



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
Comunidad al servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA
Y CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

**“Análisis de factibilidad de una micro-red caso estudio: Alimentador 1523
de Centrosur con generación distribuida en Gualaceo”**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO ELÉCTRICO**

AUTOR: RENE GUSTAVO AGUILAR CUMBE

DIRECTOR: ING. DIEGO XAVIER MORALES JADAN, PhD.

CUENCA

2018

DECLARACIÓN

Yo, Rene Gustavo Aguilar Cumbe, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento; y eximo expresamente a la Universidad Católica de Cuenca y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

La Universidad Católica de Cuenca puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y la normatividad institucional vigente.

Rene Gustavo Aguilar Cumbe.

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Rene Gustavo Aguilar Cumbe, bajo mi supervisión.

Ing. Diego Xavier Morales Jadan, PhD.

DIRECTOR

DEDICATORIA

Este trabajo investigativo está dedicado desde el fondo de mi corazón a mi madre Margarita, a mis hijos, Eliam (+), Luana, Dylan, y a Renata, ya que ellos son mi inspiración y mi motor para llegar a cumplir una meta más en mi vida, deseando que siempre estén apoyándome y entendiéndome las razones por las cuales yo no he podido compartir muchos momentos de nuestras vidas juntos.

A mi hermano, Genaro, que siempre ha estado de pilar fundamental en mi vida que con angustias y alegrías ha tenido paciencia suficiente para soportar y ayudarme a superar mis errores. A su vez dedico a mi hermana Guadalupe y sus hijos Camila e Ismael, que siempre estamos juntos apoyándonos como una familia y un hogar en el cual vivimos.

En fin, dedico a toda mi familia, que de una u otra manera me han dado su apoyo de forma incondicional.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero dar gracias a mi Dios por darme la vida, las fuerzas para salir adelante ante cualquier adversidad y acompañarme a lo largo de mi etapa universitaria, brindándome la capacidad de adquirir conocimientos, y mucho más por permitir hacer realidad mi meta anhelada. Quiero agradecer a mi madrecita querida Julia Margarita Cumbe Tapia a mi papito Ángel Aguilar que siempre han estado en todo momento de mi vida guiándome y sobre todo apoyándome con sabios consejos.

Agradezco a mi compañera de vida Vanessa Campoverde por entenderme y darme su apoyo y siempre juntos salir adelante.

Agradezco a la prestigiosa institución “Universidad Católica de Cuenca”, por guiarme y proporcionar a catedráticos muy bien calificados que con sus conocimientos y experiencia han labrado mi camino hacia el éxito profesional, en especial un profundo y sincero agradecimiento a mi director, Ing. Diego Xavier Morales Jadan. PhD, por guiarme y compartir sus conocimientos, el cual me ha ayudado a dar por culminado de forma exitosa mi trabajo de investigación.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DECLARACIÓN.....	ii
CERTIFICACIÓN.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTOS.....	v
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	vi
LISTADO DE FIGURAS.....	viii
LISTADO DE TABLAS.....	x
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT.....	xii
INTRODUCCION.....	xiii
CAPÍTULO 1	1
1.1. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	1
1.1.1. Objetivo general.....	1
1.1.2. Objetivos específicos.....	1
1.2. ALCANCE.....	1
1.3. JUSTIFICACIÓN.....	1
CAPÍTULO 2	3
2.1. MICRO-REDES DE MEDIO VOLTAJE.....	3
2.1.1. Marco teórico.....	3
2.1.2. Tipos de Micro-redes de medio voltaje.....	4
2.1.3. Tipos y características de las cargas en Micro-redes de medio voltaje.....	4
2.1.4. Valores de operación de las Micro-redes.....	5
2.2. BATERÍAS PARA MICRO-REDES DE MEDIO VOLTAJE.....	6
2.2.1. Fundamentos teóricos.....	6
2.2.2. Tipos de Baterías para Micro-redes de medio voltaje.....	6
2.2.3. Conexiones de las Baterías para Micro-redes de medio voltaje.....	8
2.3. MINI CENTRAL HIDROELÉCTRICA SUMBILD EN EL CANTÓN GUALACEO.....	8
2.3.1. Antecedentes.....	8
2.3.2. Características.....	9
2.4. PERDIDAS DE ENERGÍA Y SOBRECARGAS EN LAS REDES DE MEDIO VOLTAJE.....	10
2.5. FLUJOS DE POTENCIA CYMDIST.....	10
CAPÍTULO 3	13
3.1. MICRO-RED DEL CANTON GUALACEO.....	13
3.1.1. Descripción de la Micro-red planteada.....	13
3.1.2. Topología de Micro-red de medio voltaje.....	13
3.1.3. Valores nominales de operación de Micro-red de medio voltaje.....	13
3.2. ALIMENTADOR 1523 RED DE MEDIO VOLTAJE.....	14
3.2.1. Topología de Red de medio voltaje.....	14
3.2.2. Puntos de enlace o transferencia con alimentadores de la Subestación # 15.....	14

3.3.	ANÁLISIS DE CARGAS EN EL ALIMENTADOR 1523 DE LA MICRO-RED DE MEDIO VOLTAJE. 15	
3.3.1.	Cargas actuales.	15
3.3.2.	Cargas futuras.....	17
3.3.3.	Cargas en horas pico.	17
3.3.4.	Cargas en horas valle.	17
3.4.	DESCRIPCIÓN DE PRUEBAS.	18
3.4.1.	Alimentador 1523 conectado solo a la Subestación # 15.	18
3.4.2.	Alimentador 1523 como Micro-red.	23
3.4.3.	Alimentador 1523 en paralelo con Micro-red y Subestación # 15.	27
3.5.	SIMULACION DE USO DE BATERIAS EN MICRO-RED DE MEDIO VOLTAJE.	30
3.5.1.	Alimentador 1523 como Micro-red más Baterías en medio voltaje.	30
CAPÍTULO 4	38
4.1.	PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN.	38
4.2.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DE LAS PRUEBAS Y SIMULACIONES.	38
4.3.	ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD SEGÚN RESULTADOS.	41
CAPÍTULO 5	42
5.1.	CONCLUSIONES.	42
5.2.	RECOMENDACIONES.	43
ANEXOS	44
ANEXO 1.	Sistema de monitoreo SCADA-CENTROSUR.	44
ANEXO 2.	Sistemas de Generación distribuida.....	45
ANEXO 3.	Sistemas de control de la mini central.....	46
ANEXO 4.	Sistema de seguridad industrial en la mini central.	47
ANEXO 5.	Plano del alimentador 1523.	48
BIBLIOGRAFÍA	49

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de una micro-red eléctrica.....	3
Figura 2. Tipos de micro-redes eléctricas.....	4
Figura 3. Esquema de conexión de una micro-red.....	5
Figura 4. Conexión de baterías.....	8
Figura 5. Fotografía de las características de la mini central.....	9
Figura 6. Turbina pelton.....	9
Figura 7. Eje turbina pelton.....	10
Figura 8. Entorno de simulación.....	11
Figura 9. Barra de herramientas.....	12
Figura 10. Diagrama unifilar del Alimentador 1523.....	15
Figura 11. Curva de carga del mes de Julio (kW).....	16
Figura 12. Curva de potencia P (kW).....	16
Figura 13. Ejemplo de carga en horas pico.....	17
Figura 14. Ejemplo de carga en horas valle.....	18
Figura 15. Esquema base.....	19
Figura 16. Cuadro de propiedades del interruptor de la subestación.....	19
Figura 17. Cuadro de propiedades del generador de la mini central.....	20
Figura 18. Valores en el generador de la mini central.....	20
Figura 19. Valores en cabecera del alimentador 1523.....	21
Figura 20. Valores en el punto lejano del alimentador 1523 en condición normal.....	21
Figura 21. Cuadro propiedades para correr flujos de carga.....	22
Figura 22. Valores en el punto lejano del alimentador 1523 aumentando carga.....	22
Figura 23. Condición de red con aumento de carga.....	23
Figura 24. Cuadro de propiedades del interruptor de la subestación.....	24
Figura 25. Cuadro de propiedades del generador de la mini central.....	24
Figura 26. Valores en el generador de la mini central.....	24
Figura 27. Valores en cabecera del alimentador 1523.....	25
Figura 28. Valores y condiciones en el punto lejano de la red en condición normal.....	25
Figura 29. Valores y condiciones en el punto lejano de la red eléctrica aumentando carga.....	26
Figura 30. Cuadro de propiedades del interruptor de la subestación.....	27
Figura 31. Cuadro de propiedades del generador de la mini central.....	27
Figura 32. Valores en el generador de la mini central.....	28
Figura 33. Valores en cabecera del alimentador 1523.....	28
Figura 34. Valores y condiciones en el punto lejano de la red en condición normal.....	29
Figura 35. Valores y condiciones en el punto lejano de la red eléctrica aumentando carga.....	29
Figura 36. Esquema conexión de baterías y micro red.....	30
Figura 37. Ejemplo de conexión de baterías.....	30
Figura 38. Cuadro de propiedades del sistema de almacenamiento.....	31
Figura 39. Cuadro de propiedades de distribución de carga máxima.....	32
Figura 40. Cuadro de propiedades de flujo de carga del día con mayor demanda.....	32
Figura 41. Instalación de los bancos de batería en la línea de Medio Voltaje tramo 109368.....	33
Figura 42. Valores en el generador de la mini central.....	33
Figura 43. Valores en cabecera del alimentador 1523.....	34
Figura 44. Valores en el banco de baterías.....	34
Figura 45. Valores y condiciones en el punto lejano de la red en condición normal.....	35
Figura 46. Valores y condiciones en el punto lejano de la red eléctrica aumentando carga.....	36
Figura 47. Comparación de curva de carga.....	37
Figura 48. Grafica de corriente en condición normal.....	38
Figura 49. Grafica de corriente en aumento de carga.....	39
Figura 50. Grafica de voltajes en condición normal.....	40
Figura 51. Grafica de voltajes en aumento de carga.....	40
Figura 52. Pantalla de monitoreo CENTROSUR.....	44
Figura 53. Castillo salida de alimentadores en la Subestación 15.....	44
Figura 54. Seccionador tipo cuchilla, conexión con alimentador 1523 y mini central.....	45
Figura 55. Transformador elevador de voltaje de la mini central.....	45

Figura 56. Control y monitoreo de turbina pelton..... 46
Figura 57. Medición de parámetros eléctricos de la mini central..... 46
Figura 58. Kit en caso de derrame de aceites en la mini central..... 47
Figura 59. Uso obligatorio de protección personal en la mini central..... 47

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Descripción de baterías para micro-red en medio voltaje.....	6
Tabla 2. Vida útil de las baterías.	8
Tabla 3. Carga máxima el 13/07/2017.....	15
Tabla 4. Valores medidos en fuentes de energía.	39

RESUMEN.

En el proyecto investigativo se realizaron diferentes simulaciones, considerando diversos escenarios en el programa CYMDIST, con el fin de determinar la factibilidad de una micro-red que podría tener baterías de almacenamiento en la red de medio voltaje del alimentador 1523 de Centrosur el cual posee generación distribuida en el cantón Gualaceo.

El objetivo de este estudio tendrá como finalidad disminuir las pérdidas de energía, considerando que existe un exceso de generación la cual se podría almacenar en sus horas valle, que es el momento de menor consumo de carga eléctrica en el día. Para la investigación se escogió como micro-red de fuente renovable a la hidroeléctrica SUMBILD conocida también como mini central hidroeléctrica Gualaceo, en la misma que al tener generación propia puede trabajar de forma independiente o ser conectada a la red de la empresa distribuidora. A esta micro-red se adiciona un sistema de almacenamiento de energía a través de baterías eléctricas, que permitirá aliviar la carga del alimentador 1523 de la subestación 15 en horas pico.

Teniendo en cuenta los resultados analizados, comprobamos que es factible la implementación de micro redes con sistemas de almacenamiento para ayudar a solventar sobrecargas, mejorar la continuidad y la calidad del servicio eléctrico, siempre con la visión de conservar el medio ambiente.

Palabras clave: MICRO-RED, REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS, ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA, ENERGIA RENOVABLE, CALIDAD DE ENERGÍA

ABSTRACT.

In the research project different simulations were carried out, considering different scenarios in the CYMDIST program, in order to determine the feasibility of a micro-network that could have storage batteries in the medium voltage network of the Centrosur 1523 feeder, which has a generation distributed in the Gualaceo town.

The objective of this study will be to reduce energy losses, considering that there is an excess of generation that could be stored in off-peak hours, which is the time of less current consumption in the day. For the research, we chose as a micro-network the SUMBILD hydroelectric dam, also known as the Gualaceo mini hydroelectric plant, which, having its own generation, can work independently or be connected to the distribution company's network. To this micro-network will be implemented an energy storage system, which will allow to relieve the load of the feeder 1523 of the substation 15 during the peak hours of consumption.

Taking into account the analyzed results, we verified that it is feasible to implement micro-networks with storage systems to help solve surcharges, improve continuity and quality of electric service, prevailing conservation of the environment.

Keywords: MICRO-RED, LOSS REDUCTION, STORAGE, RENEWABLE ENERGY, QUALITY ENERGY.

INTRODUCCION.

En los últimos años, la demanda de energía eléctrica en el Ecuador ha aumentado considerablemente, debido a que es uno de los servicios básicos e indispensables para un hogar, puesto que todo gira en torno a la electricidad y aún más que se están implementando las cocinas de inducción. Debido a ello se ha evidenciado un crecimiento en el número de usuarios y siendo un servicio básico, las empresas buscan la manera de proporcionar este servicio de la mejor manera, este es el caso de la Empresa Eléctrica Regional Centrosur, la cual, ha implementado sistemas fotovoltaicos donde no se puede llegar con el tendido eléctrico, reduciendo pérdidas por transmisión. Por lo tanto, el proyecto investigativo estará centrado en el análisis de factibilidad de una micro-red en el alimentador 1523 de Centrosur con generación distribuida en Gualaceo, para obtener un servicio eléctrico de calidad, continuo y sobretodo confiable.

En el capítulo 1, se presentarán los objetivos, alcance e introducción del proyecto investigativo.

En el capítulo 2, se expondrán conceptos básicos, características, tipos, conexión de micro-redes y baterías para la misma, así mismo se hablará sobre las pérdidas de energía, se proporcionará un resumen de la mini central hidroeléctrica SUMBILD ubicada en Gualaceo y una ilustración general del programa en el que se ejecutará la simulación de la micro-red.

En el capítulo 3, se detallará la propuesta planteada, topología de las redes, se realizará un contraste de cargas del alimentador 1523, se desarrollarán simulaciones para así tener una visión del comportamiento como micro-red.

En el capítulo 4, se procesará e interpretará los resultados obtenidos en las simulaciones, y se analizará su factibilidad.

En el capítulo 5, se presentarán las respectivas conclusiones y recomendaciones, que nacen del proyecto de investigación.

La importancia que tiene el proyecto investigativo radica en la propuesta para mejorar la calidad, continuidad, y para disminuir las pérdidas de energía al distribuir el servicio eléctrico, contribuyendo con el cliente, y el medio ambiente puesto que se usará una fuente de energía renovable.

CAPÍTULO 1

1.1. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.

1.1.1. *Objetivo general.*

Realizar un estudio de factibilidad de una micro-red que tiene baterías de almacenamiento en la red de medio voltaje del alimentador 1523 de Centrosur el cual posee generación distribuida en el cantón Gualaceo.

1.1.2. *Objetivos específicos.*

- Revisar proyectos investigativos que incluyan baterías en medio voltaje aplicadas a una micro-red.
- Analizar las condiciones de funcionamiento en el escenario de una micro-red de medio voltaje en el cantón Gualaceo.
- Detallar las cargas en horas pico y en horas valle de la micro-red de medio voltaje en el cantón Gualaceo.
- Estimar la factibilidad del uso de baterías en la micro-red de medio voltaje en el cantón Gualaceo.
- Determinar el tamaño de las baterías en la micro-red de medio voltaje en el cantón Gualaceo.

1.2. ALCANCE.

La Empresa Eléctrica Regional Centrosur, es la encargada de la distribución de energía a las provincias del Azuay, Cañar y Morona Santiago. Dentro de su infraestructura existe en las mencionadas provincias, diferentes alimentadores y subestaciones en medio voltaje, en el presente estudio se seleccionó el alimentador 1523 ya que el mismo posee generación distribuida y se ha considerado conveniente analizar la factibilidad de una micro-red que podría tener baterías en medio voltaje en la provincia del Azuay centrándose en el cantón Gualaceo.

En este trabajo investigativo se determinará mediante simulación de flujos de carga y el programa CYMDIST, la factibilidad de una micro-red que podría incluir un sistema de almacenamiento de energía en medio voltaje, ayudando a disminuir pérdidas de energía, y a eliminar sobrecargas, por otro lado se deberá tener en cuenta que existe un remanente de generación con respecto a la demanda en diferentes horas, lo cual indica que en horas valle se podría almacenar energía, la misma que será devuelta a la red en horas pico.

1.3. JUSTIFICACIÓN.

La Empresa Eléctrica Regional Centrosur de la ciudad de Cuenca, cuenta con subestaciones de medio voltaje, donde existen pérdidas de energía, debido a un exceso de generación en diferentes horas con respecto a la demanda de carga, lo cual provoca un

perjuicio económico a la entidad distribuidora y al país en general, razón por la cual es importante realizar estudios de factibilidad de diferentes soluciones innovadoras como por ejemplo el despliegue una micro-red de medio voltaje que incluya la instalación de baterías para almacenar energía en horas valle y descargar la misma en horas pico.

Considerando también la longitud y topología de la red de distribución del alimentador 1523, se toma en cuenta su trayectoria existiendo un incremento de usuarios conectados al alimentador, lo que hace que se produzcan sobrecargas y pérdida de energía por transporte, por lo tanto, resulta interesante un estudio de la factibilidad de una micro-red, incluyendo un sistema de almacenamiento.

CAPITULO 2

2.1. MICRO-REDES DE MEDIO VOLTAJE.

2.1.1. Marco teórico.

Las micro-redes son aquellas que poseen generación propia para cubrir la demanda de forma local y dentro de una región, estas pueden operar de forma aislada o conectadas a la empresa distribuidora teniendo como ventajas: la facilidad de autoabastecerse, son sistemas de generación bidireccional (contadores de doble sentido), eficientes, confiables, sobre todo contribuyen al medio ambiente. (Deeba, 2016)

La micro-red consta de los siguientes elementos:

- a) Sistemas de generación de fuentes renovables.
- b) Sistemas de generación de fuentes convencionales.
- c) Sistemas de almacenamiento de tipo mecánico, electroquímico o hidráulico.
- d) Sistemas de monitoreo, regulación y control de flujos.
- e) Cargas.
- f) Técnicas de procedimientos de mantenimiento preventivo. (Fossati, 2011)

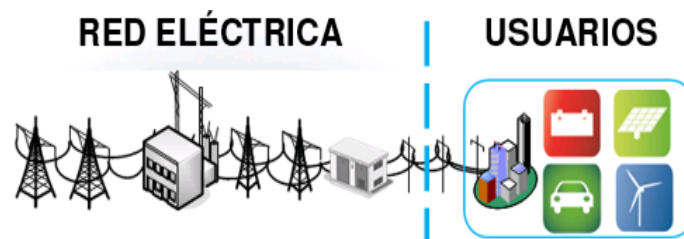


Figura 1. Esquema de una micro-red eléctrica.

