

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA



**APLICACIÓN DE SOFTWARE LIBRE OPENDSS AL ESTUDIO  
DE INTERCONEXIÓN DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA**

PRESENTADO POR:

**HERNÁNDEZ ROMERO, CARLOS FRANCISCO**

**NAVAS ORTIZ, JOCELYN ALEXANDRA**

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

**INGENIERO ELECTRICISTA**

CIUDAD UNIVERSITARIA, AGOSTO 2021

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

RECTOR:

**MSC. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO**

SECRETARIO/A GENERAL:

**ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCON SANDOVAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

DECANO:

**PhD. EDGAR ARMANDO PEÑA FIGUEROA**

SECRETARIO:

**ING. JULIO ALBERTO PORTILLO**

**ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

DIRECTOR:

**ING. ARMANDO MARTINEZ CALDERÓN**

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

TRABAJO DE GRADUACIÓN PREVIO A LA OPCIÓN AL GRADO DE:

**INGENIERO ELECTRICISTA**

TÍTULO :

**APLICACIÓN DE SOFTWARE LIBRE OPENDSS AL ESTUDIO  
DE INTERCONEXIÓN DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA**

PRESENTADO POR:

**HERNÁNDEZ ROMERO, CARLOS FRANCISCO**

**NAVAS ORTIZ, JOCELYN ALEXANDRA**

SAN SALVADOR, AGOSTO 2021

TRABAJO DE GRADUACIÓN APROBADO POR:

DOCENTE ASESOR:

**ING. NUMA POMPILIO JIMÉNEZ CORTEZ**

## NOTA Y DEFENSA FINAL

En esta fecha, viernes 23 de julio 2020, en la Sala de Lectura de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, a las 5:00 p.m. horas, en presencia de las siguientes autoridades de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de El Salvador:

1. Ing. Armando Martínez Calderón  
Director
2. MSc. José Wilber Calderón Urrutia  
Secretario


  
Firma


  
Firma

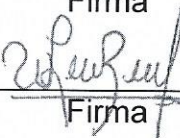


Y, con el Honorable Jurado de Evaluación integrado por las personas siguientes:

- ING. NUMA POMPILIO JIMENEZ CORTEZ  
(Docente Asesor)
- MSC. HUGO MIGUEL COLATO RODRIGUEZ
- ING. WALTER LEOPOLDO ZELAYA CHICAS

  
Firma

  
Firma

  
Firma

Se efectuó la defensa final reglamentaria del Trabajo de Graduación:

APLICACIÓN DE SOFTWARE LIBRE OPENDSS AL ESTUDIO DE INTERCONEXIÓN DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA

A cargo de los Bachilleres:

- HERNÁNDEZ ROMERO, CARLOS FRANCISCO
- NAVAS ORTIZ, JOCELYN ALEXANDRA

Habiendo obtenido en el presente Trabajo una nota promedio de la defensa final: 9.0

( nueve punto cero )



A Dios y a mis padres Carolina de los Ángeles y José Francisco por su apoyo incondicional y la Fortaleza que me brindaron.

A mi profesor guía Numa Jiménez, por ayudarme a formar mis bases profesionales.

**Carlos Francisco Hernández Romero.**



Agradezco a Dios por su fidelidad, fortaleza, dotarme de sabiduría y perseverancia a lo largo de mi carrera universitaria y culminar uno de mis mayores sueños y que hoy se convierte en una realidad, es quien ha guiado y cuidado cada uno de mis pasos para continuar cuando los obstáculos parecían más grandes que la meta.

A Mis padres Rolando de Jesús Navas Ganuza y Gloria Leonor Ortiz de Navas por su amor, sus oraciones y quienes a lo largo de mi vida han sido mi sostén incondicional en todos los aspectos, por creer en mí. Siendo ellos mis pilares fundamentales en cada meta propuesta y alcanzada como la que hemos logrado hoy juntos. A Mi hermana Daniela Margarita Navas Ortiz por su apoyo y amor que siempre lo encuentro presente, por cada palabra de impulso que me ha brindado para hacer frente ante cualquier adversidad, por creer en cada uno de mis sueños. A Mi abuela Leonor Rodas de Ortiz (QEPD) por cada consejo lleno de amor, palabras de ánimo y sabiduría que me brindo, a la cual algún día la volveré a ver para regocijarnos juntas por este triunfo.

Agradezco a Reina Vides - Secretaria de la EIE, Encargados de Laboratorio (Juancito y Posada) por el apoyo incondicional y consejos que se encuentra en ellos. A cada docente de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, por su apoyo y por transmitir de su conocimiento y experiencia profesional, en cada una de sus cátedras en toda la carrera y dotarnos de las herramientas necesarias para el mundo laboral. A mi asesor de graduación Ing. Numa Jiménez por la confianza depositada y el constante apoyo las cuales ayudaron al desarrollo de este trabajo.

Finalmente agradezco a cada uno de los amigos que gane durante la carrera por todo el apoyo demostrado y brindado hacia mi persona, quienes siempre me motivaron a seguir adelante e hicieron que el camino se sintiera menos pesado con cada risa compartida.

**Jocelyn Alexandra Navas Ortiz.**



## CONTENIDO

SIGLAS Y ABREVIATURAS .....	x
INTRODUCCIÓN .....	xii
RESUMEN EJECUTIVO .....	xiii
CAPÍTULO I: GENERALIDADES .....	14
1. OBJETO DE ESTUDIO.....	14
Descripción del Tema .....	14
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	14
1.1.1. Situación Problemática .....	14
1.1.2. Justificación .....	15
1.1.3. Alcances .....	16
1.1.4. Metodología de Investigación .....	17
1.1.5. OBJETIVOS.....	18
1.1.5.1. OBJETIVO GENERAL.....	18
1.1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	18
CAPITULO II: CONTENIDO TEÓRICO.....	19
2. MICRO - REDES .....	19
2.1. Sistema de Generación Distribuida .....	19
2.1.1. Fuentes de Energía Distribuida .....	20
2.1.2. Beneficios y/o Ventajas de la Generación Distribuida .....	20
2.2. HISTORIA DE LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA EN EL SALVADOR.....	20
2.2.1. Desarrollo de Proyectos de Fuentes de Generación Distribuida en El Salvador.....	23





2.3. MODELADO Y SIMULACIÓN DE SISTEMAS DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA .....	24
2.4.1. Modelo Matemático Utilizado por OpenDSS .....	26
2.4.2. Capacidades de solución en Software OpenDSS.....	26
2.5. ESTUDIOS A REALIZAR CON SOFTWARE OPENDSS .....	26
2.5.1. PERDIDAS TECNICAS .....	26
2.5.2. Flujos de Potencia .....	27
2.5.2.1. Estudio de Flujos de Potencia en OpenDSS.....	27
2.5.3. Corrientes de Cortocircuito .....	27
2.5.3.1. Estudio de Corrientes de cortocircuito en OpenDSS.....	28
CAPITULO III: MODELAMIENTO EN OPENDSS .....	29
3. INTERFAZ DEL SOFTWARE OPENDSS.....	29
3.1. Modelado de Líneas de Distribución .....	30
3.2. Modelado de Transformadores .....	31
3.3. Modelado de la Demanda .....	32
3.3.1. Monitores en OpenDSS.....	33
3.3.2. Modelado Perfil de Demanda .....	33
3.4. Modelado de Flujos de Potencia .....	33
3.5. Modelado de Corriente de Fallas y Pérdidas .....	34
3.5.1. ¿Para qué se estudian las fallas?.....	34
3.5.1.1. Cálculo de capacidad de interruptores .....	34
3.5.1.2. Diseño del sistema de protección.....	34
3.5.1.3. Revisión de estabilidad del sistema .....	34
3.6. Modelado de Redes de Distribución con Nuevas Tecnologías .....	35



---

CAPITULO IV: MODELADO EN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICO CON OPEN DSS.....	37
4. Modelado e Introducción a Sistema de Información Geográfico.....	37
4.1. Identificación y Corrección de Errores.....	40
4.2. Modelado en OpenDSS desde QGIS.....	40
4.3. Estudio de Impactos de Nuevas Tecnologías .....	41
4.4. Visualización de resultados de flujos de potencia en QGIS .....	42
CAPITULO V: MODELAMIENTO, SIMULACIÓN E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS CIRCUITO 109-2-13 .....	44
5. Circuito 109-2-13 .....	44
5.1. Modelado del Circuito 109-2-13 al Sistema de Información Geográfico... 44	
5.1.1. Líneas MT Aereas.....	45
5.1.2. Transformadores .....	48
5.1.3. Cargas en MT .....	51
5.1.4. Generación Distribuida .....	53
5.2. RESULTADOS.....	54
5.2.1. DNCorrector.....	55
5.2.2. SIMULACIÓN PLUGIN QGIS2OpenDSS .....	57
5.2.3. SIMULACIÓN PLUGIN QGISRUNOpenDSS .....	58
5.2.3.1. SIMULACIÓN FLUJO DE POTENCIA.....	58
5.2.3.1.1. SIMULACIÓN FLUJO DE POTENCIA DIARIO .....	58
5.3. FLUJOS DE POTENCIA INSTANTÁNEOS .....	63
5.3.1. CAÍDA DE TENSION SIN GENERACIÓN DISTRIBUIDA .....	63
5.2.4. PENETRACIÓN DE LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA.....	73



---

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	75
6.1. CONCLUSIONES.....	75
6.2. RECOMENDACIONES.....	77
6.3. REFERENCIA BIBLIOGRAFICA .....	78



## CONTENIDO DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Datos cantidad de Plantas y MW instalados en El Salvador por Generación Distribuida hasta el 31 de diciembre del 2018. ....	22
Ilustración 2 Generación Distribuida en el Salvador con diferentes Fuentes de Generación datos hasta el 31 de dic. 2018. ....	23
Ilustración 3 Logo Software OpenDSS. ....	24
Ilustración 4 Interfaz Gráfica Software OpenDSS. ....	29
Ilustración 5 Modelado de Líneas de Distribución. ....	30
Ilustración 6 Modelado de Líneas por medio de la declaración de 4 Objetos en OPENDSS. ....	30
Ilustración 7 Línea de Código para Modelado de Líneas de Distribución. ....	31
Ilustración 8 Líneas de código para el modelado de transformadores. ....	31
Ilustración 9 Modelado de Línea código de cargas. ....	32
Ilustración 10 Línea de Código parametrizar monitores para tensión y corriente. .	33
Ilustración 11 Determinando la corriente de falla trifásica a tierra. ....	35
Ilustración 12 Diagrama de Bloques de un PV ....	36
Ilustración 13 Líneas de Código para un PV ....	36
Ilustración 14 Tabla de atributos para las distintas capas en QGIS. ....	37
Ilustración 15 Modelado de atributos en capas en QGIS. ....	39
Ilustración 16 Plugin DNCorrector demostrando errores en el circuito realizado. .	40
Ilustración 17 Pugin QGISS-OpenDSS. ....	40
Ilustración 18 Documentos creados desde el plugin QGIS, abriéndolos en el programa OpenDSS. ....	41
Ilustración 19 Modelado de Sistema Fotovoltaico. ....	42
Ilustración 20 Resultados de Plugin Vision. ....	43
Ilustración 21 Diagrama Unifilar circuito 109-2-13. ....	44
Ilustración 22 Código de Tensiones Nominales creación de capas QGIS. ....	46
Ilustración 23 Tamaño de Fases para el atributo shape, puede ser numeración o letras. ....	46



Ilustración 24 Tabla de Atributo en QGIS, capa líneas en MT.....	47
Ilustración 25 Información Tabla de atributos, Línea de media Tensión. ....	48
Ilustración 26 Tabla de Atributo en QGIS, capa Transformadores. ....	50
Ilustración 27 Información de un Transformador QGIS. ....	50
Ilustración 28 Tabla de Atributo en QGIS, capa de Cargas en MT.....	52
Ilustración 29 Tabla de atributos de un shape Generación Fotovoltaica dentro de QGIS. ....	53
Ilustración 30 Modelado del Circuito 109-2-13 mediante capas dentro de la interfaz de QGIS. ....	54
Ilustración 31 Simulado con plugin DNCorrector para identificación de errores....	55
Ilustración 32 Identificación de cargas que se encuentran desconectadas para 2 anillos en la red de MT. ....	56
Ilustración 33 Generación de archivos .dss a través del plugins QGIS2OPENDSS .....	57
Ilustración 34 Archivos DSS generados mediante el plugin QGIS2OPENDSS.....	58
Ilustración 35 Con la utilización del plugin QGISRUNOPENDSS obtenemos flujo de potencia diaria. ....	59
Ilustración 36 Tiempo de ejecución de la simulación. ....	59
Ilustración 37 Grafico Potencia Aparente .....	60
Ilustración 38 Grafico Potencia Real .....	60



## CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 1 Parámetros para línea de código en el modelado de transformadores. ...	32
Tabla 2 Parámetros para el modelado de línea de código de carga. ....	32
Tabla 3 Parámetros para el modelado de Monitores.....	33
Tabla 4 Definición de Parámetros línea de código para corrientes de fallas. ....	35
Tabla 5 Atributos para capas en QGIS.....	39
Tabla 6 Atributos Obligatorios y Opcionales para la creación de capa de Líneas MT. .....	45
Tabla 7 Atributos Obligatorios y Opcionales para la creación de capa de transformadores .....	49
Tabla 8 Atributos Obligatorios y Opcionales para la creación de capa de cargas en MT .....	51
Tabla 9 Código de Tipo de carga .....	51
Tabla 10 Código del Servicio de la carga en MT .....	52
Tabla 11 Atributos Obligatorios y Opcionales para la creación de capa De Generación Distribuida.....	53
Tabla 12 Código creación Tipo de Generación Distribuida. ....	53



---

## SIGLAS Y ABREVIATURAS

<b>OPENDSS</b>	Software libre desarrollado por Electric Power Research Institute para sistemas de distribución.
<b>EPRI</b>	Electric Power Research Institute (Desarrollador del Software OpenDSS).
<b>IEEE</b>	Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos.
<b>SIGET</b>	Superintendencia General de Electricidad y Telecomunicaciones.
<b>CIER</b>	Comisión de Integración Energética Regional.
<b>CIDEL</b>	Congreso Internacional de Distribución Eléctrica.
<b>COM</b>	Component Object Model.
<b>AC</b>	Corriente Alterna.
<b>DC</b>	Corriente Directa.
<b>ACSR</b>	Aluminum Conductors Steel Reinforced
<b>AES</b>	Empresa Distribuidora de El Salvador.
<b>LGE</b>	Ley General de la Electricidad.
<b>GDR</b>	Generación Distribuida Renovable.



<b>GIS</b>	Sistema de Información Geográfica.
<b>GD</b>	Generación Distribuida.
<b>Y</b>	Conexión Estrella para un devanado.
<b><math>\Delta</math></b>	Conexión Delta para un devanado.
<b>PCH</b>	Pequeña Central Hidroeléctrica.
<b>PV</b>	Sistema Fotovoltaicos.
<b>QGIS</b>	Sistema de Información Geográfica de software libre y código abierto.
<b>kW</b>	Kilowatt.
<b>MW</b>	Mega Watt.
<b>UPR</b>	Usuario Productor Renovable.
<b>APR</b>	Auto-Productor Renovable.
<b>FP</b>	Factor de Potencia.





---

## INTRODUCCIÓN

Con el propósito de contribuir al estudio de los sistemas de distribución con generación distribuida, el presente trabajo de graduación da a conocer el tema “Aplicación de software libre OpenDSS al estudio de interconexión de generación distribuida”. Los sistemas de distribución de energía actualmente utilizan software para realizar simulaciones del comportamiento de las redes de distribución eléctricas; el utilizar estas herramientas hacen que la simplicidad para realizar estimaciones sea mucho menor en caso que todo este trabajo se debiera hacer a manera de cálculos manuales.

Para el estudio y análisis de un circuito de distribución con generación distribuida, aplicaremos una nueva herramienta de software OpenDSS de Electric Power Research Institute (EPRI), de este modo estaremos planteando una posible solución de evaluar la calidad de energía sin la necesidad de grandes costos en software profesionales.

Como objetivo principal en nuestro trabajo de graduación, consiste en aprender a utilizar dicha herramienta y modelar circuitos reales del sistema de distribución con generación distribuida en El Salvador esto con el fin para que los interesados que logren conocer de manera rápida el funcionamiento del programa y así tengan una herramienta sencilla y gratuita para la verificación de resultados.



---

## RESUMEN EJECUTIVO

Para el estudio de los sistemas de distribución se utilizan softwares profesionales para ver los distintos comportamientos de la red, con la diversificación de las distintas tecnologías para la generación de la energía, conectadas a la red se necesitan estudios más amplios para la detección temprana de fallas que incluyan la interrupción del servicio.

El presente trabajo de graduación se encuentra basado en el estudio del circuito 109-2-13 que es un circuito de distribución de media tensión interconectado con un Sistema Fotovoltaico “Bósforo” en El Salvador, el cual requerimos establecer el impacto de interconexión y el estudio de un sistema de control adecuado que mejore los flujos de potencia, corrientes de falla, estudio de propagación de corrientes armónicas, entre otros, haciendo uso del simulador OpenDSS que fue desarrollado por EPRI Instituto de Investigación de Energía Eléctrica.

En este trabajo, las distintas formas de control que se proponen se han ideado para las empresas distribuidoras, OpenDSS al ser un software de licencia libre ayuda a que los estudiantes logren conocer de manera rápida el funcionamiento del programa y tengan una herramienta que les ayude en el desarrollo de simulaciones en donde pueden esperar resultados dentro de los límites aceptados.



---

## CAPÍTULO I: GENERALIDADES

### 1. OBJETO DE ESTUDIO

#### Descripción del Tema

El Trabajo de Graduación consiste en el análisis y modelado del estudio de interconexión de generación distribuida por medio de la aplicación del software libre OpenDSS de EPRI, para ello, se analizará la caída de tensión, flujos de potencia, cálculo de corrientes de cortocircuito y localización de falla, entre otros para un circuito real de distribución con generación fotovoltaica a fin de observar el comportamiento de la red y su impacto en la calidad del servicio.

#### 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

##### 1.1.1. Situación Problemática

Hace unos años en El Salvador no existía una normativa específica que regule las condiciones de conexión que plantas de energía renovables deben cumplir para ser conectadas en redes de distribución de forma segura, ya que la demandas era pequeña en aquel entonces.

Dichas tecnologías tienen como objetivo, promover el crecimiento energético a nivel general, beneficiando al sistema eléctrico y al consumidor en temas económicos, ambientales y técnicos como lo es la generación distribuida.

El presente trabajo de graduación propone realizar un estudio y análisis mediante la aplicación de un software libre, los cuales proporciona características como: caídas de tensión, flujos de potencia diarios, instantáneos o anuales entre otro, y así poder establecer los criterios de confiabilidad y seguridad los que hacen posible llegar a la estabilidad en el servicio eléctrico con la generación distribuida sin



generar altos costos de inversión en el sistema de distribución de nuestro país. Además, se investigará la potencia y ventajas de cálculo de OpenDSS en estudios de interconexión y funcionamiento de circuitos de distribución con alta penetración de generación fotovoltaica a potencia variable.

### **1.1.2. Justificación**

Para el estudio y análisis de un circuito de distribución con generación distribuida en nuestro trabajo de graduación, se aplicará una nueva herramienta de software OpenDSS, con la finalidad de plantear una posible solución para la evaluación de la calidad de energía sin necesidad de grandes costos en software profesionales.

Se propone OPEN DSS de EPRI a nivel universitario para hacer posible el modelado, diseño y planteamiento de las redes de distribución de manera sencilla e inmediata pues este software se encuentra diseñado para ser indefinidamente expandible y puede ser modificado para futuras necesidades algo no se puede con otros softwares gratuitos o de versiones académicas.

OPEN DSS de EPRI, trabaja en una gran variedad de plataformas en estudios de ingeniería aplicables a circuitos de distribución con generación distribuida que requieren un gran procesamiento, como, por ejemplo, el cálculo de pérdidas técnicas requeridas por SIGET, empresas distribuidoras u otras entidades.

El Software OpenDSS de EPRI está siendo aplicado a nivel internacional en temas de análisis de generación distribuida fotovoltaica tomando en cuenta las incertidumbres de la temperatura y la radiación solar, tal es el caso del estudio realizados por la CIER (Comisión de Integración Energética Regional) a través de CIDEL (Congreso Internacional de Distribución Eléctrica) en septiembre de 2018 para Planta Fotovoltaica Monte Carlo ubicada en el país de Uruguay ya que su simulación en dicho software permitió por su parte, analizar los parámetros de producción y eficiencia de tal modelo FV se ajustaron en base a las mediciones de en el sistema FV real mencionado anteriormente.



La interfaz Component Object Model (COM) en la que se basa OPEN DSS provee acceso directo para que los programadores puedan generar nuevas soluciones con base en programas externos tales como Python, MATrix LABORatory (MATLAB) y otros.

