

## Sistema de Monitoreo de Señales Eléctricas y Control Automático para Eficiencia Energética con Integración IoT<sup>1</sup>

Jhon Barragán Charry<sup>2</sup>, Jhon Jaime Silva Londoño<sup>3</sup>, Carlos Steven Garcés Quintero<sup>4</sup>,  
Olmes Camilo Jaramillo Ramírez<sup>5</sup>, Fredy Hoyos Daza<sup>6</sup>, Luis Carlos Bravo Gómez<sup>7</sup>

### Resumen

El presente artículo presenta una propuesta para la implementación de un sistema para la gestión de información energética, que permite realizar seguimiento histórico de variables eléctricas como energía, voltajes, corrientes, etc. a través de gráficas, tablas o pantallas de visualización, junto con herramientas de simulación de facturas y proyección del consumo de energía eléctrica, habilitando la posibilidad de identificar oportunidades de ahorro y facilitando la toma de decisiones en favor de

la Eficiencia Energética o EE. Además, permite la integración de servicios actuales y futuros desde distintas fuentes de información que faculta la administración de diferentes variables a las eléctricas; que influyen directamente en la competitividad de los usuarios finales.

El sistema se conforma por una plataforma en línea para lectura, visualización y control de información, sistemas de comunicación de bajo costo desarrollados localmente basados en tecnologías del internet de las cosas, más adelante mencionado como IoT, que habilitan

- 1 Artículo original, derivado del proyecto de investigación "Implementación de un sistema de monitoreo de señales eléctricas y control automático para eficiencia energética con capacidad de integrar aplicaciones del IOT", de la empresa Vatia S.A. E.S.P, ejecutado entre julio de 2020 y diciembre de 2021; Financiado por Vatia S.A. E.S.P.
- 2 Magíster Administración de Empresas, Universidad Autónoma de Occidente. Correo: Jbarragan@vatia.com.co ORCID: 0000-0003-1005-3774
- 3 Ingeniero de Sistemas, Universidad Santiago de Cali, Especialista en Gestión Integral de Proyectos, Universidad de San Buenaventura. Correo: jjsilva@vatia.com.co / ORCID: 0000-0002-9835-1989
- 4 Ingeniero de sistemas, Corporación Universitaria Centro Superior. Correo: cgarces@vatia.com.co ORCID: 0000-0002-0463-695X
- 5 Tecnólogo en Electricidad Industrial, Sena, estudiante de Ingeniería Informática de la Institución Universitaria Antonio José Camacho Correo: ojaramillo@vatia.com.co / ORCID: 0000-0001-7970-6855
- 6 Administrador Financiero, Universidad del Quindío, Magíster Administración de Empresas, Universidad Autónoma de Occidente. Correo: fredy.hoyos@sanmartin.edu.co / ORCID: 0000-0001-7015-9584
- 7 Ingeniero Electrónico, Universidad del Valle, Magíster en Ingeniería de Desarrollo de Productos, Universidad Autónoma de Occidente. Correo: lcbravo@vatia.com.co / ORCID: 0000-0003-0567-5050

**Autor para Correspondencia:** jbarragan@vatia.com.co  
Recibido: 27/01/2022      Aceptado: 06/12/2022

*\*Los autores declaran que no tienen conflicto de interés*

la comunicación entre la plataforma y los sistemas de medida de variables eléctricas instalados en los lugares remotos de cada usuario final y gracias a su bajo costo, permiten la masificación de la solución, especialmente con usuarios de bajos consumos.

Esta propuesta responde a la necesidad de incentivar consumos eficientes del servicio de energía eléctrica en los usuarios finales, especialmente en aquellos con consumos

medios y bajos, donde la implementación de sistemas similares se ve afectado por el alto costo y el desconocimiento en temas de EE. Además, el desarrollo de dispositivos in-house soluciona la necesidad que tiene Vatia S.A. E.S.P de importar unidades de este tipo de equipos anualmente para el proceso regulatorio de teledadida.

**Palabras clave:** Plataforma, Monitoreo, IoT, Eficiencia Energética, bajo costo.

### Electrical Signal Monitoring and Automatic Control System for Energy Efficiency with IoT Integration

#### Abstract

This article presents a proposal for the implementation of a system for energy information management, which allows historical monitoring of electrical variables such as energy, voltages, currents, etc. through analytics, along with tools for bill simulation and projection of electricity consumption, enabling the possibility of identifying savings opportunities and facilitating decision making in favor of Energy Efficiency (EE). Additionally, it allows the integration of current and future services from different sources of information that enable electricity providers to manage different variables; which directly influence the competitiveness of end users.

The system consists of an online platform for reading, visualization and control of

information, low-cost communication systems developed locally based on Internet of Things (IoT) technologies, which enable communication between the platform and the measurement systems of electrical variables installed in the remote whereabouts of each consumer and thanks to its low cost allows the widespread use of the solution, especially within low energy consumption users.

This proposal responds to the need to encourage efficient consumption of electricity service in consumers, and targets those with medium and low energy consumption rates, where the implementation of similar systems is affected by the high cost and lack of knowledge on EE grounds. In addition, the development of in-house devices solves the need for Vatia S.A. E.S.P. to import units of this type of equipment annually for the regulatory process of telemetering.