Fuente (Robles, 2013)

Las micro-redes aprovechan los recursos renovables que existen en los territorios a electrificar, reduciendo el uso de combustibles y contribuyendo favorablemente a la sociedad.

Además, las micro-redes pueden ser sistemas híbridos ya que combinan la generación renovable y convencional, ejemplo: generación a diésel con fotovoltaica, entre otros; o híbridos completamente renovables, ejemplo: generación eólica con hidroeléctrica, etc. (Micro Redes Inteligentes, 2011)

En la actualidad existen consumidores que tienen su propia generación de fuentes renovables entre las más comunes son fotovoltaica, eólica e hidroeléctrica, etc. Aquellos consumidores pueden llegar a convertirse en proveedores ya que su generación es compartida con la red de distribución aliviando parte de la demanda.

Por ejemplo, si se tiene una micro-red con una generación de fuente fotovoltaica, ayuda a reducir emisiones de CO₂, y a mejorar la calidad de la red eléctrica de distribución en la

comunidad implementada. (Herramientas de Análisis y Planificación de el Desempeño de la Red, 2014)

Las micro-redes ayudan a disminuir la demanda existente en las horas pico, ya que los consumidores se abastecen en horas valle de las redes de distribución y en horas pico se ayudan de su propia generación.

Las principales ventajas de las micro-redes son:

- Reducir los picos de la demanda.
- Permitir que el excedente de energía sea incorporado a la red
- Recibir pagos por uso y tarifas accesibles. (Kerdphol, 2015)

2.1.2. Tipos de Micro-redes de medio voltaje.

Existen micro-redes en medio voltaje (MV) y bajo voltaje (BV), son muy flexibles ya que se adapta con facilidad en las distintas situaciones, poseen una capacidad de importar o exportar energía eléctrica desde y hacia la red de distribución.

Los tipos de micro-redes se clasifican de acuerdo a los siguientes puntos:

- Tipo de generación.
- Carga a alimentar.
- Disposición de la micro-red.
- Forma de onda AC o DC. (Fossati, 2011)

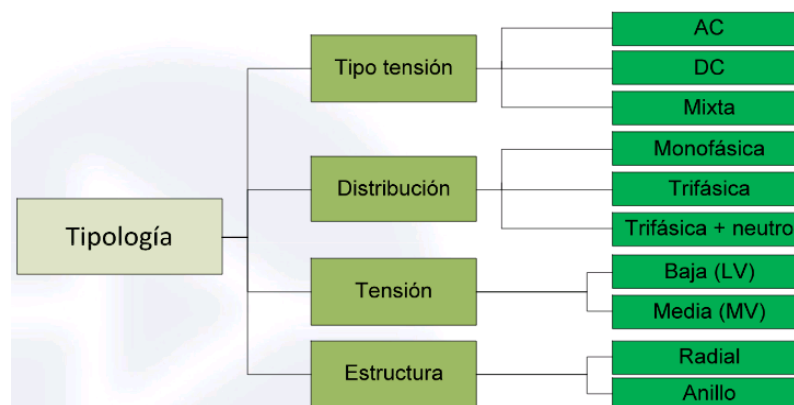


Figura 2. Tipos de micro-redes eléctricas.

Fuente: (Robles, 2013)

2.1.3. Tipos y características de las cargas en Micro-redes de medio voltaje.

En los sistemas eléctricos aplicados en micro-redes existen cargas DC (corriente directa) y AC (corriente alterna) monofásicos y trifásicos, las cargas DC pueden ser conectadas directamente dependiendo del voltaje de funcionamiento y capacidad de generación de la

micro-red, por otra parte, las cargas que habitualmente se tienen en el país son AC por ello se deberá utilizar un inversor, este ayudará a la obtención de corriente alterna. Además, la micro-red podrá conectarse en baja o en media tensión. (Micro Redes Inteligentes, 2011)

La micro-red de medio voltaje deberá tener siempre un control de flujos de potencia activa y reactiva, así también de un monitoreo del sistema de almacenamiento en el caso de existir; garantizando así un rendimiento y confiabilidad de la micro-red.

Las micro-redes son aplicables a:

- a. Sistemas para comunidades o usuarios hasta un máximo de 100KW.
- b. Sistemas renovables locales en medio voltaje hasta potencias de 5 MW. (Fossati, 2011)

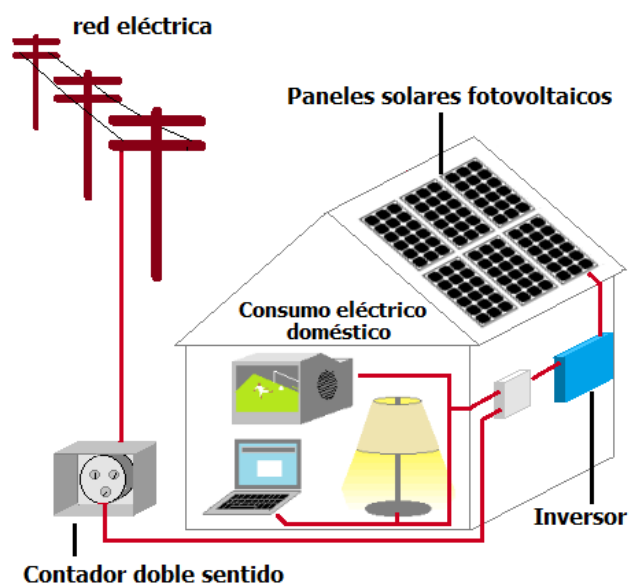


Figura 3. Esquema de conexión de una micro-red.

Fuente: (Greenenergy-Latinamerica, 2017)

2.1.4. Valores de operación de las Micro-redes.

Los valores de operación de las micro-redes dependerán de las tensiones de rectificación del sistema AC monofásicos o trifásicos o se trabajará con valores de tensión comunes en DC 48V o 12V, con frecuencias de 50/60 Hz para AC.

Por lo tanto, la micro-red deberá cumplir con las siguientes funciones de operación:

- Mantener la amplitud de tensión y frecuencia al operar desconectada de la red.
- Distribuir correctamente potencia activa y reactiva desde las fuentes de generación a las cargas al operar desconectada de la red.
- Intercambiar potencia al ser conectada a la red

- Garantizar el cambio suave desde el modo conectado a la red y desconectado de ella y viceversa. (Deeba., 2015)

2.2. BATERÍAS PARA MICRO-REDES DE MEDIO VOLTAJE

2.2.1. Fundamentos teóricos.

Las baterías son un sistema de almacenamiento de energía eléctrica la cual se puede convertir en otra energía, su transformación de una a otra dependerá de la batería a usar, estas tecnologías de almacenamiento juegan un papel muy importante en la micro-red ya que cubren los picos de generación y demanda. (Deeba, 2016)

La aplicación de almacenamiento dependerá de dos parámetros fundamentales que son:

- Tasa de descarga.
- Contenido energético promedio.

TASA DE DESCARGA. - se trata de la velocidad (tiempo) que tienen los dispositivos para su auto descarga.

CONTENIDO ENERGETICO. - se trata de la capacidad que tienen los dispositivos para la transmisión de potencia y energía. (Tolón Martín, 2013)

Tecnología		Densidad de potencia [W/kg]	Densidad de energía [Wh/kg]	Tasa de auto descarga diaria
Batería	Plomo-Ácido	75-300	30-50	0,1 – 0,3 %
	NiCd	150-300	50-75	0,2 – 0,6%
	NaS	150-230	150-240	20%
	ZEBRA	150-200	100-120	15%
	Li-ion	150-315	75-200	0,1 – 0,3%
Baterías de flujo	VRB	-	10-30	Despreciable
	ZnBr	-	30-50	Despreciable
	PSB	-	-	Despreciable
Volantes de inercia		400-1.500	10-30	100%
Condensadores		100.000	0,05-5	40%
Supercondensadores		100.000	2,5-15	20 – 40%
Superconductores		500-2.000	0,5-5	10 – 15%

Tabla 1. Descripción de baterías para micro-red en medio voltaje.

Fuente: (Tolón Martín, 2013)

Las baterías de media tensión se pueden ubicar al final o al inicio de la red de distribución, de acuerdo al estudio que se realice se puede determinar la mejor ubicación, en esto varía la potencia activa, límites de tensión y el factor de calentamiento del conductor.

2.2.2. Tipos de Baterías para Micro-redes de medio voltaje.

Como se pudo apreciar en la Tabla 1 existe gran variedad de baterías ya sea por su tiempo de descarga o por contenido energético a continuación se describirá sus principales características de funcionamiento de acuerdo a su tecnología.

BATERÍAS ELECTROQUÍMICAS. - Este tipo de batería está conformado por algunas celdas electroquímicas, estas celdas tienen su lado positivo y negativo, (ánodo y cátodo), y como su palabra lo dice ayuda a almacenar energía eléctrica en forma de energía química, su eficiencia varía entre 60 a 95%. (Tolón Martín, 2013)

Su funcionamiento se da por reacciones químicas generando un flujo de electrones, dándose lugar a su proceso de descarga, y para proceder con su recarga se procede a inyectar a los electrodos una diferencia de potencial, son muy rápidas frente a cargas ayudando a la estabilidad de la red. Por otro lado, son malas en densidad energética, costos de mantenimiento elevados, tienen poca vida de uso.

Las baterías electroquímicas de acuerdo a su avance tecnológico de almacenamiento de energía eléctrica pueden ser:

- Plomo-acido.
- Níquel-Cadmio (NiCd).
- Iones de litio (Li-ion).
- Sodio-Azufre.
- ZEBRA (NaNiCl) (sodio-níquel-cloro-triturado).

BATERIAS DE FLUJO. - Esta batería está compuesta de celdas con electrolitos en disolución electro activas y un reactor. Estas baterías almacenan energía eléctrica en soluciones de electrolito, se pueden descargar, cargar y recargar.

Su funcionamiento consta de almacenar la energía eléctrica en tanques externos para luego ayudarse del bombeo con el reactor, su capacidad de almacenamiento depende de la cantidad de electrolito y su densidad de energía dependerá de sus celdas.

Las baterías de flujo de acuerdo a sus pruebas desarrolladas se clasifican:

- VRB (Vanadio-Redox).
- ZnBr (Zinc-Bromo).
- PSB (Bromuro-Polisulfuro).

Las baterías más usadas desde hace mucho tiempo atrás son las electroquímicas de Plomo-Acido y las baterías descritas restantes están en estudios y aun no son confiables.

La vida útil de las baterías estará dada por el número de ciclos de operación, el ciclo de operación está dado por el cociente entre la energía eléctrica suministrada y la energía eléctrica obtenida, también se tomará en cuenta el deterioro de los químicos. A continuación, se presenta una tabla con los detalles respectivos. (Tolón Martín, 2013)

Tecnología		Vida útil [años]	Ciclos equivalente [ciclos]
Baterías	Plomo-Ácido	5-15	500-1.000
	NiCd	10-20	2.000-2.500
	NaS	10-15	2.500
	ZEBRA	10-14	2.500+
	Li-ion	5-15	1.000-10.000
Baterías de flujo	VRB	5-10	12.000+
	ZnBr	5-10	12.000+
	PSB	10-15	-

Tabla 2. Vida útil de las baterías.

Fuente: (Tolón Martín, 2013)

2.2.3. Conexiones de las Baterías para Micro-redes de medio voltaje.

Las baterías estarán seleccionadas de acuerdo al voltaje y corrientes en donde se vaya a aplicar el sistema de almacenamiento, para ello existen conexiones:

- Serie para obtener mayor voltaje.
- Paralelo para obtener mayor corriente.
- Mixtas para obtener mayor corriente y voltaje.

Conexión serie-paralelo

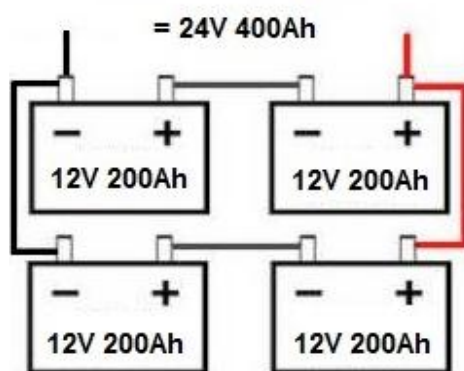


Figura 4. Conexión de baterías.

Fuente: (Baterías y amperios, 2014)

2.3. MINI CENTRAL HIDROELÉCTRICA SUMBILD EN EL CANTÓN GUALACEO.

2.3.1. Antecedentes.

La mini central hidroeléctrica está ubicada en Gualaceo parroquia Luis Cordero sector Sumbild vía al oriente ecuatoriano, fue rehabilitada el 25 de abril de 2014, con estudios previos por parte del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable y ELECAUSTRO, se realimenta

del caudal de agua del río San Francisco, con un costo de \$1.980.379.27 (ELECAUSTRO, 2014). Esta mini central producirá 7GWh año de energía limpia. (ELECAUSTRO, 2014)

En el estudio realizado para su rehabilitación, se solicitó el análisis respectivo para que la línea de transporte tenga conexión con uno de los alimentadores de la subestación #15.

2.3.2. Características.

La mini central hidroeléctrica de fuente renovable mejoró su capacidad en un 97%, al reubicar su casa de máquinas ganando así una caída neta de 174 metros, está dotada de una turbina pelton de eje vertical que está conectada a un transformador de 4.5MW, de 400V/22kV, este a su vez ayuda a elevar la tensión para ser conectada a la red de distribución, tiene una generación de aproximadamente 970kW, tiene un ducto de 2.5 km de longitud por el cual atraviesan 710 litros de agua por segundo, tiene una represa para almacenar 286.79 metros cúbicos de agua, para protección de la turbina tiene un desarenador capaz de retener cualquier tipo de sólido que esté en el transcurso de operación, la casa de máquinas tiene una área de 115 metros cuadrados y cuenta con sistemas de control y sistemas auxiliares automatizados –SCADA. (ELECAUSTRO, 2014)



Figura 5. Fotografía de las características de la mini central.



Figura 6. Turbina pelton.



Figura 7. Eje turbina pelton.

2.4. PERDIDAS DE ENERGÍA Y SOBRECARGAS EN LAS REDES DE MEDIO VOLTAJE.

Las pérdidas de energía se dan de diversa forma y en diferentes puntos entre ellos los más destacados son:

- Pérdida de energía en los conductores, se dan por las líneas de transmisión y distribución ya que son muy extensas, calentamiento en los mismos (Efecto Joule).
- Pérdida por sobrecargas y sobretensiones.

2.5. FLUJOS DE POTENCIA CYMDIST.

El software CYMDIST contiene un entorno en el cual se puede simular redes de distribución eléctrica en diferentes condiciones y escenarios, es de gran ayuda para análisis en comportamiento de flujos de potencia.

El programa facilitara la obtención de datos y resultados de flujos de carga y configuración eléctrica en el sistema de distribución, también nos ayudará al estudio de confiabilidad de contingencias, ya que esta plataforma nos permite crear nuestros propios estudios para evaluar nuestro sistema de distribución. (Eaton, Cooper Power Systems y CYME, 2014)

En las Figuras 8 y 9 se aprecia el entorno y su barra de herramientas en cual se desarrollará las simulaciones.

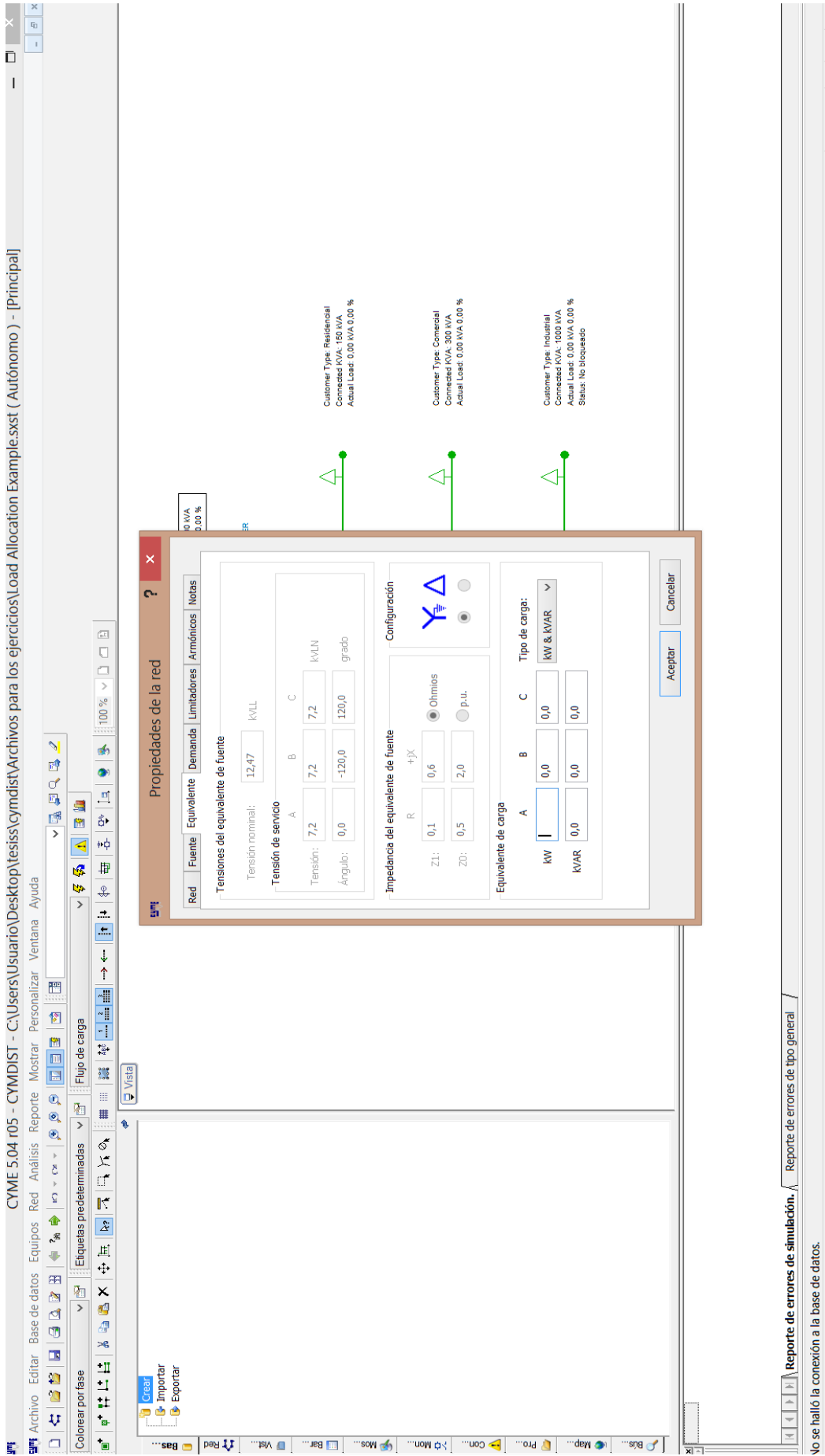


Figura 8. Entorno de simulación.

