



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE GUAYAQUIL

CARRERA DE ELECTRICIDAD

**REGULACIÓN ÓPTIMA DE VOLTAJE EN LÍNEA DE MEDIA TENSIÓN EN
ZONA RURAL MEDIANTE DIGSILENT**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero Eléctrico

AUTORES: LIDIA SALOMÉ YÉPEZ ESCUDERO

LUIGI JEAMPIERRE CAICEDO PARRALES

TUTOR: ING. ERVIN GEOVANNY SOLANO VILLEGAS, MSC,

Guayaquil-Ecuador

2023

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN


Nosotros; Lidia Salomé Yépez Escudero, con documento de identificación N° 0932395379 y Luigi Jeampierre Caicedo Parrales con documento de identificación N° 1206857763, manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Guayaquil, 24 de febrero del año 2023.



Lidia Salomé Yépez Escudero
0932395379



Luigi Jeampierre Caicedo Parrales
1206857763

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros; Lidia Salomé Yépez Escudero, con documento de identificación No. 0932395379 y Luigi Jeampierre Caicedo Parrales con documento de identificación No. 1206857763, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto Técnico: “ Regulación óptima de voltaje en línea de media tensión en zona rural mediante DIGSILENT” el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniería Eléctrica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

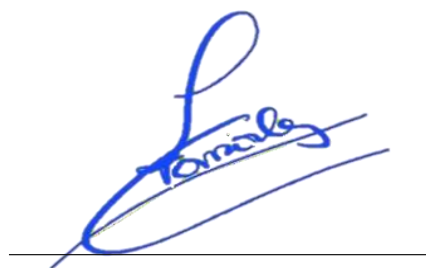
Guayaquil, 24 de febrero del año 2023

Atentamente,



Lidia Salomé Yépez Escudero

0932395379



Luigi Jeampierre Caicedo Parrales

1206857763

**CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO
DE TITULACIÓN**

Yo, Ervin Geovanny Solano Villegas con documento de identificación N° 092348191-5 docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación:

“REGULACIÓN ÓPTIMA DE VOLTAJE EN LÍNEA DE MEDIA TENSIÓN EN ZONA RURAL MEDIANTE DIGSILENT”, realizado por Luigi Jeampierre Caicedo Parrales y Lidia Salomé Yépez Escudero, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 24 de febrero del año 2023

Atentamente,



Ing. Ervin Geovanny Solano Villegas, MSc

0923481915

DEDICATORIA

Dedico mi tesis de grado a Dios por su guía y sabiduría ante todo momento durante mi carrera universitaria, a mis padres David Yépez y Lidia Escudero quienes han sido mi soporte durante todo este trayecto y una bendición el que me hayan acompañado en esta etapa que está finalizando, por ser quienes me han ayudado desde el inicio y hasta el final, dedico este logro a mí misma por el esfuerzo y los días difíciles que sin la ayuda de Dios no hubiera podido.

Lidia Salomé Yépez Escudero
0932395379

Este trabajo de tesis es dedicado para los que hicieron posible este logro, mi mama Mercedes Parrales y mi papa José Caicedo, que siempre me dieron su apoyo incondicional y me aconsejaron sobre todo en los momentos donde más los necesite, a mis hermanos que me apoyaron con su conocimiento y motivación que lograban mentalizarme positivamente para conseguir cada uno de mis objetivos, y salir avante en mi carrera profesional.

Luigi Jeampierre Caicedo Parrales
1206857763

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios y a mis padres por ser pieza fundamental y apoyo incondicional desde que comencé a estudiar, mis padres quienes siempre han estado para mi en este largo y bonito camino de aprendizaje, agradezco a mi tutor Ervin Solano que siempre estuvo presto a ayudar, por su positiva actitud, sobre todo por creer en nosotros y por su conocimiento compartido, agradezco a mi familia por siempre estar presente y ser testigos del esfuerzo que puse para salir adelante

Lidia Salomé Yépez Escudero

0932395379

Doy mis sinceros agradecimientos a Dios, a cada uno de los profesores con el que tuve la dicha de recibir sus conocimientos durante los cinco años de carrera, a nuestro tutor de tesis el Ing. Ervin Solano Villegas por brindarnos calma y sabiduría en los momentos de mucha presión, y en especial a mi compañera de tesis Salomé Yépez, que me enseñó los valores del trabajo en equipo, sin su dedicación no lo hubiera desarrollado de excelente manera.

Luigi Jeampierre Caicedo Parrales

1206857763

RESUMEN

Los niveles de voltaje que operan en redes de media tensión no suelen ser constantes, debido a las largas distancias que recorren y la cargabilidad de los transformadores conectados al alimentador. En este caso se requiere conectar bombas de riego en la fábrica de plásticos y estación de bombeo ubicados en la Hacienda JJ a la red que parte desde la subestación Quevedo Sur en la ciudad de Quevedo, contando con un recorrido de 7,9 km de alimentador trifásico 4/0 AWG ACSR, sin embargo, los niveles que se obtienen del alimentador no permiten el buen funcionamiento de los motores trifásicos que contienen las máquinas de bombeo utilizados en el área de riego.

Mediante la recopilación de estos datos se levantó un diagrama unifilar en Digsilent con el fin de realizar una simulación de flujo de potencia y perfil del voltaje que nos permita visualizar el porcentaje de caída de tensión que existe en el alimentador, para luego observar mediante gráficas los puntos mínimos y máximos de voltajes a lo largo de la línea trifásica, para terminar con la implementación del módulo analítico denominado “Step-Voltage Regulator” que incluye el Digsilent, cuya función es verificar y corregir el voltaje que no se encuentra en el rango permitido según la resolución Nro. ARCERNNR-017/2020, en donde se estipula el rango admisible en media tensión con $\pm 6\%$ de variación de voltaje.

Con los resultados obtenidos se observa claramente que el tramo del alimentador donde están ubicadas las bombas de riego no posee un nivel adecuado de tensión, por lo que con la ayuda del módulo se hará la labor de ubicar los reguladores de voltaje en el punto más conveniente y que no se presente ningún problema de operación de los motores trifásicos que son utilizadas 22 horas diarias para el control de riego de la Hacienda JJ.

Palabras Claves:

Transformadores, alimentador trifásico, diagrama unifilar, Digsilent, variación de voltaje, reguladores de voltaje.

ABSTRACT

Voltage levels operating in medium voltage networks are not usually constant, due to the long distances they travel and the load ability of the transformers connected to the feeder. In this case, irrigation pumps in the plastics factory and pumping station located at Hacienda JJ need to be connected to the network that starts at the Quevedo Sur substation in the city of Quevedo, with a 7.9 km run of three-phase 4/0 AWG ACSR feeder; however, the levels obtained from the feeder do not allow the proper operation of the three-phase motors that contain the pumping machines used in the irrigation area.

By collecting this data, a single-line diagram was created in Digsilent in order to perform a simulation of power flow and voltage profile that allows us to visualize the percentage of voltage drop that exists in the feeder, and then observe through graphs the minimum and maximum points of voltages along the three-phase line, to finish with the implementation of the analytical module called "Step-Voltage Regulator" that includes the Digsilent, whose function is to verify and correct the voltage that is not in the allowed range according to resolution No. ARCERNNR-017, and to verify and correct the voltage that is not in the allowed range according to resolution No. ARCERNNR-017. ARCERNNR-017/2020, which stipulates the admissible range in medium voltage with $\pm 6\%$ voltage variation.

With the results obtained it is clearly observed that the section of the feeder where the irrigation pumps are located does not have an adequate voltage level, so with the help of the module the work will be done to locate the voltage regulators in the most convenient point and that there is no problem of operation of the three-phase motors that are used 22 hours a day for irrigation control of the Hacienda JJ.

Key words:

Transformers, three-phase feeder, single line diagram, Digsilent, voltage variation, voltage regulators.

INDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	ii
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA.....	iii
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
RESUMEN	vii
ABSTRACT	viii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
ÍNDICE DE TABLAS	xv
ACRÓNIMOS.....	xvi
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN.....	1
1.2 Problema.....	2
1.3 Antecedente	3
1.4 Justificación.....	3
1.5 Delimitación.....	3
1.6 Objetivo	4
1.6.1 Objetivo General	4
1.6.2 Objetivos específicos	4
CAPÍTULO II.....	4
2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	4
2.1 Redes de distribución aéreas.....	6

2.2 Topologías de las redes	8
2.2.2 Sistema de Red Anillo	8
2.2.3 Sistema de Red en Malla	8
2.3 Dificultades de voltaje en alimentadores radiales.....	8
2.4 Métodos para corregir la variación de voltaje	8
2.5 Equipos de regulación de tensión	9
2.6 Regulador de Voltaje	10
2.6.1 Composición del Regulador de Voltaje.....	10
2.6.2 Conexiones de los reguladores de voltaje.....	10
2.6.3 Tipos de Regulador de Voltaje.....	10
2.6.4 Reguladores de voltaje: Tipo y Tamaño	11
2.7 Normativa de valores KVA según la IEEE	12
2.8 Reguladores como opción dentro del mercado	15
2.8.1 Marcas	15
Cooper Tire & Ruber Company.....	15
General Electric.....	16
Siemens S.A.....	17
2.9 Software para la simulación mediante Power Factory Digsilent	18
2.9.1 Módulos y Herramientas de Digsilent.....	18
<input type="checkbox"/> Busbar (Barra)	18
<input type="checkbox"/> General Load (Carga general).....	18
<input type="checkbox"/> Grid (Red).....	18
<input type="checkbox"/> Cubicles (Cubículos)	18
<input type="checkbox"/> Feeder (alimentador)	19
<input type="checkbox"/> Modulo Step voltage regulator (regulador de voltaje por paso).....	19
2.10 Geoportal CNEL EP	19
2.11 ETAP (Electrical Transient and Analysis Program).....	19

CAPÍTULO III	20
3.MARCO METODOLÓGICO	20
3.1 METODOLOGÍA Y MEDIOS	20
3.2 Línea Trifásica 4/0 AWG ACSR	24
3.3 Cargas conectadas al alimentador Terminal Terrestre	28
3.4 Diagrama unifilar en DIgSILENT	29
3.4.1 Simulación Quasi-Dinámica	30
3.4.2 Perfil de Voltaje Diagrama Unifilar Sin Regulador	32
3.4.3 Configuración del Módulo Optimal Equipment Placement	33
3.4.4 Perfil de Voltaje Diagrama Unifilar Con Regulador	36
3.5 Ubicación de taps	38
CAPÍTULO IV	40
4. RESULTADOS	40
CAPÍTULO V	43
5.1 CONCLUSIONES	43
5.2 RECOMENDACIONES	44
CAPÍTULO VI	45
Referencias bibliográficas	45
CAPÍTULO VII	47
7. ANEXOS	47
ANEXO 1	47
ANEXO 2	48
ANEXO 3	48
ANEXO 4	49
ANEXO 5	49
ANEXO 6	50
ANEXO 7	51

ANEXO 8	52
ANEXO 9	53
ANEXO 10	54
ANEXO 11	55
ANEXO 12	55
ANEXO 13	56
ANEXO 14	56
ANEXO 15	57
ANEXO 16	57
ANEXO 17	58
ANEXO 18	58
ANEXO 19	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura No. 1 : Ubicación de la “Hacienda JJ”	3
Figura No. 2 : Red de media tensión. Fuente [8].....	6
Figura No. 3: Regulador de tensión con tap en el lado de carga. Fuente[12].....	12
Figura No. 4: Regulador de Voltaje por Paso Cooper Tire & Ruber Company	15
Figura No. 5: Regulador de Voltaje por paso General Electric	16
Figura No. 6: Regulador de Voltaje por paso Siemens	17
Figura No. 7: Subestación Quevedo Sur.....	21
Figura No. 8: Subestación Quevedo Sur.....	21
Fuente: Google Earth	21
Figura No. 9: Trazados de alimentador con carga.....	23
Figura No. 10: Gráfica de voltaje máximo y mínimo	24
Figura No. 11: Datos proporcionados por Geoportal CNEL EP del alimentador Terminal Terrestre	25
Figura No. 12: Configuración de conductor 4/0AWG ACSR en ETAP.....	27
Figura No. 13: Dimensionamiento de estructura Trifásica – en volado – pasante o tangente	27
Figura No. 14: Curva de carga tipo residencial Fuente [18]	29
Figura No.15: Curva de carga tipo industrial Fuente: [18].....	29
Figura No. 16: Diagrama Unifilar de alimentador “Terminal Terrestre” en Digsilent.....	30
Figura No. 17: Simulacion Quasi-Dinámica	31
Figura No. 18: Simulacion Quasi-Dinámica sin regulador de voltaje	31
Figura No.19: Perfil de Voltaje sin regulador.....	32
Figura No. 20: Curva de mínimo voltaje escenario sin regulación	33
Figura No. 21: Modulo de Ubicación Óptima de RV	34
Figura No. 22: Características del banco de reguladores monofásicos	35
Figura No. 23: Diagrama Unifilar con ubicación óptima de RV.....	36
Figura No. 24: Perfil de voltaje con Regulador de Voltaje	37
Figura No. 25: Curva de mínimo voltaje escenario con regulación	38
.....	39
Figura No. 26: Ubicación de TAPS del Regulador de voltaje	39

Figura No. 27 : Gráfica Comparativa Antes y Después de Regulación.....42

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 : Límites para el índice de nivel de voltaje Fuente: [3].....	5
Tabla 2: Capacidades preferidas para reguladores de voltaje escalonado sumergidos en aceite (monofásicos)	13
Tabla 3: Clasificaciones preferidas para reguladores de voltaje escalonado sumergidos en aceite (trifásicos).....	14
Tabla 4: Coordenadas de nodos de cargas del alimentador ‘Terminal Terrestre’	22
Tabla 5: Código de conductores AWG ACSR.....	26
Tabla 6. Cargas conectadas al alimentador ‘Terminal Terrestre’	28
Tabla 7. Valores mínimos en los nodos de alimentación sin RV	40
Tabla 8. Valores mínimos y máximos en los nodos del alimentador con RV.....	41

ACRÓNIMOS

OHM: Ohmios

SEP: Sistema Eléctrico de Potencia

S/E: Subestación

ACSR: Aluminium Conductor Steel- Reinforced

AWG: American Wire Gauge

ANSI: American National Standards Institute

TC: Transformador de Corriente

GE: General Electric

IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers

DPL: DIgSILENT Programming Language

DSL: DIgSILENT Simulation Language

ETAP: Electrical Transient and Analysis Program

CNEL EP: Corporación Nacional de Electricidad Empresa Publica

KV: Kilo Voltios

UTM: Universal Transverse Mercator

KM: Kilómetros

P.U.: Por Unidad

H: Horas

RV: Regulador de Voltaje

A: Amperios

HZ: Hertz

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Las líneas de media tensión presentan problemas a la hora de transportar la energía de un punto a otro, desde la subestación hasta el consumidor, y esto se debe porque el suministro eléctrico no es lo suficientemente estable y también por las grandes distancias que recorren. Esto ocasiona que existan variaciones de tensión que deben ser controlados por algún dispositivo, y ese es el trabajo del regulador de voltaje, que se encarga de estabilizar dichas variaciones para mantener un nivel constante de energía que protege a los equipos conectados; protección que se mantiene en todo momento.

El problema de la baja tensión en las redes eléctricas rurales es muy destacado, las nuevas subestaciones, las nuevas líneas y otros métodos para resolver el problema de la baja tensión tienen un alcance de aplicación limitado, un alto costo y tiempo, y existe una necesidad urgente de desarrollar nuevos dispositivos de elevación de baja tensión para las redes eléctricas. [1], [2]

Cuando los circuitos son trifásicos ya sea en estrella o en delta debemos de instalar 3 reguladores de voltaje monofásicos cuya conexión debe ser correspondiente al sistema eléctrico en media tensión, una recomendación es que si la conexión del banco de reguladores es en estrella también se debe conectar la fuente en estrella, de modo que la corriente que circula por el neutro tenga cerrado el camino a tierra, esto con el fin de evitar movimientos debido a las cargas desequilibradas, es deseable que la resistividad de la puesta a tierra sea de 20 ohm. [2]

La posible opción para mejorar el problema de variación de voltaje en las líneas y con ello contar con reducción de pérdida dentro de todo el sistema, es considerar ubicar los reguladores de voltaje en un punto estratégico en toda la amplitud de los conductores de las redes de distribución[3]. Los equipos proveen sus respectivas condiciones con sus taps para que así se pueda cambiar bajo carga y de manera automática el voltaje mantenerse en el nivel de regulación con su grado de tolerancia predeterminado. [4]

Las causas más comunes que provocan caída de tensión en las líneas de redes de distribución son:

Sobrecarga eléctrica: Esto sucede cuando la demanda supera los datos de las líneas, algo que es bastante frecuente en sectores con alta temperatura, que en días soleados se necesita el uso del aire acondicionado y por ello incrementa la capacidad de demanda.

Grandes recorridos de las redes eléctricas: Por lo general las líneas saben tener un largo recorrido desde el alimentador hasta el cliente que consume el servicio. Mientras la longitud de las líneas de distribución sea mayor, la resistencia del conductor se incrementará directamente proporcional.

Selección del cable: El tipo de conductor interviene en la variación de diferencia de potencial debido que la resistividad del cable cambia con respecto a su calibre. Mientras el calibre del cable sea mayor, su resistividad disminuye Cabe recalcar que dentro de este proyecto para realizar el análisis del sistema se debe hacer el cálculo de su flujo de potencia, paso importante para así poder obtener la factibilidad de este y que su requerimiento principal es que el voltaje que sale se mantenga constante y nivelado de los desbalances que existen. En cuanto avanza la tecnología, los equipos adquieren mayor sensibilidad a las fluctuaciones de tensión a lo largo de las redes de distribución. En una industria en donde se incorporan nuevos equipos con la finalidad de elevar la producción de la empresa pueden ocasionar problemas de calidad de electricidad para otros equipos posteriormente. La presencia de estas fluctuaciones requiere un análisis, monitoreo y medidas para confiar la calidad de la energía. Debido a esto, las fluctuaciones son las que disminuyen en gran medida la calidad de la electricidad, afectando la generación, distribución y transmisión de energía, así como su consumo.[5] Los distribuidores tienen una visión de entregar a los consumidores una calidad óptima en el nivel de tensión. Las variaciones de voltaje ocurren por la caída de corriente eléctrica que circulan por medio de las impedancias de las líneas. Estos parámetros deben ser corregidos mediante los reguladores de voltaje ubicados en las subestaciones de distribución o en los alimentadores, y en caso de ser necesario aguas abajo de la misma subestación. [6]

1.2 Problema

Actualmente existen inconvenientes en los niveles de voltaje que se entregan a los consumidores desde las subestaciones, esto tiene que ver con la distancia y la topología en donde se encuentra el alimentador, evitando el correcto funcionamiento de dispositivos o maquinas usados especialmente en el sector agrícola e industrial, debido a esto, se ha visto la necesidad de corregir los desbalances de voltaje que existe en los alimentadores y poder suministrar de una forma más favorable para la empresa y los consumidores.

