

## Smart Micro Grid de Campus Universitario

Raúl Moralejo<sup>1</sup>, Sebastián Tobar<sup>1</sup>, Gustavo Mercado<sup>1</sup>, Carlos Taffernaberry<sup>1</sup>, Antonio Storni<sup>1</sup>, Marcelo Ledda<sup>1</sup>, Luis Alvarez<sup>2</sup>, Andrés Benito<sup>3</sup>, Ariel Verdejo<sup>1</sup>, Nicolás Altamiranda<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>gridTICs – Grupo en Tecnologías de la Información y las Comunicaciones  
Departamento de Electrónica / Facultad Regional Mendoza / UTN  
{raul.moralejo, sebastian.tobar, gustavo.mercado}@gridtics.frm.utn.edu.ar

<sup>2</sup>IRESE - Instituto Regional de Estudios Sobre Energía  
Departamento de Electromecánica / Facultad Regional Mendoza / UTN  
alvarez.irese@frm.utn.edu.ar

<sup>3</sup>CLIOPE - Energía, Ambiente y Desarrollo Sustentable  
Departamento de Electromecánica / Facultad Regional Mendoza / UTN  
aobenito31@gmail.com

### Resumen

Desde un contexto global, la red eléctrica inteligente (o REI; smart grid en inglés) se puede definir como la integración dinámica de los desarrollos en ingeniería eléctrica, almacenamiento energético y los avances de las tecnologías de la información y comunicación (o TIC), dentro del negocio de la energía eléctrica (generación, transmisión, distribución, almacenamiento y comercialización, incluyendo las energías alternativas)

El concepto de “micro smart grid” se diferencia de la “smart grid” en el concepto del alcance de la administración de la red, mientras una smart grid supone una sistema de distribución de energía con control administrativo público, una micro smart grid, es un sistema cerrado e interno a una entidad privada, que pretende administrar la energía de acuerdo a criterios y normas propias de la institución. En este proyecto se pretende diseñar e implementar una “micro smart grid” de alcance de campus universitario y que sirva para un uso racional y eficiente de la energía, haciendo uso de tecnologías de la información y las comunicaciones, diseñadas específicamente para este proyecto, que permitan una gestión inteligente del sistema.

**Palabras Claves:** Smart Grid, Uso Racional de Energía, Energías no Convencionales, Internet de las Cosas.

### Contexto

El presente trabajo está inserto en el proyecto de investigación acreditado por la Universidad Tecnológica Nacional código ENUTIME0005424TC denominado “*Smart Micro Grid de Campus Universitario - Desarrollo, implementación y prueba.*”.

El proyecto es llevado adelante por investigadores de los grupos, gridTICs, IRESE y Cliope. Todos pertenecientes a la Facultad Regional Mendoza de la Universidad Tecnológica Nacional.

### 1. INTRODUCCIÓN

Desde un contexto global, la red eléctrica inteligente (o REI; smart grid en inglés) se puede definir como la integración dinámica de los desarrollos en ingeniería eléctrica, almacenamiento energético y los avances de las tecnologías de la información y comunicación (o TIC), dentro del negocio de la energía eléctrica (generación, transmisión, distribución, almacenamiento y comercialización, incluyendo las energías alternativas); permitiendo que las áreas de coordinación de protecciones, control, instrumentación, medida, calidad y administración de energía, etc., sean concatenadas en un solo sistema de gestión con el objetivo primordial de realizar un uso eficiente y racional de la energía. Al anterior concepto también se podría dar la integración de otros actores en el área de la medición y

control, como lo son las fuentes de gas y el servicio de agua. Así, las redes eléctricas inteligentes entran a hacer parte de un macro-concepto de dominio territorial, como lo es el de las ciudades inteligentes (smart cities en inglés). La red eléctrica inteligente es una forma de gestión eficiente de la electricidad que utiliza la tecnología informática para optimizar la producción y la distribución de electricidad con el fin de equilibrar mejor la oferta y la demanda entre productores y consumidores. El término red inteligente se asocia a menudo con el concepto de medidores inteligentes capaces de ofrecer una facturación detallada por franjas horarias, lo que permitiría a los consumidores no solo el elegir las mejores tarifas de entre las diferentes empresas eléctricas, sino también discernir entre las horas de consumo, lo que a su vez permitiría un mejor uso de la red. Este sistema también permitiría mapear con más precisión el consumo y anticipar mejor las necesidades futuras a nivel más local. La irrupción de las energías renovables en el panorama energético ha cambiado notablemente los flujos de energía en la red eléctrica: ahora los usuarios no sólo consumen, sino que también producen electricidad a través de la misma red. Por tanto, el flujo de energía es ahora bidireccional. Una red inteligente envía electricidad desde los proveedores a los consumidores usando una tecnología digital bidireccional para controlar las necesidades del consumidor. Esto ayuda a ahorrar energía, reducir costos e incrementar la usabilidad y transparencia. El concepto de “micro smart grid” se diferencia de la “smart grid” en el concepto del alcance de la administración de la red, mientras una smart grid supone una sistema de distribución de energía con control administrativo público, una micro smart grid, es un sistema cerrado e interno a una entidad privada, que pretende administrar la energía de acuerdo a criterios y normas propias de la institución. En este proyecto se pretende diseñar e implementar una “micro smart grid” de alcance de campus universitario y que sirva para un uso racional y eficiente de la energía, haciendo uso de tecnologías de la

