

7-4-2019

## **Desarrollo de una aplicación en el software Open DSS orientada a la simulación de un sistema de distribución en diferentes escenarios de operación**

Julio Cesar Ramírez Acero  
*Universidad de La Salle, Bogotá*

Follow this and additional works at: [https://ciencia.lasalle.edu.co/ing\\_electrica](https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_electrica)

---

### **Citación recomendada**

Ramírez Acero, J. C. (2019). Desarrollo de una aplicación en el software Open DSS orientada a la simulación de un sistema de distribución en diferentes escenarios de operación. Retrieved from [https://ciencia.lasalle.edu.co/ing\\_electrica/253](https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_electrica/253)

This Trabajo de grado - Pregrado is brought to you for free and open access by the Facultad de Ingeniería at Ciencia Unisalle. It has been accepted for inclusion in Ingeniería Eléctrica by an authorized administrator of Ciencia Unisalle. For more information, please contact [ciencia@lasalle.edu.co](mailto:ciencia@lasalle.edu.co).

**Desarrollo de una aplicación en el software Open DSS orientada a la simulación de un sistema de distribución en diferentes escenarios de operación**

Julio Cesar Ramírez Acero

Universidad de La Salle

Facultad de Ingeniería – Departamento de Ingeniería Eléctrica

Marzo 2019

**Desarrollo de una aplicación en el software Open DSS orientada a la simulación de un sistema de distribución en diferentes escenarios de operación**

Julio Cesar Ramírez Acero

Código 42151703

Proyecto de grado presentado para optar por el título de  
Ingeniero Electricista

Orientador

Ing. Luis Hernando Correa Salazar MSc.

Universidad de La Salle

Facultad de Ingeniería – Departamento de Ingeniería Eléctrica

Marzo 2019

---

Jurado

---

Jurado

Universidad de La Salle

Facultad de Ingeniería – Departamento de Ingeniería Eléctrica

Marzo 2019

## **Dedicatoria**

A la memoria de mi padre Julio Ramírez Vásquez quien me enseñó el valor de la vida y de la responsabilidad. Te extraño todos los días, y siempre me esforzare para que te sientas orgulloso de tu descendencia.

## **Agradecimientos**

A Dios, a mi madre Cecilia Acero y a mi hermana Erika Ramírez por la fortaleza y el apoyo que me brindaron.

Al cuerpo de profesores de la Universidad de La Salle por ayudarme a formar mis bases profesionales, especialmente al profesor Luis Correa quien que creyó en mi trabajo.

Expreso mi más profundo agradecimiento a mi dulce esposa la ingeniera Paola Suarez, mi mejor amiga y mi compañera.

*“El presente es vuestro pero el futuro es mío”. Nikola Tesla*

## ÍNDICE GENERAL

1.	RESUMEN DEL PROYECTO.....	11
2.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	12
3.	OBJETIVO GENERAL.....	13
3.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
4.	JUSTIFICACIÓN.....	14
5.	ANTECEDENTES.....	15
6.	MARCO TEÓRICO.....	17
7.	SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN BAJO PRUEBA.....	18
8.	MODELAMIENTO DEL SISTEMA IEEE DE 34 NODOS EN OPEN DSS Y ETAP.....	19
8.1.	ESCENARIO 1 - MODELAMIENTO EN OPEN DSS.....	20
8.1.1.	MODELOS DE LÍNEAS.....	21
8.1.2.	MODELOS DE CARGAS.....	23
8.1.3.	MODELOS DE TRANSFORMADORES Y REGULADORES.....	27
8.1.4.	MODELOS DE BANCO DE CONDENSADORES.....	28
8.2.	MODELAMIENTO EN ETAP.....	
8.3.	MODELOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EN OPEN DSS.....	30
9.	ESCENARIO 2 - SISTEMA FOTOVOLTAICO EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN IEEE DE NODOS.....	32
10.	ESCENARIO 3. MODELOS DE FUENTES DE ARMÓNICOS EN CARGAS EN	

OPEN		
DSS.....		34
11. COMPROBACIÓN DE ESCENARIOS DE PRUEBA DESARROLLADOS.....		36
11.1. RESULTADOS EN OPEN DSS PARA EL SISTEMA DE PRUEBA IEEE 34	38	
NODOS .....	40	
11.2. RESULTADOS EN OPEN DSS PARA EL SISTEMA	42	
FOTOVOLTAICO.....	45	
11.3. RESULTADOS SISTEMA FOTOVOLTAICO EN LA RED IEEE 34 NODOS.....	47	
11.4. RESULTADOS ARMÓNICOS EN SISTEMAS		
FOTOVOLTAICOS.....		
12. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....		
13. CONCLUSIONES.....		
14. BIBLIOGRAFÍA.....		



## CONTENIDO DE IMÁGENES

1. Sistema de distribución bajo prueba IEEE 34 nodos.....	18
2. Interfaz gráfica de OPEN DSS .....	19
3. Línea de código de una línea del sistema de distribución en OPEN DSS .....	20
4. Presentación de las características técnicas de una línea en OPEN DSS .....	21
5. Línea de código para una carga puntual del sistema de distribución en OPEN DSS .....	22
6. Presentación de las características técnicas de una carga puntual en OPEN DSS .....	22
7. Línea de código para un transformador del sistema de distribución en OPEN DSS .....	23
8. Línea de código para un regulador del sistema de distribución en OPEN DSS .....	24
9. Presentación de las características técnicas de un transformador en OPEN DSS .....	25
10. Presentación de las características técnicas de un regulador en OPEN DSS .....	25
11. Línea de código para un banco de condensadores del sistema de distribución en OPEN DSS .....	26
12. Presentación de las características técnicas de un banco de condensadores en OPEN DSS .....	26
13. Interfaz gráfica del modelo IEEE de 34 nodos simulado en el software ETAP .....	27
14. Diagrama de bloques de un modelo de un sistema fotovoltaico.....	28

15. Línea de código para un sistema fotovoltaico en OPEN DSS .....	29
16. Sistema IEEE de 34 nodos con generación fotovoltaica .....	30
17. Línea de código para un sistema fotovoltaico en OPEN DSS con el sistema de distribución .....	31
18. Modelo de carga con contenido de armónicos en OPEN DSS .....	32
19. Línea de código para un sistema fotovoltaico en OPEN DSS con contenido de armónicos .....	33
20. Perfiles de tensión para los diferentes nodos .....	36
21. Curva de temperatura de un sistema fotovoltaico en OPEN DSS.....	37
22. Potencia aparente de la fase 1 de un sistema fotovoltaico en OPEN DSS .....	38
23. Perfil de tensión en la fase A .....	42
24. Perfil de tensión en la fase B .....	43
25. Perfil de tensión en la fase C.....	43

## CONTENIDO DE TABLAS

1. Tensiones en los nodos .....	34
2. Flujo de potencia .....	35
3. Flujo de potencia sistema fotovoltaico .....	37
4. Flujo de potencia IEEE 34 nodos con un sistema fotovoltaico.....	39
5. TAP de los reguladores del sistema IEEE 34 nodos con sistema fotovoltaico.....	39
6. Corrientes del sistema IEEE 34 nodos con sistema fotovoltaico.....	40

## ANEXOS

ANEXO 1. Resultados de la simulación del sistema fotovoltaico en el modelo de IEEE de 34 nodos

ANEXO 2. Resultados de la simulación del modelo de IEEE de 34 nodos en ETAP



## **1. Resumen del proyecto**

El presente documento da cuenta del desarrollo de una aplicación en el software OPEN DSS para modelar un sistema de distribución, esta modelación permite observar su comportamiento en diferentes escenarios de operación, que incluyen propiamente el sistema, su interacción con sistemas fotovoltaicos y el análisis de armónicos. Al analizar los resultados obtenidos se observó que el software OPEN DSS es una buena alternativa para modelar sistemas de potencia mediante líneas de código de forma ágil y con gran precisión. Al ser un software de licencia libre posee un alto potencial de desarrollo investigativo para los alumnos de la universidad de La Salle, obteniendo también beneficios para la comunidad académica en general, especialmente en el área de la electrotecnia y a los operadores de red.

## **2. Planteamiento del problema**

El modelamiento de sistemas de distribución con herramientas analíticas o mediante aplicaciones de software, permite obtener información sobre los parámetros que se emplea para mejorar el desempeño de dichos sistemas, de esta manera se pueden estimar puntos de falla, cuantificar las pérdidas de energía por efecto de la conducción o coordinar las protecciones del sistema, no obstante la inclusión de otros tipos de tecnologías de generación no convencionales como los paneles fotovoltaicos o las turbinas eólicas y su participación en las redes inteligentes, han generado nuevos retos en el modelamiento de los sistemas de distribución, ya que las condiciones del sistema eléctrico de potencia cambian y los modelos deben adaptarse a las nuevas tecnologías. Es por lo anterior que modelar un sistema de distribución en un software como OPEN DSS y observarlo en diferentes condiciones de operación contribuirá evaluar el desempeño de dichas redes bajo nuevos escenarios que involucran diferentes tecnologías asociadas.

### **3. Objetivo general**

Desarrollar una aplicación en el software OPEN DSS que permita modelar sistemas de distribución para observar su comportamiento en diferentes condiciones de operación.

#### **3.1 Objetivos específicos**

1. Modelar un sistema de distribución de prueba, creando un aplicativo en el software OPEN DSS, que permita conocer su comportamiento ante diferentes condiciones de operación.
2. Definir 3 escenarios de operación, con el propósito de efectuar simulaciones con la aplicación desarrollada.
3. Comprobar el funcionamiento de los escenarios de prueba en el aplicativo desarrollado.