El Software libre OpenDSS además de ser un software económico es altamente fiable a la hora de la evaluación de resultados, por lo cual será de gran beneficio para futuros estudiantes, para mejorar su conocimiento con respecto a la calidad del servicio eléctrico.

### **1.1.3. Alcances**

- Se pretende simular y analizar las cargas, flujos de potencia, corrientes de fallas y pérdidas del circuito.
- Durante el proyecto, utilizaremos el software WindMil utilizado por empresas de servicios eléctricos para modelar sistemas de distribución interconectados con generación distribuida.
- Realizar visitas a la empresa distribuidora AES El Salvador para realizar análisis y comparaciones de datos ya obtenidos de un circuito real de distribución con los resultados simulados por medio del software libre OpenDSS.
- Con los resultados de la investigación y análisis de datos se pretende comprobar que el software libre OpenDSS de EPRI, genera un mejor control y confiabilidad sin grandes costos de inversión; para lo que representa una mejora en la calidad del servicio energético para el sistema eléctrico del país.



#### 1.1.4. Metodología de Investigación

En este trabajo de Graduación se utilizará el método Cuantitativo porque es a partir del análisis de resultados por medio del Software Libre OPENDSS de EPRI y la aplicación del software Milsoft Engineering Analysis (EA) - WindMil, ya que a partir del estudio y análisis los cuales nos proporcionan características como: caídas de tensión, flujos de potencia, corrientes de falla, localización de fallas entre otros, a tal manera de poder establecer los criterios de confiabilidad y seguridad los que hacen posible llegar a la estabilidad en el servicio eléctrico con la generación distribuida sin generar altos costos de inversión en el sistema de distribución de nuestro país.

Nuestro trabajo comenzó aprendiendo a usar el programa por medio de ejemplos sencillos en el cual se simulaban ejercicios cortos que servía para conocer todas las opciones del programa y el tipo de simulaciones que se podían obtener; en este estudio trabajaremos con el circuito 109-2-13 que es un circuito real de distribución de media tensión con generación distribuida fotovoltaica en nuestro País. Para esto, se crearán las capas en el software QGIS y luego se modificarán las tablas de atributos con el objetivo de no generar inconvenientes al momento de realizar las simulaciones.

El circuito 109-2-13 también lo simularemos en el programa Milsoft Engineering Analysis (EA) - WindMil para obtener los mismos análisis que en el programa OpenDSS, con el fin de comparar los resultados obtenidos y verificar la veracidad de los mismos y las limitaciones que pueda presentar el software OpenDSS.



## **1.1.5. OBJETIVOS**

### **1.1.5.1. OBJETIVO GENERAL**

“Simular y analizar el funcionamiento de un circuito de distribución de media tensión con generación distribuida fotovoltaica con la aplicación del software libre OpenDSS para una adecuada planificación y operación de la red del sistema, dentro de los requerimientos normativos del país”.

### **1.1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Investigar el modelo matemático usado por OpenDSS para simular los flujos de potencia de un circuito real de distribución de media tensión con generación distribuida fotovoltaica usando el software OpenDSS. Considerando el patrón de inyección real de la planta fotovoltaica.
- Realizar el estudio de cortocircuito en el alimentador de distribución bajo estudio a fin de determinar el grado de contribución de la generación fotovoltaica con un nivel de penetración significativo.
- Simular y analizar el impacto de la generación distribuida, al interconectarse a redes de distribución, con respecto al control de voltaje y las pérdidas técnicas en el circuito
- Analizar las posibles ventajas y desventajas que trae consigo la generación distribuida en redes de distribución, cuando el nivel de penetración es considerable.
- Comparar los resultados obtenidos de la modelación del circuito de distribución con generación fotovoltaica con los resultados obtenidos con un software de simulación WindMil.



## CAPITULO II: CONTENIDO TEÓRICO

### 2. MICRO - REDES

Las micro redes son pequeñas redes, o circuitos capaces de generar energía y que, además, también pueden funcionar de manera autónoma. Actualmente, están teniendo un gran desarrollo y las micro redes están llamadas a jugar un papel importantísimo en un futuro cercano. No solo sirven para optimizar esa generación de energía o llevarla a lugares de difícil acceso, sino que también son una pieza importante de un futuro más sostenible.

Los elementos de los que consta son: Sistemas de generación distribuida; sistemas de almacenamiento de energía; técnicas para la gestión de cargas; sistemas de monitorización y control del flujo de potencia; y técnicas y procedimientos de mantenimiento preventivo.

#### 2.1. Sistema de Generación Distribuida

Se le denomina Generación Distribuida a aquella que se encuentra conectada a la red de distribución y que además no participa en el Mercado Mayorista de Electricidad.

Dichas plantas no superan los 20MW de capacidad instalada y en su totalidad son de tecnologías renovables (solar fotovoltaica en techo y en suelo, biogás y pequeñas centrales hidroeléctricas)<sup>1</sup>.

Como parte de otro concepto nos encontramos definición según IEEE, la generación distribuida es aquella energía eléctrica producida por instalaciones de menor tamaño que las actuales grandes centrales de generación, de manera que se puedan conectar en cualquier punto de un sistema eléctrico.

---

<sup>1</sup> Definición expresada por SIGET conjunto con ariae (Asociación Iberoamericana de entidades reguladas de energía) en mayo del 2019.





### **2.1.1. Fuentes de Energía Distribuida**

Los sistemas empleados como fuentes de energía distribuida son plantas de generación de energía a pequeña escala usadas para proporcionar una alternativa o una ayuda a las tradicionales centrales de generación eléctricas.

Los sistemas de fuentes de energía distribuida pueden incluir los siguientes dispositivos o tecnologías:

- Energía solar fotovoltaica.
- Pequeños sistemas de Energía eólica.
- Pila de combustible.
- Vehículos eléctricos.

### **2.1.2. Beneficios y/o Ventajas de la Generación Distribuida**

La generación distribuida responde a los problemas de la generación tradicional. Por lo tanto, las ventajas se catalogan de la siguiente manera:

- Ayuda a la conservación del medio ambiente, al utilizar fuentes de energía renovables.
- Ayuda al suministro de energía en periodos de gran demanda.
- Mejora la fiabilidad del sistema.
- Mejora la calidad del servicio eléctrico.

## **2.2. HISTORIA DE LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA EN EL SALVADOR**

Dadas las limitaciones territoriales de El Salvador, la Generación Distribuida es la opción técnica – económica viable para la diversificación de la matriz energética y la búsqueda de un precio razonable de la energía confiable, resiliente y sostenible en el largo plazo, se deben generar condiciones para que a través de este tipo de



generación se pueda garantizar el acceso a poblaciones de escasos recursos económicos y mejorar su calidad de vida.

El mecanismo utilizado en El Salvador a fin de poder interconectar proyectos y comercializar la energía producida a pequeña escala (paneles fotovoltaicos en techo, pequeñas centrales hidroeléctricas, biodigestores, etc.), surge a partir de las modificaciones al marco regulatorio realizadas en el 2012 en donde se permite la ejecución de licitaciones especiales donde proyectos de energía renovables pueden participar en contratos basados en energía ofertada.

En las reformas hechas al Reglamento de la LGE (Ley General de Electricidad) que se encuentran en el *Decreto Ejecutivo No. 80 de fecha 17 de abril de 2012*, publicado en el *Diario Oficial No. 76, Tomo 395 de fecha 26 de abril de 2012*, se menciona lo siguiente:

“...en el caso de licitaciones destinadas exclusivamente a fuentes renovables de energía eléctrica, los procedimientos de contratación deberán contemplar expresamente un mecanismo simplificado destinado a generación con base en energía renovable conectada en red del distribuidor, de hasta un máximo de 20 MW de capacidad instalada, y que no se encuentre en condiciones de aportar capacidad firme ni de participar directamente del Mercado Mayorista de Electricidad...”

Esos contratos serán administrados directamente por el distribuidor y el generador fuera del Mercado Mayorista, y despachados de acuerdo a un procedimiento especial de auto-despacho.

Según la regulación salvadoreña, se tiene 3 tipos de generación distribuida:

a) GDR(Generación Distribuida Renovable): Generador que toda su energía la inyecta directamente a la red de distribución y su fin principal es comercializar la energía producida.



b) APR: Auto Productor Renovable, usuario final que posee una planta de generación renovable y comercializa sus excedentes de energía, mediante un contrato de largo plazo con el distribuidor, el cual fue adjudicado en una convocatoria.

c) UPR: Usuario Productor Renovable, usuario que posee una planta de generación renovable, con el único objetivo de abastecer su propia demanda. No comercializa su energía, según norma se establecen parámetros de diseño para cumplir el objetivo de auto abastecimiento.

Hasta el 31 de diciembre del año 2018, El Salvador se encuentra con las siguientes plantas de generación distribuida y cantidad de MW instalados (Ver Ilustración 1) estos datos fueron obtenidos a través de la página de SIGET en mayo 2019.

Cantidad de Plantas					Cantidad de MW Instalados						
	Biogas	PCH	PV	Biomasa	Total		Biogas	PCH	PV	Biomasa	Total
APR			17		17	APR			0.07		0.07
GDR	1	16	25		42	GDR	6.40	22.46	89.75		118.61
GDR-CLP	2		23		25	GDR-CLP	0.45		9.20		9.65
UPR			264	1	265	UPR			18.19	5.00	23.19
<b>Total</b>	<b>3</b>	<b>16</b>	<b>329</b>	<b>1</b>	<b>349</b>	<b>Total</b>	<b>6.85</b>	<b>22.46</b>	<b>117.20</b>	<b>5.00</b>	<b>151.51</b>

*Ilustración 1 Datos cantidad de Plantas y MW instalados en El Salvador por Generación Distribuida hasta el 31 de diciembre del 2018.*

Los sistemas de Generación Distribuida en El Salvador deberán tener retos Legales y Regulatorios entre los cuales:

- Se debe establecer una tarifa específica para los que poseen generación para su abastecimiento que permita al distribuidor garantizar la sostenibilidad del negocio de distribución y al usuario tener a disposición una potencia y/o voltaje firme las 24 horas de todos los días.
- Se debe regular las características técnicas para garantizar la calidad del suministro (regulación de voltaje, FP, etc.)

- Norma para Usuarios Finales Productores de Energía Eléctrica con recursos renovables (Norma UPR).

### 2.2.1. Desarrollo de Proyectos de Fuentes de Generación Distribuida en El Salvador

El marco regulatorio aplicable a las energías renovables favorece el desarrollo de proyectos de generación distribuida a partir de recursos renovables presentes en el país, actualmente hay una cantidad importante de proyectos de generación distribuida eléctrica renovable en el sector comercio e industria a nivel nacional.

A continuación, el mapa de El Salvador con las Fuentes de generación distribuida que se encuentran actualmente instaladas.

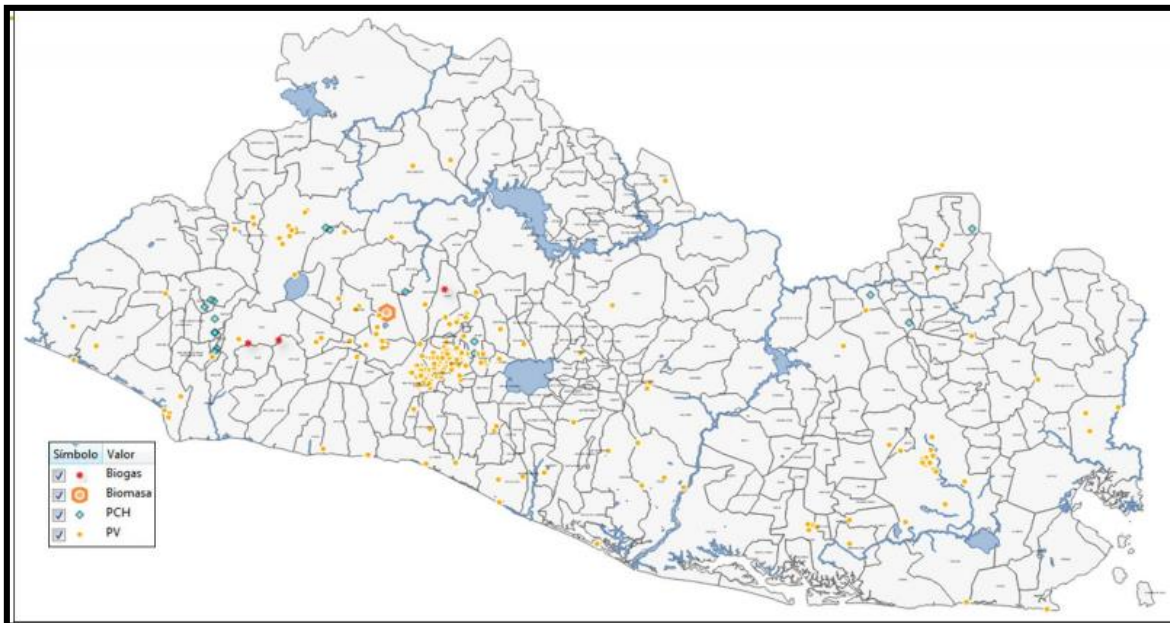


Ilustración 2 Generación Distribuida en el Salvador con diferentes Fuentes de Generación datos hasta el 31 de dic. 2018.



### 2.3. MODELADO Y SIMULACIÓN DE SISTEMAS DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA

La ingeniería como disciplina está estrechamente vinculada a la capacidad de modelar sistemas. Lograr un modelo de un sistema no es otra cosa que lograr un conjunto de ecuaciones que intentan predecir el comportamiento del sistema. Es esa pretensión de predicción la que nos permite observar las diferencias entre la realidad y la predicción del comportamiento y que nos permite a su vez identificar aquellos aspectos del sistema (aquella relación causa-efecto) que no hemos comprendido adecuadamente. Esta identificación, si las diferencias detectadas son relevantes, justificarán la búsqueda mejoras al modelo y así sucesivamente.

En otras palabras, nuestra capacidad de comprensión del mundo se basa en razonar (consciente o inconscientemente) sobre el modelo que tenemos del mismo.

Los softwares que se utilizan para modelar redes de distribución deben tener la capacidad de modelar flujos de carga, calcular cortocircuitos, análisis de armónicos, los softwares más comunes usados en el mercado están:

- ETAP Renewable.
- WindMil,
- DeepEdit.
- PowerFactory, Dgisilent, entre otros.

### 2.4. SOFTWARE OPENDSS



*Ilustración 3 Logo  
Software OpenDSS.*

OpenDSS es un simulador de sistema de distribución de energía eléctrica (DSS) diseñado para soportar la integración y modernización de la red de recursos de energía distribuida (DER). Permite a los ingenieros realizar análisis complejos



utilizando una plataforma flexible, personalizable y fácil de usar, diseñada específicamente para enfrentar los desafíos actuales y futuros del sistema de distribución, y proporciona una base para comprender e integrar nuevas tecnologías y recursos.

OpenDSS modela tecnologías de distribución, recursos, activos y controles tradicionales y avanzados. Fue la primera plataforma que incluyó datos detallados de almacenamiento de energía e inversores avanzados y es fundamental para desarrollar nuevos análisis de sistemas de distribución, como los métodos de capacidad de alojamiento aplicados en la herramienta de integración de recursos de distribución y estimación de valor (DRIVE) de EPRI.

Desarrollado en 1997, por Electrotek Concepts, Inc.; donde en un inicio el programa era simplemente llamado DSS. Su principal autor es Roger Dugan que junto con su colega Tom McDermott trabajaron en el desarrollo del software hasta el 2004, cuando la empresa Electric Power Research Solutions (actualmente EPRI) adquirió el programa y lo lanzó el 2008 como software de código abierto.

OpenDSS se ha convertido en una poderosa herramienta de simulación apalancada en toda la industria por empresas de servicios públicos, laboratorios de investigación y universidades para modelar y simular aplicaciones de distribución avanzadas. Además, se utiliza como herramienta de capacitación para estudiantes y nuevos ingenieros de distribución.

Es un software aún en desarrollo que va implementando progresivamente nuevas herramientas que tienen en cuenta futuras necesidades relacionadas con los esfuerzos de modernización de las redes actuales. El programa fue originalmente pensado como una herramienta para el análisis de la interconexión de generación distribuida, pero su continua evolución ha llevado al desarrollo de otras funcionalidades que son perfectas, por ejemplo, para estudios de eficiencia en el suministro de energía y estudios de armónicos.



### **2.4.1. Modelo Matemático Utilizado por OpenDSS**

OpenDSS trabaja bajo el modelo de scripts los parámetros se ingresan en forma de código por lo que se vuelve un poco complicado simular circuitos grandes para esto con la ayuda de plugins creados en el software QGIS nos ayuda a obtener resultados de una forma mucho más rápida.

La interfaz COM Component Object Model nos ayuda a realizar soluciones en softwares externos como Python, Matlab entre otros.

### **2.4.2. Capacidades de solución en Software OpenDSS**

- Flujo de potencia desfasado y multifásico.
- Series temporales cuasiestáticas (QSTS).
- Análisis de fallas.
- Análisis armónico.
- Análisis de parpadeo.
- Análisis dinámico (electromecánico).
- Análisis lineal y no lineal.
- Análisis de tensión / corriente perdida.

## **2.5. ESTUDIOS A REALIZAR CON SOFTWARE OPENDSS**

### **2.5.1. PERDIDAS TECNICAS**

En un circuito hay pérdidas fijas (transformadores) y variables (transformadores y líneas), se realizó el estudio de pérdidas de todo el circuito en el cual el software da como resultado un archivo de texto en el que se muestran las pérdidas de las líneas y los transformadores de todo el circuito. Y para nuestro análisis nos sirvió para obtener las pérdidas totales del circuito y las pérdidas totales para las líneas y para



los transformadores. El estudio se realizó para el circuito sin generación distribuida y luego se simuló el circuito con las fuentes de generación distribuida

## 2.5.2. Flujos de Potencia

**Definición:** el estudio de flujo de potencia, también conocido como flujo de carga, es una herramienta importante que involucra análisis numérico aplicado a un sistema de potencia. En el estudio del flujo de potencia usualmente se usa una notación simplificada tal como el diagrama unifilar y el sistema por unidad.

### 2.5.2.1. Estudio de Flujos de Potencia en OpenDSS

Para realizar un estudio de flujos de potencia el usuario debe ingresar una curva de demanda del circuito a analizar. Este archivo debe ser formato \*.csv. Con una resolución de 15 minutos, el archivo puede ser de un día o un año. El archivo \*.csv debe contener la hora y fecha de cada medición, así como las potencias introducidas a la red en cada lapso de tiempo. La curva de demanda ingresada debe poseer el orden visto en la Figura 4, el nombre del encabezado es indiferente, sin embargo, su orden de aparición y su contenido debe ser el mostrado (orden debe ser: Potencia Activa total, Potencia Reactiva total, Hora, Fecha).

Además de simular los flujos, se encuentran las opciones de: “Ver pérdidas”, la cual muestra las pérdidas activas del circuito; “Ver desbalances de tensión”, la cual gráfica y exporta los desbalances máximos de tensión en cada barra trifásica del circuito.

## 2.5.3. Corrientes de Cortocircuito

**Definición:** una sobre intensidad con valores muy por encima de la intensidad nominal que se establece en un circuito o línea eléctrica.





### **2.5.3.1. Estudio de Corrientes de cortocircuito en OpenDSS**

Para estudios de cortocircuito, se debe ingresar a la pestaña que indica dicho estudio, al usuario se le solicita que ingrese la hora y fecha con el fin de correr un flujo de potencia y así obtener las tensiones pre-falla. Luego se observa las opciones para realizar el estudio, donde es posible cortocircuitar una sola barra, o bien hacer un barrido de las barras de media tensión, baja tensión, o ambas.