información y las comunicaciones, diseñadas específicamente para este proyecto, que permitan una gestión inteligente del sistema.

## **Estado actual de conocimiento del tema**

### **Smart micro grid**

La interconexión entre las infraestructuras energéticas [1] inicialmente independientes ofrece flexibilidad y eficiencia adicionales del sistema. La integración a nivel de distribución simplifica la implementación de las funcionalidades integradas del sistema de energía. Se proponen conceptos y principios de diseño de una red de microenergía inteligente (MEG) para alojar microrredes, sistemas de poligeneración distribuida, instalaciones de almacenamiento de energía y las infraestructuras asociadas de distribución de energía. El sistema de administración de energía es responsable de la operación inteligente del MEG al tiempo que admite múltiples criterios, como seguridad, economía y protección del medio ambiente. Para realizar la visión del MEG inteligente, se investiga un sistema de administración de energía basado en la teoría de juegos de ingeniería con capacidad óptima de autoenvío.

Una microrred es un grupo localizado de fuentes de electricidad [2] y sumideros (cargas) que normalmente opera conectado y síncrono con la grilla centralizada tradicional (macrogrid), pero puede desconectar y mantener la operación de forma autónoma según lo dicten las condiciones físicas y / o económicas.

De acuerdo con el Grupo de Intercambio de Microrredes del Departamento de Energía de EE. UU., Los siguientes criterios definen una microrred:

Una microrred es un grupo de cargas interconectadas y recursos de energía distribuidos dentro de límites eléctricos claramente definidos que actúa como una única entidad controlable con respecto a la red. Una microrred puede conectarse y desconectarse de la red para permitir que funcione tanto en modo conectado a la red como en modo isla.

En cambio, las definiciones de microrred se centran principalmente en dos características: una microrred es un sistema controlado localmente una microrred puede funcionar tanto conectada a la red tradicional (megarejilla) como a una isla eléctrica. Como ejemplos se pueden mencionar:

### **Mesa Del Sol**

El desarrollo mixto comercial-residencial Mesa del Sol en Albuquerque [3], Nuevo México es el sitio de una micro red en pleno funcionamiento. El proyecto ha sido creado por la Organización de Desarrollo de Tecnología Industrial y Nueva Energía de Japón (NEDO), junto con el Estado de Nuevo México, la Mesa del Sol, la Empresa de Servicios Públicos de Nuevo México, el Laboratorio Nacional Sandia y varias empresas japonesas incluyendo Shimizu, Toshiba, Tokyo Gas, Mitsubishi, Fuji Electric, Furukawa Battery y otros.

El sistema comprende un sistema fotovoltaico solar de 50 kW y un gabinete de microrred que contiene una celda de combustible de 80 kW, un generador de gas natural de 240 kW, un banco de baterías de plomo ácido, almacenamiento térmico frío y caliente y un enfriador de adsorción. Bajo el acuerdo de NEDO, la microrred fue entregada a la Universidad de Nuevo México (UNM) a fines de abril de 2014.

### **La isla de Kythnos**

La isla de Kythnos se encuentra en el mar Egeo, cerca de Atenas [4]. El proyecto Kythnos Island Project fue financiado por el programa Europeo de Microrredes FP 5, cuyo objetivo fue probar estrategias de control centralizadas y descentralizadas para el islamiento.

Es una microrred autónoma de pequeña escala, integrada por una red trifásica de bajo voltaje, generación de energía solar fotovoltaica, almacenamiento de batería y un generador de respaldo. La red se compone de líneas eléctricas aéreas y un cable de comunicación que funciona en paralelo para cumplir con los requisitos de control y monitoreo.