#### **4. Justificación**

Los sistemas de distribución son una parte fundamental de los sistemas eléctricos de potencia, estos contribuyen al mejoramiento de la calidad de vida de una sociedad mediante la prestación del servicio de energía eléctrica, no obstante, los sistemas evolucionan y cambian incluyendo nuevas tecnologías que permiten suplir la demanda energética de una población, por ello es importante analizar en qué medida se puede ver afectado el desempeño de dicha red ante estos cambios, ya que esto afecta directamente a los usuarios y a la comunidad en general y es mediante la obtención de modelos que puedan ser evaluados ante distintas condiciones de operación y brinden información de su comportamiento que se puede responder a este interrogante, sin embargo, para obtener resultados que puedan ser estudiados apropiadamente, es necesario usar un software y en el desarrollo de este proyecto se empleó OPEN DSS para hacerlo. La comunidad académica en general podrá beneficiarse de los resultados de este proyecto en especial las áreas de la ingeniería relacionadas con la electrotecnia, pero también serán beneficiados los operadores de red y por ende directamente los usuarios del servicio de energía eléctrica.



## 5. Antecedentes

La implementación de herramientas computacionales, particularmente DDSim-PC, en el modelamiento y simulación de sistemas de distribución tiene gran relevancia. Este software permite crear señales con un alto contenido de armónicos y validar su comportamiento en un sistema de distribución, también “la interfaz tiene la característica de ser un entorno de formación para los estudiantes o ingenieros, basada en la simulación de sistemas en tiempo real o para el estudio de calidad de la potencia” (Dimas, Celeita, & Ramos, 2017, P. 1-5) no obstante, puede emplearse otros tipos de software que complementen las funciones como lo es Matlab y validar la integración de tecnologías como la generación fotovoltaica en un sistema de distribución. “La integración de estos programas especializados ofrece varios beneficios para este tipo de estudios como la flexibilidad, versatilidad y la facilidad de realizar pruebas escalables” (Africano, Celeita, & Ramos, 2017, P. 1-6) o también se puede integrar un tercer programa como lo es LabView, que resulta ser útil para localizar fallas en sistemas de distribución. La integración de estos tres software demuestra cómo la automatización avanzada de tecnologías de distribución contribuyen a ubicar de manera precisa una falla” (Celeita, Zambrano, & Ramos, 2014, P. 1-6).

El software OPEN DSS es de fácil acceso y bajo costo y puede ser empleado para contribuir a la enseñanza de sistemas eléctricos de potencia. El software permite crear una interacción versátil para la educación y pruebas avanzadas en las estrategias de automatización en sistemas de distribución para redes inteligentes” (Zambrano, Trujillo, Celeita, Hernandez, & Ramos, 2016, P. 1-5), no obstante, su aplicación no está limitada a la academia, el software también puede ser

empleado en casos donde las redes eléctricas esta cambiando como en el caso de redes que alimentan sistemas eléctricos de transporte (D. Steen and L. A. Tuan, 2017, P. 2350-2353).

El software OPEN DSS es flexible y permite su integración con otros software como Matlab para desarrollar investigaciones relacionadas con la calidad de parametros eléctricos (Y. Hong, Z. Bie, G. Li, S. Liu and A. Berizzi, 2017, P. 1-6) (Yang Hong, Gengfeng Li, Chenlin Gu, Fangdi Zeng and S. Liu, 2016, P. 2338-2342), también se usa esta combinación de software en el estudio de generación distribuida con fuentes de energía renovables (S. Sharma, A. Chandra, M. Saad, S. Lefebvre, D. Asber and L. Lenoir, 2016, P. 4158-4163) (Z. Zhao and J. Mutale, 2016, P. 1-5)

## 6. Marco teórico

Los sistemas eléctricos de potencia han existido desde hace muchos años, y han crecido debido a la aplicación de tecnologías de potencia desde su desarrollo. El diseño y operación de estos sistemas se ha convertido en una actividad muy importante y esto ha contribuido a la construcción de sistemas interconectados más robustos, que pueden ser suplidos por otros sistemas en caso de falla. En general, un sistema eléctrico de potencia posee varios equipos como seccionadores, interruptores, reconectores, generadores, cargas etc.

Para evaluar modelos de sistemas de distribución o para verificar las características técnicas de una red se emplea software. Un paquete especializado es OPEN DSS, desarrollado por EPRI (*Electric Power Research Insitute*) en 1997 y concebido originalmente para modelar sistemas de generación distribuida o sistemas de servicios públicos; sin embargo, con el tiempo se fueron agregando distintas funcionalidades para estudiar la incidencia de energías alternativas o de redes inteligentes. En la actualidad el software cuenta con diversos tipos de análisis para los modelos desarrollados en él y es muy flexible, ya que está diseñado para ser modificado adaptándose de esta manera a los cambios tecnológicos futuros.

Las redes inteligentes integran las TIC (*Tecnologías de la Información y las Comunicaciones*) con los sistemas eléctricos de potencia, permeando todos sus aspectos, desde la generación, pasando por los sistemas de distribución, hasta finalmente llegar a la energía demandada por los usuarios. Las redes inteligentes tienen como objetivos principales disminuir el impacto

ambiental, mejorar la confiabilidad y el servicio de prestación de energía eléctrica, fomentar los mercados energéticos y reducir costos, incrementando la eficiencia de los sistemas.

## 7. Sistema de distribución bajo prueba

El sistema eléctrico de distribución elegido bajo prueba fue el de 34 nodos de IEEE tomado de *Distribution System Analysis Subcommittee – 34 Nodes Test Feeder* del *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE Distribution System Analysis Subcommittee, 2004). Este sistema de distribución se encuentra ubicado en Arizona (Estados Unidos) y cuenta con unas tensiones nominales de 24,9 kV y 4,16 kV, contiene cargas trifásicas y monofásicas, dos reguladores de tensión para mantener el perfil y dos bancos de condensadores. En la Figura 1 se presenta el diagrama unifilar.

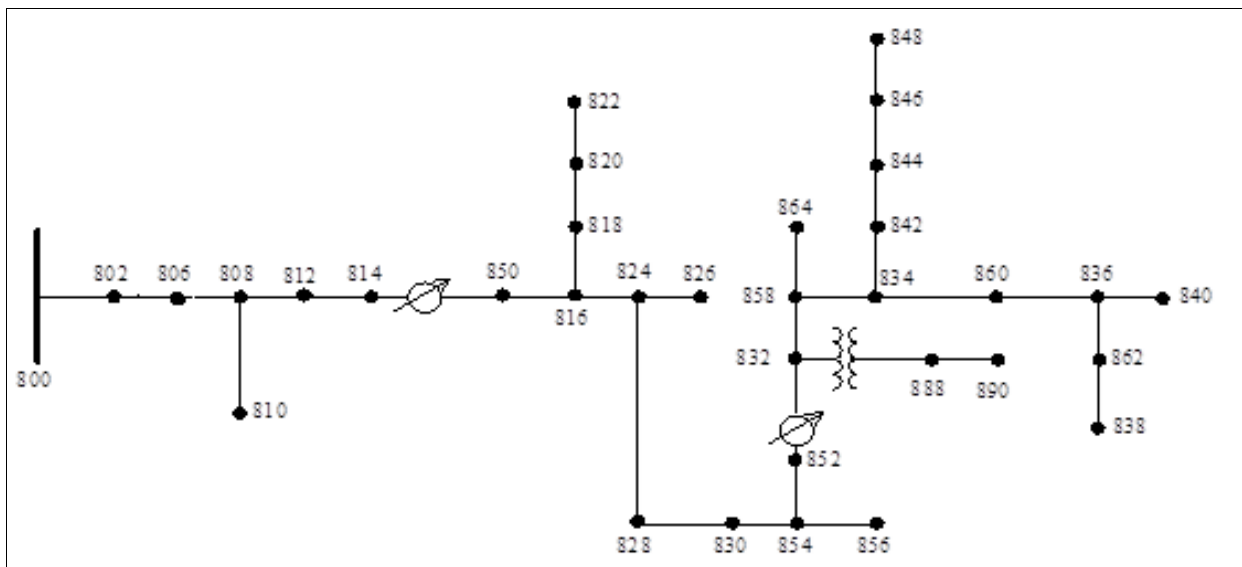


Figura 1. Sistema de distribución bajo prueba IEEE 34 nodos

## **8. Modelamiento del sistema IEEE 34 nodos bajo prueba en OPEN DSS y ETAP**

El sistema bajo prueba fue modelado haciendo uso de programas, OPEN DSS y ETAP, para contrastar los resultados obtenidos con los descritos por IEEE en el documento *Distribution System Analysis Subcommittee* del *Institute of Electrical and Electronics Engineers – 34 Nodes Test Feeder* (IEEE Distribution System Analysis Subcommittee, 2004).

### **8.1 Escenario 1 - Modelamiento en OPEN DSS**

OPEN DSS es un software desarrollado principalmente para modelar sistemas eléctricos de distribución, posee una interfaz gráfica sencilla y el modelamiento se lleva a cabo mediante líneas de código que deben ser compiladas. En la Figura 2 se presenta una imagen de la interfaz gráfica de OPEN DSS.

