

# **PROYECTO FIN DE CARRERA**

Presentado a

**LA UNIVERSIDAD DE LOS ANDES  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

Para obtener el título de

**INGENIERO ELECTRÓNICO**

por

***Fernando Humberto De la Rosa Correa***

---

***Diseño e implementación de modulo AMI en plataforma GridTeractions***

---

Sustentado el 12 de junio de 2017

## Composición del jurado

- *Asesor:* Gustavo Ramos López, Profesor Asociado, Universidad de Los Andes
- *Jurado:* Paulo de Oliveira, Profesor Visitante, Universidad de Los Andes

## Abstract

This project develops an AMI module (Advanced Metering Infrastructure) in the hardware-software framework GridTeractions. The AMI systems take into account many requirements established in the NTC 6079 standard, and GridTeractions is a project that make possible simulations of an Smart Grid's Control Center with almost every its characteristics and applications. The main objective is to design and implement a module of this infrastructure in the framework, which previously did not count with it. In order to do this work, a conceptual design of the AMI systems must be developed. After this step, the design must be implemented in the framework and a validation methodology is used to test the system. The main work task is related to JAVA programming, because this is the programming language used in the framework. As a result, GridTeractions now have an AMI module to be used as a new simulation tool for future work.

### Contenido

1	INTRODUCCIÓN .....	6
2	OBJETIVOS .....	7
2.1	Objetivo General.....	7
2.2	Objetivos Específicos.....	7
2.3	Alcance y productos finales .....	7
3	DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA Y JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO ...	8
4	MARCO TEÓRICO .....	9
4.1	OpenDSS y DSSim-PC.....	9
4.2	GridTeractions .....	9
4.3	AMI.....	11
5	DEFINICION Y ESPECIFICACION DEL TRABAJO.....	15
5.1	Definición.....	15
5.2	Uso de estándares.....	15
6	METODOLOGÍA DE TRABAJO .....	16
6.1	Plan de trabajo.....	16
7	TRABAJO REALIZADO .....	18
7.1	Programación .....	19
7.1.1	Medidor.....	19
7.1.2	Servidor.....	19
7.2	Interfaz .....	19
8	VALIDACIÓN DEL TRABAJO .....	21
8.1	Metodología de prueba.....	21
8.2	Resultados .....	22
9	DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO .....	25
10	REFERENCIAS .....	26

## Índice de Figuras

Figura 1. Estructura de OpenDSS .....	9
Figura 2. Arquitectura de GridTeractions. [7] .....	10
Figura 3. Enlace Hardware-Software. [7] .....	11
Figura 4. Modelo del sistema AMI. ....	12
Figura 5. Plan de trabajo en la programación del módulo. ....	16
Figura 7. Arquitectura AMI en GridTeractions. ....	18
Figura 8. Interfaz del sistema AMI. ....	20
Figura 9. Interfaz de nuevo medidor. ....	21
Figura 10. Sistema de prueba en BT implementado en DSSim-PC. ....	21
Figura 11. Sistema IEEE 123 nodos implementado en DSSim-PC. ....	22
Figura 12. Labor de medición de variables eléctricas en el sistema BT. ....	23
Figura 13. Labor de conexión y desconexión de carga en el sistema 123 nodos. ....	24

## Índice de tablas

Tabla 1. Requisitos de sistemas AMI. ....	14
Tabla 2. Estándares tenidos en cuenta. ....	15
Tabla 3. Variables de la clase medidor. ....	19
Tabla 4. Datos del sistema de prueba BT. ....	21
Tabla 5. Acciones de prueba del sistema 123 nodos. ....	23

## Agradecimientos

A mis padres, que son mi principal motivación.

A los profesores Gustavo Ramos y Miguel Hernández por su apoyo y conocimiento brindado a lo largo del proyecto.

A todo los desarrolladores de *GridTeractions*. En especial, Cesar Trujillo y Cristian Zambrano, por su acompañamiento y soporte en el trabajo realizado. Sin su espíritu de innovación y creatividad, este proyecto no fuera posible.

## 1 INTRODUCCIÓN

A lo largo del desarrollo de la ingeniería eléctrica, la renovación tecnológica ha sido una actividad constante en pro del mejoramiento de la infraestructura, para garantizar una mejor calidad de energía eléctrica. Sin embargo, la medición de energía eléctrica en los hogares se ha mantenido con la misma infraestructura de lectura manual por medio de operadores humanos o, en algunos casos, lectores ópticos automáticos. El avance tecnológico en el área de comunicaciones ha abierto las puertas al desarrollo de nuevas tecnologías y protocolos de información. Aprovechando esta nueva disponibilidad de comunicación a altas velocidades, la medición de energía ha sufrido una revolución. El primer paso intermedio fue por medio de las tecnologías de medición automática AMR, hasta llegar a la infraestructura de medición avanzada (AMI).

La simulación de sistemas de potencia ha sido una herramienta fundamental para el análisis y la planeación de estos en sistemas reales. Cuando se estableció el concepto de redes inteligentes, estos simuladores sufrieron una adaptación a los desafíos que estas nuevas tecnologías proponen. Del mismo modo, nuevas estrategias de simulación nacieron, como lo es GridTeractions. Ésta plataforma permite la integración entre software y hardware para simular diversas características de este tipo de redes. Características como la generación distribuida masiva y el almacenamiento de energía por medio de carros eléctricos. Sin embargo, la infraestructura de medición avanzada es una de las tecnologías base para los procesos de automatización en las redes inteligentes y no se han desarrollado en este tipo de simuladores.

## 2 OBJETIVOS

### **2.1 Objetivo General**

Diseñar e implementar un módulo de una infraestructura de medición avanzada (AMI) en la plataforma de simulación hardware-software *GridTeractions*.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Realizar una revisión bibliográfica que identifique las características asociadas a la infraestructura AMI en Colombia.
- Realizar un diseño conceptual de un módulo AMI e identificar las características técnicas y operativas de este en una plataforma de simulación.
- Incorporar el modulo en la plataforma GridTeractions.
- Realizar una validación de la herramienta desarrollada por medio de pruebas que muestran los resultados de una implementación exitosa.

