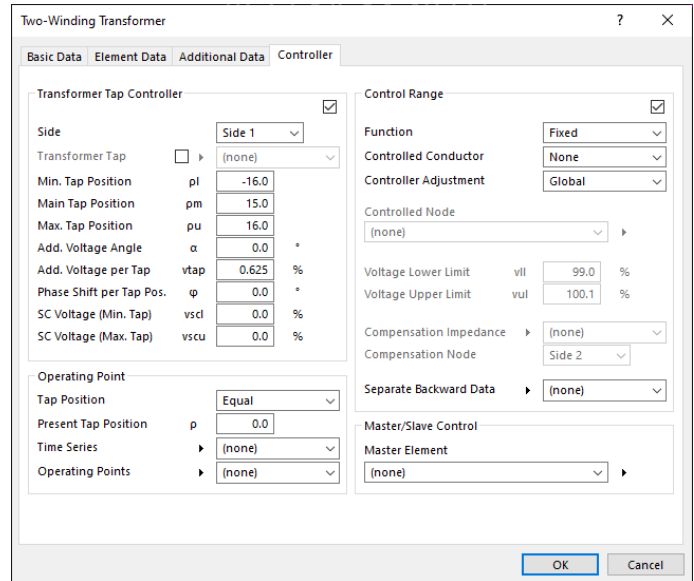
### Banco de Regulador "El Jícaro" en PSS SINCAL.



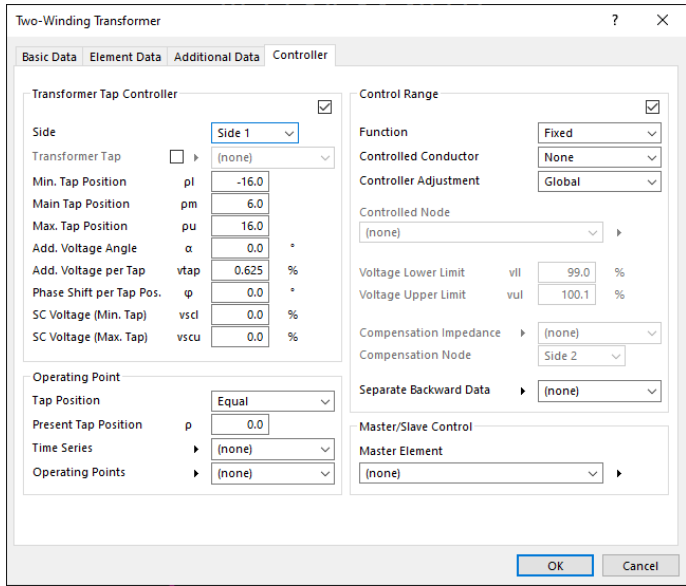
**Figura 40:** Vista de Banco Regulador de Voltaje en PSS SINCAL.  
**Fuente:** Herramienta PSS SINCAL 18.0.



