

## **Implementación de Nodos Lógicos DER IEC 61850-7-420 en una placa electrónica**

### **Implementing IEC 61850-7-420 DER Logical Nodes in a single board computer**

Anderson Salazar-Zuluaga<sup>1</sup>, Luis A. Aguilar-Londoño<sup>2</sup>,  
Germán D. Zapata-Madrigal<sup>3</sup> y Rodolfo García-Sierra<sup>4</sup>

Recibido: 26 de julio de 2016  
Aceptado: 30 de agosto de 2017

---

#### Cómo citar / How to cite

A. Salazar-Zuluaga, L.A. Aguilar-Londoño, G.D. Zapata-Madrigal, y R. García-Sierra, Implementación de Nodos Lógicos DER IEC 61850-7-420 en una placa electrónica. *TecnoLógicas*, vol. 20, no. 40, pp. 13-28, 2017.

© Copyright 2015 por  
autores y Tecno Lógicas  
Este trabajo está licenciado bajo una  
Licencia Internacional Creative  
Commons Atribución (CC BY)



- 
- 1 Ingeniero de Control, Grupo de Teleinformática y Teleautomática, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín-Colombia, asalazaz@unal.edu.co
  - 2 Especialista en Sistemas, Ingeniero de Sistemas e Informática, Grupo de Teleinformática y Teleautomática, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín-Colombia, laaguilal@unal.edu.co
  - 3 PhD. en Ciencias Aplicadas, Magíster en Automática, Especialista en Alta Gerencia, Ingeniero Electricista, Grupo de Teleinformática y Teleautomática, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín-Colombia, gdzapata@unal.edu.co
  - 4 Magíster en Economía, Ingeniero Electricista, Gerencia Técnica, Codensa S.A. ESP, rodolfo.garcia@enel.com

## Resumen

En este artículo se presenta la implementación de una variedad de nodos lógicos (NLs) de sistemas de generación basados en recursos energéticos distribuidos (DER), en una placa electrónica (o SBC) que permite la adquisición y empaquetamiento de señales analógicas de un arreglo fotovoltaico con baterías, con base en el estándar IEC 61850-7-420. Para esto, se usa una placa electrónica SBC (Single Board Computer) integrada con una tarjeta de conversión análogo digital (ADC) que permite la lectura de los valores analógicos del sistema. La SBC se comunica con la tarjeta ADC para empaquetar los datos leídos dentro de los objetos de datos propios del estándar IEC 61850, usando el nodo lógico (NL) respectivo. Se usó una librería con licencia abierta para la creación del servidor IEC 61850 en la placa electrónica, y el driver del fabricante de la tarjeta ADC para comunicar las dos tarjetas efectivamente. Lo que se busca con este trabajo es el desarrollo de nodos lógicos (NLs) para recursos energéticos distribuidos (DER), de tal forma que los fabricantes de tecnologías de generación basadas en fuentes renovables, como la solar y/o la eólica, incorporen los equipos electrónicos inteligentes (IED) y los controladores de acuerdo con la extensión del estándar para estos nodos lógicos. Se presentan las pruebas de comunicación de la implementación realizada y los resultados obtenidos.

## Palabras clave

Energías renovables, IEC 61850-7-420, nodos lógicos, placa electrónica SBC, recursos energéticos distribuidos.

## Abstract

This article discusses the implementation of a variety of logical nodes (LNs) of power generation systems based on distributed energy resources (DER) in a single board computer (SBC). The SBC allows for the acquisition and encapsulation of analog signals from a photovoltaic (PV) array with batteries, based on the IEC 61850-7-420 standard. To achieve this, an SBC integrated with an analog-digital conversion card (ADC) enables to read the system's analog values. The SBC communicates with the ADC card to encapsulate the collected data in the IEC 61850 data object by using the corresponding logical node (LN). An open license library was used to create the IEC 61850 server inside the SBC and the driver of the ADC card manufacturer to communicate both cards. This work aims to develop LNs for DERs in such way that manufacturers of power generation technologies based on renewable sources (such as the sun and/or the wind) implement Intelligent Electronic Devices (IED) and controllers in accordance with the scope of the standard for these logical nodes (LNs). Finally, the communication testing of the implementation and the results obtained are presented.

## Keywords

Renewable energy, IEC 61850-7-420, logical nodes, single board computer, distributed energy resources.

## 1. INTRODUCCIÓN

La comunicación entre los equipos de generación distribuida y los centros de monitorización y control es crucial para mantener dichos sistemas operando en condiciones óptimas y seguras. En [1] se destaca que la red de comunicación es ahora considerada como la parte más importante de la automatización de sistemas eléctricos (en especial subestaciones eléctricas). Así mismo, se alerta que una configuración incorrecta de la red de comunicación (por ejemplo, los parámetros de red) puede causar pérdida de las funciones de automatización de subestaciones, la degradación del funcionamiento del sistema, e incluso una falla fatal en los equipos de potencia. Diferentes estándares de comunicación industrial se han propuesto, a lo largo de los años, para el control y la monitorización de los sistemas eléctricos de potencia en el mundo, como por ejemplo el DNP, el IEC 60870-5-101, el IEC 60870-5-104 o el Modbus (TCP o RTU), pero ninguno de ellos ha logrado generar un consenso para que sea implementado en todos los países y por todos los fabricantes, buscando la interoperabilidad de sistemas. Por esta razón se ha creado el IEC 61850, y se ha extendido no solo a las subestaciones eléctricas, sino a otros sistemas donde es crucial la interoperabilidad, como por ejemplo los sistemas basados en recursos energéticos distribuidos o DER por sus siglas en inglés (Distributed Energy Resources). Según los autores de [2], la cuestión relacionada con la integración adecuada de los recursos de energía distribuidos (DER) en los sistemas de información y control de las empresas de servicios públicos, sigue siendo un tema abierto. La alta penetración de sistemas DER en algunas de las empresas de servicios públicos en todo el mundo conduce a la necesidad de una operación coordinada, con el fin de mantener la estabilidad del sistema de potencia (equilibrio entre la generación y el consumo de energía). En la búsqueda de

ese objetivo de controlar y operar coordinadamente los DER, los estándares de comunicación se vuelven más importantes en la transición hacia las infraestructuras de redes inteligentes descentralizadas [3]. Diversos autores coinciden en que el estándar más importante de hoy para varios tipos de DER es el IEC 61850-7-420.

La motivación para aplicarlo en el proceso de diseño de sistemas de comunicación es doble: primero, flexibilizar dicho diseño de acuerdo con una norma internacional aceptada; segundo, diseñar buscando la interoperabilidad con otros dispositivos IEC 61850 y con los sistemas SCADA [4]. Múltiples trabajos se encuentran en la literatura, donde se proponen nuevos diseños y sistemas basados en el estándar IEC 61850-7-420. Dicho estándar contiene una extensión de nodos lógicos (NLs) para los DER. El trabajo propuesto en [5] desarrolla un enfoque de control basado en el IEC 61850-7-420 y el IEC 61499. Del IEC 61850-7-420 saca provecho para aplicar el concepto de interoperabilidad para sistemas de potencia, y del IEC 61499 hace uso del modelo de automatización distribuida. Por su parte, los autores de [6] proponen un sistema EMS (Energy Management System) distribuido para una microrred con base en el IEC 61850. Allí, se usa el NL DSCH (o DER energy and ancillary services schedule) para modelar dicho EMS, para la microrred compuesta por energía fotovoltaica, turbinas de viento, generadores diésel y almacenamiento de energía en baterías. También en [7] los autores proponen un sistema de gestión de una microrred (o MMS). Dicho sistema tiene la capacidad de comunicarse en tiempo real con los diferentes generadores distribuidos del sistema. La comunicación de la MMS, destacada por los autores como de alta velocidad, se basa en el estándar IEC 61850. Los sistemas de turbinas eólicas también han sido objeto de aplicación de esta metodología de modelado. Es así como en [2] se analiza el modelado de generadores distribuidos, en especial el de los componentes

de una turbina eólica con base en el estándar IEC 61400-25. Si bien este estándar no hace parte de la serie del IEC 61850, tiene la misma estructura del modelo de datos de comunicación, el cual está basado en NLs.