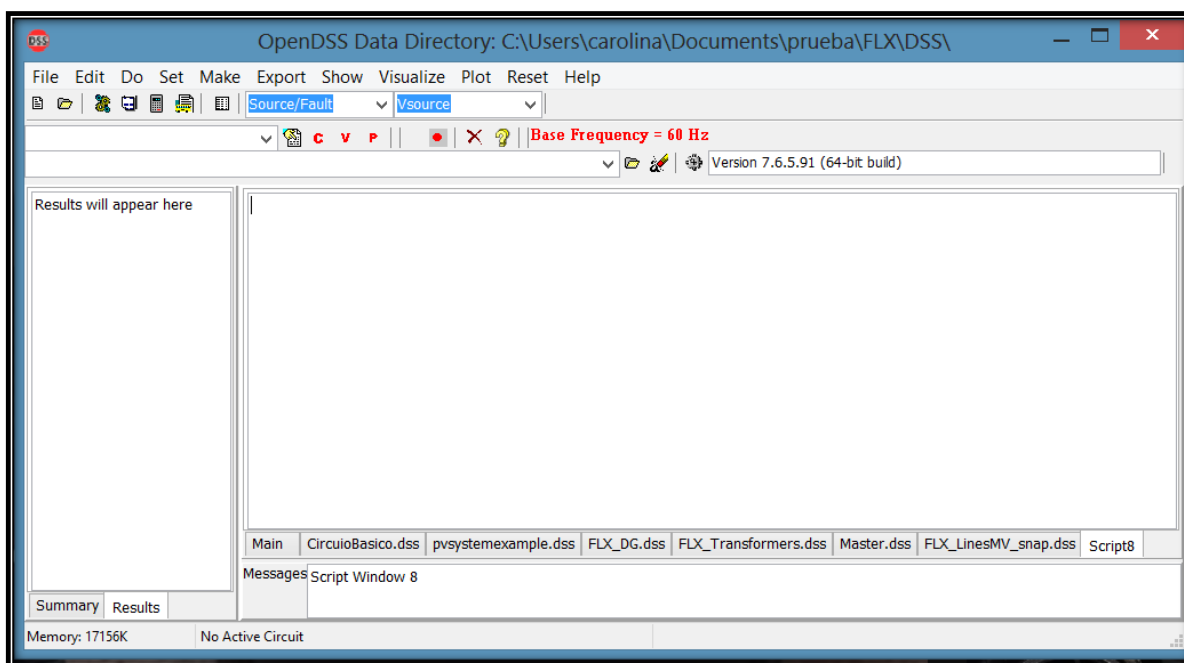
Además, mediante la selección de fases en corto se escoge el tipo de cortocircuito a realizar en cada barra, sea trifásico-tierra (ABC), bifásico a tierra (AB, BC, AC), bifásica línea a línea (AB Línea - Línea, BC Línea Línea, AC Línea - Línea) o monofásica a tierra (A, B, C).



## CAPITULO III: MODELAMIENTO EN OPENDSS

### 3. INTERFAZ DEL SOFTWARE OPENDSS

El software OpenDSS fue desarrollado con la finalidad principal de modelar los sistemas eléctrico de distribución, a continuación, presentamos la interfaz gráfica del Software OpenDSS:



*Ilustración 4 Interfaz Gráfica Software OpenDSS.*

La interfaz gráfica es muy simple o sencilla y el modelar o simular los sistemas se da mediante líneas que deben compilarse además presenta tres listas desplegables principales (parte superior) como observamos en la Ilustración 5, en la primera se elige el tipo de elemento sobre el que se efectuara el análisis, la segunda selecciona el tipo de equipo y la última especifica el dispositivo sobre el cual se visualizaran los resultados.



### 3.1. Modelado de Líneas de Distribución

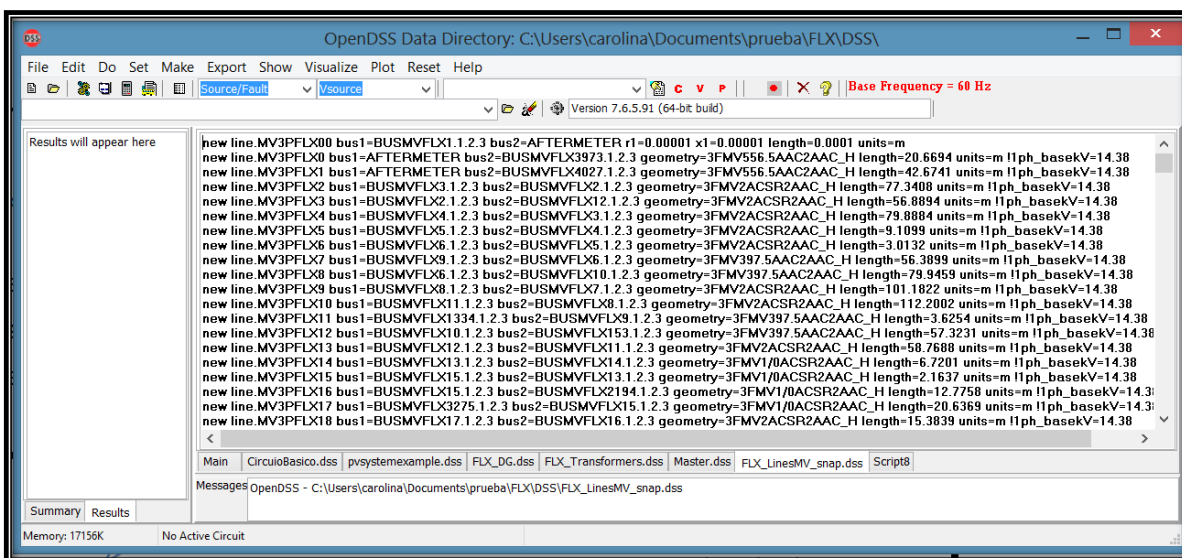


Ilustración 5 Modelado de Líneas de Distribución.

Para el modelado y simulación de líneas como lo muestra la Ilustración 6 a partir de hojas de los fabricantes se crean las bibliotecas de los conductores, una vez creadas las bibliotecas podemos definir las en el programa por medio de la declaración de 4 objetos:

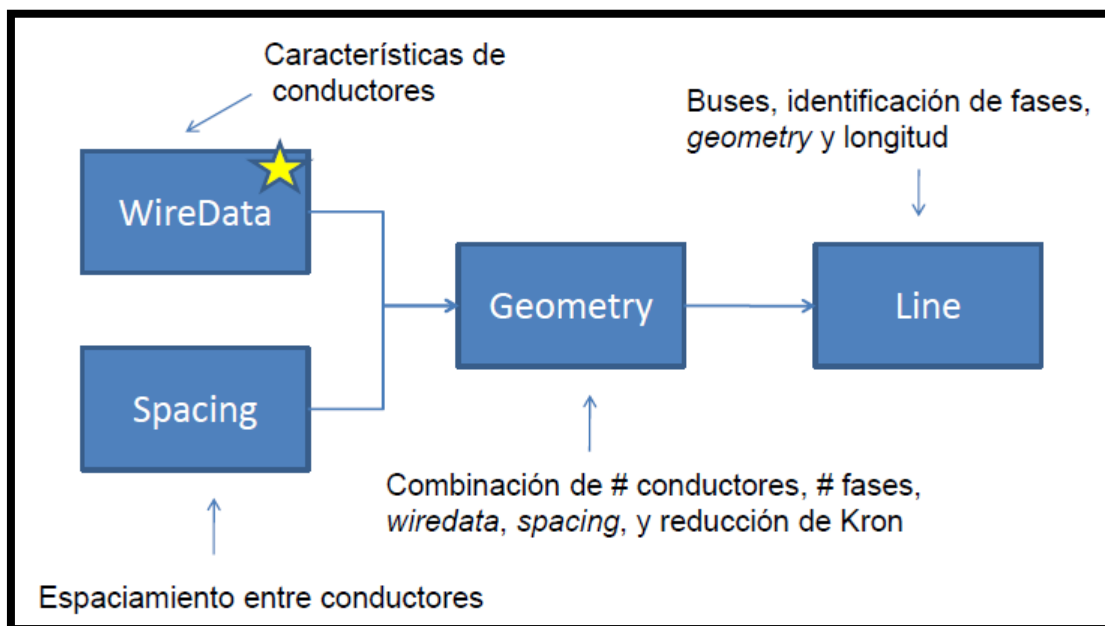


Ilustración 6 Modelado de Líneas por medio de la declaración de 4 Objetos en OPENDSS

Quedando una línea de código de la siguiente manera:



```
New Line.L1 Phases=3 Bus1=800.1.2.3 Bus2=802.1.2.3 LineCode=300 Length=2.58
units=kft
```

Ilustración 7 Línea de Código para Modelado de Líneas de Distribución.

### 3.2. Modelado de Transformadores

Mediante líneas de código se describen las características técnicas de los transformadores, en código OPENDSS la forma de representar el transformador correspondiente es de la siguiente manera:

```
clear
new circuit.ejemplo2 baseKv=13.2 pu=1.0 angle=0 frequency=60 phases=1
set defaultBaseFrequency=60
set EarthModel=carson

new transformer.mono phases=1 windings=3 Xhl=1.50 Xht=1.50 Xlt=1.00
~ %Rs = [0.65 1.30 1.30] %noloadloss=0.47 %imag=1.30 Buses=[A.1 B.1.0 B.0.2]
~ Kvs=[7.97 0.12 0.12] Kvas=[25 25 25] conns=[wye wye wye]
solve
visualize What={voltages} element=transformer.mono
visualize What={powers} element=transformer.mono
```

Ilustración 8 Líneas de código para el modelado de transformadores.

Para definir un transformador, OpenDSS utiliza el objeto transformer como se muestra en la Ilustración 9, utilizando la siguiente información:

<b>NAME</b>	Identificador del transformador
<b>PHASES</b>	Número de fases del transformador
<b>WINDINGS</b>	Número de devanados del transformador
<b>XHL</b>	Porcentaje de reactancia entre los devanados de alta a baja
<b>XHT</b>	Porcentaje de reactancia entre los devanados de alta y terciario
<b>XLT</b>	Porcentaje de reactancia entre los devanados de baja y terciario



<b>%Rs</b>	Porcentaje de resistencia de cada devanado
<b>%nplodloss</b>	Porcentaje de perdidas sin carga
<b>%imag</b>	Porcentaje de corriente de magnetización
<b>BUSES</b>	Vector con nombre de las barras y fases de cada terminal
<b>kvs</b>	Tensiones nominales en cada devanado
<b>kVAs</b>	Capacidad de cada devanado
<b>CONNS</b>	Conexión de cada devanado

Tabla 1 Parámetros para línea de código en el modelado de transformadores.

### 3.3. Modelado de la Demanda

Para definir una carga, OpenDSS utiliza el objeto *load*. La siguiente información es necesario para modelar una carga en OpenDSS:

<b>NAME</b>	Identificador(único) de la carga
<b>BUS1</b>	Nombre de la barra (y fases) dónde se conectará la carga
<b>KV</b>	Tensión nominal de la carga
<b>MODEL</b>	Modelo de la carga (hay siete tipos)
<b>CONN</b>	Tipo de conexión de la carga (delta, wye)
<b>KW</b>	Potencia nominal de la carga
<b>PF</b>	Factor de potencia de la carga (se puede usar también KVAR)
<b>STATUS</b>	Fija o variable (vamos a iniciar con fija)
<b>PHASES</b>	Número de fases de la carga (1 o 3 para monofásica o trifásica)

Tabla 2 Parámetros para el modelado de línea de código de carga.

Con esto podemos parametrizar la línea de código quedando de la siguiente manera:

```
new load.ejemplo1 bus1=sourcebus.1.2.3 kV=34.5 model=1 conn=wye kW=300 kvar=75
~ status=fixed phases=3
```

Ilustración 9 Modelado de Línea código de cargas.



### 3.3.1. Monitores en OpenDSS

Al igual que los monitores reales, un *monitor* en OpenDSS guarda las variables eléctricas que se miden en el punto de conexión. La siguiente información es necesaria para crear un monitor en OpenDSS:

<b>NAME</b>	Identificador(único) del monitor
<b>ELEMENT</b>	Tipo y nombre del elemento del circuito dónde se colocará.
<b>PPOLAR</b>	Se usa en conjunto con el Mode1 (monitoreo de potencia activa y reactiva) y se define como <b>NO</b> ya que no nos interesa obtener la potencia aparente y el ángulo del factor de potencia

Tabla 3 Parámetros para el modelado de Monitores.

Con esto podemos parametrizar la línea de código quedando de la siguiente manera:

```

Para tensiones y corrientes
new monitor.NOMBRE element=line.nombre_objeto_línea terminal=X mode=0
new monitor.NOMBRE element=Vsource.source terminal=X mode=0

```

Ilustración 10 Línea de Código parametrizar monitores para tensión y corriente.

### 3.3.2. Modelado Perfil de Demanda

OpenDSS permite representar la variabilidad de la demanda en un periodo de tiempo, se logra creando un objeto llamado *loadshape* la resolución de los perfiles de demanda puede ser de 1, 5, 10, 30, 60 minutos.

## 3.4. Modelado de Flujos de Potencia

Para el modelado de Flujos de Potencia debemos poner en practico lo aprendido con anterioridad (3.1. al 3.3) puesto que con este modelado uniremos cada línea de código aprendida según los parámetros.



Al momento de modelar un flujo de potencia debemos crear las líneas de código para los siguientes parámetros:

- Líneas de MT y BT.
- Transformadores de distribución.
- Cargas.

OpenDSS nos permite exportar archivos \*. csv para realizar análisis de datos en cualquier otro software.

### **3.5. Modelado de Corriente de Fallas y Pérdidas**

Los fallos se dan por el material aislante que separa dos objetos con una diferencia de potencial.

#### **3.5.1. ¿Para qué se estudian las fallas?**

##### **3.5.1.1. Cálculo de capacidad de interruptores**

- Debe interrumpirse la falla lo más pronto posible.
- Falla del interruptor conlleva a problemas aún mayores.

##### **3.5.1.2. Diseño del sistema de protección**

- ¿La falla es lo suficientemente grande para ser detectada?
- Fallas que no se detectan son un peligro de seguridad.

##### **3.5.1.3. Revisión de estabilidad del sistema**

- Calidad de la energía
- Las fallas crean huecos de tensión en la red

El sistema debe continuar su operación aún en condiciones anormales.



Para la explicación del modelado de la corriente de falla utilizaremos el siguiente ejemplo:

- ✓ Determinar la corriente de falla trifásica a tierra N o en la barra de 230 kV:

$$Z1=1.39037 + j13.8314\Omega \quad Z0=1.28704+j9.18706\Omega$$

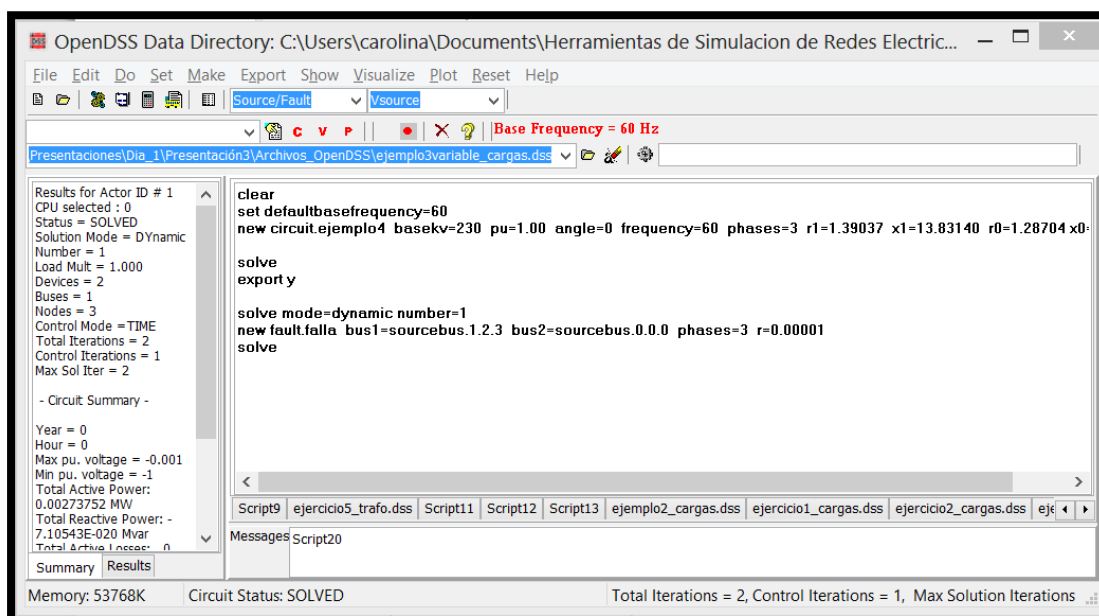


Ilustración 11 Determinando la corriente de falla trifásica a tierra.

Las fallas se definen con el objeto fault, como se observa en el ejemplo de la Ilustración 12 y como se detalla a continuación Tabla 4 para crear la línea de código

<b>NAME</b>	Identificador(único) de la falla.
<b>BUS 1 -BUS 2</b>	Nombre de la barra 1 o 2 a fallar con respectivos nodos.
<b>R</b>	Resistencia de Falla (en cada fase) Default es 0.0001 ohm.
<b>PHASES</b>	Número de Fases.

Tabla 4 Definición de Parámetros línea de código para corrientes de fallas.

### 3.6. Modelado de Redes de Distribución con Nuevas Tecnologías

En OPEN DSS los modelos de los componentes (paneles e inversor) de los sistemas fotovoltaicos tienen parámetros de entrada como son las curvas de



radiación solar en una ventana de tiempo que puede ser diaria, mensual o anual, así como también la temperatura y la eficiencia del panel. En siguiente Ilustración se presenta un diagrama de bloques del modelo de un sistema fotovoltaico en OPEN DSS.

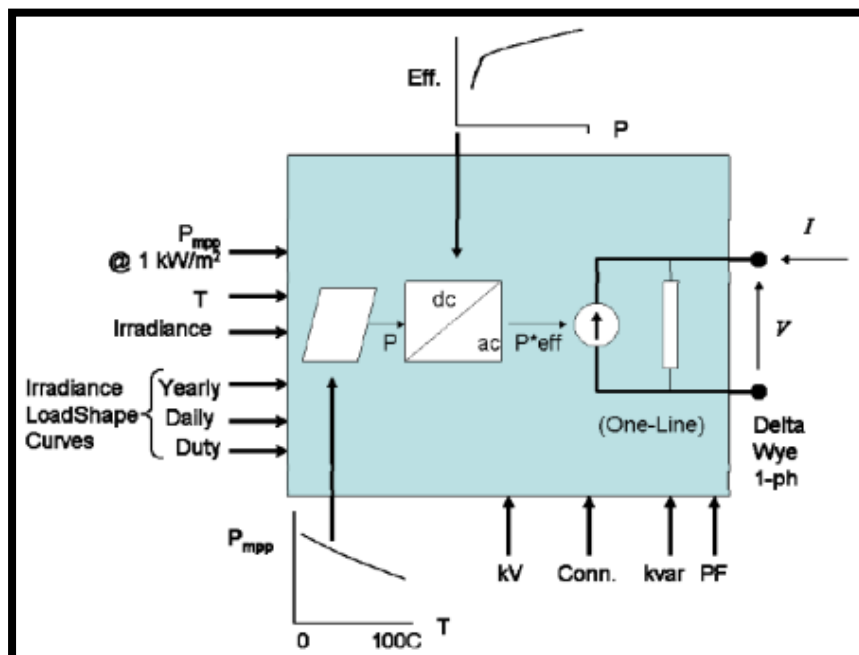


Ilustración 12 Diagrama de Bloques de un PV

El modelo debe ser conectado a un nodo dc en el sistema de distribución y debe tener parámetros definidos como el nivel de tensión o la potencia aparente. A continuación se presentan las líneas de código de los parámetros de un sistema fotovoltaico en OpenDSS:

```
New PVSystem.PV phases=3 bus1=PVbus kV=12.47 kVA=500 irrads=0.8 Pmpp=500
```

Ilustración 13 Líneas de Código para un PV

Las líneas de código describen un sistema fotovoltaico de tensión nominal de 12,47 kV con una potencia aparente de 500 kVA, trifásico.



## CAPITULO IV: MODELADO EN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICO CON OPEN DSS

### 4. Modelado e Introducción a Sistema de Información Geográfico

Open DSS se desarrolla bastante junto con el software QGIS, para modelar un sistema de distribución en GIS, subestaciones, transformadores se representan como círculos o cuadrados y de distintos colores, las líneas de media tensión y baja tensión se representan como líneas que pueden tener colores y grosores distintos

	PHASEDESIG	NOM/VOLT	NEUTSIZ	LINEGEO	PHASESIZ	PHASEMAT	INSULATION	LENGTH	X1	Y1	X2	Y2	NEUTMAT	
1	7	380	3/0	H	4	CU	DES	1.367265595923...	486058.9107	1097520.125	486059.2596	1097518.803	AAC	m
2	4	380	3/0	M	4	CU	DES	1.243338875716...	486061.3874	1097520.959	486062.1208	1097519.955	AAC	m
3	7	380	3/0	H	4	CU	DES	2.252603551401...	486059.5633	1097522.281	486058.9107	1097520.125	AAC	m
4	7	380	3/0	H	3/0	AAC	DES	4.025721505543...	486060.6791	1097518.413	486059.5633	1097522.281	AAC	m
5	4	380	3/0	M	4	CU	DES	2.252781571725...	486059.5633	1097522.281	486061.3874	1097520.959	AAC	m
6	7	380	3/0	H	3/0	AAC	DESNUDO	3.40328135777743	486397.1443	1097595.703	486400.5263	1097595.323	AAC	m
7	7	380	3/0	H	3/0	AAC	DES	94.12943780907...	486059.5633	1097522.281	486021.4858	1097608.365	AAC	m
8	4	380	3/0	M	4	CU	DESNUDO	2.694778810935...	486162.0791	1097748.614	486163.2013	1097751.064	AAC	m
9	4	380	3/0	M	4	CU	DESNUDO	1.892502377853...	486163.2013	1097751.064	486161.8288	1097752.367	AAC	m
10	7	380	3/0	H	477	AAC	DES	178.4588918339...	486021.4858	1097608.365	486112.5416	1097761.846	AAC	m
11	7	380	3/0	H	477	AAC	DES	7.297818022718...	486112.5416	1097761.846	486114.9783	1097768.725	AAC	m
12	7	380	3/0	H	3/0	AAC	DES	36.35366794718...	486160.9111	1097785.519	486143.3922	1097753.665	AAC	m
13	2	380	3/0	M	4	CU	DES	1.478960026483...	486059.2303	1097805.528	486060.1179	1097806.711	AAC	m
14	2	380	3/0	M	4	CU	DES	3.617290739059...	486060.1179	1097806.711	486061.4502	1097810.074	AAC	m
15	7	380	3/0	H	4	CU	DES	1.853696889898...	485828.6396	1097971.829	485827.38	1097970.469	AAC	m
16	7	380	3/0	H	4	CU	DES	1.758492038703...	485828.6396	1097971.829	485830.3691	1097972.147	AAC	m
17	7	380	3/0	H	477	AAC	DES	6.403104625087...	485824.7278	1097976.297	485827.38	1097970.469	AAC	m
18	7	380	3/0	H	266	AAC	DESNUDO	97.7041108146079	485817.1525	1098073.707	485824.7278	1097976.297	AAC	m
19	7	380	3/0	H	4	CU	DESNUDO	1.336066648823...	485817.1525	1098073.707	485815.8222	1098073.831	AAC	m
20	7	380	3/0	H	477	AAC	DESNUDO	77.96431435095...	486125.8736	1098222.032	486199.3497	1098195.961	AAC	m

Ilustración 14 Tabla de atributos para las distintas capas en QGIS.

