

Smart-Grid Control Environment for Ecuador Save Energy Alternative

Mauricio Duque, MSc ¹, Gregorio Romero, PhD ²

¹ Escuela Politécnica Nacional, Ecuador - mauricio.duque@epn.edu.ec

² Dpto. de Ingeniería Mecánica, Universidad Politécnica de Madrid, España - gregorio.romero@upm.es

Abstract- This work describe Smart-Grid implemented for improve Ecuadorian Energy Network efficiency, in comparison hydrocarbons uses and the country energy dependence. For these reason, is necessary to boost autonomous systems like this, which can interconnect through internet via for obtain the best way to manage each home are connected in a Smart-Grid. Consequently, decrease the hydrocarbons and nonrenewable resources uses. In this paper show a web platform, that allow integrate multiples technologies and this will be alternative for install a smart-grid in Ecuador.

Keywords-- SmartGrid, NodeJS, Raspberry Pi, Arduino, MiniGrid, MicroGrid, Smart-Car, Smart-Home, Renewable energy.

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2016.1.1.252>

ISBN: 978-0-9822896-9-3

ISSN: 2414-6390

14th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: “Engineering Innovations for Global Sustainability”, 20-22 July 2016, San José, Costa Rica.

ISBN: 978-0-9822896-9-3

ISSN: 2414-6390

Entorno de Control Implementado en una Smart-Grid como Alternativa de Ahorro Energético para el Ecuador

Mauricio Duque, MSc¹, Gregorio Romero, PhD²

¹ Escuela Politécnica Nacional, Ecuador - mauricio.duque@epn.edu.ec

² Dpto. de Ingeniería Mecánica, Universidad Politécnica de Madrid, España - gregorio.romero@upm.es

Resumen– En este trabajo se describe la implementación de una Smart-Grid eficiente en la red eléctrica Ecuatoriana, dados los altos costos de producción, el uso de hidrocarburos y la constante dependencia energética del país. Tal y como se indica, es necesario fomentar el uso de sistemas autónomos como el que se propone y que se puedan conectar a través de internet para obtener el control óptimo de la energía en cada hogar, disminuyendo así de manera directa el uso de hidrocarburos para la producción energética y evitando la dependencia de un recurso natural no renovable. Para ello y aunque es preciso la implementación de iniciativas legislativas que lo permitan llevar a cabo de forma efectiva, se expone el diseño de una plataforma web que permite la integración de múltiples tecnologías y que pretender servir como precursora para la instalación de una smart-grid en Ecuador.

Palabras Clave- SmartGrid, NodeJS, Raspberry Pi, Arduino, MiniGrid, MicroGrid, Smart-Car, Smart-Home, Renewable energy.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad las redes eléctricas no están diseñadas para cubrir y satisfacer necesidades como un flujo bidireccional, tener menores pérdidas en la red y más homogeneidad, y además son carentes de eficiencia, no tiene un sistema retroalimentado y poca interacción con el usuario.

Las Smart-Grid son un sistema autónomo, eficiente y optimizado, con la capacidad de tomar decisiones que beneficien tanto al usuario como a la empresa generadora del servicio (en teoría). Dichos sistemas permiten la integración de múltiples tecnologías, las cuales tienen que interactuar entre sí, con el objetivo de optimizar el uso energético en micro-sistemas, como por ejemplo las Smart-Home, Smart-Car, Renewable Energy, Consumer Engagement, Operation Centers, Distribution Intelligence, Plugins, entre otros, que juntos forman un sistema Smart-Grid que tiene como objeto la mejora de la eficiencia del uso de la electricidad.

A diferencia de las tendencias actuales, cuyo control está dado por un solo sistema redundante, el cual administra todos los dispositivos conectados a la red, dirige sus funciones aunque no su calidad; por el contrario la Smart-Grid provee un conjunto de sistemas independientes entre sí, interconectados a través de una red, con la capacidad de controlar de manera muy puntual ciertos procesos, pero con la eficiencia necesaria para actuar bajo un mismo principio y que es ‘La Optimización’.

A partir del estudio particularizado de la situación energética en Ecuador, se presenta un sistema de control para ser implementado con objeto de mejorar la calidad eléctrica de las redes actuales, proponiendo una arquitectura abierta, escalable e implementable a mediano y largo plazo. Para conseguir tal fin se ha procedido a diseñar una arquitectura escalable basada en la computación en la nube y que permita la gestión de datos provenientes de diferentes dispositivos conectados en red, determinando el comportamiento de la Smart-Grid como un sistema autónomo. Así mismo, se ha planteado una solución para minimizar las pérdidas ocasionadas por transmisión, distribución y desperdicio eléctrico generado por la mala utilización del recurso energético y las limitaciones de la red eléctrica actual. Por último, se ha perseguido diseñar una arquitectura SW que permita la adquisición de datos en tiempo real, que sea implementado en la web, y que además sea capaz de administrar datos en alta cantidad y el monitoreo de cada minigríd y microgríd.

II. SITUACIÓN ACTUAL A NIVEL MUNDIAL

Países como Estados Unidos de América ha identificado en el pasado más de 75 normativas para la implementación de sistemas basados en Smart-Grids por medio de la transformación de la actual red eléctrica a través del National Institute of Standards and Technology (NIST). Esta institución es la que está encargada de llevar la investigación para proponer los estándares necesarios en el tema referente de los Smart-Grids, mientras que el Departamento de Energías de los Estados Unidos de América (DOE) es quien se encarga de hacer las ayudas de inversión, incentivos y las garantías en los préstamos para que se pongan en marcha los proyectos relacionados con los Smart-Grids.

De igual forma, la Unión Europea está haciendo algo parecido, habiendo identificado a través del Comité Europeo de Normalización (CEN), el Comité Europeo de Normalización Electrotécnica (CENELEC) y el instituto Europeo de Telecomunicación (ETSI) en torno a 110 estándares y arquitecturas diferentes que pueden ser implementadas en redes inteligentes. Lo más relevante es que la visión de una arquitectura abierta posiciona al medidor inteligente como un dispositivo central en el hogar.

Sin embargo, el enfoque de países como Japón es un poco diferente ya que centran sus esfuerzos más en la implantación de energías renovables y en la disminución de la huella de carbono, por lo que su objetivo es la reducción de las emisiones de dióxido de carbono en un 25% para el 2020,

De igual forma, la inversión en China va enfocada en la realización de redes con características de robustez, con mayor capacidad, más confiables, eficientes, y que pueda integrar energías renovables, para lo cual el gobierno chino aprobó en el periodo 2009-2010 un incentivo de \$586.000 millones de dólares para la inversión a gran escala en materia de vivienda de bajos ingresos, agua, electricidad e infraestructura, que estén enfocados a la energía renovable y eficiente.

Tal y como se observa, cada país tiene su propio enfoque y necesidades, lo que hace que la postulación de una arquitectura que sea totalmente abierta, accesible y relativamente económica resulta del todo viable. Como consecuencia de ello surge la pregunta de cómo hacerlo, siendo éste un punto de inflexión a nivel mundial en donde no se llega a ningún acuerdo.

III. SITUACIÓN ENERGÉTICA EN ECUADOR

Del consumo total energético del Ecuador, el 66,6% es energía desperdiciada y apenas el 36% de la producción eléctrica es aprovechada, siendo el otro 64% energía que se pierde por múltiples factores, entre estos por la ineficiencia energética en los hogares y las largas distancias de transmisión debido a que la mayoría de la generación está lejana a las urbes. Además, también se depende de factores climáticos para la producción, como es el caso del caudal de los ríos, el cual puede escasear en tiempos secos. Por tanto, se puede resumir en que se podría alimentar otro país de las mismas dimensiones de Ecuador únicamente con la energía que se desperdicia, razón por la cual se observa gran potencial para la introducción de la tecnología que se trata en este trabajo.

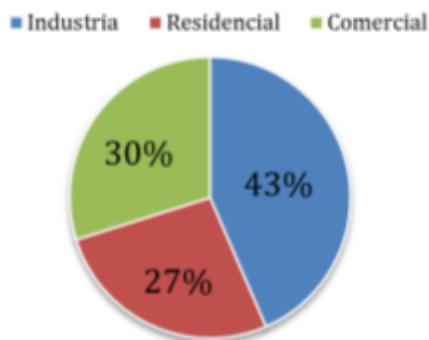


Fig. 1.- Distribución eléctrica por sector en el Ecuador.

En la figura anterior se puede observar la participación de cada sector en el consumo eléctrico, residiendo la mayor dificultad principalmente en el sector industrial dada su variada naturaleza y la diferencia que existe entre sus procesos, por lo que encontrar una medida que se apegue a cada una de ellas y que sea general es difícil de implementar. Dichos datos se han tomado a partir del “Balance Energético Nacional 2013”.

Se puede considerar que Ecuador tiene un alto potencial para la implementación de las Smart-Grid, principalmente por su reciente cambio de la matriz energética, en donde se espera poder generar más energía eléctrica, evitando así la necesidad de su importación, la cual en el año 2006 representó mil millones de dólares. Para ello y con el objeto de suplir las necesidades energéticas que requiere el país, se han construido diferentes hidroeléctricas, las cuales se esperan que generen 8.740 MW y entrarán en funcionamiento en el presente año. De continuar con estas aspiraciones, Ecuador debe tener en cuenta un sistema que le permita minimizar las pérdidas, lo cual repercutirá directamente en la capacidad de exportación energética al optimizar el uso de la energía eléctrica consumida en cada hogar.



Fig. 2.- Hidroeléctrica de Manduriacu de 65MW (Río Guayllabamba, Ec.)

Matthew Terry, de la Napo River Foundation, expone los graves impactos y la desmesurada afectación al medio ambiente que provoca este cambio energético en el Ecuador, propiciado por las políticas gubernamentales, principalmente por el Megaproyecto hidroeléctrico de Coca-Codo Sinclair, que aspira producir 1.500 MW. Según el Sr. Terry resulta un objetivo difícil de alcanzar, ya que según estudios que datan de los años ochenta daban por inviable un proyecto de tal magnitud, ya que los caudales del río Coca no pueden suplir tal demanda energética. Así mismo, el estudio predice la generación como máximo de 800 MW, aunque sin embargo el gobierno local prosiguió con el Proyecto, lo cual demuestra los intereses de particulares sobre temas tan delicados como es el de la generación eléctrica, la cual debe ser de interés social y no solo de algunas minoría. El mismo panorama se presenta no solo en el proyecto de Coca-Codo Sinclair, sino también en los otros siete proyectos que se están desarrollando en el Ecuador (Minas San Francisco, Deleitaniagua, Manduriacu, Mazar Dudas, Toachi Pilatón, Quijos y Soplador [1]).

No solamente el problema se presenta en centrales hidroeléctricas, sino también en termogeneradoras, plantas solares o fotovoltaicas que requieren de grandes extensiones de terreno, lo que afecta directamente la fauna y flora local, todo ello sin contar que su producción se ve afectada directamente por la radiación solar de la zona y sin hacer mención al tema de las plantas termonucleares, que es aun un problema mucho mayor de analizar.



Fig. 3.- Proyecto Eolico Villonaco (Loja, Ec.)



Fig. 4.- Central fotovoltaica (Paragachi, Ec.)

En consecuencia, ningún tipo de generación eléctrica produce un impacto positivo sobre el ecosistema, de mayor o menor grado, existiendo una afectación y por consiguiente la generación de desechos y daños sobre el medio ambiente. Lastimosamente, se piensa sólo en el hecho de aumentar la capacidad eléctrica para suplir las perdidas ocasionadas por multiples factores, como son la transmisión y distribución. Por este motivo la mejor manera de no generar un impacto es precisamente implementando sistemas como el que se presenta, el cual puede ser instalado en las propias urbes, no habiendo de esta forma una modificación del ecosistema.

Este punto anterior es a partir de lo cual se justifica el uso de una SmartGrid y el principal planteamiento que se aborda en este trabajo. En primer lugar, en este documento se propone la utilización de los tejados de todas las construcciones de las urbes tengan algún tipo de generación eléctrica, tales como paneles fotovoltaicos, generadores eólicos y microturbinas, los cuales permitan la inyección directa a la red eléctrica, y no la necesidad de ser almacenada en grandes bancos de baterías. De igual forma, en segundo lugar se propone redistribuir dicha

energía a lugares con mayor demanda, abaratando así los costos de almacenamiento de energía.