**Figura 41:** Ajuste de taps fase R en PSS SINCAL.  
**Fuente:** Herramienta PSS SINCAL 18.0.

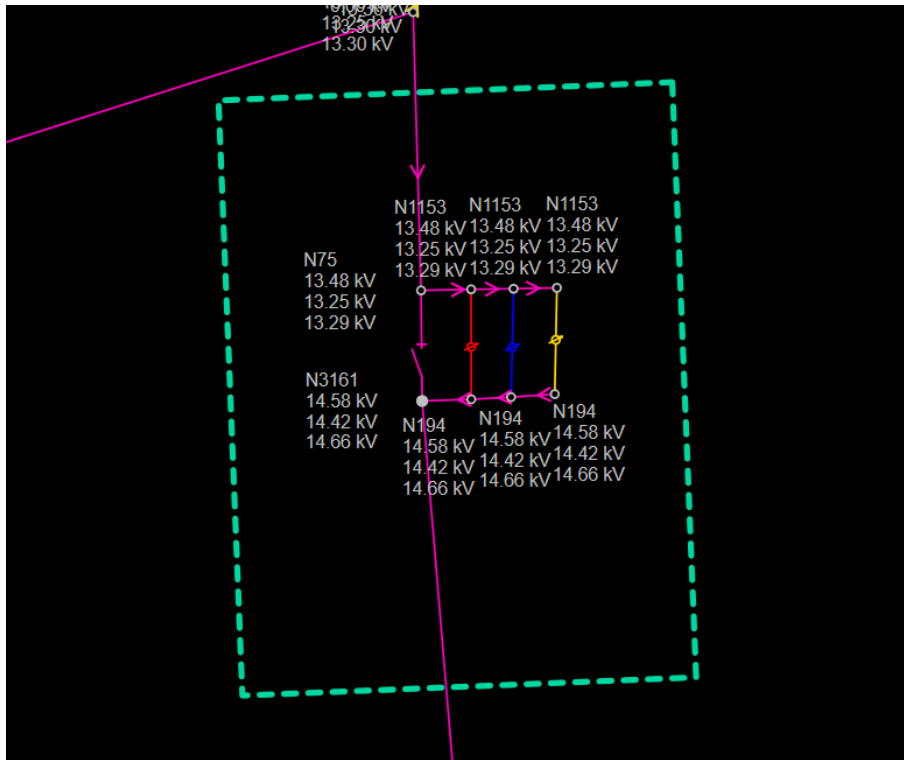


**Figura 42:** Ajuste de taps fase S en PSS SINCAL.  
**Fuente:** Herramienta PSS SINCAL 18.0.

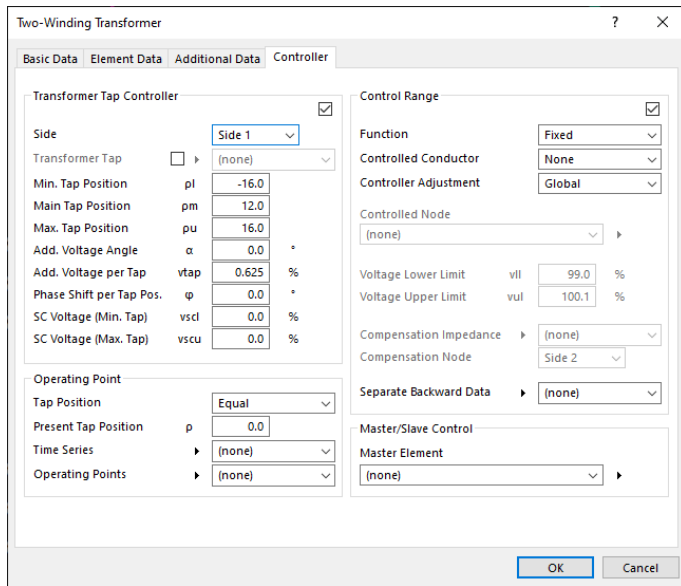


**Figura 43:** Ajustes de taps fase T en PSS SINCAL.  
**Fuente:** Herramienta PSS SINCAL 18.0.

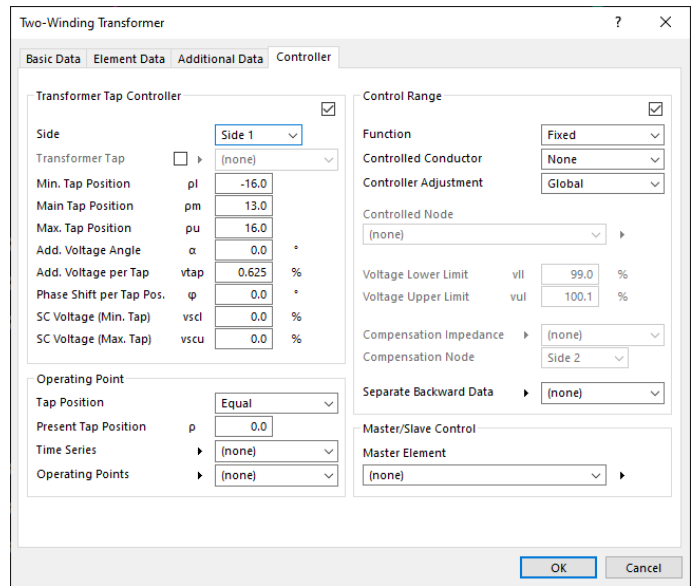
Banco de Regulador “Quilalí-Wiwil” en PSS SINCAL.



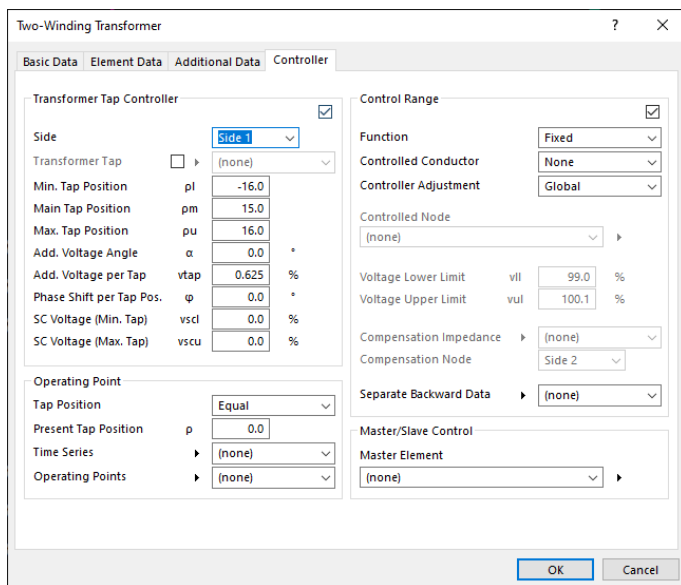
**Figura 44:** Vista de Banco Regulador de Voltaje en PSS SINCAL.  
**Fuente:** Herramienta PSS SINCAL 18.0.