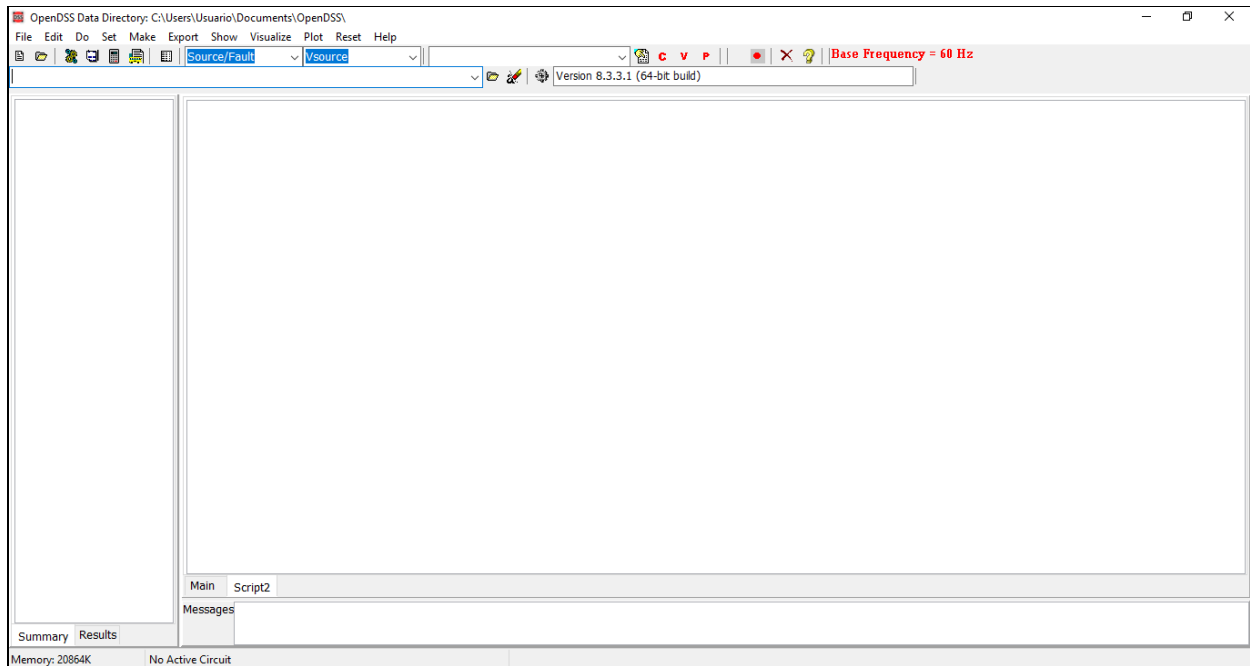


Figura 2. Interfaz gráfica de OPEN DSS

En la interfaz se presentan tres listas desplegables principales (parte superior), 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.

### 8.1.1 Modelos de Líneas

OPEN DSS emplea un modelo pi para representar las líneas del sistema de distribución y mediante una serie de líneas de código se incorporan las características técnicas. En la Figura 3 se describe la línea que conecta los nodos 800 y 802.

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



Figura 3. Línea de código de una línea del sistema de distribución en OPEN DSS

La línea de código describe una línea trifásica conectada entre los nodos 800 y 802, que posee un orden de conductores descrito como 1, 2 y 3, una longitud de 2.58 kilo pies y una configuración de línea 300 que se describe en el documento *Distribution System Analysis Subcommittee del Institute of Electrical and Electronics Engineers – 34 Nodes Test Feeder* [1]. En la Figura 4 se presenta una imagen con las características técnicas de la línea en la interfaz gráfica de OPEN DSS.

Property	Value
LINE.L1	
Close	
Update	
bus1	800.1.2.3
bus2	802.1.2.3
linecode	300
length	2.58
phases	3
r1	----
x1	----
r0	----
x0	----
C1	----
C0	----
rmatrix	[0.2531818 0.03979167 0.2507197 0.04034091
xmatrix	[0.2527083 0.1094508 0.2569886 0.09498106
cmatrix	[2.68015 0.769281 2.561038 0.4995077 -0.31
Switch	False
Rg	0.01805
Xg	0.155081
rho	100
geometry	
units	kft
spacing	
wires	
EarthModel	Deri
cncables	
tscables	
B1	----
B0	----
normamps	400
emergamps	600
faultrate	0.1
pctperm	20
repair	3

Figura 4. Presentación de las características técnicas de una línea en OPEN DSS.

La ventana grafica presenta resultados sobre la línea como las barras entre las cuales se encuentra conectada, la longitud, el número de fases y su respectiva matriz de resistencia, inductancia y capacitancia.

### 8.1.2 Modelo de Cargas

Las cargas en OPEN DSS son modeladas mediante líneas de código y para el caso puntual del modelo IEEE de 34 nodos se describen de forma distribuida o concentradas. En la figura 5 se presenta la línea de código para una carga puntual conectada al nodo 860.

```
New Load.S860    Bus1=860    Phases=3 Conn=Wye    Model=1 kV= 24.900 kW= 60.0  
kVAR= 48.0
```

Figura 5. Línea de código para una carga puntual del sistema de distribución en OPEN DSS

La línea de código describe una carga trifásica conectada al nodo 860 en estrella, a un nivel de tensión de 24,9 kV con una potencia activa de 60 kW y una potencia reactiva de 48 kVAR. En la Figura 6 se presenta una imagen con las características técnicas de la línea en la interfaz gráfica de OPEN DSS.



Property	Value
phases	3
bus1	860
kV	24.9
kW	60
pf	0.7809
model	1
yearly	
daily	
duty	
growth	
conn	Wye
kvar	48
Rneut	-1
Xneut	0
status	variable
class	1
Vminpu	.85
Vmaxpu	1.05
Vminnorm	0.0
Vminemerg	0.0
xfkVA	0.0
allocationfac	0.5
kVA	76.8374908491942
%mean	50
%stddev	10
CVRwatts	1
CVRvars	2
kwh	0
kwhdays	30
Cfactor	4
CVRcurve	
NumCust	1

Figura 6. Presentación de las características técnicas de una carga puntual en OPEN DSS

La ventana grafica presenta resultados sobre la carga como la barra a la que se encuentra conectada, la potencia activa, reactiva y el factor de potencia.

### 8.1.3 Modelos de Transformadores y reguladores

Mediante líneas de código se describen las características técnicas de los transformadores y de los reguladores del modelo. En las Figuras 7 y 8 se presentan las líneas de código para un transformador y un regulador.



**New Transformer.XFM1 Phases=3 Windings=2 Xhl=4.08**

**~ wdg=1 bus=832 conn=wye kv=24.9 kva=500 %r=0.95**

**~ wdg=2 bus=888 conn=Wye kv=4.16 kva=500 %r=0.95**

Figura 7. Línea de código para un transformador del sistema de distribución en OPEN DSS

```
new transformer.reg1a phases=1 windings=2 bank=reg1 buses=(814.1 814r.1) conns='wye  
wye' kvs='14.376 14.376' kvas='20000 20000' XHL=1
```

```
new regcontrol.creg1a transformer=reg1a winding=2 vreg=122 band=2 ptratio=120  
ctprim=100 R=2.7 X=1.6
```

```
new transformer.reg1b phases=1 windings=2 bank=reg1 buses=(814.2 814r.2)  
conns='wye wye' kvs='14.376 14.376' kvas='20000 20000' XHL=1
```

```
new regcontrol.creg1b transformer=reg1b winding=2 vreg=122 band=2 ptratio=120  
ctprim=100 R=2.7 X=1.6
```

```
new transformer.reg1c phases=1 windings=2 bank=reg1 buses=(814.3 814r.3) conns='wye  
wye' kvs='14.376 14.376' kvas='20000 20000' XHL=1
```

```
new regcontrol.creg1c transformer=reg1c winding=2 vreg=122 band=2 ptratio=120  
ctprim=100 R=2.7 X=1.6
```



Figura 8. Línea de código para un regulador del sistema de distribución en OPEN DSS

Las líneas de código describen un transformador de 24.9/4.16 kV, trifásico, conectado en estrella, entre los nodos 832 y 888, también se presenta un transformador regulador. En las Figuras 9 y 10 se presentan las imágenes con las características técnicas del transformador y el regulador en la interfaz gráfica de OPEN DSS.

Property	Value
phases	3
windings	2
wdg	2
bus	888
conn	"wye "
kV	4.16
kVA	500
tap	1
%R	0.95
Rneut	-1
Xneut	0
buses	[832, 888, ]
conns	[wye, wye, ]
kVs	[24.9, 4.16, ]
kVAs	[500, 500, ]
taps	[1, 1, ]
Xhl	4.08
Xht	35
Xlt	30
Xscarray	[4.08, ]
thermal	2
n	.8
m	.8
flrise	65
hrrise	15
%loadloss	1.9
%noloadloss	0
normhkVA	550
emgrhkVA	750
sub	n
MaxTap	1.1
MinTap	0.9

Figura 9. Presentación de las características técnicas de un transformador en OPEN DSS

Property	Value
phases	1
windings	2
wdg	2
bus	814r.1
conn	"wye "
kV	14.376
kVA	20000
tap	1
%R	0.2
Rneut	-1
Xneut	0
buses	[814r.1, 814r.1, ]
conns	[wye, wye, ]
kVs	[14.376, 14.376, ]
kVAs	[20000, 20000, ]
taps	[1, 1, ]
Xhl	1
Xht	35
Xlt	30
Xscarray	[1, ]
thermal	2
n	.8
m	.8
flrise	65
hrrise	15
%loadloss	0.4
%noloadloss	0
normhkVA	22000
emgrhkVA	30000
sub	n
MaxTap	1.1
MinTap	0.9

Figura 10. Presentación de las características técnicas de un regulador en OPEN DSS

Las ventanas graficas presentan los resultados sobre los transformadores como la barra a la que se encuentra conectada, la potencia activa, reactiva y el factor de potencia.