En el tema de protecciones, el IEC 61850-7-420 aporta en la etapa de diseño de nuevas protecciones para sistemas de generación basados en DER. Por ejemplo, en [8] se propone un sistema de protección que emplea una unidad central para una microrred (MCPU). En su trabajo, los autores realizan el modelado de la infraestructura de comunicación de la MCPU con base en el IEC 61850-7-420 y usan los NLs que se proporcionan, como por ejemplo el DRCS y el DRCT para calcular parámetros de una protección diferencial. Por su parte, los autores de [9] presentan el modelado de un sistema de protección para una microrred con NLs incluidos en el IEC 61850 y su extensión IEC 61850-7-420. La microrred propuesta está conformada por varios generadores distribuidos como un motor recíproco, paneles fotovoltaicos, celda de combustible. Dichos equipos fueron modelados con sus respectivos NLs y la interacción entre ellos. Finalmente, existe una tendencia en la que diversos autores proponen crear nuevos NLs, de manera que se puedan describir otros elementos y/o equipos que seguramente se implementarán en el futuro en sistemas DER. Por ejemplo, en [10] los autores proponen una ampliación del estándar IEC 61850-7-420 para el manejo de la carga y descarga de los vehículos eléctricos. Allí, definen un modelo de información con nuevos NLs para integrar estos vehículos en las redes inteligentes. Así mismo, en [11] se propone la creación de un nuevo NL que permita modelar un dispositivo limitador de corriente, que según los autores están ganando aceptación en sistemas como microrredes y redes de transmisión y distribución. El nodo lógico propuesto es denominado FACL. Con la revisión presentada anteriormente, se evidencia que el estándar IEC 61850-7-420 se está usando con fuerza en el diseño de

nuevos sistemas de generación basados en DER. Este hecho plantea la necesidad de crear capacidades en el país para desarrollar e implementar NLs DER, así como probar su funcionamiento y conformidad con el estándar. Esto con el fin de contribuir a la adopción de los sistemas de generación basados en energías renovables. En este artículo se presenta la implementación de una variedad de NLs de sistemas DER en una placa electrónica (o SBC) que permite la adquisición y empaquetamiento de señales analógicas de un arreglo fotovoltaico con baterías, con base en el estándar IEC 61850-7-420.

Esta implementación permite la monitorización del sistema DER mediante una RTU nativa IEC61850 con los NLs adecuados, y facilita la integración de tales sistemas con un SCADA. La importancia de aplicar la norma está en que los datos que se toman del sistema y que se empaquetan en los NLs son autocontenidos y autodescriptivos, es decir, estos llevan toda la información requerida y así se puede hacer referencia fácilmente al componente del sistema al que pertenece (p.ej. las baterías). Finalmente, se presenta el proceso de modelado del sistema eléctrico en cuestión y el uso de un código abierto en una SBC. Este trabajo realiza aportes en dos sentidos: primero, en el modelado de datos con base en el estándar IEC 61850-7-420, para un caso de estudio donde se tiene generación basada en DER; y segundo, en la implementación física de los NLs en una plataforma de programación abierta, que muestra la importancia de desarrollar equipos electrónicos inteligentes (IED) y controladores de acuerdo con la extensión del estándar IEC 61850-7-420. El trabajo presentado se divide como sigue: la sección dos presenta la filosofía de modelado que usa el estándar IEC 61850; la sección tres explica los tipos sistemas que componen la extensión IEC 61850-7-420; la sección cuatro describe detalladamente cómo fue modelado el caso de estudio con base en NLs DER; la sección cinco contiene el desarrollo

logrado con la implementación de los NLs DER en una SBC; en la sección seis se detallan las pruebas de comunicación realizadas para probar la implementación realizada en la SBC; y finalmente, en la sección siete, se explican las conclusiones encontradas con este desarrollo.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 Modelado de datos del estándar IEC 61850

El estándar IEC 61850 presenta una estrategia de modelado jerárquica, en la que se usan los NLs como el elemento más pequeño que describe una función determinada y que tiene la capacidad de intercambiar datos con clientes y servidores. La Fig. 1 muestra la jerarquía funcional para el modelado de un dispositivo multifuncional IED (Intelligent Electronic Device).

Los NLs para DER están definidos con una estructura jerárquica que se presenta en el IEC 61850-7-420. La estructura mostrada en la Fig. 1 aplica para todos los modelos definidos en el IEC 61850-7-4, IEC

61850-7-420, IEC 61850-7-410 e IEC 61400-25. Allí se puede ver cada una de las partes que compone un modelo de un IED. Un IED puede tener varios NLs. Adicionalmente, IEC 61850-7-4 contiene un diagrama en el que se aprecian las relaciones entre los NLs comunes que contempla el estándar (ver Fig. 2).

Es decir, un NL, además de la información específica del modelo que describe, contiene información que es común a todos los otros NLs. Por otro lado, el estándar en su sección 7-2 (IEC 61850-7-2 Figura 19 [14]) presenta un ejemplo de la forma adecuada de construir una referencia para un objeto de dato específico (o data object) usando las clases de datos adecuadas. En [8], los autores muestran también un ejemplo al respecto, usando la referencia MMXU1.A.phsB.cVal.mag.f. En la Fig. 3 se muestra la estructura jerárquica de esta referencia, describiendo cada elemento que la compone y la clase a la cual pertenece este. Existen varias extensiones del IEC 61850 que describen los NLs relacionados con los sistemas con fuentes de energías renovables y/o DER. Todas estas usan la