### **2.3 Alcance y productos finales**

El producto final corresponde a:

- Sistema diseñado, implementado en GridTeractions, mediante los diferentes archivos de programación creados con total funcionamiento y documentación asociada.
- Reporte de todo el trabajo para trabajos futuros que apliquen la metodología del sistema.

### 3 DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA Y JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO

Para la implementación de redes inteligentes, la simulación del sistema de potencia es una labor fundamental como apoyo a la decisión de diseño y planeación [1]. Los simuladores que cumplan con esta tarea deben tener en cuenta todas las características operativas de este tipo de redes. Desde las tecnologías de infraestructura eléctrica, como la generación distribuida masiva, como las tecnologías de infraestructura de información, como los sistemas de medición SCADA y AMI. Este último se considera el núcleo de las redes inteligentes en sistemas de distribución [2]. Debido a esto, la creación de plataformas de simulación robustas y fortalecimiento de los programas de simulación actuales es una labor que debe ser tomada en cuenta para el desarrollo de las redes inteligentes.

GridTeractions es un proyecto de simulación de este tipo de redes. Esta plataforma cuenta con la operación de diferentes elementos eléctricos como paneles fotovoltaicos y vehículos eléctricos. De la misma forma, implementa herramientas de análisis como la detección de fallas y el establecimiento de curvas de protección. Sin embargo, no existe una herramienta que represente la operación de medidores inteligentes en los sistemas simulados. Por lo tanto, el presente proyecto abordara este problema realizando un diseño conceptual de esta infraestructura e implementándola en la plataforma software hardware GridTeractions.



## 4 MARCO TEÓRICO

### 4.1 *OpenDSS y DSSim-PC*

El programa OpenDSS [3] (Open Distribution System Simulator) es una herramienta de simulación de sistemas eléctrico para uso de redes de distribución. Esta herramienta está desarrollada bajo la software libre, por lo que su código es abierto. El programa soporta todos los análisis en estado estable comúnmente realizado para la simulación, planeación y análisis de las redes de distribución. De la misma forma, implementa tecnologías nuevas en pro de la simulación de las redes inteligentes. La estructura [4] general del programa se muestra en la Figura 1.

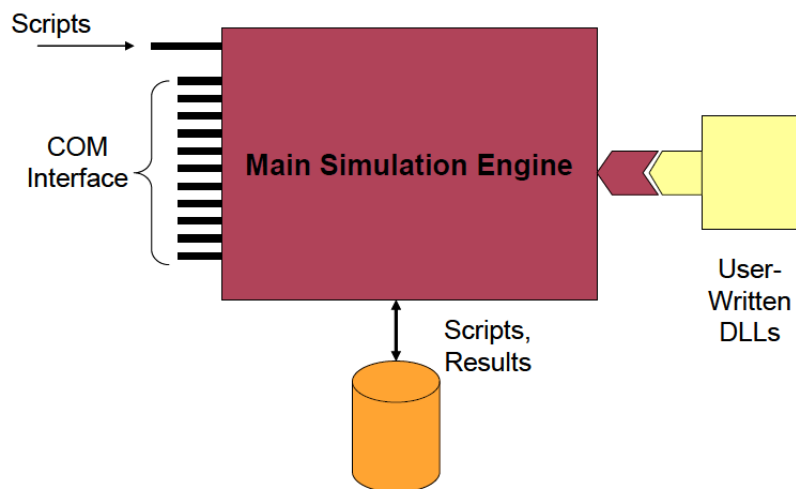


Figura 1. Estructura de OpenDSS

DSSim-PC [5] es un simulador de sistemas de potencia en tiempo real adaptado a una plataforma de computador personal. Está basado en la poderosa herramienta de simulación OpenDSS, desarrollada por EPRI, y puede ser utilizado como interfaz para los archivos de simulación de esta plataforma. Esta herramienta puede simular diferentes sistemas eléctricos y está enfocada en las redes de distribución. Da como resultado de cálculo, reportes de las diferentes variables eléctricas de un sistema simulado.

### 4.2 *GridTeractions*

GridTeractions es una plataforma de simulación de sistemas de distribución que habilita el control remoto de los diferentes componentes eléctricos asociados a la simulación del sistema [6]. Esta herramienta se basa en una arquitectura multiterminal y

multiplataforma, donde diferentes clientes se conectan a un servidor por medio de un protocolo TCP/IP dentro de una red LAN [7]. El servidor se constituye por un computador con un enlace directo con la simulación en DSSim-PC, por medio de su librería de cosimulación por medio de JAVA [8]. Los clientes pueden ser dispositivos de procesamiento como Raspberry PI 2 [9] . La arquitectura global de esta plataforma se muestra en la Figura 2.