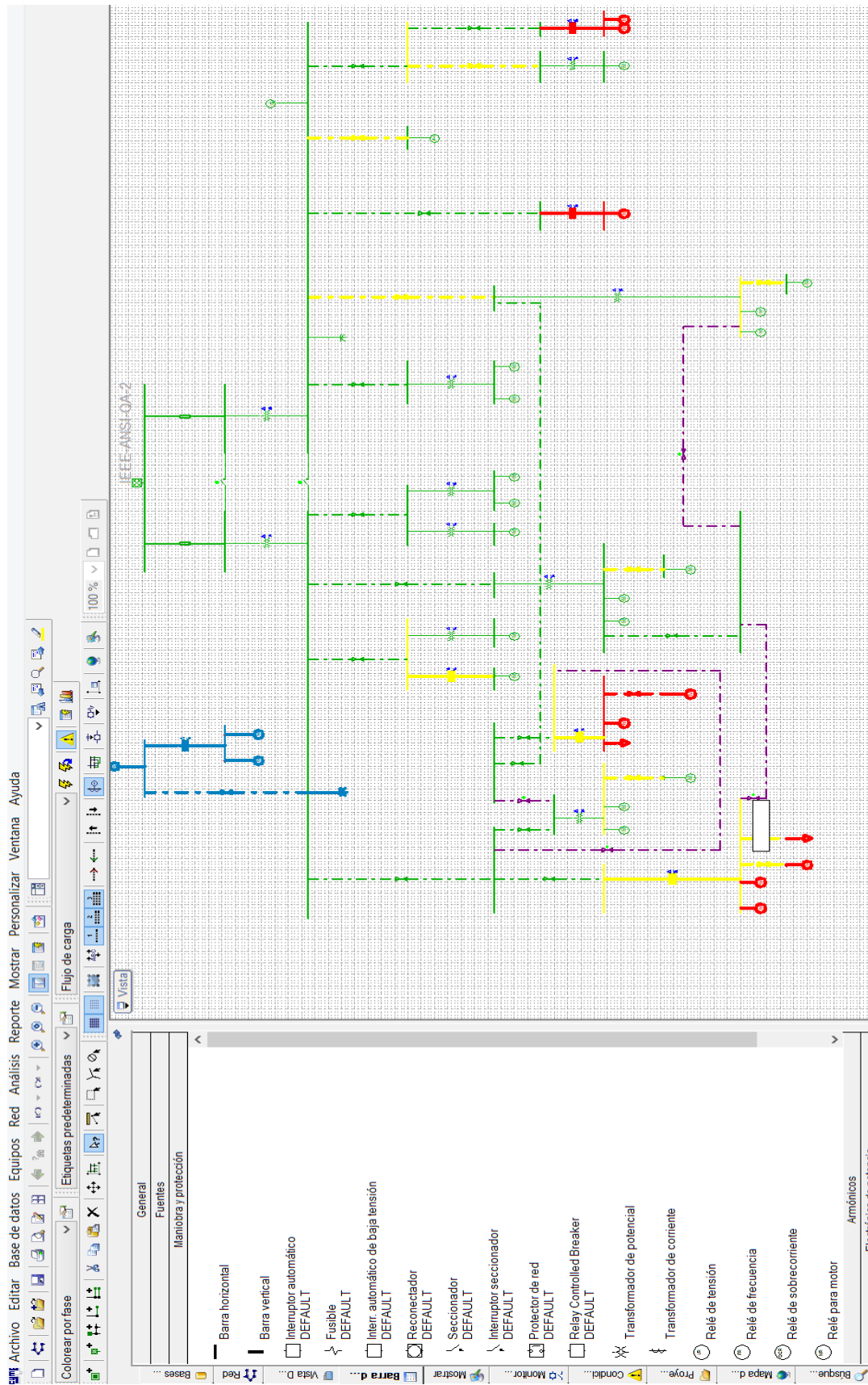


Figura 9. Barra de herramientas.

CAPÍTULO 3

3.1. MICRO-RED DEL CANTON GUALACEO.

3.1.1. *Descripción de la Micro-red planteada.*

En el cantón Gualaceo sector Sumbild, existe una mini central hidroeléctrica la cual actualmente se encuentra operada por ELECAUSTRO, en ella se genera aproximadamente 970kW, para llamar micro-red a la mini central hidroeléctrica de fuente renovable, esta deberá cumplir con los siguientes parámetros:

- Generar cierta cantidad de KW.
- Abastecer a los sectores y comunidades cercanas a la mini central.
- Asumir carga del alimentador de la subestación # 15 perteneciente a la Empresa Eléctrica Regional Centrosur, entidad distribuidora.
- Autoabastecerse.

Convirtiéndose así en una micro-red conformada por sistema híbrido combinado “generación renovable y generación convencional”.

Por otro lado en el trabajo investigativo se analizara su factibilidad mediante simulación, un sistema de almacenamiento de energía en horas valle y su debida descarga en horas pico, este sistema de almacenamiento estará compuesto de baterías electroquímicas de plomo-acido, conectadas en serie y paralelo de acuerdo a su carga, tendrán su respectivo regulador de voltaje, el cual evitara el envejecimiento de las baterías, y un inversor, este proporcionará energía alterna, el sistema de almacenamiento estará ubicado al inicio de la generación, en la casa de máquinas ya que existe el espacio adecuado para la instalación del sistema de baterías lo cual facilitará su monitoreo.

Siendo así que al operar como micro-red la mini central ayudara a garantizar energía de calidad, continuidad, reducir caídas de tensión y evitar el colapso del sistema eléctrico.

3.1.2. *Topología de Micro-red de medio voltaje.*

La red de medio voltaje de la micro-red partirá desde la casa de máquinas, hasta el punto final de transferencia que estará cerca de la subestación # 15, teniendo una longitud aproximada de 44 Km, su transporte de energía será por las líneas de medio voltaje del alimentador 1523, la topología del alimentador es un sistema trifásico a 4 hilos (fases A,B,C, con neutro.), su recorrido estará en algunos casos por vías de acceso sin ningún inconveniente, y por otro tendrá que recorrer por lomas y montañas, para dotar de servicio eléctrico.

3.1.3. *Valores nominales de operación de Micro-red de medio voltaje.*

Al diseñar y analizar la micro-red se deberá tener en cuenta los voltajes que la entidad distribuidora del servicio mantiene en el sector, para que facilite el enlace y permita aprovechar la generación de la misma.

En el caso estudio de la micro-red tiene una capacidad de 970kW a una frecuencia 60hz y con voltaje de 22kv, de tipo trifásico a 4 hilos (tres fases A, B, C, neutro.), con un calibre de conductor de 3/0 ACSR (aluminio con alma de acero), siendo de gran ayuda a la subestación #15, donde la micro-red asume carga del alimentador 1523 al enlazarse mediante seccionadores tipo cuchilla.

3.2. ALIMENTADOR 1523 RED DE MEDIO VOLTAJE.

3.2.1. Topología de Red de medio voltaje.

La red de distribución de medio voltaje nace desde la subestación # 15 hacia la parte oriental con una longitud aproximada de 178 Km (líneas trifásicas, bifásicas y monofásicas), teniendo su trayectoria por vías, carreteras, lomas y montañas, llegando así a lugares lejanos, tratándose de un sistema trifásico a 4hilos, con un conductor de calibre 3/0 ACSR para evitar caídas de tensión. En el Anexo 5 se presentará un plano del alimentador 1523.

3.2.2. Puntos de enlace o transferencia con alimentadores de la Subestación # 15.

En los sistemas de distribución eléctrica para formar un sistema sólido y robusto, se ha diseñado puntos de transferencia con alimentadores cercanos, puntos de enlace con la micro-red, y puntos de anillo con el mismo alimentador, esto ayuda a no comprometer todo el alimentador en casos de desconexión, ya sea por interrupciones programadas o por situaciones de emergencia, beneficiando de esta manera al usuario con la continuidad de energía eléctrica.

Los puntos de seccionamiento ayudaran a la suspensión en lugares puntuales, dejando sin servicio eléctrico a la menor cantidad de usuarios.

A continuación, se detallan algunos puntos de transferencia, anillo y enlace:

- Seccionador tipo cuchilla NA (Normalmente Abierto) transferencia con 1524 (por el momento está sirviendo con el 1521) en el sector de Quimzhi Agaloma.
- Seccionador fusible acompañado de cuchilla, formando bypass para transferencia y anillo, en el sector de Patul.
- Seccionadores tipo cuchilla para poner en anillo 1523 en Huazhalan Bajo.
- Seccionadores fusibles y cuchillas transferencia con 1522 castillo en el sector de Nocay
- Seccionador cuchilla tripolar transferencia con 1222, se realizará sin carga ya que las subestaciones 12 y 15 tienen inconvenientes para poner en paralelo alimentadores.
- Seccionador fusible acompañado de cuchillas formando bypass para enlace con micro-red, en el sector de Pisgaray.

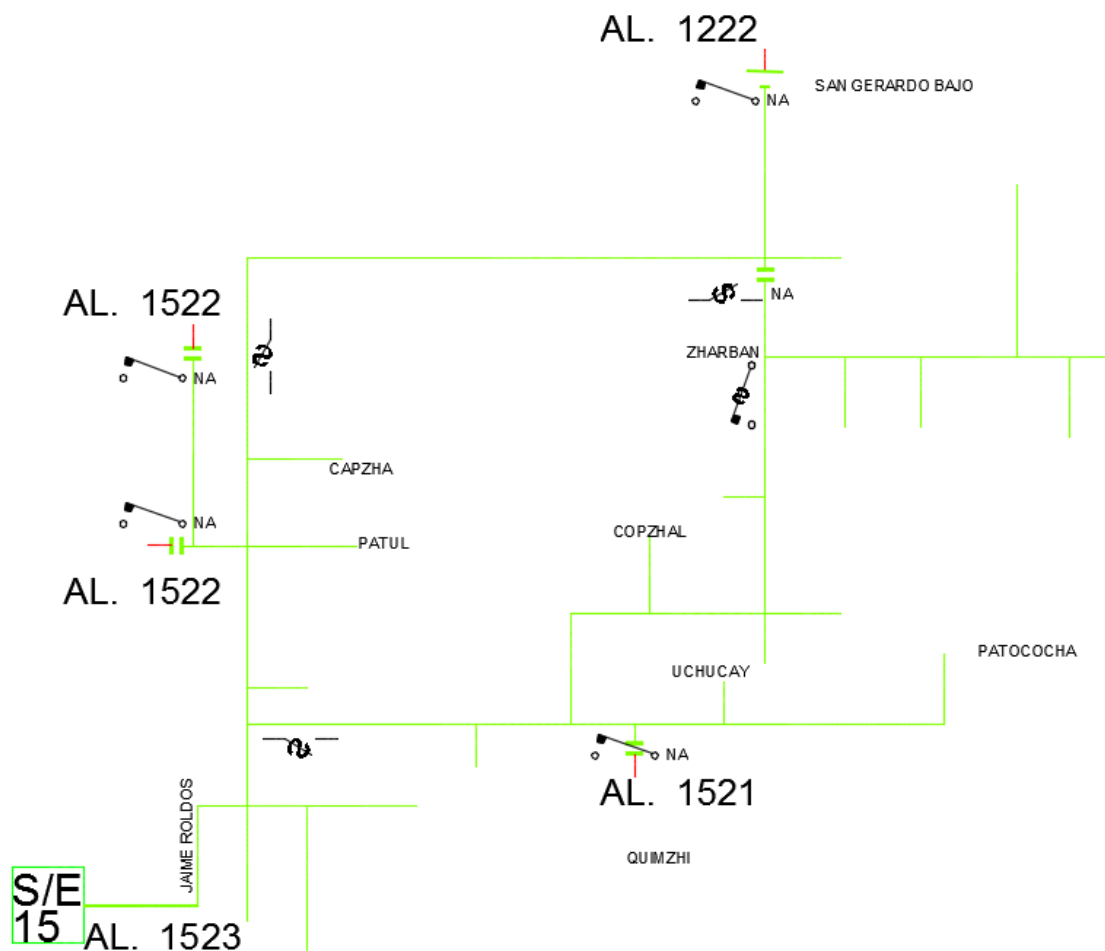


Figura 10. Diagrama unifilar de transferencias del Alimentador 1523.

3.3. ANÁLISIS DE CARGAS EN EL ALIMENTADOR 1523 DE LA MICRORED DE MEDIO VOLTAJE.

3.3.1. Cargas actuales.

En la siguiente tabla se ilustra la carga máxima presente en el alimentador 1523, tomada el día 13/07/2017, a las 19:15, considerando que el mes de Julio es el mes de mayor consumo durante el año 2017.

		kW.	kVAR.	VOLTAJE	FP	S/E 15	4.332.348
S/E 15	DMC	9.986	489	22009,00		1521	1.663.033
	DMNC	10.212	611			1522	1.401.319
	1521	4.263	292	22051,00	0,28	1523	1.267.358
	1522	2.910	60	22009,00	0,42	1524	0
	1523	3.039	259	22121,00	0,31	Cons. Int.	639

Tabla 3. Carga máxima el 13/07/2017.

DMC.- Demanda máxima coincidente.

DMNC.- Demanda máxima no coincidente.

En la Figura 11, se presenta la curva de carga perteneciente al mes de Julio, en donde se aprecia que el 31/07/2017 es el día de mayor consumo (177664 kW) y el 24/07/2017 es el día de menor consumo (133970 kW).

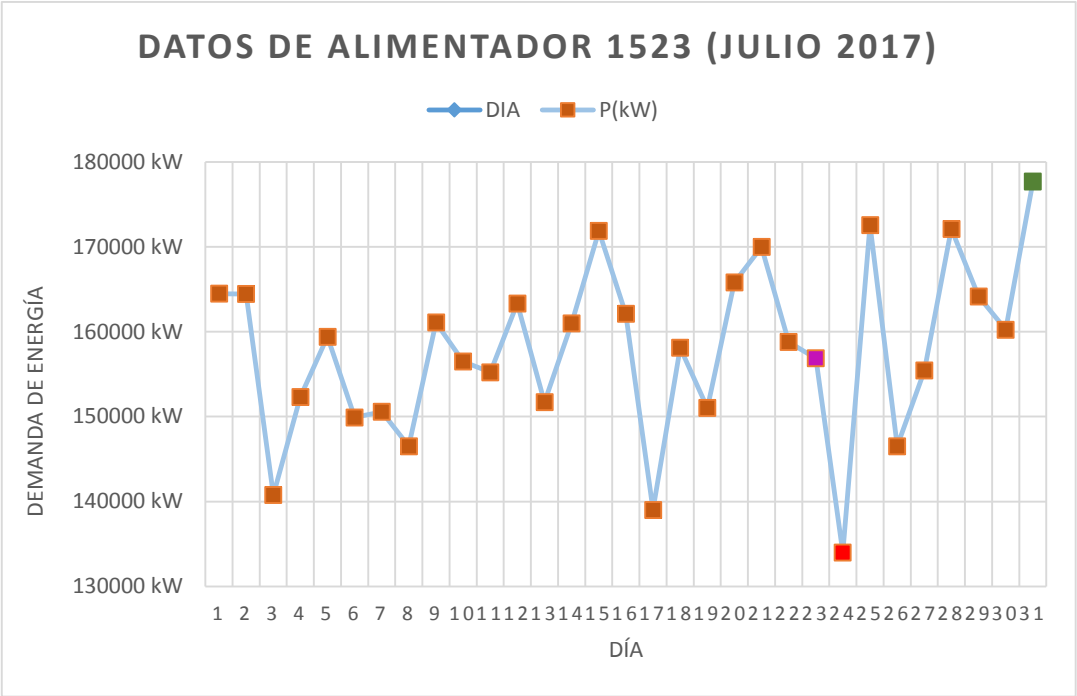


Figura 11. Curva de carga del mes de Julio (kW).

En la Figura 12 se presenta las mediciones realizadas en intervalos de 15 minutos, el día de mayor (31/07/2018) y de menor (24/07/2018) consumo.

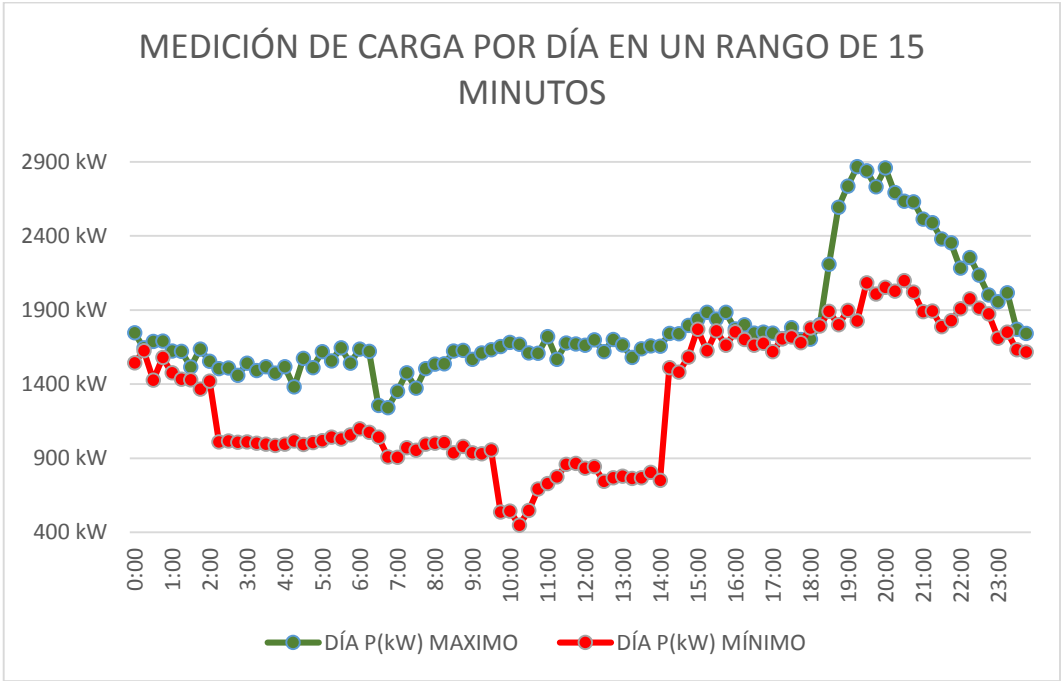


Figura 12. Curva de potencia P (kW)

3.3.2. Cargas futuras.

De acuerdo a la trayectoria de la red existente y a la evolución de la tecnología se estima un incremento de carga en 20 % a 30 % de su carga actual, en un horizonte de 10 años de acuerdo a información proporcionada por la Zona 2 de Centrosur departamento encargado del alimentador 1523.

Este incremento se dará por:

- Estudios para repotenciaciones en varios sectores que forman parte del alimentador para mejorar el servicio eléctrico.
- Implementación de las cocinas de inducción.
- Aparición de vehículos eléctricos.
- Incremento de vías y de población en general (Alumbrado Público).