En la tabla de atributos se representan todas las características de la capa para usarla en los plugins que para este trabajo de graduación se utilizaran dos, estos deben tener un contenido estipulado para que el programa pueda funcionar correctamente.

La Tabla 5 nos muestra los atributos que deberán poseer cada capa para correr la simulación en QGIS:



<b>SUBESTACIÓN</b>	<b>TRANSFORMADORES</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Tensión línea a línea en alta tensión.</li> <li>▪ Tensión línea a línea en media tensión.</li> <li>▪ Reactancia serie del devanado de alta con el devanado terciario</li> <li>▪ Reactancia serie del devanado de alta con el devanado de baja</li> <li>▪ Tipo de conexión en alta y media tensión</li> <li>▪ Potencia nominal en el lado de alta tensión, de media tensión.</li> <li>▪ Número de devanados</li> <li>▪ Posición máxima y mínima del tap</li> <li>▪ Posición en la que se encuentra ajustado el TAP del transforma</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Tensión línea a línea en alta y media tensión.</li> <li>▪ Tensión línea a línea nominal del devanado terciario solo para trafos con tres devanados.</li> <li>▪ Reactancia serie del devanado de alta con el devanado de baja.</li> <li>▪ Reactancia serie del devanado de alta con el devanado terciario</li> <li>▪ Reactancia serie del devanado de baja con el devanado terciario</li> <li>▪ Tipo de conexión en alta y media tensión</li> <li>▪ Tipo de conexión para el devanado terciario.</li> <li>▪ Potencia nominal en el lado de alta tensión</li> <li>▪ Potencia nominal en el lado de media tensión.</li> <li>▪ Número de devanados.</li> <li>▪ Posición máxima y mínima del tap.</li> </ul>
<b>LINEAS DE BAJA TENSIÓN</b>	<b>LINEAS DE ALTA TENSIÓN</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Material del conductor del neutro</li> <li>▪ Calibre del conductor neutro</li> <li>▪ Material del conductor de fase</li> <li>▪ Calibre para los conductores de fase</li> <li>▪ Conductores desnudos en red secundaria</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Material del conductor del neutro</li> <li>▪ Calibre del conductor neutro</li> <li>▪ Material del conductor de fase</li> <li>▪ Calibre para los conductores de fase</li> <li>▪ Conductores desnudos en red secundaria</li> <li>▪ Designación de fases</li> </ul>



CARGAS DE BAJA TENSIÓN	GENERACIÓN DISTRIBUIDA
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Tensión nominal de la carga</li> <li>▪ Tipo de conexión de la carga</li> <li>▪ Potencia nominal de la carga</li> <li>▪ Factor de potencia de la carga</li> <li>▪ Número de fases de la carga</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Numero de fases.</li> <li>▪ Conexión del generador.</li> <li>▪ Tensión nominal.</li> <li>▪ Capacidad nominal.</li> <li>▪ Valor de la potencia activa generada.</li> <li>▪ Factor de potencia de operación.</li> <li>▪ Perfil de generación.</li> <li>▪ Reactancia transitoria.</li> <li>▪ Reactancia subtransitoria.</li> <li>▪ Potencia máxima nominal del arreglo PV.</li> <li>▪ Factor de potencia para la potencia de salida.</li> <li>▪ Curva de temperatura en superficie del panel.</li> <li>▪ Curva de la eficiencia del inversor.</li> <li>▪ Efecto de la temperatura del panel en la producción de energía.</li> </ul>

Tabla 5 Atributos para capas en QGIS.

Cuando completamos el circuito con todas las capas y la información requerida el circuito queda de la siguiente forma:

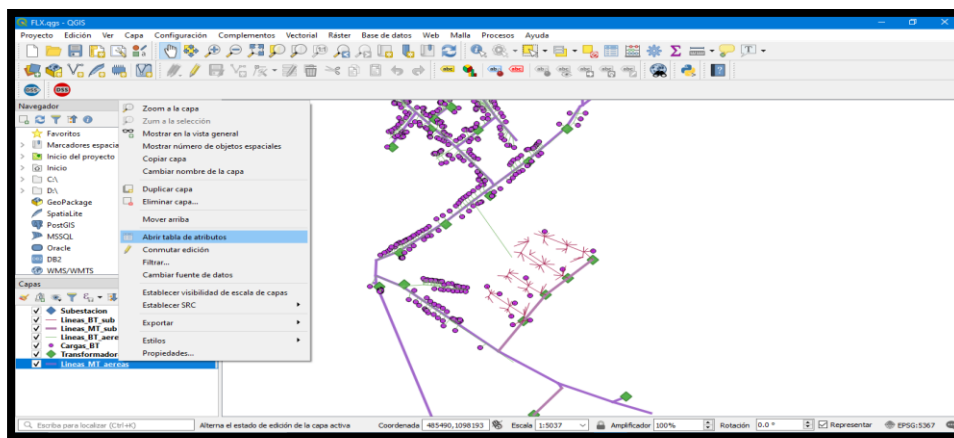


Ilustración 15 Modelado de atributos en capas en QGIS.

#### 4.1. Identificación y Corrección de Errores

Se utiliza un plugin en Qgis llamado DNCorrector que identifica la conexión de todos los elementos y nos indica segmentos de media tensión desconectados, circuitos en anillo no deseados, cargas desconectadas, transformadores desconectados, circuitos secundarios con más de un transformador



Ilustración 16 Plugin DNCorrector demostrando errores en el circuito realizado.

#### 4.2. Modelado en OpenDSS desde QGIS

Para esta sección instalamos el plugin QGIS2OpenDSS, que se presenta en la siguiente Ilustración:

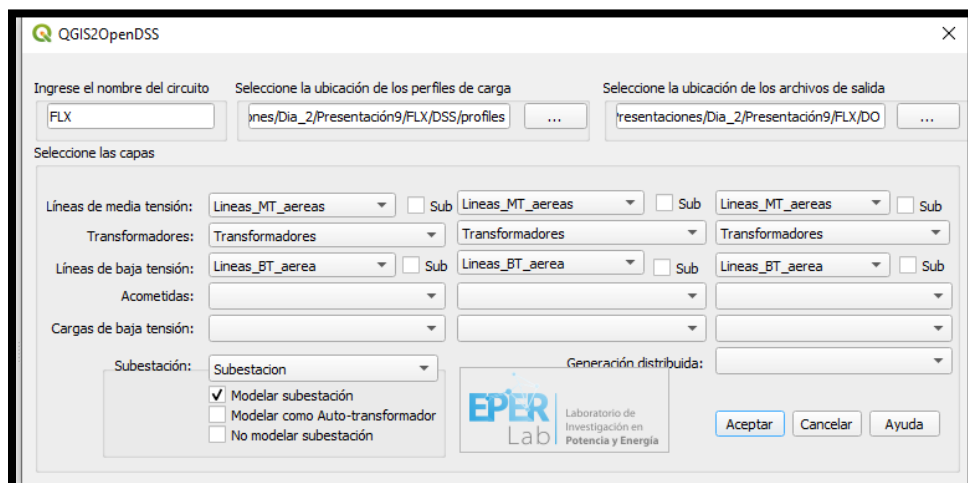
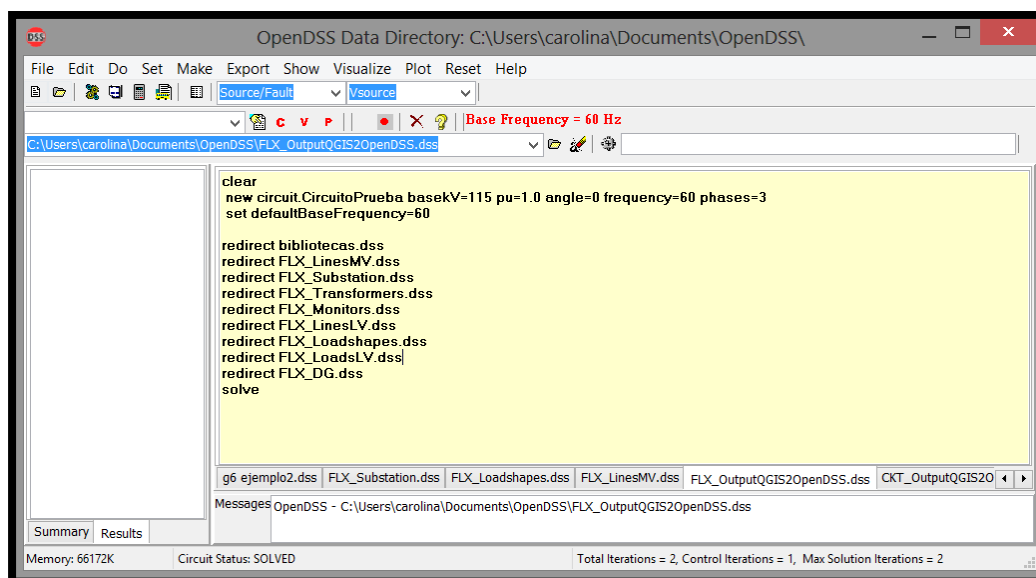


Ilustración 17 Pugin QGISS-OpenDSS.



El plugin funciona por medio de perfiles de carga y capas como líneas de media tensión, transformadores, líneas de baja tensión, acometidas, cargas de baja tensión, subestaciones, y generación distribuida

El plugin necesita la ubicación de los perfiles de carga, la ubicación de los archivos de salida una vez seleccionadas las distintas capas seleccionamos aceptar y el programa procesa los datos una vez terminado en la carpeta de salida que seleccionamos nos muestra los archivos en formato .dss



*Ilustración 18 Documentos creados desde el plugin QGIS, abriéndolos en el programa OpenDSS.*

### 4.3. Estudio de Impactos de Nuevas Tecnologías

En este apartado utilizamos el plugin QGIS2RunOpenDSS, con este plugin podemos hacer simulaciones de snapshot, simulaciones diarias, análisis de cortocircuito, y generación distribuida. Este plugin es posterior al QGIS2OpenDss utiliza los datos de salida de ese plugin y asignando una curva del alimentador podemos realizar el análisis de flujos de potencia diarios y anuales, desbalances de tensión, análisis de cortocircuito, analizar un sistema fotovoltaico interconectado en la red.

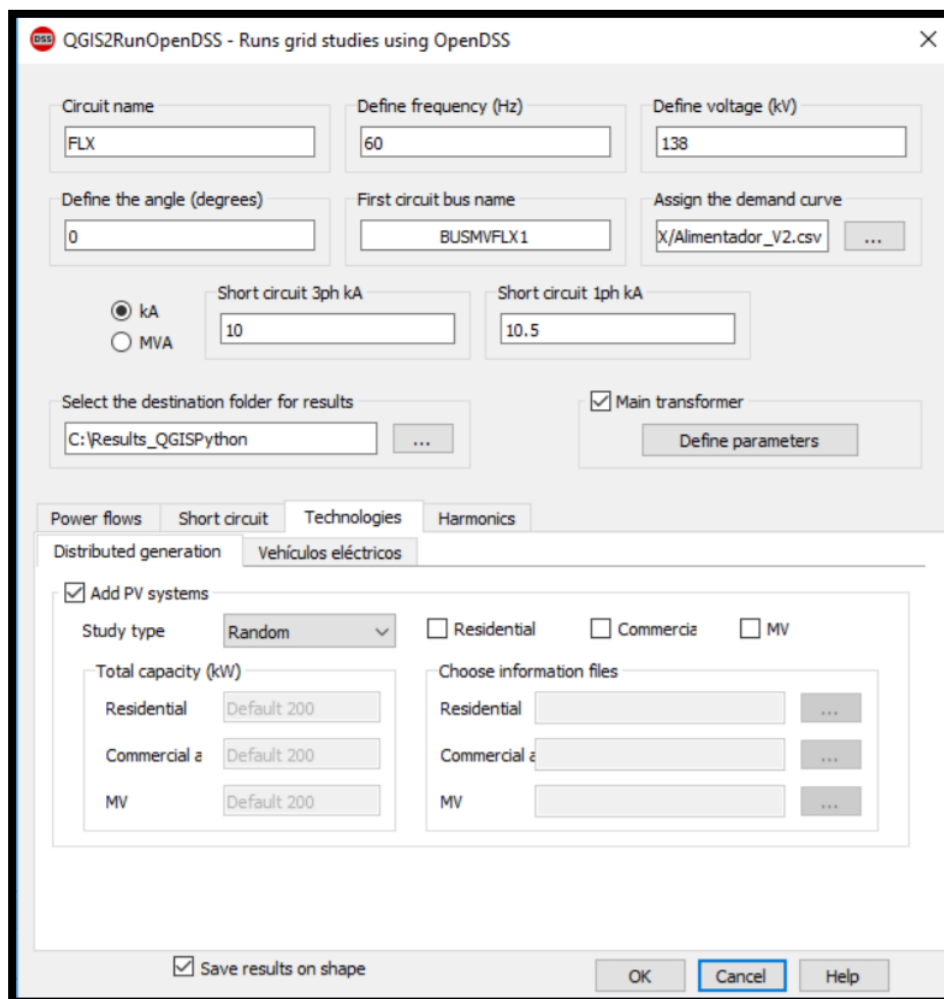


Ilustración 19 Modelado de Sistema Fotovoltaico.

#### 4.4. Visualización de resultados de flujos de potencia en QGIS

En esta sección se utiliza un plugin VISION que se usa para visualizar resultados dados por el plugin QGIS2RunOpenDSS nos ayudan a mostrar componentes de red:

- Categorizado de tensión: permite ver puntualmente las barras con problemas de tensión.
- Heatmap: por medio de puntos de tensión logra hacer mapas de calor.



- Flujo de potencia: según los análisis de flujo de potencia de QGIS2RunOpenDSS clasifica las líneas de baja tensión y media tensión en distintos colores.

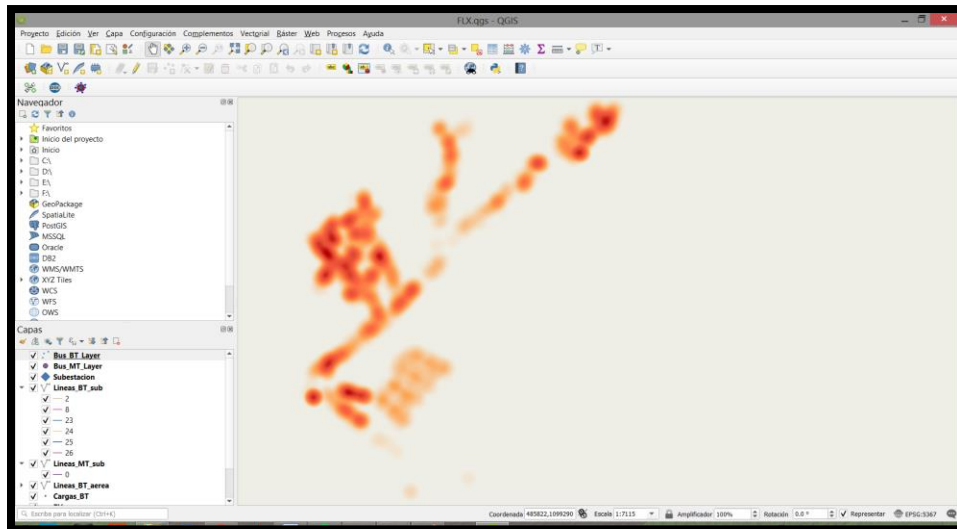


Ilustración 20 Resultados de Plugin Vision.



## CAPITULO V: MODELAMIENTO, SIMULACIÓN E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS CIRCUITO 109-2-13

### 5. Circuito 109-2-13

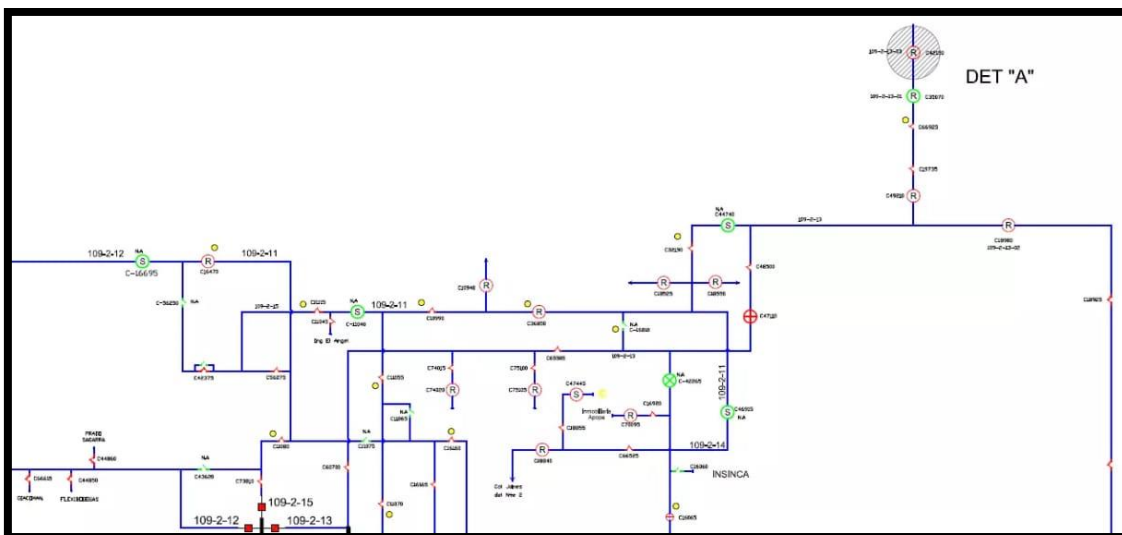


Ilustración 21 Diagrama Unifilar circuito 109-2-13

El circuito seleccionado para simulación a través del software libre OpenDSS, CIRCUITO 109-2-13 perteneciente a la red de distribución de Nejapa en donde se interconectan dos plantas generadoras fotovoltaicas, las cuales son:

1. AES BOSFORO II APOPA
2. AES BOSFORO I GUAZAPA

#### 5.1. Modelado del Circuito 109-2-13 al Sistema de Información Geográfico.

Al momento de introducir las líneas de Media Tension del circuito 109-2-13 proporcionadas por la empresa distribuidora AES El Salvador al Sistema de Información geográfico (QGIS) es necesario contar con todos los parametros preestablecidos para formar la tabla de atributos como se explico en el capitulo 4 de dicho documento.



Para las líneas de Media Tension en el circuito 109-2-13 se requería los siguientes datos para la creación de la tabla de atributos:

### 5.1.1. Líneas MT Aereas

Atributos Obligatorios	Atributos Opcionales
NEUMAT: Material conductor Neutro	LENGTH: Longitud de la línea
NEUSIZ: Tamaño conductor Neutro	LEIUNIT: Unidad de longitud de línea
PHASESIZ: Tamaño de Fases	X1: Localización X1 bajo coordenadas XY
INSULVOLT: Aislamiento de tensión conductores MT subterráneos	Y1: Localización Y1 bajo coordenadas XY
PHASEDESING: Designación de Fases	X2: Localización X2 bajo coordenadas XY
INSULMAT: Material de aislamiento de los conductores MT subterráneos	Y2: Localización Y2 bajo coordenadas XY
NOMVOLT: Tensión Nominal	

Tabla 6 Atributos Obligatorios y Opcionales para la creación de capa de Líneas MT.