Ecuador apunta a la eficiencia energética a través del uso de redes inteligentes, las cuales permiten al distribuidor mantener un absoluto monitoreo del flujo energético y de los elementos que conforman la red de energía, todo ello con el fin de conocer siempre y en todo lugar de qué manera se consume la energía eléctrica que se produce, evitar pérdidas en la distribución de energía y tener alertas sobre posibles fallos que se puedan originar en las líneas de transporte entre los sistemas de producción de energía y el consumidor final. La característica del sistema permite incluso garantizar la distribución ininterrumpida de energía eléctrica y evitar suspensiones del servicio mediante el uso de un entramado de subestaciones eléctricas. Para alcanzar este objetivo en un plazo de 20 años se está trabajando multisectorialmente en un proyecto de eficiencia energética entre el Ministerio de Electricidad, el Centro Nacional de Control de Energía (CENACE) y el Consejo Nacional de Electricidad (CONELC), para lo cual se está llevando a cabo una hoja de ruta según Gabriel Arguello, director ejecutivo del CENACE.

Aunque en el país se implementan sistemas de Smart-Grid, esta tecnología está particularmente disponible para países de primer nivel y de gran poder económico, excluyendo de cierta manera a países con un nivel económico menor. Igualmente la tecnología propietaria, como lo es el caso de Huawei Technologies Co., en caso de llegarse a darseles el megaproyecto que el gobierno ecuatoriano pretende, tiene la gran desventaja de crear una dependencia tecnológica y estar sujetos a los alineamientos de la empresa propietaria del sistema, lo que significa políticas industriales beneficiosas para la empresa pero no asegura necesariamente el desarrollo industrial del Ecuador.

Para dar solución a estos problemas, lograr situar al Ecuador en un país pionero en la implementación y desarrollo de tecnologías orientadas a los sistemas SmartGrid, y suplir de forma progresiva y sistemática la necesidad de Ecuador de generar, adaptar, difundir y desarrollar tecnologías en un proceso de desagregación tecnológica e ingeniería inversa, de tal forma que todo ello conduzca a procesos de innovación industrial y de esta manera se impulse la producción nacional, eleve la eficiencia y productividad y aporte de esta manera, en forma real y tangible, al cambio de la matriz productiva, se debe pensar en políticas que promuevan el desarrollo local y su implementación.

Tal y como se verá en este trabajo, la propuesta se basa en principios de interés común, los cuales son el empleo de una arquitectura abierta, tanto en HW como en SW, componentes relativamente de bajo costo y sistemas de integración comerciales, como son los paneles solares y que en los últimos años ha bajado su coste considerablemente.

IV. MICRO-GRID, MINI-GRID Y SMART-GRID

Los denominados ‘Micro-Grid’ son un conjunto de pequeños instrumentos, capaces de monitorear, analizar, actuar y comunicarse con otros elementos que se encuentran conectados todos a una misma red. A modo de ejemplo, se puede considerar un luxómetro (medidor de luminosidad) como elemento principal para medir la luz de una habitación, y en torno a éste un sensor de presencia; ambos componentes forman parte del mismo sistema, el cual envía la información directamente a la red, aunque por sí mismo no puede decidir si apagar o encender la luz, estas maniobras las aclararemos en las siguientes definiciones.

Por otra parte, una ‘Mini-Grid’ es un conjunto de Micro-Grids interconectadas, unas especializadas en ejercer acciones sobre un sistema y otras en observar el comportamiento de un sistema. En este caso y como continuación del ejemplo anterior, se puede considerar que fuera del dispositivo que contiene el luxómetro y el sensor de presencia hay otro más que puede actuar para encender y apagar una luz u otra, y por tanto administrar el comportamiento del sistema.

En último lugar, una ‘Smart-Grid’ es un conjunto de miles de Mini-Grids, interconectadas todas entre sí, y su principal función es monitorizar, analizar y determinar el comportamiento de cada una de las Mini-Grids con la finalidad de poder mejorar el funcionamiento eléctrico de toda una zona o red eléctrica [3]. En este caso, si se considera que la Smart-Grid recibe los datos proporcionados por el dispositivo medidor de luz y de presencia, estos datos viajan por la red (Internet), llegan a la plataforma web propuesta y ésta se encarga de determinar si debe o no encender la luz; en caso de determinarse que debe hacerlo enviaría la información necesaria, para que ésta fuese atendida por el elemento actuador y, por consiguiente, se encendiese la luz.

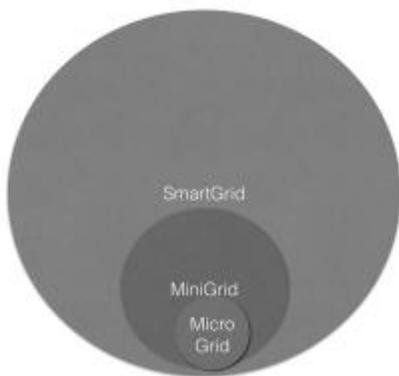


Fig. 5.- Diagrama básico de una estructura Smart Grid.

No obstante, las Smart-Grids conllevan una serie de ventajas y desventajas en la actualidad, tal y como se indica a continuación:

VENTAJAS

- 1) Elevados costes en su implementación a nivel estatal
- 2) Redes eléctricas obsoletas
- 3) Bajos precios en la producción eléctrica por parte de los entes controladores
- 4) Desviación del factor de potencia, corrientes de fuga, corrientes de fualcault y corrientes parásitas son algunos parámetros no penalizados por las empresas eléctricas en algunos países, más aun en el sector doméstico
- 5) Falta de incentivos por parte de los gobiernos para promover el uso de este tipo de tecnologías
- 6) Poca estandarización de los productos que componen esta tecnología
- 7) Coste de los equipos necesarios para su implementación
- 8) Infraestructuras urbanas complejas
- 9) Interés de la industria eléctrica en la generación venta y distribución, independientemente de si la red genera pérdidas o no
- 10) Carencia de estándares internacionales, teniendo cada país una filosofía y normativas diferentes

DESVENTAJAS:

- 1) Existencia de redes eléctricas interconectadas a lo largo del planeta
- 2) Disminución de los cortes del suministro eléctrico
- 3) Estabilización de la frecuencia de la red
- 4) Automatización de algunos procesos

IV. METODOLOGÍA E IMPLEMENTACIÓN

La propuesta contiene por un lado el desarrollo de una plataforma web, con la implementación de un sistema virtual, en donde se pueda realizar la instrumentación y la medición de variables eléctricas, todo ello con la finalidad de realizar un control distribuido a partir del uso de micro-grids y con la intención de proponer una alternativa de optimización de los recursos energéticos. Así mismo, se sugiere el uso de dispositivos de bajo costo, los cuales podrían soportar las intenciones antes mencionadas. Ambas propuestas conforman un diseño básico para el desarrollo e implementación de una Smart-Grid. A su vez, la plataforma virtual será soportada por las capacidades de cómputo del Consorcio Ecuatoriano para el Desarrollo del Internet Avanzado (CEDIA), los cuales brindaran los servicios de servidor, en donde se encuentra alojada la aplicación.

La aplicación contará con las siguientes características, siendo los beneficiarios del sistema los ecuatorianos, aunque se pretende que en el corto plazo se involucre una comunidad internacional en el uso y actualización del sistema:

- 1) Interfaz en donde el usuario puede crear un panel de instrumentación para realizar el monitoreo de variables críticas (temperatura, humedad, corriente y voltaje eléctrico, entre otras).
- 2) Comunicación bidireccional y local con un prototipo de placa HW para el control y automatización.
- 3) Comunidad en torno al desarrollo de la plataforma, con la intención de darle mantenimiento y soporte.

El elemento correspondiente al instrumento de control debe realizar las cuatro funciones básicas (adquisición, análisis, presentación de datos y principalmente control), aunque permitirá personalizarse y agregarle mucha más funcionalidad sin incurrir en costos adicionales, por lo que podrá brindar una o más mediciones de un mismo fenómeno físico.

Tal y como se ha indicado previamente, algunos de los beneficios que ofrece la integración del sistema Smart-Grid propuesto es la flexibilidad, el bajo costo de mantenimiento, la reusabilidad, la personalización de cada instrumento, la rápida incorporación de nuevas tecnologías, y el bajo costo por función y por canal. Principalmente el mayor impacto que esta tiene sobre la industria energética ha sido la aparición de los términos “automatización flexible”, lo cual implica una sinapsis entre diferentes elementos que actúan sobre una grid y que pueden tener una incidencia dependiendo del comportamiento de diferentes variables.

Usualmente la industria tiene ciertos estándares para la adquisición de estas señales; así pues, casi siempre la transducción de un fenómeno se lleva a una normalización analógica de 4-20 mA ó de 0-10 V. En la actualidad, con la miniaturización de los componentes electrónicos, los instrumentos encapsulan más funcionalidades, entre ellas comunicación digital, siendo los más comunes RS-232, RS-485, lo que conlleva a la aparición de protocolos, modbus, profibus, ethernet, entre otros, los cuales brindan criterios de estandarización en la industria. Sin embargo, dicha estandarización es casi nula a nivel doméstico, principalmente debido a la variabilidad de los productos y el país donde se encuentre ubicado.

Por todas estas razones se proponen la adaptación de algunos estándares industriales. El primero de ellos es el correspondiente a la adquisición de las señales, la cual debe ser 4-20mA, siendo la razón principal la de permitir la seguridad de la medida y detección de la señal, ya que puede llegar el caso de que se estropee el sensor e interese poder

detectar este hecho, advirtiendo de manera inmediata al sistema. Así mismo, por parte del voltaje es necesario ser un poco más flexibles y permitir un rango multivoltaje de 110 a 220 voltios en alterna, neutro más fase o bifásica, y una frecuencia de 50/60 Hz. Finalmente, en los protocolos de comunicación se empleará el estándar universal Ethernet TC/IP, empleando también red Wifi bajo el mismo protocolo.

V. TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS Y PROCESOS

Una vez descritas en la sección anterior determinadas características de los dispositivos a tener en cuenta, sí es preciso crear un elemento para poder conectarlos entre sí y que se adapte a distintas necesidades, por lo que se han considerado varias a tener en cuenta para su desarrollo:

- 1) Conexión a internet
- 2) Suficientemente robustez para soportar ambientes agresivos
- 3) Procesamiento de señales (analógicas o digitales) provenientes de la adquisición de datos del medio (instrumentación)
- 4) Facilidad de construcción
- 5) Capacidad de control de variables (encendido y apagado de elementos o dispositivos)

El dispositivo que se desarrollará consistirá en una Tarjeta de Adquisición de Datos y Procesos (TAD&P), para lo cual ha sido preciso realizar su diseño bajo los siguientes parámetros:

- 1) Únicamente se podrán soportar entradas 0 a 12 voltios y estarán opto-aisladas.
- 2) Las salidas serán por relé y sólo se contará con 6 de ellas
- 3) La placa no poseerá fuente de alimentación
- 4) La placa dependerá de una conexión al PC para poder llevar a cabo la transmisión de datos.
- 5) Solo se aceptarán 4 entradas analógicas de 0 a 5 voltios (los estándares industriales son de 4-20mA)
- 6) No poseerá salidas analógicas
- 7) No poseerá reloj (timer).
- 8) Estará basada en un Arduino UNO, lo cual limitará la capacidad de procesamiento ya que emplea un microcontrolador ATmega168, por lo que las pretensiones que se tienen en el desarrollo de la placa será muy conservador
- 9) No se empleará parte del espacio de la placa

La razón principal por la que se ha basado la fabricación de este prototipo en la arquitectura del Arduino UNO es básicamente porque se trata de un dispositivo de arquitectura abierta, que posee una comunidad bastante grande y activa, y porque se presta muy bien al desarrollo de este tipo de proyectos.

Dichos parámetros son un poco reservados, siendo la principal razón que se trata de un prototipo inicial (version 1.0), tal y como se muestra en la fig. 6 y se debía asegurar los objetivos principales, los cuales son la adquisición de datos, la transmisión de la información y la acción sobre los elementos a controlar.