3.3.3. Cargas en horas pico.

Las cargas en horas pico están dadas en la mañana (6am a 9am), tarde (12pm a 2pm) y noche (6pm a 10pm), donde existe una gran demanda de energía, alcanzando niveles de trabajo elevados, tomando en cuenta las siguientes horas y el día de mayor consumo se tiene la siguiente curva de carga.

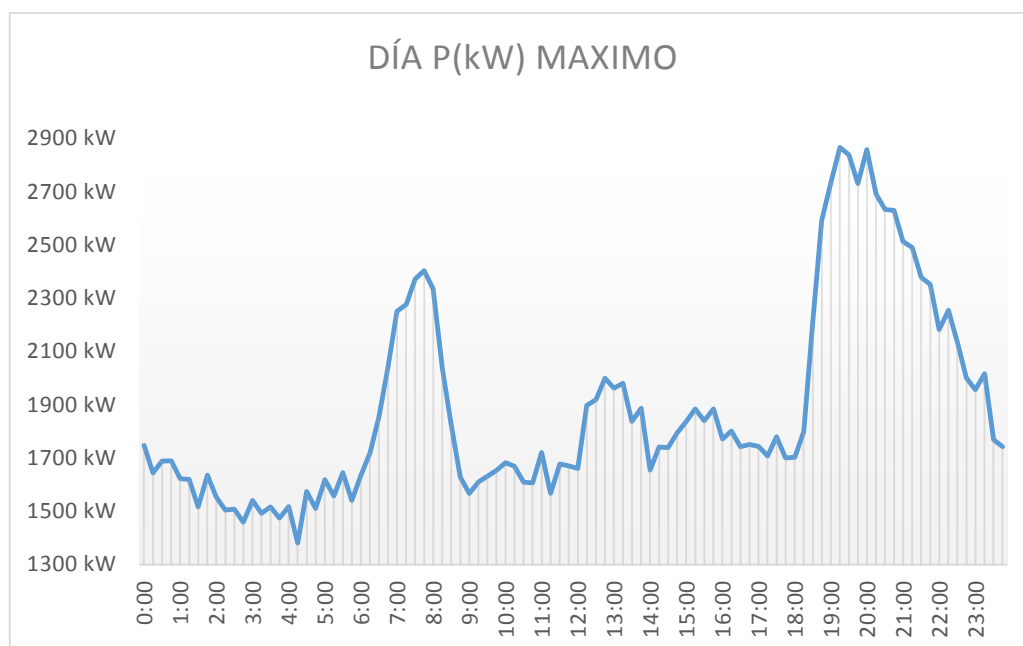


Figura 13. Ejemplo de carga en horas pico.

3.3.4. Cargas en horas valle.

En las horas valle se evidencia una demanda menor a la de las horas pico, en donde se puede almacenar 1000kW de energía aproximadamente, por lo que no existe un mayor consumo, para ello se ha obtenido una gráfica de la carga de un día de menor demanda de consumo. Figura 14.



Figura 14. Ejemplo de carga en horas valle.

3.4. DESCRIPCIÓN DE PRUEBAS.

3.4.1. Alimentador 1523 conectado solo a la Subestación # 15.

En la primera prueba se abre el interruptor en la salida de la generación de la micro-red, de tal manera que no proporcione energía al alimentador 1523, luego se realiza el cierre de interruptor en la subestación 15, quedando energizado el alimentador 1523, se procede a correr flujos de cargas y se puede observar los valores de voltaje, corrientes, y potencias para ello se toma la configuración de la Figura 15 como base.

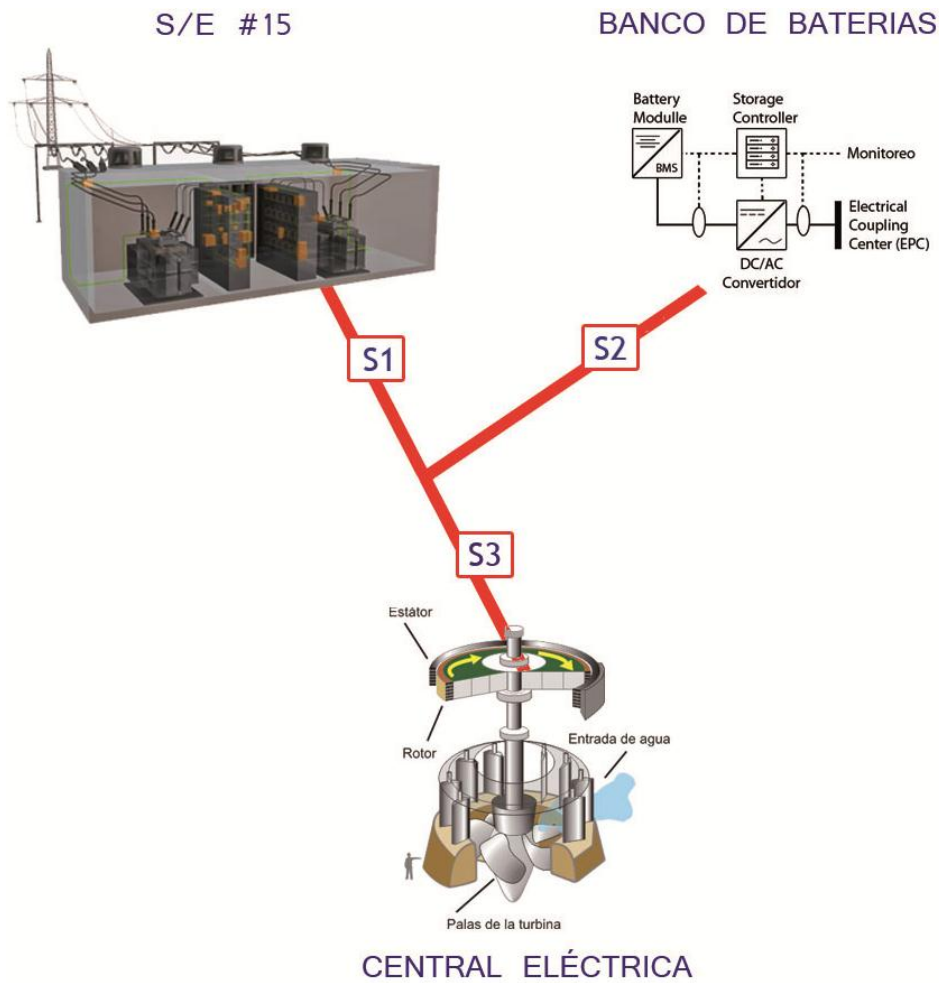


Figura 15. Esquema base.

La Figura 16 muestra el cuadro de configuración del interruptor de la subestación 15 donde se procede a colocar en modo CONECTADO para realizar la simulación.

Interruptor automático - En el nudo de origen			
Nombre:	3I1250_150V		Fallas...
Número:	1523		
Estado:	Conectado		<input checked="" type="checkbox"/> Reversible
Ubicación:	En el nudo de origen		Etapa: No definido

Figura 16. Cuadro de propiedades del interruptor de la subestación.

La Figura 17 muestra el cuadro de configuración del generador de la mini central la cual se procede a colocar en modo DESCONECTADO de tal manera que la red estará conectado directamente de la subestación 15.

Generador síncrono

Nombre:

Número:

Estado:

Ubicación:

Etapa:

Figura 17. Cuadro de propiedades del generador de la mini central.

La Figura 18 muestra los valores de carga, voltajes y corrientes en el generador de la mini central, en la cual se verifica que está desconectado ya que sus valores de corriente y potencias están en 0.

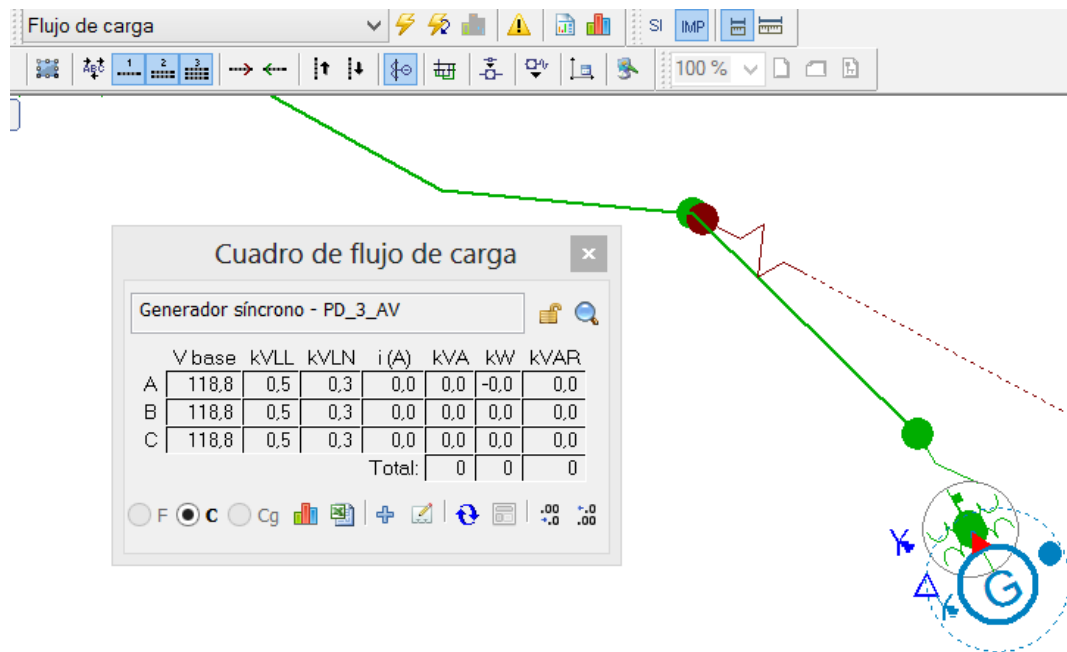


Figura 18. Valores en el generador de la mini central.

La Figura 19 muestra los valores de carga, voltajes y corrientes en el interruptor de la subestación 15, en la cual se verifica que está conectado ya que sus valores de corriente en las fases A, B, C, varía entre 70 a 91 amperios, y potencias totales 3053kVA, 3052 kW, -81kVAR.

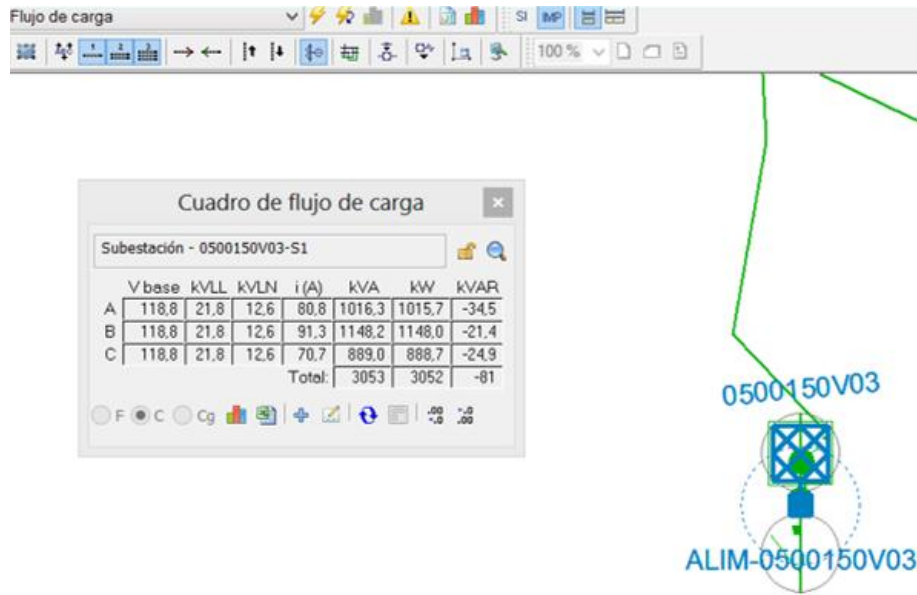


Figura 19. Valores en cabecera del alimentador 1523.

En la Figura 20 muestra los valores de carga, voltajes y corrientes en el punto más lejano de la red de distribución, en el cual existe caída de tensión mínimo, esto en condiciones de flujo de carga normal, trabajando al 100% de potencia, al estar conectado solo a la subestación 15.

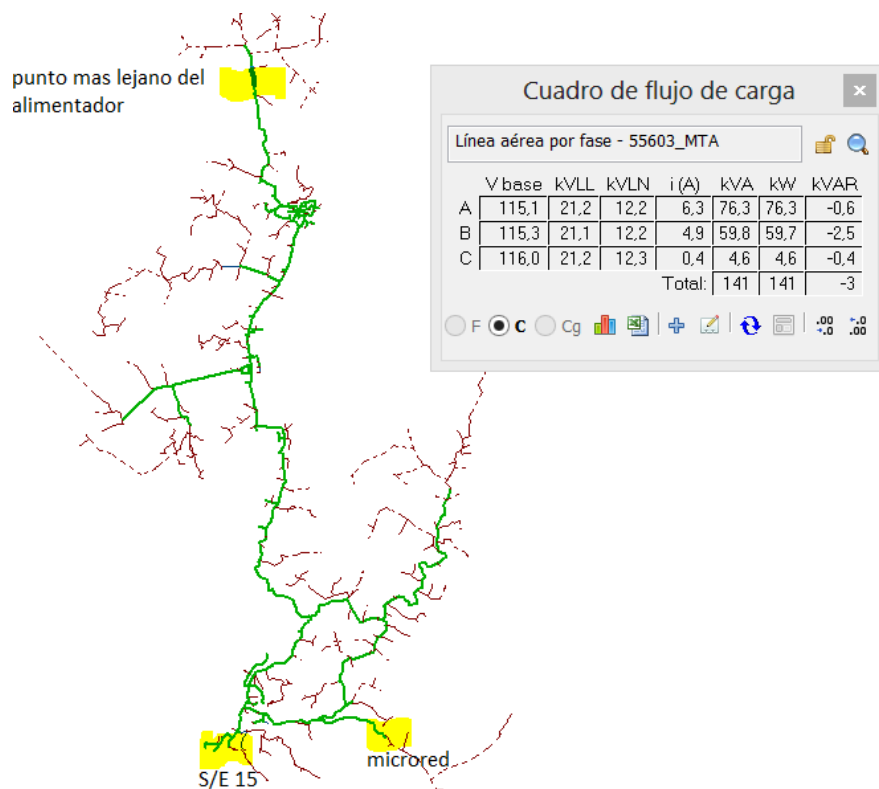


Figura 20. Valores en el punto lejano del alimentador 1523 en condición normal.

En la Figura 21 se procederá a incrementar las potencias (P y Q) que se estima a un futuro y se procederá a ejecutar la simulación.

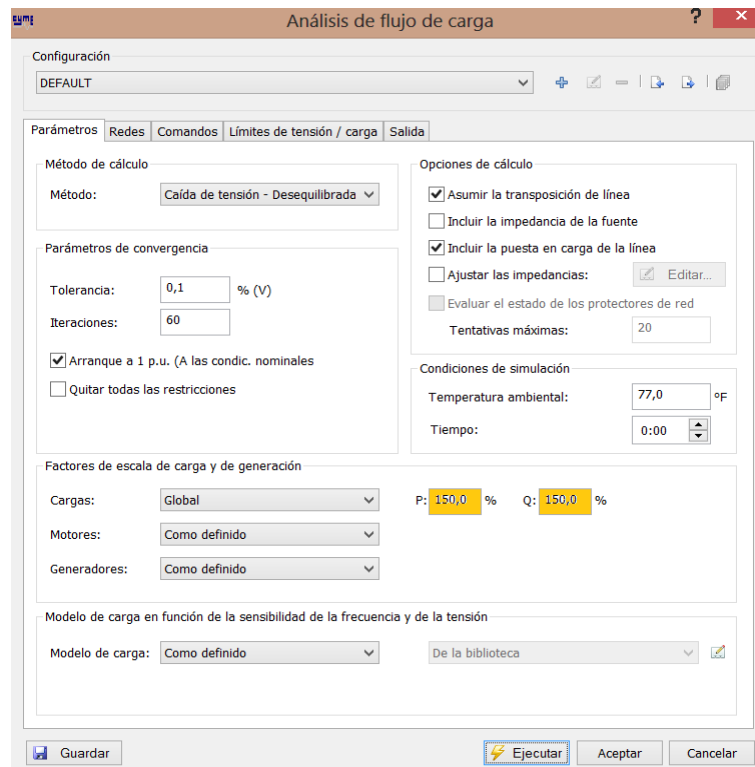


Figura 21. Cuadro propiedades para correr flujos de carga.

En la Figura 22 se puede observar que al incrementar el flujo de carga ya existe caída de tensión que afecta a los consumidores.

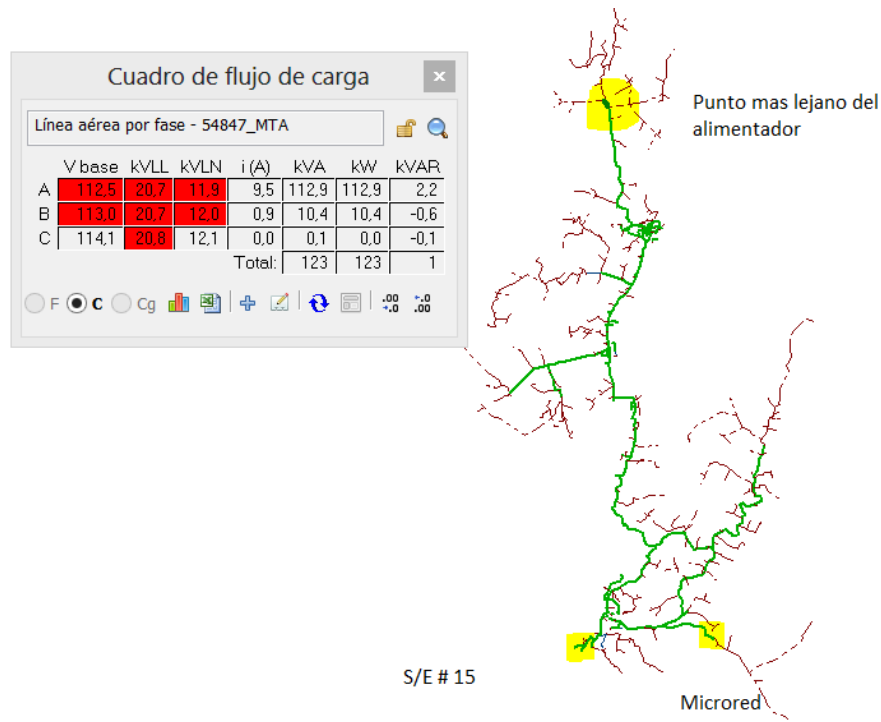



Figura 22. Valores en el punto lejano del alimentador 1523 aumentando carga.

En la Figura 23 se verifica de forma visual el estado en la que se encuentra la red simulada al presionar el icono .