**Keywords:** Platform, Monitoring, IoT, Energy efficiency, low cost.

## Monitorização de Sinais Eléctricos e Sistema de Control Automático para Eficiência Energética com Integração de IOT

### Resumo

Este artigo apresenta uma proposta para a implementação de um sistema de gestão de informação energética, que permite a monitorização histórica de variáveis eléctricas tais como energia, tensões, correntes, etc., através de gráficos, tabelas ou ecrãs de visualização, juntamente com ferramentas de simulação de facturação e projecção do consumo de electricidade, permitindo a possibilidade de identificar oportunidades de poupança e facilitando a tomada de decisões a favor da Eficiência Energética ou EE. Permite também a integração de serviços actuais e futuros de diferentes fontes de informação que permitem a gestão de diferentes variáveis às empresas de electricidade; as quais influenciam diretamente a competitividade dos utilizadores finais.

O sistema consiste numa plataforma online de leitura, visualização e controlo

de informação, sistemas de comunicação de baixo custo desenvolvidos localmente com base nas tecnologias Internet das Coisas, mais tarde referidas como IoT, que permitem a comunicação entre a plataforma e os sistemas de medição de variáveis eléctricas instalados nos locais remotos de cada utilizador final e, graças ao seu baixo custo, permitem uma ampla utilização da solução, especialmente com utilizadores de baixo consumo.

Esta proposta responde à necessidade de encorajar o consumo eficiente do serviço de electricidade nos utilizadores finais, especialmente naqueles com consumo médio e baixo, onde a implementação de sistemas semelhantes é afectada pelo elevado custo e falta de conhecimento sobre questões de EE. Além disso, o desenvolvimento de dispositivos in-house resolve a necessidade da Vatia S.A. E.S.P. importar anualmente unidades deste tipo de equipamento para o processo regulamentar de telecontagem.

**Palavras-chave:** Plataforma, Monitorização, IoT, Eficiência energética, baixo custo.

---

### Introducción

Vatia S.A E.S. P, una empresa constituida desde el año 1998, con presencia en Colombia, dedicada a la generación y comercialización de energía, soluciones de eficiencia energética y servicios de ingeniería. En cuanto al crecimiento exponencial en el uso de la energía eléctrica a partir de la revolución industrial, ha permitido el

desarrollo económico de las regiones y sus comunidades, conjunto al aprovechamiento eficiente tanto del rendimiento como de calidad en el consumo. (Sandoval, 2020). Es de este modo que la eficiencia energética requiere de una continua regulación local, como del mercado, incentivos del gobierno, los entes y el aporte tecnológico que proviene de la investigación. (Paramati, et al., 2021). Así mismo, es necesaria la prestación de un

servicio eléctrico confiable, eficiente y de amplia cobertura con relación directa de la innovación tecnológica (OLADE, 2020).

En Colombia, el sector eléctrico, dominado principalmente por generación de energía hidráulica (65% de la producción) y generación térmica de gas y carbón (35 %), enfrenta una serie de desafíos toda vez que el consumo de energía va de la mano con el crecimiento económico, ejerciendo presión para que se aumenten las capacidades de generación, transmisión y distribución, con el fin de asegurar continuidad en la disponibilidad de energía (Grupo Energía de Bogotá, 2014).

En este sentido, el crecimiento económico y poblacional ha traído un incremento en consumo de energía, Colombia enfrenta un porcentaje de energía desperdiciada superior al 50 % (Ministerio de minas y energía, 2016), demostrando un gran potencial para aplicar soluciones de eficiencia energética (EE) que ayuden a solucionar los desafíos planteados anteriormente. Uno de los principales impedimentos en el intento de masificación de este tipo de soluciones es el alto costo asociado a los sistemas que permiten recolectar la información y transmitirla a través de canales de comunicación que deben cumplir aspectos regulatorios, junto con la falta de integración con los sistemas de medida actuales usados para la facturación de la energía a los usuarios finales.

En este contexto, para aplicar técnicas de eficiencia energética (EE) es indispensable tomar datos de manera periódica y automática del consumo de energía proveniente de los equipos de medición. Esto se hace a

través de un proceso llamado telemetría que se encarga de medir y en algunos casos controlar los datos de un dispositivo remoto. Su principal ventaja es la transmisión de datos desde medidores remotos a un punto de control central. También incluye el envío de información de configuración y control a los dispositivos (IBM, 2018).

Así mismo, para realizar gestión energética, preferiblemente debe haber una buena base de datos de información y un seguimiento continuo sobre el uso de energía y de sus variables relevantes (UPME, 2019). Por lo que es posible realizar el seguimiento a través de la integración de sistemas de medida con plataformas de lectura visualización y control, como respuesta al reto de reducir los costos de los sistemas de seguimiento, en la que pueden encontrarse nuevas tecnologías de comunicación emergentes del IoT que se adaptan muy bien a las necesidades del mercado de energía colombiano.

Para seleccionar la tecnología adecuada para cada sistema, diferentes parámetros describen las especificaciones técnicas relacionadas con el hardware de los sistemas de comunicaciones. (Singh et al., 2020). Las características que se utilizan con frecuencia son: ancho de banda, nodos máximos por puerta de enlace, técnicas de modulación, tecnologías de autenticación y cifrado, técnicas de detección de colisiones y número de canales. Algunas de las tecnologías del IoT más usadas son: Satelital, Celular, Lora, Sigfox, Wi-Fi, Z-Wave, Zigbee, Bluetooth 10 (Vannieuwenborg et al., 2018).