1.3 Antecedente

Se realizó una visita técnica a la Hacienda JJ donde observamos que los niveles de voltaje que requerían las bombas de riego no eran las adecuadas, debido a esto se va a realizar un estudio con el fin de considerar los resultados y determinar si a los propietarios les resulta conveniente instalar reguladores para mejorar el perfil de voltaje.

1.4 Justificación

Con la implementación de este proyecto se solventará el problema cuyo uso de dispositivos como reguladores de voltaje, permitan la corrección de variaciones y desperfectos que existen en las líneas de media tensión, donde el usuario pueda tener una mejor eficiencia a la hora de disponer del servicio eléctrico.

1.5 Delimitación

La ubicación del alimentador se encuentra en la ciudad de Quevedo perteneciente a la provincia de Los Ríos, específicamente en la hacienda JJ del grupo Manobanda donde las simulaciones fueron realizadas mediante el programa DIGSILENT Power Factory ejecutado en el laboratorio "SEP" que se encuentra en el edificio E, campus centenario sede Guayaquil.

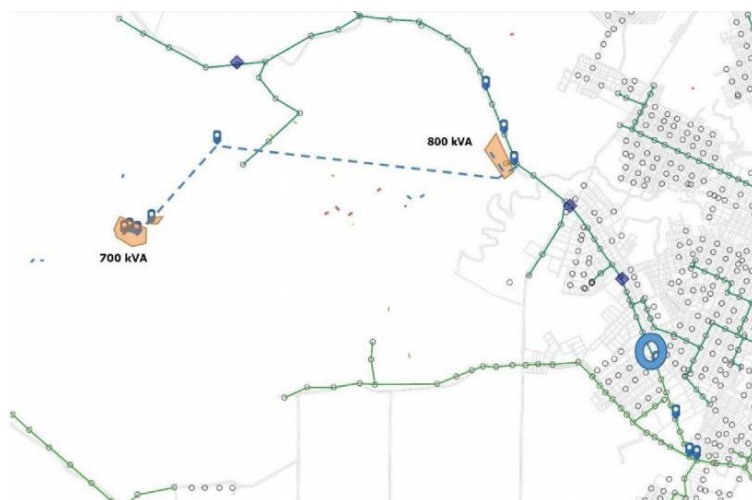


Figura No. 1 : Ubicación de la "Hacienda JJ"

1.6 Objetivo

1.6.1 Objetivo General

• Analizar y comprobar la regulación óptima de reguladores de tensión en redes de distribución rurales mediante el programa de análisis de sistemas de potencia “DIgSILENT”, con el fin de mejorar las variaciones de tensión que afectan las redes.

1.6.2 Objetivos específicos:

- Recopilar información sobre el levantamiento de redes obtenidos mediante la medición de los alimentadores.
- Simulación de flujo de potencia y perfil de voltaje de escenario existente (sin el regulador de voltaje).
- Simulación de flujo de potencia y perfil de voltaje de escenario existente (con el regulador de voltaje).
- Simular el flujo de potencia y perfil de voltaje de escenario propuesto por la ubicación óptima del RV.
- Realizar una comparación de los resultados obtenidos en análisis del software y concluir con las recomendaciones del estudio.

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Las variaciones de tensión suelen ser cambios en las líneas donde transita el voltaje lo cual se lo puede denominar como inestabilidad de voltaje. Por lo general estas variaciones alcanzan un valor menor o mayor de un 10% del ideal voltaje nominal.

Según diversos estudios, estas variantes existentes son las causantes de más del 85% de las fallas en los sistemas eléctricos y electrónicos.

Para el cumplimiento de los rangos admisibles es ideal que las distribuidoras cumplan con el requerido nivel de voltaje, donde los registros de variación de tensión en cada fase cuando este entre en el período de evaluación y al menos el 95% durante los 7 días de la semana estén dentro del rango admitido.

Según la resolución Nro. ARCERNR-017/2020 los rangos de voltaje admitidas son las siguientes:

Tabla 1 : Límites para el índice de nivel de voltaje Fuente: [3]

Nivel de Voltaje	Rango admisible
Alto Voltaje (Grupo 1 y Grupo 2)	± 5.0 %
Medio Voltaje	± 6.0 %
Bajo Voltaje	± 8.0 %

Es importante tener en cuenta que los sistemas eléctricos de distribución inician con las subestaciones que las alimentan una o más líneas de subtransmisión donde cada una de las subestaciones sirve así misma a uno o más alimentadores principales, se resalta que los alimentadores son radiales y con esto se comprende que existe un único camino para el flujo de potencia a partir de la subestación hasta cada uno que consume el servicio. [6] La caída de voltaje en las líneas se produce debido a la resistencia eléctrica en el flujo de corriente, esta resistencia se relaciona con la longitud, el calibre, el nivel de temperatura de operación y el tipo de material del conductor eléctrico. El tipo de conductor escogido debe verificarse por la caída de voltaje en la línea, al abastecer de energía a una carga a través de un cable, se comprueba una decadencia en el voltaje y disipación de corriente en forma de calor.

La caída de voltaje en los circuitos de corriente alterna se estima dependiendo de la corriente de carga, en los circuitos es habitual la unión de resistencias, inductancias y capacitancias por lo cual esta caída de voltaje es expresada de la siguiente manera, Recalcando que Z es su impedancia.

$$V = I * Z$$

Se establece que el producto de la corriente con la impedancia eficaz resulta un dato muy cercano de la caída de voltaje entre neutro y fase.

$$Z_{EF} = R \cos \theta + X \operatorname{Sen} \theta$$

- El cuál θ es el ángulo de FP del circuito
- R viene a ser la resistencia a corriente alterna del conductor
- X Viene a ser la reactancia

Se debe tener presente que en un sistema de distribución las líneas de medio voltaje tienen longitudes cortas, estas se pueden despreciar los efectos capacitivos y al mismo tiempo en los sistemas de bajo voltaje, también son despreciables estos efectos precisamente por la baja tensión, por lo tanto, la resistencia y al mismo tiempo la reactancia inductiva simplificaría los cálculos para una aproximación real. [7]

2.1 Redes de distribución aéreas

En general, la energía eléctrica se transporta desde el lugar de generación y producción hasta el lugar de uso.

En este tipo de red el conductor que frecuentemente va sin aislante, esta sostenido por medio de aisladores ubicados en crucetas, en postes los cuales pueden ser de concreto o de madera.



Figura No. 2 : Red de media tensión. Fuente [8]

Las partes principales que conforman un sistema aéreo son:

- **Conductores:** El aluminio y el ACSR desnudo se usan para circuitos primarios y están disponibles en tamaños 4/0, 2/0, 1/0 y 2 AWG y se pueden usar con cable desnudo o aislado para circuitos secundarios del mismo tamaño. Los circuitos son de 4 y 3 hilos con neutro puesto a tierra. Paralelamente se encuentran en los conductores de las redes eléctricas.
- **Aisladores:** ANSI 56.1 – 56.2 para medio voltaje (disco y espigo) y ANSI 53.3 para bajo voltaje.
- **Postes:** Los postes pueden ser de, hormigón o metal, las características son de peso, longitud, resistencia a la rotura están determinadas por el tipo estructural del circuito. Los sectores urbanos utilizan de hormigón de 14, 12 y 10 metros de longitud con fuerzas de rotura de 2000, 1050, 750 y 510 kg.
- **Equipos de seccionamiento:** La segmentación se realiza mediante interruptores automáticos unipolares y seccionadores para funcionamiento en vacío (100 A a 200 A).
- **Crucetas:** Una cruceta es un dispositivo que se utiliza para instalar todos los equipos de la red eléctrica, incluidos aisladores, interruptores y fusibles.
- **Herrajes:** Los accesorios utilizados en las redes aéreas, de baja tensión están fabricados en acero galvanizado. (**varillas de anclaje, grapas, collarines, ues, espigos, etc**)
- **Transformadores y protecciones:** Se utilizan transformadores monofásicos con las siguientes capacidades o valores nominales: 25 - 37,5 - 50 - 75 kVA y 30 - 45 - 75 -112,5 y 150 kVA para transformadores trifásicos sin disyuntores, fusibles y pararrayos de 12 kV con válvulas.

Las líneas de distribución juegan un papel importante en el suministro de electricidad desde las subestaciones hasta los medidores de los clientes. Los cambios de trazado

requieren medidas para prevenir accidentes y garantizar la seguridad de los equipos de trabajo y las instalaciones.

2.2 Topologías de las Redes

Una red distribuida administra un tipo específico de topología para la conectividad específica del país. Cada topología tiene ventajas y desventajas en comparación con modelos similares debido al tipo de conexión, costo, etc.[9]

2.2.1 Sistema de Red Radial

Las redes radiales se alimentan desde un solo extremo, tiene la ventaja de una instalación de red y una protección eléctrica muy simples. El principal inconveniente si falla un transformador es que toda la red pierde energía.

2.2.2 Sistema de Red Anillo

Una red en anillo o bucle cerrado se alimenta desde dos o más ubicaciones cerrando el bucle y el receptor se inserta entre los transformadores. La principal ventaja es que, si falla un transformador, el usuario seguirá recibiendo energía de otro transformador. Esto significa que la continuidad del servicio está garantizada de forma más fiable. Estas redes son más complejas y más difíciles de asegurar eléctricamente.

2.2.3 Sistema de Red en Malla

Están formados por una serie de anillos enlazados radialmente. Estas son redes muy complejas con capacidades de cortocircuito que aumentan exponencialmente.

2.3 Dificultades de voltaje en alimentadores radiales

Los inconvenientes que hay de tensión suelen ser frecuentes para las distribuidoras y según la gravedad se podría solucionar. Para poder tomar las medidas del caso se deberá principalmente revisar el lado de baja tensión ya que es mucho más fácil que hacerlo o trabajar en media tensión, por lo general existen caídas de voltaje en lado de baja tensión, por esto se requiere revisar cada las sobrecargas y cargas de los transformadores o neutros que están flotantes en el circuito.

2.4 Métodos para corregir la variación de voltaje

Las fluctuaciones de voltaje en las líneas eléctricas son fenómenos dinámicos con algunas causas. Pueden existir variaciones a medida que pasa el tiempo, la ubicación, el tipo de carga y las condiciones del circuito. [10]

- Para la mejora de la variación de voltaje existen estos métodos de corrección
- Regulador de voltaje de línea
- Transformadores
- Alimentador de distribución o regulador de tensión de bus
- Banco de Capacitores fijos

La solución para aplicar todo lo mencionado depende bastante sobre las características y especificaciones del sistema eléctrico. A demás, los métodos de regulación automáticos, el control de la tensión requiere actuar en tres niveles:

- Regulación en los puntos del nivel de tensión de entrega de la subestación de distribución.
- Regulación a través de una instalación de equipos en la puesta en marcha del alimentador de la subestación.
- Regulación mediante la puesta de equipos a largo del alimentador.

Las subestaciones en las redes de distribución contienen transformadores con interruptores de derivación que operan automáticamente cuando se cargan. Así mismo, para protección en algunas subestaciones, se dispone de una opción de reguladores de tensión hechos para operar de manera independiente para cada alimentador.

2.5 Equipos de regulación de tensión

Cada equipo de regulación de tensión está diseñado para que de manera automática pueda mantener el nivel que se establece, independientemente sobre las variaciones bruscas de carga. Esto significa que cuando la carga va aumentando lo que el regulador hace es elevar el voltaje en el alimentador para que así con el desbalance que existe lo pueda compensar en la red. Cuando las longitudes de los alimentadores son extensas y al mismo tiempo los usuarios que se encuentran en zonas apartadas, se puede solicitar la instalación de reguladores de tensión o capacitores en un punto estratégico a lo largo de la línea como complemento para la debida regulación mucho más nivelada.

El uso de un regulador muy común en el punto de uso significa mantener la tensión proporcionada por las fuentes de datos individuales en el campo del usuario. El regulador de voltaje puede ser de tipo escalón. El tipo paso a paso o el tipo discreto pueden ser del tipo estación monofásica y trifásica y se pueden usar en

subestaciones para regular las barras y el voltaje a lo largo de la parte superior y los alimentadores.

Un regulador de voltaje paso a paso es un autotransformador con múltiples derivaciones (taps) en las bobinas conectados en serie en el devanado, con 32 interruptores, a una tasa de aumento o disminución del 10% del nivel de voltaje nominal, en cada paso 5/8% de cambio de voltaje.

2.6 Regulador de Voltaje

2.6.1 Composición del Regulador de Voltaje

Un regulador de voltaje consta de dos partes, un dispositivo de control y un dispositivo fuente. Además de los autotransformadores, los equipos eléctricos también incluyen dispositivos de medición (transformadores de tensión y corriente). La unidad de control tiene una entrada del dispositivo de medición, que puede controlar el nivel de voltaje y el rango (ancho de banda).

2.6.2 Conexiones de los reguladores de voltaje

Los reguladores de tensión tienen 3 diferentes tipos de conexiones las cuales son:

- Estrella (Y)
- Delta (Δ)
- Delta abierto (\sphericalangle)

- **La conexión estrella** es un sistema de 4 hilos, por lo general en los circuitos trifásicos contienen tres reguladores monofásicos, donde están conectados línea a neutro.
- **La conexión delta abierto** está conformada por una conexión donde tienen que ir dos reguladores monofásicos cada uno de ellos conectado fase- fase. Mientras que en **la conexión delta** cerrado se conectarían tres reguladores fase-fase [11]

2.6.3 Tipos de Regulador de Voltaje

- **Regulador de voltaje monofásico de 32 pasos**

Un regulador de voltaje monofásico es un autotransformador de punto de voltaje variable que regula en 32 pasos desde +/-10%. Un control de regulador de voltaje detecta la tensión del sistema el cual puede operar un cambiador de tomas para regular el voltaje dentro de un rango específico.

Las clasificaciones de voltaje del regulador monofásico están disponibles desde 2400 voltios hasta 34 500 voltios para sistemas de 60 Hz y 50 Hz. Se pueden ofrecer tamaños de kVA más pequeños con soportes para montaje en poste y opciones de amarre de subestación o pedestal. Los tamaños más grandes se ofrecen en bases tipo subestación en arreglos polifásicos montados en base.

- **Reguladores voltaje multifásicos montados en base**

Están hechos para el uso en áreas públicas y comerciales con redes de distribución subterráneas, de esa manera haciendo un ahorro del espacio en comparación con las instalaciones aéreas que normalmente se hacen. Los reguladores de este tipo están disponibles en configuraciones monofásicas, 2 en 1 y 3 en 1 y este se puede configurar para sistemas conectados en delta o estrella. Algunos de estos diseños de unidades tienen dos o tres reguladores monofásicos en un solo tanque para subestaciones y aplicaciones subterráneas.

Los reguladores de voltaje montados en base brindan la funcionalidad de los reguladores de voltaje tradicionales montados en tanques redondos, postes y subestaciones. Similar a los diseños tradicionales, el diseño de montaje en base regula el voltaje de línea a +/- 10 % en 32 pasos cuando se usan en bancos conectados estrella.

Sin líneas aéreas o cercas de subestaciones, se reducirá el suelo requerido para instalar un regulador de voltaje. Estos reguladores de voltaje de componentes bajos ayudan a reducir los costos de instalación del sitio web y proteger la estética.

Los reguladores de montaje en base están clasificados entre 2500 y 34 500 voltios para sistemas de 60 Hz y 50 Hz.

- **Reguladores de voltaje monofásicos montados en base**

Tienen la funcionalidad de los reguladores de tensión montados en poste redondo tradicionales y los reguladores de tensión de subestación en un diseño de rack.

2.6.4 Reguladores de voltaje: Tipo y Tamaño

Hay dos tipos principales de reguladores de voltaje definidos por ANSI (Instituto Nacional Estadounidense de Estándares): Diseños ANSI Clase A y ANSI Clase B. Para aplicaciones superiores a 875 amperios, hay dos tipos de reguladores disponibles. Ajustes adicionales: tipo TX y tipo AX. La estructura externa, la conexión a

la fuente de alimentación comercial y el uso son los mismos. La diferencia entre los reguladores ANSI Tipo A y Tipo B radica en su construcción interna.

El regulador monofásico está compuesto por tres bushings, la fuente (S), la carga (L) y la fuente-carga (SL) donde el devanado se encuentra en serie entre S y L como podemos ver en la figura, la configuración de este es lineal ANSI tipo A, teniendo los taps ubicados a lado de la carga, mientras tanto un ANSI tipo b es lo contrario, en este tipo los taps se encuentran a lado de la fuente.

El regulador tiene un controlador que mide la corriente con un TC en el lado de carga y la tensión con un TP entre L y SL . Los reguladores disponen de un interruptor de inversión y voltea el devanado en serie según la configuración que se le programe sea para atrás o hacia adelante con esto tener de manera correspondiente las conexiones aditiva o sustractiva.

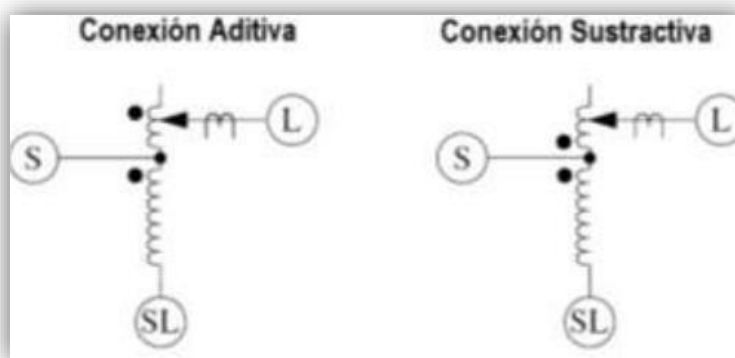


Figura No. 3: Regulador de tensión con tap en el lado de carga. Fuente[12]

Como se mencionó anteriormente, por lo general se puede entender que los reguladores de voltaje trifásicos que se usan en las subestaciones son sistemas en estrella o delta que controlan las tres fases simultáneamente a menudo son unidades más grandes. La conexión utilizada internamente es una conexión en estrella al terminal neutro flotante.

2.7 Normativa de valores KVA según la IEEE

El valor nominal de un regulador de tensión por pasos se expresará en los siguientes términos:

- a) kVA
- b) Número de fases

- c) Frecuencia
- d) Voltaje
- e) Corriente
- f) Rango de tensión en porcentaje (subir y bajar)

Además de sus valores nominales normales, los reguladores deben entregar una salida de kVA nominal sin que exceda el aumento de temperatura especificado en el voltaje de operación.