**Figura 45:** Ajuste de taps fase R en PSS SINCAL.  
**Fuente:** Herramienta PSS SINCAL 18.0.

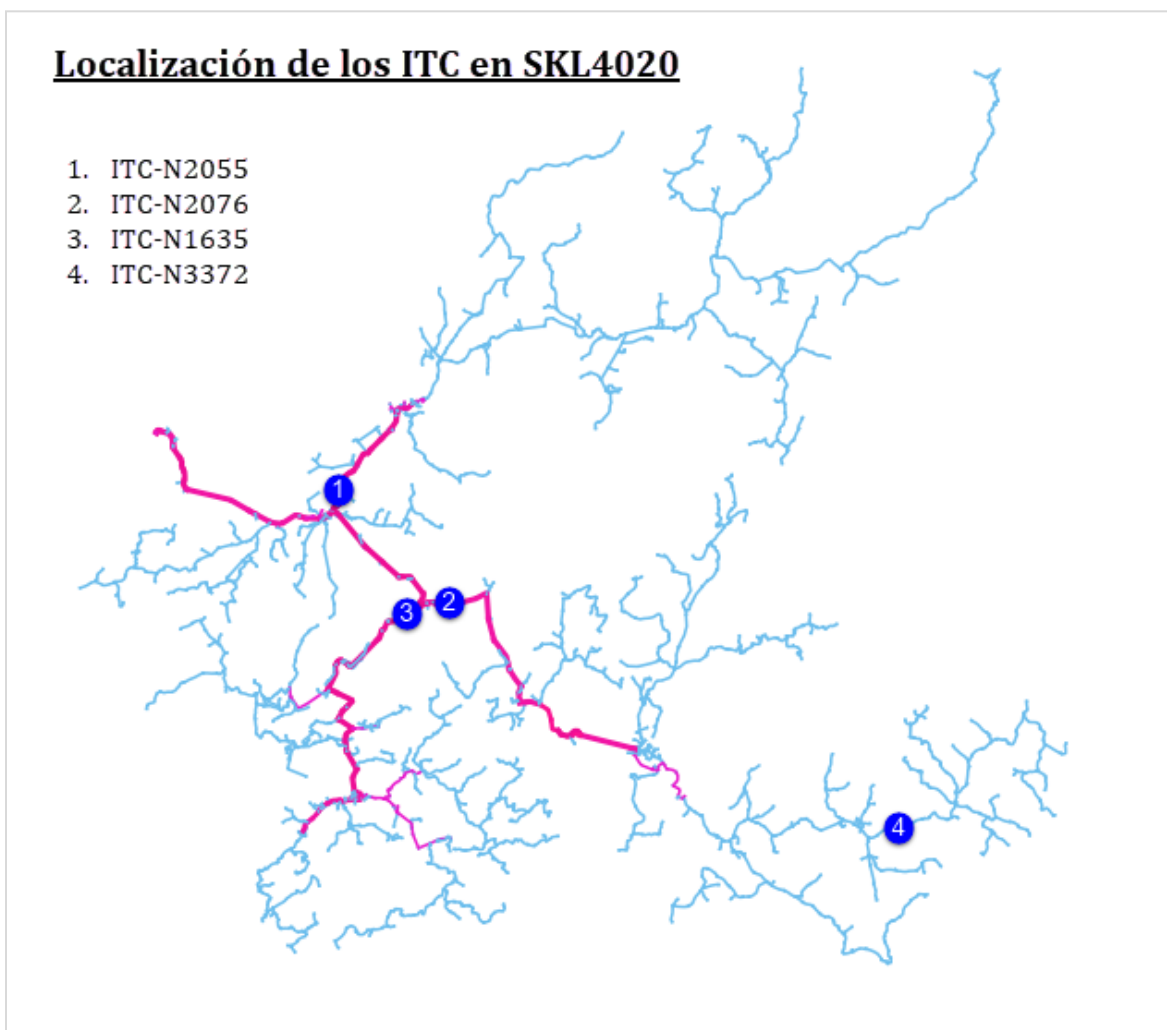


**Figura 46:** Ajuste de taps fase S en PSS SINCAL.  
**Fuente:** Herramienta PSS SINCAL 18.0.



**Figura 47:** Ajustes de taps fase T en PSS SINCAL.  
**Fuente:** Herramienta PSS SINCAL 18.0.

## Anexo 5: Localización de los ITC en SKL4020.



**Figura 48:** Localización de los ITC en el circuito SKL4020.

**Fuente:** Creación propia a partir de la herramienta QGIS.