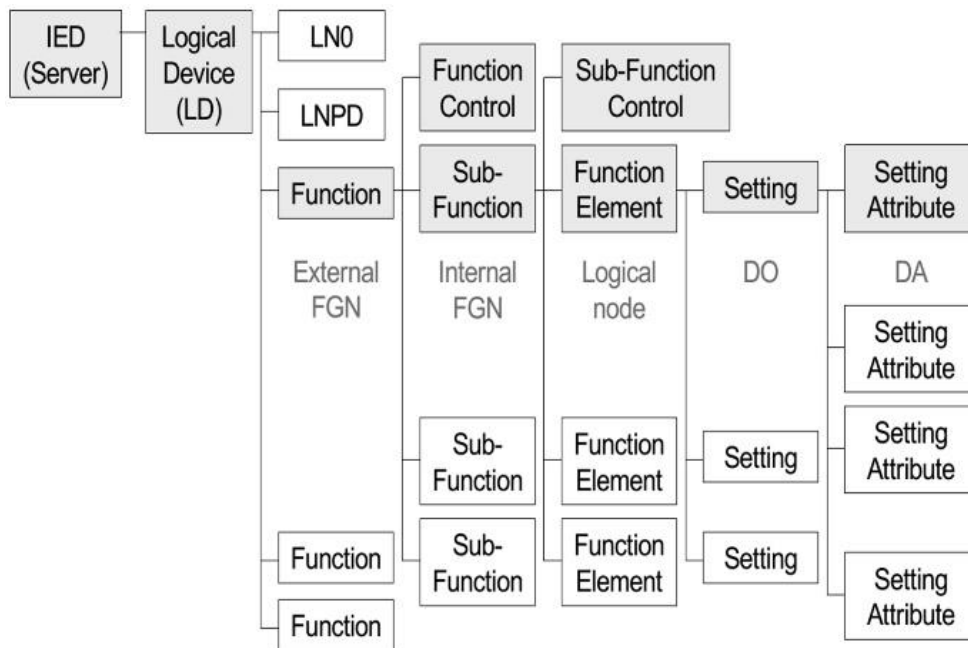


Fig. 1. Jerarquía funcional de un Dispositivo Electrónico Inteligente (IED) con base en el IEC 61850. Fuente: [12].

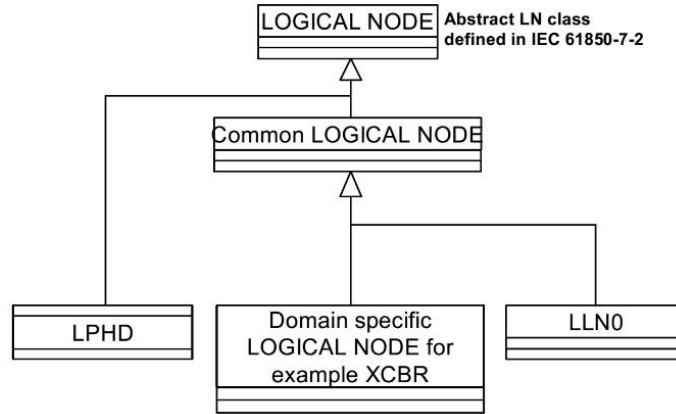


Fig. 2. Relaciones de los nodos lógicos comunes con los nodos lógicos específicos. Fuente: [13].

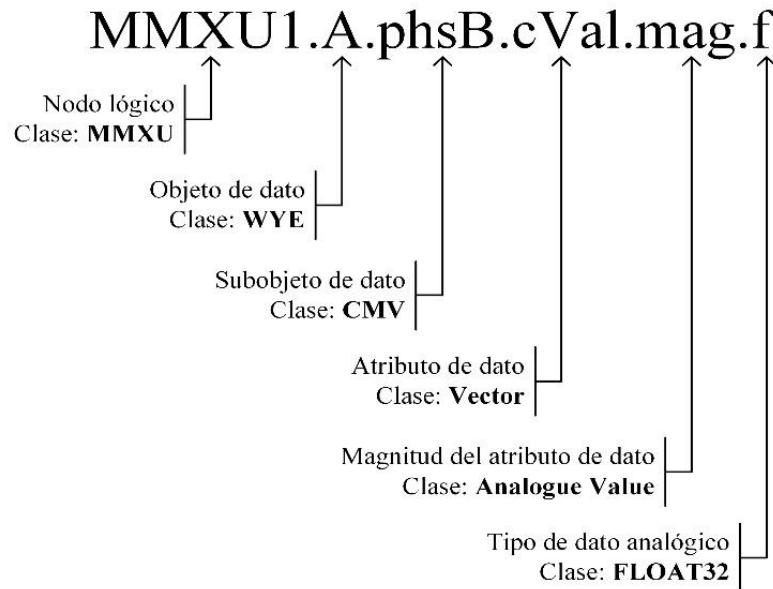


Fig. 3. Estructura jerárquica de modelado para una referencia de dato según IEC 61850. Cada nivel pertenece a una clase diferente según está definido en la parte IEC 61850-7-3. Fuente: autores.

misma metodología de modelado para construir los NLs específicos o para aplicar los servicios definidos por el estándar. A continuación, se relacionan dichas extensiones: IEC 61850-7-410 – Plantas hidroeléctricas; IEC 61850-7-420 – Recursos energéticos distribuidos; IEC 61850-90-7 – Energía fotovoltaica, almacenamiento e inversores; IEC 61850-90-9 – Sistemas de almacenamiento eléctrico; IEC 61400-25 – Aplicación del IEC 61850 a turbinas eólicas.

## 2.2 Conformación de la extensión IEC 61850-7-420

La extensión IEC 61850-7-40 propone unos NLs que permiten describir completamente las fuentes de generación distribuida y los sistemas de control que las operan en puntos de operación seleccionados. La Tabla 1 presenta una clasificación de los NLs DER de acuerdo con el tipo de sistema relacionado, con base en la forma que se organizan dentro de la sección IEC 61850-7-420.

Tabla 1. Descripción de Nodos Lógicos (NL) de la Sección IEC 61850-7-420. Fuente: autores.

NL Punto Conexión	NL Controlador	NL Arranque Generación	NL Inversor	NL Sistema Auxiliar	LN Energía	Convertidor
DCRP	DRCT	DGEN	ZRCT	MPRS	DCIP	
DOPR	DRCS	DRAT	ZINV	MHET	DFCL	
DOPA	DRCC	DRAZ		MFLW	DSTK	
DOPM	FSEQ	DCST		ZBAT	DFPM	
DPST		DREX		ZBTC	DPVM	
DCCT		DEXC		MFUL	DPVA	
DSCC		DSFC		DFLV	DPVC	
DSCH					DTRC	
XFUS					DCHC	
					DCTS	
					DCHB	

Por otro lado, y como complemento, la Fig. 4 muestra la relación de los nodos lógicos que están en el IEC 61850-7-420 [15].

Estos nodos lógicos son complementarios a los que ya están definidos en el IEC 61850-7-4, razón por la cual para modelar un sistema que use recursos energéticos distribuidos, se pueden usar los nodos lógicos descritos en ambas secciones. Este hecho se aprecia claramente en la Fig. 5 donde se puede ver que el nodo lógico ZINV puede estar acompañado de XCBR y CSWI sin pérdida de generalidad ni de compatibilidad. De hecho, son nodos lógicos complementarios. En la siguiente sección de este trabajo, se presentarán los diferentes nodos lógicos utilizados y su interrelación con el sistema eléctrico considerado. Todo esto con base en las diferentes secciones del estándar. Finalmente, como referencia general, [16] contiene una lista de todos los NLs que se han publicado hasta el momento y los que se usan en este trabajo.

### 2.3 Modelación del caso de estudio con nodos lógicos DER

En la Fig. 5 se muestra el diagrama eléctrico del caso de estudio que se plantea en este trabajo. El sistema está compuesto por un arreglo de paneles fotovoltaicos, un rectificador, un convertidor DC-DC con algoritmo MPPT, un banco de baterías, un

inversor, y cargas AC y DC. Allí se puede ver también los nodos lógicos usados para modelar el sistema. Los nodos lógicos utilizados se interrelacionan de acuerdo con el subsistema al que pertenezcan. Para este caso se definieron cuatro subsistemas: Conexión a la red AC, Arreglo fotovoltaico, Almacenamiento y Alimentación de carga AC y DC. En la Fig. 6 se puede ver la relación entre los subsistemas con el sistema principal. Este diagrama UML muestra la relación de agregación entre los subsistemas y el sistema de alimentación AC y DC.