Los valores nominales preferidos de los reguladores de voltaje por pasos se deben basar en una operación a una frecuencia de 60 Hz y un voltaje rango de aumento del 10% y disminución del 10%. [13]

Tabla 2: Capacidades preferidas para reguladores de voltaje escalonado sumergidos en aceite (monofásicos)

Nominal system voltage	BIL (kV)	kVA	Line amperes
2400/4160Y	60	50	200
		75	300
		100	400
		125	500
		167	668
		250	1000
		333	1332
		416	1665
4800/8320Y	75	50	100
		75	150
		100	200
		125	250
		167	334
		250	500
		333	668
		416	833
7620/13 200Y	95	38.1	50
		57.2	75
		76.2	100
		114.3	150
		167	219
		250	328
		333	438
		416	546
		500	656
		667	875
833	1093		
13 800	95	69	50
		138	100
		207	150
		276	200
		414	300
		552	400
14 400/24 940Y	150 ^a	72	50
		144	100
		216	150
		288	200
		333	231
		432	300
		576	400
		667	463
		833	578
19 920/34 500Y	150	100	50
		200	100
		333	167
		400	201
		667	334
		833	418

Tabla 3: Clasificaciones preferidas para reguladores de voltaje escalonado sumergidos en aceite (trifásicos)

Nominal system voltage	BIL (kV)	Self-cooled		Self-cooled/forced-cooled	
		kVA	Line amperes	kVA	Line amperes
2400	45	500	1155	625	1443
		750	1732	937	2165
		1000	2309	1250	2887
2400/4160Y	60	500	667	625	833
		750	1000	937	1250
		1000	1334	1250	1667
4800	60	500	577	625	721
		750	866	937	1082
		1000	1155	1250	1443
7620/13 200Y	95	500	219	625	274
		750	328	938	410
		1000	437	1250	546
		1500	656	2000	874
		2000	874	2667	1166
7970/13 800Y	95	500	209	625	261
		750	313	937	391
		1000	418	1250	523
		1500	628	2000	837
		2000	837	2667	1116
		2500	1046	3333	1394
14 400/24 940Y	150	500	125.5	625	156.8
		750	188.3	937	235.4
		1000	251	1250	314
		1500	377	2000	502
		2000	502	2667	669
		2500	628	3333	837
19 920/34 500Y	150	500	83.7	625	104.5
		750	125.5	937	156.8
		1000	167	1250	209
		1500	251	2000	335
		2000	335	2667	447
		2500	418	3333	557
26 560/46 000Y	250	500	62.8	625	78.5
		750	94.1	937	117.6
		1000	126	1250	157
		1500	188	2000	251
		2000	251	2667	335
		2500	314	3333	419
39 840/69 000Y	350	500	41.8	625	52.5
		750	62.8	937	78.5
		1000	83.7	1250	105
		1500	126	2000	167
		2000	167	2667	223
		2500	209	3333	278

2.8 Reguladores como opción dentro del mercado

2.8.1 Marcas

Cooper Tire & Ruber Company

El regulador de tensión automático monofásico tipo ITB RAV-2 con control tipo CTR-2 forma un dispositivo capaz de medir y compensar caídas de tensión en líneas de distribución debidas a corrientes de carga que superan la impedancia inducida por la propia línea. Pueden ser utilizados en sistemas monofásicos o trifásicos, a lo largo de líneas de distribución o en las entradas de consumidores específicos, en subestaciones.

Fueron desarrollados para fácil instalación, facilidad de uso y mínimo mantenimiento, superando las especificaciones de las normas ABNT NBR 11809, IEEE ANSI C.57.15 e IEC 60076.

El regulador es un autotransformador sumergido en aceite (tipo B) con un devanado en serie junto a la fuente, equipado con un cambiador de tomas en carga y, junto con un reactor, es posible 33 tomas, 16 tomas arriba, 16 tomas abajo, y posición neutral. Regulación de voltaje de línea con ajuste de compensación de hasta ± 10 % en incrementos de 0,625 % del voltaje nominal.

La medición y el análisis del valor actual se realiza mediante una unidad de control electrónico modelo CTR-2 micro controlada. Controla automáticamente el interruptor bajo carga y también agrega un indicador de registro y posición.



Figura No. 4: Regulador de Voltaje por Paso Cooper Tire & Ruber Company

General Electric

Los límites de los circuitos de distribución de energía modernos son cada vez más difíciles de manejar. La combinación de nuevas fuentes de energía distribuida, como la energía solar, y el aumento de las cargas avanzadas está creando problemas de tensión en la red de distribución. Los dispositivos de control de voltaje de corriente no pueden mantener un perfil de voltaje consistente, especialmente cuando se manejan estas discontinuidades de fuente y carga.

Estas nuevas cargas y recursos intermitentes tienden a empujar la regulación de voltaje más allá de su capacidad prevista, lo que reduce la expectativa de vida de los reguladores de voltaje y aumenta el costo del mantenimiento continuo para una operación confiable. La familia de reguladores de voltaje de GE es una solución robusta y rentable para regular el voltaje sin comprometer la calidad y la confiabilidad, y ofrece un costo total de propiedad casi un 20 % más alto que la competencia. Los reguladores de voltaje de GE cumplen con IEEE® C57.15-2009 y NEMA® 4 y están certificados de forma independiente por KEMA®.



Figura No. 5: Regulador de Voltaje por paso General Electric

Siemens S.A.

La corriente nominal de corta duración es 25 veces la corriente nominal, corriente continua nominal 50-1660 A, Impulso de Rayo (BIL) 60-150 kV. Los reguladores de voltaje de escalera pueden aumentar el retorno de la inversión de los servicios públicos al aumentar la demanda durante las horas de menor actividad y descargar las cargas máximas mediante el uso de ciertos accesorios. Esto da como resultado mayores ingresos por servicios públicos y un mejor servicio al cliente. Un regulador de voltaje paso a paso toma un voltaje de entrada que varía con las condiciones de carga y mantiene un valor de voltaje de salida constante. A medida que aumenta la carga a lo largo de la línea de distribución, el voltaje cae. Esta caída de voltaje reduce la cantidad de energía utilizada en la parte de iluminación de la carga. Aumentar el voltaje de esta carga consume energía adicional. Este aumento de potencia se traduce en mayores ingresos para las empresas de servicios públicos. El mismo principio se puede aplicar cuando la compañía eléctrica necesita reducir el voltaje en cierta cantidad. Esto reduce la demanda total de energía y retrasa los gastos de capital para satisfacer la demanda máxima.



Figura No. 6: Regulador de Voltaje por paso Siemens

2.9 Software para la simulación mediante Power Factory Digsilent

DigSILENT Power Factory es un software de simulación de sistemas de potencia que puede realizar muchos tipos de estudios eléctricos.

DigSILENT PowerFactory combina muchas capacidades de simulación que incluyen: Análisis de fallas, Simulación dinámica, Flujos de potencia, Optimización de redes de distribución, Análisis modal, Análisis de confiabilidad, Análisis de protecciones, Análisis de estabilidad de tensión entre otros. [14]

La simulación DigSILENT PowerFactory anteriormente que fue mencionada, integra dos lenguajes de programación: DIGSILENT Programming Language (DPL) y DigSILENT Simulation Language (DSL), esta permite crear nuevos componentes dinámicos para simular la estabilidad transitoria y la otra realiza nuevas funciones de simulación y diferentes tipos de aplicaciones.

2.9.1 Módulos y Herramientas de Digsilent

- **Busbar (Barra)**
Busbar Esta es la representación más común de un nodo.
- **General Load (Carga general)**
Requiere una referencia a un tipo TypLod.
- **Grid (Red)**
En PowerFactory, la información de la red eléctrica se almacena en carpetas "Grid", un sistema de poder puede tener tantas cuadrículas como defina el usuario. Estas redes pueden o no estar interconectadas. Mientras como están activos, son considerados por los cálculos. Los datos se pueden clasificar según la lógica, áreas organizacionales y/o geográficas.
- **Cubicles (Cubículos)**
Cuando cualquier elemento de rama está conectado directamente a una Terminal, PowerFactory utiliza un "Cubicle" (StaCubic) para definir la conexión. Los cubículos se pueden visualizar como paneles en un tablero de interruptores o bahías

en un patio de alta tensión, al que se conectan los elementos derivados. Un cubículo generalmente se crea automáticamente cuando un elemento está

conectado a un nodo (tenga en cuenta que los cubículos no se muestran en el único gráfico de líneas).[15]

- **Feeder (alimentador)**

Con esta opción se crea un diagrama de alimentación esquemático completamente nuevo. Es posible seleccionar más de un alimentador; en este caso, se creará un diagrama separado para cada alimentador.

- **Modulo Step voltage regulator (regulador de voltaje por paso)**

El regulador de voltaje escalonado proporciona control de toma automático con compensación de caída de línea y es compatible en simulaciones de flujo de carga y RMS/EMT.

2.10 Geoportal CNEL EP

En el mundo dinámico de hoy, brindar servicios rápidos, inteligentes y rentables es satisfactorio con la cooperación de las partes, esto se llama la infraestructura de habilidad interactiva. Según este concepto, los datos de origen geográfico plantean dificultades que ocurren al integrar información de varias fuentes como CAD, shp, raster, etc.

Además, imágenes para varios sistemas de referencia espacial relacionados con la escala, etc. representación del mapa. Los geoportales son actualmente la tecnología más popular y ampliamente utilizada.

Infraestructura de datos espaciales localmente Internacional. Un geoportal es un portal web utilizado para trabajar con información espacial, combine con varios servicios geográficos basados en mapas para diferentes propósitos.

En este caso y para mejor eficiencia CNEL EP tiene su propio Geoportal y esta herramienta ha sido utilizada como recurso durante la elaboración de este proyecto ya que es un geo portal donde muestra todo el diseño de las redes de distribución en todo el Ecuador. [16]

2.11 ETAP (Electrical Transient and Analysis Program)

Es un paquete de productos de software completamente integrado, para la administración de energía de estado crítico.

Consta con simulación, diseño, dimensionamiento, evaluación, análisis y planificación en tiempo real basados en modelos de monitoreo, reproducción de eventos, análisis predictivo, control, optimización, automatización e inteligencia de escenarios.

Este Software es la solución empresarial para sistemas de potencia ETAP® Real-Time™ puede maximizar el proceso entero de producción, reducir pérdidas e incrementar los beneficios a través del monitoreo continuo, simulación y optimización de sistemas. [17]

CAPÍTULO III

3.MARCO METODOLÓGICO

3.1 METODOLOGÍA Y MEDIOS

Para la ejecución del proyecto técnico de regulación de voltaje se da inicio con el levantamiento de la información cuyos puntos son mencionados a continuación:

- Ubicación geográfica de la S/E Quevedo Sur y los distintos puntos de carga conectados al alimentador Terminal Terrestre.
- Perfil de voltaje de la S/E Quevedo Sur.
- Calibre de los conductores utilizados en la red trifásica y monofásica del alimentador.
- Las cargas conectadas al alimentador (desde la subestación hasta las bombas de riego).

Utilizando la herramienta Geoportal CNEL EP que es la ideal para acceder a información geográfica y datos específicos de las redes de distribución situadas en el Ecuador.

- Alimentador 1: S/E Quevedo Sur – Quevedo Centro Sur
- Alimentador 2: S/E Quevedo Sur – San José Sur
- Alimentador 3: S-E Quevedo Sur – Terminal Terrestre

En este último es el cual se realizará el estudio, tiene un trazado total de 7,9 Km desde la subestación hasta las bombas de riego 1 y 2, pasando por la fábrica de plásticos JJ, usando un conductor 4/0 AWG ACSR.

Indicamos puntos de concentración de cargas el cual llamamos “nodos” y se procede a tomar cada una de las coordenadas UTM de los distintos puntos para conocer las distancias en km que las separan entre sí, con el fin de hacer un seguimiento de cada una de las cargas trifásicas y monofásicas que son alimentadas mediante el servicio de CNEL EP.

A continuación, en la Tabla 3 se muestra la información de las coordenadas de los nodos donde se concentró las cargas del alimentador.

Tabla 4: Coordenadas de nodos de cargas del alimentador “Terminal Terrestre”

Puntos de Carga		coordenadas	UTM
Nodo 1	17M	668561	9884700
Nodo 2	17M	668282	9884940
Nodo 3	17M	668433	9885259
Nodo 4	17M	668584	9885577
Nodo 5	17M	668826	9886087
Nodo 6	17M	669168	9886816
Nodo 7	17M	669212	9886903
Nodo 8	17M	669599	9887004
Nodo 9	17M	669745	9887036
Nodo 10	17M	669943	9887112
Nodo 11	17M	669997	9887117
Nodo 12	17M	670195	9887136
Nodo 13	17M	670248	9887156
Nodo 14	17M	670258	9887197
Nodo 15	17M	670296	9887334
Nodo 16	17M	670225	9887378
Nodo 17	17M	670194	9887407
Nodo 18	17M	670134	9887473
Nodo 19	17M	670092	9887523
Nodo 20	17M	670037	9887587
Nodo 21	17M	669976	9887669
Nodo 22	17M	669917	9887744
Nodo 23	17M	669893	9887775
Nodo 24	17M	669851	9887844
Nodo 25	17M	669824	9887889
Nodo 26	17M	669794	9887928
Nodo 27	17M	669613	9887953
Nodo 28	17M	669585	9887967
Nodo 29	17M	669534	9888109
Nodo 30	17M	669373	9888533
Nodo 31	17M	668940	9889063
Nodo 32	17M	667475	9888797

Estos datos serán ingresados en el programa Geoportál CNELEP y se puede visualizar cómo se construye una ruta de paso que nos servirá para conocer la cantidad de transformadores que están conectados, así como también el calibre del conductor y las distancias entre nodos para poder ingresarlos en el Digsilent, a continuación, en la Figura No. 9 se muestra la ramificación del alimentador Terminal Terrestre.



Figura No. 9: Trazados de alimentador con carga

Tomando datos de CNEL EP GUAYAS – LOS RIOS para obtener el perfil de voltaje de la S/E Quevedo Sur con el que se analizará los voltajes mínimos y máximos que son entregados a los consumidores. Como se presenta en la siguiente figura.

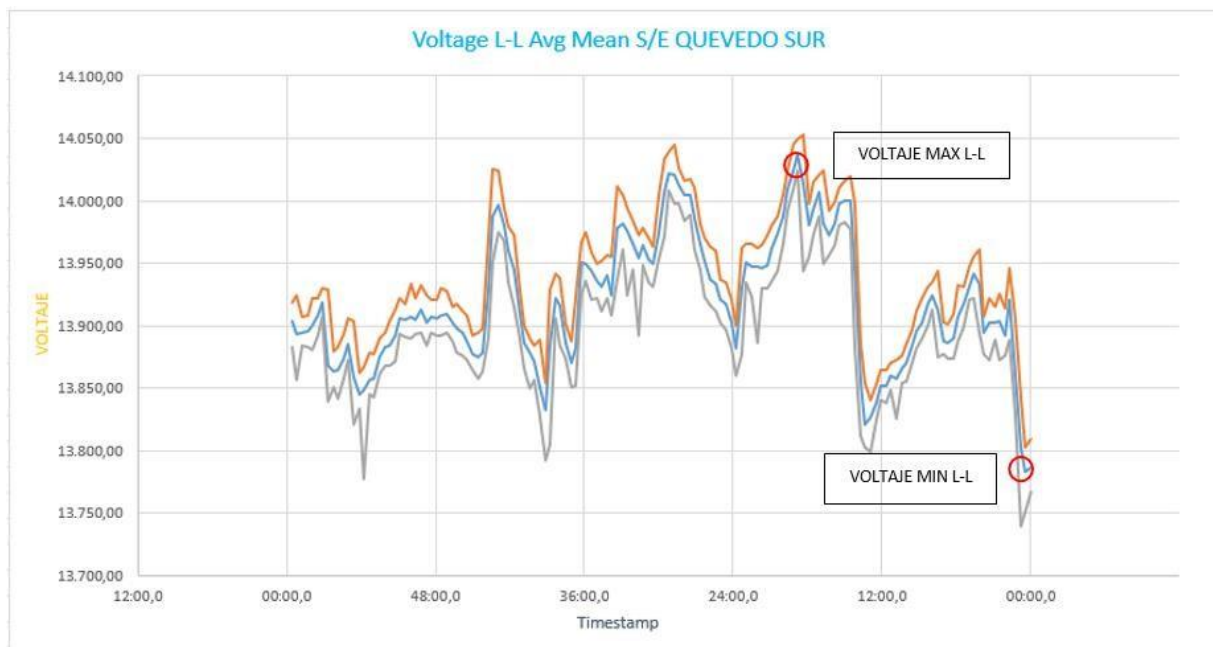


Figura No. 10: Gráfica de voltaje máximo y mínimo

Se observa en la gráfica la media del voltaje de Línea-Línea el punto máximo del voltaje cuyo valor es de 14.036,70 Voltios y el pico mínimo de voltaje con un valor de 13.785,34 Voltios.

Una vez terminada la recopilación de datos, podemos iniciar con el levantamiento del diagrama propuesto en el programa Digsilent, para esto debemos de usar las respectivas herramientas.

3.2 Línea Trifásica 4/0 AWG ACSR

El alimentador Terminal Terrestre que parte de la S/E Quevedo Sur y abastece las cargas monofásicas y trifásicas del sistema incluyendo la fábrica de plásticos y las bombas de riego 1 y 2, está diseñado a partir de un conductor del tipo AWG (American Wire Gauge) ACSR (Aluminium conductor steel- reinforced) o conductor de aluminio con acero reforzado, es un conductor trenzado de alta resistencia mecánica y alta capacidad de corriente, comúnmente utilizado en líneas eléctricas aéreas.

La línea trifásica se estructura bajo un código de conductor ACSR 4/0 penguin que contiene la información descrita en las siguientes figuras.