#### **8.1.4 Modelos de Banco de condensadores**

Estos elementos del sistema se describen mediante líneas de código en OPEN DSS. En la Figura 11 se presenta la línea de código para un banco de condensadores de 300 kVAR.

```
New Capacitor.C844 Bus1=844 Phases=3 kVAR=300 kV=24.9
```

Figura 11. Línea de código para un banco de condensadores del sistema de distribución en OPEN DSS

La línea de código describe un banco de condensadores trifásico de 300 kVAR conectado a un nivel de tensión de 24.9 kV, al nodo 844. En la Figura 12 se presenta una imagen con las características técnicas de un banco de condensadores en la interfaz gráfica de OPEN DSS.

Property	Value
bus1	844
bus2	844.0.0.0
phases	3
kvar	[ 300]
kv	24.9
conn	wye
cmatrix	
cuf	[ 1.28349]
R	[ 0]
XL	[ 0]
Harm	[ 0]
Numsteps	1
states	[ 1]
normamps	9.39063690850596
emergamps	12.5208492113413
faultrate	0
pctperm	1E2
repair	3
basefreq	60
enabled	true
like	

Figura 12. Presentación de las características técnicas de un banco de condensadores en OPEN

## DSS

La ventana grafica presenta resultados sobre la carga como la barra a la que se encuentra conectada, la potencia reactiva, la tensión de la red y la frecuencia.

### 8.2 Modelamiento en ETAP

El sistema fue modelado en el software ETAP. En la Figura 13 se presenta el modelo en la interfaz gráfica del software.

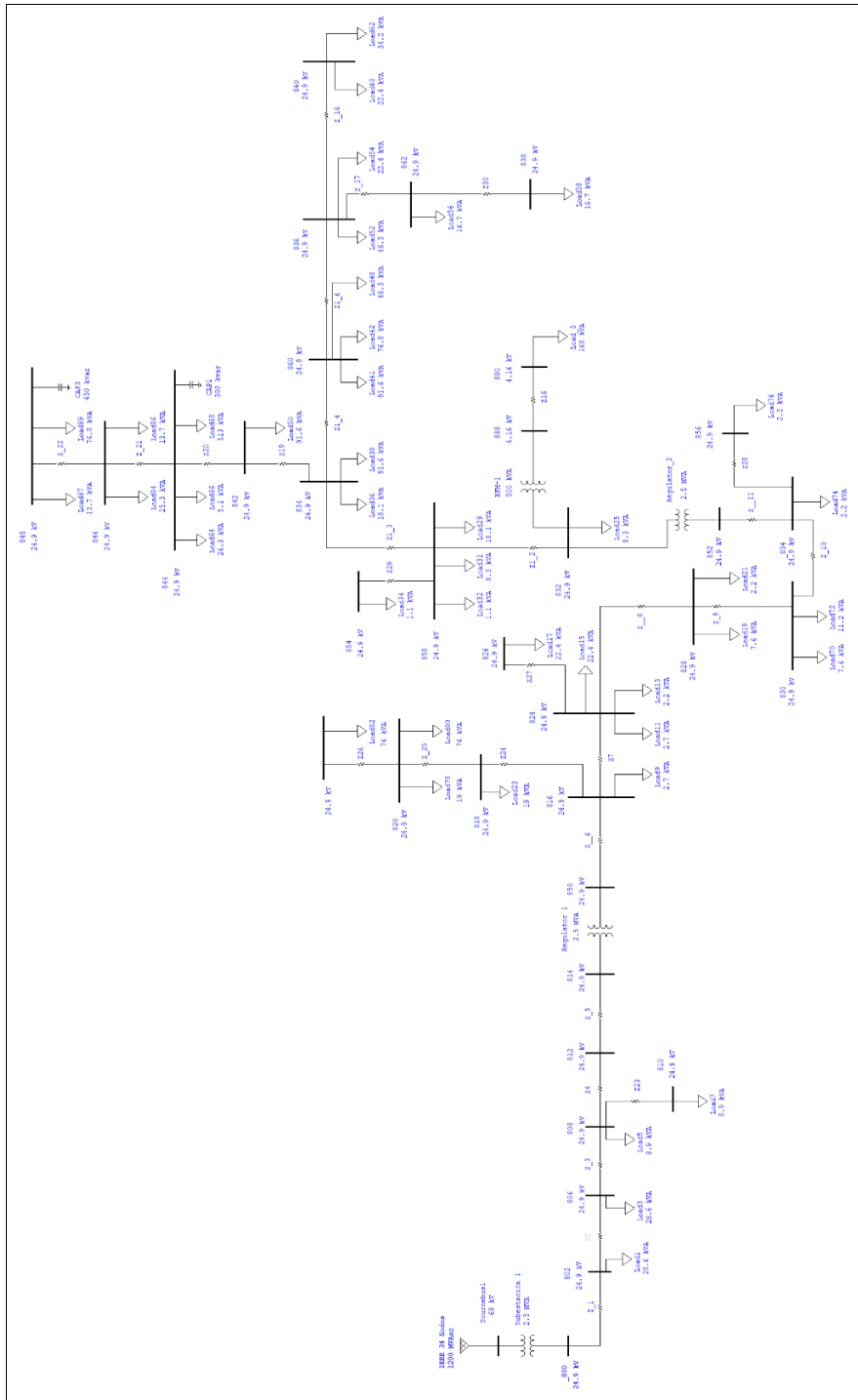


Figura 13. Interfaz gráfica del modelo IEEE de 34 nodos en el software ETAP

Al modelar el sistema de 34 nodos de IEEE en el software ETAP se emplean elementos gráficos que se interconectan y a los cuales se les asignan las características eléctricas mediante ventanas gráficas. El análisis se efectúa mediante iteraciones que deben converger para presentar los

resultados, bien sea el flujo de potencia, análisis de falla o cualquier otro análisis, sin embargo si los datos ingresados no son correctos, el sistema diverge y no se puede hallar una solución, lo que representa una dificultad en sistemas particularmente grandes.

### 8.3. Modelos de sistemas fotovoltaicos en OPEN DSS

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 la figura 14 se presenta un diagrama de bloques del modelo de un sistema fotovoltaico en OPEN DSS.

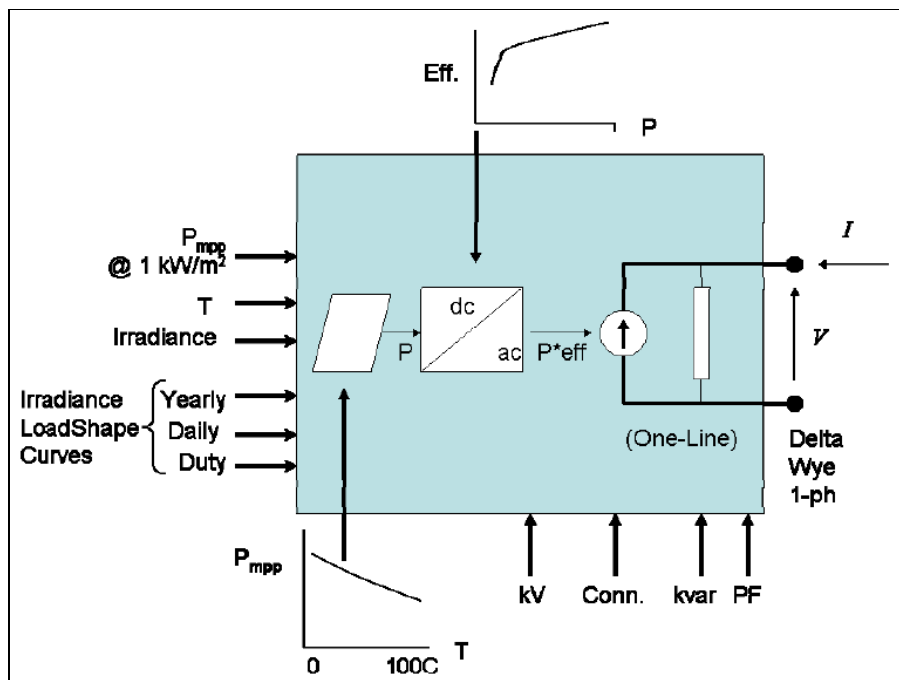


Figura 14. Diagrama de bloques de un modelo de un sistema fotovoltaico

El modelo debe ser conectado a un nodo en el sistema de distribución y debe tener parámetros definidos como el nivel de tensión o la potencia aparente. En la figura 15 se presentan las líneas de código de los parámetros de un sistema fotovoltaico en OPEN DSS.

```
New Line.line1 Bus1=sourcebus bus2=PVbus Length=2
```

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

Figura 15. Línea de código para un sistema fotovoltaico en OPEN DSS

Las líneas de código describen un sistema fotovoltaico de tensión nominal de 12,47 kV con una potencia aparente de 500 kVA, trifásico. También se describe una línea a la cual está conectado el sistema.



## 9. Escenario 2 - Sistema fotovoltaico en la red de distribución IEEE de 34 nodos

Para evaluar el desempeño del sistema de distribución IEEE de 34 nodos con un generador fotovoltaico, se efectuó un cambio en la subestación conectada a la red de distribución agregando un generador fotovoltaico. En la figura 16 se presenta el esquema.