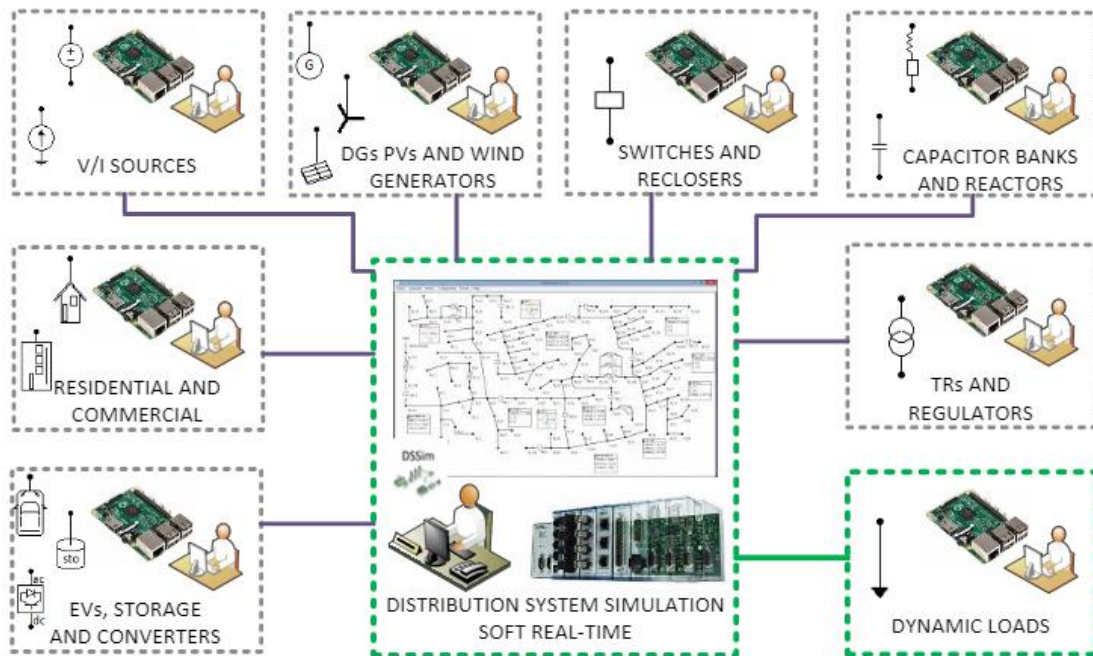


Figura 2. Arquitectura de GridTeractions. [7]

El enlace entre el servidor y sus clientes se hace por medio de una conexión Ethernet como lo muestra la Figura 3. El servidor utiliza la librería de cosimulación JAVA-DSSimPc la cual tiene 23 funciones aplicadas por medio de una conexión TCP/IP con DSSim-PC.

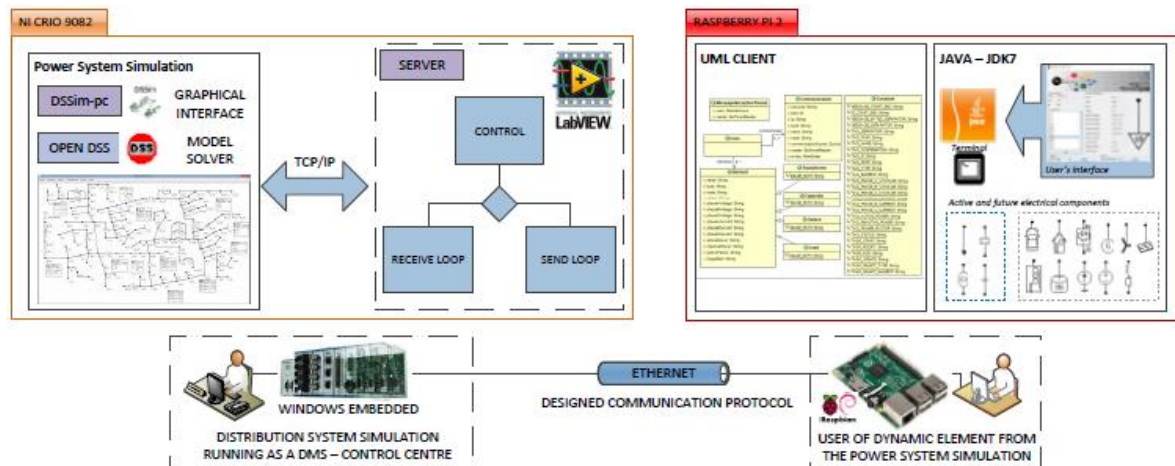
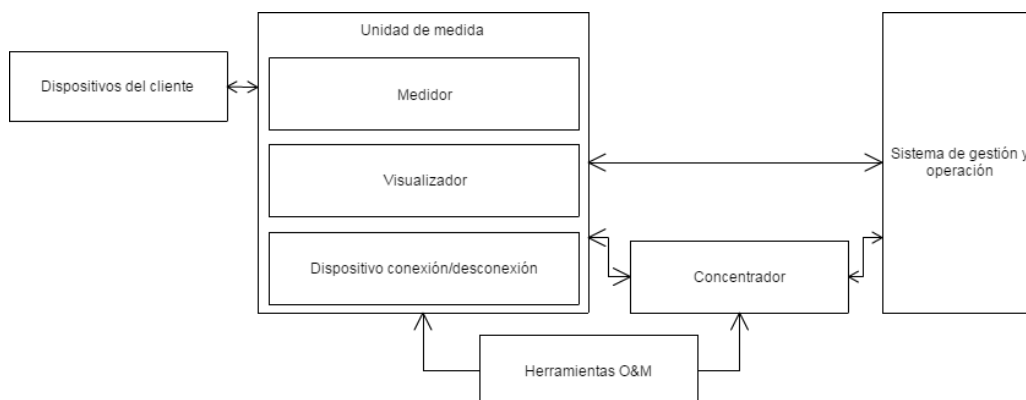


Figura 3. Enlace Hardware-Software. [7]

## 4.3 AMI

La infraestructura AMI, hasta la fecha, se ha desarrollado a lo largo del mundo por medio de proyectos independientes apoyados por diferentes compañías interesadas en la existencia de la medición inteligente. Debido a ser una tecnología, en su mayoría, aplicada específicamente a cada empresa operadora de la red eléctrica, las especificaciones de esta pueden variar de acuerdo al interés de cada regulador. La mayor estandarización realizada en esta área de medición se llevó a cabo por la especificación DLMS/COSEM [10]. Esta especificación se compone de 4 libros de colores que incluyen la Arquitectura de conexión de 3 capas [11], el Sistema de identificación y clases de interfaces [12], el Proceso de prueba de conformidad [13] y un Glosario de términos [14]. En base a esta especificación se realizó el grupo de estándares IEC-62056 [15], donde se expone una infraestructura recomendada para los sistemas de medición inteligente.