Adicional al diagrama UML principal, también se proponen otros cuatro, uno para cada subsistema. Allí se muestran los principales nodos lógicos usados. En cada uno de estos también se tiene una relación de agregación entre los nodos lógicos y el subsistema. La Fig. 7 muestra los nodos lógicos para el subsistema Conexión a la red AC, la Fig. 8 los nodos lógicos para el subsistema Arreglo fotovoltaico, la Fig. 9 los nodos lógicos para el subsistema Almacenamiento, y la Fig. 10 los nodos lógicos para el subsistema Alimentación de carga AC y DC. En todos los casos fue necesario usar los nodos lógicos XCBR y CSWI, ya que el sistema eléctrico de estudio contiene interruptores que permiten conectar/desconectar las diferentes fuentes de alimentación y las cargas.

Overview: Logical Devices and Logical Nodes for Distributed Energy Resource (DER) Systems

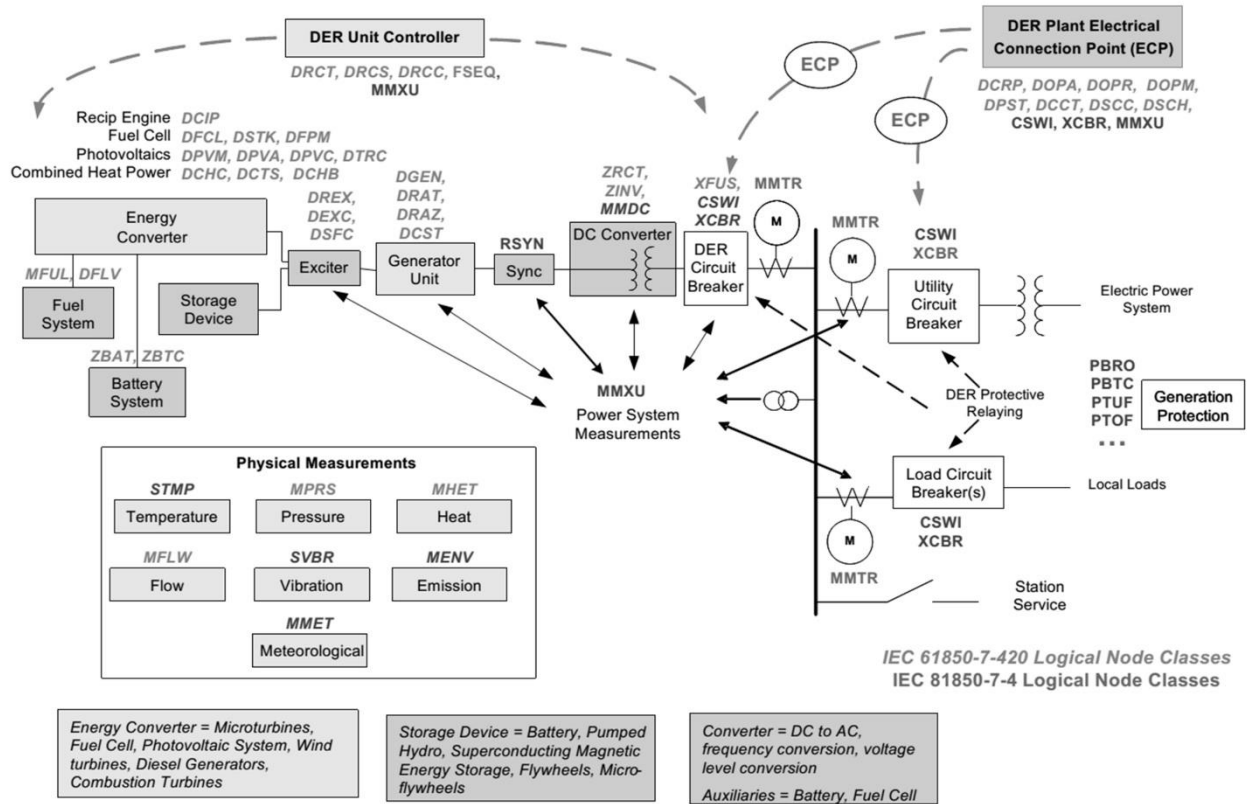


Fig. 4. Vista general de los nodos lógicos descritos en el IEC 61850-7-420. Allí se usan también nodos lógicos del IEC 61850-7-4. Fuente:[15].

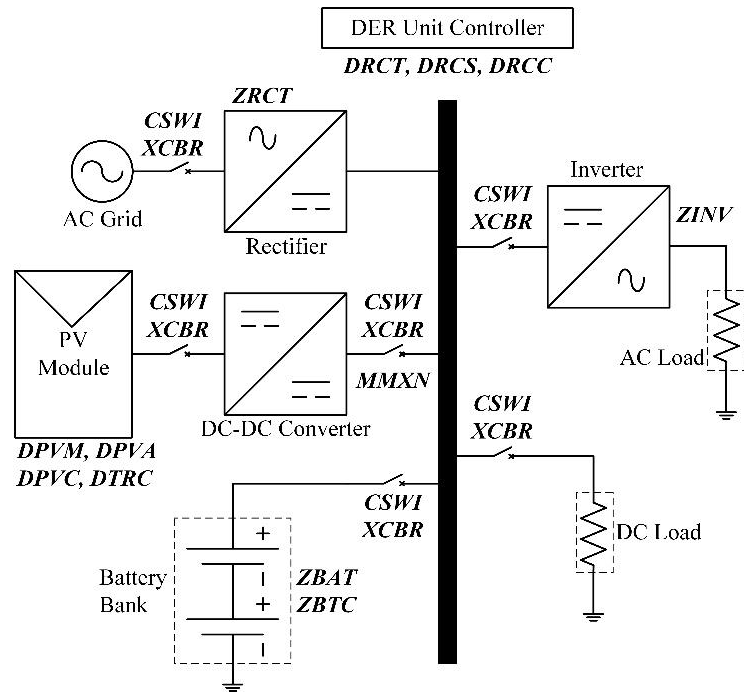


Fig. 5. Diagrama unifilar del sistema de generación solar fotovoltaica modelado con los NLs correspondientes para cada componente. Fuente: autores.