Al momento de crear la capa de Líneas en MT es importante convertir los valores de tensión nominal al código para la creación de archivos opendss como se muestra en la siguiente imagen:



Código	Tensión LN (kV)	Tensión LL (kV)	Configuración
20	0.12	0.208	estrella
30	0.12	0.24	fase partida
35	0.254	0.44	estrella
40	0.24	0.48	fase partida
50	0.277	0.48	estrella
60	0.48	0.48	delta
70	0.24	0.416	estrella
80	2.40	2.40	delta
110	4.16	4.16	delta
120	2.40	4.16	estrella
150	7.20	7.20	delta
160	4.16	7.20	estrella
210	7.22	12.5	estrella
230	7.62	13.2	estrella
260	13.8	13.8	delta
270	7.97	13.8	estrella
340	14.4	24.9	estrella
380	19.92	34.5	estrella

Ilustración 22 Código de Tensiones Nominales creación de capas QGIS.

Para vuestro caso seleccionamos el código 340 pues nuestro circuito maneja configuración estrella y tensión de línea a línea de 23000 V (23 kV).

El tamaño de las fases se define de acuerdo a la siguiente ilustración:

Atributo en el <i>shape</i>
ABC, RST ó 7
AB, RS ó 6
AC, RT ó 5
A, R ó 4
BC, ST ó 3
B, S ó 2
C, T ó 1

Ilustración 23 Tamaño de Fases para el atributo *shape*, puede ser numeración o letras.



Se puede usar letras o números como codificación tal como se observa en la ilustración 22, en vuestro caso el circuito contiene las tres fases por lo tanto utilizaremos la numeración 7.

Para el calibre del conductor neutro y fase se utiliza la numeración del calibre en vuestro caso el conductor neutro es 2, es decir #2 AAC, en el caso el conductor de fase es ACSR se presenta en diferentes calibres por lo que la numeración varía. Luego se procede con la creación de capa de Media Tensión en líneas de acuerdo a lo anterior, lo cual se muestra dentro del Sistema de Información Geográfica de la siguiente manera:

NEUTMAT	PHASEMAT	NEUTSZ	PHASESZ	NOMVOLT	LENGTH	X1	Y1	field_10	LENUIN	LINEGO	PHASEDESIG	DSSName	RING	MV_GROUP
AAC	AAC	2	397.5	340	33.113662094...	484223.702999...	298352.500999...		m	H		7/MV3PFLX1439	2	
AAC	ACSR	2	2	340	15.1960850221...	484224.132999...	298337.310999...		m	H		7/MV3PFLX899	2	
AAC	ACSR	2	2	340	47.5048892746...	484111.857000...	298156.800999...		m	H		7/MV3PFLX886	2	
AAC	ACSR	2	2	340	30.6823461456...	484223.791000...	298154.151000...		m	H		7/MV3PFLX881	2	
AAC	ACSR	2	2	340	13.7128687006...	484210.222999...	298156.139000...		m	H		7/MV3PFLX880	2	
AAC	ACSR	2	2	340	27.1351431357...	484223.517999...	298254.911000...		m	H		7/MV3PFLX893	2	
AAC	ACSR	2	2	340	33.9995947147...	484225.722000...	298303.749000...		m	H		7/MV3PFLX898	2	
AAC	ACSR	2	2	340	21.7797639335...	484223.930999...	298282.043000...		m	H		7/MV3PFLX897	2	
AAC	ACSR	2	2	340	40.2164396733...	484225.181999...	298214.728999...		m	H		7/MV3PFLX890	2	
AAC	ACSR	2	2	340	29.9874333679...	484226.010000...	298184.753000...		m	H		7/MV3PFLX889	2	
AAC	ACSR	2	2	340	50.8670726993...	484159.356000...	298156.053000...		m	H		7/MV3PFLX888	2	
AAC	ACSR	2	2	340	33.1910557379...	484079.979999...	298155.821999...		m	H		7/MV3PFLX887	2	
AAC	ACSR	2	2	340	14.8888203353...	484131.553000...	298411.120999...		m	H		7/MV3PFLX2333	2	
AAC	ACSR	2	2	340	39.1166175045...	484003.233999...	298181.857000...		m	H		7/MV3PFLX2260	2	
AAC	ACSR	2	2	340	47.1489478355...	484044.914999...	298159.818000...		m	H		7/MV3PFLX2059	2	
AAC	ACSR	2	2	340	50.0358598607...	483965.017999...	298281.957999...		m	H		7/MV3PFLX2297	2	
AAC	ACSR	2	2	340	68.9841901452...	483983.075000...	298215.379000...		m	H		7/MV3PFLX2261	2	
AAC	ACSR	2	2	340	32.8170668555...	483951.783999...	298302.211999...		m	H		7/MV3PFLX1399	2	
AAC	ACSR	2	2	340	8.75211380182...	484134.639000...	298402.930999...		m	H		7/MV3PFLX2331	2	
AAC	ACSR	2	2	340	46.1826368454...	484163.983999...	298367.270000...		m	H		7/MV3PFLX2285	2	
AAC	ACSR	2	2	340	33.9538635504...	484078.672000...	298156.167000...		m	H		7/MV3PFLX1493	2	
AAC	ACSR	2	2	340	26.5854662739...	483944.104999...	298362.118000...		m	H		7/MV3PFLX1400	2	
AAC	ACSR	2	2	340	28.487038308...	484089.615999...	298402.049999...		m	H		7/MV3PFLX2478	2	
AAC	ACSR	2	2	340	27.6626182780...	484063.050999...	298392.335000...		m	H		7/MV3PFLX3128	2	
AAC	ACSR	2	2	340	36.1513624017...	484160.744999...	298355.707000...		m	H		7/MV3PFLX2396	2	

Ilustración 24 Tabla de Atributo en QGIS, capa líneas en MT

Si se desea se puede mostrar los códigos para cada línea de la siguiente manera:

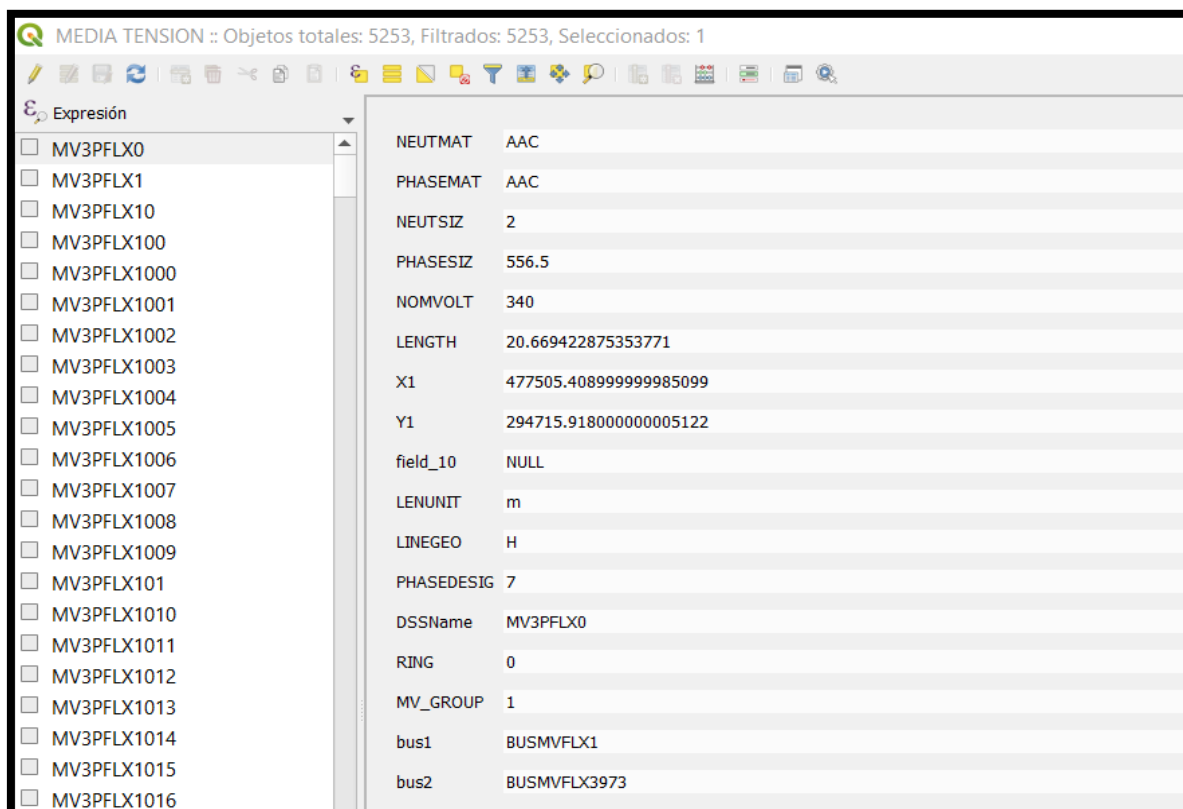


Ilustración 25 Información Tabla de atributos, Línea de media Tensión.

### 5.1.2. Transformadores

Para la creación de un archivo Shape de la capa de transformadores la información necesaria será la siguiente a utilizar:

Atributos Obligatorios	Atributos Opcionales
PHASEDESING: Designación de Fases	TAPS: Numero de TAPS en el transformador
PRIMVOLT: Tension Nominal Primaria	MV/MV: Si el transformador conecta dos segmentos de la red de MT
SECVOLT: Tension Nominal Secundaria	X1: Localizacion X1 bajo coordenadas XY
PRIMCONN: Conexión del lado primario	Y1: Localizacion Y1 bajo coordenadas XY



SECONN: Conexión del lado secundario
KVAPHASEA: Capacidad de Potencia Fase A
KVAPHASEB: Capacidad de Potencia Fase B
KVAPHASEV: Capacidad de Potencia Fase C
RATEDKVA: Capacidad Nominal del Transformador
TAPSETTING: Posicion en que se encuentra ajustado el TAP del Transformador. Si se desconoce asumir 1

*Tabla 7 Atributos Obligatorios y Opcionales para la creación de capa de transformadores*

Al momento de crear la capa de transformadores en el Sistema de Información Geográfica (QGIS), se requiere la información contenida en la Tabla 7, de acuerdo a códigos de creación de atributos como los vistos en el punto 5.1.1. en la creación de Líneas de MT.

Para la creación del archivo .shp se procedió a balancear las capacidades de potencia de acuerdo a la fase del transformador (A, B, C).

Para obtener la Tension Primaria (PRIMVOLT) y Tension Secundaria (SECVOLT) seleccionamos de la ilustracion 22 los codigos 340 para PRIMVOLT pues su tension es de 23,000 V (23 kV) y el codigo 30 para el lado secundarios a modo que indicamos que nuestra tension es de 240V. En vuestro caso su conexión es estrella – delta.

Al momento de diseño de fases se realiza con la ilustración 23 con numero de acuerdo al número de fases al que se encuentre conectado el transformador.



Una vez habiendo obtenido la información a través de un archivo .csv se procede a la creación de la capa, que de la misma manera en QGIS se observa de la siguiente forma:

PRIMVOLT	SECVOLT	PHASEDESIG	RATEDKVA	PRIMCONN	SECCONN	KVAPHASEA	KVAPHASEB	KVAPHASEC	X1	Y1	TAPSETTING	MV_GROUP	DSSName	bus1
340	30	2	50.0000000000000000	Y	D	0.0000000000000000	50.0000000000000000	0.0000000000000000	482548.234999...	305362.025000...	1	1	FLX1P_1	BUSMVFLX1575
340	30	2	10.0000000000000000	Y	D	0.0000000000000000	10.0000000000000000	0.0000000000000000	481721.155000...	305067.313000...	1	1	FLX1P_10	BUSMVFLX3440
340	30	1	25.0000000000000000	Y	D	0.0000000000000000	0.0000000000000000	25.0000000000000000	481833.827999...	304896.238000...	1	1	FLX1P_100	BUSMVFLX3442
340	30	4	25.0000000000000000	Y	D	25.0000000000000000	0.0000000000000000	0.0000000000000000	482123.759000...	303283.590000...	1	1	FLX1P_101	BUSMVFLX38
340	30	2	37.5000000000000000	Y	D	0.0000000000000000	37.5000000000000000	0.0000000000000000	481973.047000...	305947.005999...	1	1	FLX1P_102	BUSMVFLX4746
340	30	1	50.0000000000000000	Y	D	0.0000000000000000	0.0000000000000000	50.0000000000000000	482065.690000...	291734.027999...	1	1	FLX1P_103	BUSMVFLX721
340	30	4	37.5000000000000000	Y	D	37.5000000000000000	0.0000000000000000	0.0000000000000000	482098.890000...	291325.678000...	1	1	FLX1P_104	BUSMVFLX3857
340	30	2	50.0000000000000000	Y	D	0.0000000000000000	50.0000000000000000	0.0000000000000000	480562.200000...	306663.806999...	1	1	FLX1P_105	BUSMVFLX4364
340	30	1	37.5000000000000000	Y	D	0.0000000000000000	0.0000000000000000	37.5000000000000000	482053.678000...	305370.446999...	1	1	FLX1P_106	BUSMVFLX3909
340	30	4	15.0000000000000000	Y	D	15.0000000000000000	0.0000000000000000	0.0000000000000000	483785.699000...	301001.523999...	1	1	FLX1P_107	BUSMVFLX3186
340	30	2	15.0000000000000000	Y	D	0.0000000000000000	15.0000000000000000	0.0000000000000000	474999.522999...	308343.146999...	1	1	FLX1P_108	BUSMVFLX3708
340	30	1	37.5000000000000000	Y	D	0.0000000000000000	0.0000000000000000	37.5000000000000000	483955.761999...	297753.663999...	1	1	FLX1P_109	BUSMVFLX1424
340	30	1	50.0000000000000000	Y	D	0.0000000000000000	0.0000000000000000	50.0000000000000000	483915.218999...	298215.125999...	1	1	FLX1P_11	BUSMVFLX760
340	30	4	50.0000000000000000	Y	D	50.0000000000000000	0.0000000000000000	0.0000000000000000	481099.055999...	294769.884000...	1	1	FLX1P_110	BUSMVFLX3559
340	30	2	25.0000000000000000	Y	D	0.0000000000000000	25.0000000000000000	0.0000000000000000	481983.606000...	294297.217000...	1	1	FLX1P_111	BUSMVFLX4439
340	30	1	25.0000000000000000	Y	D	0.0000000000000000	0.0000000000000000	25.0000000000000000	476085.219999...	307264.662000...	1	1	FLX1P_112	BUSMVFLX1101
340	30	4	15.0000000000000000	Y	D	15.0000000000000000	0.0000000000000000	0.0000000000000000	481857.389000...	293051.114000...	1	1	FLX1P_113	BUSMVFLX5095
340	30	2	15.0000000000000000	Y	D	0.0000000000000000	15.0000000000000000	0.0000000000000000	482551.003000...	306588.487000...	1	1	FLX1P_114	BUSMVFLX902
340	30	1	50.0000000000000000	Y	D	0.0000000000000000	0.0000000000000000	50.0000000000000000	484379.610999...	298254.712999...	1	1	FLX1P_115	BUSMVFLX1326
340	30	4	50.0000000000000000	Y	D	50.0000000000000000	0.0000000000000000	0.0000000000000000	482066.797000...	288841.992000...	1	1	FLX1P_116	BUSMVFLX281
340	30	2	37.5000000000000000	Y	D	0.0000000000000000	37.5000000000000000	0.0000000000000000	482623.357000...	302555.072999...	1	1	FLX1P_117	BUSMVFLX5008
340	30	1	37.5000000000000000	Y	D	0.0000000000000000	0.0000000000000000	37.5000000000000000	483039.103999...	294095.967000...	1	1	FLX1P_118	BUSMVFLX4318
340	30	4	50.0000000000000000	Y	D	50.0000000000000000	0.0000000000000000	0.0000000000000000	483985.231000...	297826.960000...	1	1	FLX1P_119	BUSMVFLX1425
340	30	4	25.0000000000000000	Y	D	25.0000000000000000	0.0000000000000000	0.0000000000000000	479875.190000...	310812.378000...	1	1	FLX1P_12	BUSMVFLX5263
340	30	3	50.0000000000000000	Y	D	0.0000000000000000	50.0000000000000000	0.0000000000000000	481643.164899...	289045.455000...	1	1	FLX1P_120	BUSMVFLX3375

Ilustración 26 Tabla de Atributo en QGIS, capa Transformadores.

Attribute	Value
PRIMVOLT	340
SECVOLT	30
PHASEDESIG	2
RATEDKVA	50.0000000000000000
PRIMCONN	Y
SECCONN	D
KVAPHASEA	0.0000000000000000
KVAPHASEB	50.0000000000000000
KVAPHASEC	0.0000000000000000
X1	482548.234999999986030
Y1	305362.0250000000023283
TAPSETTING	1
MV_GROUP	
DSSName	FLX1P_1
bus1	BUSMVFLX1575
LV_GROUP	NULL
PFsnap	0.009970
weight	NULL

Ilustración 27 Información de un Transformador QGIS.



### 5.1.3. Cargas en MT

Como mencionamos en el punto 5 el circuito 109-2-13 a simular dentro del software plugins OPENDSS solamente se trabajará a nivel de Media Tensión para esto solamente crearemos una capa solamente para cargas en MT dentro del circuito. Toda la información de las cargas fue obtenida a través de archivos de datos proporcionados por la empresa AES El Salvador.

Para la creación de un archivo Shape de la capa de cargas la información requerida será la siguiente:

Atributos Obligatorios	Atributos Opcionales
KWHMONTH: Consumo mensual	MODEL: Modelo de carga en OpenDSS
CLASS: Tipo de carga	X1 <sup>2</sup> : Localizacion X1 bajo coordenadas XY
NOMVOLT: Tension Nominal	Y1 <sup>3</sup> : Localizacion Y1 bajo coordenadas XY
SERVICE: Tipo de conexión de la carga	

Tabla 8 Atributos Obligatorios y Opcionales para la creación de capa de cargas en MT

De los datos proporcionados por la empresa AES El Salvador referente a las distintas cargas que presenta el circuito en MT, se procedió a tomar los datos del consumo mensual de cada carga.

Para obtener el tipo de carga se indico de acuerdo a la codificación siguiente:

CODIGO	DESCRIPCIÓN
<b>C</b>	Consumo Comercial
<b>R</b>	Consumo Residencial
<b>I</b>	Consumo Industrial

Tabla 9 Código de Tipo de carga

<sup>2</sup> X1: Localización X1 bajo coordenadas XY, si es un atributo obligatorio puesto si no se localizan las cargas quedan flotando.

<sup>3</sup> Y1: Localización Y1 bajo coordenadas XY, si es un atributo obligatorio puesto si no se localizan las cargas quedan flotando.





La Tension Nominal se selecciona de acuerdo a la ilustracion 22, para vuestro circuito sera 340 pues su tension es de 23,000 V (23 kV).

Al momento de colocar el servicio de la carga se debe considerar la siguiente tipologia:

CODIGO	DESCRIPCIÓN
1	Conectado a vivo 1 y neutro
2	Conectado a vivo 2 y neutro
12	Conectado a vivo 1 y vivo 2
123	Conexión Trifasica

Tabla 10 Código del Servicio de la carga en MT

Entonces se procede a ingresar los datos a QGIS del archivo de carga obteniendo lo siguiente:

	KWHMONTH	CLASS	MODEL	NOMVOLT	SERVICE	X1	Y1
1	50.34	C	1	340	12	481588.318000...	288957.488000...
2	34.92	R	1	340	1	481730.172000...	288937.132999...
3	120.18	C	1	340	12	480703.624000...	297552.668000...
4	19.54	R	1	340	1	481385.908999...	295843.583999...
5	2445.84	I	1	340	123	478730.462999...	296685.773999...
6	14.01	R	1	340	1	481939.126999...	290574.422000...
7	21.92	R	1	340	1	481653.202999...	291389.533999...
8	38.16	R	1	340	1	481669.949000...	291296.869999...
9	9.01	R	1	340	1	481001.941999...	307273.069000...
10	40.19	R	1	340	1	481380.750000...	295796.443000...
11	57.25	C	1	340	12	481153.619999...	296043.547000...
12	12.94	R	1	340	1	481352.800999...	305568.446999...
13	20.95	R	1	340	1	478403.847000...	310709.810999...
14	27.29	R	1	340	1	478450.586000...	296036.038999...
15	30	R	1	340	1	480941.479999...	307527.510000...
16	451	C	1	340	12	478326.450000...	295769.777999...
17	118.15	C	1	340	12	481271.788999...	295912.253000...
18	73.69	C	1	340	12	477413.194000...	308490.150000...
19	15.76	R	1	340	1	480100.962999...	310471.297000...
20	32.74	R	1	340	1	482670.941999...	294397.329000...
21	120	C	1	340	12	478162.436999...	295603.795999...
22	8.09	R	1	340	1	481813.001999...	292249.204000...
23	73.69	C	1	340	12	480915.446999...	297725.094999...
24	23.14	R	1	340	1	483366.195999...	299475.641999...
25	17.05	R	1	340	1	481973.298999...	289146.896999...