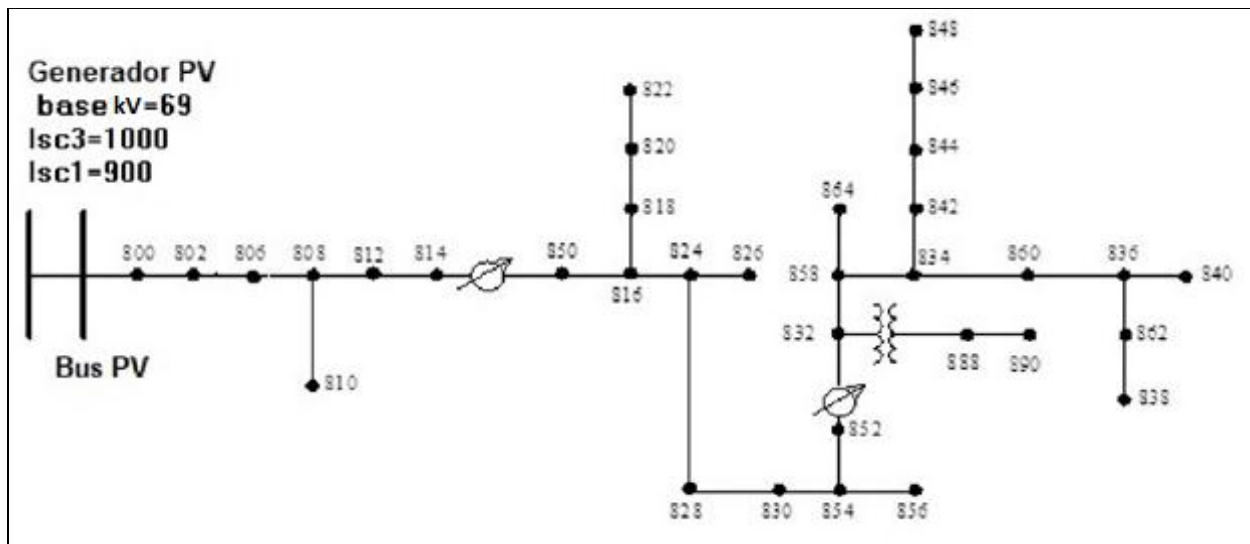


Figura 16. Sistema IEEE de 34 nodos con generación fotovoltaica

El modelo representa el sistema IEEE de 34 nodos con un cambio en el equivalente de la fuente de alimentación, ya que es reemplazado por un generador fotovoltaico con la misma tensión nominal y corrientes de cortocircuito trifásicas y monofásicas de 1000 A y 900 A respectivamente. En la Figura 17 se presentan las líneas de código principales del generador fotovoltaico agregado al sistema de distribución de 34 nodos de IEEE

```
New Circuit.PVSystem basekv=69 Isc3=1000 Isc1=900  
  
New XYCurve.MyPvsT npts=4 xarray=[0 25 75 100] yarray=[1.2 1.0 0.8 0.6]  
  
New XYCurve.MyEff npts=4 xarray=[.1 .2 .4 1.0] yarray=[.86 .9 .93 .97]  
  
Redirect PVLoadShape.DSS  
  
New Tshape.MyTemp npts=30 minterval=1 temp=[35, 35, 35, 35, 35, 35, 35, 35, 35, 35, 35,  
35, 35, 35, 35, 35, 35, 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35]
```

Figura 17. Línea de código para un sistema fotovoltaico en OPEN DSS con el sistema de distribución de 34 nodos

Las líneas de código presentan una curva de potencia vs temperatura de los paneles, con un punto de máxima potencia declarado a 25 °C, también se describe la curva de eficiencia.

## 10. Escenario 3 - Modelos de fuentes de armónicos en cargas en OPEN DSS

Originalmente, cuando se estableció el código para OPEN DSS, el modelo de cargas con contenido de armónicos era un equivalente Norton en el cual la fuente de corriente poseía el valor de la fundamental y la admitancia dependía de la frecuencia para ajustar el modelo; sin embargo, en marzo de 2013 en el foro de discusión en línea de OPEN DSS algunos usuarios expresaron que las corrientes finales no coincidían con los resultados esperados y esto se debía a que el modelo del equivalente Norton no tenía en cuenta algunos parámetros a ciertas frecuencias del sistema, por ende, se agregó al modelo inicial una impedancia en serie RL conectada en paralelo para complementarlo. En la figura 18 se presenta el modelo de análisis de carga con contenido de armónicos en OPEN DSS.

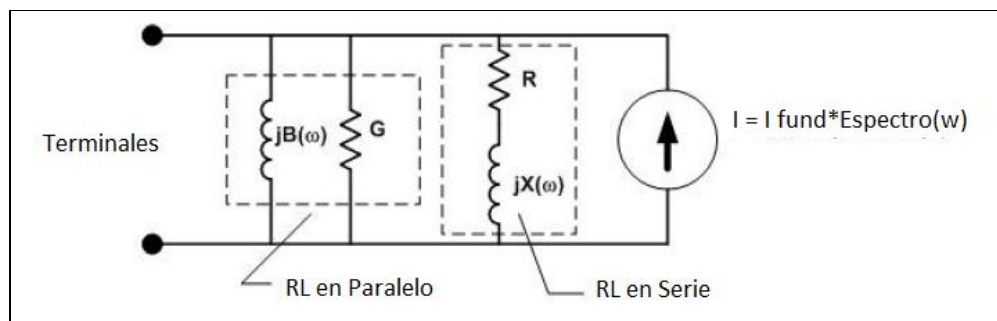


Figura 18. Modelo de carga con contenido de armónicos en OPEN DSS

Para el análisis de armónicos se tomará un sistema fotovoltaico con tensión nominal de 12.47 kV, de 500 kVA. En la Figura 19 se presenta un ejemplo de la línea de código usada para realizar el análisis de armónicos.

```
solve  
solve mode=Harm  
  
show mon m1  
show mon m2
```

Figura 19. Línea de código para un sistema fotovoltaico en OPEN DSS con contenido de armónicos

## 11. Comprobación de los escenarios de prueba desarrollados

### 11.1 Resultados en OPEN DSS para el sistema de prueba IEEE 34 nodos

Al simular el sistema IEEE de 34 nodos en el software OPEN DSS se obtienen archivos planos, los cuales presentan el flujo de potencia y gráficas con los perfiles de tensión. En las Tablas 1, 2 y 3 se presentan los resultados del flujo de potencia, tensiones en los nodos y gráficas de los perfiles de tensión obtenidos con la simulación.

LINE-GROUND and LINE-LINE VOLTAGES BY BUS & NODE									
Bus	Node	VLN (kV)	Angle	pu	Base kV	Node-Node	VLL (kV)	Angle	pu
SOURCEBUS	1	41.829 /_	30.0	1.05	69.000	1-2	72.45 /_	60.0	1.05
-	2	41.829 /_	-90.0	1.05	69.000	2-3	72.45 /_	-60.0	1.05
-	3	41.829 /_	150.0	1.05	69.000	3-1	72.45 /_	180.0	1.05
800	..... 1	15.095 /_	0.0	1.05	24.900	1-2	26.145 /_	30.0	1.05
-	2	15.095 /_	-120.0	1.05	24.900	2-3	26.145 /_	-90.0	1.05
-	3	15.095 /_	120.0	1.05	24.900	3-1	26.145 /_	150.0	1.05
802	..... 1	15.058 /_	-0.1	1.0474	24.900	1-2	26.096 /_	30.0	1.048
-	2	15.072 /_	-120.1	1.0484	24.900	2-3	26.104 /_	-90.1	1.0483
-	3	15.072 /_	119.9	1.0484	24.900	3-1	26.094 /_	149.9	1.0479
806	..... 1	15.033 /_	-0.1	1.0457	24.900	1-2	26.063 /_	29.9	1.0467
-	2	15.058 /_	-120.1	1.0475	24.900	2-3	26.077 /_	-90.1	1.0473
-	3	15.057 /_	119.9	1.0474	24.900	3-1	26.06 /_	149.9	1.0466
808	..... 1	14.571 /_	-0.8	1.0135	24.900	1-2	25.464 /_	29.4	1.0227
-	2	14.805 /_	-121.0	1.0299	24.900	2-3	25.597 /_	-90.8	1.028
-	3	14.789 /_	119.3	1.0287	24.900	3-1	25.435 /_	149.0	1.0215
810	..... 2	14.803 /_	-121.0	1.0297	24.900				
812	..... 1	14.033 /_	-1.6	0.97611	24.900	1-2	24.774 /_	28.8	0.99492
-	2	14.528 /_	-121.9	1.0106	24.900	2-3	25.05 /_	-91.7	1.006
-	3	14.471 /_	118.6	1.0066	24.900	3-1	24.71 /_	148.0	0.99238
814	..... 1	13.605 /_	-2.3	0.9464	24.900	1-2	24.223 /_	28.3	0.97283
-	2	14.309 /_	-122.7	0.9953	24.900	2-3	24.616 /_	-92.5	0.9886
-	3	14.218 /_	118.0	0.98899	24.900	3-1	24.137 /_	147.1	0.96934
814R	..... 1	14.792 /_	-2.3	1.029	24.900	1-2	25.559 /_	27.3	1.0265
-	2	14.664 /_	-122.7	1.02	24.900	2-3	25.305 /_	-92.4	1.0163
-	3	14.66 /_	118.0	1.0198	24.900	3-1	25.549 /_	148.0	1.0261
850	..... 1	14.792 /_	-2.3	1.0289	24.900	1-2	25.559 /_	27.3	1.0264
-	2	14.664 /_	-122.7	1.02	24.900	2-3	25.304 /_	-92.4	1.0162
-	3	14.66 /_	118.0	1.0198	24.900	3-1	25.548 /_	148.0	1.026
816	..... 1	14.786 /_	-2.3	1.0286	24.900	1-2	25.551 /_	27.3	1.0261
-	2	14.66 /_	-122.7	1.0198	24.900	2-3	25.298 /_	-92.4	1.016
-	3	14.656 /_	118.0	1.0195	24.900	3-1	25.54 /_	148.0	1.0257