Por lo anterior, la solución planteada en este proyecto tiene como entrega base a los

usuarios finales, un monitoreo y control de sus sistemas eléctricos en tiempo real, que sirve como herramienta para la identificación de potenciales oportunidades de ahorro y el envío automático de reportes y alertas a un bajo costo, gracias a la implementación de equipos de comunicación desarrollados en Vatia S.A. E.S.P. Esto beneficia especialmente a los usuarios con consumos medios y bajos. Además, el sistema tiene la capacidad de integración de servicios adicionales provenientes de soluciones IoT, de tal manera que los usuarios finales accederán a información en tiempo real de variables adicionales a las del servicio de energía, que impactan directamente el foco sus de negocios. Por otro lado, el proyecto abre una puerta comercial a pequeñas y medianas Startups, quienes desarrollan las nuevas soluciones del IoT con alcance a los usuarios del servicio de energía de Vatia S.A. E.S.P.

En el mercado de comercialización de energía colombiano, especialmente el que atiende Vatia S.A. E.S.P, donde la gran mayoría de usuarios tiene consumos medianos o pequeños, existe la entrega de información de consumo energético en la factura de energía, en una matriz horaria, o en el mejor de los casos se entrega una gráfica con la visualización del historial, sin información adicional de parámetros de calidad del servicio o envío de alertas e informes periódicos que estén influenciando al usuario final, hacia la toma de decisiones en favor del conocimiento de un consumo consciente y más eficiente. Por lo que la reciente introducción de soluciones basadas en tecnologías del IoT, incentivan una gran oportunidad de generar valor a la variedad

de usuarios que tienen los prestadores del servicio de energía. Pero esta variabilidad de usuarios resulta muchas veces en el desarrollo de una cantidad de soluciones que no tienen ninguna relación entre ellas, pero que deberían ser ofertadas como una ayuda a la competitividad de los usuarios del servicio de energía, de tal manera que exista un solo canal de acceso confiable y seguro para la gran variedad de servicios que pueden ser ofertados con las nuevas tecnologías.

En este sentido, el proyecto responde a la necesidad del país de incentivar un consumo energético más eficiente, disminuyendo el desperdicio de energía y aportando a la estabilización del sistema nacional interconectado. Además, gracias a la capacidad de integrar servicios adicionales, se aporta a la competitividad de los usuarios finales y también de las empresas que desarrollan estos nuevos servicios como aliados de Vatia S.A. E.S.P.

**Objetivo:** Implementar un sistema para la gestión y control remoto de información proveniente de consumo energético con capacidad de integración de servicios adicionales.

### Materiales y métodos

Para el desarrollo del proyecto, se establece la metodología para la implementación del sistema propuesto, por lo que cualquier proyecto de innovación en Vatia S.A. E.S.P es guiado por el sistema de innovación e inicia con ideas, necesidades, tendencias y retos que dan origen a un concepto de negocio que se plasma en los Canvas de modelo de negocio y propuesta de valor (Strategyzer, 2018). A

partir de este momento inicia la etapa de descubrimiento y validación del cliente, que se basa en experimentos a través de productos mínimos viables de baja fidelidad (Möllers, 2016), siguiendo la metodología de Lean Startup (Alexandre Pereto, 2014). Después de la validación con clientes se procede a una evaluación del tamaño y tipo del mercado en reuniones del comité de innovación, que se encarga de aprobar o no el desarrollo de un producto mínimo viable de alta fidelidad, el cual cumple con todos los requerimientos técnicos, de interacción y calidad para salir al mercado. Una vez se desarrolla el producto mínimo viable de alta fidelidad, se interactúa nuevamente con clientes objetivo y finalmente se realiza la ejecución o salida al mercado del producto innovador, asignando metas, recursos y personal encargado.

En este sentido, la propuesta actual caracterizada hacia un proyecto de innovación de procesos, parte de la validación y análisis del mercado realizada con el desarrollo de un producto mínimo viable de baja fidelidad de un sistema de monitoreo, enfocado a variables eléctricas y de diferentes equipos de comunicaciones diseñados y fabricados localmente. Aunque el software y el hardware usados en los experimentos tenían limitaciones de interacción y funcionalidad, estas validaciones lograron llegar a un producto estándar que aporta valor a la mayoría de los clientes, con un bajo costo de implementación. Finalmente se consiguió a un costo relativamente bajo el “*product market fit*” de la solución y gracias al análisis del mercado y beneficios potenciales se aprobó la ejecución del proyecto. Por lo

que se establecen los aspectos relativos al desarrollo del producto mínimo viable de alta fidelidad y con aprobación para su ejecución y salida al mercado.

### **Desarrollo del producto mínimo viable de alta fidelidad**

El sistema, cuenta con todas las funcionalidades e interacciones necesarias para un testeo detallado con los clientes, de tal manera que permita el monitoreo eléctrico y la integración de servicios adicionales para funcionar como un único acceso al portafolio de soluciones digitales de Vatia S.A. E.S.P. Además, garantiza la escalabilidad y replicabilidad de la solución, para todo el mercado disponible. Por lo que el análisis de la realimentación de los prototipos, realizado a través de expertos en temas de telemedida y tecnologías de la información e ingeniería de Vatia S.A. E.S.P, soportan el levantamiento y priorización de requerimientos de los sistemas de comunicaciones con dispositivos remotos y plataformas de gestión de información, según el mercado objetivo y los propios requerimientos de la organización.