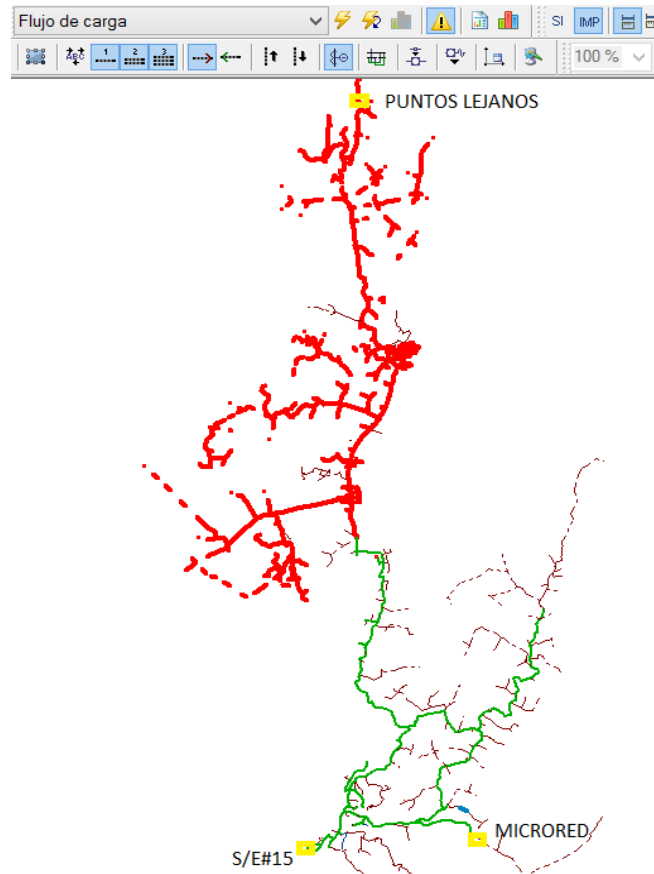


Figura 23. Condición de red con aumento de carga.

Al verificar la condición de red se puede observar como se ve afectada la mayor parte de la red de distribución al operar solo la subestación 15.

3.4.2. Alimentador 1523 como Micro-red.

En esta segunda simulación, se realiza de forma contraria a la primera simulación es decir, se desconecta el Interruptor de la subestación y se conecta el generador de la mini central al alimentador 1523.

La Figura 24 muestra el cuadro de configuración del interruptor de la subestación 15 donde se procede a colocar en modo DESCONECTADO para realizar la simulación.

Interrupor automático - En el nudo de origen

Nombre: 3I1250_150V Fallas...

Número: 1523

Estado: Desconectado Reversible

Ubicación: En el nudo de origen Etapa: No definido

Figura 24. Cuadro de propiedades del interruptor de la subestación.

La Figura 25 muestra el cuadro de configuración del generador de la mini central la cual se procede a colocar en modo CONECTADO de tal manera que la red estará operando como micro-red.

Generador síncrono

Nombre: MINICENTRAL_GUALACEO Fallas...

Número: PD_3_AV

Estado: Conectado

Ubicación: Etapa: No definido

Figura 25. Cuadro de propiedades del generador de la mini central.

La Figura 26 muestra los valores de carga, voltajes y corrientes en el generador de la mini central, en la cual se verifica que está conectado ya que la corriente en las fases A, B, C, varía entre 3582.2 a 41171.1 amperios, potencias totales 3183kVA, 3144 kW, 500 kVAR.

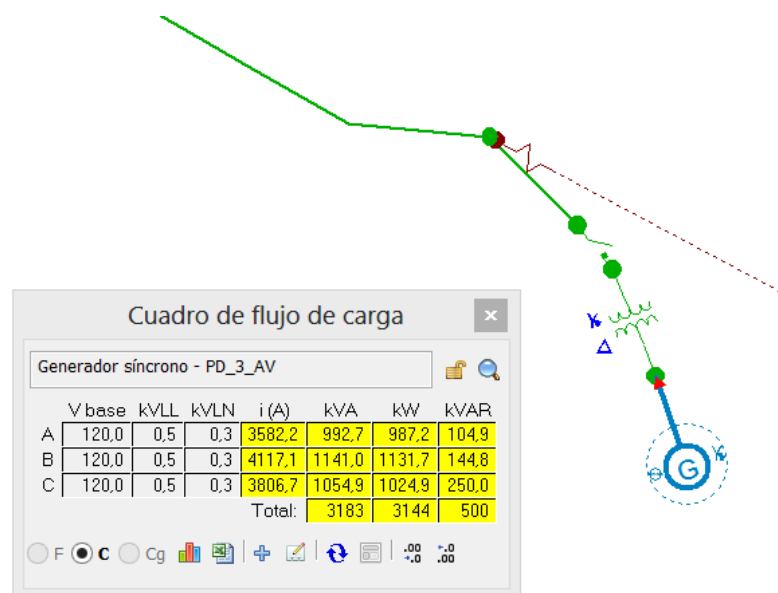


Figura 26. Valores en el generador de la mini central.

La Figura 27 muestra los valores de carga, voltajes y corrientes en el interruptor de la subestación 15, en la cual se verifica que está desconectado ya que sus valores de corriente y potencias están en 0.

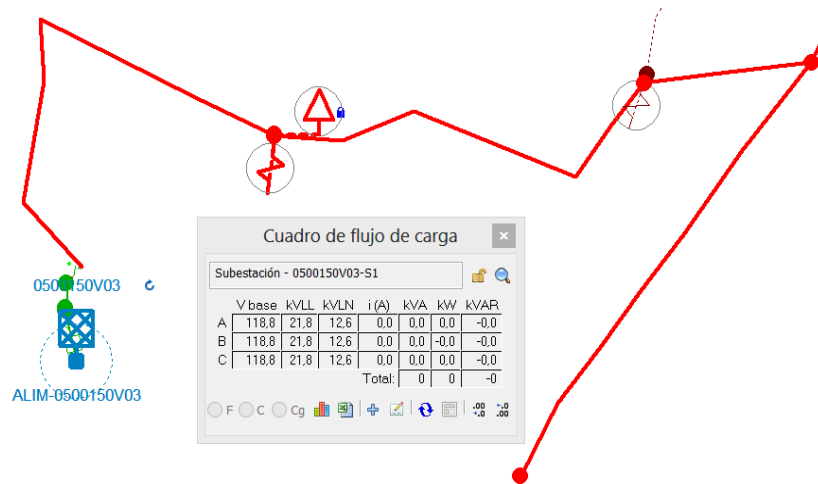


Figura 27. Valores en cabecera del alimentador 1523.

En la Figura 28 muestra el estado de red y los valores de carga, voltajes y corrientes en el punto más lejano de la red de distribución, en el cual existe caída de tensión en la mayor parte de la red, esto en condiciones de flujo de carga normal, trabajando al 100% de potencia al operar como micro-red.

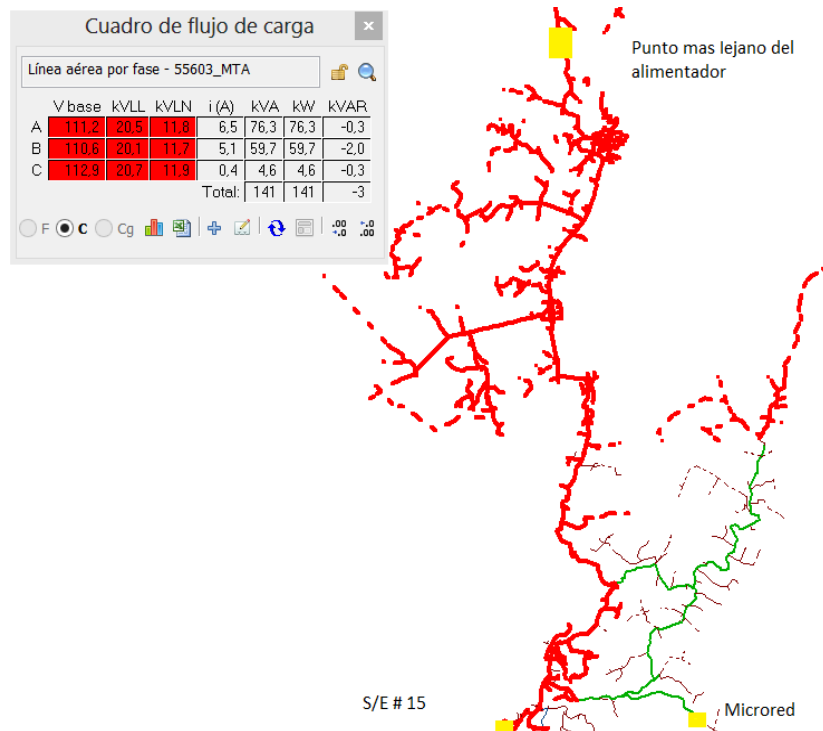


Figura 28. Valores y condiciones en el punto lejano de la red en condición normal

También se puede observar en la Figura 28 que los usuarios más cercanos a la mini central están con menor caída de tensión a comparación de los usuarios al medio y extremo de la línea eléctrica, pues bien es cierto que se trata de una mini central por que no podrá abastecer a todo el alimentador sino más bien asume parte de ella para ayudar a la subestación 15.

Al momento de elevar la potencia consumida estimada a futuro, y al correr el flujo de carga en el alimentador, se aprecia una caída de tensión en todo el alimentador que ya afecta a los consumidores, ya no solo en puntos lejanos sino cerca de la micro-red. Figura 29.

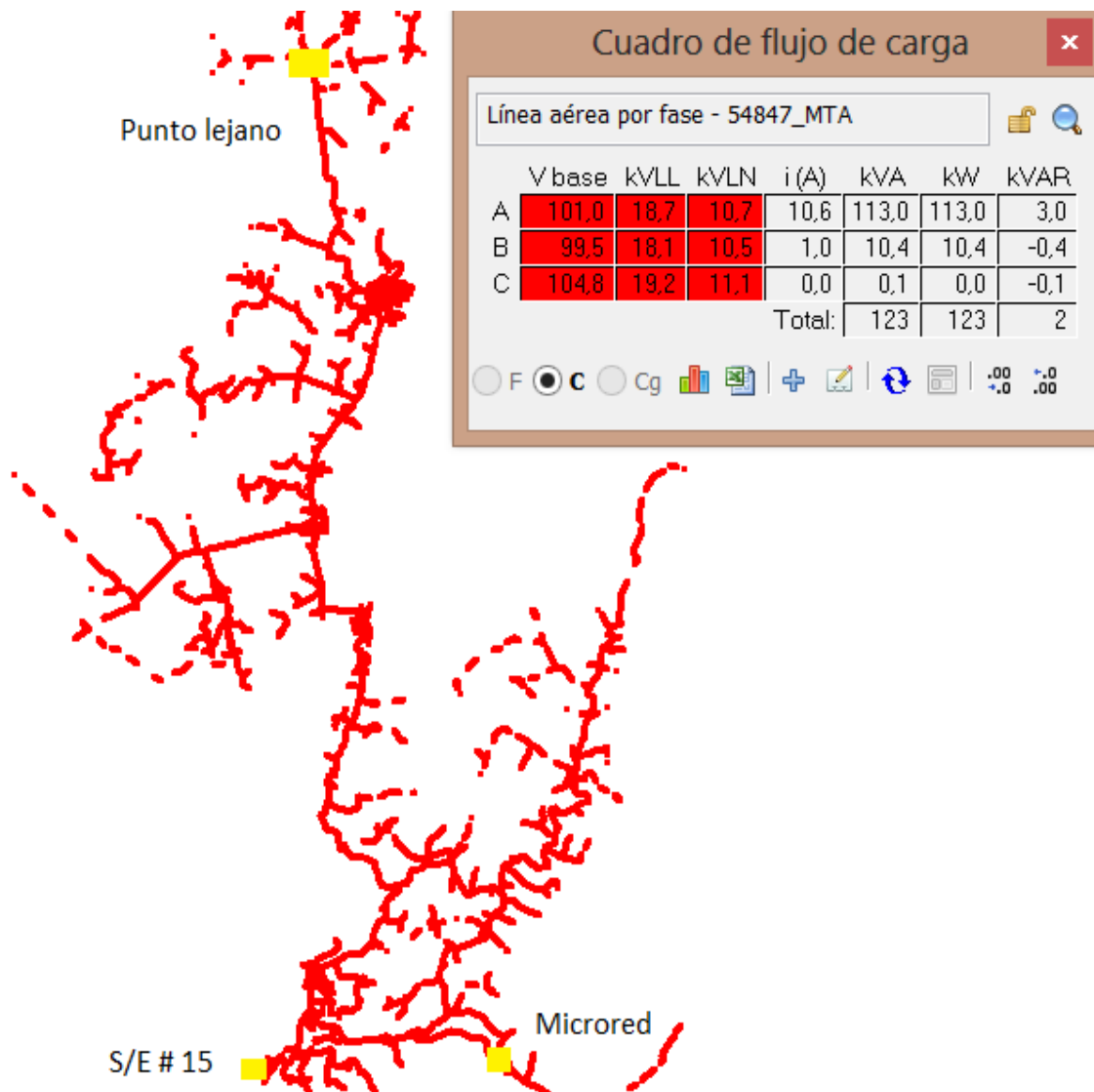


Figura 29. Valores y condiciones en el punto lejano de la red eléctrica aumentando carga.

Al verificar la condición de red se puede observar como se ve afectada toda la red de distribución al operar como micro-red.

3.4.3. Alimentador 1523 en paralelo con Micro-red y Subestación # 15.

En primera instancia para esta prueba en caso práctico se deberá tener en cuenta que las dos fuentes de energía estén trabajando a los mismos niveles de tensión y cuenten con la misma secuencia de fases.

Para la simulación se deberá cambiar los estados de conexión de la siguiente manera:

La Figura 30 muestra el cuadro de configuración del interruptor de la subestación 15 donde se procede a colocar en modo CONECTADO para realizar la simulación.

Interruptor automático - En el nudo de origen	
Nombre:	3I1250_150V
Número:	1523
Estado:	Conectado
Ubicación:	En el nudo de origen
Etapa: No definido	
<input checked="" type="checkbox"/> Reversible	
<input type="button" value="Fallas..."/>	

Figura 30. Cuadro de propiedades del interruptor de la subestación.

La Figura 31 muestra el cuadro de configuración del generador de la mini central la cual se procede a colocar en modo CONECTADO de tal manera que la red estará operando en paralelo con la subestación 15.

Generador síncrono	
Nombre:	MINICENTRAL_GUALACEO
Número:	PD_3_AV
Estado:	Conectado
Ubicación:	
Etapa: No definido	

Figura 31. Cuadro de propiedades del generador de la mini central.

La Figura 32 muestra los valores de carga, voltajes y corrientes en el generador de la mini central, en la cual se verifica que está conectado ya que la corriente en las fases A, B, C, varía entre 1097.0 a 1097.2 amperios, potencias totales 912kVA, 908 kW, 83 kVAR.

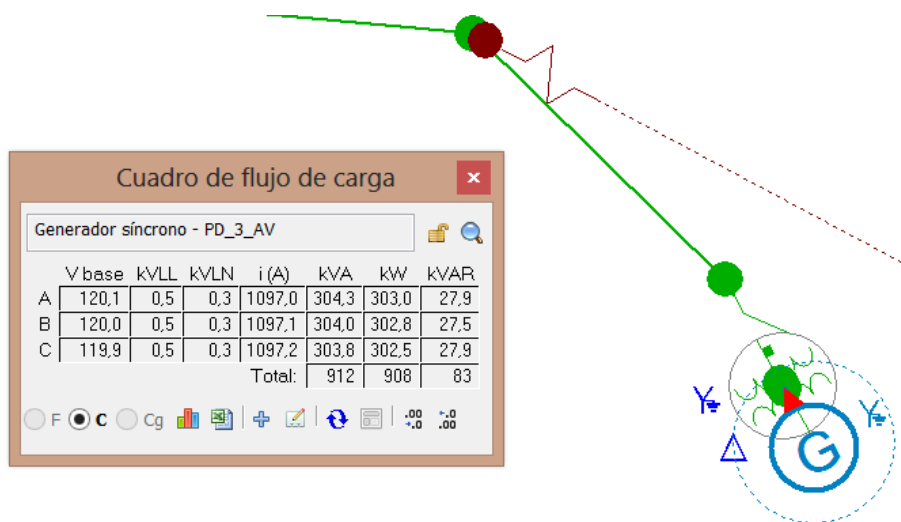


Figura 32. Valores en el generador de la mini central.

La Figura 33 muestra los valores de carga, voltajes y corrientes en el interruptor de la subestación 15, en la cual se verifica que está conectado ya que la corriente en las fases A, B, C, varía entre 44.0 a 64.4 amperios, potencias totales 2045kVA, 2040 kW, -137kVAR.

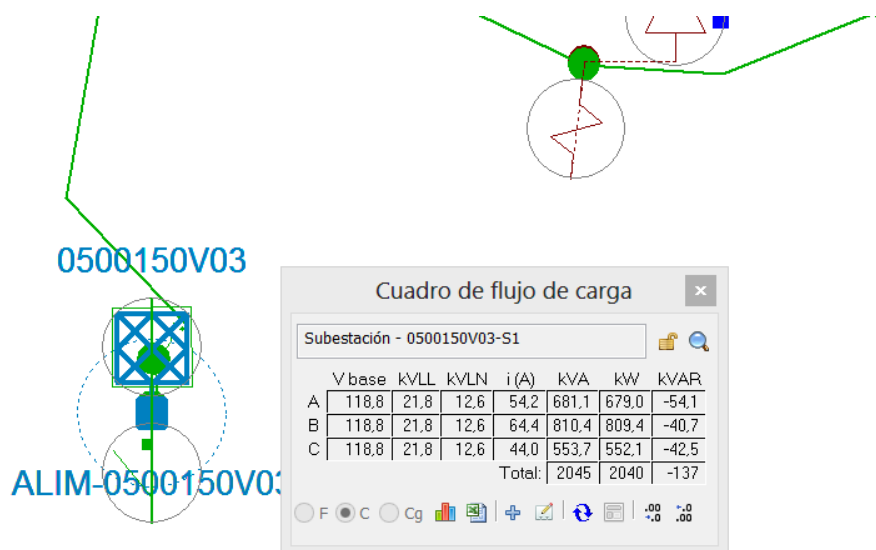


Figura 33. Valores en cabecera del alimentador 1523.

En la Figura 34 muestra los valores de carga, voltajes y corrientes en el punto más lejano de la red de distribución, en el cual existe caída de tensión mínimo, esto en condiciones de flujo de carga normal, trabajando al 100% de potencia, al estar conectado en paralelo la micro-red y la subestación 15.