Tabla 1. Tensiones en los nodos

CIRCUIT ELEMENT POWER FLOW						
(Power Flow into element from indicated Bus)						
Power Delivery Elements						
Bus	Phase	kW	+j	kvar	kVA	PF
ELEMENT = "Vsource.SOURCE"						
SOURCEBUS	1	-690.4	+j	-156.1	707.9	0.9754
SOURCEBUS	2	-624.9	+j	-70.6	628.9	0.9937
SOURCEBUS	3	-731.7	+j	-56.6	733.9	0.9970
TERMINAL TOTAL	.	-2047.0	+j	-283.3	2066.5	0.9906
SOURCEBUS	0	0.0	+j	0.0	0.0	1.0000
SOURCEBUS	0	0.0	+j	0.0	0.0	1.0000
SOURCEBUS	0	0.0	+j	0.0	0.0	1.0000
TERMINAL TOTAL	.	0.0	+j	0.0	0.0	1.0000
ELEMENT = "Transformer.SUBXF"						
SOURCEBUS	1	690.4	+j	156.1	707.9	0.9754
SOURCEBUS	2	624.9	+j	70.6	628.9	0.9937
SOURCEBUS	3	731.7	+j	56.6	733.9	0.9970
SOURCEBUS	0	0.0	+j	0.0	0.0	1.0000
TERMINAL TOTAL	.	2047.0	+j	283.3	2066.5	0.9906
800	1	-763.4	+j	-169.4	781.9	0.9763
800	2	-665.5	+j	-86.2	671.0	0.9917
800	3	-618.2	+j	-27.6	618.8	0.9990
800	0	0.0	+j	0.0	0.0	1.0000
TERMINAL TOTAL	.	-2047.0	+j	-283.2	2066.5	0.9906

Tabla 2. Flujo de potencia

La tabla presenta los valores de la simulación en los nodos especificados en el modelo. El software genera un archivo plano que puede exportarse a Excel. Por cada nodo se presenta los valores de tensión y el ángulo junto con el valor en por unidad, también presenta los valores de potencia activa, reactiva, aparente y factor de potencia.

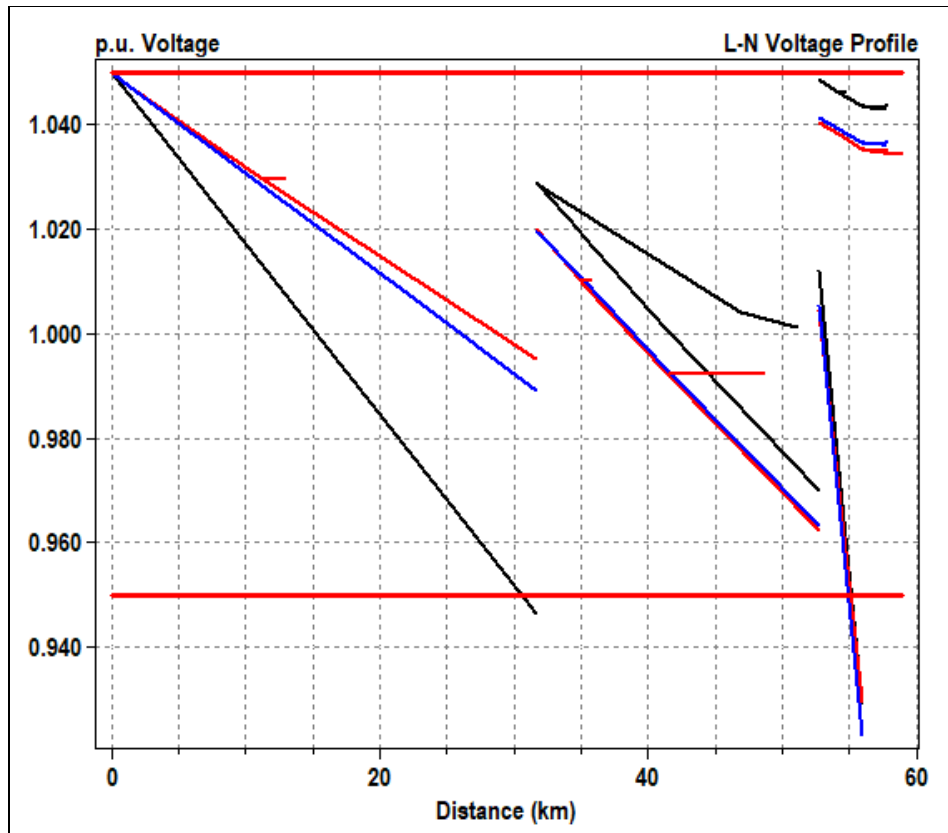


Figura 20. Perfiles de tensión para los diferentes nodos

El software genera archivos gráficos del análisis requerido como los perfiles de tensión de la red que varían con la distancia, lo que identifica en que puntos pueden ubicarse equipos como reguladores de tensión trifásicos.

### 11.2 Resultados OPEN DSS sistema fotovoltaico

Al simular el sistema fotovoltaico en el software OPEN DSS se obtienen archivos planos que presentan las gráficas con los perfiles de tensión. En la tabla 3 y en las Figuras 21 y 22 se presentan los resultados del flujo de potencia, tensiones en los nodos y gráficas de los perfiles de tensión de la simulación.

hour	t(sec)	S1 (kVA)	Ang1	S2 (kVA)	Ang2	S3 (kVA)	Ang3	S4 (kVA)	Ang4
1	0.00000	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0.00000	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0.00000	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0.00000	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0.00000	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0.00000	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0.00000	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0.00000	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0.00000	34,7371	179,998	34,7371	179,998	34,7371	179,998	0	0
10	0.00000	58,056	179,998	58,056	179,998	58,056	179,998	0	0
11	0.00000	92,5006	179,998	92,5006	179,998	92,5006	179,998	0	0
12	0.00000	102,226	179,999	102,226	179,999	102,226	179,999	0	0
13	0.00000	108,842	180	108,842	180	108,842	180	0	0
14	0.00000	108,842	-180	108,842	-180	108,842	-180	0	0
15	0.00000	110,328	180	110,328	180	110,328	180	0	0
16	0.00000	106,985	-180	106,985	-180	106,985	-180	0	0
17	0.00000	84,1487	-179,998	84,1487	-179,998	84,1487	-179,998	0	0
18	0.00000	47,9282	-179,998	47,9282	-179,998	47,9282	-179,998	0	0
19	0.00000	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0.00000	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0.00000	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0.00000	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0.00000	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0.00000	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 3. Flujo de potencia sistema fotovoltaico

Para un generador fotovoltaico se presenta un análisis del flujo de potencia por fase y se observa las horas del día se genera la potencia.

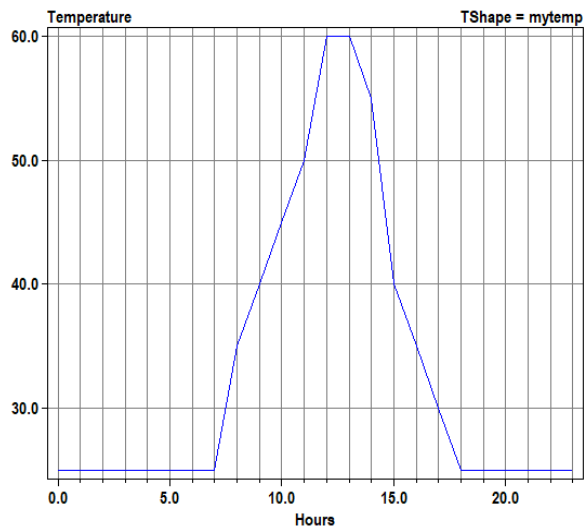


Figura 21. Curva de temperatura de un sistema fotovoltaico en OPEN DSS



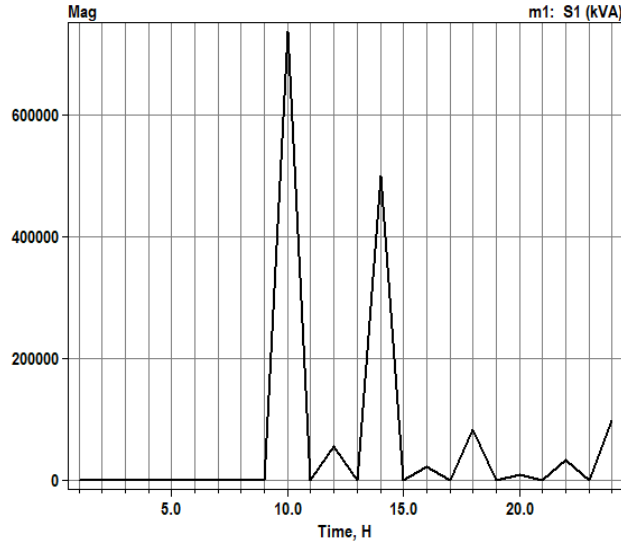


Figura 22. Potencia aparente de la fase 1 de un sistema fotovoltaico en OPEN DSS

En el modelo presentado del generador fotovoltaico en el software OPEN DSS la potencia depende de la radiación directa sobre el panel y de la eficiencia del mismo, lo que se evidencia en las curvas resultantes de temperatura y potencia activa de la fase 1.

### 11.3 Resultados Sistema fotovoltaico en la red de distribución IEEE de 34 nodos

Al realizar la simulación en el software OPEN DSS se obtuvieron los resultados de flujo de potencia, perfiles de tensión y valores de los TAP en los transformadores. En las tablas 4, 5 y 6 se presentan los resultados.