De esta manera y basado en el análisis previo y las condiciones de los clientes objetivo, se seleccionan y cuantifican las unidades a fabricar de equipos de comunicación de bajo costo para habilitar la lectura remota de sistemas de medida de manera automática, cumpliendo con la reciente regulación plasmada en el acuerdo 1004 del CNO (2017). Para que los usuarios del sistema puedan visualizar interactuar y controlar sus sistemas, se selecciona y parametriza un software tipo SCADA (2015),

que permita desarrollar aplicaciones para la gestión de información y activos de diferentes tipos de fuentes o servicios, tomando como base el consumo energético.

La validación del funcionamiento del sistema se realiza de manera iterativa mientras se actualizan los proyectos piloto de clientes reales que cuentan con sistemas de monitoreo eléctrico, integrándose al nuevo sistema. También se valida la capacidad de integración de servicios adicionales al monitoreo eléctrico y salida al mercado.

### **Ejecución y salida al mercado**

Se realiza el lanzamiento del servicio y se elaboran herramientas para la venta (brochures, hojas de datos, videos conceptuales, etc.), se asignan metas, personal comercial y de ingeniería encargados a nivel nacional para promover la venta del servicio. Utilizando los primeros clientes como referencia se busca vender a un rango mayor de clientes en el segmento objetivo, obteniendo una mejor visión de los costos operativos y del valor real para los clientes. Finalmente se validan los modelos de precio, verificando que las ganancias son suficientemente atractivas para continuar.

Para medir el desarrollo técnico y comercial de la solución, se usa la matriz de madurez MatMaX que ayuda a cuantificar el nivel de madurez de un proyecto de innovación de producto en dos dimensiones (WSL, 2016): el Nivel de Preparación Técnica (TRL) y el nivel de preparación comercial (CRL). En la siguiente figura se observa la matriz MatMax. Al finalizar el proyecto se busca un TRL 7 con realimentación gracias

a la implementación de sistemas reales desplegados en terreno y un CRL 8 donde se logran ventas al mercado objetivo y validación del modelo de precios.

### **Fases desarrolladas previamente por Vatia S.A. E.S.P**

Previamente VATIA S.A. E.S.P desarrolló un producto mínimo viable de baja fidelidad y proyectos piloto para validación del modelo de negocio, limitando su funcionalidad solamente al monitoreo de variables de energía eléctrica. A continuación, se presentan los componentes del prototipo desarrollado, incluyendo herramientas e interfaces de visualización, integración y monitoreo validadas con clientes reales.

### **Sistema de medida y fuentes de datos adicionales.**

Este sistema es el responsable de medir las variables relacionadas con el consumo energético y en gran parte de garantizar la calidad de la información presentada al cliente a través de la plataforma de gestión. Se compone en la mayoría de los casos por dos tipos de dispositivos: Un analizador de red fijo y un juego de transformadores de corriente y voltaje. Para buscar un bajo costo y rápida integración del sistema se seleccionan como opciones de instalación a los analizadores de red trifásicos CVM-C5 y CVM-C10 (CIRCUTOR, n.d.-a). Estos analizadores poseen un puerto RS485 por el cual se exportan las variables eléctricas en protocolo modbus. En cuanto a las fuentes de datos adicionales, el sistema debe permitir la integración desde otras fuentes

de datos, entre las que se encuentran, API de integración por XML, REST y MQTT. Libros de Excel y Bases de datos SQL.

*Herramientas de administración, proyección energética y soporte multi usuario.*

### Herramientas de gestión energética en plataforma

Las características de la plataforma permiten el desarrollo de los siguientes componentes del sistema: herramientas de administración energética, calidad de energía, proyección de consumos, simulación de facturas, soporte multiusuarios, sistemas de alertas, generación de informes automáticos e integración con equipos de diferentes marcas.

La administración del consumo de energía eléctrica y tener herramientas que incentiven un consumo eficiente son de mucha importancia en clientes donde el costo del servicio es un gran porcentaje del costo operativo. Es más relevante si se deben gestionar varias sedes distribuidas en diferentes lugares geográficos que por lo general son administradas localmente y necesitan ayudas para la gestión energética. Por lo que se obtuvo una pantalla de seguimiento según la siguiente figura.