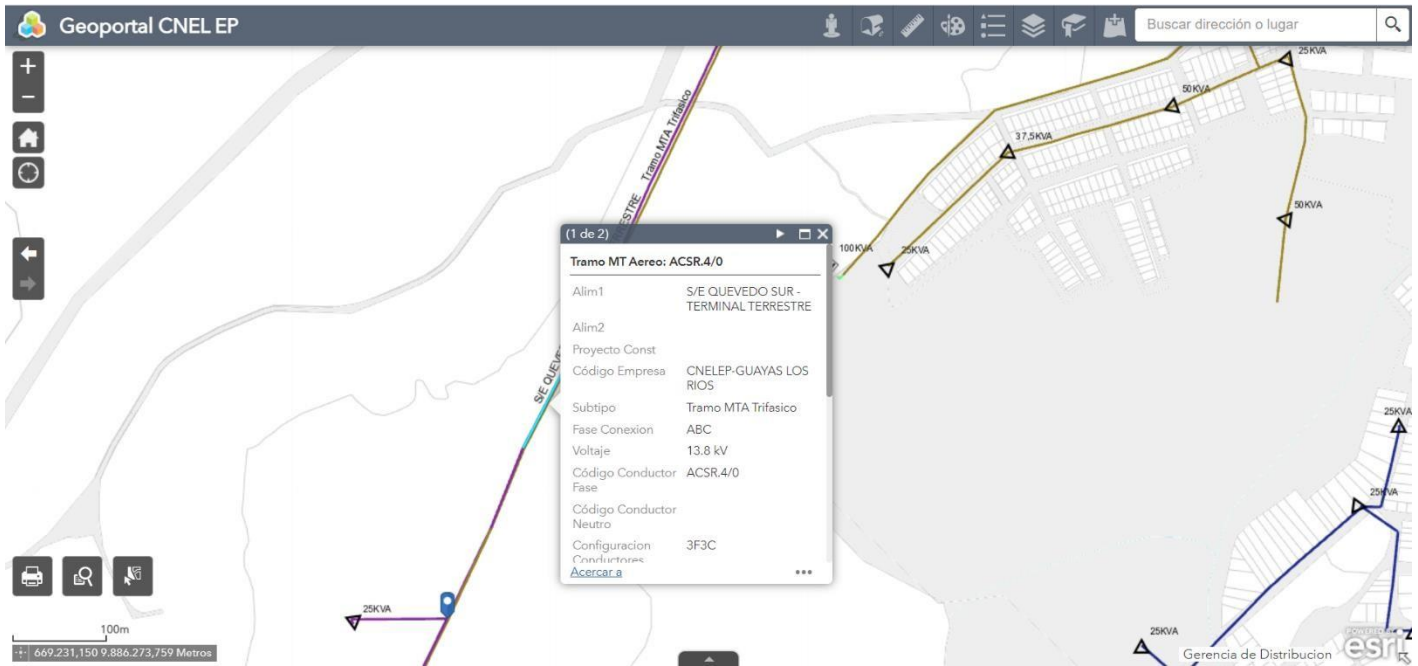


Figura No. 11: Datos proporcionados por Geoportál CNEP EP del alimentador Terminal Terrestre

Tabla 5: Código de conductores AWG ACSR

CÓDIGO	Calibre (AWG o kcmil)	Sección transversal (mm ²)	Construcción				Diámetro del conductor (mm)	Peso Total Aprox (kg / km)	Carga de Rotura (kgf)	Resistencia a C.C. a 20 °C (ohm/km)	Capacidad de Corriente (A)*
			No. Hilos		Diámetro hilos (mm)						
			Aluminio	Acero	Aluminio	Acero					
Turkey	6	13,3	6	1	1,680	1,680	5,04	54,01	540	2,1065	105
Swan	4	21,15	6	1	2,118	2,118	6,35	85,87	843	1,3232	140
Sparrow	2	33,62	6	1	2,672	2,672	8,02	136,56	1292	0,8316	184
Raven	1/0	53,49	6	1	3,370	3,370	10,11	217,25	1986	0,5227	242
Quail	2/0	67,44	6	1	3,782	3,782	11,35	273,82	2404	0,4151	276
Pigeon	3/0	85,02	6	1	4,247	4,247	12,74	345,23	3002	0,3292	315
Penguin	4/0	107,2	6	1	4,770	4,770	14,31	435,35	3786	0,2610	357
Waxwing	266,8	135,19	18	1	3,092	3,092	15,46	432,10	3120	0,2112	449
Partridge	266,8	135,19	26	7	2,573	2,000	16,30	546,49	5125	0,2091	475
Ostrich	300	152	26	7	2,730	2,120	17,28	614,32	5760	0,1860	492
Piper	300	152	30	7	2,540	2,540	17,78	698,90	7000	0,1902	490
Merlin	336,4	170,45	18	1	3,472	3,472	17,36	544,83	3936	0,1674	519
Linnet	336,4	170,45	26	7	2,888	2,250	18,29	689,87	6393	0,1660	529
Oriole	336,4	170,45	30	7	2,690	2,690	18,83	783,77	7847	0,1647	535
Chickadee	397,5	201,41	18	1	3,774	3,774	18,87	643,78	4508	0,1416	576
Brant	397,5	201,41	24	7	3,270	2,180	19,61	762,05	6622	0,1411	584
Ibis	397,5	201,41	26	7	3,140	2,440	19,88	813,95	7393	0,1405	587

Estos datos serán ingresados en el software de modelado, análisis y optimización de sistemas ETAP, con la finalidad de ingresar los parámetros y obtener las resistencias, reactancias y la corriente nominal del conductor.

Se ingresa los datos de estructura en redes aéreas de distribución que nos facilita el catálogo del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, en este caso constando de una estructura (trifásica - en volado – pasante o tangente), del cual se obtiene las distancias entre líneas y altura del poste de concreto.

Analizando la siguiente figura se pueden observar los resultados de los parámetros necesarios para empezar con el diagrama unifilar del alimentador Terminal Terrestre en DIgSILENT.

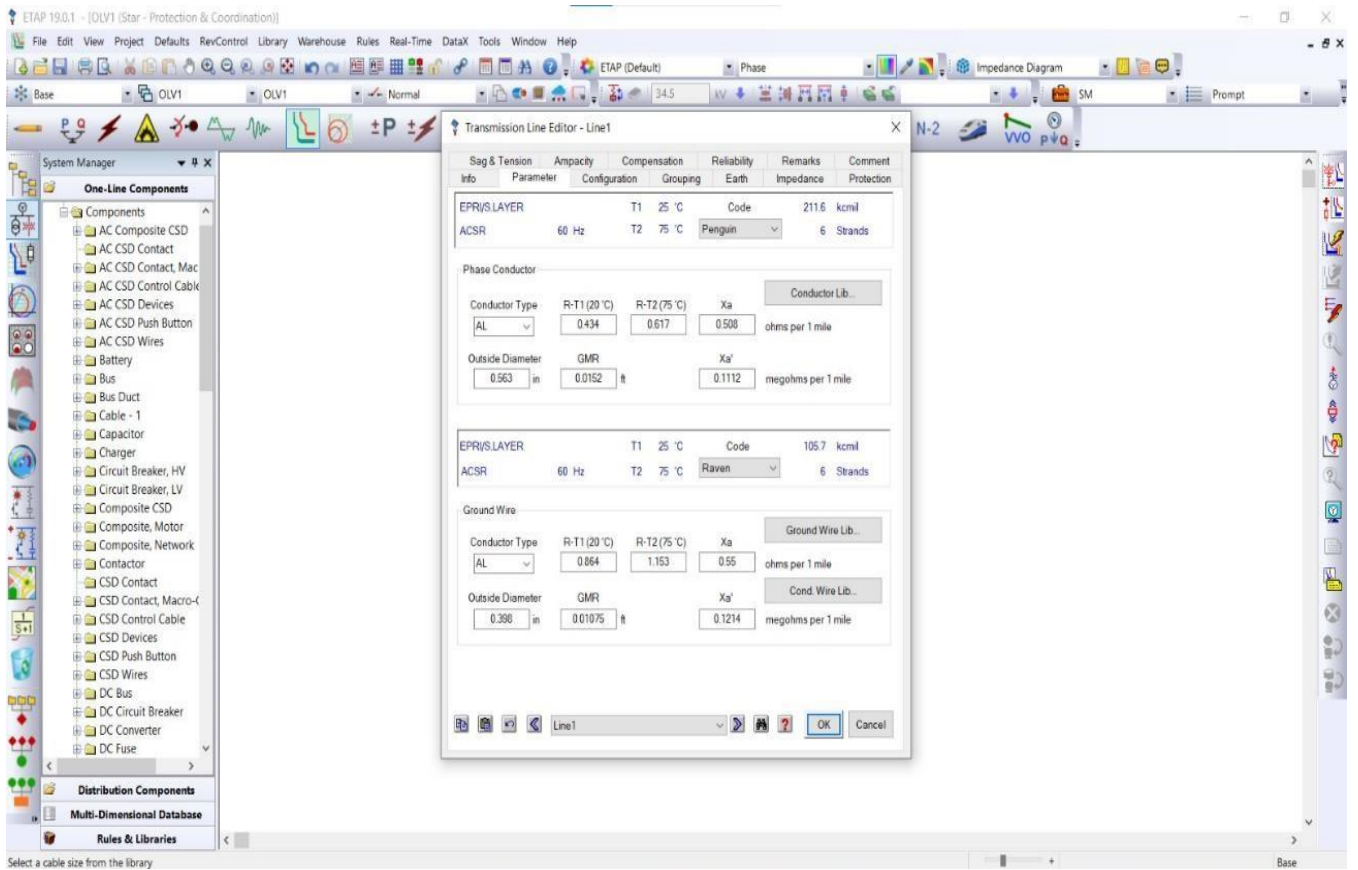


Figura No. 12: Configuración de conductor 4/0AWG ACSR en ETAP

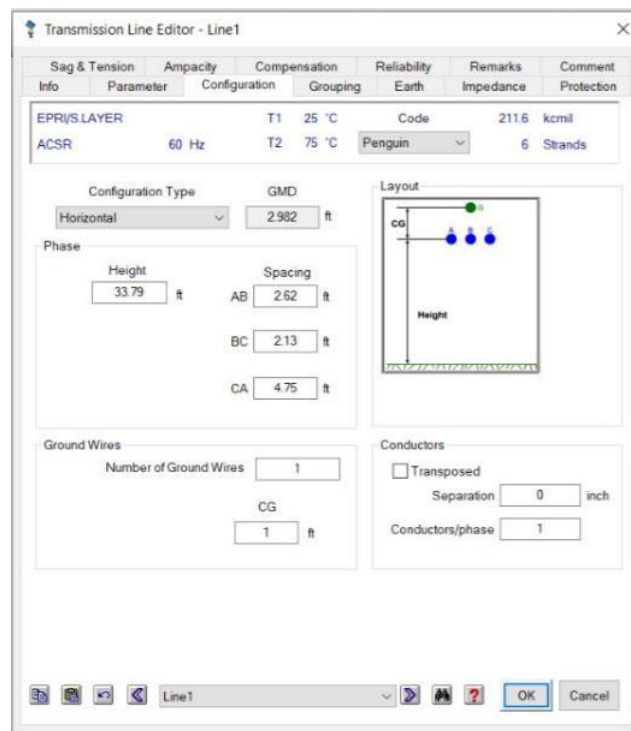


Figura No. 13: Dimensionamiento de estructura Trifásica – en volado – pasante o tangente

3.3 Cargas conectadas al alimentador Terminal Terrestre

Las cargas conectadas al alimentador constan de 32 puntos de cargas concentradas que denominamos ‘nodos’, del cual se obtiene la longitud de separación entre nodos y la potencia aparente de cada uno, considerando un factor de potencia de 0.92, como se indica en la siguiente figura.

Tabla 6. Cargas conectadas al alimentador ‘Terminal Terrestre’

Nodo	Tramo	long [m]	Calibre	A [Cable]	kVA instal
0					11357
1	0-1	134,98	4/0	360	75
2	1-2	400,88	4/0	360	250
3	2-3	346,32	4/0	360	200
4	3-4	317,51	4/0	360	25
5	4-5	563,90	4/0	360	25
6	5-6	708,20	4/0	360	15
7	6-7	97,00	4/0	360	515
8	7-8	369,38	4/0	360	38
9	8-9	147,58	4/0	360	0
10	9-10	232,07	4/0	360	75
11	10-11	55,44	4/0	360	88
R	11-R	141,61	4/0	360	0
12	R-12	88,45	4/0	360	50
13	12-13	97,13	4/0	360	25
14	13-14	40,50	4/0	360	75
15	14-15	142,01	4/0	360	7027
16	15-16	86,00	4/0	360	175
17	16-17	41,63	4/0	360	138
18	17-18	88,35	4/0	360	38
19	18-19	66,00	4/0	360	200
20	19-20	82,00	4/0	360	213
21	20-21	90,41	4/0	360	0
22	21-22	79,00	4/0	360	75
23	22-23	56,00	4/0	360	50
24	23-24	79,00	4/0	360	50
25	24-25	55,19	4/0	360	38
26	25-26	48,21	4/0	360	138
27	26-27	178,00	4/0	360	113
28	27-28	29,62	4/0	360	113
29	28-29	146,40	4/0	360	38
30	29-30	241,74	4/0	360	0
31	30-31	942,70	4/0	360	800
32	31-32	1.662,50	4/0	360	700

Para cargas residenciales definimos el factor de cargabilidad con la tabla de curva de carga residencial (ver Figura No. 14).

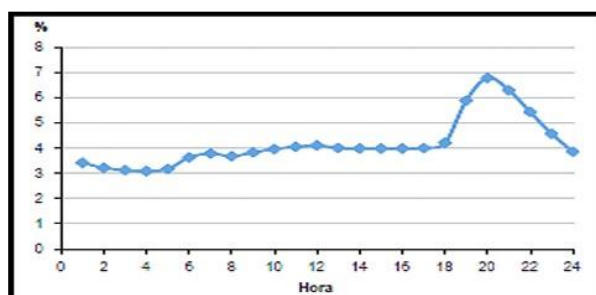


Figura No. 14: Curva de carga tipo residencial Fuente [18]

En la fábrica de plásticos y las bombas de riego 1 y 2, al ser una carga de tipo industrial utilizamos la tabla de curva de carga industrial como se ilustra a continuación.

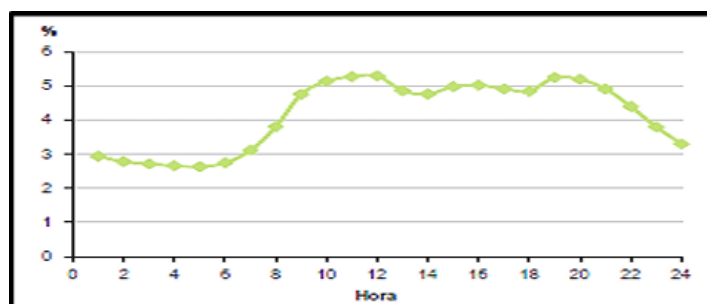


Figura No.15: Curva de carga tipo industrial Fuente: [18]

3.4 Diagrama unifilar en DIGSILENT

Se elabora el diagrama unifilar utilizando los componentes como: grid, busbar, line y general load en la opción “Drawing Tools” para ubicar de manera que se represente el alimentador gráficamente, usamos la grid para ingresar los datos p.u. de la subestación Quevedo Sur, en el apartado de line declaramos los datos que se recibe por parte del ETAP y las distancias en km que separan un nodo de otro consiguiendo el recorrido de 7,9km, las barras son usadas para lograr la conexión entre las líneas y las cargas concentradas de los distintos nodos, en el apartado de cargas indicar los valores

establecidos de potencia y cargabilidad del sistema a lo largo del día con intervalos de 1 hora para realizar un modelo de simulación Quasi-Dinámico.

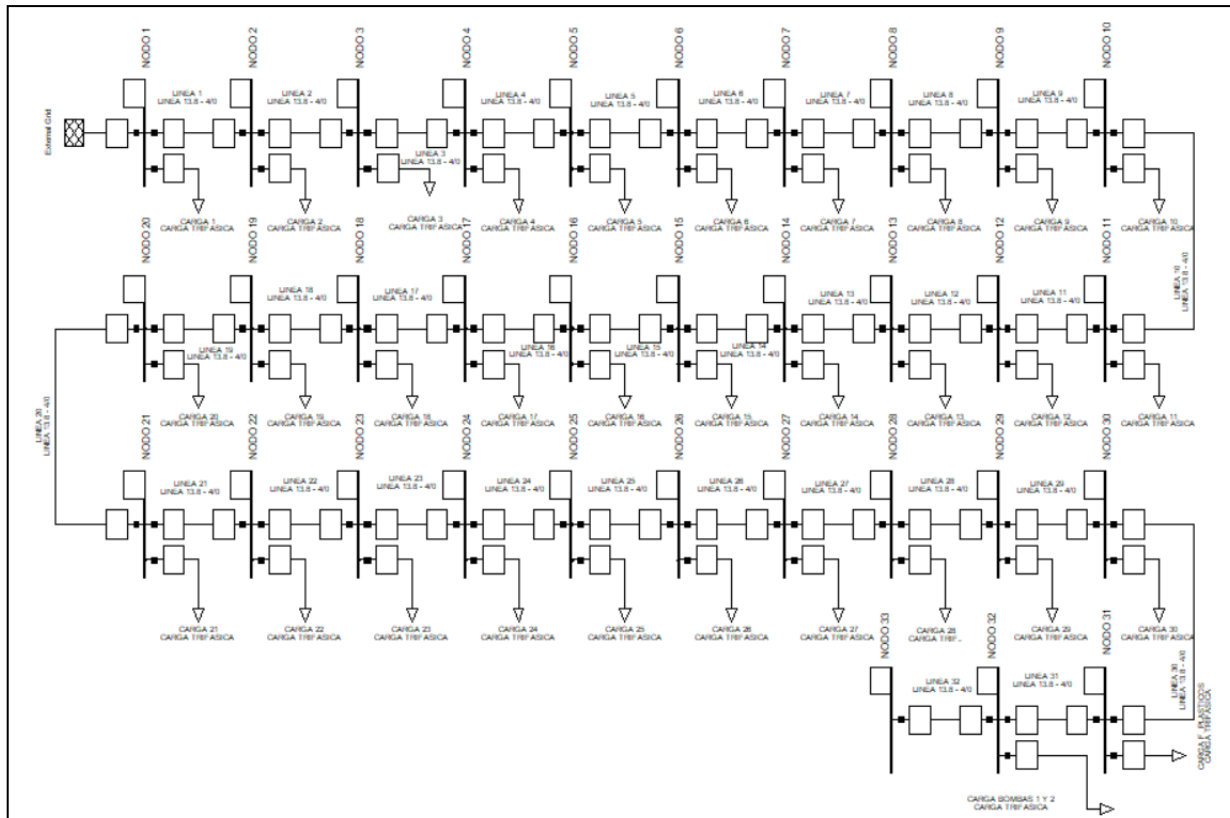


Figura No. 16: Diagrama Unifilar de alimentador “Terminal Terrestre” en Digsilent

Luego, se tiene que declarar al diagrama como “feeder” para indicar al software que el esquema opera radialmente y que cada uno de los elementos pertenece al Alimentador Terminal Terrestre.

3.4.1 Simulación Quasi-Dinámica

Para realizar la simulación Quasi-Dinámica se debe ir a la opción estudios de casos y seleccionar la opción ‘Quasi-Dynamic Simulation’ seleccionando el periodo de tiempo a simular que en este caso es el día completo y con intervalos de 1 hora como se muestra a continuación.

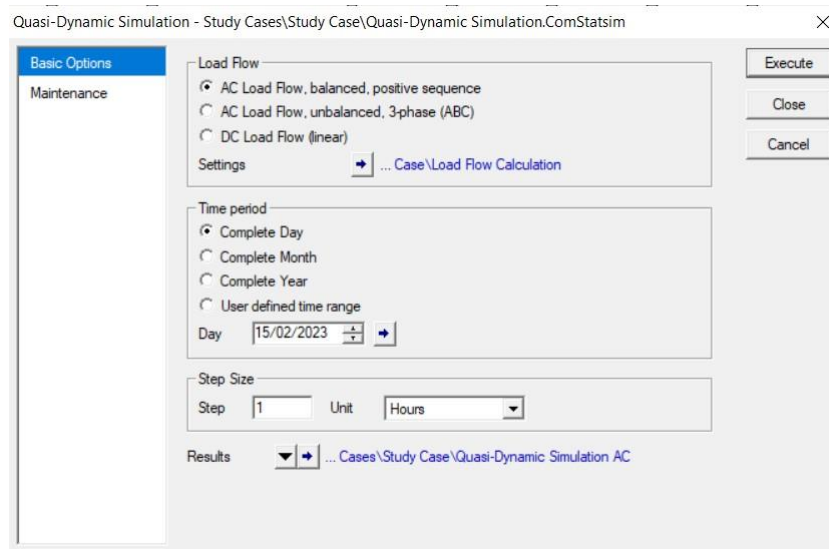


Figura No. 17: Simulación Quasi-Dinámica

Simulando el diagrama observamos los niveles de voltaje mínimos y máximos por unidad que hay en cada nodo y el porcentaje al que trabajan las líneas en cada tramo. Al principio del alimentador especificamos en el nodo 1, el voltaje mínimo y máximo p.u. es de 0.99, con una clara caída de voltaje mínimo y máximo de 0.92 p.u. al final del alimentador en el nodo 32 donde están ubicadas las bombas de riego, esto revela una caída de 8% del nivel de tensión, recordando que el límite mínimo de caída es del 6%.