CIRCUIT ELEMENT POWER FLOW						
(Power Flow into element from indicated Bus)						
Power Delivery Elements						
Bus	Phase	kW	+j kvar	kVA	PF	
ELEMENT = "Vsource.SOURCE"						
SOURCEBUS	1	-552.7	+j -148.7	572.4	0.9657	
SOURCEBUS	2	-507.0	+j -75.7	512.6	0.9890	
SOURCEBUS	3	-594.2	+j -70.2	598.4	0.9931	
TERMINAL TOTAL	.	-1653.9	+j -294.7	1680.0	0.9845	
SOURCEBUS	0	0.0	+j 0.0	0.0	1.0000	
SOURCEBUS	0	0.0	+j 0.0	0.0	1.0000	
SOURCEBUS	0	0.0	+j 0.0	0.0	1.0000	
TERMINAL TOTAL	.	0.0	+j 0.0	0.0	1.0000	
ELEMENT = "Line.LINE1"						
SOURCEBUS	1	552.7	+j 148.7	572.4	0.9657	
SOURCEBUS	2	507.0	+j 75.7	512.6	0.9890	
SOURCEBUS	3	594.2	+j 70.2	598.4	0.9931	
TERMINAL TOTAL	.	1653.9	+j 294.7	1680.0	0.9845	
PVBUS	1	-552.7	+j -152.7	573.4	0.9639	
PVBUS	2	-506.9	+j -79.7	513.2	0.9879	
PVBUS	3	-594.2	+j -74.2	598.8	0.9923	
TERMINAL TOTAL	.	-1653.8	+j -306.6	1682.0	0.9832	
ELEMENT = "Transformer.SUBXF"						
PVBUS	1	680.2	+j 152.7	697.2	0.9757	
PVBUS	2	634.5	+j 79.7	639.5	0.9922	
PVBUS	3	721.8	+j 74.2	725.6	0.9948	
PVBUS	0	0.0	+j 0.0	0.0	1.0000	
TERMINAL TOTAL	.	2036.5	+j 306.6	2059.5	0.9889	
800	1	-736.2	+j -178.5	757.5	0.9718	
800	2	-676.1	+j -92.0	682.3	0.9909	

Tabla 4. Flujo de potencia IEEE 34 nodos con un sistema fotovoltaico

El flujo de potencia del sistema IEEE de 34 nodos con la fuente de un generador fotovoltaico mantiene una tendencia en los resultados estable al compararlo con el modelo IEE de 34 nodos inicial.

CONTROLLED TRANSFORMER TAP SETTINGS					
Name	Tap	Min	Max	Step	Position
reg1a	1.10000	0.90000	1.10000	0.00625	16
reg1b	1.10000	0.90000	1.10000	0.00625	16
reg1c	1.10000	0.90000	1.10000	0.00625	16
reg2a	1.10000	0.90000	1.10000	0.00625	16
reg2b	1.08125	0.90000	1.10000	0.00625	13
reg2c	1.08125	0.90000	1.10000	0.00625	13

Tabla 5. TAP de los reguladores del sistema IEEE 34 nodos con sistema fotovoltaico

CIRCUIT ELEMENT CURRENTS						
(Currents into element from indicated bus)						
Power Delivery Elements						
Bus	Phase	Magnitude, A	Angle	(Real)	+j	(Imag)
ELEMENT = "Vsource.SOURCE"						
SOURCEBUS	1	14.471 /_	164.2 =	-13.925	+j	3.9362
SOURCEBUS	2	12.932 /_	50.8 =	8.1697	+j	10.024
SOURCEBUS	3	15.103 /_	-67.5 =	5.7677	+j	-13.958
-----						
SOURCEBUS	0	14.471 /_	-15.8 =	13.925	+j	-3.9362
SOURCEBUS	0	12.932 /_	-129.2 =	-8.1697	+j	-10.024
SOURCEBUS	0	15.103 /_	112.5 =	-5.7677	+j	13.958
ELEMENT = "Line.LINE1"						
SOURCEBUS	1	14.471 /_	-15.8 =	13.925	+j	-3.9362
SOURCEBUS	2	12.932 /_	-129.2 =	-8.1697	+j	-10.024
SOURCEBUS	3	15.103 /_	112.5 =	-5.7677	+j	13.958
-----						
PVBUS	1	14.497 /_	163.8 =	-13.924	+j	4.0376
PVBUS	2	12.947 /_	50.4 =	8.2571	+j	9.9726
PVBUS	3	15.115 /_	-67.9 =	5.6791	+j	-14.008
ELEMENT = "Transformer.SUBXF"						
PVBUS	1	17.627 /_	-13.4 =	17.149	+j	-4.0786
PVBUS	2	16.134 /_	-127.8 =	-9.8996	+j	-12.74
PVBUS	3	18.314 /_	113.3 =	-7.2491	+j	16.819
PVBUS	0	0 /_	0.0 =	0	+j	0
-----						
800	1	53.054 /_	135.6 =	-37.887	+j	37.138
800	2	47.767 /_	21.6 =	44.421	+j	17.563
800	3	43.695 /_	-94.1 =	-3.0933	+j	-43.585
800	0	11.636 /_	-107.2 =	-3.4401	+j	-11.116

Tabla 6. Corrientes del sistema IEEE 34 nodos con sistema fotovoltaico

Los reguladores cumplen una función muy importante dentro del sistema IEEE de 34 nodos ya que permiten mantener los perfiles de tensión y el software OPEN DSS mediante el análisis de TAP permite hallar la posición correcta de cada TAP en cada fase de cada regulador.

#### 11.4 Resultados - Armónicos en sistemas fotovoltaicos

Se establecieron los armónicos impares hasta el orden 13 como parte del estudio. En la Tabla 7 se presentan los resultados obtenidos para el sistema fotovoltaico.

Freq	Harmonic	V1	VAngle1	V2	VAngle2	I1	IAngle1	I2	IAngle2
60	1.00000	7251.63	1.48061	0	0	22.8914	-178.519	22.8914	1.48061
180	3.00000	82.4353	79.9792	0	0	3.37376	175.726	3.37376	-4.27354
300	5.00000	80.426	79.5305	0	0	1.98345	173.094	1.98345	-6.9061
420	7.00000	54.6169	78.1091	0	0	0.963534	170.732	0.963534	-9.26785
540	9.00000	45.1357	76.6031	0	0	0.619697	168.703	0.619697	-11.2972
660	11.00000	37.0407	75.275	0	0	0.416158	167.042	0.416158	-12.9585
780	13.00000	29.8772	74.2246	0	0	0.283993	165.76	0.283993	-14.2395

Tabla 7. Valores de tensiones y corrientes armónicas

El análisis de armónicos sobre el sistema se presenta hasta el número 7 para la tensión y para el ángulo.

## 12. Análisis de resultados

Para el modelo IEEE de 34 nodos se efectuó la comparación de los perfiles de tensión entre lo presentado en el documento de IEEE y los resultados de la simulación en OPEN DSS. Las Figuras 23, 24 y 25 presentan los resultados.

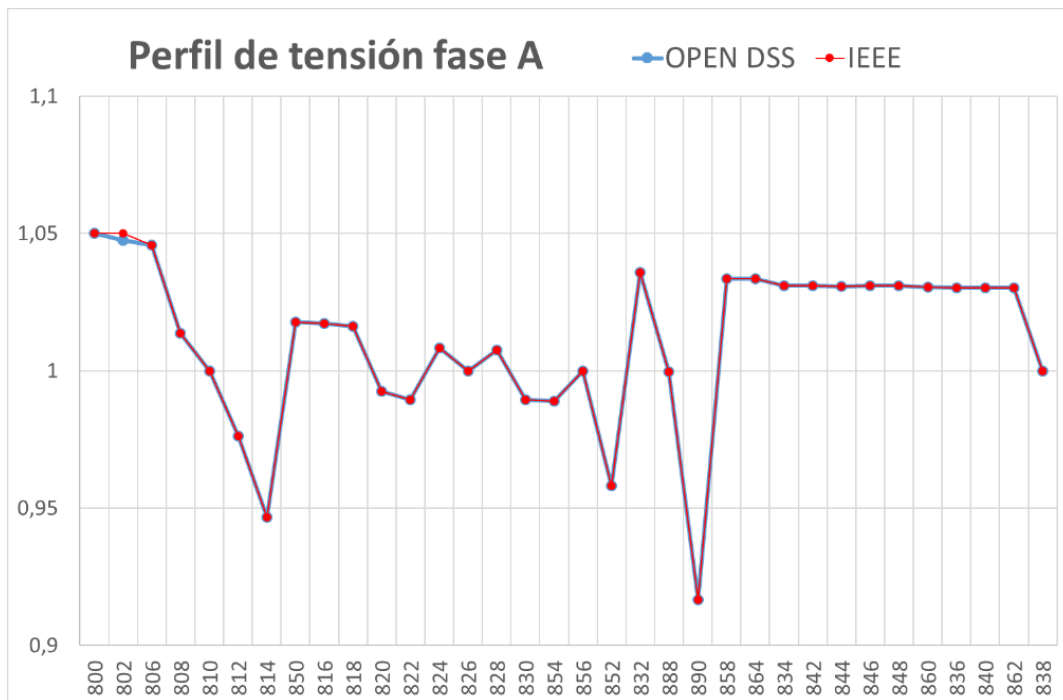


Figura 23. Perfil de tensión en la fase A

Los perfiles de tensión entre el modelo IEEE de 34 nodos simulado en OPEN DSS y los expresados en el documento poseen una gran similitud. Los porcentajes de error, en la mayoría de los casos, son inferiores al 0.5% con excepción de los nodos cercanos a la fuente.