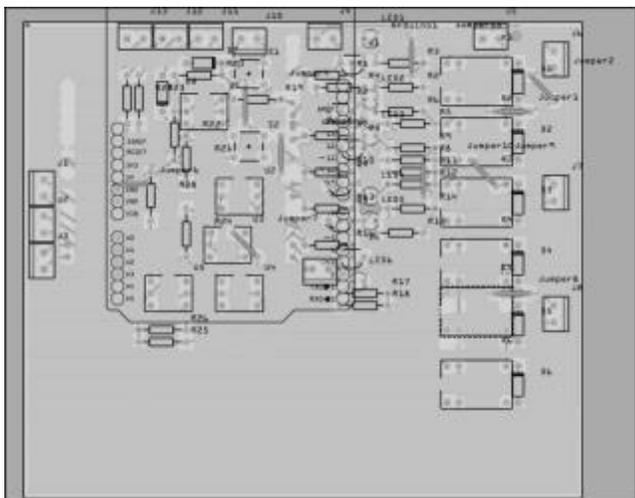


Fig. 6.- Diseño de la primera versión del dispositivo

Al desarrollar este primer diseño se detectaron una serie de problemas asociados, principalmente asociados al tamaño de placa principal de la TAD&P, el cual es muy grande. En comparación con las capacidades que tiene el componente, dado que su diseño está basado en mono-capa (single-layer), sólo se pueden poner pistas superficiales en un único lado de la cara de la placa, por lo que se requiere mucha más área superficial para fijar los componentes.

Tras el análisis del primer prototipo se llevó a cabo una segunda versión de la placa (fig. 7), para lo cual se tomaron algunos puntos a tener en cuenta para la mejora de la misma. En primer lugar se intentó compactar más el tamaño de la placa principal de la TAD&P mediante la reducción de las pistas conductoras y en segundo lugar se centró la placa con el Arduino UNO para que ambas tuviesen dimensiones similares, obteniéndose la reducción de su tamaño en torno a un 15% con respecto a la primera versión. Por otra parte, en esta versión se logró la incorporación de un microprocesador basado en la tecnología Raspberry Pi, la cual tiene detrás una comunidad igual de activa que en el caso de Arduino y además conlleva una simplificación del problema detectado.

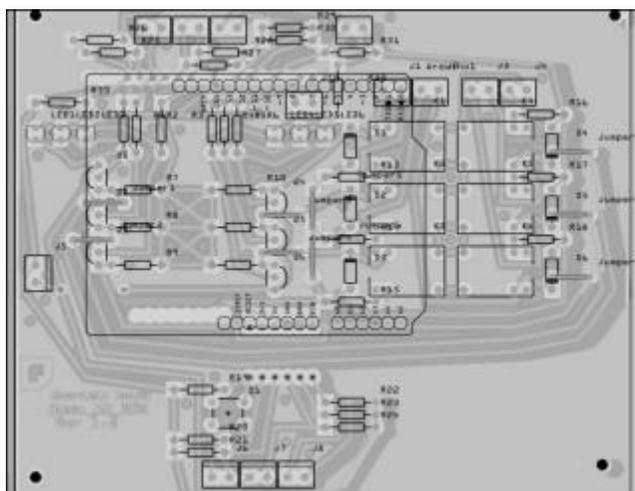


Fig. 7.- Diseño de la segunda versión del dispositivo

Para llevar a buen término el desarrollo de la placa, ésta se ha dividido en dos componentes. El primero de ellos es el asociado al control y el segundo a la comunicación, de tal forma que se logró que fuese un sistema distribuido. La principal razón de esto anterior es debido a los tiempos de ejecución de las instrucciones y con objeto de evitar realizar dentro del microcontrolador demasiados procesos que no tengan que ver con su función principal, la cual es la de controlar.

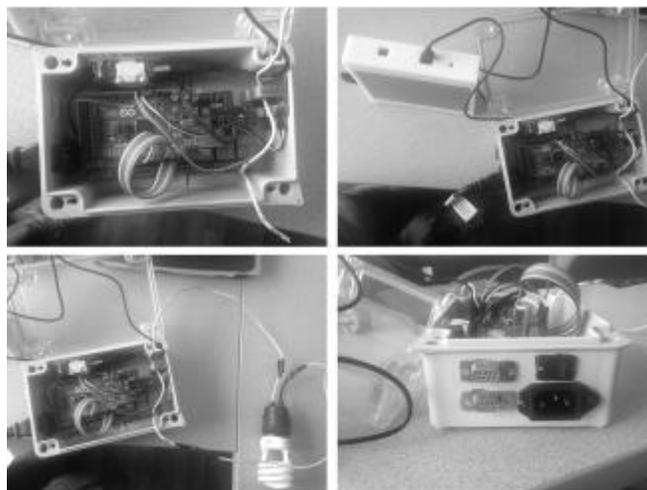


Fig. 8.- Prototipo funcional de TAD&P (segunda versión)

La figura anterior muestra varias imágenes del primer prototipo funcional de la TAD&P desarrollado, el cual consta de un controlador basado en el uso de un Arduino Mega 2560 y un Raspberry Pi, así como las fuentes que alimentan a ambos dispositivos, pudiéndose conectar a este dispositivo sensores normalizados con señales de salida en los rangos 4-20 mA y 0-5V, sensores digitales con protocolos de comunicación RS-232 y Ethernet TCP/IP, actuadores correspondientes tanto a relés como a aquellos que se accionan por PWM, y salida analógica.

A partir de la incorporación del Raspberry PI a la TAD&P ésta dejó de ser un simple dispositivo de adquisición y control, convirtiéndose en un Micro-Grid con todas las funcionalidades necesarias para ejercer un control autónomo sobre diferentes variables, tales como la temperatura, humedad, luminosidad o consumo energético de manera controlada por el usuario bajo parámetros establecidos o de manera independiente a través de una plataforma Web, convirtiéndose parte de la Smart-Grid cuyo comportamiento es soportado por el cambio de las variables en la red eléctrica de la que forma parte.

A diferencia de otras tecnologías actuales presentes en el mercado o en desarrollo que trabajan de forma independiente de una a otras, el dispositivo que aquí se presenta es un conjunto de elementos que permiten la interacción con el medio, que se comunican unos a otros por medio de la aplicación web y que interviene en el funcionamiento de forma global o particular, afectando dicho comportamiento desde niveles de interés particular hasta la afectación a la sociedad en general. Como consecuencia de la implementación masiva de esta disposición arquitectónica de los componentes expuestos en la página anterior se podría activar o desactivar la inyección energética por sectores en una urbe o de un país, pasando a niveles más altos. De hecho, el mismo componente de Micro-Grid podría servir para dar orden a las centrales distribuidoras del servicio eléctrico acerca del flujo óptimo de electricidad, beneficiando a sectores críticos de la sociedad, como es el caso de hospitales, clínicas, estaciones de servicio e incluso al sector industrial.

Fuera de las características mencionadas anteriormente, la TAD&P posee dos circuitos, uno toma lecturas de voltaje que ingresan a la MiniGrid, y el otro analiza el amperaje, este ultimo se encuentra instalado en las salidas de la tarjeta, lo que permite tomar datos en el dominio de la corriente de cada dispositivo administrado por la MiniGrid; en conjunto estos dos circuitos juegan un papel muy importante en el momento de determinar el comportamiento energético del sistema, de esta forma es imprescindible que cada componente se pueda monitorear de manera independiente.

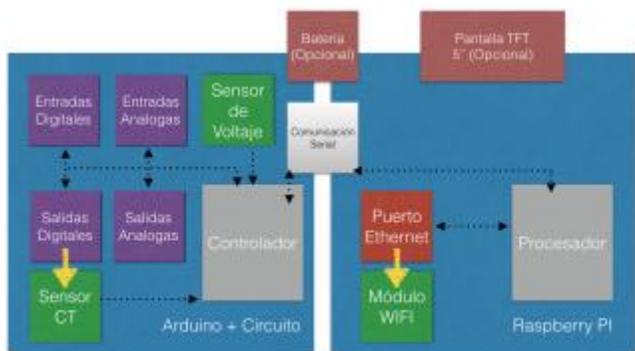


Fig. 9.- Componentes de la TAD&P.

La anterior figura, presenta las características físicas de la TAD&P, la cual esta dividida en dos partes: el controlador, el cual contiene el Arduino y un circuito que cumple varias funciones: aislar, normalizar las entradas y salidas, verificar las condiciones energéticas; la segunda parte, es referente al procesador, que posee un módulo Ethernet, cuya finalidad es enviar la información a la aplicación; es necesario establecer que también se encarga de realizar tramas y de alojar una parte del servidor que ejecuta acciones administrativas de la MicroGrid.

La siguiente figura, muestra los programas que se encuentran corriendo en la TAD&P, tanto en la parte del Controlador, como la parte del procesador, dentro de estos algoritmos se destaca las seguridades implementadas para la escritura y lectura sobre los puertos los cuales son la ultima línea entre la arquitectura SmartGrid y la funcionalidad, por ende se establecen reglas rigurosas para el accionamiento de cada una de ellas; por otra parte, con la intención de proveer velocidad de respuesta y una especificación clara de funcionalidades, el programa que se ejecuta en el lado del controlador es grabado directamente en memoria, función que realiza el procesador cada vez que sea necesario a razón de alguna modificación por parte del requerimiento de la SmartGrid.

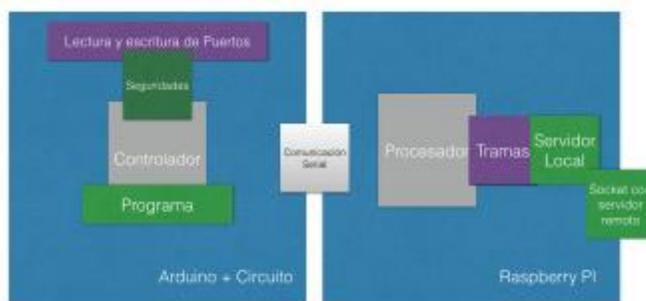


Fig. 10.- Programas corriendo en la TAD&P.

Para que el sistema que aquí se expone sea completo y cumpla los objetivos planteados por la investigación es necesario la creación de una plataforma escalable, basada en la computación en la nube y que permita el monitoreo general de las Mini-Grids que se encuentran en funcionamiento a lo largo de la Smart-Grid, describiéndose a continuación las características de la aplicación Web (Punto VI).

VI. PLATAFORMA WEB

Hoy en día el uso del lenguaje de programación JavaScript es ampliamente usado en aplicaciones de tipo Web, aunque hasta no hace mucho era poco adoptado seriamente. En el año 2009 apareció una herramienta muy potente llamada "NODE-JS", creada por Ryan Dahl, poco después es apadrinada por la empresa Joyent, la cual permite que las aplicaciones creadas bajo esta arquitectura se ejecuten en

tiempo real, volviéndose dinámicas las aplicaciones web. De esta forma se pueden obtener datos en tiempos increíbles y un número de conexiones entrantes al servidor mucho mayor que con servidores convencionales. Si bien JavaScript no era un lenguaje altamente respetado en la comunidad de desarrollo, principalmente por su sencillez, hoy en día esta situación ha cambiado, siendo hoy en día las aplicaciones web basadas en la presente tecnología ampliamente demandadas.

NodeJS es por tanto un entorno de programación que permite hacer potentes sistemas, proveyendo toda la infraestructura necesaria para llegar a los propósitos planteados en este trabajo, dentro de los cuales se encuentran las siguientes características:

- 1) Ejecución en el servidor, PC e incluso Smartphone.
- 2) Compatibilidad con diferentes sistemas operativos.
- 3) Aprovechamiento del motor V8 de Chrome.
- 4) Programación asíncrona.
- 5) Programación orientada a objetos y a eventos (POE).
- 6) Aplicación en tiempo real
- 7) Uso de código libre (OpenSource).
- 8) Empleo del mismo lenguaje tanto para el cliente como para el servidor (Back and Front end).
- 9) Posibilidad de integración HW.

Dentro de sus ventajas con respecto a otras tecnologías, crea un solo hilo de proceso para todos los clientes, lo que permite más de 64.000 conexiones de forma simultánea, siendo ésta característica la verdadera razón por la que se ha dedicado usar esta tecnología para llevar a cabo el proyecto. En la realidad van a estar conectadas miles de Mini-Grids y Micro-Grids a la plataforma, enviando millones de datos por segundo, y si se considerase un servidor común como puede ser 'Apache', éste estaría saturado en pocas horas y no cumpliría con las expectativas que aquí se plantean.

Dentro de la plataforma se tiene la siguiente estructura, que menciona los componentes usados dentro de la aplicación.