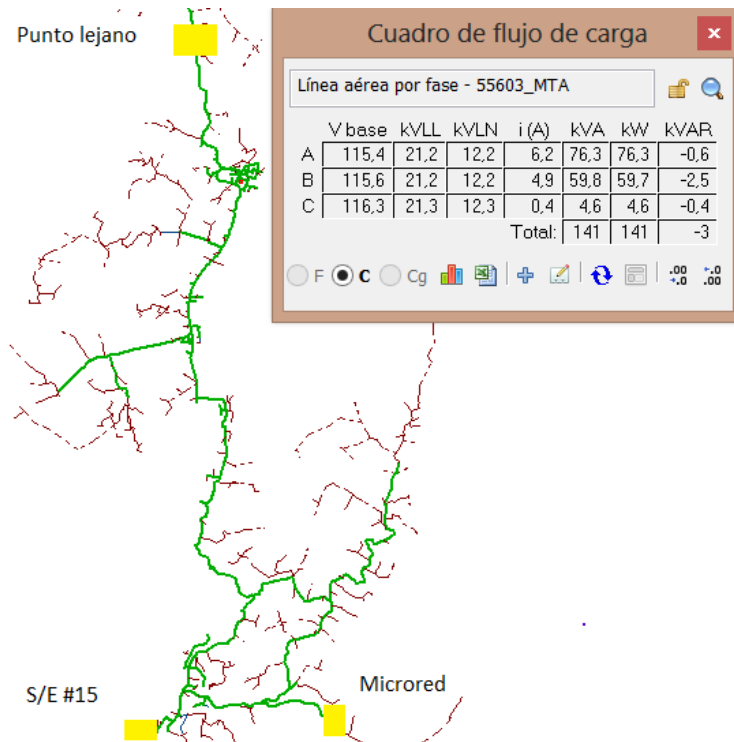


Figura 34. Valores y condiciones en el punto lejano de la red en condición normal.

En la Figura 35 muestra el estado de red y los valores de carga, voltajes y corrientes en el punto más lejano de la red de distribución, en condición de incremento del flujo de carga al operar en paralelo la subestación 15 y la micro-red.

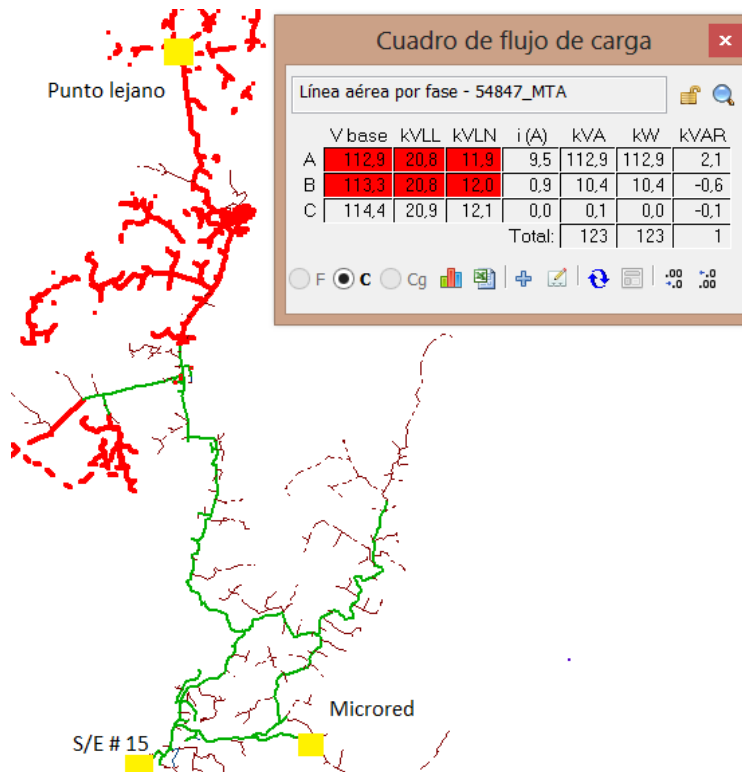


Figura 35. Valores y condiciones en el punto lejano de la red eléctrica aumentando carga.

Al finalizar esta prueba se observa que no mejora en su totalidad la calidad de energía, pero si una parte, considerando que la mini central es pequeña a comparación de la carga que tiene el alimentador 1523, por ende, la que asume más carga será la subestación # 15.

3.5. SIMULACION DE USO DE BATERIAS EN MICRO-RED DE MEDIO VOLTAJE.

3.5.1. Alimentador 1523 como Micro-red más Baterías en medio voltaje.

Al iniciar esta prueba se debe tener en cuenta los valores nominales de tensión, secuencia de fases del alimentador y micro-red, los cuales, deberán ser los mismos para que exista su enlace adecuado y sin daños a los equipos.

Las baterías a usar serán electroquímicas de plomo ácido, ya que tienen un perfil que sobre sale en electrolitos para su almacenamiento de energía con una eficiencia comprendida entre 60% a 95%, con capacidad máxima de almacenamiento de 10 MW, y con carga máxima de 40 MWh y una descarga de 1500 kW, son muy rápidas ante cargas, ayudan en la estabilidad de la red y no son muy costosas. (Gil Mera, 2010)

Las baterías serán ubicadas de tal manera que garanticen su ayuda en horas pico y mejoren la calidad del servicio eléctrico, para lo cual se realizarán pruebas colocando el sistema de almacenamiento en varios puntos de la red, hasta verificar el rendimiento óptimo del mismo, el tamaño se determinara de acuerdo a su carga y dependiendo de los resultados obtenidos comprobaremos su factibilidad.

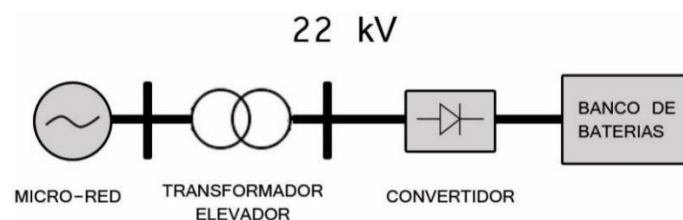


Figura 36. Esquema conexión de baterías y micro red.



Figura 37. Ejemplo de conexión de baterías.

Al realizar la simulación con el banco de baterías se procede a configurar de la misma manera que está en la Figura 30 y 31, más la configuración del banco de baterías como muestra la Figura 38, la cual se procede a colocar en modo CONECTADO de tal manera que la red estará funcionando en paralelo con: la subestación 15, la micro-red y el sistema de almacenamiento.

Figura 38. Cuadro de propiedades del sistema de almacenamiento.

En la Figura 39 muestra el cuadro del análisis de distribución de carga en el cual se procederá a usar el método de kVA reales, como bien se tiene los datos precisos de demanda del alimentador Tabla. 3.

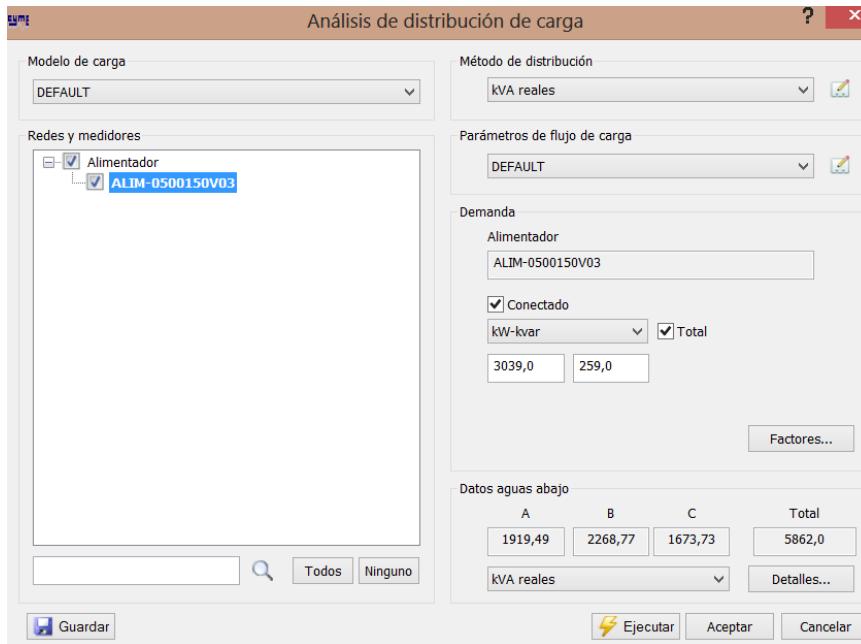


Figura 39. Cuadro de propiedades de distribución de carga máxima.

En la Figura 40 muestra el cuadro del análisis de flujo de carga con perfiles, en el que se permite realizar la prueba con el día de mayor consumo que se representó en la Figura 11 en intervalos de 60 minutos para obtener datos más acertados en la simulación.

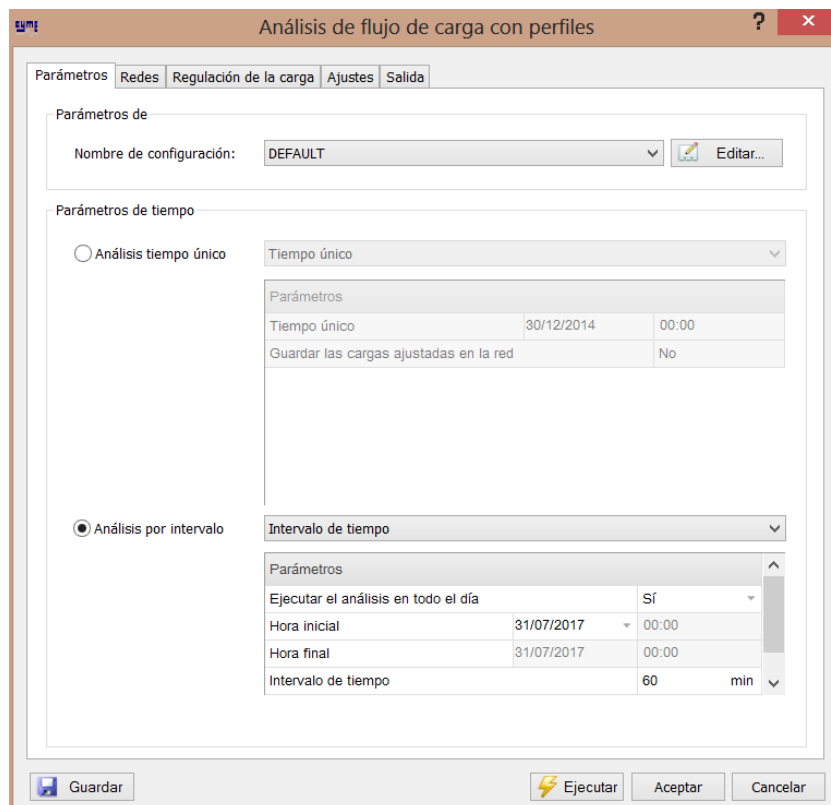


Figura 40. Cuadro de propiedades de flujo de carga del día con mayor demanda.

En la Figura 41 muestra los sistemas de almacenamiento instalados en la red eléctrica. En la simulación se ve la factibilidad que se instale el banco de batería en el tramo 109368.

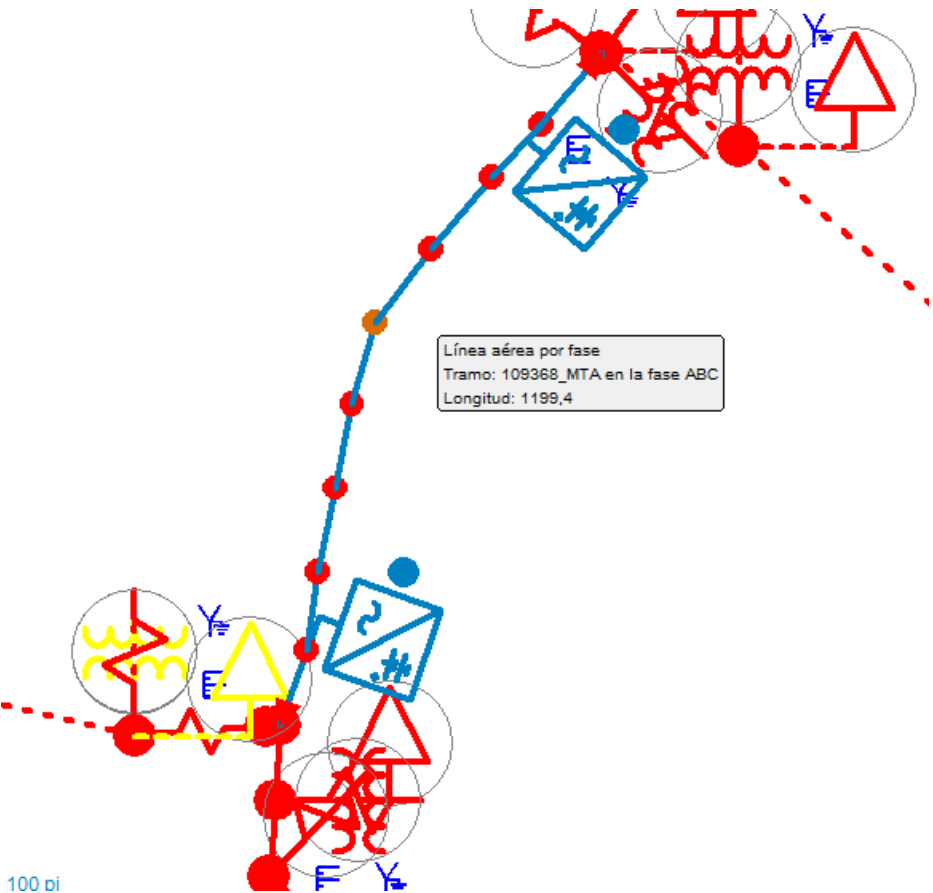


Figura 41. Instalación de los bancos de batería en la línea de Medio Voltaje tramo 109368.

La Figura 42 muestra los valores de carga, voltajes y corrientes en el generador de la mini central, en la cual se verifica que está conectado ya que la corriente en las fases A, B, C, varía entre 1103.1 a 1100.7 amperios, potencias totales 915 kVA, 908 kW, 108 kVAR.

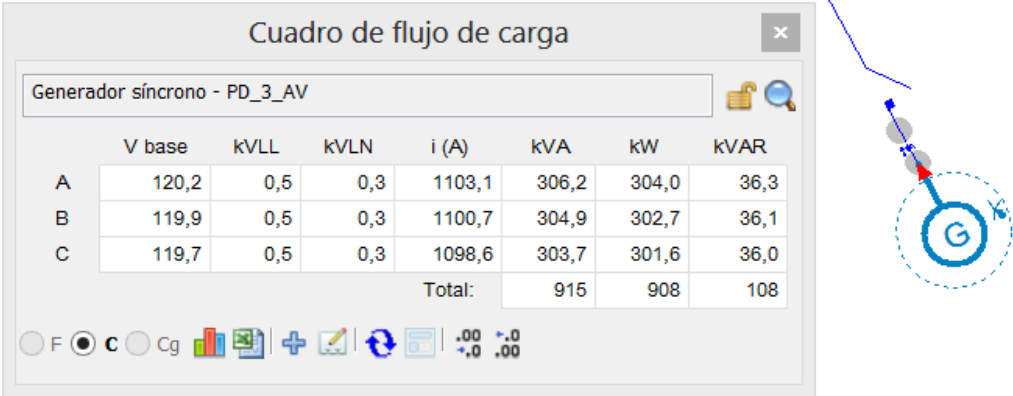


Figura 42. Valores en el generador de la mini central.

La Figura 43 muestra los valores de carga, voltajes y corrientes en el interruptor de la subestación 15, en la cual se verifica que está conectado ya que la corriente en las fases A, B, C, varía entre 33.4 a 82.3 amperios, potencias totales 2138 kVA, 2131 kW, 181 kVAR.



Figura 43. Valores en cabecera del alimentador 1523.

La Figura 44 muestra los valores de carga, voltajes y corrientes en el sistema de almacenamiento, en la cual se verifica que está conectado ya que la corriente en las fases A, B, C, varía entre 33.4 a 82.3 amperios, potencias totales 2138 kVA, 2131 kW, 181 kVAR.

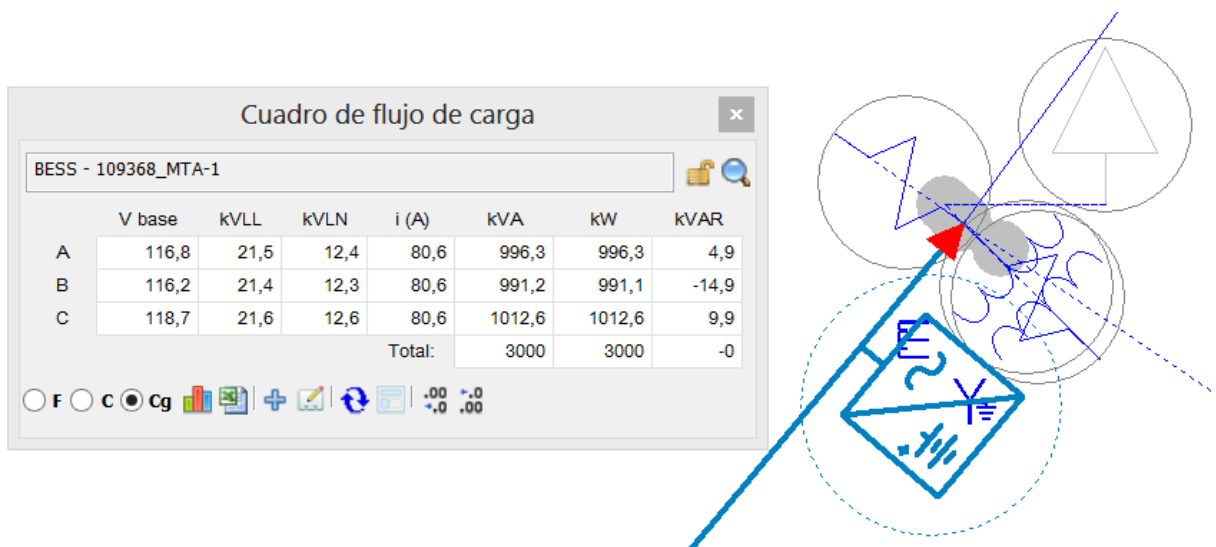


Figura 44. Valores en el banco de baterías.

En la Figura 45 muestra los valores de carga, voltajes y corrientes en el punto más lejano de la red de distribución, en el cual ya no existe caída de tensión considerable, esto en condiciones de flujo de carga normal, trabajando al 100% de potencia, al estar conectado en paralelo la micro-red, la subestación 15 y sistema de almacenamiento.