En Colombia, los sistemas AMI se deben regir de acuerdo a la norma NTC 6079 [16]. Esta reglamentación expone los requisitos que se deben cumplir en este tipo de infraestructuras, y plantea un modelo como el que se muestra en la Figura 4



**Figura 4. Modelo del sistema AMI.**

El modelo que se presenta en la norma cuenta con tres módulos operacionales, encerrados dentro de dos conceptos de infraestructura de información. Estos tres módulos son:

- **Unidad de Medida:** La unidad de medida reúne el medidor de energía, el dispositivo de conexión y desconexión (si aplica) y el medio de visualización de la información. El medidor cumple con la función de medir y registrar la energía eléctrica. Adicionalmente, estos medidores incorporan la funcionalidad de compartir información por medio de una red HAN. Cuando se incluye esta característica, el medidor debe establecer un enlace con los dispositivos del usuario para aplicaciones de gestión inteligente de la energía. El medio visualizador se incluye dentro del dispositivo medidor y se apoya por medio de sistemas auxiliares como sistemas audio-respuesta, portal web, mensajes SMS, etc. Tanto la unidad de medida, como el medio concentrador debe tener habilitada la opción de O&M externa de la red. Por medio de estas herramientas se realiza la configuración, el mantenimiento, e incluso, la obtención de datos, por medio de canales externos al sistema de comunicación convencional.
- **Unidad Concentradora:** El concentrador es un dispositivo que puede estar presente en los sistemas AMI. Este dispositivo opera como un puerto de enlace y almacenamiento entre las unidades de medida y el sistema de gestión y operación.
- **Sistema de gestión y operación:** Es centro de información cuenta con un conjunto de aplicaciones informáticas que permitan controlar, administrar y gestionar toda la información relacionada con la medición eléctrica.

Dentro de estos módulos se incluyen los siguientes sistemas:

- **Comunicaciones:** Las redes de comunicaciones deben garantizar el adecuado flujo de información entre los distintos módulos de la infraestructura. Los protocolos de comunicación se definen por medio de estándares internacionales [15] [17], y aplican para los diferentes campos de conexión (Medidor-Concentrador, Concentrador-Centro, Medidor-Centro, Dispositivos externos).
- **Seguridad:** La seguridad de la información contemplada dentro de la infraestructura se debe garantizar por medio de diferentes niveles. El objetivo de estos sistemas es garantizar la confidencialidad, disponibilidad e integridad de los datos de medición.

Tanto los protocolos de comunicaciones como el modelo de datos siguen las normas IEC 62056 o ANSI C12.19. Estos estándares manejan un sistema de reportes de los datos de medición. Dentro de [16] se establece los requerimientos que se muestran en la Tabla 1.

**Tabla 1. Requisitos de sistemas AML**

Área	Requerimientos
Datos e información	<ul style="list-style-type: none"><li>• Permitir el registro de las unidades de medida.</li><li>• Agregar, cambiar o modificar la asociación entre medidor y cliente.</li><li>• Administrar los datos técnicos (Número, Localización, Relación de transformadores de medida, Tipo de energía, Tensión, Corriente, Otra información).</li><li>• Configuración de periodos de lectura.</li><li>• Registro de la información.</li></ul>
Operación	<ul style="list-style-type: none"><li>• Permitir la configuración de conexión y desconexión, remota y local.</li><li>• Operado y sincronizado en hora oficial de Colombia.</li><li>• Permitir la automatización de todos los procesos posibles.</li><li>• Permitir la gestión de alarmas y eventos con estampa de tiempo.</li></ul>

## 5 DEFINICION Y ESPECIFICACION DEL TRABAJO

### 5.1 Definición

El trabajo realizado consiste en la programación, por medio de JAVA, de las clases asociadas a la creación de un módulo AMI en GridTeractions. De la misma, forma la modificación de la estructura de programación actual del programa fue necesaria para la incorporación del nuevo módulo diseñado.

### 5.2 Uso de estándares

El diseño y la implementación realizada se hicieron bajo el marco de estándares eléctricos que se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Estándares tenidos en cuenta.

Estándar	Descripción
NTC 6079	Requisitos para sistemas de infraestructura de medición avanzada (AMI) en redes de distribución de energía eléctrica, Colombia: Icontec, 2014.
ANSI C12.19	IEEE Standard for Utility Industry Metering Communication Protocol Application Layer (End Device Data Tables
IEC 62056	Electricity metering - data exchange for meter reading, tariff and load control

## 6 METODOLOGÍA DE TRABAJO

Debido a que los medidores no siguen la estructura de los elementos ya implementados en la plataforma GridTeractions, una nueva entidad llamada Medidor debe ser implementada en la estructura de programación del software. Para realizar el diseño de esta nueva entidad y el acoplamiento al software existente se siguió el plan de trabajo detallado a continuación.

A medida que se obtenían resultados parciales que manifestaban el correcto funcionamiento de cada fase, se aplicaba un sistema de pruebas específico para identificar los retos de las siguientes fases del diseño.

### 6.1 Plan de trabajo

En la Figura 5 se muestra el diagrama de flujo utilizado para realizar la programación del módulo en el software GridTeractions.