TABLA I
COMPONENTES DE ARQUITECTURA

Componentes	
Servidor	NodeJS
Sistema Operativo	Multiplataforma: -OX, Windows, Linux.
Navegador	Mozilla, Chrome
Base de Datos	MongoDB
Lenguaje	Javascript
ORM	Mongoose
Frameworks	Backend: Express Frontend: Jade
Dispositivos	PC, Tablet, SmartPhone

En principio hay dos estructuras fundamentales, el "Cliente", el cual se encarga de visualizar y presentar toda la información obtenida del sistema, en esta estructura, basada en tecnología web, puede manejar el comportamiento general de la SmartGrid, o determinar el comportamiento en específico de cada MicroGrid; por otra parte se encuentra la estructura "Servidor", que a su vez se descompone en dos, el "Servidor - Cloud" y el "Servidor-Embebido". El primero hace referencia al motor en donde se almacena toda la información en la base de datos, permite recibir las concurrencias de miles de usuarios y de MicroGrids, esta determina el comportamiento de toda la red de manera general, es provista de la información suministrada por cada servidor-embebido (se encuentra instalado en cada uno de los MicroGrids), por ende este tiene una comunicación bidireccional con el servidor-cloud por medio de un socket el cual hace que la aplicación en general tenga la característica del tiempo real.

Cada Microgrid o Minigrad, posee un procesador basado en Raspberry Pi, el cual se encuentra instalado Raspbian como sistema operativo, y en él nuestra aplicación servidor-cloud, cuando este se conecta por un puerto directamente al servidor-cloud y comparten información, este último le dictamina a nuestro componente su comportamiento.

El servidor-cloud, es una aplicación que se encuentra corriendo en un cluster en CEDIA (Consorcio Ecuatoriano para el Desarrollo del Internet Avanzado), dentro de sus funcionalidades se destaca la presentación de la información al "Cliente", también comunicarse directamente con cada dispositivo que conforma la SmartGrid, además de tomar decisiones en todo nivel de la arquitectura.

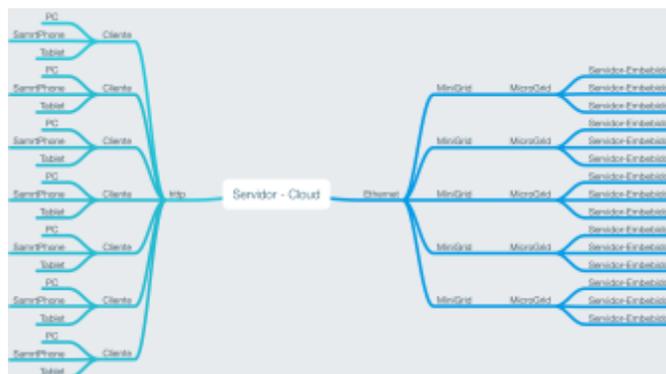


Fig. 11.- Topología de la aplicación.

La anterior figura, representa la topología de la aplicación, ejemplificando la cantidad de concurrencias y dispositivos conectados, además la forma de cómo se transmiten los datos, el corazón de la aplicación básicamente se centra en el "Servidor - Cloud", y tiene como objetivo claro el analizar todos los servidores embebidos para determinar un comportamiento colectivo en beneficio de la mejora energética

por medio de la activación o desactivación de cargas que administra el dispositivo TAD&P que componen la Minigríd.

Para hacer uso de la plataforma, se debe registrar, inmediatamente se crea una cuenta, en donde se registran por medio de un identificador único que genera automáticamente cada MicroGrid, este conjunto se reconoce como una minigríd, en donde se configura el comportamiento de cada uno de estos dispositivos y también se determina si estos generan o consumen energía, parámetro importante dentro de la arquitectura mencionada, todos ellos envían la información a la plataforma en donde se almacenan y se analizan para poder determinar ciertas características que estén en pro a la eficiencia energética.

El proyecto como tal se encuentra alojado en un repositorio en GitHub, bajo el nombre “SmartGridProject”, (<https://github.com/SmartGridProject>), con la intención de crear comunidad, su código es totalmente accesible.

VII. VENTAJAS DE LA ARQUITECTURA:

Dentro de este trabajo se han estudiado las ventajas de emplear una Intranet o Internet, ya que se puede tener acceso a la plataforma Web comentada previamente para permitir inclusive experimentación asíncrona y única, limitando el uso mediante un esquema de programación de tiempos de uso. De esta forma, la plataforma ofrece a los usuarios la posibilidad de controlar de forma remota las aplicaciones basadas en instrumentos virtuales, pudiendo aprovechar el sistema Smart-Grid los últimos adelantos tecnológicos del Internet.

Tal y como se puede ver en la fig. 9, correspondiente al funcionamiento de la aplicación desarrollada, se observa una respuesta en el tiempo de una de las señales captadas por la TAD&P, la cual en este caso se corresponde con la corriente consumida por una bombilla en kW/h. Es importante resaltar que se está ejecutando en un navegador web, en este caso Chrome, y que además este proceso se hace de forma remota, por lo que se puede decir que es un sistema telemétrico, con funciones de control, por lo que se puede esperar que un único proceso en el servidor pudiese atender aproximadamente 192.000 Micro-Grids. Si se tiene en cuenta que hay tres sistemas de estos por cada Mini-Grid, una cantidad considerable si la comparamos con otras tecnologías, en el caso de que la aplicación estuviese soportada por ‘Apache Tomcat’ el máximo de Micro-Grids disponibles serían 4.000, por lo que con la arquitectura aquí mostrada se dispone de 48 veces más de conexiones entrantes, siendo la principal razón que Tomcat no admite operaciones multihilo por conexión.



Fig. 12.- Aplicación en funcionamiento.

El administrador de esta aplicación, que en este caso podría ser la empresa eléctrica prestadora del servicio y quien altera el comportamiento global de la Smart-Grid, mientras que los usuarios ‘cliente del servicio’ de las Mini-Grids podrían acceder únicamente al alcance de su red, es decir, solamente se podrían activar o desactivar comportamientos preestablecidos para brindar el comportamiento de su Mini-Grid. De esta forma se puede tener una independencia en los sistemas y no atentar con la privacidad de los usuarios. Por otra parte es necesario resaltar que el ‘cliente’ también podría vender electricidad por medio de la inyección anteriormente mencionada.

Toda la información captada por cada Micro-Grid es almacenada en una Base de Datos no relacional ‘MongoDB’ en el servidor, con la finalidad de tener los históricos de cada Mini-Grid, lo cual permite poder analizar el comportamiento a lo largo del histórico de toda la Smart-Grid y así determinar el comportamiento de la red.

VIII. CONCLUSIONES

A modo de resumen y a partir de los desarrollos llevados a cabo en este trabajo, se ha podido observar que la implementación de los sistemas basados en Smart-Grids permiten la optimización del sistema eléctrico interconectado, evitando así pérdidas del sistema.

Así mismo, se puede concluir que la arquitectura desarrollada es única en su tipo, teniendo que ver la principal razón con la independencia que se tiene por parte de los usuarios y el grado de integrabilidad en la que ellos pueden acceder a la plataforma.

Se puede pensar que el sistema expuesto, implementado a gran escala, podría volverse peligroso y vulnerable por razones de seguridad e incluso si perdiesen la soberanía los gobiernos involucrados. Si bien esto puede ser en cierta manera real y latente, al ser una arquitectura escalable el usuario podría elegir el nivel de integración a la que se quisiese llegar y la magnitud de los datos a conectar, al pertenecer a un sistema en donde todos los elementos se encuentran interconectados por internet principalmente.

Así mismo, se ha observado que se deben crear instituciones que se dediquen de manera exclusiva al desarrollo y a la implementación de estos sistemas, pudiendo verse solventados ciertos problemas derivados de una crisis energética por el empleo de una red eléctrica como la que se propone, en donde sus pérdidas son controladas y minimizadas.

La dependencia tecnológica a la que se está sometido por la aceptación de tecnologías de terceros, cuyos objetivos son la venta y el mantenimiento de los equipos, atentan de manera directa los intereses sociales, por lo que el trabajo que aquí se presenta apunta a una equidad que permita una cierta independencia de las grandes empresas que manejan el sector eléctrico. Si bien es cierto que en países con una infraestructura eléctrica más compleja se dificulta la implementación de Smart-Grids de la forma que aquí se indica, dado que la integrabilidad se vería afectada al intervenir muchos sistemas, la implementación en países como Ecuador es altamente factible.

IX. LÍNEAS FUTURAS

Los sistemas Smart-Grids son un campo nuevo y cada vez más se están llevando a cabo investigaciones que permitan la mejora de estos sistemas, haciendo falta principalmente estudios que comprendan sistemas de seguridad para evitar ataques a nivel de los Micro-Grids.

Por otra parte, el trabajo más fuerte en estos momentos se basa en la estandarización de la arquitectura a usar ya que hoy en día, tal y como anteriormente se había notado, hay una variedad enorme de propuestas diferentes que deben tenerse en cuenta. Aunque es preciso definir una arquitectura que pueda satisfacer algunas de ellas, en el momento en que se acepte una de éstas, la factibilidad de la integración y los beneficios solo se verán en un medio-largo plazo. Así mismo, la optimización del sistema es un tema amplio que acarrea problemas mucho más complejos y difíciles de estudiar.

Por otra parte, es necesario concentrar los esfuerzos en la investigación de alternativas del direccionamiento del flujo eléctrico de tal forma que se permita hacerlo de forma mucho más individual y no tan colectiva.

En lo que respecta a la investigación expuesta, se seguirá trabajando en temas asociados a las capacidades de cómputo de las Micro-Grids y los servicios de la computación en la nube, todo ello con objeto de aumentar la arquitectura de una manera más robusta y eficiente.

Se quiere agradecer expresamente al Consorcio Ecuatoriano para el Desarrollo del Internet Avanzado (CEDIA), quien ha sido el que ha aportado los fondos para llevar a cabo esta investigación, al igual que los recursos computacionales empleados para la realización de las pruebas acometidas.

REFERENCIAS

- [1] Ecuador's tallest waterfall to be destroyed by Chinese dam <http://news.mongabay.com/2010/09/ecuadors-tallest-waterfall-to-be-destroyed-by-chinese-dam/>
- [2] Energías Renovables, Gobierno prevé aplicar redes inteligentes para restar pérdidas negras http://www.renewables2b.com/ahk_mexico/es/portal/geothermal/news/show/7321038e1dcc6273
- [3] What is Node.js? [closed]. <http://stackoverflow.com/questions/1884724/what-is-node-js>
- [4] Duque, M. (2015). Micro-Grid Platform based on NODE.JS architecture, Implemented in electrical network instrumentation, 2015, ICPF-095.
- [5] Stamp, J. (2014). Sandia National Laboratories, 2014, Microgrid Design Tools (MDT), 2014 Smart Grid R&D Program Peer Review Meeting.
- [6] Academia Journals, Lorandi Labs Ed.11, Vol 4, 2011, Los Laboratorios Virtuales y Laboratorios Remotos en la Enseñanza de la Ingeniería.
- [7] Chacón, R. (2002). La instrumentación Virtual en la Enseñanza de la Ingeniería Electrónica. Acción pedagógica, Vol 11, N°1/2002, pp. 74-84.
- [8] Quiles, F.J., Benavides, J.L., Moreno, A. Llamaza, R., Garcia, J.C., Ortiz, M.A. Unidad Docente Arquitectura de Ordenadores, EU. Politécnica, 14004 Córdoba. Puesto de Instrumentación Virtual Digital.
- [9] Adan, A., Fernández, F., Calle, A., Valdés, E. (2003). Estrategia para una instrumentación virtual de bajo costo con aplicaciones médicas. V Congreso de la Sociedad Cubana de Bioingeniería, Habana 2003.
- [10] León, G., Aguinaga, A. (2011). Simulación de Control y Monitores Vehicular Usando Tecnología GSM Como Medio de Transmisión. Escuela Politécnica Nacional. ISBN 978-9942-07-048-7.
- [11] Aguinaga, A., Ávila, C., Cando, E. (2014) A Multi-layer based architecture for the development of an open source CAD/CAM integration virtual platform". 3th International Conference on Mechanical Engineering and Mechatronics ICMEM 14, Praga República Checa, 2014. World Academy of Science Engineering and Technology. Publication type: Journals. ISSN 20103778, 2010376X
- [12] Stadler, M. (2014) Lawrence Berkeley National Laboratory, June 11 2014, Microgrid Design Toolset (MDT) Development, 2014 Smart Grid R&D Program Peer Review Meeting. Oak Ridge, TN 37831-6070
- [13] Department of energy, United States Of America 2014, The Future On The Grid, Envolving to Meet American's Needs. No. GS-10F-0103J, Subtask J3806.0002.
- [12] U.S. Department of Energy Office of Electricity Delivery & Energy Reliability 2012, Smart Grid Research & Development, Multi-Year Program Plan (MYPP), pp. 6 -22.
- [15] Official Web Page for NodeJS, <https://nodejs.org/en/>
- [16] How Microgrids Work, Energy. GOV website. <http://www.energy.gov/articles/how-microgrids-work>

Entorno de Control Implementado en una Smart-Grid como Alternativa de Ahorro Energético para el Ecuador

Mauricio Duque, MSc¹, Gregorio Romero, PhD²

¹Escuela Politécnica Nacional, Ecuador - mauricio.duque@epn.edu.ec

²Dpto. de Ingeniería Mecánica, Universidad Politécnica de Madrid, España - gregorio.romero@upm.es

Abstract– *En este trabajo se describe la implementación de una Smart-Grid eficiente en la red eléctrica Ecuatoriana, dados los altos costos de producción, el uso de hidrocarburos y la constante dependencia energética del país. Tal y como se indica, es necesario fomentar el uso de sistemas autónomos como el que se propone y que se puedan conectar a través de internet para obtener el control óptimo de la energía en cada hogar, disminuyendo así de manera directa el uso de hidrocarburos para la producción energética y evitando la dependencia de un recurso natural no renovable. Para ello y aunque es preciso la implementación de iniciativas legislativas que lo permitan llevar a cabo de forma efectiva, se expone el diseño de una plataforma web que permite la integración de múltiples tecnologías y que pretender servir como precursora para la instalación de una smart-grid en Ecuador.*

Keywords-- *SmartGrid, NodeJS, Raspberry Pi, Arduino, MiniGrid, MicroGrid, Smart-Car, Smart-Home, Renewable energy.*

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad las redes eléctricas no están diseñadas para cubrir y satisfacer necesidades como un flujo bidireccional, tener menores pérdidas en la red y más homogeneidad, y además son carentes de eficiencia, no tiene un sistema retroalimentado y poca interacción con el usuario.