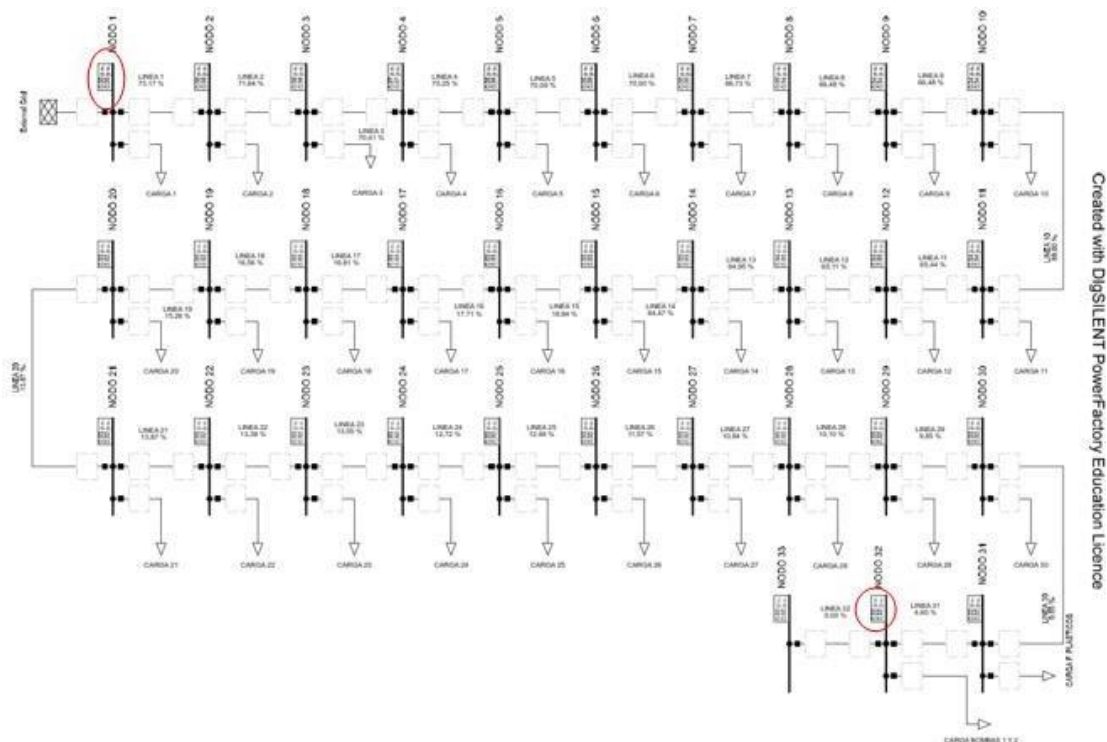
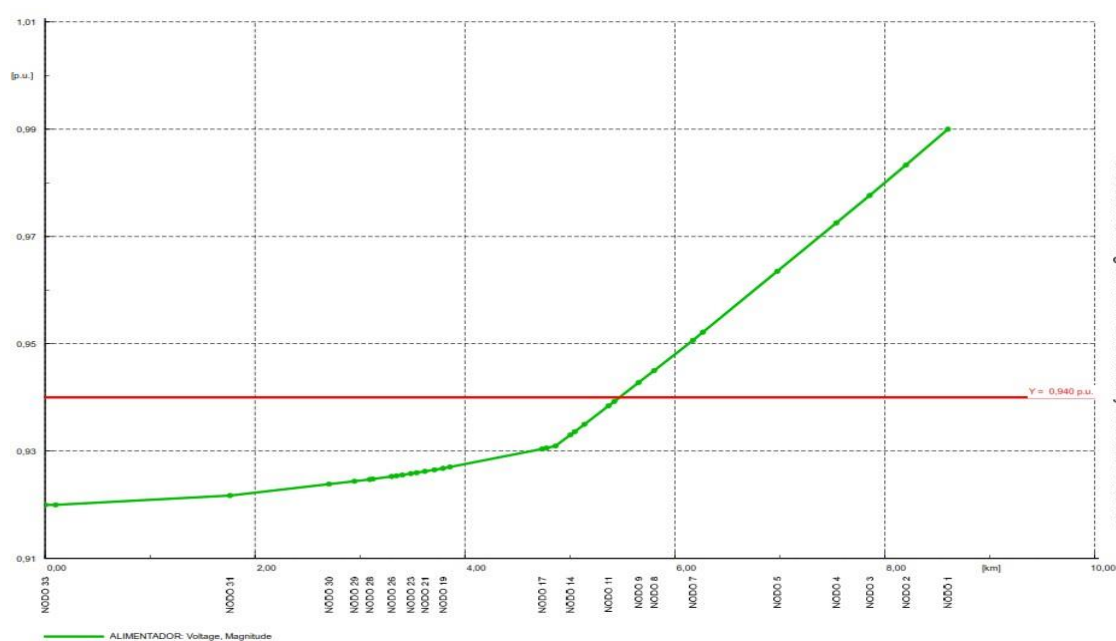


Figura No. 18: Simulación Quasi-Dinámica sin regulador de voltaje

3.4.2 Perfil de Voltaje Diagrama Unifilar Sin Regulador

Una vez simulado el modelo Quasi-Dinámico se procede a mostrar el perfil de voltaje y se puede observar la caída de voltaje que existe a lo largo del alimentador, como se muestra en la figura No.18, a partir del nodo 10 ubicado a una distancia de 3,318 km de la subestación, el voltaje se encuentra por debajo del límite establecido de 6% del voltaje nominal o 12,88 Kv, llegando hasta al 8% por debajo del voltaje nominal o 12,7 Kv en el nodo 32 donde se encuentran las bombas de riego y la fábrica de plásticos de la Hacienda



JJ.

Figura No.19: Perfil de Voltaje sin regulador

Al ser un modelo dinámico, los niveles de voltaje varían con el tiempo y en cada hora habrá una tensión distinta, esto lo podemos demostrar con la gráfica de voltaje mínimo en el alimentador especificando al sistema que se requiere los datos de un día completo, desde las 00:00h hasta las 23:00h, recalando que podemos ingresar datos de días, meses y años, esta característica de tiempo fue agregada cada hora con un total de 24 pasos para completar las horas que tiene un día completo.

Se observan los cambios que existen en distintos momentos, el pico máximo de voltaje en esta grafica ocurre entre la 01:00h y las 04:00h con un valor de 0,9221287 p.u., por su

contraparte el pico mínimo ocurre entre las 20:00h y las 21:00h con un valor de voltaje de 0.917807 p.u.

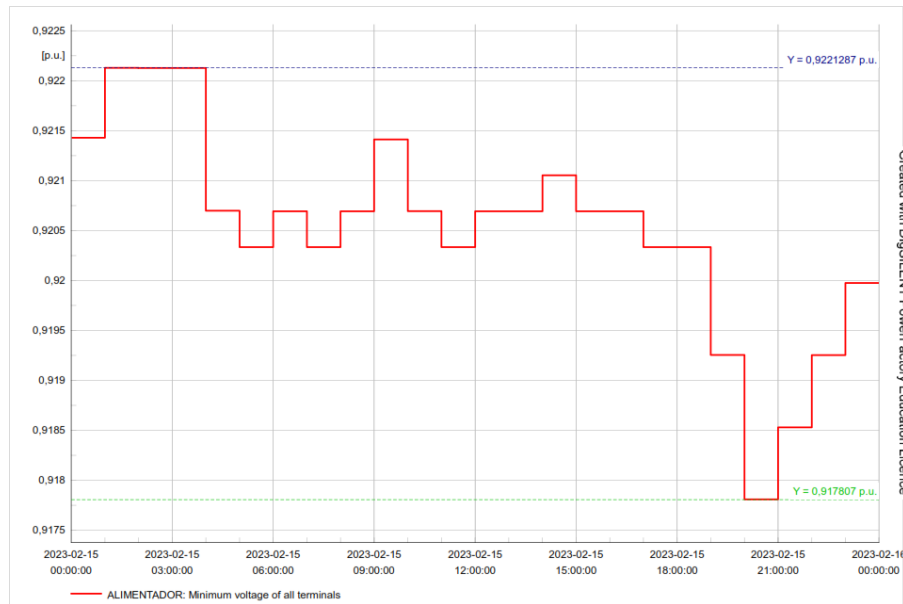


Figura No. 20: Curva de mínimo voltaje escenario sin regulación

3.4.3 Configuración del Módulo Optimal Equipment Placement

Con el problema a la vista, la solución es ubicar 3 reguladores monofásicos en el alimentador que nos permitirá dar solución a este inconveniente, para esto el digsilent cuenta con un módulo llamado “Optimal Equipment Placement” en el que podemos hacer la regulación por medio de capacitores y reguladores de voltaje.

Para acceder a este módulo se debe ir a la ventana “change toolbox” y seleccionar la opción “Distribution Network Optimisation” como se muestra en la siguiente figura.

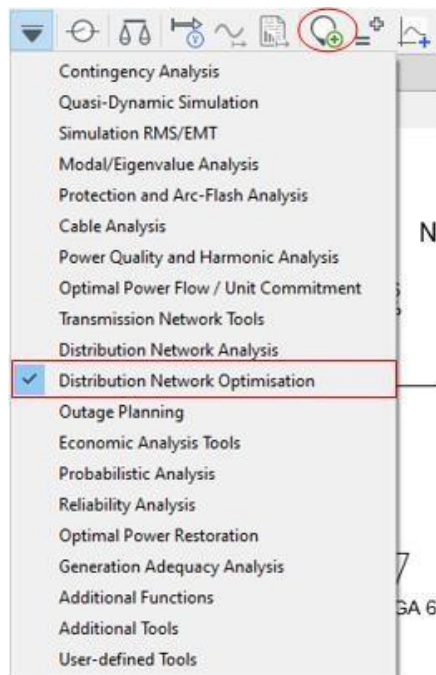


Figura No. 21: Modulo de Ubicación Optima de RV

En la interfaz del módulo solicita el ingreso del feeder creado, seleccionando el alimentador definido denominamos el tipo de regulador de voltaje por paso que se va a utilizar, en donde nos pide ingresar los datos de: frecuencia nominal, voltaje nominal y corriente nominal, retomando la tabla de regulación ya mencionada anteriormente se usara un banco de reguladores por paso a 60 Hz, con un voltaje nominal de 7,62 Kv por fase y una corriente nominal de 418 A, dando como resultado una potencia nominal de 318,516 Kva.

Con la capacidad de regular el +/-10% del voltaje, y contando con 33 taps (-16, 0 y +16) con el que podemos nivelar manualmente la tensión del sistema.

Step-Voltage Regulator Type - Equipment Type Library\Step-Voltage Regulator Type.TypVoltreg

Name: Step-Voltage Regulator Type

Type: Type B

Configuration: Star, 3 x 1-phase

Rated values for single-phase unit

Nominal frequency	60	Hz
Rated voltage	7,62	kV
Rated current	418,	A
Rated power	318,516	kVA
Circuit base power	3185,16	kVA

Tap changer

Voltage regulation range (+/-)	10,	%
Additional voltage per tap	0,625	%
Neutral position	0	
Minimum position	-16	
Maximum position	16	

Hint: The short-circuit voltages are referred to 'Circuit base power'.

Series impedance

Tap dependent impedance

Short-circuit voltage uk	0,3	%
Copper losses	0,	W

Figura No. 22: Características del banco de reguladores monofásicos

Se indican los límites de regulación, que debe de ser de 0.96 p.u. en voltaje mínimo y 1.04 p.u. en voltaje máximo con el fin de estar dentro del rango permitido en media tensión.

Se ejecuta el módulo y mediante iteraciones analiza cada nodo del alimentador y determina en qué barra es el lugar óptimo en el que se va a aprovechar de mejor manera el banco de reguladores en todo el tramo de la línea de distribución.

El módulo ubica de forma automática el banco de reguladores entre el nodo 1 y el nodo 2, agregando una barra donde va a ir conectado el banco llamado “Nodo Regulador”.

En los anexos, se detalla el proceso de iteración y ubicación óptima del equipo de regulación en el Alimentador Terminal Terrestre.

3.4.4 Perfil de Voltaje Diagrama Unifilar Con Regulador

Después de realizar todas las iteraciones encontramos visiblemente el banco de reguladores de voltaje por paso incluido en el diagrama unifilar del ramal (ver figura No. 22).

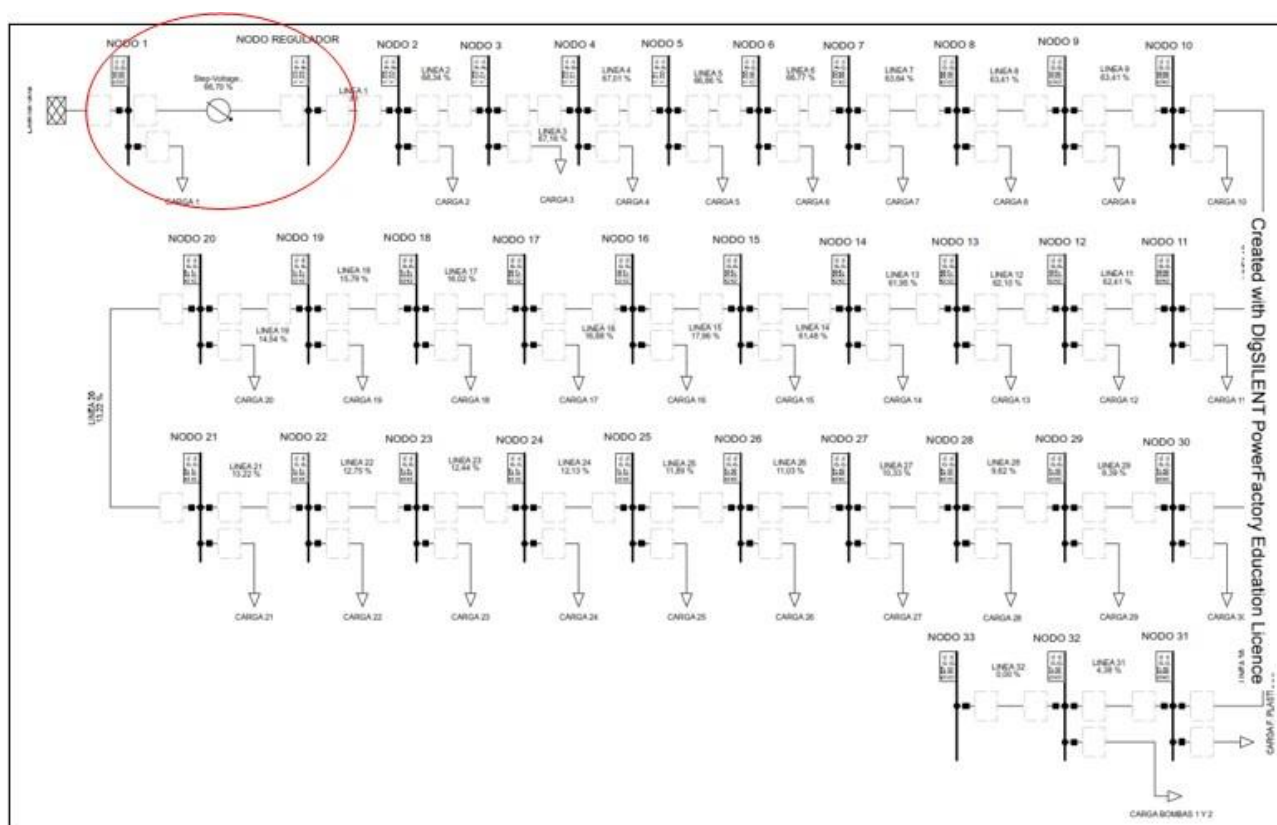


Figura No. 23: Diagrama Unifilar con ubicación óptima de RV

Seguido a esto se debe observar el perfil de voltaje con la implementación de la ubicación óptima del banco de reguladores, con una estimación de que el voltaje por unidad sea no menor a 0.96 y no mayor a 1.04 o 13,25 Kv y 14,35 Kv respectivamente.

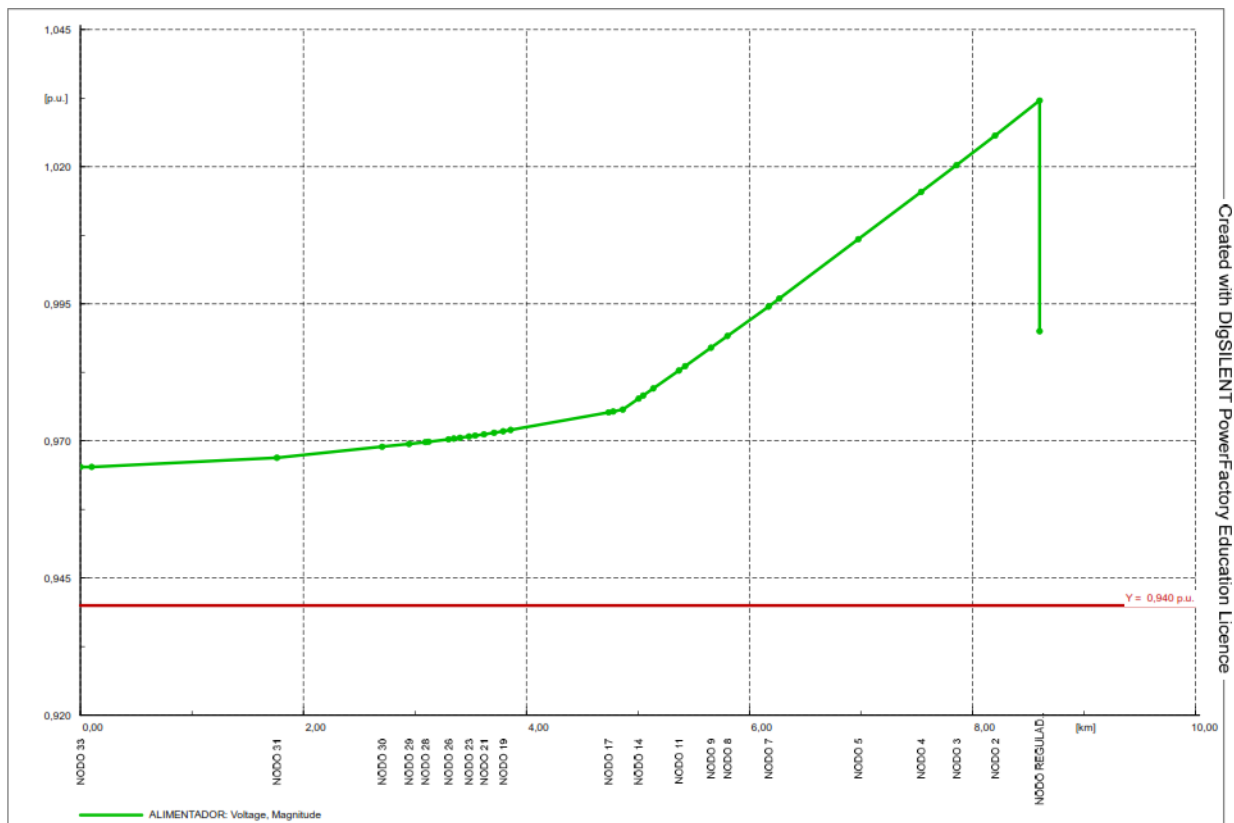


Figura No. 24: Perfil de voltaje con Regulator de Voltaje

El voltaje que inicialmente se encuentra en 0,99 por unidad, con acción del módulo de regulación óptima eleva el voltaje a 1,03 por unidad, es decir 14,2 Kv en la primera barra, consiguiendo que en los nodos 31 y 32 de fábrica y bombas sea suministrado 13,25 Kv.