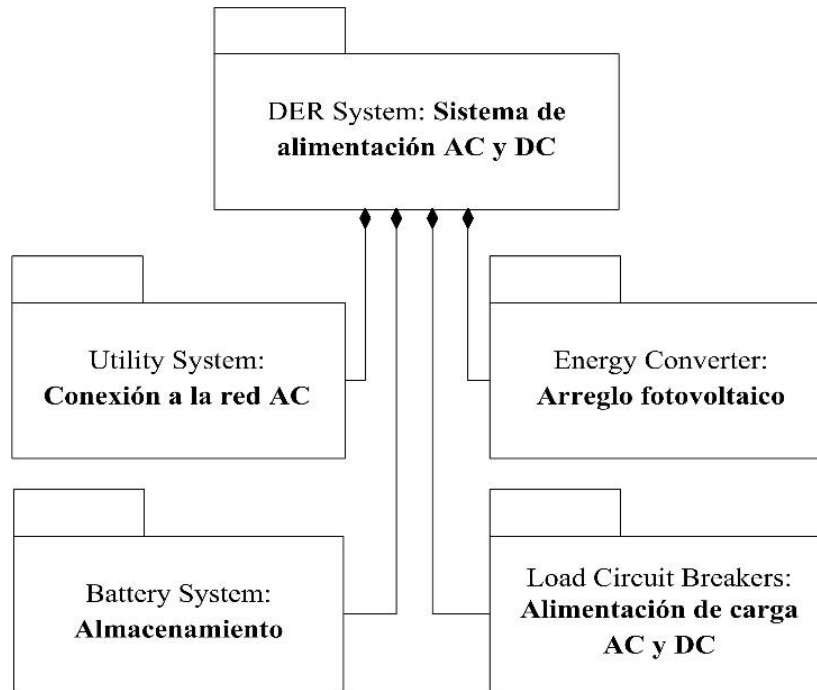


Fig. 6. Diagrama UML para el Sistema de alimentación AC y DC. Se tienen relaciones de agregación entre los subsistemas y el sistema principal. Fuente: autores

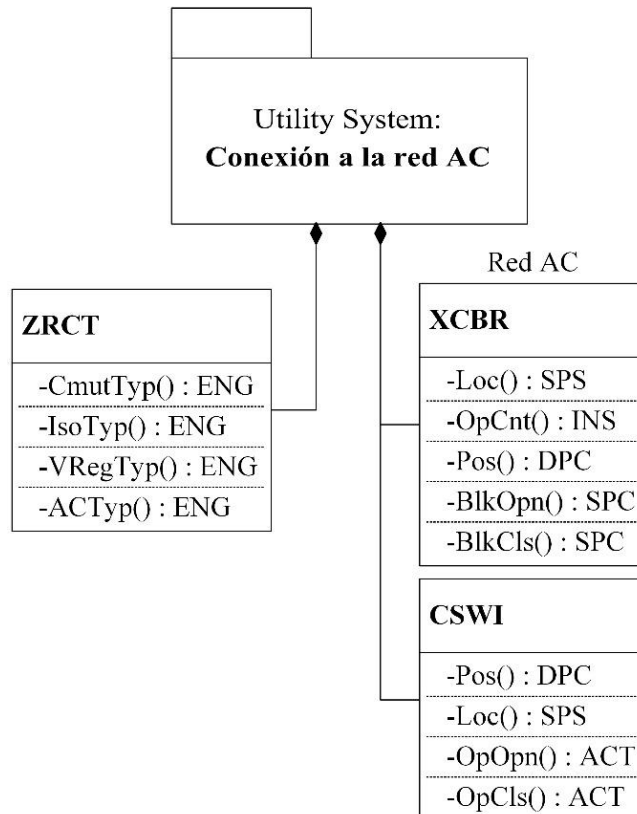


Fig. 7. Diagrama UML para el subsistema Conexión a la red AC. Se usa el nodo lógico DER ZRCT. Fuente: autores.

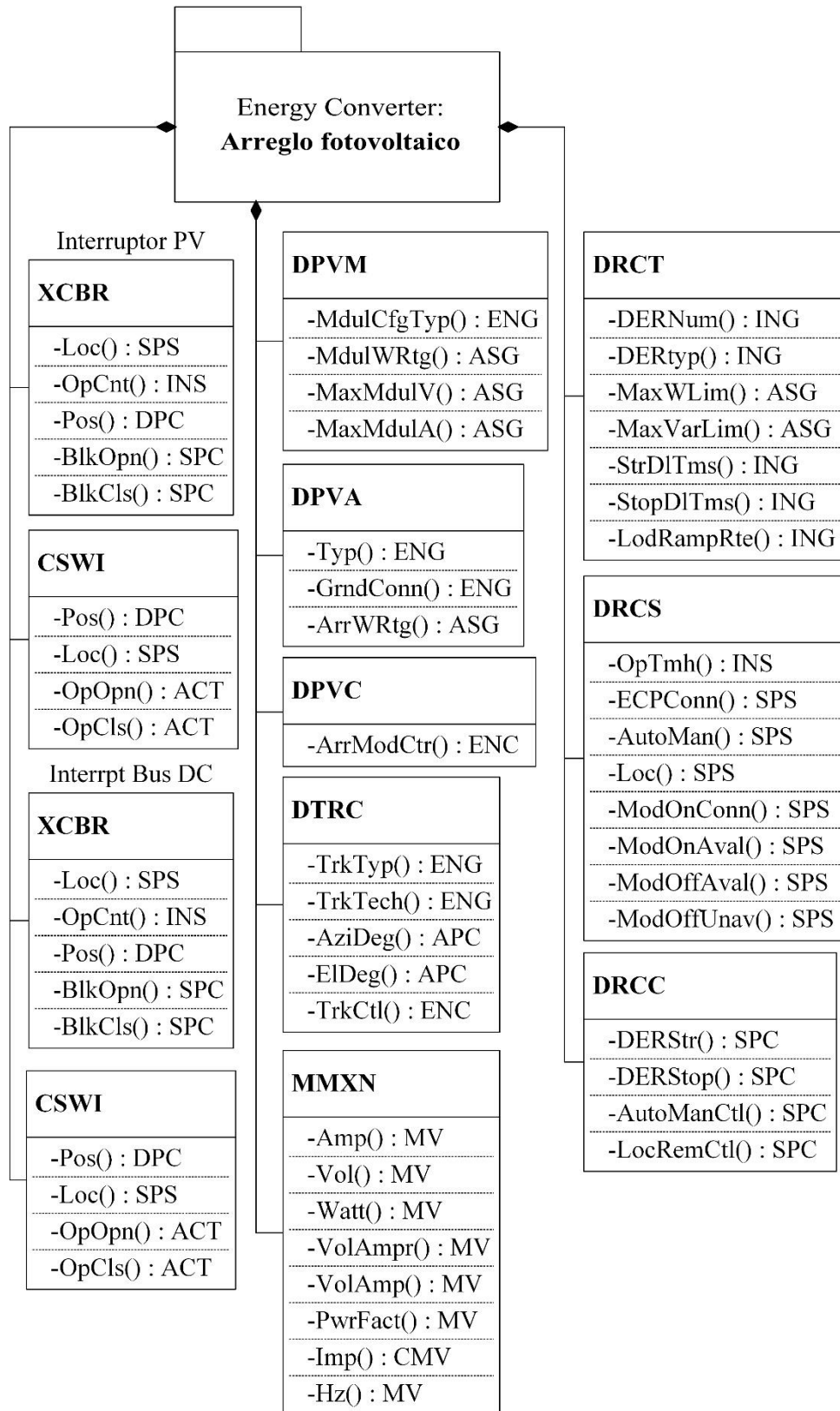


Fig. 8. Diagrama UML para el subsistema Arreglo fotovoltaico. Se usan los nodos lógicos DER DPVM, DPVA, DPVC, DTRC, DRCT, DRCS y DRCC. Fuente: autores.