Las Smart-Grid son un sistema autónomo, eficiente y optimizado, con la capacidad de tomar decisiones que beneficien tanto al usuario como a la empresa generadora del servicio (en teoría). Dichos sistemas permiten la integración de múltiples tecnologías, las cuales tienen que interactuar entre sí, con el objetivo de optimizar el uso energético en micro-sistemas, como por ejemplo las Smart-Home, Smart-Car, Renewable Energy, Consumer Engagement, Operation Centers, Distribution Intelligence, Plugins, entre otros, que juntos forman un sistema Smart-Grid que tiene como objeto la mejora de la eficiencia del uso de la electricidad.

A diferencia de las tendencias actuales, cuyo control está dado por un solo sistema redundante, el cual administra todos los dispositivos conectados a la red, dirige sus funciones aunque no su calidad; por el contrario la Smart-Grid provee un conjunto de sistemas independientes entre sí, interconectados a través de una red, con la capacidad de controlar de manera muy puntual ciertos procesos, pero con la eficiencia necesaria para actuar bajo un mismo principio y que es ‘La Optimización’.

A partir del estudio particularizado de la situación energética en Ecuador, se presenta un sistema de control para ser implementado con objeto de mejorar la calidad eléctrica de las redes actuales, proponiendo una arquitectura abierta, escalable e implementable a mediano y largo plazo. Para conseguir tal fin se ha procedido a diseñar una arquitectura escalable basada en la computación en la nube y que permita la gestión de datos provenientes de diferentes dispositivos conectados en red, determinando el comportamiento de la Smart-Grid como un sistema autónomo. Así mismo, se ha planteado una solución para minimizar las pérdidas ocasionadas por transmisión, distribución y desperdicio eléctrico generado por la mala utilización del recurso energético y las limitaciones de la red eléctrica actual. Por último, se ha perseguido diseñar una arquitectura SW que permita la adquisición de datos en tiempo real, que sea implementado en la web, y que además sea capaz de administrar datos en alta cantidad y el monitoreo de cada minigrid y microgrid.

II. SITUACIÓN ACTUAL A NIVEL MUNDIAL

Países como Estados Unidos de América ha identificado en el pasado más de 75 normativas para la implementación de sistemas basados en Smart-Grids por medio de la transformación de la actual red eléctrica a través del National Institute of Standards and Technology (NIST). Esta institución es la que está encargada de llevar la investigación para proponer los estándares necesarios en el tema referente de los Smart-Grids, mientras que el Departamento de Energías de los Estados Unidos de América (DOE) es quién se encarga de hacer las ayudas de inversión, incentivos y las garantías en los prestamos para que se pongan en marcha los proyectos relacionados con los Smart-Grids.

De igual forma, la Unión Europea está haciendo algo parecido, habiendo identificado a través del Comité Europeo de Normalización (CEN), el Comité Europeo de Normalización Electrotécnica (CENELEC) y el instituto Europeo de Telecomunicación (ETSI) en torno a 110 estándares y arquitecturas diferentes que pueden ser implementadas en redes inteligentes. Lo más relevante es que la visión de una arquitectura abierta posiciona al medidor inteligente como un dispositivo central en el hogar.

Digital Object Identifier (DOI): <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2016.1.1.252>

ISBN: 978-0-9822896-9-3

ISSN: 2414-6390

14th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: “Engineering Innovations for Global Sustainability”, 20-22 July 2016, San José, Costa Rica.

Sin embargo, el enfoque de países como Japón es un poco diferente ya que centran sus esfuerzos más en la implantación de energías renovables y en la disminución de la huella de carbono, por lo que su objetivo es la reducción de las emisiones de dióxido de carbono en un 25% para el 2020,

De igual forma, la inversión en China va enfocada en la realización de redes con características de robustez, con mayor capacidad, más confiables, eficientes, y que pueda integrar energías renovables, para lo cual el gobierno chino aprobó en el periodo 2009-2010 un incentivo de \$586.000 millones de dólares para la inversión a gran escala en materia de vivienda de bajos ingresos, agua, electricidad e infraestructura, que estén enfocados a la energía renovable y eficiente.

Tal y como se observa, cada país tiene su propio enfoque y necesidades, lo que hace que la postulación de una arquitectura que sea totalmente abierta, accesible y relativamente económica resulta del todo viable. Como consecuencia de ello surge la pregunta de cómo hacerlo, siendo éste un punto de inflexión a nivel mundial en donde no se llega a ningún acuerdo.

III. SITUACIÓN ENERGÉTICA EN ECUADOR

Del consumo total energético del Ecuador, el 66,6% es energía desperdiciada y apenas el 36% de la producción eléctrica es aprovechada, siendo el otro 64% energía que se pierde por múltiples factores, entre estos por la ineficiencia energética en los hogares y las largas distancias de transmisión debido a que la mayoría de la generación está lejana a las urbes. Además, también se depende de factores climáticos para la producción, como es el caso del caudal de los ríos, el cual puede escasear en tiempos secos. Por tanto, se puede resumir en que se podría alimentar otro país de las mismas dimensiones de Ecuador únicamente con la energía que se desperdicia, razón por la cual se observa gran potencial para la introducción de la tecnología que se trata en este trabajo.

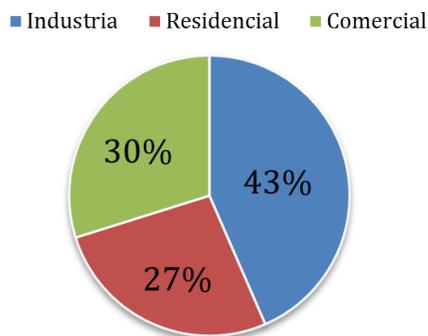


Fig. 1.- Distribución eléctrica por sector en el Ecuador.

En la figura anterior se puede observar la participación de cada sector en el consumo eléctrico, residiendo la mayor dificultad principalmente en el sector industrial dada su variada naturaleza y la diferencia que existe entre sus procesos, por lo que encontrar una medida que se apege a cada una de ellas y que sea general es difícil de implementar. Dichos datos se han tomado a partir del “Balance Energético Nacional 2013”.

Se puede considerar que Ecuador tiene un alto potencial para la implementación de las Smart-Grid, principalmente por su reciente cambio de la matriz energética, en donde se espera poder generar más energía eléctrica, evitando así la necesidad de su importación, la cual en el año 2006 representó mil millones de dólares. Para ello y con el objeto de suplir las necesidades energéticas que requiere el país, se han construido diferentes hidroeléctricas, las cuales se esperan que generen 8.740 MW y entrarán en funcionamiento en el presente año. De continuar con estas aspiraciones, Ecuador debe tener en cuenta un sistema que le permita minimizar las pérdidas, lo cual repercutirá directamente en la capacidad de exportación energética al optimizar el uso de la energía eléctrica consumida en cada hogar.



Fig. 2.- Hidroeléctrica de Manduriacu de 65MW (Río Guayllabamba, Ec.)

Matthew Terry, de la Napo River Foundation, expone los graves impactos y la desmesurada afectación al medio ambiente que provoca este cambio energético en el Ecuador, propiciado por las políticas gubernamentales, principalmente por el Megaproyecto hidroeléctrico de Coca-Codo Sinclair, que aspira producir 1.500 MW. Según el Sr. Terry resulta un objetivo difícil de alcanzar, ya que según estudios que datan de los años ochenta daban por inviable un proyecto de tal magnitud, ya que los caudales del río Coca no pueden suplir tal demanda energética. Así mismo, el estudio predice la generación como máximo de 800 MW, aunque sin embargo el gobierno local prosiguió con el Proyecto, lo cual demuestra los intereses de particulares sobre temas tan delicados como es el de la generación eléctrica, la cual debe ser de interés social y no solo de algunas minoría. El mismo panorama se presenta no solo en el proyecto de Coca-Codo Sinclair, sino también en los otros siete proyectos que se están desarrollando en el Ecuador (Minas San Francisco, Deleitaniagua, Manduriacu, Mazar Dudas, Toachi Pilatón, Quijos y Soplador [1]).

No solamente el problema se presenta en centrales hidroeléctricas, sino también en termogeneradoras, plantas solares o fotovoltaicas que requieren de grandes extensiones de terreno, lo que afecta directamente la fauna y flora local, todo ello sin contar que su producción se ve afectada directamente por la radiación solar de la zona y sin hacer mención al tema de las plantas termonucleares, que es aun un problema mucho mayor de analizar.



Fig. 3.- Proyecto Eolico Villonaco (Loja, Ec.)



Fig. 4.- Central fotovoltaica (Paragachi, Ec.)

En consecuencia, ningún tipo de generación eléctrica produce un impacto positivo sobre el ecosistema, de mayor o menor grado, existiendo una afectación y por consiguiente la generación de desechos y daños sobre el medio ambiente. Lastimosamente, se piensa sólo en el hecho de aumentar la capacidad eléctrica para suplir las pérdidas ocasionadas por múltiples factores, como son la transmisión y distribución. Por este motivo la mejor manera de no generar un impacto es precisamente implementando sistemas como el que se presenta, el cual puede ser instalado en las propias urbes, no habiendo de esta forma una modificación del ecosistema.

Este punto anterior es a partir de lo cual se justifica el uso de una SmartGrid y el principal planteamiento que se aborda en este trabajo. En primer lugar, en este documento se propone la utilización de los tejados de todas las construcciones de las urbes tengan algún tipo de generación eléctrica, tales como paneles fotovoltaicos, generadores eólicos y microturbinas, los cuales permitan la inyección directa a la red eléctrica, y no la necesidad de ser almacenada en grandes bancos de baterías. De igual forma, en segundo lugar se propone redistribuir dicha

energía a lugares con mayor demanda, abaratando así los costos de almacenamiento de energía.

Ecuador apunta a la eficiencia energética a través del uso de redes inteligentes, las cuales permiten al distribuidor mantener un absoluto monitoreo del flujo energético y de los elementos que conforman la red de energía, todo ello con el fin de conocer siempre y en todo lugar de qué manera se consume la energía eléctrica que se produce, evitar pérdidas en la distribución de energía y tener alertas sobre posibles fallos que se puedan originar en las líneas de transporte entre los sistemas de producción de energía y el consumidor final. La característica del sistema permite incluso garantizar la distribución ininterrumpida de energía eléctrica y evitar suspensiones del servicio mediante el uso de un entramado de subestaciones eléctricas. Para alcanzar este objetivo en un plazo de 20 años se está trabajando multisectorialmente en un proyecto de eficiencia energética entre el Ministerio de Electricidad, el Centro Nacional de Control de Energía (CENACE) y el Consejo Nacional de Electricidad (CONELC), para lo cual se está llevando a cabo una hoja de ruta según Gabriel Arguello, director ejecutivo del CENACE.