Hay 10 kW de PV en dos ubicaciones, un banco de baterías nominal de 53 kWh y un grupo electrógeno diesel de 5 kW. Un segundo generador fotovoltaico de aproximadamente 2 kW conectado a un inversor SMA en el techo de los edificios del sistema de control proporciona energía para el monitoreo y la comunicación, respaldado por un banco de baterías de 32 kWh cercano.

Tres inversores SMA conectados en una configuración paralela maestra-esclava suministran energía a las 12 residencias solo de verano, cuyas cargas mínimas son principalmente de iluminación y bombeo de agua. Cuando los clientes exigen más potencia de la que los sistemas fotovoltaicos pueden proporcionar directamente, uno o más de los inversores de batería de 3,6 kW se activan. Los inversores de la batería pueden funcionar en modo isócrono o de caída. Operar en modo de caída de frecuencia permite pasar información a los controladores de carga de conmutación, que limitan las cargas si el estado de carga de la batería es bajo y también restringe la potencia de salida de los inversores fotovoltaicos si el banco de baterías está lleno.

### **Antecedentes**

Este proyecto es continuación del proyecto FONARSEC 2013. Denominación: "Red inteligente ciudad Gral San Martín Mendoza", Proyecto FITS Energía 2013 - UREE. Proyecto 13, Resolución N° 470/14 financiado por el Fondo sectorial de energía. Participantes: CAPP (EDESTA, EMESA y UTN FRM), con vigencia desde el 1/1/2015 hasta el 31/12/2019 [5][6][7].

Al cabo de los tres primeros años del proyecto se cuentan con los resultados siguientes:

Parque de 5000 medidores inteligentes tanto monofásicos como trifásicos instalados en clientes finales residenciales, comerciales, industriales, de alumbrado público y de riego agrícola, integrados a una red de comunicación y reportando a un sistema de recolección y administración de datos que permita: Gestión de la telelectura de los mismos, recibir avisos y eventos, controlar la suspensión y reanudación del suministro, y

aportar datos para avanzar con los desarrollos, estudios, sistemas, integraciones, optimizaciones.

Planta de generación fotovoltaica de 2MW instalada y funcionando interconectada a la red de distribución en Media Tensión de EDESTE S.A. telecontrolada, teled medida y telesupervisión, y con cuatro módulos de autogeneración de bajas potencias (5 a 15 KW) interconectados a la red de distribución de Baja Tensión instalados y funcionando en edificios públicos en la zona.

### **3. OBJETIVOS Y AVANCES DEL PROYECTO**

#### **Objetivo Principal**

Desarrollar VÍNCULOS DE COMUNICACIÓN de alta confiabilidad y disponibilidad y SISTEMAS INFORMATIZADOS eficientes, que permitan GESTIONAR LA INFORMACIÓN obtenida a partir de la incorporación de tecnología apropiada en la red de baja tensión y con generación distribuida de energía no convencional en un campus universitario, buscando los siguientes objetivos específicos:

#### **Objetivos específicos**

1. Facilitar la normalización del servicio.
2. Disminuir las interrupciones de servicio y los tiempos de reposición.
3. Aumentar la confiabilidad, seguridad y disponibilidad de las redes de comunicación existentes.
4. Desarrollar metodologías para mejorar la eficiencia en las inversiones y los costos de Operación y Mantenimiento.
5. Desarrollar programa de mejoramiento de la calidad de producto.
6. Mejorar el control tendiente a disminuir el hurto de energía, fraude y vandalismo.
7. Evaluar la eficiencia de los sistemas fotovoltaicos
- 8 Investigar sobre las variables que afectan la eficiencia, monitoreando, simulando y modelando el sistema
9. Cuantificar los beneficios ambientales

asociados con la implementación del sistema

#### **Avances del Proyecto**

El sistema está compuesto por tres partes constitutivas, a saber [8]:

- Sub Sistema AMI [9]

Medidor de energía (nod-e<sup>2</sup>sg15-4) [10]: Consistente en nodo IoT de adquisición y transmisión, interoperabilidad semántica y sistema de comunicación.

WSN [11]: Consistente en gateway de comunicación de red interna

Plataforma de Smart Micro Grid [12]: Plataforma de almacenamiento y tratamiento de la información de la grid.

- Sub Energía Solar

Realiza tareas de simulación y monitoreo de los sistemas solares, cuantificando la energía incidente por medio de piranómetros de alta sensibilidad, temperatura, y producción eléctrica. Se modelará la relación entre las variables a fin de optimizar el funcionamiento

- Sub Eficiencia Energética

Realiza tareas de estudio y determinación de normalización del servicio, disminución de interrupciones de servicio y los tiempos de reposición, aumento la confiabilidad, seguridad y disponibilidad de las redes eléctricas, desarrollo de metodologías para mejorar la eficiencia en las inversiones y los costos de Operación y Mantenimiento

### **4. FORMACIÓN DE RECURSOS HUMANOS**

Uno de los principales objetivos del proyecto es la capacitación de los recursos humanos.