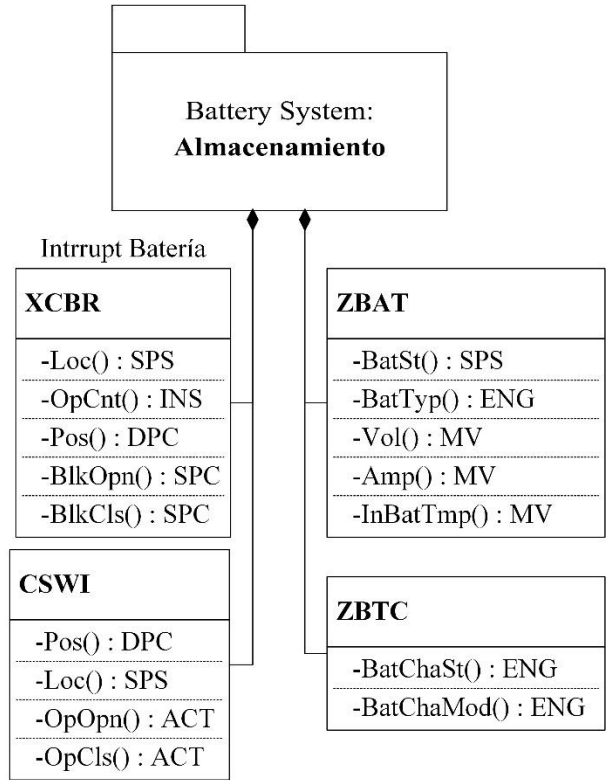


Fig.9. Diagrama UML para el subsistema Almacenamiento. Se usa el nodo lógico DER ZBAT y ZBTC. Fuente: autores.

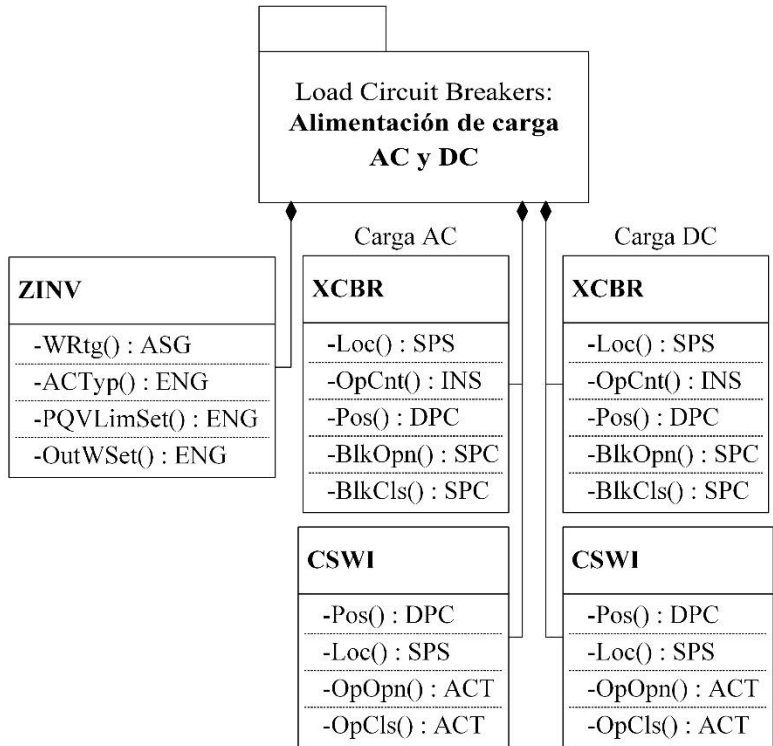


Fig. 10. Diagrama UML para el subsistema Alimentación de carga AC y DC. Se usa el nodo lógico DER ZINV. Fuente: autores.

## 2.4 Implementación de los nodos lógicos en una placa electrónica

Las SBC (Single Board Computer) son plataformas electrónicas de desarrollo que permiten su programación, con el fin de implementar proyectos computacionales de diverso tipo. Estas requieren de un sistema operativo para integrar y controlar todas sus funciones de hardware, así como para ejecutar correctamente los códigos realizados en los diferentes lenguajes soportados. Existen SBC con capacidad de programación en lenguajes como Python, Scratch, Sonic Pi, Java, Mathematica, C++ y otros. En este caso se usó una tarjeta Raspberry Pi 2 Model B.

Para este trabajo se usó una librería que se encuentra disponible en [17], desde donde se puede descargar el código fuente y compilarlo en la SBC. Esta librería, resultado del proyecto libIEC61850, provee el código en C para desarrollar un servidor o

cliente IEC 61850 que usen los protocolos MMS y GOOSE. Dicha librería está disponible bajo la licencia GPLv3. Para hacer el procesamiento de datos analógicos del sistema usado en este trabajo, fue necesario usar una tarjeta electrónica de conversión análoga digital (o ADC) ya que la SBC no tiene puertos de este tipo. La tarjeta ADC usada es una Waveshare High-Precision AD/DA Board, que incorpora dos chips para la conversión ADC: el ADS1256 y el DAC8532. Esta tarjeta se integra con la SBC por medio de su interfaz GPIO. La tarjeta de conversión ADC debe ser configurada para que pueda intercambiar información con la SBC, por lo cual se requiere compilar en esta última el driver de la tarjeta ADC. La Fig. 11 muestra el aspecto final de la conexión de los dos dispositivos mencionados anteriormente. La conexión entre los dos elementos se realiza por medio de los puertos GPIO de la SBC.

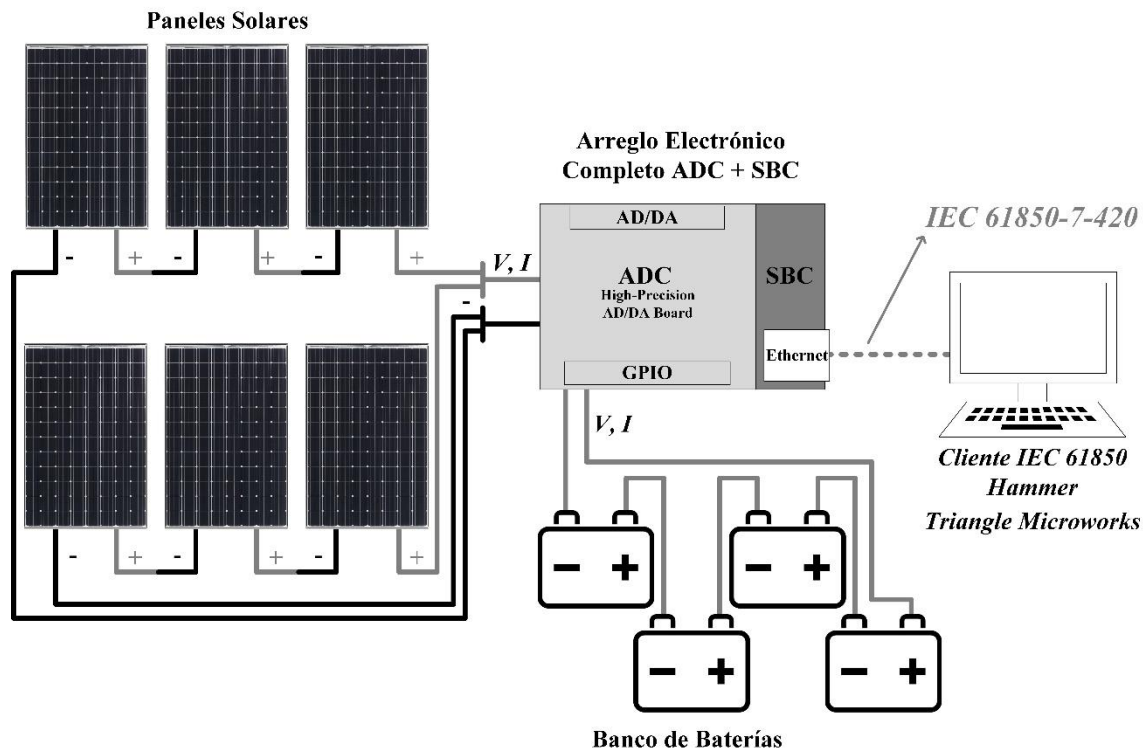


Fig. 11. Arquitectura de comunicación para la ejecución de las pruebas de validación de los NLs implementados en la SBC integrada con la tarjeta ADC. Fuente: autores.