Aunque en el país se implementan sistemas de Smart-Grid, esta tecnología está particularmente disponible para países de primer nivel y de gran poder económico, excluyendo de cierta manera a países con un nivel económico menor. Igualmente la tecnología propietaria, como lo es el caso de Huawei Technologies Co., en caso de llegarse a darse el megaproyecto que el gobierno ecuatoriano pretende, tiene la gran desventaja de crear una dependencia tecnológica y estar sujetos a los alineamientos de la empresa propietaria del sistema, lo que significa políticas industriales beneficiosas para la empresa pero no asegura necesariamente el desarrollo industrial del Ecuador.

Para dar solución a estos problemas, lograr situar al Ecuador en un país pionero en la implementación y desarrollo de tecnologías orientadas a los sistemas SmartGrid, y suplir de forma progresiva y sistemática la necesidad de Ecuador de generar, adaptar, difundir y desarrollar tecnologías en un proceso de desagregación tecnológica e ingeniería inversa, de tal forma que todo ello conduzca a procesos de innovación industrial y de esta manera se impulse la producción nacional, eleve la eficiencia y productividad y aporte de esta manera, en forma real y tangible, al cambio de la matriz productiva, se debe pensar en políticas que promuevan el desarrollo local y su implementación.

Tal y como se verá en este trabajo, la propuesta se basa en principios de interés común, los cuales son el empleo de una arquitectura abierta, tanto en HW como en SW, componentes relativamente de bajo costo y sistemas de integración comerciales, como son los paneles solares y que en los últimos años ha bajado su coste considerablemente.

IV. MICRO-GRID, MINI-GRID Y SMART-GRID

Los denominados ‘Micro-Grid’ son un conjunto de pequeños instrumentos, capaces de monitorear, analizar, actuar y comunicarse con otros elementos que se encuentran conectados todos a una misma red. A modo de ejemplo, se puede considerar un luxómetro (medidor de luminosidad) como elemento principal para medir la luz de una habitación, y en torno a éste un sensor de presencia; ambos componentes forman parte del mismo sistema, el cual envía la información directamente a la red, aunque por sí mismo no puede decidir si apagar o encender la luz, estas maniobras las aclararemos en las siguientes definiciones.

Por otra parte, una ‘Mini-Grid’ es un conjunto de Micro-Grids interconectadas, unas especializadas en ejercer acciones sobre un sistema y otras en observar el comportamiento de un sistema. En este caso y como continuación del ejemplo anterior, se puede considerar que fuera del dispositivo que contiene el luxómetro y el sensor de presencia hay otro más que puede actuar para encender y apagar una luz u otra, y por tanto administrar el comportamiento del sistema.

En último lugar, una ‘Smart-Grid’ es un conjunto de miles de Mini-Grids, interconectadas todas entre sí, y su principal función es monitorizar, analizar y determinar el comportamiento de cada una de las Mini-Grids con la finalidad de poder mejorar el funcionamiento eléctrico de toda una zona o red eléctrica [3]. En este caso, si se considera que la Smart-Grid recibe los datos proporcionados por el dispositivo medidor de luz y de presencia, estos datos viajan por la red (Internet), llegan a la plataforma web propuesta y ésta se encarga de determinar si debe o no encender la luz; en caso de determinarse que debe hacerlo enviaría la información necesaria, para que ésta fuese atendida por el elemento actuador y, por consiguiente, se encendiese la luz.

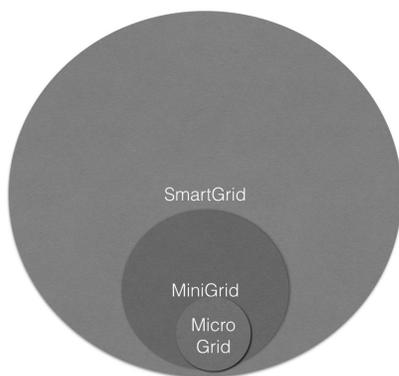


Fig. 5.- Diagrama básico de una estructura SmartGrid.

No obstante, las Smart-Grids conllevan una serie de ventajas y desventajas en la actualidad, tal y como se indica a continuación:

VENTAJAS

- 1) Elevados costes en su implementación a nivel estatal
- 2) Redes eléctricas obsoletas
- 3) Bajos precios en la producción eléctrica por parte de los entes controladores
- 4) Desviación del factor de potencia, corrientes de fuga, corrientes de fualcalt y corrientes parásitas son algunos parámetros no penalizados por las empresas eléctricas en algunos países, más aun en el sector doméstico
- 5) Falta de incentivos por parte de los gobiernos para promover el uso de este tipo de tecnologías
- 6) Poca estandarización de los productos que componen esta tecnología
- 7) Coste de los equipos necesarios para su implementación
- 8) Infraestructuras urbanas complejas
- 9) Interés de la industria eléctrica en la generación venta y distribución, independientemente de si la red genera pérdidas o no
- 10) Carencia de estándares internacionales, teniendo cada país una filosofía y normativas diferentes

DESVENTAJAS:

- 1) Existencia de redes eléctricas interconectadas a lo largo del planeta
- 2) Disminución de los cortes del suministro eléctrico
- 3) Estabilización de la frecuencia de la red
- 4) Automatización de algunos procesos

IV. METODOLOGÍA E IMPLEMENTACIÓN

La propuesta contiene por un lado el desarrollo de una plataforma web, con la implementación de un sistema virtual, en donde se pueda realizar la instrumentación y la medición de variables eléctricas, todo ello con la finalidad de realizar un control distribuido a partir del uso de micro-grids y con la intención de proponer una alternativa de optimización de los recursos energéticos. Así mismo, se sugiere el uso de dispositivos de bajo costo, los cuales podrían soportar las intenciones antes mencionadas. Ambas propuestas conforman un diseño básico para el desarrollo e implementación de una Smart-Grid. A su vez, la plataforma virtual será soportada por las capacidades de cómputo del Consorcio Ecuatoriano para el Desarrollo del Internet Avanzado (CEDIA), los cuales brindaran los servicios de servidor, en donde se encuentra alojada la aplicación.

La aplicación contará con las siguientes características, siendo los beneficiarios del sistema los ecuatorianos, aunque se pretende que en el corto plazo se involucre una comunidad internacional en el uso y actualización del sistema:

- 1) Interfaz en donde el usuario puede crear un panel de instrumentación para realizar el monitoreo de variables críticas (temperatura, humedad, corriente y voltaje eléctrico, entre otras).
- 2) Comunicación bidireccional y local con un prototipo de placa HW para el control y automatización.
- 3) Comunidad en torno al desarrollo de la plataforma, con la intención de darle mantenimiento y soporte.

El elemento correspondiente al instrumento de control debe realizar las cuatro funciones básicas (adquisición, análisis, presentación de datos y principalmente control), aunque permitirá personalizarse y agregarle mucha más funcionalidad sin incurrir en costos adicionales, por lo que podrá brindar una o más mediciones de un mismo fenómeno físico.

Tal y como se ha indicado previamente, algunos de los beneficios que ofrece la integración del sistema Smart-Grid propuesto es la flexibilidad, el bajo costo de mantenimiento, la reusabilidad, la personalización de cada instrumento, la rápida incorporación de nuevas tecnologías, y el bajo costo por función y por canal. Principalmente el mayor impacto que esta tiene sobre la industria energética ha sido la aparición de los términos “automatización flexible”, lo cual implica una sinapsis entre diferentes elementos que actúan sobre una grid y que pueden tener una incidencia dependiendo del comportamiento de diferentes variables.

Usualmente la industria tiene ciertos estándares para la adquisición de estas señales; así pues, casi siempre la transducción de un fenómeno se lleva a una normalización analógica de 4-20 mA ó de 0-10 V. En la actualidad, con la miniaturización de los componentes electrónicos, los instrumentos encapsulan más funcionalidades, entre ellas comunicación digital, siendo los más comunes RS-232, RS-485, lo que conlleva a la aparición de protocolos, modbus, profibus, ethernet, entre otros, los cuales brindan criterios de estandarización en la industria. Sin embargo, dicha estandarización es casi nula a nivel doméstico, principalmente debido a la variabilidad de los productos y el país donde se encuentre ubicado.

Por todas estas razones se proponen la adaptación de algunos estándares industriales. El primero de ellos es el correspondiente a la adquisición de las señales, la cual debe ser 4-20mA, siendo la razón principal la de permitir la seguridad de la medida y detección de la señal, ya que puede llegar el caso de que se estropee el sensor e interese poder

detectar este hecho, advirtiendo de manera inmediata al sistema. Así mismo, por parte del voltaje es necesario ser un poco más flexibles y permitir un rango multivoltaje de 110 a 220 voltios en alterna, neutro más fase o bifásica, y una frecuencia de 50/60 Hz. Finalmente, en los protocolos de comunicación se empleará el estándar universal Ethernet TC/IP, empleando también red Wifi bajo el mismo protocolo.

V. TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS Y PROCESOS

Una vez descritas en la sección anterior determinadas características de los dispositivos a tener en cuenta, si es preciso crear un elemento para poder conectarlos entre si y que se adapte a distintas necesidades, por lo que se han considerado varias a tener en cuenta para su desarrollo:

- 1) Conexión a internet
- 2) Suficientemente robustez para soportar ambientes agresivos
- 3) Procesamiento de señales (analógicas o digitales) provenientes de la adquisición de datos del medio (instrumentación)
- 4) Facilidad de construcción
- 5) Capacidad de control de variables (encendido y apagado de elementos o dispositivos)

El dispositivo que se desarrollará consistirá en una Tarjeta de Adquisición de Datos y Procesos (TAD&P), para lo cual ha sido preciso realizar su diseño bajo los siguientes parámetros:

- 1) Únicamente se podrán soportar entradas 0 a 12 voltios y estarán opto-aisladas.
- 2) Las salidas serán por relé y sólo se contará con 6 de ellas
- 3) La placa no poseerá fuente de alimentación
- 4) La placa dependerá de una conexión al PC para poder llevar a cabo la transmisión de datos.
- 5) Solo se aceptarán 4 entradas analógicas de 0 a 5 voltios (los estándares industriales son de 4-20mA)
- 6) No poseerá salidas analógicas
- 7) No poseerá reloj (timer).
- 8) Estará basada en un Arduino UNO, lo cual limitará la capacidad de procesamiento ya que emplea un microcontrolador ATmega168, por lo que las pretensiones que se tienen en el desarrollo de la placa será muy conservador
- 9) No se empleará parte del espacio de la placa

La razón principal por la que se ha basado la fabricación de este prototipo en la arquitectura del Arduino UNO es básicamente porque se trata de un dispositivo de arquitectura abierta, que posee una comunidad bastante grande y activa, y porque se presta muy bien al desarrollo de este tipo de proyectos.

Dichos parámetros son un poco reservados, siendo la principal razón que se trata de un prototipo inicial (version 1.0), tal y como se muestra en la fig. 6 y se debía asegurar los objetivos principales, los cuales son la adquisición de datos, la transmisión de la información y la acción sobre los elementos a controlar.

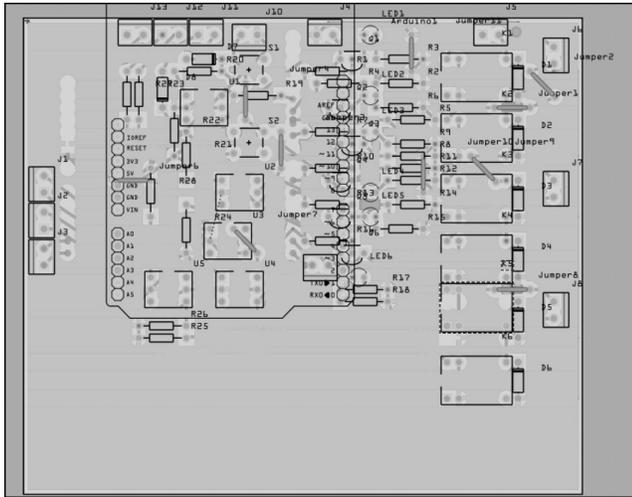


Fig. 6.- Diseño de la primera versión del dispositivo

Al desarrollar este primer diseño se detectaron una serie de problemas asociados, principalmente asociados al tamaño de placa principal de la TAD&P, el cual es muy grande. En comparación con las capacidades que tiene el componente, dado que su diseño está basado en mono-capa (single-layer), sólo se pueden poner pistas superficiales en un único lado de la cara de la placa, por lo que se requiere mucha más área superficial para fijar los componentes.