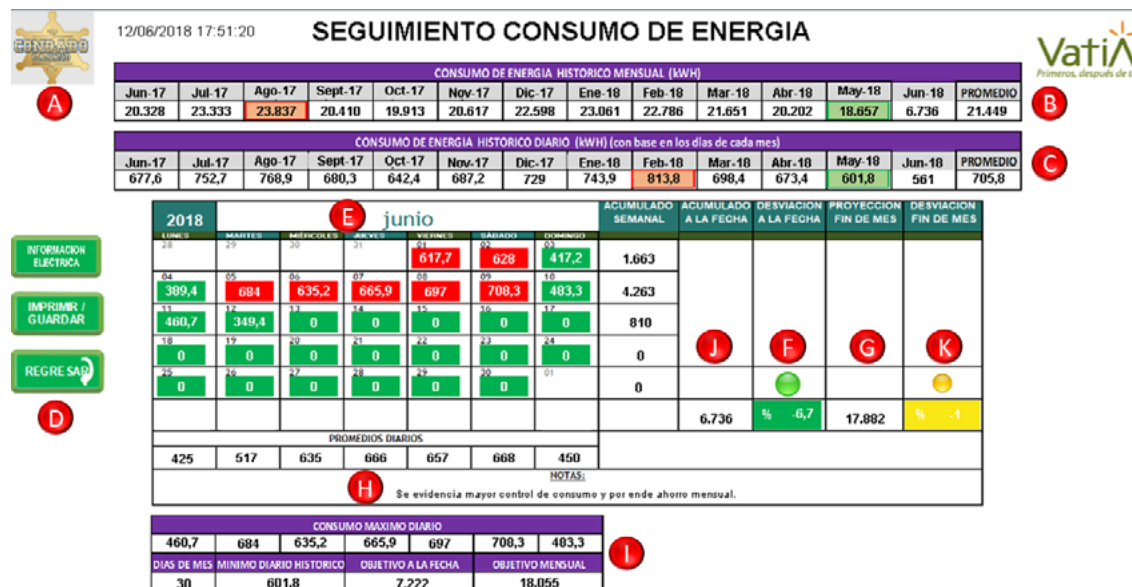


Figura 1. Visualización de las herramientas desarrolladas.

Fuente: elaborada por autor



**Herramienta de simulación de facturas.**

El objetivo de esta herramienta es brindar un seguimiento del consumo energético a través de la visualización de una factura simulada y flexible que se actualiza de manera automática. El periodo de visualización del consumo de energía es variable y el cliente puede seleccionar las fechas entre las

que desea ver el consumo, entregando la información de una manera similar a como se presenta en la factura del servicio de energía, incluyendo adicionalmente la proyección de consumo y la visualización de parámetros de calidad de energía. En la siguiente figura se observa la herramienta de simulación de factura.



Figura 2. Pantalla de Herramienta de simulación de factura desarrollada.

Fuente: Elaboración propia

**Herramienta de calidad de energía.**

En esta herramienta se presenta toda la información que tiene el sistema de medida para que el usuario con un nivel

de conocimiento eléctrico más avanzado pueda realizar diagnósticos con respecto a la calidad del servicio de energía.

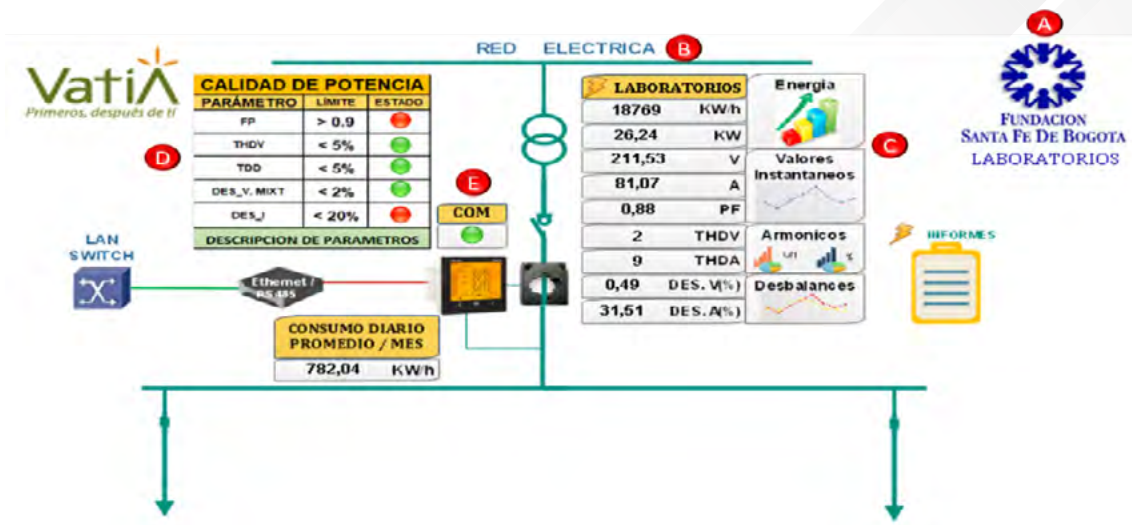


Figura 3. Pantalla de la herramienta de calidad de energía.

Fuente: Elaboración propia

En cuanto a gráficas de variables del sistema de medida. Es posible visualizar adicionando según necesidad. La interfaz de gráficas de la plataforma permite desplazarse en el tiempo y mostrar los datos en periodos que van desde 5 minutos hasta agrupaciones mensuales o anuales según gráfica de energía activa, que permite visualizar en barras, el consumo de energía en el periodo seleccionado. En la figura se observa una gráfica de consumo de energía con periodo de 24 horas. En cuanto a la gráfica de valores instantáneos, al ingresar se muestran cuatro graficas de las siguientes variables: Tensiones fase-fase, corrientes por cada fase, potencia activa trifásica y factor de potencia trifásico.

### ***Integración con equipos de diferentes marcas.***

La plataforma es capaz de integrar equipos de cualquier marca a través del protocolo modbus y sus variaciones. Este

equipo puede ser un sistema de medida o cualquier otro que se comunique a través del protocolo modbus (MODBUS, 2012). Esta característica permite que el cliente pueda monitorear variables que no tienen relación directa con el consumo eléctrico, pero que impactan su proceso productivo. Por lo que, para el Diseño de los sistemas de comunicaciones, este se encuentra determinado por los atributos del sistema de comunicaciones en dos aspectos:

Requerimientos de plataforma de lectura, El software de lectura de sistemas de medida remotos, establece una conexión TCP/IP, donde el equipo remoto se encuentra en modo servidor y la plataforma en modo cliente. Esto implica que los sistemas de comunicaciones que se encuentren en el lado remoto deben tener la capacidad de funcionar como servidor TCP y transmitir los datos desde y hacia el sistema de medida.