El procedimiento ejecutado para implementar el código en la SBC consistió en cargarlo por medio de las instrucciones entregadas por el fabricante. Dicho código se compiló y se modificó para crear el archivo ICD que contiene todos los NLs usados para el modelo del sistema de generación solar fotovoltaica. Los archivos ICD (IED Capability Description) están descritos en la sección seis del estándar (IEC 61850-6 [18]). Las modificaciones que se realizaron están principalmente relacionadas con la incorporación de nuevos NLs, que el código inicialmente no contiene y con la asignación del mapeo de las variables analógicas leídas con la tarjeta ADC a los objetos de datos de los NLs correspondientes. La Fig. 12 muestra las líneas de código que debieron ser modificadas para lograr la asignación de los valores analógicos medidos por la tarjeta ADC y comunicados a la SBC, a tales objetos de datos. En particular, esta imagen muestra el objeto de dato Vol del NL ZBAT. La Tabla 2 presenta los objetos de datos implementados en este trabajo. Todos estos objetos de datos corresponden a la clase MV (Measured Values) o valores medidos según la sección 7-3 del estándar

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Es importante anotar, previo al desarrollo de esta sección, que las pruebas de comunicación que se ejecutan para los equipos y sistemas basados en el estándar IEC 61850 deben estar basadas en la sección 10 de este documento (IEC 61850-10). Para ejecutar las pruebas, inicialmente se usó el software Hammer de Triangle Microsystems, el cual tiene la capacidad de conectarse con un servidor IEC 61850. Para la implementación presentada en la sección cinco de este trabajo, fue necesario crear un archivo ICD, como bien se explicó allí. Este archivo se carga en el software Hammer y se evalúa si efectivamente contiene los NLs implementados en la SBC. Luego de esto, el arreglo electrónico completo (SBC+ADC) se conecta directamente a un PC que está ejecutando el software mencionado para verificar que el dato analógico se está mapeando correctamente al NL (ver Fig. 11). En la Fig. 13 se puede observar uno de los NLs implementados en la SBC y los objetos de datos usados para este NL. Específicamente, dicha figura está mostrando el dato leído por el puerto AI0

```
printf("Capturando informacion. \r\n");
while (running) {
    while( (ADS1256_Scan() == 0));
    adc = ADS1256_GetAdc(0);
    printf("ADC: %d \r\n",adc);
    volt = (adc * 100) / 167;
    printf("VOLT: %d \r\n",volt);
    iTemp = volt / 1000000.0;
    printf("vTEMP: %f \r\n",iTemp);
    uint64_t timeval = Hal_getTimeInMs();
    IedServer_lockDataModel(iedServer);
    IedServer_updateFloatAttributeValue(iedServer, IEDMODEL_Battery_ZBAT1_Vol_mag_f, iTemp);
    IedServer_updateUICTimeAttributeValue(iedServer, IEDMODEL_Battery_ZBAT1_Vol_t, timeval);
    IedServer_unlockDataModel(iedServer);
    Thread_sleep(500);
    bsp_DelayUS(100000);
}

bcm2835_spi_end();
bcm2835_close();
```

Fig. 12. Sección del código de la librería libIEC61850 correspondiente al mapeo de la variable de la entrada analógica AI0 al nodo lógico ZBAT. Fuente: autores.

Tabla 2. Objetos de Datos IEC 61850-7-4 y 7-420. Fuente: autores.

Referencia de Objeto	Tipo	Lectura/ Escritura	Descripción
ZBAT.Vol.mag.f	FLOAT32	L	Battery voltage
ZBAT.Amp.mag.f	FLOAT32	L	Battery current
ZBAT.InBatTmp.mag.f	FLOAT32	L	Battery temperature
AMMXN.Vol.mag.f	FLOAT32	L	Array voltage
AMMXN.Amp.mag.f	FLOAT32	L	Array current
AMMXN.Watt.mag.f	FLOAT32	L	Input power

de la tarjeta ADC, que corresponde al voltaje de las baterías. La SBC en conjunto con la tarjeta ADC está mapeando dicho valor analógico al objeto de dato ZBAT1.Vol.mag.f, según se muestra en la Tabla 2. Esta prueba permite validar que la implementación realizada en la SBC contiene el modelo correcto del sistema presentado en la sección cuatro. También se valida que el archivo ICD exportado está correcto y podría ser leído por cualquier otro cliente IEC 61850

#### 4. CONCLUSIONES

Se presentó la implementación de un conjunto de NLs para sistemas DER en una placa electrónica (o SBC) que permite la adquisición y empaquetamiento de señales analógicas de un arreglo fotovoltaico con baterías, con base en el estándar IEC 61850-7-420. Se usó una SBC en conjunto con una tarjeta ADC que permite la lectura de los valores analógicos del sistema. Se presentó la modelación del sistema de generación fotovoltaico, usando los NLs adecuados tanto de la sección 7-4 como de la extensión 7-420, de la cual se destacaron los sistemas para los cuales está definida. También se presentaron las pruebas de validación del modelo diseñado y de los NLs implementados en la SBC. El desarrollo de este trabajo permite avanzar en la creación de nuevas capacidades en el desarrollo de NLs DER que puedan ser aprovechadas por fabricantes nacionales de equipos de medición y control de fuentes renovables, así como también fortalecer las capacidades de pruebas de conformidad

con base en el IEC 61850-10. El siguiente paso a dar es la configuración completa de un IED (Intelligent Electronic Device), que tenga la capacidad de ejecutar alguna función de control y/o protección del sistema de generación. Para ello, se deben implementar otras capacidades dentro de la SBC como la creación de data set estáticos y dinámicos.

Posteriormente, es necesario ejecutar pruebas de comunicación e interoperabilidad de esta implementación con otros equipos IEC 61850, como gateways, relés, RTUs y/o switches. La implementación que se presentó aquí es un avance para la masificación de los sistemas de generación basados en fuentes renovables ya que permite superar obstáculos en la monitorización y/o control de este tipo de sistemas. La principal ventaja es que es una propuesta basada en un estándar internacional y que se está usando a nivel mundial. Cabe resaltar que la propuesta aquí descrita puede aplicarse a aerogeneradores, movilidad eléctrica y/o micro/picogeneración hidráulica. Finalmente, se destaca que a partir de este trabajo se logran identificar futuros desarrollos como: generar los IEDs controladores de recursos energéticos distribuidos DER. Para ello es necesario que la implementación que se diseñe tenga la capacidad de crear data set estáticos o dinámicos, implantar los NLs en plataformas comerciales con probada robustez para trabajo en ambientes agrestes, generar las pruebas de conformidad que validen el correcto funcionamiento del sistema en arquitecturas de comunicación IEC 61850 más complejas.