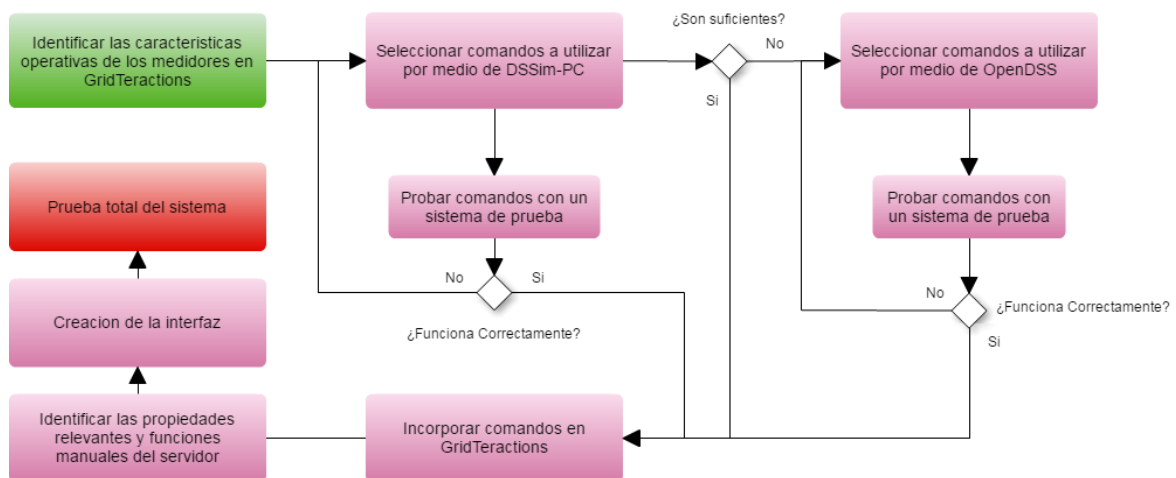


Figura 5. Plan de trabajo en la programación del módulo.

Del diagrama anterior se denota que la fase de programación presenta tareas primordiales que se detallan a continuación.

#### *Identificar las funciones en GridTeractions*

Debido que el programa GridTeractions ya incorpora diferentes elementos que pueden ser controlados externamente. La primera exploración de características se realiza en el universo de funciones del programa. Si una de estas cumple con el requerimiento, se aplica a la programación del método. Sin embargo, las funciones de esta herramienta frecuentemente se quedan cortas a las funcionalidades requeridas.



### *Identificar las funciones en DSSim-PC*

Dentro de las funcionalidades de cosimulacion en DSSim-PC también se encuentran herramientas que apoyan la implementación del módulo. La exploración entre las 28 funciones de esta librería se realizó como tarea de programación.

### *Identificar las funciones en OpenDSS*

Debido a que la simulación de DSSim-PC se basa en el programa OpenDSS, las herramientas dentro de este son el último recurso en la implementación.

### *Prueba del código*

Cada etapa de código que se realizó se aplicaba a un sistema de prueba temporal, para poder identificar los posibles errores, tanto de nomenclatura o programación, en la implementación.

## 7 TRABAJO REALIZADO

El software GridTeractions al estar programado en lenguaje JAVA maneja el concepto de programación orientada a objetos. Bajo este concepto, se realizó la programación de una entidad Medidor y se realizaron modificaciones en los diferentes objetos originales de GridTeractions.

El procedimiento que sigue el programa es el establecimiento de una conexión con DSSim-PC para la creación de monitores en OpenDSS y establecerlos como exportadores de reportes cada cierto intervalo  $t$  (15 min). Cada uno de los reportes que entrega cada medidor se recibe dentro del centro de control y se muestran en el sistema integral de gestion y operación, como lo muestra la Figura 6.

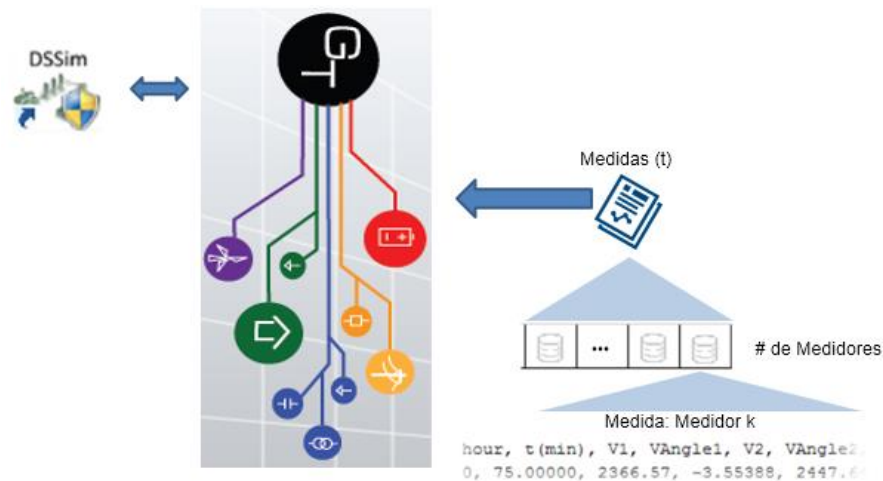


Figura 6. Arquitectura AMI en GridTeractions.

## 7.1 Programación

### 7.1.1 Medidor

Esta nueva característica de la arquitectura trajo la implementación de un nuevo objeto llamado Medidor que guarda las variables operacionales que se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Variables de la clase medidor.

Tipo de variables	Descripción
Variables eléctricas	<ul style="list-style-type: none"><li>• Voltaje</li><li>• Corriente</li><li>• Potencia</li><li>• Energía</li><li>• Consumo</li></ul>
Costo	<ul style="list-style-type: none"><li>• Curva de costo</li></ul>
Variables Operacionales	<ul style="list-style-type: none"><li>• Estado de conexión</li><li>• Intervalo de medición</li></ul>
Programación	<ul style="list-style-type: none"><li>• Ruta de archivos</li></ul>

### 7.1.2 Servidor

En el servidor, por otro lado, se incluyó la variable que almacena los medidores presentes en el sistema. Dentro del servidor se establecen las funciones específicas de un medidor como la conexión y desconexión. Y el flujo y almacenamiento de los datos de medición.

## 7.2 Interfaz

La interfaz final de la aplicación de medidores inteligentes se muestra en la Figura 7. Esta es la ventana que se abre cuando se selecciona la opción de medidores inteligentes del menú principal.



Figura 7. Interfaz del sistema AML.