Ilustración 28 Tabla de Atributo en QGIS, capa de Cargas en MT



### 5.1.4. Generación Distribuida

Para la creación de un archivo Shape de la capa de cargas la información requerida será la siguiente:

Atributos Obligatorios	Atributos Opcionales
TECH: Tipo de generacion distribuida.	X1: Localizacion X1 bajo coordenadas XY
KVA: Potencia instalada del generador.	Y1: Localizacion Y1 bajo coordenadas XY
CURVE1: Curva de irradiancia para SFV.	
CURVE2: Curva de temperatura para SFV.	

Tabla 11 Atributos Obligatorios y Opcionales para la creación de capa De Generación Distribuida.

Al momento de integrar la informacion del tipo de generacion distribuida se debe considerar las siguientes referencias:

CODIGO	DESCRIPCIÓN
PV	Para Sistemas Fotovoltaicos
HYDRO ó HIDRO	Para generadores hidroelectricos
WIND	Para turbinas eolicas

Tabla 12 Código creación Tipo de Generación Distribuida.

Para vuestro caso el circuito 109-2-13 contiene dos Sistemas Fotovoltaicos las cuales son:

3. AES BOSFORO II APOPA CAPACIDAD 10,000 kW
4. AES BOSFORO I GUAZAPA CAPACIDAD 10,000 kW

	X1	Y1	TECH	KVA	CURVE1	CURVE2	DSSName
1	480009.911000...	312776.832999...	PV	10000	Pvprofile.txt	Pvtemp.txt	PV3FFLX1
2	480009.912000...	312776.833999...	PV	10000	Pvprofile.txt	Pvtemp.txt	PV3FFLX2

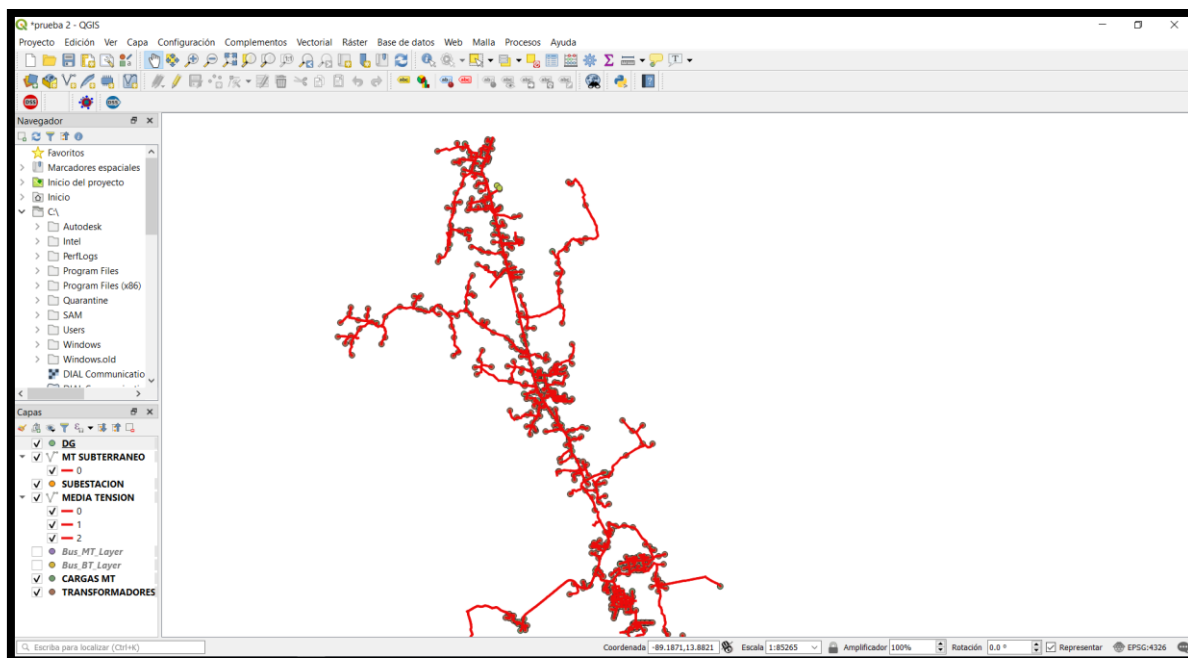
Ilustración 29 Tabla de atributos de un shape Generación Fotovoltaica dentro de QGIS.

## 5.2. RESULTADOS

Una vez seleccionadas las capas respectivas con la información especificada anteriormente. Se procede a la simulación del circuito modelado dentro de la interfaz de QGIS.

Para ello utilizaremos los cuatro plugins en el software de QGIS que nos permitirá leer los datos contenidos en las capas de los elementos del circuito de distribución 109-2-13 y bajo ellos el crear el modelado de la red en el software libre OPENDSS de manera automática sin necesidad de generar líneas de código tan extensas dentro del software.

De manera que al introducir todos los datos y capas que formamos anteriormente el circuito resultara de la siguiente manera:



*Ilustración 30 Modelado del Circuito 109-2-13 mediante capas dentro de la interfaz de QGIS.*

### 5.2.1. DNCorrector.

Tal como se explica en el capítulo 4 el plugin DNCorrector nos ayuda a la identificación de que todos los elementos se encuentren debidamente conectados.

Para ello, abriremos el plugin y seleccionamos la información correspondiente ver Ilustración 31:

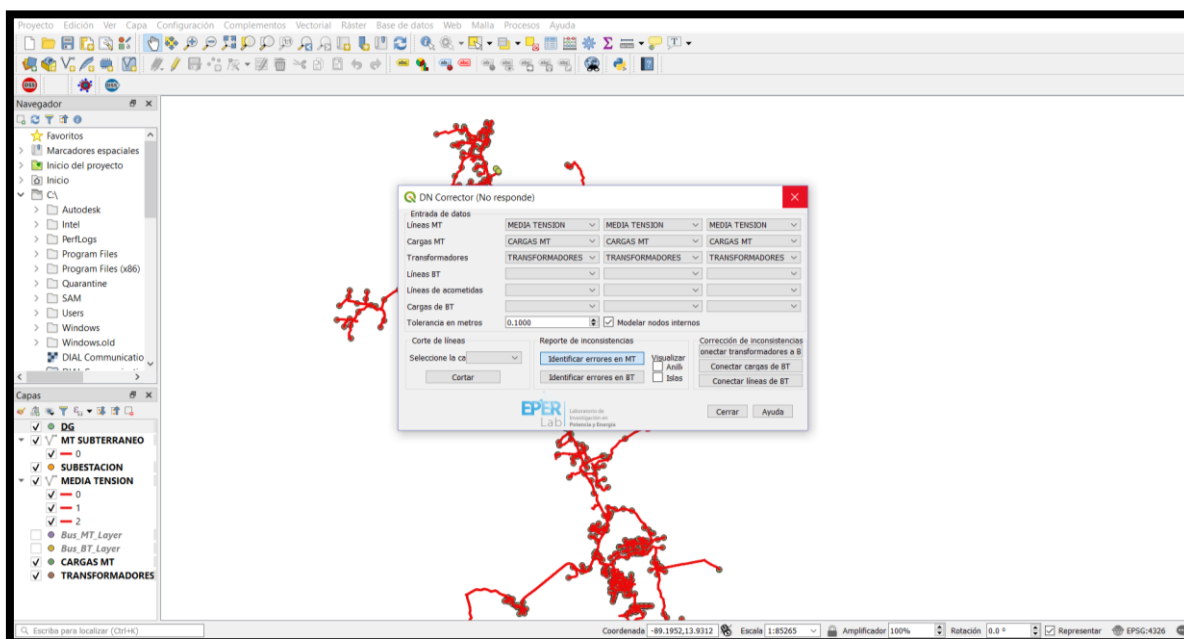


Ilustración 31 Simulado con plugin DNCorrector para identificación de errores.

Con base en las condiciones anteriores, los errores de media tensión que puede detectar la herramienta son los siguientes:

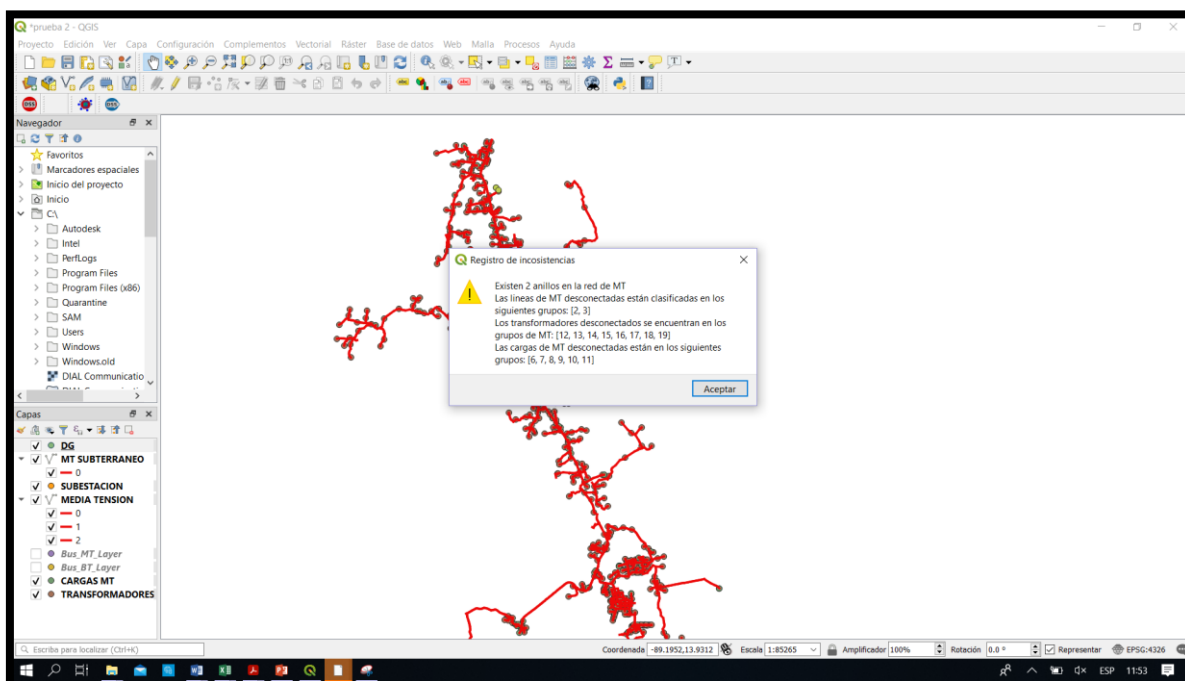
**Líneas de MT desconectadas:** normalmente son grupos de líneas que están separadas entre sí en algún punto de la red.

**Transformadores desconectados de la red primaria:** se reporta cuando un transformador no se encuentra conectado a ninguna línea de media tensión. Estos corresponden a islas de un solo elemento, en este caso el transformador.



**Cargas de MT desconectadas:** se reportan cuando no se encuentran conectadas a ningún transformador o línea de media tensión. Estas corresponden a islas de un solo elemento, en este caso la carga.

**Anillos en la red primaria:** se reportan cuando se detectan lazos en lo que debería ser un circuito radial.



*Ilustración 32 Identificación de cargas que se encuentran desconectadas para 2 anillos en la red de MT.*

Como observamos en la ilustración 32 nos reporta desconexión en dos anillos en las redes de MT, el plugin acepta una tolerancia no más de 10 cm para la conexión de los elementos.



## 5.2.2. SIMULACIÓN PLUGIN QGIS2OpenDSS

Luego de crear todas las capas del circuito 109-2-13 a nivel de media tensión dentro de la interfaz de QGIS es momento de utilizar los plugin para el análisis del circuito.

El plugin QGIS2OpenDSS nos permitirá leer los datos contenidos en las capas de los elementos de la red de distribución eléctrica, y con esto crear el modelo de la red en OpenDSS de manera automática.

Para ello es necesario llenar los siguientes campos ver ilustración 33:

Ilustración 33 Generación de archivos .dss a través del plugin QGIS2OPENDSS

Como se explicó en el capítulo 4, el plugin necesita la ubicación de los perfiles de carga, la ubicación de los archivos de salida y el nombre del circuito que no deberá contener más de tres caracteres.

una vez seleccionadas las capas creadas con anterioridad damos clic en aceptar y encontraremos en la carpeta de salida que seleccionamos los archivos en formato.dss como se muestra en la ilustración 34

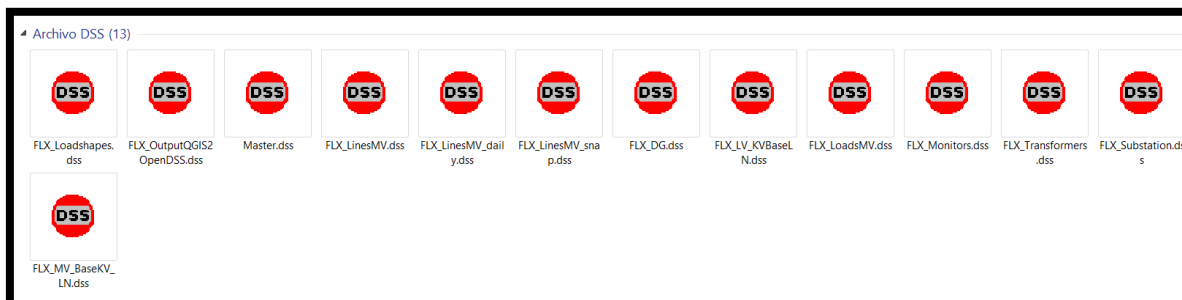


Ilustración 34 Archivos DSS generados mediante el plugin QGIS2OPENDSS.

### 5.2.3. SIMULACIÓN PLUGIN QGISRUNOpenDSS

Las simulaciones se realizan a partir de los modelos de los circuitos generados para OpenDSS mediante el uso del plugin QGIS2OpenDSS.

El Plugin a utilizar en este apartado es QGISRUNOpenDSS el cual podemos desarrollar análisis de flujos de potencia instantáneos, diarios para nuestro caso de estudio. El día de análisis para cada circuito se seleccionó a partir de la curva anual del alimentador, o bien utilizando el único día otorgado por la empresa distribuidora.

#### 5.2.3.1. SIMULACIÓN FLUJO DE POTENCIA

##### 5.2.3.1.1. SIMULACIÓN FLUJO DE POTENCIA DIARIO



**QGISRunOpenDSS - Correr estudio de red usando OpenDSS**

Nombre del circuito:     Defina la frecuencia (Hz):     Defina la tensión (kV):

Defina el ángulo (grados):     Nombre barra del alimentador:     Asigne la curva de demanda:  ...

kA    Ingrese kA 3p de corto circu:     Ingrese kA 1p de corto circu:

MVA

Seleccione la ubicación de los archivos de salida:  ...     Transformador principal    Definir Parámetros

Añadir tecnologías

Estudio de vehículos eléctricos    Definir Parámetros     Generación distribuida    Definir Parámetros

Flujos de potencia    Corto circuito    Armónicos

Flujo de potencia instantáneo    Defina la fecha de la simulación:

Defina la hora de la simulación:

Ver desbalances de tensión

Flujo de potencia diario    Defina la fecha de la simulación:

**Gráficas LN**

MT  Promedi  Fase A  Fase B  Fase C

BT  Promedi  Fase A  Fase B  Fase C

Flujo de potencia anual    Defina la resolución de la simulación:

Ver pérdidas

Guardar resultados en c    Aceptar    Cancelar    Ayuda

Ilustración 35 Con la utilización del plugin QGISRUNOPENDSS obtenemos flujo de potencia diaria.

**Simulación Diaria Terminada**

**i** Tiempo de simulación: 573.7182667255402 s  
Los archivos han sido guardados en: C:/Users/carolina/Documents/prueba/FLX

Aceptar

Ilustración 36 Tiempo de ejecución de la simulación.



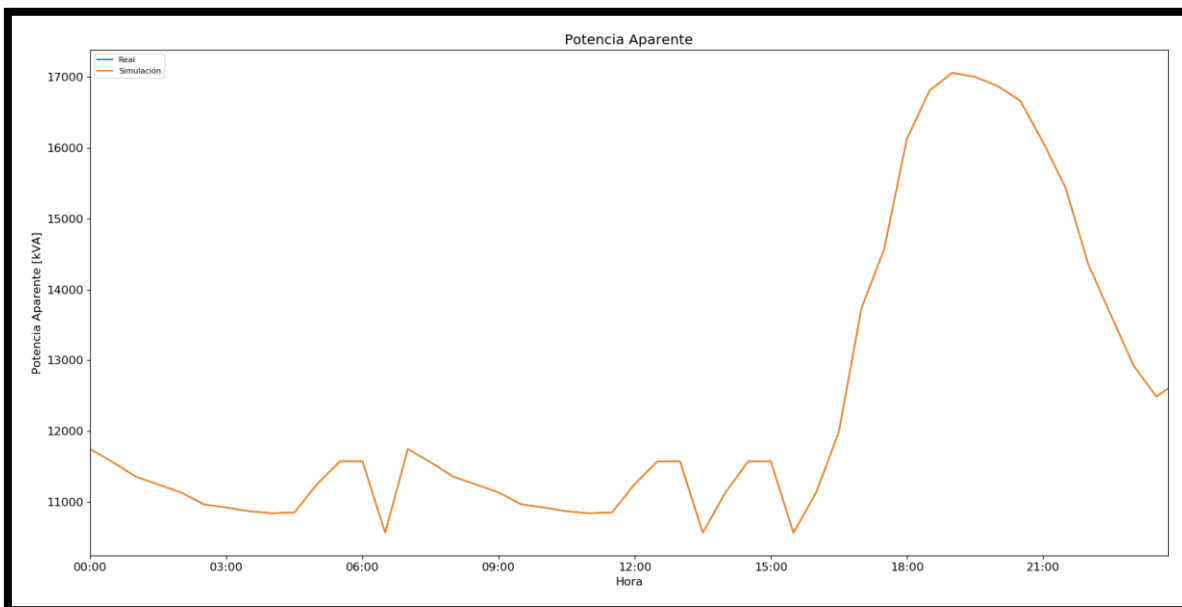


Ilustración 37 Grafico Potencia Aparente

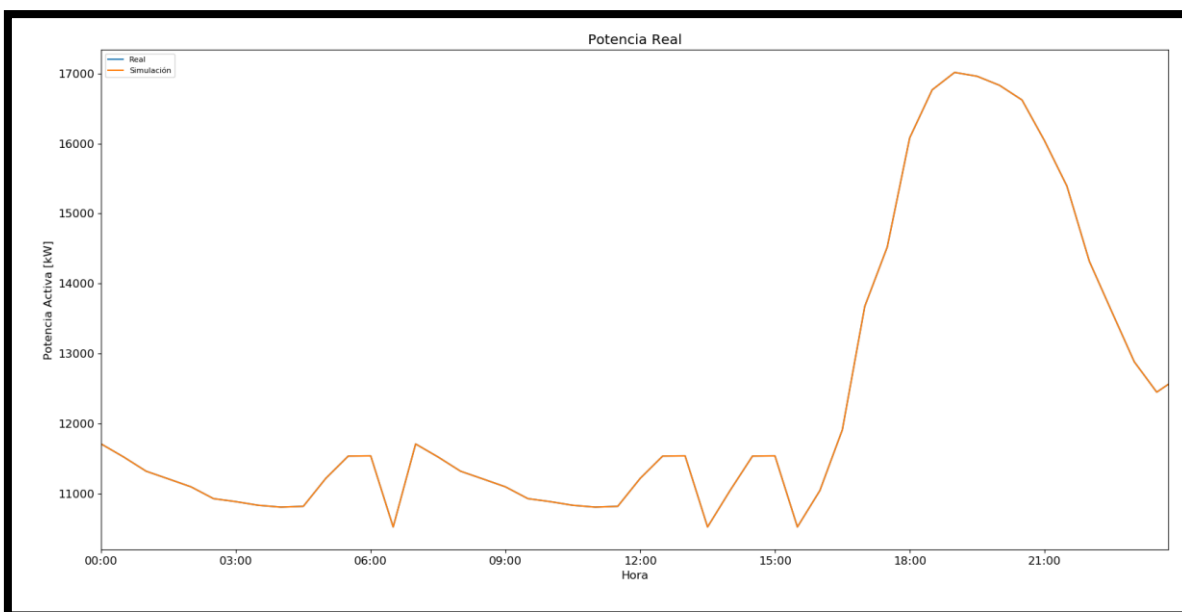


Ilustración 38 Grafico Potencia Real

Se muestra el resultado de una simulación con flujo de potencia diaria (ver ilustración 43), en kVA para la potencia activa, Potencia Aparente (Ilustración 42) Observaremos en la ilustración 43 la máxima potencia se da a partir de las 3:30 p.m. donde a las 7:00 pm aproximadamente tenemos una potencia de 18 kVA la curva de simulación naranja arrojando el mismo trazado de curva por lo cual se muestra



efectividad del algoritmo del mismo plugin donde las potencias simuladas coinciden mediante la medición real.