Requerimientos de comunicación, los sistemas de medida a monitorear pueden estar en los tableros eléctricos que se ubican en lugares de fácil acceso o en lugares encerrados como en los sótanos de los clientes. Después de analizar las posibles situaciones con los expertos de Vatia S.A. E.S.P, se concluye que la comunicación debe garantizarse en los siguientes tres escenarios:

**Sistema de medida con cobertura celular:**  
La red celular es el medio de comunicación con más cobertura en el país y por tanto la más usada para la telemedida de las fronteras comerciales. Los equipos requieren de una interfaz celular con sim card para la conexión con la sede de Vatia S.A. E.S.P y una interfaz serial RS232 o RS485 para la conexión local con los sistemas de medida. En la siguiente figura se muestra la topología de comunicaciones, donde la plataforma de EE establece la conexión con el sistema de medida, que se encuentra a la derecha, a través de un equipo celular.

**Sistemas de medida con cobertura celular o acceso a internet a menos de 1Km:** En los casos en que la cobertura de alguna red de comunicaciones esté relativamente cerca,

se deben usar redes complementarias, preferiblemente radiofrecuencia de largo alcance. De esta manera se instala un equipo celular o con acceso a internet donde exista cobertura y la red complementaria se usa para alcanzar el sistema de medida que no tiene cobertura. Un ejemplo de este escenario son los sistemas de medida que se encuentran en un sótano. En la siguiente figura se observa que la red de radiofrecuencia habilita la comunicación del sistema de medida desde el equipo con acceso a internet o a la red celular.

**Sistemas de medida con un punto de red Ethernet:** Existen sistemas de medida ubicados en lugares donde el cliente puede habilitar un punto de red Ethernet y brindar un acceso a internet. El equipo necesario debe tener una interfaz Ethernet, capacidad de establecer una conexión segura con Vatia S.A. E.S.P y una interfaz serial para conectarse al sistema de medida local. En el siguiente diagrama se observa que el equipo a desarrollar establece una VPN con un servidor ubicado en Vatia S.A. E.S.P, para garantizar seguridad y tener una dirección IP fija y alcanzable por la plataforma de EE.

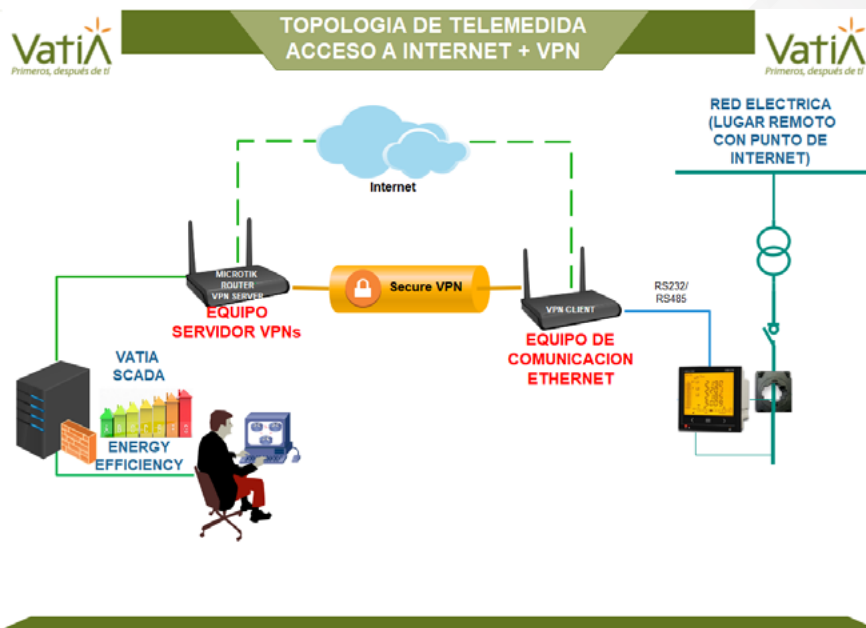


Figura 4. Topología de teledividida a través de un equipo Ethernet con acceso a internet.

Fuente: Elaboración propia

### Dispositivo celular

Las directrices de calidad y el bajo costo del dispositivo tienen el mayor valor relativo en el diseño del equipo, seguido del cumplimiento regulatorio y técnico para su funcionamiento en Colombia. También es muy importante la interfaz serial para conectarse a los sistemas de medida y el acceso remoto para facilitar operaciones de diagnóstico sin necesidad de desplazar personal a terreno. Para realizar una descomposición funcional del sistema, se realizó un diagrama en el cual las únicas entradas físicas del sistema son la energía necesaria para su funcionamiento, la señal de la red celular y la inserción de la Sim Card celular. Internamente debe haber un sistema de regulación de energía que garantice el buen funcionamiento de los componentes. El resto de las entradas son señales de

parametrización y la solicitud remota de teledividida.

### Costo-Valor del dispositivo celular

De acuerdo con el costo y valor relativos para los componentes del dispositivo de comunicación celular, la estimación de costos de cada componente corresponde a información de cotizaciones obtenidas a lo largo de todo el proyecto.