Así mismo se grafica la curva de voltaje mínimo con los límites de tiempo propuestos anteriormente con el objetivo de revisar la variante en la tensión en el lapso de 24 horas.

Actualmente, el voltaje mínimo en el alimentador se encuentra con un valor de 0,96 p.u. en 2 ocasiones: la primera de 00:00h a 01:00h y la segunda de 09:00 h a 10:00 h. El voltaje máximo del rango estipulado se divide entre las 14:00 h a 15:00 h con un valor de 0,9662815 p.u.

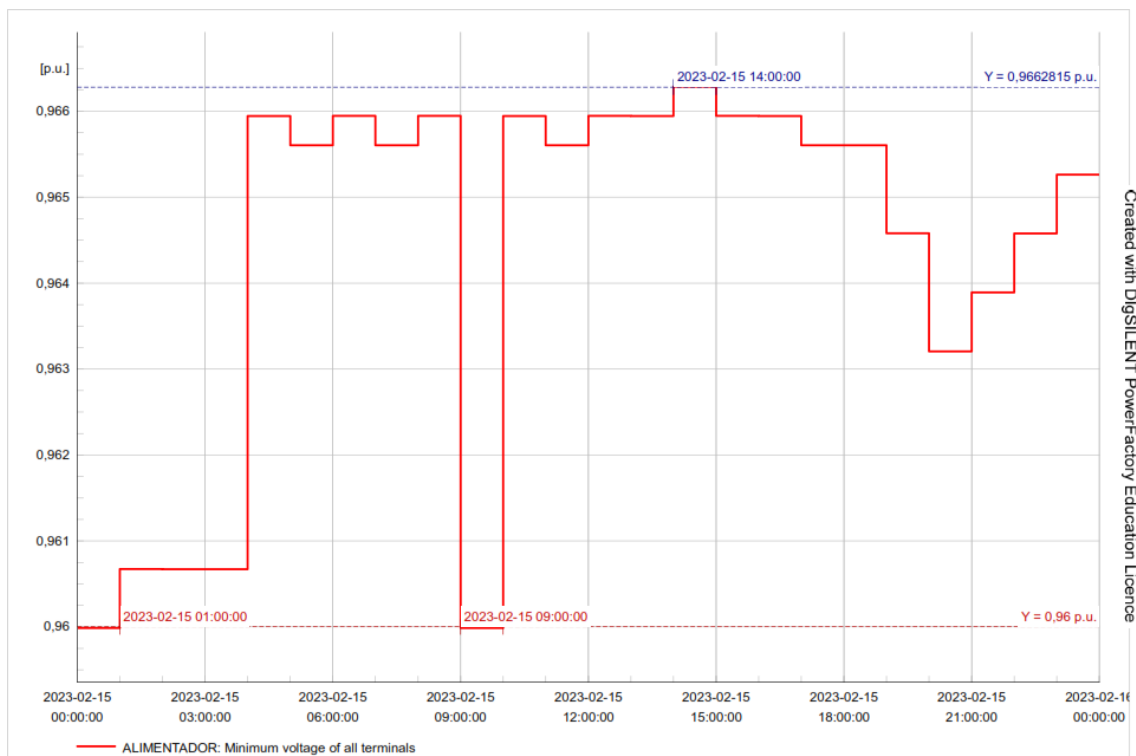


Figura No. 25: Curva de mínimo voltaje escenario con regulación

3.5 Ubicación de taps

El módulo permite el cambio automático de los taps del banco de reguladores, y podemos graficarlo para poder visualizar en que lapso de tiempo hace dicho cambio para poder lograr el óptimo funcionamiento del equipo y la correcta regulación del voltaje que entrega la línea alimentadora a cada uno de los usuarios, ya sea en el área comercial o industrial como es el caso de la fábrica de plásticos y las bombas de riego ubicadas en la bananera de la Hacienda JJ.

En la siguiente figura se puede apreciar los momentos del cambio de tap del regulador de voltaje por paso.

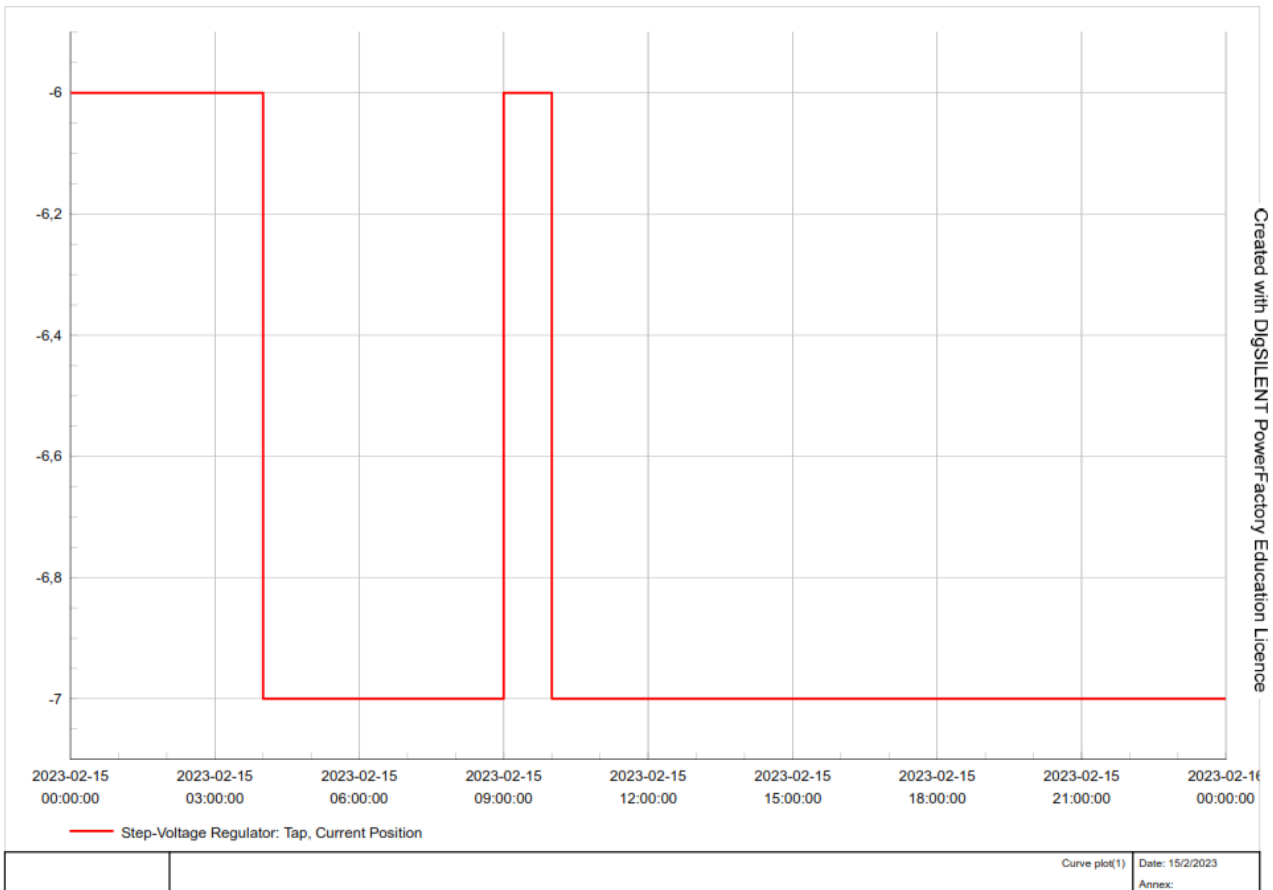


Figura No. 26: Ubicación de TAPS del Regulador de voltaje

Desde las 00:00 h hasta las 04:00 h el regulador se encuentra en el tap -6, luego de 04:00 h a 09:00 h automáticamente se ubica en el tap -7, de 09:00 h hasta las 10:00 h vuelve a encontrarse en el tap -6 y a partir de ahí hasta las 00:00 h nuevamente se ubica en el tap -7.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS

Se realizaron las simulaciones en 2 situaciones: el alimentador Terminal Terrestre sin la intervención del banco de reguladores de voltaje y el escenario del alimentador con los equipos de regulación ya instalados, la diferencia es notoria y la mejora es significativa.

Con las simulaciones se obtienen los datos mostrados en las siguientes tablas.

Tabla 7. Valores mínimos en los nodos de alimentación sin RV

	Terminal	Branch, Substation or Site	Voltage Max. [p.u.]	Time Point Max	Voltage Min. [p.u.]	Time Point Min
▶ 1	NODO 1		0,990	2023.02.15 00:00:00	0,990	2023.02.15 00:00:00
2	NODO REGULADOR		0,990	2023.02.15 01:00:00	0,990	2023.02.15 20:00:00
3	NODO 2		0,984	2023.02.15 01:00:00	0,983	2023.02.15 20:00:00
4	NODO 3		0,978	2023.02.15 01:00:00	0,977	2023.02.15 20:00:00
5	NODO 4		0,973	2023.02.15 01:00:00	0,972	2023.02.15 20:00:00
6	NODO 5		0,964	2023.02.15 01:00:00	0,963	2023.02.15 20:00:00
7	NODO 6		0,953	2023.02.15 01:00:00	0,951	2023.02.15 20:00:00
8	NODO 7		0,952	2023.02.15 01:00:00	0,949	2023.02.15 20:00:00
9	NODO 8		0,946	2023.02.15 01:00:00	0,944	2023.02.15 20:00:00
10	NODO 9		0,944	2023.02.15 01:00:00	0,941	2023.02.15 20:00:00
11	NODO 10		0,941	2023.02.15 01:00:00	0,938	2023.02.15 20:00:00
12	NODO 11		0,940	2023.02.15 01:00:00	0,937	2023.02.15 20:00:00
13	NODO 12		0,937	2023.02.15 01:00:00	0,933	2023.02.15 20:00:00
14	NODO 13		0,935	2023.02.15 01:00:00	0,932	2023.02.15 20:00:00
15	NODO 14		0,935	2023.02.15 01:00:00	0,931	2023.02.15 20:00:00
16	NODO 15		0,933	2023.02.15 01:00:00	0,929	2023.02.15 20:00:00
17	NODO 16		0,932	2023.02.15 01:00:00	0,929	2023.02.15 20:00:00
18	NODO 17		0,932	2023.02.15 01:00:00	0,929	2023.02.15 20:00:00
19	NODO 18		0,929	2023.02.15 01:00:00	0,925	2023.02.15 20:00:00
20	NODO 19		0,929	2023.02.15 01:00:00	0,925	2023.02.15 20:00:00
21	NODO 20		0,928	2023.02.15 01:00:00	0,925	2023.02.15 20:00:00
22	NODO 21		0,928	2023.02.15 01:00:00	0,924	2023.02.15 20:00:00
23	NODO 22		0,928	2023.02.15 01:00:00	0,924	2023.02.15 20:00:00
24	NODO 23		0,928	2023.02.15 01:00:00	0,924	2023.02.15 20:00:00
25	NODO 24		0,928	2023.02.15 01:00:00	0,924	2023.02.15 20:00:00
26	NODO 25		0,927	2023.02.15 01:00:00	0,923	2023.02.15 20:00:00
27	NODO 26		0,927	2023.02.15 01:00:00	0,923	2023.02.15 20:00:00
28	NODO 27		0,927	2023.02.15 01:00:00	0,923	2023.02.15 20:00:00
29	NODO 28	NODO 28	0,927	2023.02.15 01:00:00	0,923	2023.02.15 20:00:00
30	NODO 29		0,926	2023.02.15 01:00:00	0,922	2023.02.15 20:00:00
31	NODO 30		0,926	2023.02.15 01:00:00	0,922	2023.02.15 20:00:00
32	NODO 31		0,924	2023.02.15 01:00:00	0,920	2023.02.15 20:00:00
33	NODO 32		0,922	2023.02.15 01:00:00	0,918	2023.02.15 20:00:00
34	NODO 33		0,922	2023.02.15 01:00:00	0,918	2023.02.15 20:00:00

Tabla 8. Valores mínimos y máximos en los nodos del alimentador con RV

	Terminal	Branch, Substation or Site	Voltage Max. [p.u.]	Time Point Max	Voltage Min. [p.u.]	Time Point Min
▶ 1	— NODO REGULADOR		1,032	2023.02.15 14:00:00	1,026	2023.02.15 00:00:00
2	— NODO 2		1,026	2023.02.15 14:00:00	1,020	2023.02.15 00:00:00
3	— NODO 3		1,020	2023.02.15 14:00:00	1,014	2023.02.15 00:00:00
4	— NODO 4		1,016	2023.02.15 14:00:00	1,009	2023.02.15 00:00:00
5	— NODO 5		1,007	2023.02.15 14:00:00	1,001	2023.02.15 00:00:00
6	— NODO 6		0,997	2023.02.15 14:00:00	0,990	2023.02.15 00:00:00
7	— NODO 7		0,995	2023.02.15 14:00:00	0,989	2023.02.15 00:00:00
8	— NODO 1		0,990	2023.02.15 00:00:00	0,990	2023.02.15 00:00:00
9	— NODO 8		0,990	2023.02.15 14:00:00	0,984	2023.02.15 00:00:00
10	— NODO 9		0,988	2023.02.15 14:00:00	0,981	2023.02.15 00:00:00
11	— NODO 10		0,984	2023.02.15 14:00:00	0,978	2023.02.15 00:00:00
12	— NODO 11		0,984	2023.02.15 14:00:00	0,977	2023.02.15 00:00:00
13	— NODO 12		0,980	2023.02.15 14:00:00	0,974	2023.02.15 00:00:00
14	— NODO 13		0,979	2023.02.15 14:00:00	0,973	2023.02.15 00:00:00
15	— NODO 14		0,979	2023.02.15 14:00:00	0,972	2023.02.15 00:00:00
16	— NODO 15		0,977	2023.02.15 14:00:00	0,970	2023.02.15 00:00:00
17	— NODO 16		0,976	2023.02.15 14:00:00	0,970	2023.02.15 00:00:00
18	— NODO 17		0,976	2023.02.15 14:00:00	0,970	2023.02.15 00:00:00
19	— NODO 18		0,973	2023.02.15 14:00:00	0,967	2023.02.15 00:00:00
20	— NODO 19		0,973	2023.02.15 14:00:00	0,966	2023.02.15 00:00:00
21	— NODO 20		0,972	2023.02.15 14:00:00	0,966	2023.02.15 00:00:00
22	— NODO 21		0,972	2023.02.15 14:00:00	0,966	2023.02.15 00:00:00
23	— NODO 22		0,972	2023.02.15 14:00:00	0,966	2023.02.15 00:00:00
24	— NODO 23		0,972	2023.02.15 14:00:00	0,965	2023.02.15 00:00:00
25	— NODO 24		0,972	2023.02.15 14:00:00	0,965	2023.02.15 00:00:00
26	— NODO 25		0,971	2023.02.15 14:00:00	0,965	2023.02.15 00:00:00
27	— NODO 26		0,971	2023.02.15 14:00:00	0,965	2023.02.15 00:00:00
28	— NODO 27		0,971	2023.02.15 14:00:00	0,965	2023.02.15 00:00:00
29	— NODO 28		0,971	2023.02.15 14:00:00	0,964	2023.02.15 00:00:00
30	— NODO 29		0,970	2023.02.15 14:00:00	0,964	2023.02.15 00:00:00
31	— NODO 30		0,970	2023.02.15 14:00:00	0,964	2023.02.15 00:00:00
32	— NODO 31		0,968	2023.02.15 14:00:00	0,962	2023.02.15 00:00:00
33	— NODO 32		0,966	2023.02.15 14:00:00	0,960	2023.02.15 00:00:00
34	— NODO 33		0,966	2023.02.15 14:00:00	0,960	2023.02.15 00:00:00

Realizando la comparación de los resultados obtenidos se analiza que se pudo mejorar la caída de voltaje que se presentaba en el alimentador Terminal terrestre, ubicándolo de manera óptima en un punto estratégico a lo largo de la línea de distribución, y se pudo demostrar la factibilidad del diseño e instalación de un banco de reguladores por pasos en media tensión, uno de 7,62 Kv – 318,516 Kva – 418 A – conexión estrella, en la ubicación del nodo 1 (cerca de la S/E), del alimentador Terminal Terrestre – Subestación Quevedo Sur.

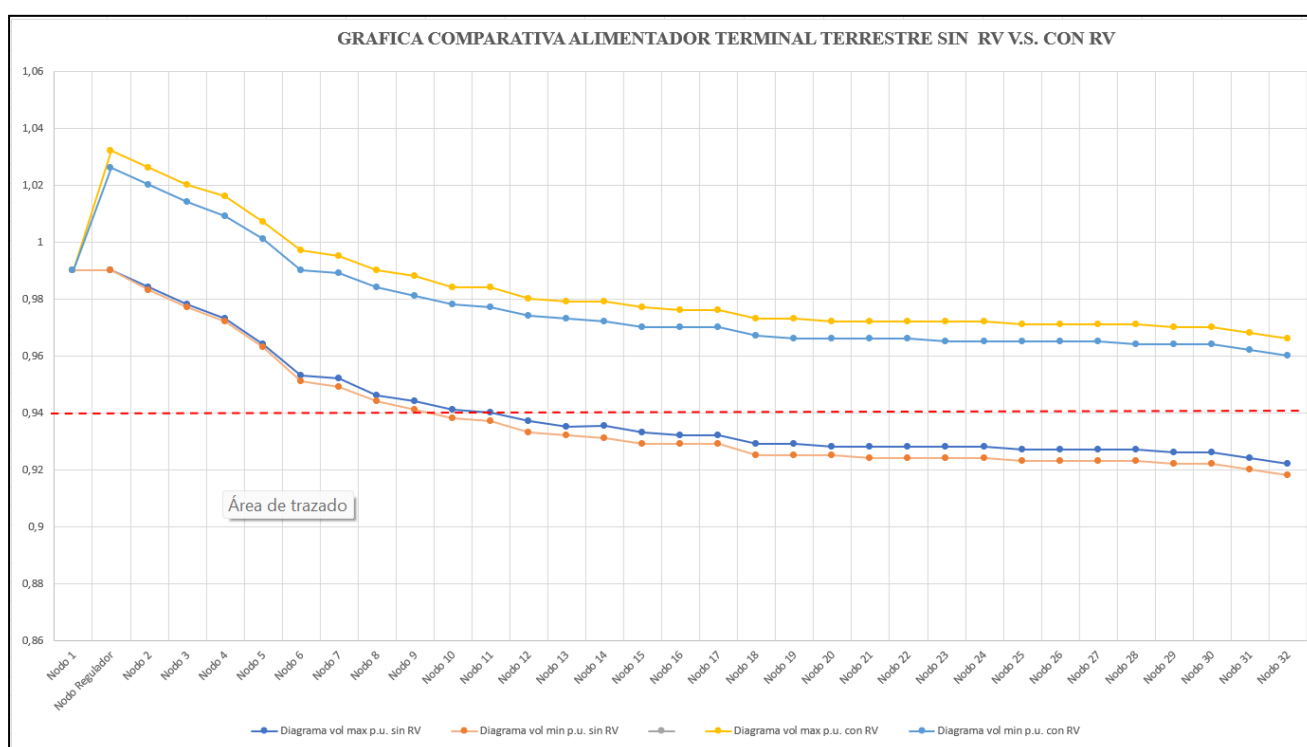


Figura No. 27 : Gráfica Comparativa Antes y Después de Regulación

En el escenario inicial del alimentador sin regulador de voltaje se observa que a partir del nodo 10 se sobrepasa el límite mínimo establecido por la resolución Nro. ARCERNR–017/2020 considerando un rango no menor al 6% en media tensión, en este caso no cumple con el estándar de calidad de energía, por otra parte, en el escenario del alimentador con regulador de voltaje se aprecia una buena calidad del suministro, se mantiene dentro de los márgenes y entregando un perfil de voltaje regulado hacia las bombas de riego y fábrica de plásticos ubicados en la Hacienda JJ.