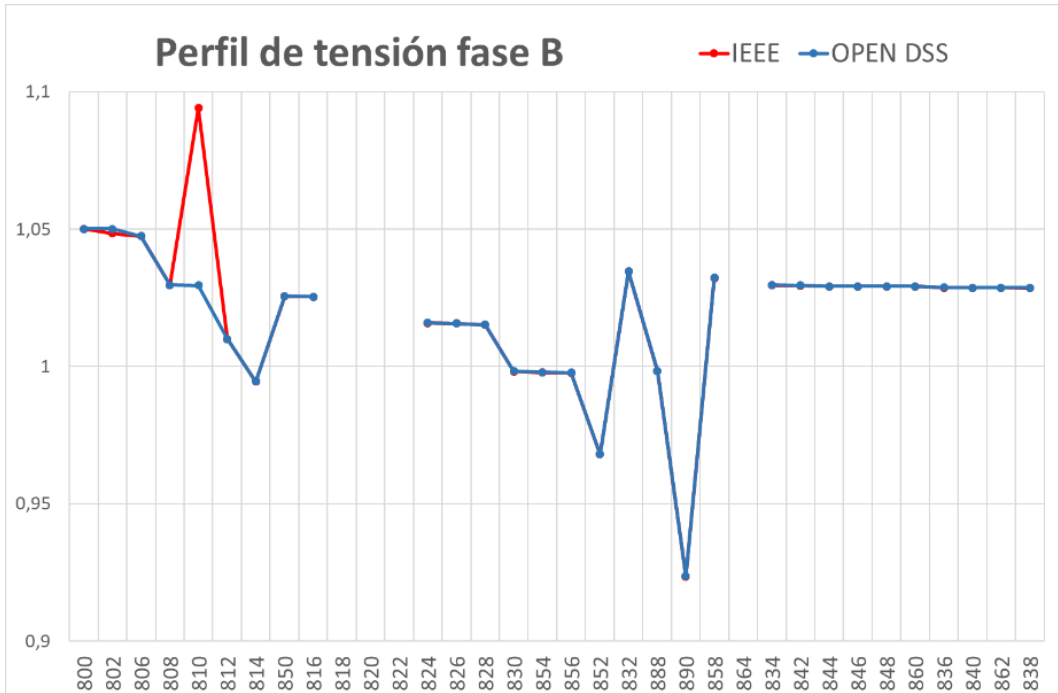


Figura 24. Perfil de tensión en la fase B

En la fase B se presenta un comportamiento irregular en los nodos 810 cercanos a la carga 7 comparado con el perfil de tensión de los demás nodos.

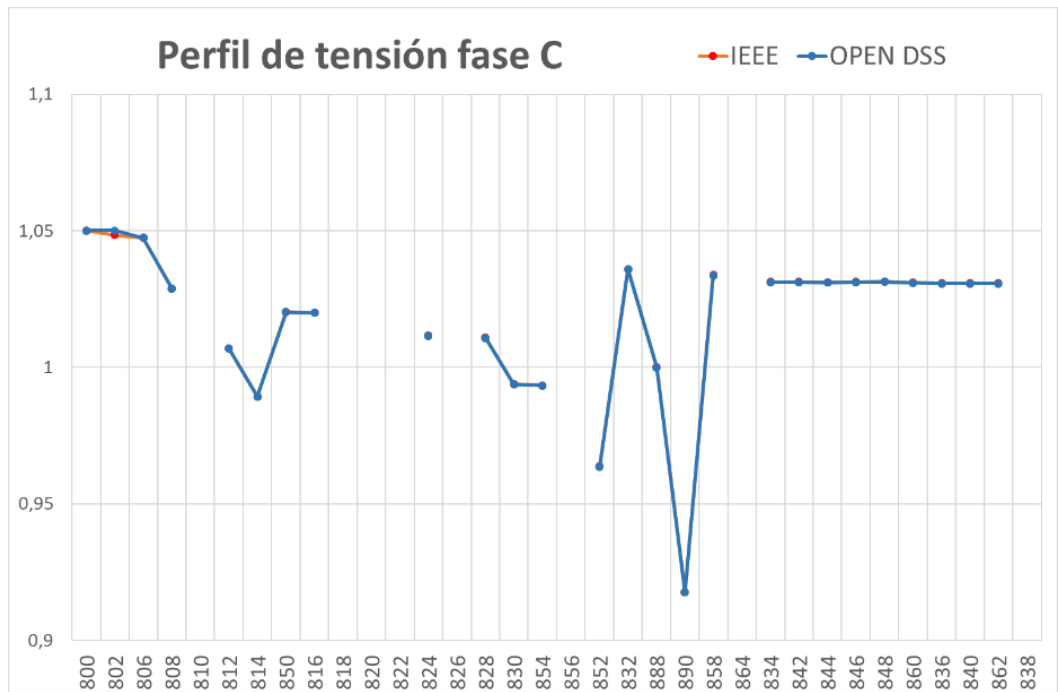


Figura 25. Perfil de tensión en la fase C

Los resultados obtenidos entre el modelo IEEE de 34 nodos simulado en OPEN DSS y los entregados en el documento de prueba de IEEE, difieren en porcentajes de error muy pequeños, por debajo del 0.05%; no obstante, los resultados de la simulación en el software ETAP poseen diferencias con respecto al documento de IEEE debido a que los componentes ingresados manualmente de los elementos pudieron causar errores al momento de generar el flujo de potencia

### 13. CONCLUSIONES

- Modelar los sistemas de potencia en OPEN DSS presenta una nueva visión de los mismos, ya que al describir las redes de distribución mediante códigos y comandos se puede tener una perspectiva diferente a la esquemática.
- Al comparar los resultados de la simulación de la red de distribución del modelo IEEE de 34 nodos en el software OPEN DSS, con los del respectivo documento, se evidencia que poseen una gran precisión debido a que los porcentajes de error son inferiores al 0,5 %.
- Al modelar sistemas de potencia mediante líneas de código, los estudiantes de ingeniería eléctrica pueden tener otra visión para modelar las redes de distribución, además de lo anterior, la licencia libre del software OPEN DSS y la gran variedad de herramientas para el análisis de dichos sistemas, convierten a este software en una herramienta ideal para la para la investigación y aprendizaje.
- Una de las ventajas que posee el software OPEN DSS es que los sistemas de distribución pueden ser modelados tan detalladamente o extensamente como el usuario lo desee, ya que a través de las líneas de código se pueden desarrollar scripts particulares para un modelo específico; adicionalmente, se cuenta con un foro de discusión para realizar mejoras al software que los usuarios consideren adecuadas y que es atendido directamente por los desarrolladores del software.



- Una desventaja que posee el software es que no es esquemático y su aprendizaje requiere cambiar los conceptos de los programas tradicionales para el modelamiento de sistemas de potencia. Esto puede presentar dificultades para algunos usuarios.

## 14. BIBLIOGRAFIA

- [1] Dimas, C., Celeita, D., & Ramos, G. (2017). Simulation interface to reproduce signals with harmonic distortion of distribution systems in real time. *2017 IEEE Workshop on Power Electronics and Power Quality Applications (PEPQA)*. Bogotá: IEEE.
  
- [2] Africano, Y., Celeita, D., & Ramos, G. (2017). Co-simulation strategy of PV hosting capacity applying a stochastic analysis. *2017 IEEE Workshop on Power Electronics and Power Quality Applications (PEPQA)*. Bogotá: IEEE.
  
- [3] Celeita, D., Zambrano, S., & Ramos, G. (2014). Fault Location Framework for Distribution Systems with DG using DSSim-PC. *2014 IEEE PES Transmission & Distribution Conference and Exposition - Latin America (PES T&D-LA)*. Medellín: IEEE.
  
- [4] Zambrano, C., Trujillo, C., Celeita, D., Hernandez, M., & Ramos, G. (2016). GridTeractions: simulation platform to interact with distribution systems. *2016 IEEE Power and Energy Society General Meeting (PESGM)*. Boston: IEEE.
  
- [5] IEEE POWER ENGINEERING SOCIETY Power System Analysis, Computing and Economics Committee Distribution System Analysis Subcommittee IEEE 34 Node Feeder Test

- [6] D. Steen and L. A. Tuan, "Impacts of fast charging of electric buses on electrical distribution systems," *CIREN - Open Access Proceedings Journal*, vol. 2017, no. 1, pp. 2350-2353, 2017.
- [7] Y. Hong, Z. Bie, G. Li, S. Liu and A. Berizzi, "The integrated reliability evaluation of distribution system considering the system voltages adjustment," *2017 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2017 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe)*, Milan, 2017, pp. 1-6.
- [8] Yang Hong, Gengfeng Li, Chenlin Gu, Fangdi Zeng and S. Liu, "Researches on the optimization model and strategies against low voltage in power distribution network," *2016 IEEE PES Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (APPEEC)*, Xi'an, 2016, pp. 2338-2342
- [9] S. Sharma, A. Chandra, M. Saad, S. Lefebvre, D. Asber and L. Lenoir, "Investigations on active control schemes of solar-PV power generation in a distribution feeder," *IECON 2016 - 42nd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, Florence, 2016, pp. 4158-4163.
- [10] Z. Zhao and J. Mutale, "Simulation of automatic network reconfiguration technology in distribution system by OpenDss," *2016 51st International Universities Power Engineering Conference (UPEC)*, Coimbra, 2016, pp. 1-5.