The screenshot shows the Triangle MicroWorks, Inc. 61850 Test Harness interface. The client is identified as LocalHost[192.168.2...]. The tree view on the left shows the following structure:

- ied1Inverter
  - ied1Battery
    - LLN0
    - LPHD1
    - ZBAT1
      - Data Sets
      - Report Control
      - Log Control
      - Vol
        - mag (Struct)
          - f (FLOAT32) - Value: 2.38506
          - q (Quality) - Value: [00000000000000]
          - t (TimeStamp) - Value: u10/17/2015\_14:11:14.878,[00001010]
        - Amp
        - Mod
        - Beh

Below the tree view is a progress bar and the status "Ready". The Output window shows the following log entries:

```

LocalHost: ReadResponse Success: LogicalDevice: ied1Battery, Name ZBAT1$MX$Vol$mag$f
LocalHost: ReadResponse Success: LogicalDevice: ied1Battery, Name ZBAT1$MX$Vol$mag$f
LocalHost: ReadResponse Success: LogicalDevice: ied1Battery, Name ZBAT1$MX$Vol$mag$f
LocalHost: ReadResponse Success: LogicalDevice: ied1Battery, Name ZBAT1$MX$Vol$mag$f
LocalHost: ReadResponse Success: LogicalDevice: ied1Battery, Name ZBAT1$MX$Vol$mag$f
LocalHost: ReadResponse Success: LogicalDevice: ied1Battery, Name ZBAT1$MX$Vol$mag$f
LocalHost: ReadResponse Success: LogicalDevice: ied1Battery, Name ZBAT1$MX$Vol$mag$f
LocalHost: ReadResponse Success: LogicalDevice: ied1Battery, Name ZBAT1$MX$Vol$mag$f
LocalHost: ReadResponse Success: LogicalDevice: ied1Battery, Name ZBAT1$MX$Vol$mag$f
LocalHost: ReadResponse Success: LogicalDevice: ied1Battery, Name ZBAT1$MX$Vol$mag$f
LocalHost: ReadResponse Success: LogicalDevice: ied1Battery, Name ZBAT1$MX$Vol$mag$f
LocalHost: ReadResponse Success: LogicalDevice: ied1Battery, Name ZBAT1$MX$Vol$mag$f
LocalHost: ReadResponse Success: LogicalDevice: ied1Battery, Name ZBAT1$MX$Vol$mag$f
LocalHost: ReadResponse Success: LogicalDevice: ied1Battery, Name ZBAT1$MX$Vol$mag$f
LocalHost: ReadResponse Success: LogicalDevice: ied1Battery, Name ZBAT1$MX$Vol$mag$f
LocalHost: ReadResponse Success: LogicalDevice: ied1Battery, Name ZBAT1$MX$Vol$mag$f
LocalHost: ReadResponse Success: LogicalDevice: ied1Battery, Name ZBAT1$MX$Vol$mag$f
LocalHost: ReadResponse Success: LogicalDevice: ied1Battery, Name ZBAT1$MX$Vol$mag$f
LocalHost: ReadResponse Success: LogicalDevice: ied1Battery, Name ZBAT1$MX$Vol$mag$f
    
```

Fig. 13. Visualización de la variable ZBAT.Vol.mag.f correspondiente al valor de voltaje leído en la entrada analógica AI0. Fuente: Autores.

## 5. REFERENCIAS

- [1] L. Zhu, D. Shi, and P. Wang, "IEC 61850-Based Information Model and Configuration Description of Communication Network in Substation Automation," *Power Deliv. IEEE Trans.*, vol. 29, no. 1, pp. 97–107, 2014.
- [2] A. Timbus, M. Larsson, and C. Yuen, "Active Management of Distributed Energy Resources Using Standardized Communications and Modern Information Technologies," *Ind. Electron. IEEE Trans.*, vol. 56, no. 10, pp. 4029–4037, 2009.
- [3] J. Schmutzler, C. Wietfeld, and C. A. Andersen, "Distributed energy resource management for electric vehicles using IEC 61850 and ISO/IEC 15118," *Veh. Power Propuls. Conf. (VPPC), 2012 IEEE*, pp. 1457–1462, 2012.
- [4] N. Honeth, W. Yiming, N. Etherden, and L. Nordstrom, "Application of the IEC 61850-7-420 data model on a Hybrid Renewable Energy System," *PowerTech, 2011 IEEE Trondheim*, pp. 1–6, 2011.
- [5] F. Andren, R. Brundlinger, and T. Strasser, "IEC 61850/61499 Control of Distributed Energy Resources: Concept, Guidelines, and Implementation," *Energy Conversion, IEEE Trans.*, vol. 29, no. 4, pp. 1008–1017, 2014.
- [6] W. Shi, X. Xie, C.-C. Chu, and R. Gadh, "Distributed Optimal Energy Management in Microgrids," *Smart Grid, IEEE Trans.*, vol. 6, no. 3, pp. 1137–1146, 2015.
- [7] H. J. Laaksonen, "Protection Principles for Future Microgrids," *Power Electron. IEEE Trans.*, vol. 25, no. 12, pp. 2910–2918, 2010.
- [8] T. S. Ustun, C. Ozansoy, and A. Zayegh, "Simulation of communication infrastructure of a centralized microgrid protection system based on IEC 61850-7-420," in *Smart Grid Communications (SmartGridComm), 2012 IEEE Third International Conference on*, 2012, pp. 492–497.
- [9] T. S. Ustun, C. Ozansoy, and A. Zayegh, "Modeling of a Centralized Microgrid Protection System and Distributed Energy Resources According to IEC 61850-7-420," *Power Syst. IEEE Trans.*, vol. 27, no. 3, pp. 1560–1567, 2012.
- [10] T. S. Ustun, C. R. Ozansoy, and A. Zayegh, "Implementing Vehicle-to-Grid (V2G) Technology With IEC 61850-7-420," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 4, no. 2, pp. 1180–1187, Jun. 2013.
- [11] T. S. Ustun, C. Ozansoy, and A. Zayegh, "Extending IEC 61850-7-420 for distributed generators with fault current limiters," in *Innovative Smart Grid Technologies Asia (ISGT), 2011 IEEE PES*, 2011, pp. 1–8.
- [12] A. Apostolov, "Integration of distributed energy resources in electric power systems," *Energize RE Renew. Energy Suppl.*, no. June, pp. 1–12, 2015.
- [13] IEC International Electrotechnical Commission, "Communication networks and systems for power utility automation – Part 7-4: Basic communication structure – Compatible logical node classes and data object classes." 2010.
- [14] IEC International Electrotechnical Commission, "Communication networks and systems for power utility automation – Part 7-2: Basic information and communication structure – Abstract communication service interface (ACSI)." 2010.
- [15] IEC International Electrotechnical Commission, "IEC 61850 Part 7-420 DER Logical Nodes: Communication Networks and Systems for Power Utility Automation for Distributed Energy Resources (DER)." 2010.
- [16] K. Schwarz, "IEC 61850 and IEC 61400-25 Logical Node Classes." *Netted Automation*, p. 7, 2012.
- [17] M. Zillgith, "libIEC61850," 2015. [Online]. Available: <http://libiec61850.com/libiec61850/contact/>.
- [18] IEC International Electrotechnical Commission, "Communication networks and systems for power utility automation – Part 6: Configuration description language for communication in electrical substations related to IEDs." 2010.