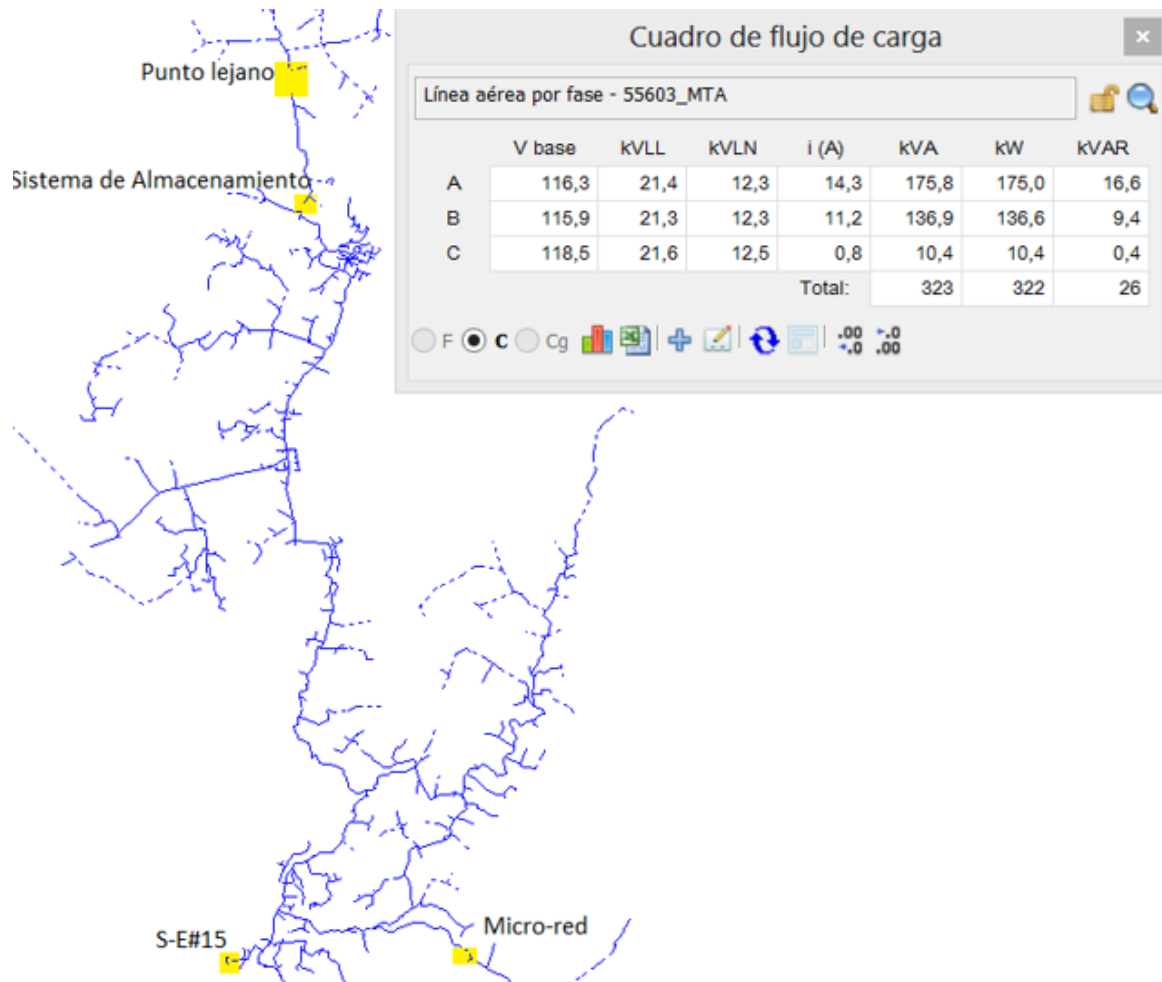


Figura 45. Valores y condiciones en el punto lejano de la red en condición normal.

En la Figura 46 muestra el estado de red y los valores de carga, voltajes y corrientes en el punto más lejano de la red de distribución, en condición de incremento del flujo de carga al operar en paralelo la subestación 15, la micro-red y el sistema de almacenamiento.

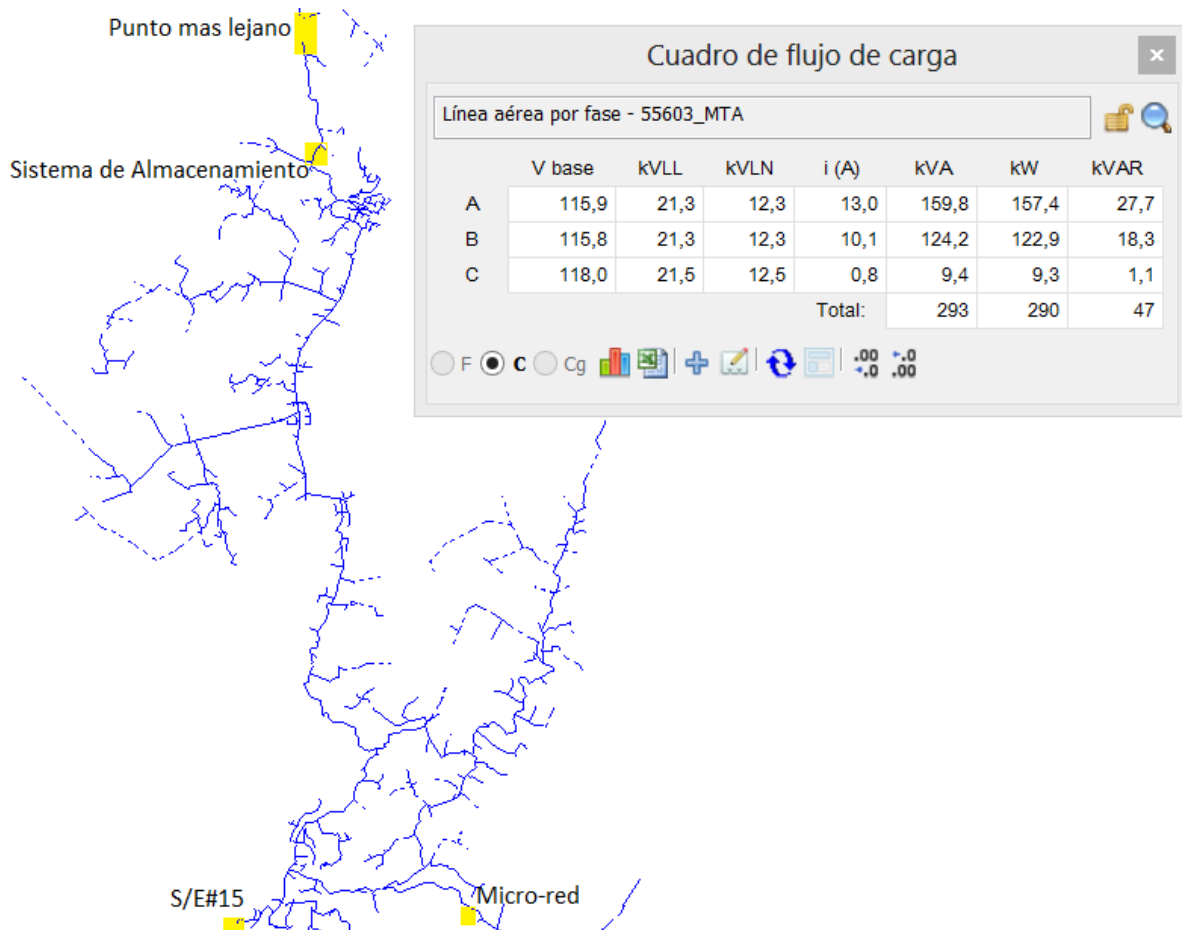


Figura 46. Valores y condiciones en el punto lejano de la red eléctrica aumentando carga.

Como se pueden observar en las simulaciones de las Figuras 45 y 46 al estar conectados dos bancos de baterías (Figura 41) con una potencia de 30000 kWh de almacenamiento cada una, ya no existen anomalías en la red. Es importante notar que este valor es semejante al de la subestación, lo cual implica que la red funcionaria en condiciones normales, sin embargo no es práctico debido a su elevado valor económico y a la existencia de la fuente primaria proveniente de la subestación.

En lo que se puede observar de la Figura 47, de acuerdo a la curva de máxima y mínima demanda se podrá almacenar energía generada en el periodo de tiempo comprendido entre 2am a 2pm, para luego ser devuelta en horas pico, considerando un rango crítico la noche (6pm a 10pm).

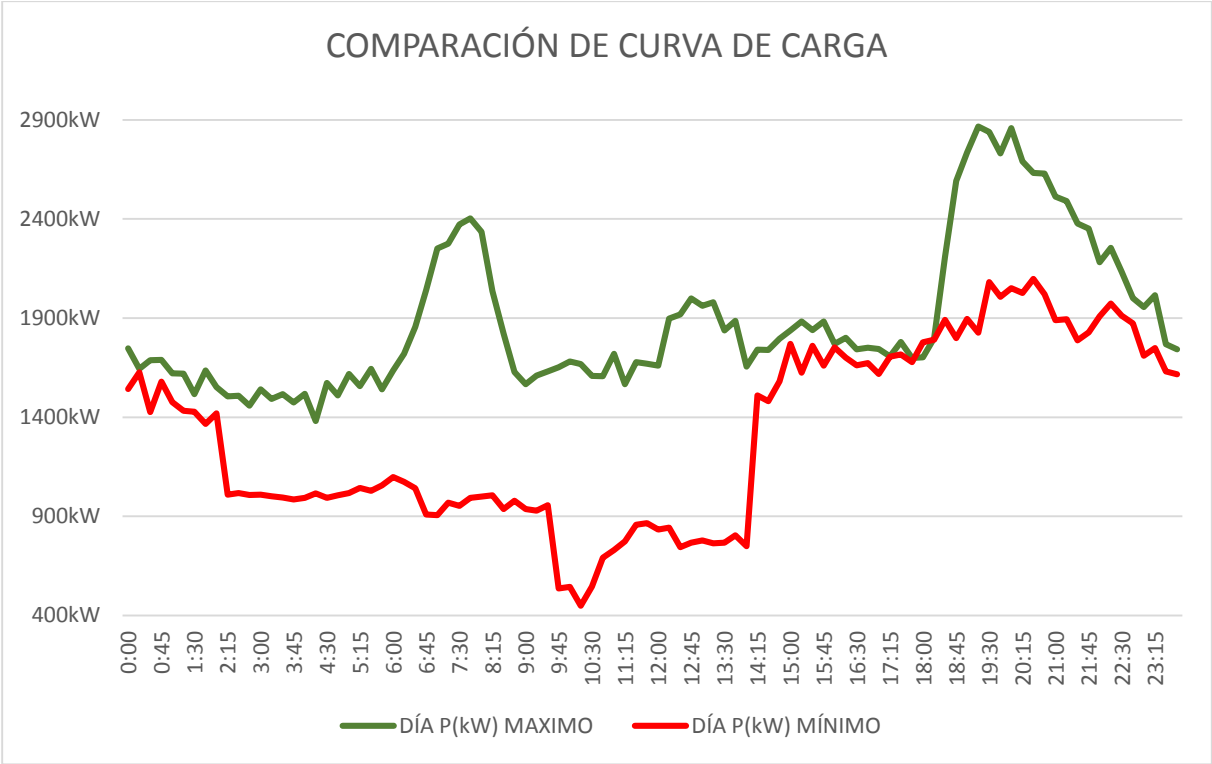


Figura 47. Comparación de curva de carga.

CAPITULO 4

4.1. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN.

En el capítulo 3 se realizaron pruebas con valores de flujo de potencia, en condición normal (100%), así también considerando un incremento de potencia a futuro (150%), en los siguientes escenarios tales como:

Simulación 1.- Alimentador 1523 conectado a la S/E #15.

Simulación 2.- Alimentador 1523 como micro-red.

Simulación 3.- Alimentador 1523 conectado en paralelo S/E #15 y micro-red.

Simulación 4.- Alimentador 1523 conectado en paralelo S/E #15 y micro-red más sistema de almacenamiento.

Recopilando sus diferentes valores de tensión, corriente, potencia y estado de red, que en el siguiente punto serán de gran ayuda para determinar su factibilidad.

4.2. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DE LAS PRUEBAS Y SIMULACIONES.

Para la verificación de cada prueba simulada se tomaran los valores de tensión y corriente en cada fase obtenidos en los puntos más lejanos donde varia la caída de tensión y existen perdidas de energía ya sea en condiciones normales así como al aumentar flujo de carga, para ello se presentaran gráficas que ayuden a verificar su factibilidad.

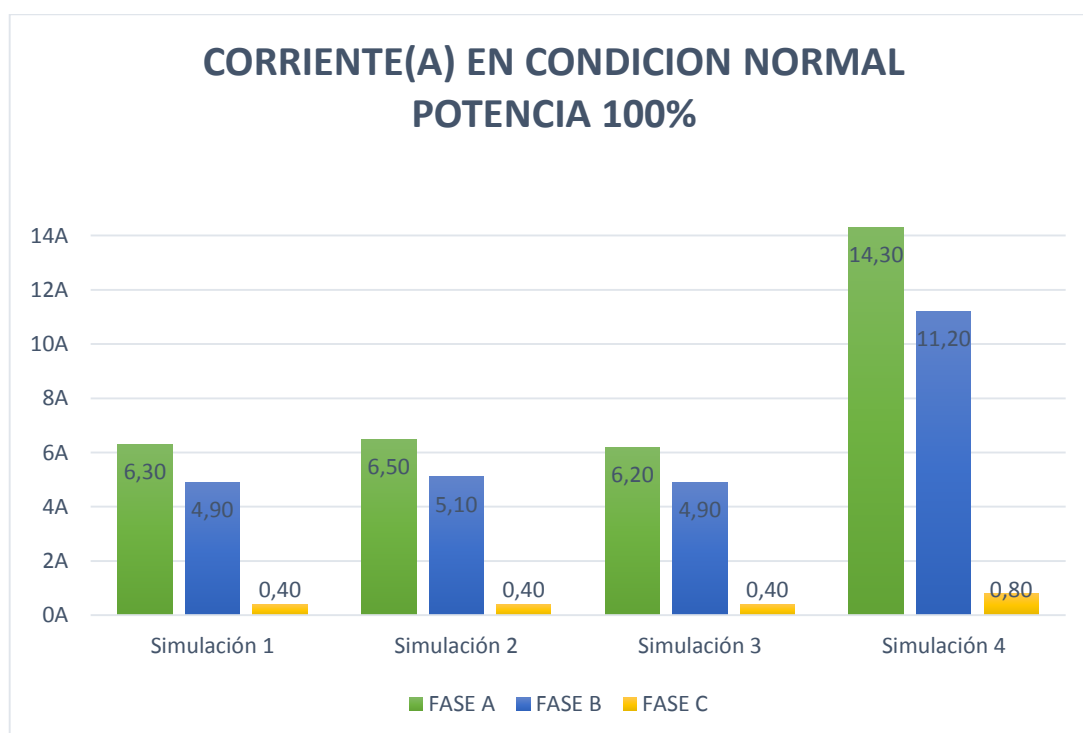


Figura 48. Grafica de corriente en condición normal.

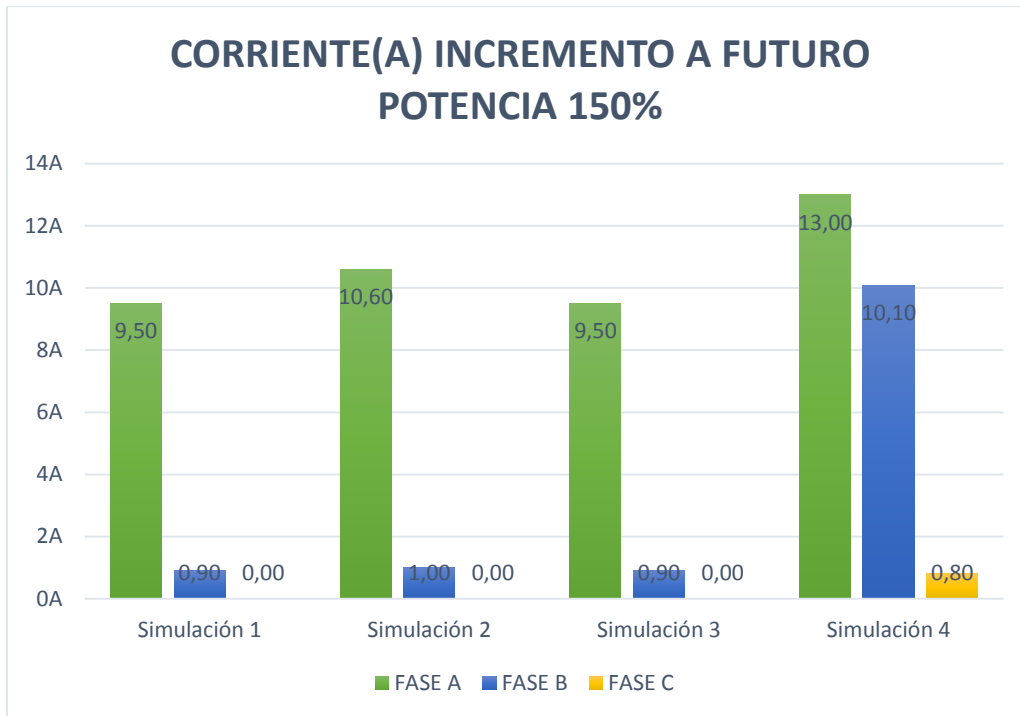


Figura 49. Grafica de corriente en aumento de carga.

Como se puede apreciar en las gráficas de corrientes tanto en caso de condición normal como en el caso de aumento de flujo de carga la corriente entre la simulación 1 y simulación 3 tienen valores similares por ser la micro-red pequeña, quedando la subestación como principal fuente de carga, así también se puede observar que existe variación de valores de corriente solo en las fases A y B, mientras que en la fase C mantiene su valor en cada simulación.

También se tiene en la simulación 4 un aumento de corriente en las fases A, B, y C tanto en el caso normal como en aumento de flujo de carga, con respecto de las demás simulaciones.

Por otro lado en la Tabla 4 se muestra los valores medidos en la subestación 15, en el generador, y en el sistema de almacenamiento de acuerdo a cada simulación.

VALORES MEDIDOS EN LAS FUENTES DE ENERGÍA							
		FASE A	FASE B	FASE C	kVA	kW	kVAR
Simulación 1	Subestación	80,8	91,3	70,7	3053	3052	-81
Simulación 2	Micro-red	3582,2	4117,1	3806,7	3183	3144	500
Simulación 3	Micro-red	1097	1097,1	1097,2	912	908	83
	Subestación	54,2	64,4	44	2045	2040	-137
Simulación 4	Micro-red	1103,10	1100,70	1098,60	915	908	108
	Subestación	54,40	82,30	33,40	2131	2138	181
	Baterías	80,60	80,60	80,60	3000	3000	0

Tabla 4. Valores medidos en fuentes de energía.

En la Tabla 4 se observa que existe variación de corrientes y potencias, donde se verifica que al dar el apoyo la micro-red, y el sistema de almacenamiento, cada una de ellas va asumiendo demanda de energía aliviando la subestación 15.

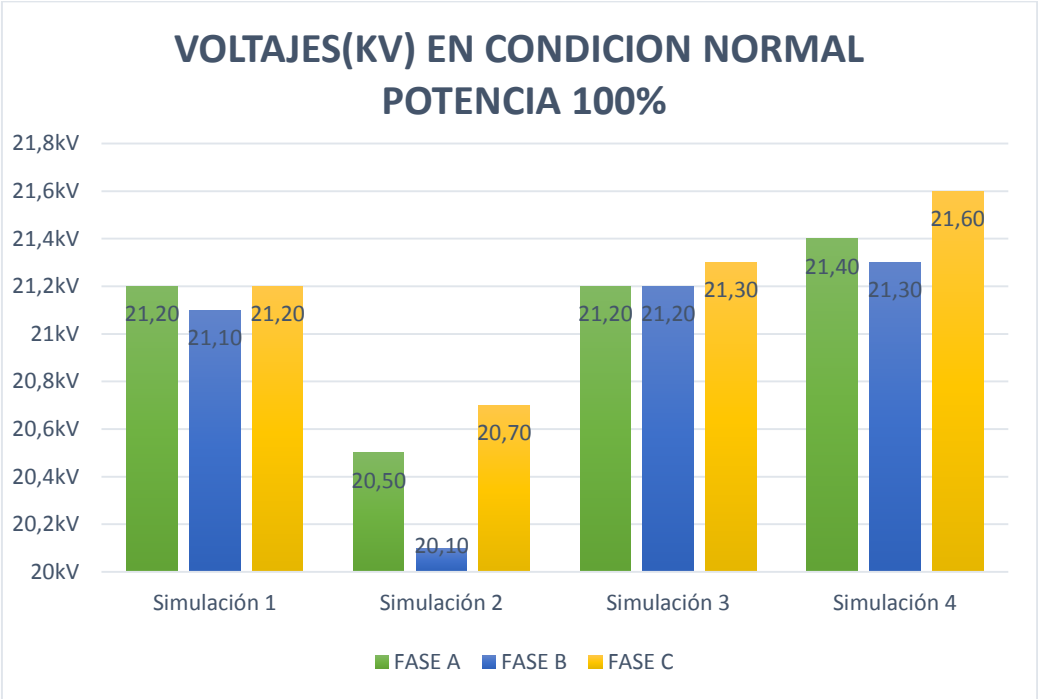


Figura 50. Grafica de voltajes en condición normal.