#### 5.2.4. ANÁLISIS CON 1 FUENTE DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA

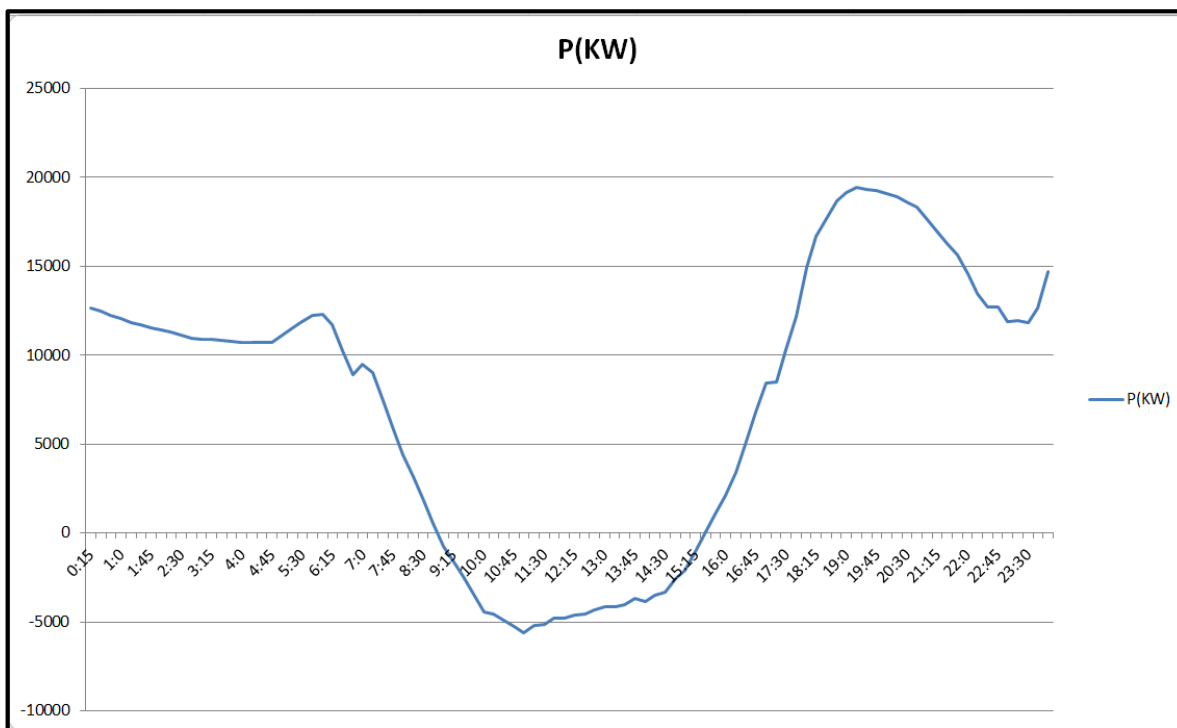


Ilustración 44 Grafico Potencia Real con 1 fuente de GD

Cuando ingresamos GD a nuestro circuito el flujo de potencias cambia para 10MVA de generación distribuida inyectados los paneles fotovoltaicos comienzan a generar a las 6 de la mañana con un máximo de 5 MVA generados a las 11.30 , a las 19.00 deja de generar y el circuito tiene 17 MVA de consumo.



## 5.2.5. ANÁLISIS CON GD DOS GENERADORES

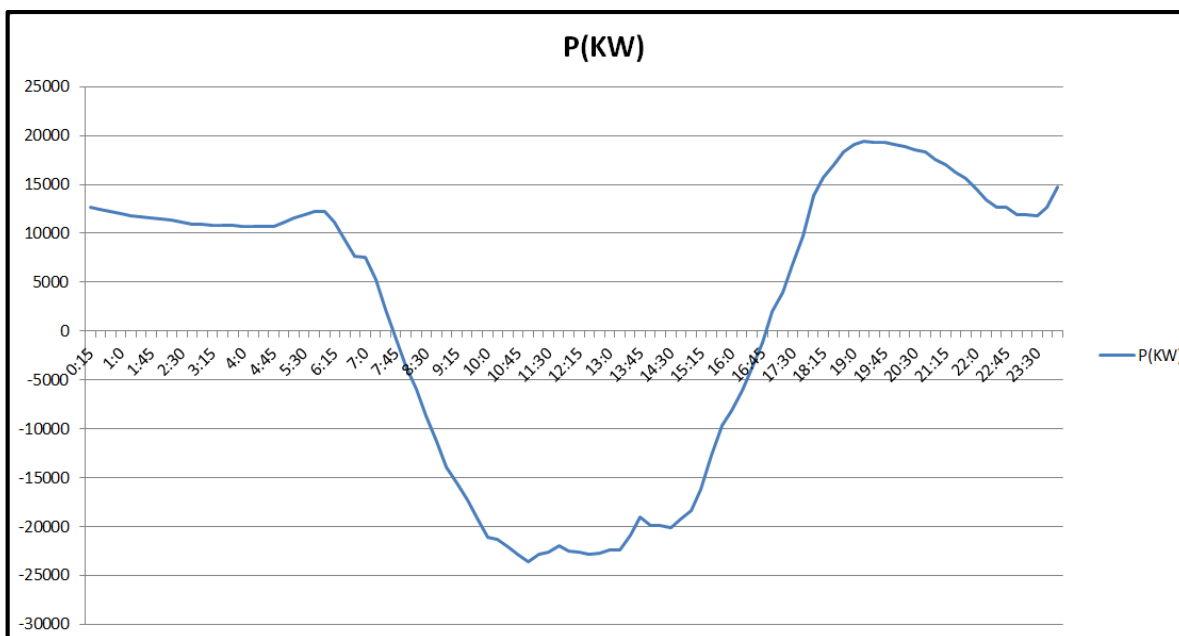


Ilustración 45 Grafico Potencia Real con 2 fuentes de GD

Como puede observarse los paneles solares empiezan a generar a las 6 de la mañana y dejan de hacerlo aproximadamente a las 19 horas, la máxima potencia se genera entre las 11.30 y las 13.30, viéndose penalizado el rendimiento de las placas solares poco después del máximo debido al aumento de la temperatura de estas tras varias horas siendo irradiadas. Cuanto menor sea la temperatura del panel se logra una mayor eficiencia

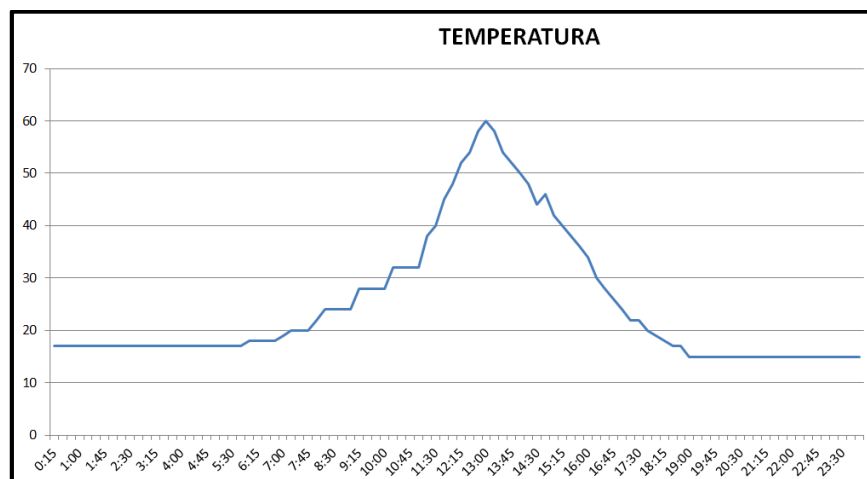


Ilustración 46 Grafico de temperatura de los paneles

Como se puede observar la temperatura más alta que alcanza el panel es de 60 grados Celsius a las 13 horas que concuerda con el perfil de carga a las 13 horas empieza a afectarse el rendimiento de los paneles

### 5.3. FLUJOS DE POTENCIA INSTANTÁNEOS

#### 5.3.1. CAÍDA DE TENSIÓN SIN GENERACIÓN DISTRIBUIDA

Analiza la red de distribución en un instante específico como el pico en la demanda o la carga mínima para este estudio definimos la fecha y la hora de estudio que coincida con la curva del alimentador introducida. La herramienta muestra una gráfica de caída de tensión en por unidad de los buses del circuito de acuerdo a la distancia en kilómetros de la subestación

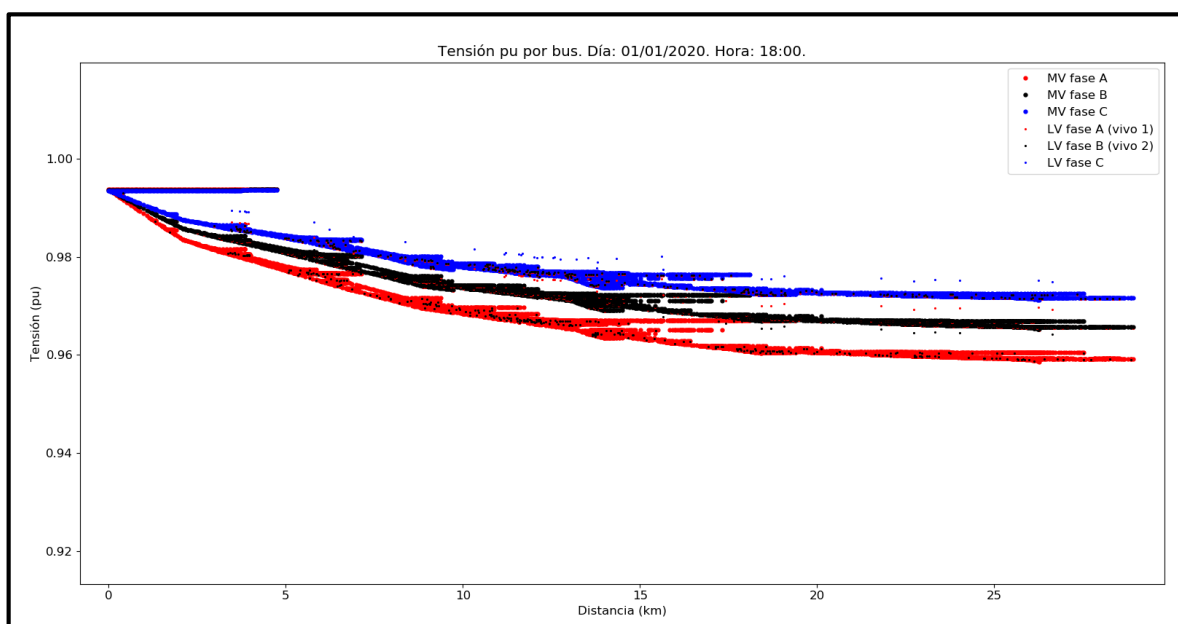
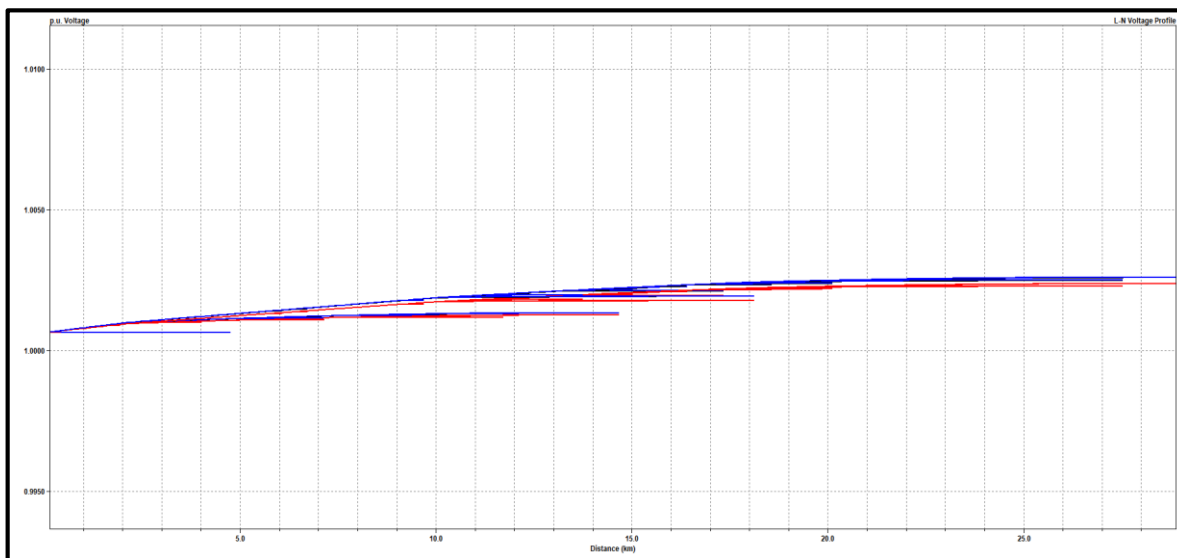


Ilustración 47 Gráfico de tensión en pu de los buses

Caída de tensión de las barras A, B, C con respecto a la subestación mostrándonos un punto más lejano de 27KM y una caída de tensión de 0.96 Pu en la barra A

### 5.3.2. CAIDA DE TENSION CON GENERACIÓN DISTRIBUIDA



*Ilustración 48 Grafico de tensión en pu de los buses con GD*

Al ingresar las fuentes de GD nos muestra una elevación mínima de la tensión de 1.0035 PU esto se debe a que las fuentes de GD se encuentran muy alejadas de la subestación.

### 5.3.3. SIMULACIÓN ESTUDIO DE CORTO CIRCUITO

El circuito nos pide la fecha y hora en la que queremos hacer el análisis con el fin de correr un flujo de potencia y así obtener las tensiones pre-falla, en el estudio podemos cortocircuitar una sola barra o todas las barras pueden ser de MT y BT podemos simular un cortocircuito trifásico(ABC), un bifásico a tierra (AB, BC AC), también seleccionando línea a línea podemos realizar estudios (AB línea-línea, BC línea-línea, AC línea-línea) o monofásicas a tierra (A, B, C)

Aporte al Nivel de Corto Circuito Para verificar el comportamiento de la red frente a fallas, se definió una falla a la salida del transformador de distribución, buscando con esto obtener el aporte a las corrientes de corto circuito conforme se aumentó la introducción de unidades de generación distribuida. Se realizaron pruebas de corto



circuito monofásico y trifásico, teniéndose que el aporte a las corrientes no varía significativamente, aumentando ligeramente en este último caso.

En el caso de la falla monofásica, el aumento porcentual de la corriente de corto circuito desde una penetración nula de GD hasta un 80% de integración de esta, es de un 29,3%. Para el caso de la falla trifásica, el aumento porcentual de la corriente de corto circuito entre los dos escenarios extremos es de 32.5%. El análisis sugiere una evaluación de la coordinación de fusibles en la red, debiendo implementarse eventualmente protecciones de respaldo de mayor capacidad. Una observación interesante fue la evaluación de fallas, tanto monofásicas como trifásicas, cuyo punto de repercusión fuese más cercano a los puntos de conexión del mayor número de unidades de generación. El ejercicio indicó que las corrientes de corto circuito pueden aumentar, en promedio, hasta 30%, lo cual muestra la necesidad de evaluar la pertinencia de los fusibles que se utilizan a lo largo del alimentador, prestando especial atención en aquellos ubicados en puntos cercanos a las áreas con alta densidad de unidades de generación.

La diferencia porcentual entre el escenario actual de estas redes, vale decir, sin unidades de generación distribuida inserta en sus barras, frente a un escenario de alta penetración de GD (del orden del 80%), indica la necesidad de una redefinición de las protecciones a emplear a lo largo de la red, pensando en la utilización de fusibles de mayor capacidad.

#### 5.3.3.1. BUS SUBESTACIÓN

Para el análisis de cortocircuito en la subestación se buscó el nodo más cercano. En este caso escogeremos por ser el más cercano el bus **BUSMVFLX1**.

Para efectos de análisis de resultados se realizó el análisis sin Generación Distribuida, con una (1) fuente de Generación Distribuida y con las dos (2) fuentes de Generación Distribuida, obteniendo los siguientes resultados:



### ANÁLISIS DE CORTOCIRCUITO SIN GD

Bus	3-Phase	1-Phase	L-L
SOURCEBUS	29699	24726	25720
BUSMVFLX1	10091	13668	8739

En nuestro primer análisis de estudio de cortocircuito en el bus de la subestación tenemos una corriente trifásica de 29.69 kA y la corriente monofásica de 24.72 kA estas condiciones se dan sin estar conectada la generación distribuida del circuito estudiado.

### ANÁLISIS DE CORTOCIRCUITO CON 1 DG

Bus	3-Phase	1-Phase	L-L
SOURCEBUS	30125	25062	26077
BUSMVFLX1	11728	15826	10079

Al realizar nuestro análisis en el bus más cercano a la subestación con interconexión a una planta fotovoltaica obtenemos una corriente de cortocircuito de 11.72 kA trifásica, mientras obtenemos una monofásica de 15.82 kA

### ANÁLISIS DE CORTOCIRCUITO CON 2 DG

Bus	3-Phase	1-Phase	L-L
SOURCEBUS	30623	25455	26504
BUSMVFLX1	14155	19016	12138

Para el análisis conectadas ambas plantas fotovoltaicas al circuito obtenemos una corriente de cortocircuito levemente más alta de 14.16 kA trifásica, mientras obtenemos una monofásica de 19.02 kA

#### 5.3.3.2. BUS DE 1 DG 5075

Para el análisis de cortocircuito en una fuente de GD se buscó el bus más cercano a la fuente en este caso el bus 5075 y se realizó los análisis, como en el punto anterior sin GD y conectando una fuente de GD y por ultimo haciendo el análisis con las dos fuentes de GD.

### ANÁLISIS DE CORTOCIRCUITO SIN DG

Bus	3-Phase	1-Phase	L-L
BUSMVFLX50	1319	1104	1112



### ANÁLISIS DE CORTOCIRCUITO CON 1 DG

Bus	3-Phase	1-Phase	L-L
BUSMVFLX50	4814	4450	4199

### ANÁLISIS DE CORTOCIRCUITO CON 2 DG

Bus	3-Phase	1-Phase	L-L
BUSMVFLX5075	8880	8450	7680

#### 5.3.3.3. BUS DEL 2 DG 5251

Para el análisis de cortocircuito en las dos fuentes de Generación Distribuida conectadas se buscó el bus más cercano a la fuente en este caso el bus 5251 y se realizó los análisis, como en el punto anterior sin GD y conectando una fuente de GD y por ultimo haciendo el análisis con las dos fuentes de GD.

### ANÁLISIS DE CORTOCIRCUITO SIN DG

Bus	3-Phase	1-Phase	L-L
BUSMVFLX5251	1322	1108	1115

### ANÁLISIS DE CORTOCIRCUITO CON 1 DG

A	B	C	D
Bus	3-Phase	1-Phase	L-L
BUSMVFLX5251	4801	4439	4188

### ANÁLISIS DE CORTOCIRCUITO CON 2 DG

Bus	3-Phase	1-Phase	L-L
BUSMVFLX5251	8892	8474	7690

#### 5.3.4. ANÁLISIS DE PÉRDIDAS

Análisis de Pérdidas en la Red Se realizó un estudio de las pérdidas evidenciadas en la red conforme el nivel de penetración se aumentaba de modo progresivo

Las pérdidas siguen fielmente la evolución del flujo de potencia a través del transformador: Cuando no hay generación distribuida, el flujo va unidireccionalmente desde el transformador hacia las cargas. En la medida que aumenta el nivel de penetración, existe un flujo neto, que es la diferencia entre aquel que proviene del transformador y el flujo que emiten las unidades de generación





distribuida. Este flujo neto va haciéndose cada vez más pequeño, de modo que las pérdidas disminuyen hasta alcanzar un valor mínimo.