Tras el análisis del primer prototipo se llevó a cabo una segunda versión de la placa (fig. 7), para lo cual se tomaron algunos puntos a tener en cuenta para la mejora de la misma. En primer lugar se intentó compactar más el tamaño de la placa principal de la TAD&P mediante la reducción de las pistas conductoras y en segundo lugar se centró la placa con el Arduino UNO para que ambas tuviesen dimensiones similares, obteniéndose la reducción de su tamaño en torno a un 15% con respecto a la primera versión. Por otra parte, en esta versión se logró la incorporación de un microprocesador basado en la tecnología Raspberry Pi, la cual tiene detrás una comunidad igual de activa que en el caso de Arduino y además conlleva una simplificación del problema detectado.

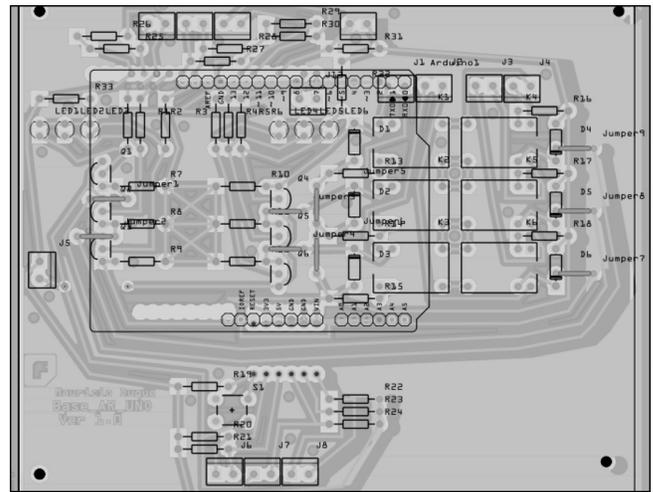


Fig. 7.- Diseño de la segunda versión del dispositivo

Para llevar a buen término el desarrollo de la placa, ésta se ha dividido en dos componentes. El primero de ellos es el asociado al control y el segundo a la comunicación, de tal forma que se logró que fuese un sistema distribuido. La principal razón de esto anterior es debido a los tiempos de ejecución de las instrucciones y con objeto de evitar realizar dentro del microcontrolador demasiados procesos que no tengan que ver con su función principal, la cual es la de controlar.

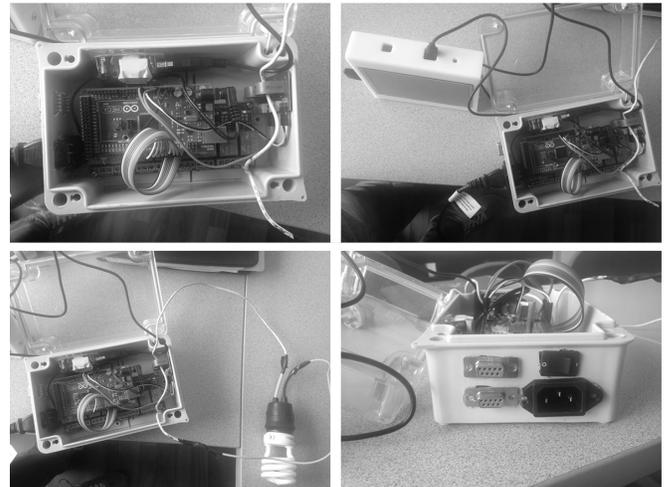


Fig. 8.- Prototipo funcional de TAD&P (segunda versión)

La figura anterior muestra varias imágenes del primer prototipo funcional de la TAD&P desarrollado, el cual consta de un controlador basado en el uso de un Arduino Mega 2560 y un Raspberry Pi, así como las fuentes que alimentan a ambos dispositivos, pudiéndose conectar a este dispositivo sensores normalizados con señales de salida en los rangos 4-20 mA y 0-5V, sensores digitales con protocolos de comunicación RS-232 y Ethernet TCP/IP, actuadores correspondientes tanto a relés como a aquellos que se accionan por PWM, y salida analógica.

A partir de la incorporación del Raspberry PI a la TAD&P ésta dejó de ser un simple dispositivo de adquisición y control, convirtiéndose en un Micro-Grid con todas las funcionalidades necesarias para ejercer un control autónomo sobre diferentes variables, tales como la temperatura, humedad, luminosidad o consumo energético de manera controlada por el usuario bajo parámetros establecidos o de manera independiente a través de una plataforma Web, convirtiéndose parte de la Smart-Grid cuyo comportamiento es soportado por el cambio de las variables en la red eléctrica de la que forma parte.

A diferencia de otras tecnologías actuales presentes en el mercado o en desarrollo que trabajan de forma independiente de una a otras, el dispositivo que aquí se presenta es un conjunto de elementos que permiten la interacción con el medio, que se comunican unos a otros por medio de la aplicación web y que interviene en el funcionamiento de forma global o particular, afectando dicho comportamiento desde niveles de interés particular hasta la afectación a la sociedad en general. Como consecuencia de la implementación masiva de esta disposición arquitectónica de los componentes expuestos en la página anterior se podría activar o desactivar la inyección energética por sectores en una urbe o de un país, pasando a niveles más altos. De hecho, el mismo componente de Micro-Grid podría servir para dar orden a las centrales distribuidoras del servicio eléctrico acerca del flujo óptimo de electricidad, beneficiando a sectores críticos de la sociedad, como es el caso de hospitales, clínicas, estaciones de servicio e incluso al sector industrial.

Fuera de las características mencionadas anteriormente, la TAD&P posee dos circuitos, uno toma lecturas de voltaje que ingresan a la MiniGrid, y el otro analiza el amperaje, este ultimo se encuentra instalado en las salidas de la tarjeta, lo que permite tomar datos en el dominio de la corriente de cada dispositivo administrado por la MiniGrid; en conjunto estos dos circuitos juegan un papel muy importante en el momento de determinar el comportamiento energético del sistema, de esta forma es imprescindible que cada componente se pueda monitorear de manera independiente.

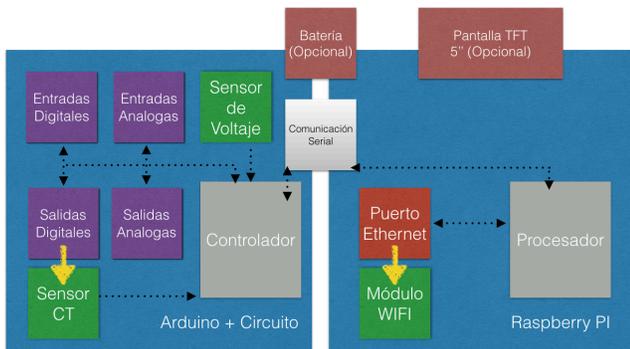


Fig. 9.- Componentes de la TAD&P.

La anterior figura, presenta las características físicas de la TAD&P, la cual esta dividida en dos partes: el controlador, el cual contiene el Arduino y un circuito que cumple varias funciones: aislar, normalizar las entradas y salidas, verificar las condiciones energéticas; la segunda parte, es referente al procesador, que posee un módulo Ethernet, cuya finalidad es enviar la información a la aplicación; es necesario establecer que también se encarga de realizar tramas y de alojar una parte del servidor que ejecuta acciones administrativas de la MicroGrid.

La siguiente figura, muestra los programas que se encuentran corriendo en la TAD&P, tanto en la parte del Controlador, como la parte del procesador, dentro de estos algoritmos se destaca las seguridades implementadas para la escritura y lectura sobre los puertos los cuales son la ultima línea entre la arquitectura SmartGrid y la funcionalidad, por ende se establecen reglas rigurosas para el accionamiento de cada una de ellas; por otra parte, con la intención de proveer velocidad de respuesta y una especificación clara de funcionalidades, el programa que se ejecuta en el lado del controlador es grabado directamente en memoria, función que realiza el procesador cada vez que sea necesario a razón de alguna modificación por parte del requerimiento de la SmartGrid.

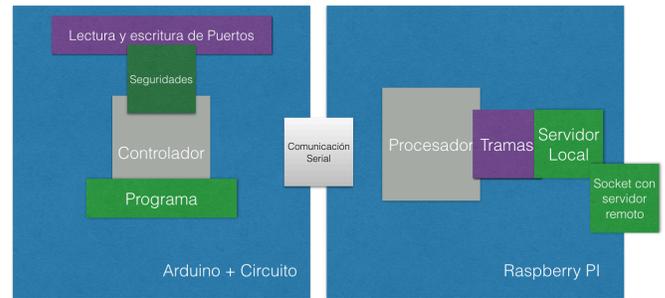


Fig. 10.- Programas corriendo en la TAD&P.

Para que el sistema que aquí se expone sea completo y cumpla los objetivos planteados por la investigación es necesario la creación de una plataforma escalable, basada en la computación en la nube y que permita el monitoreo general de las Mini-Grids que se encuentran en funcionamiento a lo largo de la Smart-Grid, describiéndose a continuación las características de la aplicación Web (Punto VI).

VI. PLATAFORMA WEB

Hoy en día el uso del lenguaje de programación JavaScript es ampliamente usado en aplicaciones de tipo Web, aunque hasta no hace mucho era poco adoptado seriamente. En el año 2009 apareció una herramienta muy potente llamada "NODE-JS", creada por Ryan Dahl, poco después es apadrinada por la empresa Joyent, la cual permite que las aplicaciones creadas bajo esta arquitectura se ejecuten en

tiempo real, volviéndose dinámicas las aplicaciones web. De esta forma se pueden obtener datos en tiempos increíbles y un número de conexiones entrantes al servidor mucho mayor que con servidores convencionales. Si bien JavaScript no era un lenguaje altamente respetado en la comunidad de desarrollo, principalmente por su sencillez, hoy en día esta situación ha cambiado, siendo hoy en día las aplicaciones web basadas en la presente tecnología ampliamente demandadas.

NodeJS es por tanto un entorno de programación que permite hacer potentes sistemas, proveyendo toda la infraestructura necesaria para llegar a los propósitos planteados en este trabajo, dentro de los cuales se encuentran las siguientes características:

- 1) Ejecución en el servidor, PC e incluso Smartphone.
- 2) Compatibilidad con diferentes sistemas operativos.
- 3) Aprovechamiento del motor V8 de Chrome.
- 4) Programación asíncrona.
- 5) Programación orientada a objetos y a eventos (POE).
- 6) Aplicación en tiempo real
- 7) Uso de código libre (OpenSource).
- 8) Empleo del mismo lenguaje tanto para el cliente como para el servidor (Back and Front end).
- 9) Posibilidad de integración HW.

Dentro de sus ventajas con respecto a otras tecnologías, crea un solo hilo de proceso para todos los clientes, lo que permite más de 64.000 conexiones de forma simultánea, siendo ésta característica la verdadera razón por la que se ha dedicado usar esta tecnología para llevar a cabo el proyecto. En la realidad van a estar conectadas miles de Mini-Grids y Micro-Grids a la plataforma, enviando millones de datos por segundo, y si se considerase un servidor común como puede ser 'Apache', éste estaría saturado en pocas horas y no cumpliría con las expectativas que aquí se plantean.

Dentro de la plataforma se tiene la siguiente estructura, que menciona los componentes usados dentro de la aplicación.

TABLA I
COMPONENTES DE ARQUITECTURA

Componentes	
Servidor	NodeJS
Sistema Operativo	Multiplataforma: -OX, Windows, Linux.
Navegador	Mozilla, Chrome
Base de Datos	MongoDB
Lenguaje	Javascript
ORM	Mongoose
Frameworks	Backend: Express Frontend: Jade
Dispositivos	PC, Tablet, SmartPhone

En principio hay dos estructuras fundamentales, el "Cliente", el cual se encarga de visualizar y presentar toda la información obtenida del sistema, en esta estructura, basada en tecnología web, puede manejar el comportamiento general de la SmartGrid, o determinar el comportamiento en específico de cada MicroGrid; por otra parte se encuentra la estructura "Servidor", que a su vez se descompone en dos, el "Servidor – Cloud" y el "Servidor-Embebido". El primero hace referencia al motor en donde se almacena toda la información en la base de datos, permite recibir las concurrencias de miles de usuarios y de MicroGrids, esta determina el comportamiento de toda la red de manera general, es provista de la información suministrada por cada servidor-embebido (se encuentra instalado en cada uno de los MicroGrids), por ende este tiene una comunicación bidireccional con el servidor-cloud por medio de un socket el cual hace que la aplicación en general tenga la característica del tiempo real.