### Dispositivo para la red complementaria

El dispositivo de red complementaria debe extender la capacidad de alcance de las redes principales como el celular o satelital, por ejemplo, en casos donde el sistema de medida se encuentre en sótanos sin cobertura de la red celular. Por lo que

este presenta especificaciones basadas en los principales requerimientos del dispositivo, homologable ante la CRC por usar el espectro electromagnético.

Para cumplir su propósito, el equipo debe entregar una canal de comunicaciones transparente, recibiendo como entradas la energía para su funcionamiento, datos de parametrización inicial, y la información que será transmitida por el canal radio frecuencia hacia y desde el sistema de medida remoto. De igual manera que en el dispositivo celular, los tres bloques funcionales más importantes son: Procesar información, habilitar el canal de radio frecuencia y habilitar el canal serial. En este sentido, el costo real, costo y valor relativos para los componentes del dispositivo de comunicación radio frecuencia, presentan una estimación de costos de cada componente según información real.

### **Dispositivo para red Ethernet**

El bajo costo del dispositivo nuevamente tiene el mayor valor relativo en el diseño del equipo, seguido de la conectividad con los sistemas de medida a través de una interfaz serial y el cumplimiento regulatorio. Los medios de configuración también deben ser fáciles de programar por el nivel de experticia de los técnicos instaladores.

De acuerdo con lo anterior, a partir del diagrama del equipo gran parte de los componentes del diseño están cercanos a sus valores ideales. En el área superior derecha se ubica el módulo Ethernet y aunque tenga un costo relativo muy alto, su valor relativo para el dispositivo también lo es; ambos cercanos al 60 %.

## **Resultados**

### **Prototipado y pruebas piloto**

#### **Prototipado de los equipos de comunicaciones**

De acuerdo con el plan de pruebas para prototipos de dispositivos de comunicaciones, se realizan en dos fases: pruebas en laboratorio y pruebas en campo en lugares con diferentes condiciones ambientales.

Pruebas en laboratorio: A partir de la llegada de los primeros prototipos se inicia una serie de pruebas en las instalaciones de Vatia S.A. E.S.P. En primer lugar, se corroboran los parámetros de diseño del PCB, verificando parámetros de salida de la fuente de alimentación, voltajes en diferentes puntos del PCB, accesibilidad a microcontrolador (de ser necesario), correcto funcionamiento de la interfaz serial y del módulo de comunicaciones. Se validan los test iniciales, se procede a configurar el dispositivo para habilitar la lectura de un sistema de medida que puede ser un medidor de energía o un analizador de red, durante dos horas por un periodo de una semana en las instalaciones de Vatia S.A. E.S.P. En esta etapa nuevamente se verifica la salida de la fuente de alimentación mientras el equipo está transmitiendo. Por lo que las métricas con mayor relevancia para evaluación de desempeño en el laboratorio de Vatia S.A. E.S.P son: porcentaje de lecturas exitosas, cantidad de intentos hechos por la plataforma de lectura.

Pruebas en campo: Una vez los equipos superan los test de laboratorio, se procede

a realizar pruebas con clientes reales y en diferentes condiciones. En esta etapa las métricas con mayor relevancia en la evaluación de desempeño son: porcentaje de lecturas exitosas, cantidad de intentos hechos por la plataforma de lectura y porcentaje de disponibilidad por ping en el caso de los prototipos celular y Ethernet, Realizando pruebas en lugares que representan las diferentes condiciones a las que se enfrenta un equipo para telediagnóstico de Vatia S.A. E.S.P

**Equipo celular:** Instalación de dispositivos en diferentes ciudades de Colombia, con cobertura 4G y otros solamente con 2G o 3G. Por lo que, a través de los contratos con los operadores de red celular para los procesos de telediagnóstico, se realizan las lecturas periódicas, con el monitoreo del equipo por medio de la plataforma PRTG (PAESSLER, 2018) haciendo “ping” al equipo remoto cada 10 minutos, para corroborar la disponibilidad de red y que el equipo es alcanzable por la plataforma de telediagnóstico.

**Equipo Ethernet:** Generalmente el acceso a internet por un punto Ethernet está disponible en lugares cercanos a las oficinas de los clientes. Los equipos se instalan en clientes con disponibilidad de un punto de red en diferentes ciudades de Colombia.

Para este dispositivo la principal métrica a monitorear es el porcentaje de lecturas exitosas, así como se monitorean a través de la plataforma PRTG con un sensor de “ping”, sin embargo, se debe considerar que los resultados dependen en la mayoría de los casos de una red de terceros con la que Vatia S.A. E.S.P no tiene influencia.

**Equipo RF:** Instalación en clientes sin cobertura de comunicaciones, pero con un acceso a internet o a red celular a una distancia de menos de 1 Km. También se debe habilitar la telediagnóstico de varios medidores dispersos en un rango menor a 1 Km, centralizando el acceso por un solo enlace satelital o celular. Los sitios de instalación seleccionados se determinaron para diferentes ciudades del país. Debido a que se trata de una red complementaria, la única métrica a monitorear es el porcentaje de lecturas exitosas.

### **Prototipado del dispositivo celular**

Considerando el prototipo de dispositivo de comunicación celular, por lo que la figura presenta el dispositivo celular ensamblado en su caja. Este dispositivo también servirá al proceso de telemetría de Vatia S.A. E.S.P., donde se consumen más de 1000 unidades por año.