## SIN GENERACIÓN DISTRIBUIDA

LINE LOSSES=	269.0 kW
TRANSFORMER LOSSES=	149.3 kW
TOTAL LOSSES=	418.3 kW

Perdidas sin generación distribuida se puede ver que las pérdidas en la línea son mayores que las pérdidas de los transformadores, las pérdidas son proporcionales a la distancia por lo que las perdidas van incrementando conforme nos alejamos de la subestación

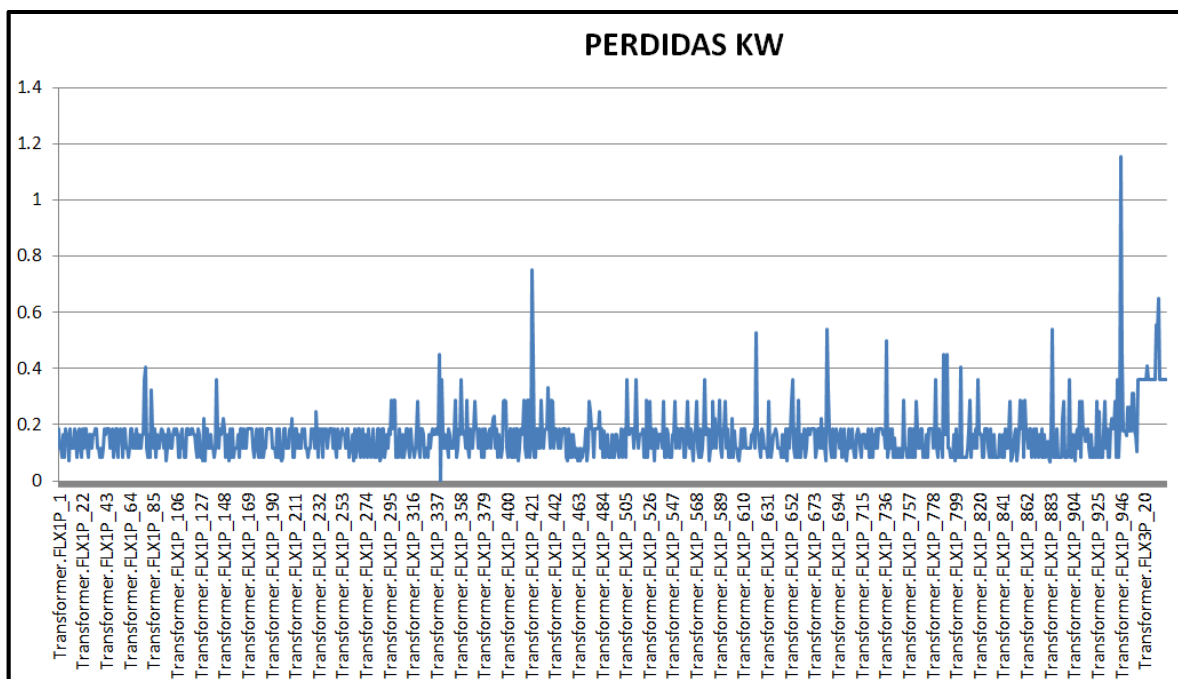


Ilustración 49 Grafico de pérdidas de los transformadores sin DG

El transformador más cercano a la subestación es el FLX1P y tiene una pérdida de 0.18539 KW de perdidas, las pérdidas de los transformadores elevadores de la



generación distribuida es el transformador FLX1P\_947 con 0.45099 KW de pérdidas.

## PERDIDAS CON GENERACIÓN DISTRIBUIDA

LINE LOSSES=	1664.5 kW
TRANSFORMER LOSSES=	164.0 kW
TOTAL LOSSES=	1828.4 kW

Las pérdidas con GD incrementan, las pérdidas en las líneas incrementan considerablemente respecto al análisis sin GD llegando a 1664.5 kW las pérdidas de los transformadores incrementan un poco llegando a 164 kW para un total de 1828.4 kW las pérdidas se deben a la resistencia de los conductores, a pérdidas dieléctricas, pérdidas debido a la sobrecarga.

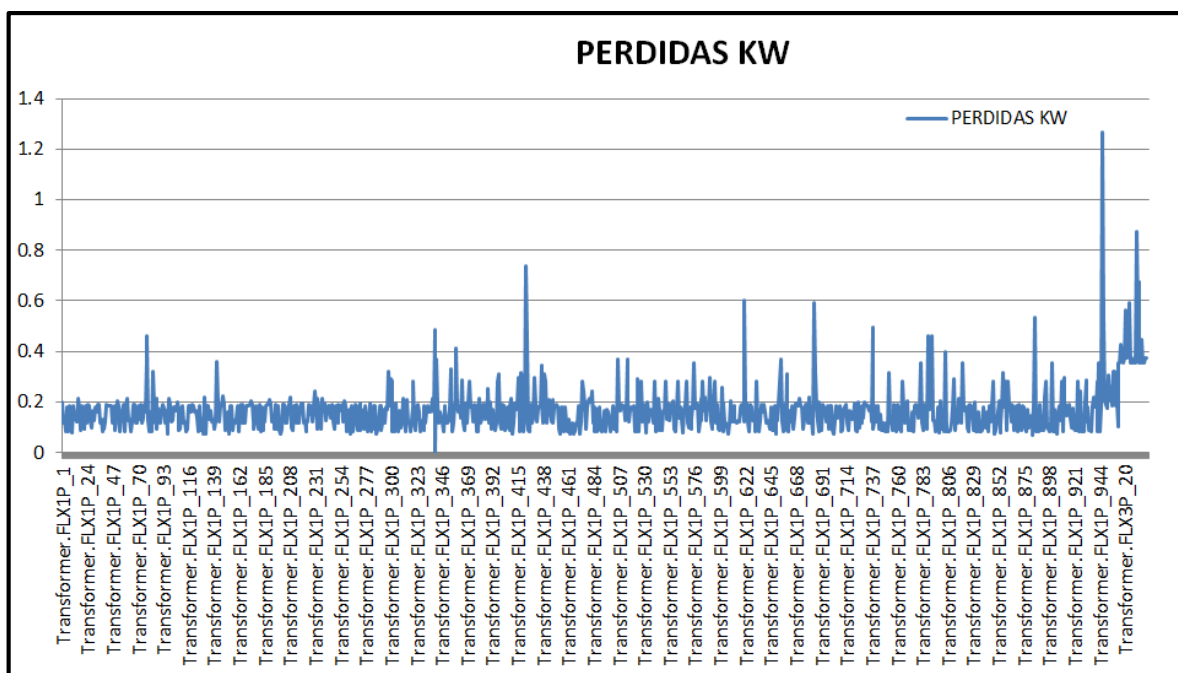


Ilustración 50 Grafico de pérdidas de los transformadores con DG

El transformador más cercano a la subestación es el FLX1P\_1 y tiene una pérdida de 0.20071KW lo que implica un mínimo porcentaje de elevación en las pérdidas las pérdidas en el transformador elevador de la planta fotovoltaica FLX1P\_947 tiene 0.51876 KW lo que implica un leve incremento en las pérdidas.

## 5.4. COMPARACIÓN DE RESULTADOS CON SOFTWARE PROFESIONAL WINDMIL Y SOFTWARE OPENDSS

### 5.4.1. CARGA EN EL INTERRUPTOR A LA HORA MÁXIMA

#### i. SIN GENERACIÓN DISTRIBUIDA

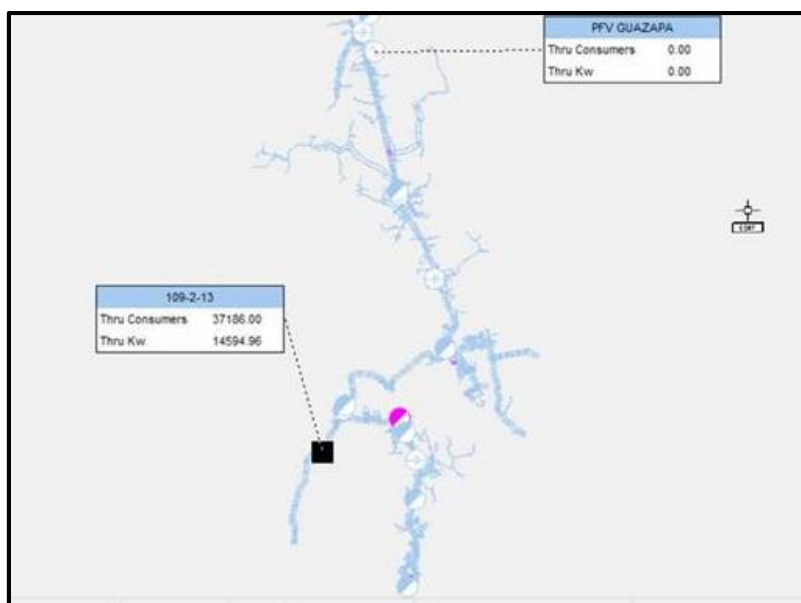


Ilustración 51 Grafico de carga en la subestación usando windmil

#### ii. CON GENERACIÓN DISTRIBUIDA

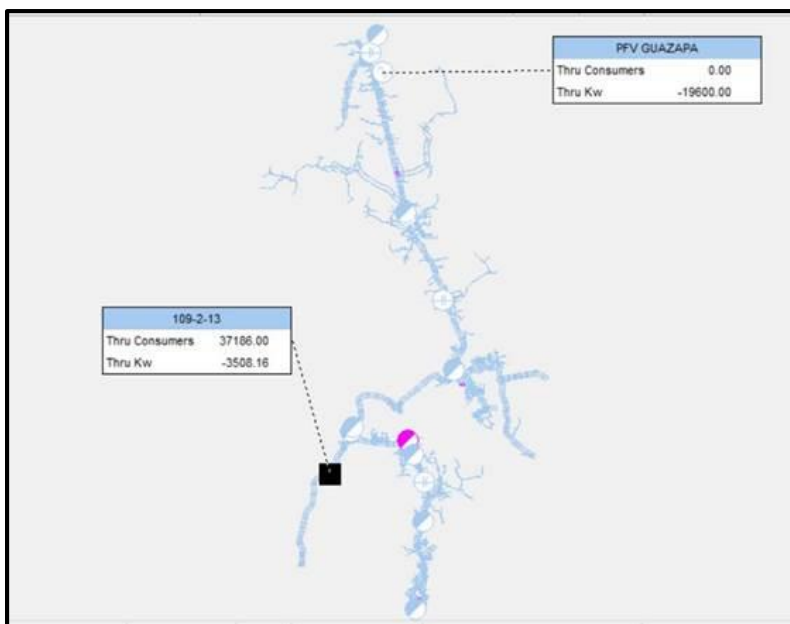


Ilustración 52 Grafico de carga en la fuente de DG usando windmil

### 5.4.2. CARGA EN EL PCC DE LA PLANTA SOLAR GUAZAPA 1 A LA HORA DE LA MÁXIMA, CON Y SIN GENERACIÓN DISTRIBUIDA

Para este escenario se tomó de referencia la línea de la troncal del circuito 109-2-13 con la cual se interconecta la PFV Guazapa

#### SIN GENERACIÓN DISTRIBUIDA

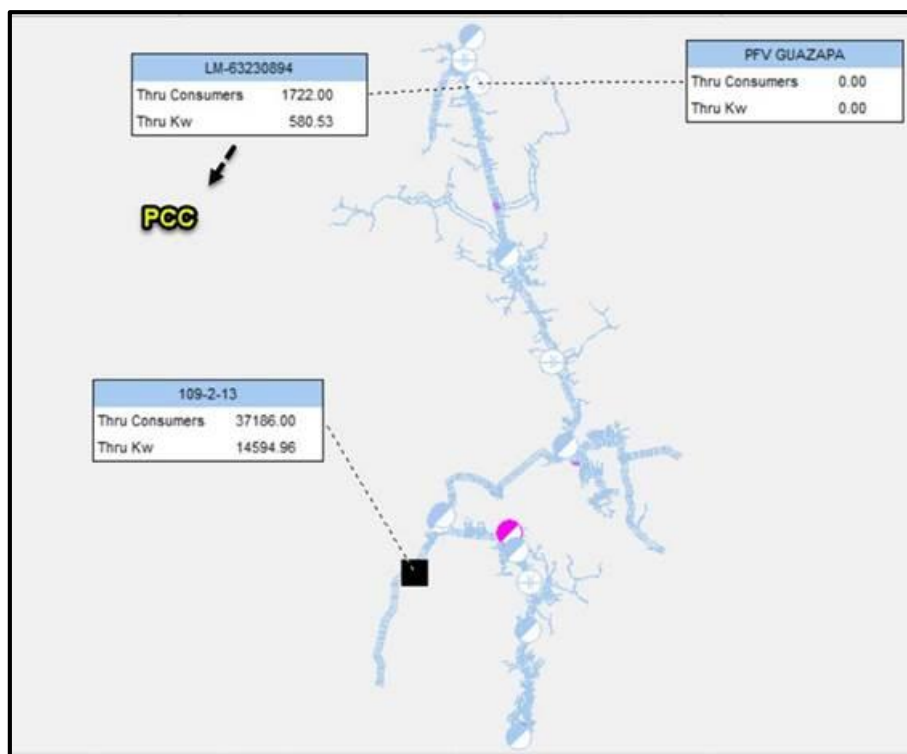


Ilustración 53 Grafico de carga en la subestación usando windmil

	Windmill	OpenDSS
PCC en Guazapa	580.53 kW	561.01 kW
Subestación	14,594.96 kW	14,679.4 kW



### CON GENERACIÓN DISTRIBUIDA

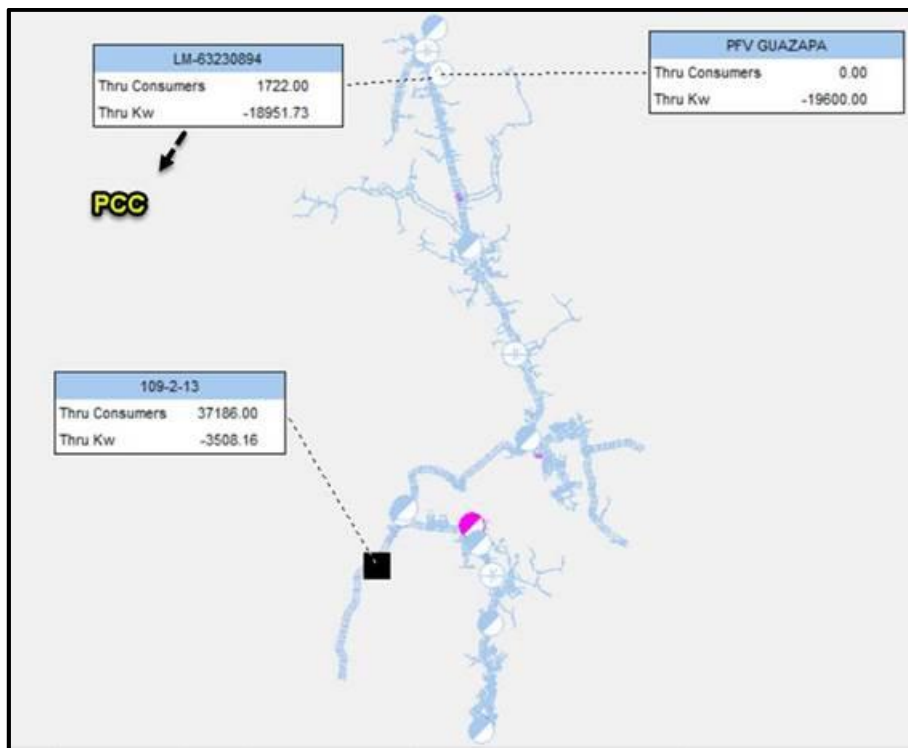


Ilustración 54 Grafico de carga en la subestación usando windmil

	Windmill	OpenDSS
PCC en Guazapa	-18,951.73 kW	-18,430.02 kW
Subestación	-3,508.16 kW	-4383.8 kW



## 5.2.4. PENETRACIÓN DE LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA.

El nivel de penetración de GD en una red eléctrica determinada es la relación entre la potencia instalada de Generación Distribuida y la potencia total de la red.

$$\text{Penetración GD (\%)} = \frac{P_{GD}}{P_{TR}} (100)$$

En donde:

$P_{GD}$ : Potencia activa del sistema GD.

$P_{TR}$ : Potencia Activa Total de la red considerada.

En este caso para el circuito 109-2-13 el nivel de penetración es el siguiente tomando las potencias activas de las dos plantas generadoras y la potencia activa de la red que serán:

$P_{GD}$ :

- AES BOSFORO II APOPA : 10,000 kW
- AES BOSFORO I GUAZAPA : 10,000 kW
- Planta de Gas Nejapa : 6000 KW

$P_{TR}$ :

- SUBESTACIÓN NEJAPA: 75,000 kW

Dados los datos anteriores el nivel de penetración sería:

$$\text{Penetración GD (\%)} = \frac{P_{GD}}{P_{TR}} (100)$$

$$\text{Penetración GD (\%)} = \frac{2x(10,000kW) + 6000KW}{(75,000kW)} (100)$$

$$\text{Penetración GD (\%)} = 34.67 \%$$

El nivel de penetración no es relevante para la definición de GD. Se estima que puede alcanzar entre el 25 y 30 % de la generación total. El resultado para nuestro



circuito podemos indicar que se encuentra dentro del rango que este puede alcanzar y el cual no conlleva a desventajas por un nivel de penetración considerado.

Con un nivel de Penetración GD obtenido podemos mencionar las siguientes ventajas:

- Reducción de pérdidas técnicas: Debido a la cercanía del consumo respecto de la generación, se reducen las pérdidas.
- Funcionamiento en pequeñas islas: En caso de corte de suministro, el sistema puede seguir funcionando en pequeñas “islas” si existe una coordinación y un sistema de protección adecuados.

Las desventajas aparecen cuando la penetración de medios de GD aumenta considerablemente, pues podría tener efectos adversos en el funcionamiento del sistema y consecuencias económicas relativas a la planificación de las redes, en el caso de nuestro circuito no se obtiene una penetración considerable, si existiera parte de sus desventajas sería:

- Problemas en la operación del sistema, porque, eventualmente, según las señales de precios los GD podrían conectarse o desconectarse según les convenga. Lo que produciría inestabilidades en el perfil de tensión.
- En caso de alguna falla, la detección del origen de ésta se puede ver dificultada a causa del gran número de fuentes de generación, por lo que se deberían aumentar los costos del sistema de protección.
- El aumento excesivo de la penetración es la sobrecarga de las redes y eventualmente la inversión del sentido del flujo de la energía.



## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1. CONCLUSIONES

- Se logró investigar el modelo matemático usado por OpenDSS para simular los flujos de potencia donde el software nos permite llevar a cabo estudios que tienen cargas que varían con el tiempo (para nuestro caso diarias). Como se analizó en este trabajo de graduación con el circuito 109-2-13 de distribución de media tensión con generación distribuida donde obtuvimos que al conectar ambos generadores la potencia máxima la encontramos alrededor la máxima potencia se genera entre las 11.30 y las 13.30, viéndose penalizado el rendimiento de las placas solares poco después del máximo debido al aumento de la temperatura de estas tras varias horas siendo irradiadas. Cuanto menor sea la temperatura del panel se logra una mayor eficiencia
- Se concluye que, al momento de realizar el estudio de cortocircuito en el alimentador de distribución bajo estudio, el análisis del bus de la subestación obtuvimos una corriente trifásica de 29.69 kA y la corriente monofásica de 24.72 kA estas condiciones se dan sin estar conectada la generación distribuida, el grado de contribución de la generación fotovoltaica al momento de conectarse las dos generadoras es de un 25% aproximadamente el nivel de penetración significativo. Lo que hace que aumenten las corrientes de cortocircuito levemente a 30.623 kA la corriente trifásica, mientras obtenemos una corriente monofásica de 25.455 kA
- Al momento de simular y analizar el impacto de la generación distribuida, al interconectarse a redes de distribución, con respecto al control de voltaje aumenta levemente pasando de 0.96 pu a 1.0035 pu en la barra A





y las pérdidas en el circuito aumentan de un total de pérdidas de 418.3 KW A 1828.4 KW elevándose considerablemente las perdidas en las líneas

- Se logró analizar las posibles ventajas y desventajas que trae consigo la generación distribuida en redes de distribución por lo cual podemos concluir que si el nivel de penetración no es considerable hay una reducción de pérdidas técnicas: Debido a la cercanía del consumo respecto de la generación, en cambio sí es considerable nos encontramos con problemas en la operación del sistema, se deberá aumentar los costos del sistema de protección.
- Se compararon los resultados obtenidos de la modelación del circuito de distribución con generación fotovoltaica con los resultados obtenidos con un software de simulación WindMil en donde podemos concluir que OpenDSS es un software de simulación bastante confiable ya que los resultados obtenidos son muy similares al software profesional. sin embargo se hace complicado familiarizarse con el entorno, el lenguaje y los métodos que utiliza el programa donde el entorno gráfico es muy poco amigable para el usuario pero los resultados están orientados a uso profesional y confiable.



## 6.2. RECOMENDACIONES

Con base al análisis, las interpretaciones y conclusiones de los resultados del trabajo de graduación surgen las siguientes recomendaciones:

- Se recomienda determinar el modelo de carga para cada clase de cliente, con el fin de incorporar en el análisis la sensibilidad de la carga, estudio de corrientes armónicas el cual genera gráficas de la distorsión armónica total (THD) y distorsión total de la demanda (TDD), en valores reales y porcentuales del circuito.
- Se recomienda el uso del software libre como método de estudio para la creación de circuitos de sistemas de potencia a nivel universitario, a fin de que el estudiante de ingeniería eléctrica tenga más herramientas disponibles al momento de analizar circuitos.



---

### 6.3. REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

- a) Escuela Ingeniería Eléctrica, Universidad de Costa Rica (2018) Herramientas de Simulación de Redes Eléctricas. Presentaciones 0 a 11. CECACIER- Costa Rica.
- b) Joel Leal Parra; Universidad de Costa Rica, Escuela de Ingeniera Eléctrica (2016). Manual de uso del programa OpenDSS para el curso de distribución y transmisión de potencia. Costa Rica.
- c) Marco Andrés Jara Jiménez, Universidad de Costa Rica, Escuela de Ingeniera Eléctrica (2016). Herramienta para visualizar resultados de simulación de OpenDSS en QGIS. Costa Rica.