Cada Microgrid o Minigrid, posee un procesador basado en Raspberry Pi, el cual se encuentra instalado Raspbian como sistema operativo, y en él nuestra aplicación servidor-cloud, cuando este se conecta por un puerto directamente al servidor-cloud y comparten información, este ultimo le dictamina a nuestro componente su comportamiento.

El servidor-cloud, es una aplicación que se encuentra corriendo en un clouster en CEDIA (Consortio Ecuatoriano para el Desarrollo del Internet Avanzado), dentro de sus funcionalidades se destaca la presentación de la información al "Cliente", también comunicarse directamente con cada dispositivo que conforma la SmartGrid, además de tomar decisiones en todo nivel de la arquitectura.

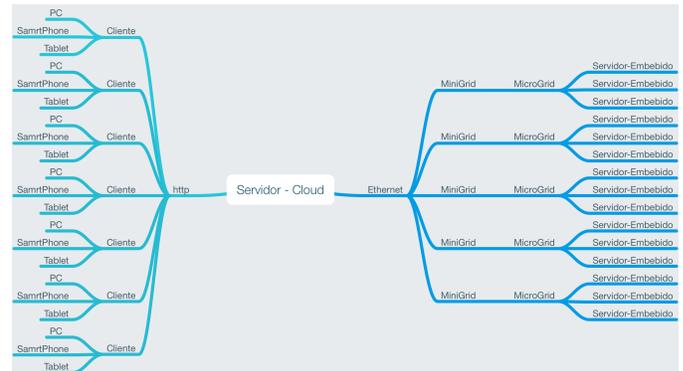


Fig. 11.- Topología de la aplicación.

La anterior figura, representa la topología de la aplicación, ejemplificando la cantidad de concurrencias y dispositivos conectados, además la forma de cómo se transmiten los datos, el corazón de la aplicación básicamente se centra en el "Servidor – Cloud", y tiene como objetivo claro el analizar todos los servidores embebidos para determinar un comportamiento colectivo en beneficio de la mejora energética

por medio de la activación o desactivación de cargas que administra el dispositivo TAD&P que componen la Minigríd.

Para hacer uso de la plataforma, se debe registrar, inmediatamente se crea una cuenta, en donde se registran por medio de un identificador único que genera automáticamente cada MicroGrid, este conjunto se reconoce como una minigríd, en donde se configura el comportamiento de cada uno de estos dispositivos y también se determina si estos generan o consumen energía, parámetro importante dentro de la arquitectura mencionada, todos ellos envían la información a la plataforma en donde se almacenan y se analizan para poder determinar ciertas características que estén en pro a la eficiencia energética.

El proyecto como tal se encuentra alojado en un repositorio en GitHub, bajo el nombre “SmartGridProject”, (<https://github.com/SmartGridProject>), con la intención de crear comunidad, su código es totalmente accesible.

VII. VENTAJAS DE LA ARQUITECTURA:

Dentro de este trabajo se han estudiado las ventajas de emplear una Intranet o Internet, ya que se puede tener acceso a la plataforma Web comentada previamente para permitir inclusive experimentación asíncrona y única, limitando el uso mediante un esquema de programación de tiempos de uso. De esta forma, la plataforma ofrece a los usuarios la posibilidad de controlar de forma remota las aplicaciones basadas en instrumentos virtuales, pudiendo aprovechar el sistema Smart-Grid los últimos adelantos tecnológicos del Internet.

Tal y como se puede ver en la fig. 9, correspondiente al funcionamiento de la aplicación desarrollada, se observa una respuesta en el tiempo de una de las señales captadas por la TAD&P, la cual en este caso se corresponde con la corriente consumida por una bombilla en kW/h. Es importante resaltar que se está ejecutando en un navegador web, en este caso Chrome, y que además este proceso se hace de forma remota, por lo que se puede decir que es un sistema telemétrico, con funciones de control, por lo que se puede esperar que un único proceso en el servidor pudiese atender aproximadamente 192.000 Micro-Grids. Si se tiene en cuenta que hay tres sistemas de estos por cada Mini-Grid, una cantidad considerable si la comparamos con otras tecnologías, en el caso de que la aplicación estuviese soportada por ‘Apache Tomcat’ el máximo de Micro-Grids disponibles serían 4.000, por lo que con la arquitectura aquí mostrada se dispone de 48 veces más de conexiones entrantes, siendo la principal razón que Tomcat no admite operaciones multihilo por conexión.

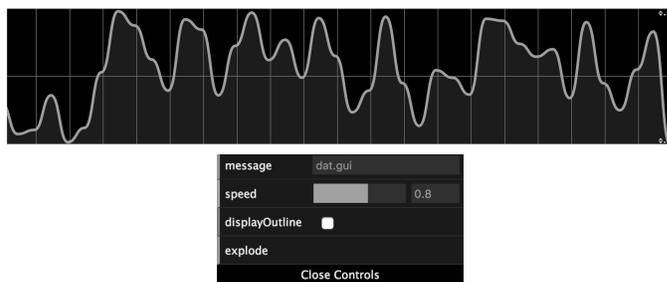


Fig. 12.- Aplicación en funcionamiento.

El administrador de esta aplicación, que en este caso podría ser la empresa eléctrica prestadora del servicio y quien altera el comportamiento global de la Smart-Grid, mientras que los usuarios ‘cliente del servicio’ de las Mini-Grids podrían acceder únicamente al alcance de su red, es decir, solamente se podrían activar o desactivar comportamientos preestablecidos para brindar el comportamiento de su Mini-Grid. De esta forma se puede tener una independencia en los sistemas y no atentar con la privacidad de los usuarios. Por otra parte es necesario resaltar que el ‘cliente’ también podría vender electricidad por medio de la inyección anteriormente mencionada.

Toda la información captada por cada Micro-Grid es almacenada en una Base de Datos no relacional ‘MongoDB’ en el servidor, con la finalidad de tener los históricos de cada Mini-Grid, lo cual permite poder analizar el comportamiento a lo largo del histórico de toda la Smart-Grid y así determinar el comportamiento de la red.

VIII. CONCLUSIONES

A modo de resumen y a partir de los desarrollos llevados a cabo en este trabajo, se ha podido observar que la implementación de los sistemas basados en Smart-Grids permiten la optimización del sistema eléctrico interconectado, evitando así pérdidas del sistema.

Así mismo, se puede concluir que la arquitectura desarrollada es única en su tipo, teniendo que ver la principal razón con la independencia que se tiene por parte de los usuarios y el grado de integrabilidad en la que ellos pueden acceder a la plataforma.

Se puede pensar que el sistema expuesto, implementado a gran escala, podría volverse peligroso y vulnerable por razones de seguridad e incluso si perdiesen la soberanía los gobiernos involucrados. Si bien esto puede ser en cierta manera real y latente, al ser una arquitectura escalable el usuario podría elegir el nivel de integración a la que se quisiese llegar y la magnitud de los datos a conectar, al pertenecer a un sistema en donde todos los elementos se encuentran interconectados por internet principalmente.

Así mismo, se ha observado que se deben crear instituciones que se dediquen de manera exclusiva al desarrollo y a la implementación de estos sistemas, pudiendo verse solventados ciertos problemas derivados de una crisis energética por el empleo de una red eléctrica como la que se propone, en donde sus pérdidas son controladas y minimizadas.

La dependencia tecnológica a la que se está sometido por la aceptación de tecnologías de terceros, cuyos objetivos son la venta y el mantenimiento de los equipos, atentan de manera directa los intereses sociales, por lo que el trabajo que aquí se presenta apunta a una equidad que permita una cierta independencia de las grandes empresas que manejan el sector eléctrico. Si bien es cierto que en países con una infraestructura eléctrica más compleja se dificulta la implementación de Smart-Grids de la forma que aquí se indica, dado que la integrabilidad se vería afectada al intervenir muchos sistemas, la implementación en países como Ecuador es altamente factible.

IX. LÍNEAS FUTURAS

Los sistemas Smart-Grids son un campo nuevo y cada vez más se están llevando a cabo investigaciones que permitan la mejora de estos sistemas, haciendo falta principalmente estudios que comprendan sistemas de seguridad para evitar ataques a nivel de los Micro-Grids.

Por otra parte, el trabajo más fuerte en estos momentos se basa en la estandarización de la arquitectura a usar ya que hoy en día, tal y como anteriormente se había notado, hay una variedad enorme de propuestas diferentes que deben tenerse en cuenta. Aunque es preciso definir una arquitectura que pueda satisfacer algunas de ellas, en el momento en que se acepte una de éstas, la factibilidad de la integración y los beneficios solo se verán en un medio-largo plazo. Así mismo, la optimización del sistema es un tema amplio que acarrea problemas mucho más complejos y difíciles de estudiar.

Por otra parte, es necesario concentrar los esfuerzos en la investigación de alternativas del direccionamiento del flujo eléctrico de tal forma que se permita hacerlo de forma mucho más individual y no tan colectiva.

En lo que respecta a la investigación expuesta, se seguirá trabajando en temas asociados a las capacidades de cómputo de las Micro-Grids y los servicios de la computación en la nube, todo ello con objeto de aumentar la arquitectura de una manera más robusta y eficiente.

AGRADECIMIENTOS

Se quiere agradecer expresamente al Consorcio Ecuatoriano para el Desarrollo del Internet Avanzado (CEDIA), quien ha sido el que ha aportado los fondos para llevar a cabo esta investigación, al igual que los recursos computacionales empleados para la realización de las pruebas acometidas.

REFERENCIAS

- [1] Ecuador's tallest waterfall to be destroyed by Chinese dam <http://news.mongabay.com/2010/09/ecuadors-tallest-waterfall-to-be-destroyed-by-chinese-dam/>
- [2] Energías Renovables, Gobierno prevé aplicar redes inteligentes para restar pérdidas negras http://www.renewables2b.com/ahk_mexico/es/portal/geothermal/news/show/7321038e1dcc6273
- [3] What is Node.js? [closed]. <http://stackoverflow.com/questions/1884724/what-is-node-js>
- [4] Duque, M. (2015). Micro-Grid Platform based on NODE.JS architecture, Implemented in electrical network instrumentation, 2015, ICPF-095.
- [5] Stamp, J. (2014). Sandia National Laboratories, 2014, Microgrid Design Tools (MDT), 2014 Smart Grid R&D Program Peer Review Meeting.
- [6] Academia Journals, Lorandi Labs Ed.11, Vol 4, 2011, Los Laboratorios Virtuales y Laboratorios Remotos en la Enseñanza de la Ingeniería.
- [7] Chacón, R. (2002). La instrumentación Virtual en la Enseñanza de la Ingeniería Electrónica. Acción pedagógica, Vol 11, N°1/2002, pp. 74-84.
- [8] Quiles, F.J., Benavides, J.I., Moreno, A. Llamuza, R., Garcia, J.C., Ortiz, M.A. Unidad Docente Arquitectura de Ordenadores, EU. Politécnica, 14004 Córdoba. Puesto de Instrumentación Virtual Digital.
- [9] Adan, A., Fernández, F., Calle, A., Valdés, E. (2003). Estrategia para una instrumentación virtual de bajo costo con aplicaciones médicas. V Congreso de la Sociedad Cubana de Bioingeniería, Habana 2003.
- [10] León, G., Aguinaga, A. (2011). Simulación de Control y Monitores Vehicular Usando Tecnología GSM Como Medio de Transmisión. Escuela Politécnica Nacional. ISBN 978-9942-07-048-7.
- [11] Aguinaga, A., Ávila, C., Cando, E. (2014) A Multi-layer based architecture for the development of an open source CAD/CAM integration virtual platform". 3th International Conference on Mechanical Engineering and Mechatronics ICMEM 14, Praga República Checa, 2014. World Academy of Science Engineering and Technology. Publication type: Journals. ISSN 20103778, 2010376X
- [12] Stadler, M. (2014) Lawrence Berkeley National Laboratory, June 11 2014, Microgrid Design Toolset (MDT) Development, 2014 Smart Grid R&D Program Peer Review Meeting. Oak Ridge, TN 37831-6070
- [13] Department of energy, United States Of America 2014, The Future On The Grid, Envolving to Meet American's Needs. No. GS-10F-0103J, Subtask J3806.0002.
- [12] U.S. Department of Energy Office of Electricity Delivery & Energy Reliability 2012, Smart Grid Research & Development, Multi-Year Program Plan (MYPP), pp. 6 -22.
- [15] Official Web Page for NodeJS, <https://nodejs.org/en/>
- [16] How Microgrids Work, Energy. GOV website. <http://www.energy.gov/articles/how-microgrids-work>