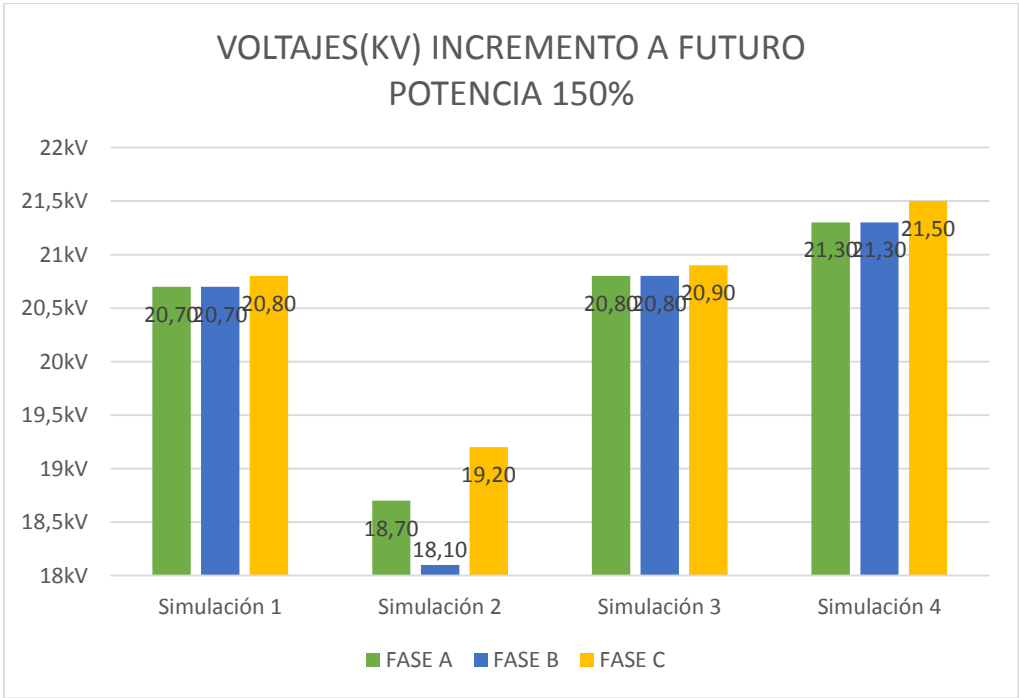


Figura 51. Grafica de voltajes en aumento de carga.

Lo que se puede evidenciar en las gráficas de voltajes tanto en condición normal como en condición de aumento de flujo de carga en la simulación 3, en las fases A, B y C, si existe la ayuda de la micro-red para mejorar la calidad de energía en un 20% aproximadamente, lo cual se aprecia de mejor manera en la simulación presentada en las Figura 23 y Figura 35. Pero al asumir la micro-red toda la carga del alimentador como es en la simulación 2 es notable la caída de voltaje (Figura 29).

También se puede observar que los valores de voltaje mejoran al incrementar las baterías como es en la simulación 4, donde los valores se acercan al nominal (22kV).

4.3. ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD SEGÚN RESULTADOS.

De acuerdo al punto anterior es considerable la ayuda de la micro-red al trabajar en paralelo con la subestación. Siendo así que al operar como micro-red la mini central ayudará a garantizar energía de calidad, continuidad, reducir caídas de tensión, y evitar el colapso del sistema eléctrico.

La micro-red reforzó la calidad de la energía en un 20%, así como brindó flexibilidad y capacidad ante la demanda, garantizando la estabilidad y optimizando la red eléctrica, también se verifico de acuerdo a la Figura 35 que se puede prescindir de largas líneas de transmisión que presentan pérdidas de energía, al ubicar fuentes de generación cerca de los consumidores.

Así también se observó que al ser una micro red tan pequeña la mayor parte de carga fue absorbida por la subestación 15 en un 80%.

Por otro lado se observó que las baterías instaladas contribuye con la subestación en horas pico, al proporcionar la energía almacenada, este sistema de almacenamiento, pues como se evidencia (Figura 46) ayuda en un 100% a mejorar la calidad de energía y solventar los picos de demanda.

Considerando que CENTROSUR ha realizado estudios eficientes, manteniendo estándares de calidad, se observa que existe una caída de voltaje en el alimentador de un 5%, la cual no afecta drásticamente al usuario.

CAPÍTULO 5

5.1. CONCLUSIONES.

En las simulaciones realizadas en diferentes escenarios se constató que la micro-red colabora al alimentador cercano, ya que asume parte de la demanda, aliviando la carga operativa del alimentador.

Las micro-redes son una solución viable para el abastecimiento de energía eléctrica en áreas aisladas.

Para poder ayudar en mayor cantidad a la red eléctrica tendremos que construir una micro-red con una capacidad de generación mayor, es decir a mayor potencia generada abarcara mayor parte de carga del alimentador, o bien elevar el número de micro-redes con el fin de que trabajen conjuntamente.

El interés actual es proyectar micro-redes que utilicen sistemas híbridos combinados 100% renovables, dejando la utilización de los sistemas convencionales para casos excepcionales.

En la investigación se comprueba la factibilidad de incrementar en las redes de medio voltaje sistemas de almacenamiento, cuyo objetivo es almacenar energía en determinadas horas y devolverla en sus horas de mayor demanda, colaborando así con la red eléctrica.

El sistema de almacenamiento será un sistema complementario de la red eléctrica, es decir ayudará a respaldar al alimentador y a solventar picos de demanda.

Una vez finalizado el proyecto, se llegó a la conclusión que es necesario incentivar el estudio e implementación de micro-redes, como alternativa para minimizar pérdidas en la distribución de energía, inclinándose por fuentes de energía amigables con el medio ambiente.

Por ultimo en este trabajo investigativo se adquirieron conocimientos, los cuales servirán para futuros estudios sobre la implementación de micro-redes en medio voltaje.

5.2. RECOMENDACIONES.

La recomendación más sobresaliente para la utilización de micro-redes es que sea aplicada en sectores aislados, donde exista la facilidad de construcción y mantenimiento para evitar inconvenientes al momento de su funcionamiento.

Se deberá evitar la descarga total del sistema de almacenamiento con el fin de conservar la vida útil de las baterías.

Es sumamente necesario proteger nuestra micro-red con las debidas protecciones contra sobretensiones y sobrecorrientes, para ello se deberá realizar los estudios necesarios, además conectar a tierra nuestros equipos.

Es mejor que la micro-red trabaje en paralelo con los alimentadores cercanos para que entre las dos se apoyen, mejorando considerablemente los niveles de confiabilidad.

Al realizar el estudio de una micro-red, se recomienda optar por energías renovables ya que estas no emanan gases de efecto invernadero dañinos para el planeta.

Por último se recomienda siempre usar y mantener la seguridad industrial para no tener percances con nuestra integridad.

ANEXOS.

ANEXO 1. SISTEMA DE MONITOREO SCADA-CENTROSUR.

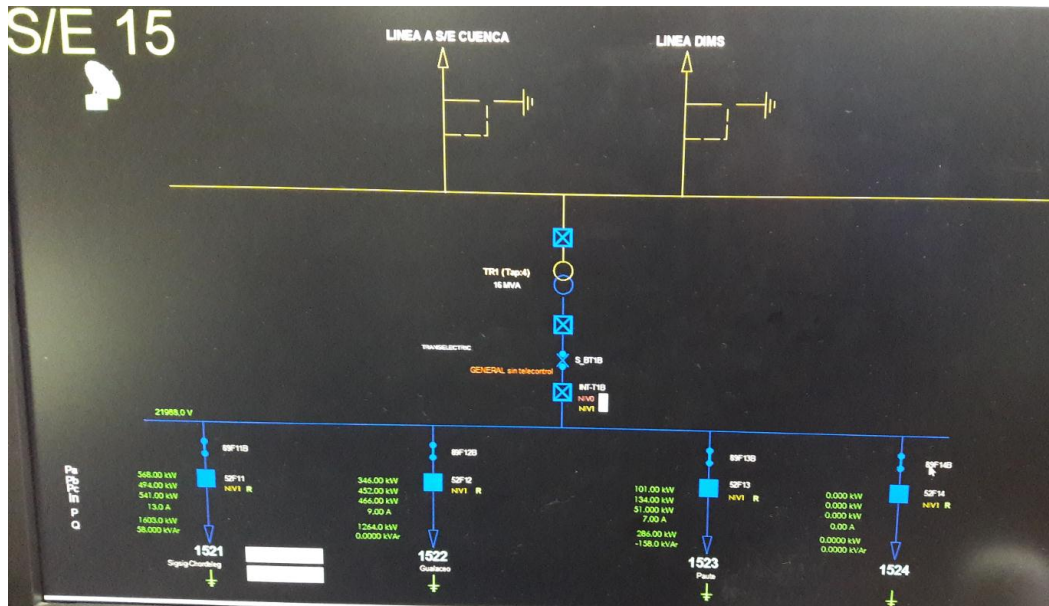


Figura 52. Pantalla de monitoreo CENTROSUR.



Figura 53. Castillo salida de alimentadores en la Subestación 15.

ANEXO 2. SISTEMAS DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA.



Figura 54. Seccionador tipo cuchilla, conexión con alimentador 1523 y mini central.

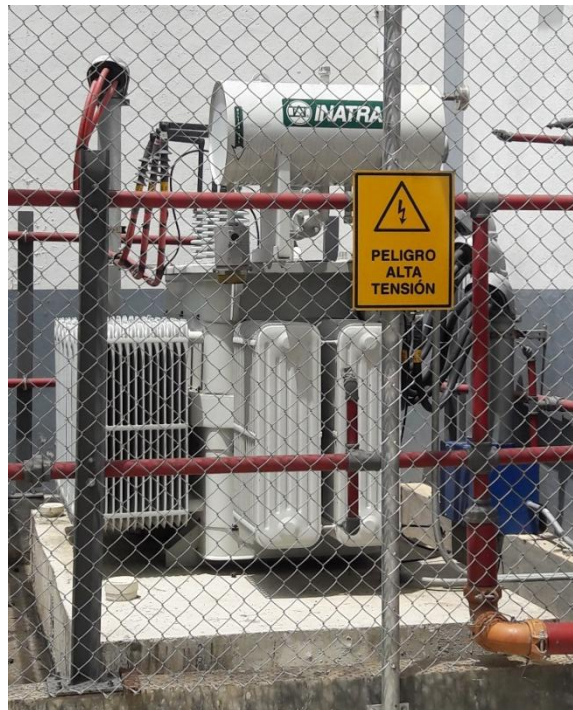


Figura 55. Transformador elevador de voltaje de la mini central.

ANEXO 3. SISTEMAS DE CONTROL DE LA MINI CENTRAL.



Figura 56. Control y monitoreo de turbina pelton.



Figura 57. Medición de parámetros eléctricos de la mini central.

ANEXO 4. SISTEMA DE SEGURIDAD INDUSTRIAL EN LA MINI CENTRAL.

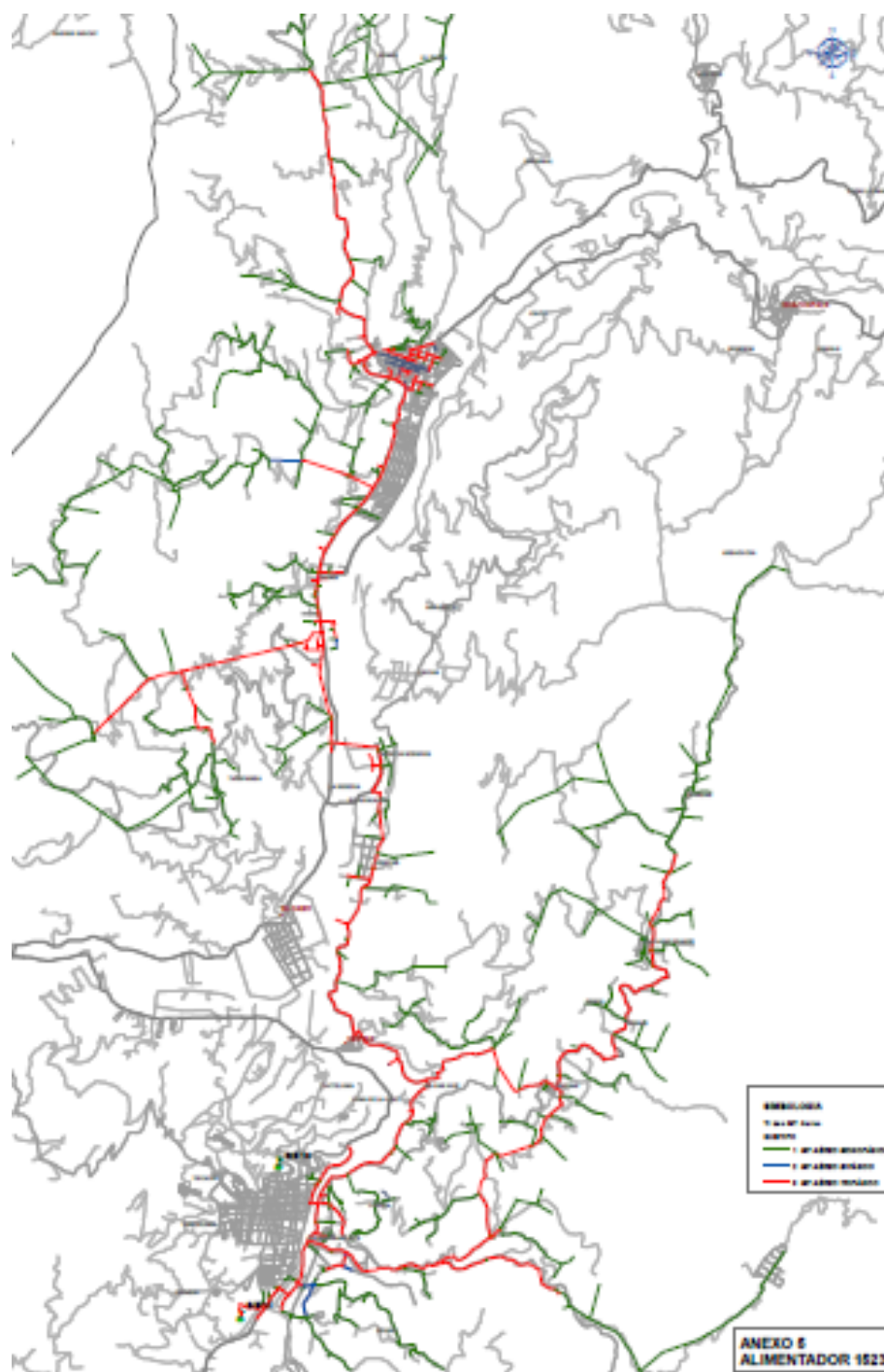


Figura 58. Kit en caso de derrame de aceites en la mini central.



Figura 59. Uso obligatorio de protección personal en la mini central.

ANEXO 5. PLANO DEL ALIMENTADOR 1523.



BIBLIOGRAFÍA

- (http://www.um.edu.uy/_upload/_descarga/web_descarga_239_Revisinbibliogrificamicroredesinteligentes.-Fossati.pdf), g. (s.d.).
- (<https://www.esmartcity.es/2011/03/08/micro-redes-electricas-inteligentes>). (s.d.).
- (07 de 04 de 2014). Fuente: Baterías y amperios:
<https://bateriasyamperios.wordpress.com/2014/04/07/conexiones-en-serie-y-en-paralelo-para-varias-baterias/>
- Deeba, S. R. (2016). Evaluation of technical and financial benefits of batter-based energy storage system in distribution networks. Australia.
- Deeba., S. R. (2015). A tool to estimate maximum arbitrage from battery energy storage by maintaining voltage limits in an LV network. IEEE PES Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (APPEEC).
- Eaton, Cooper Power Systems y CYME. (11 de 2014). Programa de análisis de redes de distribución. Canadá/EE.UU.
- EIC.CAT.14863. (s.d.).
- ELECAUSTRO. (2014). MINICENTRAL HIDROELECTRICA GUALACEO. 2.
- Fenosa, F. G. (Diciembre de 2013). Fuente: <http://www.empresaeiciente.com/wp-content/uploads/2016/01/almacenamiento-de-electricidad.pdf>
- Fossati, J. P. (Junio de 2011). Fuente: www.um.edu.uy:
http://www.um.edu.uy/_upload/_descarga/web_descarga_239_Revisinbibliogrificamicroredesinteligentes.-Fossati.pdf
- Gil Mera, I. (2010). Diseño de un sistema de almacenamiento de energía Híbrido basado en baterías y supercondensadores para su integracion en microredes eléctricas. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- Greenenergy-Latinamerica. (04 de 2017). www.greenenergy-latinamerica.com. Fuente: <http://www.greenenergy-latinamerica.com/componentes-sistema-fotovoltaico/imagen1-7/>
- Herramientas de Analisis y Planificación de el Desempeño de la Red. (2014). Em ANALISIS DE REDES DE DISTRIBUCION (p. 2). EEUU.
- <http://www.eic.cat/gfe/docs/14863.pdf>. (s.d.).
- Kerdphol, T. (2015). ANN based optimized battery energy storage system size and loss analysis for distributed energy storage location in PV-microgrid . Asia. Conference: IEEE ISGT. Bangkok, Thailand.
- Mateo, [C. (2016). Cost–benefit analysis of battery storage in medium-voltage distribution networks. IET, pp. 815-821.
- Micro Redes Inteligentes. (2011). energia.
- MICROREDES ELECTRICAS INTELIGENTES. (2011).
- Robles, R. V. (2013). microrredes.
- Rodríguez, G. (s.d.). ITT. Fuente: Universidad Pontifica Comillas:
<https://www.iit.comillas.edu/pfc/resumenes/57608cf387e33.pdf>

Romeral, J. L. (18 de 05 de 2016). microrredes u optimizacion energetica. Fonte:
http://www.upc.edu/estudispdf/guia_docent.php?codi=220610&lang=esp

Tolón Martín, T. I. (06 de 2013). Operación y gestión de micro-redes,. Fonte:
https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/19411/TamaraTolon_MemoriaTFM_Deposito.pdf