Esta interfaz muestra el número de medidores en el sistema en el menú de la izquierda, junto con las opciones de crear o eliminar un nuevo medidor. Una vez seleccionado un medidor de la lista, este elemento tiene la opción de conexión y desconexión de carga, de la misma forma se puede eliminar este medidor de la interfaz por medio del botón “Eliminar Medidor”. Al momento de crear un medidor se abre la interfaz mostrada en la Figura 8, donde se puede elegir qué tipo de medidor va a ser (de carga o nodal) y a que carga se le asociara.

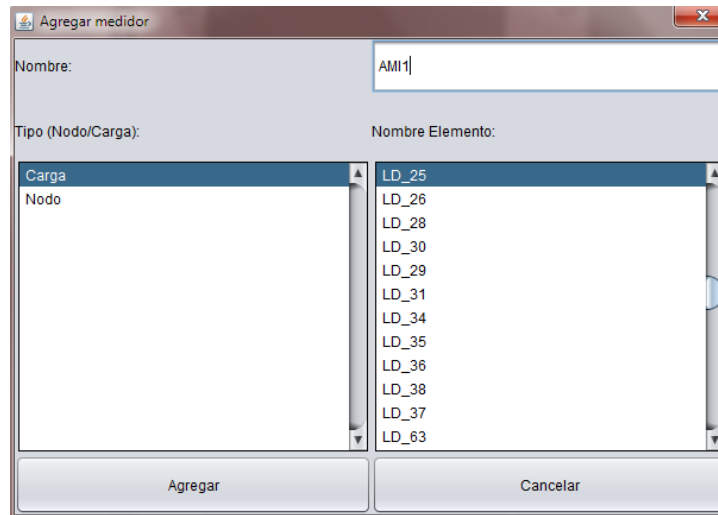


Figura 8. Interfaz de nuevo medidor.

## 8 VALIDACIÓN DEL TRABAJO

### 8.1 Metodología de prueba

Para validar todo el software con la implementación de la nueva infraestructura se propusieron diferentes sistemas con configuraciones y niveles de tensión específicas. Como primer escenario se implementó un sistema en baja tensión alimentado por un transformador como lo muestra la Tabla 4, el diagrama del sistema se muestra en la Figura 9

Tabla 4. Datos del sistema de prueba BT.

Transformador	Potencia (kVA)	Voltaje Primario (kV)	Voltaje Secundario (V)
	112,5	11,4	208

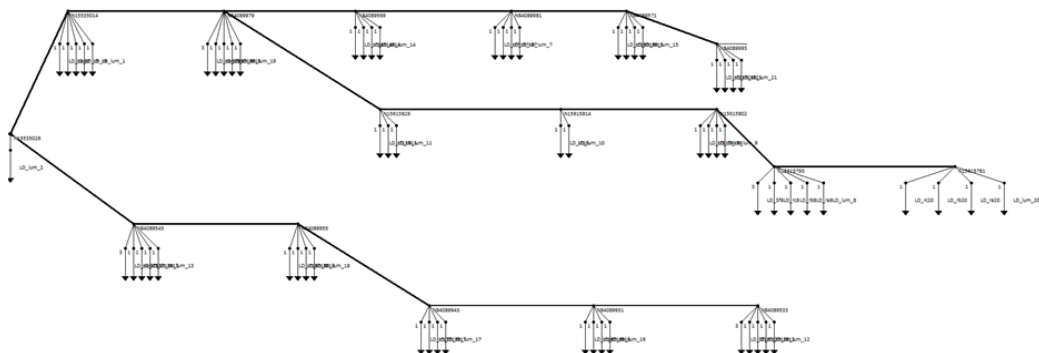
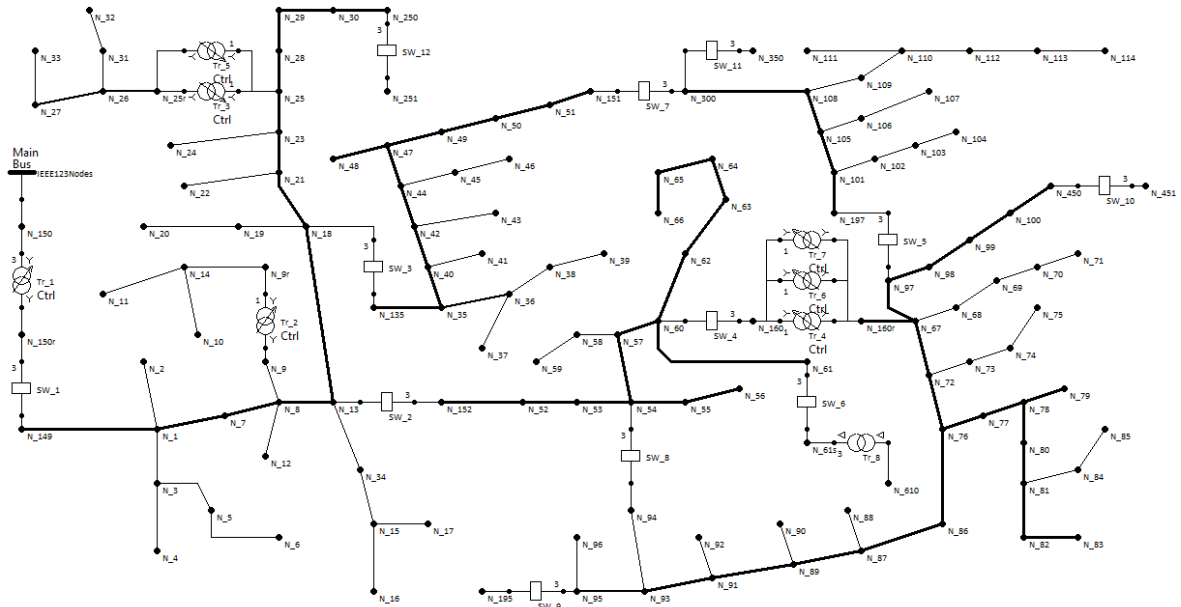


Figura 9. Sistema de prueba en BT implementado en DSSim-PC.