CAPÍTULO V

5.1 CONCLUSIONES

- Se recopiló la información de las cargas que se encuentran conectadas y el perfil de voltaje del alimentador, y se determinó que la línea trifásica superaba el rango permitido de - 6% a partir del nodo 10 y llegaba hasta - 8% al nodo 32, fábrica de plásticos y las bombas de riego ubicadas en la Hacienda JJ.
- Se obtuvo la caída de tensión de la línea a lo largo de las cargas conectadas y se identificó que el problema se presentaba en los nodos 31 y 32 donde está ubicada la fábrica de plásticos y las bombas de riego pertenecientes a la Hacienda JJ y que el banco de reguladores debía ir ubicado en esos puntos para hacer una corrección directa, pero al realizar la optimización del módulo de ubicación optima se modificó el perfil de voltaje de todo el alimentador favoreciendo a las cargas que se encuentran en el trayecto donde se ubicaría el regulador de manera automática.
- Se simuló el flujo de potencia y perfil de voltaje con el regulador propuesto comparando que normalmente los reguladores se ubican en los puntos donde existe la caída de tensión, no obstante, después de analizar todo el tramo del alimentador el programa Digsilent lo ubicó específicamente en el lugar donde mejores resultados se obtuvieron, manualmente analizando solo el perfil de voltaje se ubicaría el equipo entre el nodo 10 y el 11 donde se encontraba una caída del 6%, siendo ubicado en el nodo 1 automáticamente por el programa indicando que es el punto donde el perfil de voltaje mejora significativamente en comparación si se ubica en cualquier otro nodo.
- Se concluye la factibilidad de agregar un banco de reguladores en el alimentador Terminal Terrestre, debido a que se recupera un 4% por unidad del nivel de tensión en el extremo del alimentador donde se ubican las bombas de riego que necesitan un servicio de calidad para preservar el estado y funcionamiento de las maquinas.

5.2 RECOMENDACIONES

- Es recomendable leer el manual de digsilent para tener conocimiento sobre las herramientas que se utilizan, así como los conceptos de zonas y feeders donde definimos los distintos parámetros con el que se puede estructurar un alimentador radial en media tensión.
- Obtener los datos correctos de cargas y el factor de cargabilidad con el que funcionan, por motivo de realización de la curva de carga que nos ayude a realizar el modelo dinámico y poder utilizar el módulo “Optimal Equipment Placement”
- Configurar adecuadamente los datos del regulador de voltaje por paso, para que no exista sobrecarga al momento de realizar las simulaciones y de esta manera el módulo automático ejecute las iteraciones de una forma precisa.

CAPITULO VI

Referencias bibliográficas:

- [1] X. Zhang, "10kV Compensating Voltage Regulator for Reducing Carbon Brush Current and Its Application," *7th IEEE International Conference on High Voltage Engineering and Application, ICHVE 2020 - Proceedings*, Sep. 2020, doi: 10.1109/ICHVE49031.2020.9280055.
- [2] E. P. Bolívar, C. Valda Claros, L. Pozo Barrera, E. Bustos Espinoza, D. Rodrigo Alfred Javier Perez Peñaranda, and R. Ramirez Zuazo Marco salguero surriable Rene Ortiz Plata daniel saul Celis Laguna Moises Montecinos Alex Alcón, "COLEGIO DE INGENIEROS ELECTRICISTAS Y ELECTRÓNICOS 'CATACORA,'" 2013.
- [3] Regulación Nro. ARCERNNR, "Regulacion-002-20," 2020.
- [4] Y. Steven, R. Gris, R. Alfonso, and G. Allego Rendón, "Optimal installation of tension regulators in distribution systems using the simulated annealing technique," 2007.
- [5] Vega Romero and Bryan Santiago, "T-UCSG-PRE-TEC-IEM-282," 2021.
- [6] Manuel Chimbo and Héctor Molina, "UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO ELÉCTRICO PROYECTO TÉCNICO DE ENFOQUE GENERAL," 2018.
- [7] D. Coordinación, "Boletín Técnico-Marzo 2005."
- [8] S. L. Urrego, J. A. Álvarez, and P.-I. Electricista, "DISEÑO DE REDES ELÉCTRICAS DE MEDIA Y BAJA TENSIÓN EN LOS DEPARTAMENTOS DE LA GUAJIRA Y MAGDALENA Autor(es)."
- [9] "CAPÍTULO I RED DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA."
- [10] "T_UCSG_PRE_TEC_IEM_282".
- [11] U. de Óptima Reguladores De Voltaje En El Sistema De Medio Voltaje Correspondiente A La Subestación Portovelo and A. de Segregación Flujo De Carga Al Más Crítico, "UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO ELÉCTRICO PROYECTO TÉCNICO DE ENFOQUE GENERAL."
- [12] U. de Óptima Reguladores De Voltaje En El Sistema De Medio Voltaje Correspondiente A La Subestación Portovelo and A. de Segregación Flujo De Carga Al Más Crítico, "UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO ELÉCTRICO PROYECTO TÉCNICO DE ENFOQUE GENERAL."
- [13] *C57.15-1999 IEEE Standard Requirements, Terminology and Test Code for Step-Voltage Regulators*. IEEE.
- [14] J. Cepeda and J. Salazar, "Forma sugerida de citación: Núñez," no. 11, pp. 22–30, 2015.

- [15] O. Edition, "DigSILENT PowerFactory User Manual," 2017. [Online]. Available: <http://www.digsilent.de>
- [16] G. Jimenez-Cleves, "¿QUÉ ES UN GEOPORTAL Y CÓMO SE CREA?" [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/336681206>
- [17] "brochure-real-time-es-lqb9762d460c286c028629ff02005ae238".
- [18] "T-UTC-000027".

CAPITULO VII

7. ANEXOS

ANEXO 1

```

info - -----
info - Starting Optimal Equipment Placement...
info - Preparing grid for optimisation...
info - Created and activated new variation Placed equipment with expansion stage Expansion Stage.
info - Study time has been changed to 15/2/2023 0:00:00.
info - Expansion stage 'Expansion Stage' is the new 'recording' expansion stage for the variation of the 'Network Data' folder.
info - -----
info - Initialising load flow time sweep calculation...
info - Calculating load flow time sweep to build mixed integer linear program...
info - -----
info - Calculating Load Flow for time 15/2/2023 0:00:00...
info - ... converged successfully in 1 outer loop(s). Iterations per outer loop - 1.outer loop: 2 iteration(s)
info - Adding constraints and controls for time 15/2/2023 0:00:00 to linear program...
info - Calculating effectiveness for power flow/voltage constraints.
info - -----
info - Calculating Load Flow for time 15/2/2023 1:00:00...
info - ... converged successfully in 1 outer loop(s). Iterations per outer loop - 1.outer loop: 1 iteration(s)
info - Adding constraints and controls for time 15/2/2023 1:00:00 to linear program...
info - Calculating effectiveness for power flow/voltage constraints.
info - -----
info - Calculating Load Flow for time 15/2/2023 2:00:00...
info - ... converged successfully in 1 outer loop(s). Iterations per outer loop - 1.outer loop: 1 iteration(s)
info - Adding constraints and controls for time 15/2/2023 2:00:00 to linear program...
info - Calculating effectiveness for power flow/voltage constraints.
info - -----
info - Calculating Load Flow for time 15/2/2023 3:00:00...
info - ... converged successfully in 1 outer loop(s). Iterations per outer loop - 1.outer loop: 1 iteration(s)
info - Adding constraints and controls for time 15/2/2023 3:00:00 to linear program...
info - Calculating effectiveness for power flow/voltage constraints.
info - -----
info - Calculating Load Flow for time 15/2/2023 4:00:00...
info - ... converged successfully in 1 outer loop(s). Iterations per outer loop - 1.outer loop: 1 iteration(s)
info - Adding constraints and controls for time 15/2/2023 4:00:00 to linear program...
info - Calculating effectiveness for power flow/voltage constraints.
info - -----
info - Calculating Load Flow for time 15/2/2023 5:00:00...
info - ... converged successfully in 1 outer loop(s). Iterations per outer loop - 1.outer loop: 1 iteration(s)
info - Adding constraints and controls for time 15/2/2023 5:00:00 to linear program...
info - Calculating effectiveness for power flow/voltage constraints.
info - -----
info - Calculating Load Flow for time 15/2/2023 6:00:00...
info - ... converged successfully in 1 outer loop(s). Iterations per outer loop - 1.outer loop: 1 iteration(s)
info - Adding constraints and controls for time 15/2/2023 6:00:00 to linear program...
info - Calculating effectiveness for power flow/voltage constraints.
info - -----
info - Calculating Load Flow for time 15/2/2023 7:00:00...
info - ... converged successfully in 1 outer loop(s). Iterations per outer loop - 1.outer loop: 1 iteration(s)
info - Adding constraints and controls for time 15/2/2023 7:00:00 to linear program...
info - Calculating effectiveness for power flow/voltage constraints.
info - -----
info - Calculating Load Flow for time 15/2/2023 8:00:00...
info - ... converged successfully in 1 outer loop(s). Iterations per outer loop - 1.outer loop: 1 iteration(s)
info - Adding constraints and controls for time 15/2/2023 8:00:00 to linear program...
info - Calculating effectiveness for power flow/voltage constraints.
info - -----
info - Calculating Load Flow for time 15/2/2023 9:00:00...
info - ... converged successfully in 1 outer loop(s). Iterations per outer loop - 1.outer loop: 1 iteration(s)
info - Adding constraints and controls for time 15/2/2023 9:00:00 to linear program...
info - Calculating effectiveness for power flow/voltage constraints.
info - -----
info - Calculating Load Flow for time 15/2/2023 10:00:00...
info - ... converged successfully in 1 outer loop(s). Iterations per outer loop - 1.outer loop: 1 iteration(s)
info - Adding constraints and controls for time 15/2/2023 10:00:00 to linear program...
info - Calculating effectiveness for power flow/voltage constraints.
info - -----
info - Calculating Load Flow for time 15/2/2023 11:00:00...
info - ... converged successfully in 1 outer loop(s). Iterations per outer loop - 1.outer loop: 1 iteration(s)
info - Adding constraints and controls for time 15/2/2023 11:00:00 to linear program...
info - Calculating effectiveness for power flow/voltage constraints.
info - -----
info - Calculating Load Flow for time 15/2/2023 12:00:00...
info - ... converged successfully in 1 outer loop(s). Iterations per outer loop - 1.outer loop: 1 iteration(s)
info - Adding constraints and controls for time 15/2/2023 12:00:00 to linear program...
info - Calculating effectiveness for power flow/voltage constraints.
info - -----
info - Calculating Load Flow for time 15/2/2023 13:00:00...
info - ... converged successfully in 1 outer loop(s). Iterations per outer loop - 1.outer loop: 1 iteration(s)
info - Adding constraints and controls for time 15/2/2023 13:00:00 to linear program...
info - Calculating effectiveness for power flow/voltage constraints.
info - -----
info - Calculating Load Flow for time 15/2/2023 14:00:00...
info - ... converged successfully in 1 outer loop(s). Iterations per outer loop - 1.outer loop: 1 iteration(s)
info - Adding constraints and controls for time 15/2/2023 14:00:00 to linear program...
info - Calculating effectiveness for power flow/voltage constraints.

```

ANEXO 2

```

info - -----
info - Calculating Load Flow for time 15/2/2023 15:00:00...
info - ... converged successfully in 1 outer loop(s). Iterations per outer loop - 1.outer loop: 1 iteration(s)
info - Adding constraints and controls for time 15/2/2023 15:00:00 to linear program...
info - Calculating effectiveness for power flow/voltage constraints.
info - -----
info - Calculating Load Flow for time 15/2/2023 16:00:00...
info - ... converged successfully in 1 outer loop(s). Iterations per outer loop - 1.outer loop: 1 iteration(s)
info - Adding constraints and controls for time 15/2/2023 16:00:00 to linear program...
info - Calculating effectiveness for power flow/voltage constraints.
info - -----
info - Calculating Load Flow for time 15/2/2023 17:00:00...
info - ... converged successfully in 1 outer loop(s). Iterations per outer loop - 1.outer loop: 1 iteration(s)
info - Adding constraints and controls for time 15/2/2023 17:00:00 to linear program...
info - Calculating effectiveness for power flow/voltage constraints.
info - -----
info - Calculating Load Flow for time 15/2/2023 18:00:00...
info - ... converged successfully in 1 outer loop(s). Iterations per outer loop - 1.outer loop: 1 iteration(s)
info - Adding constraints and controls for time 15/2/2023 18:00:00 to linear program...
info - Calculating effectiveness for power flow/voltage constraints.
info - -----
info - Calculating Load Flow for time 15/2/2023 19:00:00...
info - ... converged successfully in 1 outer loop(s). Iterations per outer loop - 1.outer loop: 1 iteration(s)
info - Adding constraints and controls for time 15/2/2023 19:00:00 to linear program...
info - Calculating effectiveness for power flow/voltage constraints.
info - -----
info - Calculating Load Flow for time 15/2/2023 20:00:00...
info - ... converged successfully in 1 outer loop(s). Iterations per outer loop - 1.outer loop: 1 iteration(s)
info - Adding constraints and controls for time 15/2/2023 20:00:00 to linear program...
info - Calculating effectiveness for power flow/voltage constraints.
info - -----
info - Calculating Load Flow for time 15/2/2023 21:00:00...
info - ... converged successfully in 1 outer loop(s). Iterations per outer loop - 1.outer loop: 1 iteration(s)
info - Adding constraints and controls for time 15/2/2023 21:00:00 to linear program...
info - Calculating effectiveness for power flow/voltage constraints.
info - -----
info - Calculating Load Flow for time 15/2/2023 22:00:00...
info - ... converged successfully in 1 outer loop(s). Iterations per outer loop - 1.outer loop: 1 iteration(s)
info - Adding constraints and controls for time 15/2/2023 22:00:00 to linear program...
info - Calculating effectiveness for power flow/voltage constraints.
info - -----
info - Calculating Load Flow for time 15/2/2023 23:00:00...

```

ANEXO 3

```

info - ... converged successfully in 1 outer loop(s). Iterations per outer loop - 1.outer loop: 1 iteration(s)
info - Adding constraints and controls for time 15/2/2023 23:00:00 to linear program...
info - Calculating effectiveness for power flow/voltage constraints.
info - -----
info - Calculation of load flow time sweep successfully executed.
info - -----
info - Transferring mixed-integer linear program for period 15/2/2023 0:00:00 - 15/2/2023 23:00:00 to solver...
info - The mixed-integer linear program features 6177 constraints and 3104 control variables (with 32 discrete variables).
info - Solving mixed-integer linear program for period 15/2/2023 0:00:00 - 15/2/2023 23:00:00 with solver Cbc...
info - Created folder Placed equipment for resulting characteristics.
info - -----
info - Initialising load flow time sweep calculation...
info - Re-calculating time sweep with optimal controls...
info - -----
info - Calculating Load Flow for time 15/2/2023 0:00:00...
info - ... converged successfully in 1 outer loop(s). Iterations per outer loop - 1.outer loop: 2 iteration(s)
info - Re-calculating Load Flow with optimal controls for time 15/2/2023 0:00:00...
info - ... converged successfully in 1 outer loop(s). Iterations per outer loop - 1.outer loop: 3 iteration(s)
info - -----
info - Calculating Load Flow with optimal controls for time 15/2/2023 1:00:00...
info - ... converged successfully in 1 outer loop(s). Iterations per outer loop - 1.outer loop: 1 iteration(s)
info - -----
info - Calculating Load Flow with optimal controls for time 15/2/2023 2:00:00...
info - ... converged successfully in 1 outer loop(s). Iterations per outer loop - 1.outer loop: 1 iteration(s)
info - -----
info - Calculating Load Flow with optimal controls for time 15/2/2023 3:00:00...
info - ... converged successfully in 1 outer loop(s). Iterations per outer loop - 1.outer loop: 1 iteration(s)
info - -----
info - Calculating Load Flow with optimal controls for time 15/2/2023 4:00:00...
info - ... converged successfully in 1 outer loop(s). Iterations per outer loop - 1.outer loop: 2 iteration(s)
info - -----
info - Calculating Load Flow with optimal controls for time 15/2/2023 5:00:00...
info - ... converged successfully in 1 outer loop(s). Iterations per outer loop - 1.outer loop: 1 iteration(s)
info - -----
info - Calculating Load Flow with optimal controls for time 15/2/2023 6:00:00...
info - ... converged successfully in 1 outer loop(s). Iterations per outer loop - 1.outer loop: 1 iteration(s)
info - -----
info - Calculating Load Flow with optimal controls for time 15/2/2023 7:00:00...
info - ... converged successfully in 1 outer loop(s). Iterations per outer loop - 1.outer loop: 1 iteration(s)
info - -----
info - Calculating Load Flow with optimal controls for time 15/2/2023 8:00:00...
info - ... converged successfully in 1 outer loop(s). Iterations per outer loop - 1.outer loop: 1 iteration(s)