La meta como investigadores es fortalecer la capacidad para realizar investigación científica, generar conocimientos y facilitar la transferencia de tecnología que permita el desarrollo humano.

Este proyecto de investigación posibilitará la colaboración inter-institucional y la ejecución de proyectos conjunto entre grupos I+D de diferentes disciplinas.

Para lograr estos objetivos se dispuso del siguiente personal:

Cinco Investigadores formados  
Dos Investigadores de apoyo  
Un Becario doctoral (beca UTN)  
Tres Becarios graduados (Beca BINID UTN)  
Tres Becarios alumnos (Beca alumno UTN)  
Dos Tesistas de carrera de grado

Adicionalmente se realizarán:

- Dictado de Cursos, Seminarios y Conferencia para público especializado.
- Promoción, coordinación y asistencia técnica de tesinas de grado para alumnos de la FRMza.
- Promoción, coordinación y asistencia técnica a pasantes alumnos, cursantes de carreras de grado y de pre-grado en el ámbito de la UTN FRMza.
- Promoción, coordinación, dirección y asistencia técnica a Tesis doctorales, postgrado y/o maestría.
- Presentación de Trabajos en Congresos y Reuniones Técnicas/Científicas.
- Publicación de Trabajos en revistas con/sin referato.
- Publicación de todo el código fuente desarrollado en el presente proyecto, en [github.com/GridTICs/smartmicrogrid](https://github.com/GridTICs/smartmicrogrid).

## 5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Shengwei Mei, Rui Li, Xiaodai Xue, Ying Chen, Qiang Lu, Xiaotao Chen, Carsten D. Ahrens, Ruomei Li, and Laijun Chen, "Paving the Way to Smart Micro Energy Grid: Concepts, Design Principles, and Engineering Practices" IEEE © 2017 CSEE
- [2] About Microgrids,  
<https://building-microgrid.lbl.gov/about-microgrids>
- [3] Mesa del Sol,  
<https://building-microgrid.lbl.gov/mesa-del-sol>
- [4] Kythnos Island.  
<https://building-microgrid.lbl.gov/kythnos-island>
- [5] G. Mercado et al "SG-SM - Smart Grid San Martín. Red de Distribución y Generación de Energía Inteligente en Ciudad Gral San Martín Mendoza" XVII Workshop de Investigadores en Ciencias de la

Computación - WICC 2015, Salta 16-17, Abril 2015

[6] G. Mercado, J. Da Peña, G. Vivone, M. Ledda, R. Caceres, C. Taffernaberry, S. Pérez, L. Álvarez, A. Arena, G. Henderson, M. Funes, J. Catalá, "Diseño, Implementación y Análisis de Red de Distribución Inteligente y Generación Distribuida de Energía", Anales de CIIS 2016, May 2016, Universidad de Córdoba, Córdoba.

[7] A. P. Arena, L. Álvarez, J. Da Peña, R. Stasi, G. López, A. Burlot, L. Barnabo, M. Ledda, R. Caceres, C. Taffernaberry and G. Mercado, "Diseño, Implementación y Análisis de una Red Eléctrica Inteligente (Smart Grid)", Anales del ENIDI 2017, Mendoza 22 al 24 de Noviembre 2017

[8] R. Moralejo y S. Tobar "PID Smart Micro Grid de Campus Universitario - Desarrollo, implementación y prueba". UTN FRM, SCTyP. 2018

[9] A. K. Chakraborty and N. Sharma, "Advanced metering infrastructure: Technology and challenges," 2016 IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition (T&D), Dallas, TX, 2016.

[10] S. Tobar, C. Taffernaberry y A. Verdejo "nod-e<sup>2</sup>sg15-4: Nodo AMI IoT para Smart Grid en IEEE802.15.4", Memoria Técnica PID5424 - gridTICs UTN FRM, 2019.

[11] C. Taffernaberry, G. Mercado, "GW-CIAA-IoT: Gateway con CIAA para red inalámbrica de IoT", WICC 2016, ISBN: 978-950-698-377-2, Abril 2016

[12] R. Moralejo y A. Storni. "Plataforma de gestión para MicroGrids", Sesión IoT y eCiential, Anales del 2do Encuentro Latinoamericano de eCiencia, Octava Conferencia TICAL 2018. Cartagena de Indias, Colombia del 3 al 5 de septiembre de 2018.