Para mostrar el funcionamiento en un diagrama alterno, se realizó la aplicación AMI en el sistema 123 nodos que se muestra en la Figura 10.



**Figura 10. Sistema IEEE 123 nodos implementado en DSSim-PC.**

## 8.2 Resultados

El comportamiento de la interfaz frente a los diferentes sistemas implementados en DSSim-PC se muestra en las siguientes graficas de la Figura 11 y Figura 12.

Para el sistema de BT se creó un medidor en la carga LD\_RB20 del nodo N15615781, con una potencia pico de 1056W, alimentada a 120V. Se simulo dos días de operación, donde el primer día se estableció una curva de costo dinámica de valor pico 400 \$/kWh, mientras que el segundo día se mantuvo constante este valor de tarifa. En la Figura 11 se muestra los valores de potencia, voltaje y energía resultantes de la simulación del primer día de operación.

Para el sistema IEEE 34 nodos, se estableció un medidor tipo nodal en el nodo 65, el cual monitorea la operación de este nodo y el 66, el cual se encuentra aguas abajo de este. Se realizaron acciones de modificaciones de carga por medio de las herramientas de GridTeractions y una última acción de conexión y reconexión se aplicó por medio del centro de control AMI. La información detallada de las acciones aplicadas se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5. Acciones de prueba del sistema 123 nodos.

Acción	Tiempo
Reducción carga en 65	00:45:00
Reducción carga en 66	01:30:00
Aumento carga en 65 y 66	01:45:00
Desconexión del Medidor	02:30:00
Conexión del Medidor	03:15:00

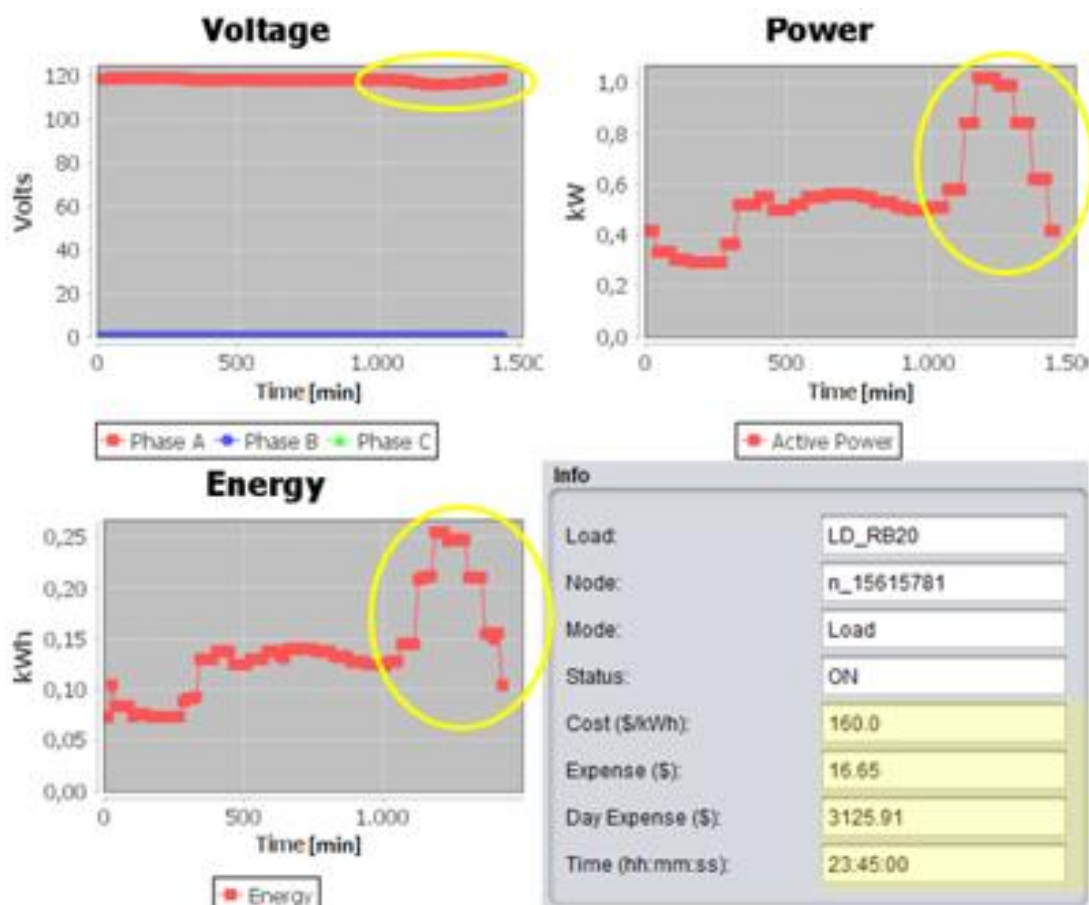


Figura 11. Labor de medición de variables eléctricas en el sistema BT.