```


ANEXO 4

```

info - ... converged successfully in 1 outer loop(s). Iterations per outer loop - 1.outer loop: 1 iteration(s)
info - Adding constraints and controls for time 15/2/2023 23:00:00 to linear program...
info - Calculating effectiveness for power flow/voltage constraints.
-----
info - Calculation of load flow time sweep successfully executed.
-----
info - Transferring mixed-integer linear program for period 15/2/2023 0:00:00 - 15/2/2023 23:00:00 to solver...
info - The mixed-integer linear program features 6177 constraints and 3104 control variables (with 32 discrete variables).
info - Solving mixed-integer linear program for period 15/2/2023 0:00:00 - 15/2/2023 23:00:00 with solver Cbc...
info - Created folder Placed equipment for resulting characteristics.
-----
info - Initialising load flow time sweep calculation...
info - Re-calculating time sweep with optimal controls...
-----
info - Calculating Load Flow for time 15/2/2023 0:00:00...
info - ... converged successfully in 1 outer loop(s). Iterations per outer loop - 1.outer loop: 2 iteration(s)
info - Re-calculating Load Flow with optimal controls for time 15/2/2023 0:00:00...
info - ... converged successfully in 1 outer loop(s). Iterations per outer loop - 1.outer loop: 3 iteration(s)
-----
info - Calculating Load Flow with optimal controls for time 15/2/2023 1:00:00...
info - ... converged successfully in 1 outer loop(s). Iterations per outer loop - 1.outer loop: 1 iteration(s)
-----
info - Calculating Load Flow with optimal controls for time 15/2/2023 2:00:00...
info - ... converged successfully in 1 outer loop(s). Iterations per outer loop - 1.outer loop: 1 iteration(s)
-----
info - Calculating Load Flow with optimal controls for time 15/2/2023 3:00:00...
info - ... converged successfully in 1 outer loop(s). Iterations per outer loop - 1.outer loop: 1 iteration(s)
-----
info - Calculating Load Flow with optimal controls for time 15/2/2023 4:00:00...
info - ... converged successfully in 1 outer loop(s). Iterations per outer loop - 1.outer loop: 2 iteration(s)
-----
info - Calculating Load Flow with optimal controls for time 15/2/2023 5:00:00...
info - ... converged successfully in 1 outer loop(s). Iterations per outer loop - 1.outer loop: 1 iteration(s)
-----
info - Calculating Load Flow with optimal controls for time 15/2/2023 6:00:00...
info - ... converged successfully in 1 outer loop(s). Iterations per outer loop - 1.outer loop: 1 iteration(s)
-----
info - Calculating Load Flow with optimal controls for time 15/2/2023 7:00:00...
info - ... converged successfully in 1 outer loop(s). Iterations per outer loop - 1.outer loop: 1 iteration(s)
-----
info - Calculating Load Flow with optimal controls for time 15/2/2023 8:00:00...
info - ... converged successfully in 1 outer loop(s). Iterations per outer loop - 1.outer loop: 1 iteration(s)

```

ANEXO 5

```

info - -----
info - Calculating Load Flow with optimal controls for time 15/2/2023 9:00:00...
info - ... converged successfully in 1 outer loop(s). Iterations per outer loop - 1.outer loop: 2 iteration(s)
info - -----
info - Calculating Load Flow with optimal controls for time 15/2/2023 10:00:00...
info - ... converged successfully in 1 outer loop(s). Iterations per outer loop - 1.outer loop: 2 iteration(s)
info - -----
info - Calculating Load Flow with optimal controls for time 15/2/2023 11:00:00...
info - ... converged successfully in 1 outer loop(s). Iterations per outer loop - 1.outer loop: 1 iteration(s)
info - -----
info - Calculating Load Flow with optimal controls for time 15/2/2023 12:00:00...
info - ... converged successfully in 1 outer loop(s). Iterations per outer loop - 1.outer loop: 1 iteration(s)
info - -----
info - Calculating Load Flow with optimal controls for time 15/2/2023 13:00:00...
info - ... converged successfully in 1 outer loop(s). Iterations per outer loop - 1.outer loop: 1 iteration(s)
info - -----
info - Calculating Load Flow with optimal controls for time 15/2/2023 14:00:00...
info - ... converged successfully in 1 outer loop(s). Iterations per outer loop - 1.outer loop: 1 iteration(s)
info - -----
info - Calculating Load Flow with optimal controls for time 15/2/2023 15:00:00...
info - ... converged successfully in 1 outer loop(s). Iterations per outer loop - 1.outer loop: 1 iteration(s)
info - -----
info - Calculating Load Flow with optimal controls for time 15/2/2023 16:00:00...
info - ... converged successfully in 1 outer loop(s). Iterations per outer loop - 1.outer loop: 1 iteration(s)
info - -----
info - Calculating Load Flow with optimal controls for time 15/2/2023 17:00:00...
info - ... converged successfully in 1 outer loop(s). Iterations per outer loop - 1.outer loop: 1 iteration(s)
info - -----
info - Calculating Load Flow with optimal controls for time 15/2/2023 18:00:00...
info - ... converged successfully in 1 outer loop(s). Iterations per outer loop - 1.outer loop: 1 iteration(s)
info - -----
info - Calculating Load Flow with optimal controls for time 15/2/2023 19:00:00...
info - ... converged successfully in 1 outer loop(s). Iterations per outer loop - 1.outer loop: 1 iteration(s)
info - -----
info - Calculating Load Flow with optimal controls for time 15/2/2023 20:00:00...
info - ... converged successfully in 1 outer loop(s). Iterations per outer loop - 1.outer loop: 1 iteration(s)
info - -----
info - Calculating Load Flow with optimal controls for time 15/2/2023 21:00:00...
info - ... converged successfully in 1 outer loop(s). Iterations per outer loop - 1.outer loop: 1 iteration(s)
info - -----
info - Calculating Load Flow with optimal controls for time 15/2/2023 22:00:00...
info - ... converged successfully in 1 outer loop(s). Iterations per outer loop - 1.outer loop: 1 iteration(s)

```

ANEXO 6

```
info - -----
info - Calculating Load Flow with optimal controls for time 15/2/2023 23:00:00...
info - ... converged successfully in 1 outer loop(s). Iterations per outer loop - 1,outer loop: 1 iteration(s)
info - -----
info - Calculation of load flow time sweep successfully executed.
info - -----
info - -----
info - Optimal Equipment Placement finished:
info -   Number of installed elements:           1
info -   Planning period:                       5,00 years
info -   Total installation costs:              50000,00 USD
info -   Maintenance costs for installed equipment: 25000,00 USD
info -
info - Placed voltage regulators:
info -   * Voltage regulator Step-Voltage Regulator of type Step-Voltage Regulator Type was placed between LINEA 1 and terminal NODO 1. For this, term
info - -----
info - Results were saved to variation Placed equipment, which is now active.
info - Saved data for result characteristics to result file Optimal controls in folder Result Characteristics Opt. Placement.
info - Date/Time of Study Case is now the last point in time of calculation (15/2/2023 23:00:00).
info - Optimal Equipment Placement successfully executed.
info - Date/Time of Study Case has been reset to the time before executing calculation (7/2/2106 1:28:15).
info - Executing Quasi-Dynamic Simulation (24 points in time)
info - Date/Time of Study Case is now the last point in time of calculation (15/2/2023 23:00:00).
info - Quasi-Dynamic Simulation successfully executed.
info - Undo to 15/2/2023 16:41:17
```

ANEXO 7

Grid: Grid		Study Case: Study Case										Der.	
Equipment: Lines		Annex:										/ 1	
Name	From Busbar	To Busbar	Type	Cross-Sec. [mm ²]	Num-ber	R [Ohm/km]	X [Ohm/km]	B [uS/km]	Distance [km]	In [kA]	factor		
LINEA 1	NODO REGULADOR	NODO 2	LINEA 13.8	0,00	1	0,2705	0,3969	0,0000	0,400	0,400	1,00		
LINEA 10	NODO 10	NODO 11	LINEA 13.8	0,00	1	0,2705	0,3969	0,0000	0,056	0,400	1,00		
LINEA 11	NODO 11	NODO 12	LINEA 13.8	0,00	1	0,2705	0,3969	0,0000	0,230	0,400	1,00		
LINEA 12	NODO 12	NODO 13	LINEA 13.8	0,00	1	0,2705	0,3969	0,0000	0,091	0,400	1,00		
LINEA 13	NODO 13	NODO 14	LINEA 13.8	0,00	1	0,2705	0,3969	0,0000	0,040	0,400	1,00		
LINEA 14	NODO 14	NODO 15	LINEA 13.8	0,00	1	0,2705	0,3969	0,0000	0,142	0,400	1,00		
LINEA 15	NODO 15	NODO 16	LINEA 13.8	0,00	1	0,2705	0,3969	0,0000	0,086	0,400	1,00		
LINEA 16	NODO 16	NODO 17	LINEA 13.8	0,00	1	0,2705	0,3969	0,0000	0,041	0,400	1,00		
LINEA 17	NODO 17	NODO 18	LINEA 13.8	0,00	1	0,2705	0,3969	0,0000	0,880	0,400	1,00		
LINEA 18	NODO 18	NODO 19	LINEA 13.8	0,00	1	0,2705	0,3969	0,0000	0,066	0,400	1,00		
LINEA 19	NODO 19	NODO 20	LINEA 13.8	0,00	1	0,2705	0,3969	0,0000	0,082	0,400	1,00		
LINEA 2	NODO 2	NODO 3	LINEA 13.8	0,00	1	0,2705	0,3969	0,0000	0,346	0,400	1,00		
LINEA 20	NODO 20	NODO 21	LINEA 13.8	0,00	1	0,2705	0,3969	0,0000	0,090	0,400	1,00		
LINEA 21	NODO 21	NODO 22	LINEA 13.8	0,00	1	0,2705	0,3969	0,0000	0,079	0,400	1,00		
LINEA 22	NODO 22	NODO 23	LINEA 13.8	0,00	1	0,2705	0,3969	0,0000	0,056	0,400	1,00		
LINEA 23	NODO 23	NODO 24	LINEA 13.8	0,00	1	0,2705	0,3969	0,0000	0,080	0,400	1,00		
LINEA 24	NODO 24	NODO 25	LINEA 13.8	0,00	1	0,2705	0,3969	0,0000	0,055	0,400	1,00		
LINEA 25	NODO 25	NODO 26	LINEA 13.8	0,00	1	0,2705	0,3969	0,0000	0,048	0,400	1,00		
LINEA 26	NODO 26	NODO 27	LINEA 13.8	0,00	1	0,2705	0,3969	0,0000	0,178	0,400	1,00		
LINEA 27	NODO 27	NODO 28	LINEA 13.8	0,00	1	0,2705	0,3969	0,0000	0,030	0,400	1,00		
LINEA 28	NODO 28	NODO 29	LINEA 13.8	0,00	1	0,2705	0,3969	0,0000	0,146	0,400	1,00		
LINEA 29	NODO 29	NODO 30	LINEA 13.8	0,00	1	0,2705	0,3969	0,0000	0,242	0,400	1,00		
LINEA 3	NODO 3	NODO 4	LINEA 13.8	0,00	1	0,2705	0,3969	0,0000	0,317	0,400	1,00		
LINEA 30	NODO 30	NODO 31	LINEA 13.8	0,00	1	0,2705	0,3969	0,0000	0,943	0,400	1,00		
LINEA 31	NODO 31	NODO 32	LINEA 13.8	0,00	1	0,2705	0,3969	0,0000	1,663	0,400	1,00		
LINEA 32	NODO 32	NODO 33	LINEA 13.8	0,00	1	0,2705	0,3969	0,0000	0,100	0,400	1,00		
LINEA 4	NODO 4	NODO 5	LINEA 13.8	0,00	1	0,2705	0,3969	0,0000	0,563	0,400	1,00		
LINEA 5	NODO 5	NODO 6	LINEA 13.8	0,00	1	0,2705	0,3969	0,0000	0,708	0,400	1,00		
LINEA 6	NODO 6	NODO 7	LINEA 13.8	0,00	1	0,2705	0,3969	0,0000	0,097	0,400	1,00		
LINEA 7	NODO 7	NODO 8	LINEA 13.8	0,00	1	0,2705	0,3969	0,0000	0,369	0,400	1,00		
LINEA 8	NODO 8	NODO 9	LINEA 13.8	0,00	1	0,2705	0,3969	0,0000	0,147	0,400	1,00		
LINEA 9	NODO 9	NODO 10	LINEA 13.8	0,00	1	0,2705	0,3969	0,0000	0,232	0,400	1,00		

ANEXO 8

Grid: Grid		Study Case: Study Case		Annex: / 2					
Equipment: Loads									
Name	Busbar	Out of Service	Type	S P Q	P Q cosphi	Voltage [p.u.]	System Type	No of Phases	Conn.
CARGA 1	NODO 1	No	CARGA TRIF	0,07 MW	0,03 Mvar	1,00	AC	3	D
CARGA 10	NODO 10	No	CARGA TRIF	0,07 MW	0,03 Mvar	1,00	AC	3	D
CARGA 11	NODO 11	No	CARGA TRIF	0,08 MW	0,03 Mvar	1,00	AC	3	D
CARGA 12	NODO 12	No	CARGA TRIF	0,05 MW	0,02 Mvar	1,00	AC	3	D
CARGA 13	NODO 13	No	CARGA TRIF	0,02 MW	0,01 Mvar	1,00	AC	3	D
CARGA 14	NODO 14	No	CARGA TRIF	0,07 MW	0,03 Mvar	1,00	AC	3	D
CARGA 15	NODO 15	No	CARGA TRIF	6,46 MW	2,75 Mvar	1,00	AC	3	D
CARGA 16	NODO 16	No	CARGA TRIF	0,16 MW	0,07 Mvar	1,00	AC	3	D
CARGA 17	NODO 17	No	CARGA TRIF	0,13 MW	0,05 Mvar	1,00	AC	3	D
CARGA 18	NODO 18	No	CARGA TRIF	0,03 MW	0,01 Mvar	1,00	AC	3	D
CARGA 19	NODO 19	No	CARGA TRIF	0,18 MW	0,08 Mvar	1,00	AC	3	D
CARGA 2	NODO 2	No	CARGA TRIF	0,23 MW	0,10 Mvar	1,00	AC	3	D
CARGA 20	NODO 20	No	CARGA TRIF	0,20 MW	0,08 Mvar	1,00	AC	3	D
CARGA 21	NODO 21	No	CARGA TRIF	0,00 MW	0,00 Mvar	1,00	AC	3	D
CARGA 22	NODO 22	No	CARGA TRIF	0,07 MW	0,03 Mvar	1,00	AC	3	D
CARGA 23	NODO 23	No	CARGA TRIF	0,05 MW	0,02 Mvar	1,00	AC	3	D
CARGA 24	NODO 24	No	CARGA TRIF	0,05 MW	0,02 Mvar	1,00	AC	3	D
CARGA 25	NODO 25	No	CARGA TRIF	0,03 MW	0,01 Mvar	1,00	AC	3	D
CARGA 26	NODO 26	No	CARGA TRIF	0,13 MW	0,05 Mvar	1,00	AC	3	D
CARGA 27	NODO 27	No	CARGA TRIF	0,10 MW	0,04 Mvar	1,00	AC	3	D
CARGA 28	NODO 28	No	CARGA TRIF	0,10 MW	0,04 Mvar	1,00	AC	3	D
CARGA 29	NODO 29	No	CARGA TRIF	0,03 MW	0,01 Mvar	1,00	AC	3	D
CARGA 3	NODO 3	No	CARGA TRIF	0,18 MW	0,08 Mvar	1,00	AC	3	D
CARGA 30	NODO 30	No	CARGA TRIF	0,00 MW	0,00 Mvar	1,00	AC	3	D
CARGA 4	NODO 4	No	CARGA TRIF	0,02 MW	0,01 Mvar	1,00	AC	3	D
CARGA 5	NODO 5	No	CARGA TRIF	0,02 MW	0,01 Mvar	1,00	AC	3	D
CARGA 6	NODO 6	No	CARGA TRIF	0,01 MW	0,01 Mvar	1,00	AC	3	D
CARGA 7	NODO 7	No	CARGA TRIF	0,47 MW	0,20 Mvar	1,00	AC	3	D
CARGA 8	NODO 8	No	CARGA TRIF	0,03 MW	0,01 Mvar	1,00	AC	3	D
CARGA 9	NODO 9	No	CARGA TRIF	0,00 MW	0,00 Mvar	1,00	AC	3	D
CARGA BOMBA	NODO 32	No	CARGA TRIF	0,64 MW	0,27 Mvar	1,00	AC	3	D
CARGA F. PL	NODO 31	No	CARGA TRIF	0,74 MW	0,31 Mvar	1,00	AC	3	D

ANEXO 9

Grid: Grid		Study Case: Study Case		Annex: / 3			
Equipment: Terminals							
Name	Inside Element	Type	Un [kV]	System Type	No. of Phases	Ithlim [kA]	Iplim [kA]
NODO 1		nodos	13,80	AC	3	0,00	0,00
NODO 10		nodos	13,80	AC	3	0,00	0,00
NODO 11		nodos	13,80	AC	3	0,00	0,00
NODO 12		nodos	13,80	AC	3	0,00	0,00
NODO 13		nodos	13,80	AC	3	0,00	0,00
NODO 14		nodos	13,80	AC	3	0,00	0,00
NODO 15		nodos	13,80	AC	3	0,00	0,00
NODO 16		nodos	13,80	AC	3	0,00	0,00
NODO 17		nodos	13,80	AC	3	0,00	0,00
NODO 18		nodos	13,80	AC	3	0,00	0,00
NODO 19		nodos	13,80	AC	3	0,00	0,00
NODO 2		nodos	13,80	AC	3	0,00	0,00
NODO 20		nodos	13,80	AC	3	0,00	0,00
NODO 21		nodos	13,80	AC	3	0,00	0,00
NODO 22		nodos	13,80	AC	3	0,00	0,00
NODO 23		nodos	13,80	AC	3	0,00	0,00
NODO 24		nodos	13,80	AC	3	0,00	0,00
NODO 25		nodos	13,80	AC	3	0,00	0,00
NODO 26		nodos	13,80	AC	3	0,00	0,00
NODO 27		nodos	13,80	AC	3	0,00	0,00
NODO 28		nodos	13,80	AC	3	0,00	0,00
NODO 29		nodos	13,80	AC	3	0,00	0,00
NODO 3		nodos	13,80	AC	3	0,00	0,00
NODO 30		nodos	13,80	AC	3	0,00	0,00
NODO 31		nodos	13,80	AC	3	0,00	0,00
NODO 32		nodos	13,80	AC	3	0,00	0,00
NODO 33		nodos	13,80	AC	3	0,00	0,00
NODO 4		nodos	13,80	AC	3	0,00	0,00
NODO 5		nodos	13,80	AC	3	0,00	0,00
NODO 6		nodos	13,80	AC	3	0,00	0,00
NODO 7		nodos	13,80	AC	3	0,00	0,00
NODO 8		nodos	13,80	AC	3	0,00	0,00
NODO 9		nodos	13,80	AC	3	0,00	0,00

ANEXO 10

Grid: Grid					Study Case: Study Case			
Equipment: Terminals					Annex: / 4			
Name	Inside	Type	Un	System	No. of	Ithlim	Iplim	
	Element		[kV]	Type	Phases	[kA]	[kA]	
NODO REGULADOR		nodos	13,80	AC	3	0,00	0,00	

Grid: Grid					Study Case: Study Case			
Equipment: External Grids					Annex: / 5			
Name		Sk"	Bus	R/X	Z2/Z1	X0/X1	R0/X0	
	Busbar	[MVA]	Type					
External Grid	NODO 1	10000,00	SL	0,10	1,00	1,00	0,10	

ANEXO 11



ANEXO 12



ANEXO 13



ANEXO 14



ANEXO 15



ANEXO 16



ANEXO 17



ANEXO 18



ANEXO 19