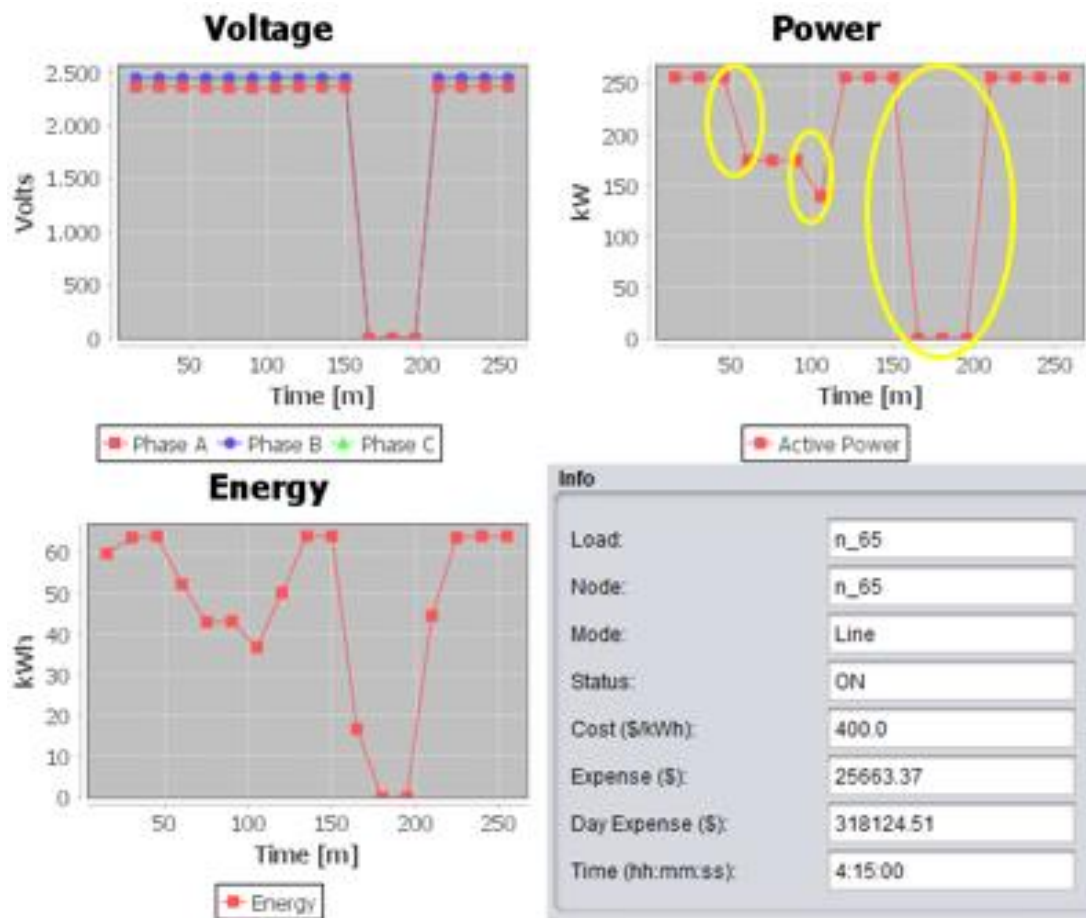


Figura 12. Labor de conexión y desconexión de carga en el sistema 123 nodos.



## 9 DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

Por medio de las técnicas de validación se mostró como el sistema diseñado cumple con los requerimientos de funcionamiento de los sistemas AMI. En la Figura 11 se muestra la identificación de la potencia en cada instante de tiempo, la variación de esta se registra en la curva de consumo de energía, al igual. La acción de conexión hace que la potencia consumida sea 0, como se muestra en la Figura 12. Por lo tanto, el sistema diseñado cumple con las características AMI planteadas.

El módulo implementado muestra la adaptabilidad de la plataforma para incorporar todas las tecnologías asociadas a las redes inteligentes. El correcto funcionamiento de esta hace de GridTeractions una plataforma de simulación más robusta, con una infraestructura de información más inteligente, como lo son los sistemas AMI.

La implementación de los sistemas AMI abre una puerta relacionada con la aplicación de estos a las estrategias de automatización de distribución o a las técnicas de gestión avanzadas. Aplicaciones como la gestión de demanda y el control volt-var se pueden adherir fácilmente a la infraestructura ya implementada. Por lo tanto, la infraestructura implementada abre la puerta un amplio número de diferentes aplicaciones.

## 10 REFERENCIAS

- [1] R. Podmore y M. R. Robinson, «The Role of Simulators for Smart Grid Development,» *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 1, n° 2, pp. 205-212, 2010.
- [2] M. Thesing, *Integrating Electric Meter Data with Distribution Automation Applications*, Usa: IEEE, 2012.
- [3] EPRI, *OpenDSS: Open Distribution System Simulator*, USA: Available: <https://sourceforge.net/projects/electricdss/>, 2014.
- [4] R. C. Dugan, *OpenDSS: User Manual*, USA: EPRI, 2012.
- [5] D. Montenegro, *DSSim-PC, Electrical Distribution System Simulator for PC*, Universidad de los Andes: Available: <https://sourceforge.net/projects/dssimpc/>, 2013.
- [6] C. Trujillo y C. Zambrano, *GridTeractions: simulation platform to interact with distribution systems*, Bogota: Uniandes, 2016.
- [7] C. Zambrano, C. Trujillo, D. Celeita, M. Hernandez y G. Ramos, «GridTeractions: simulation platform to interact with distribution systems,» de *Power and Energy Society General Meeting (PESGM)*, Boston, 2016.
- [8] C. Trujillo y C. Zambrano, *Fault Location Engine for Distribution Systems implemented in GridTeractions Framework*, Bogota: Uniandes, 2016.
- [9] Foundation, Raspberry PI, *Raspberry PI 2*, UK: Available: <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-2-model-b/>, 2015.
- [10] DLMS UA, «What is DLMS/COSEM,» DLMS UA, 1 1 2003. [En línea]. Available: <http://dlms.com/information/whatisdllmscosem/index.html>. [Último acceso: 1 1 2017].
- [11] DLMS UA, «Three Layer Connection Oriented Architecture,» dlms, Suiza, 2003.
- [12] DLMS UA, «Identification System and Interface Classes,» dlms, Suiza, 2003.
- [13] DLMS UA, «Conformance test process,» dlms, Suiza, 2003.
- [14] DLMS UA, «Glossary of terms,» dlms, Suiza, 2003.
- [15] IEC, IEC 62056: Electricity metering - data exchange for meter reading, tariff and load control, Suiza: IEC, 2014.
- [16] Norma tecnica colombiana (NTC), *Requisitos para sistemas de infraestructura de medicion avanzada (AMI) en redes de distribucion de energia electrica*, Colombia: Icontec, 2014.
- [17] IEEE Standards Asociation, *ANSI C12.19: IEEE Standard for Utility Industry Metering Communication Protocol Application Layer (End Device Data Tables)*, New York: IEEE, 2012.