**Figura 5.** Visualización del PCB y equipo celular ensamblado en la caja.

Fuente: Elaboración propia

Una vez concluidas las pruebas de hardware, se procede a configurar el dispositivo para habilitar la lectura remota de un sistema de medida. Este dispositivo se conecta a la red celular 2G, 3G o 4GLTE para habilitar un canal de comunicación hacia el sistema de medida, abriendo un puerto TCP en modo servidor y esperando por una solicitud de conexión desde la plataforma de lectura. Después de establecer la conexión los datos deben fluir en modo transparente. Para que esto sea posible, se desarrolla una rutina en lenguaje C++ y Python para la programación del dispositivo.

#### **Prototipado del dispositivo de radio frecuencia**

De acuerdo el prototipo, el módulo E32443T30D de tecnología LORA con pines fácilmente manipulables, permite un prototipado rápido sin necesidad de una empresa especialista en fabricación de PCBs. Esta característica es muy importante

cuando se está probando el desempeño de nuevas tecnologías y se necesita hacerlo a un bajo costo y de manera rápida.

#### **Prototipado del dispositivo Ethernet**

Su diseño está guiado hacia una solución sencilla, cumpliendo los requerimientos técnicos y regulatorios. Por lo que el PCB del prototipo y su ensamble en la caja es realizado.

#### **Pruebas del sistema con clientes de Vatia S.A. E.S.P.**

##### *Pruebas de comunicación del dispositivo celular.*

De acuerdo con las pruebas realizadas, se ubicaron 20 dispositivos situados en 3 ciudades principales de Colombia, con 6 consultas de telemetría diaria y sin reporte de problemas adjudicados al dispositivo por un periodo superior a un año. Aparte del resultado de telemedida, se usa el sensor

ping de la plataforma de monitoreo PRTG, para verificar la disponibilidad del canal y su comportamiento en sitios con cobertura 4G y 3G/2G. Los cuales son establecidos según resultados del monitoreo por ping y de las pruebas de telediagnóstico por un periodo de un año para prototipos instalados en sitios con cobertura 4G y 2G/3G. Para ambos casos se busca leer un medidor SL7000 del fabricante ITRON (Itrón, 2014).

En cuanto a clientes representativos se implementó un primer proyecto piloto en la sede de la organización seleccionada. Por lo que en las siguientes imágenes se observa la pantalla de inicio con un diagrama tipo árbol, similar al de Winner y la herramienta de calidad de energía de la sede, después de probar la solución, el cliente aprobó la instalación de 15 sistemas de medida para monitorear 7 sedes. En cuanto al aporte estratégico y la generación de valor para la toma de decisiones, el cliente seleccionado integró la herramienta de simulación de factura en cada sede para tener una vista rápida e integral del consumo, costo actual y proyecciones junto con semáforos de calidad de energía definidos en la simulación de factura para la sede “Laboratorio”.

Por otra parte, se implementó un proyecto en un reconocido Zoológico ubicado en una de las principales ciudades del país, con el propósito de monitorear el comportamiento energético de cada zona privada, pública o de tratamiento de animales y así tener una mejor administración de los costos de energía. Por lo que la herramienta de calidad de energía desarrollada para la subestación zoológico, realiza el monitoreo de 6 sistemas de medida: Totalizador principal, cafetería,

acuuario, tigres, jazquimia y andes. En la parte inferior de cada zona monitoreada se reporta en todo momento el costo del servicio de energía.

En este sentido, la herramienta desarrollada para integrar tres medidores marca Elster y referencia A1800 (Honeywell Elster, 2018) instalados en la subestación y casa de máquinas de la planta hidroeléctrica Florida, a cargo del cliente Hidrotolima. Se reporta en tiempo real la generación de energía horaria, diaria y mensual, voltajes, corrientes, potencias y el porcentaje de pérdidas en líneas de transmisión hasta la subestación, De esta manera se corrobora la integración de sistemas de medida de diferente marca a la del fabricante de la plataforma PSSD.

Por otra parte, y de acuerdo a la continuidad de las pruebas realizadas con los clientes, es posible visualizar el seguimiento a los consumos históricos diarios, mensuales, acompañado de gráficos para mejorar la interpretación de los datos y la toma de decisiones orientada hacia la eficiencia energética (EE) y la optimización de los recursos.

## Conclusiones

La optimización del consumo energético requiere de estrategias que fomenten la visualización en el uso y gestión en tiempo real. Por lo que el presente proyecto para la innovación de procesos, busca mejorar, centralizar y diversificar la prestación de los actuales servicios de monitoreo y control, incentivando consumos eficientes del servicio de energía eléctrica y brindando



a los clientes las capacidades necesarias para aprovechar oportunidades de ahorro energético y por tanto de disminuir su impactos ambientales a un bajo costo, aportante al tejido empresarial con consumos medios y bajos, donde la implementación de sistemas similares se ve afectado por el alto costo y el desconocimiento en temas de eficiencia energética. Además, de la necesidad creciente de los usuarios de Vatia S.A.E.S. P., de controlar otras variables además a las del servicio de energía, que impactan directamente su competitividad, la que en su mayoría busca reducir los costos operativos a través de la optimización de procesos como son, el monitoreo y control de temperatura en cadenas de frío, humedad en sistemas agrícolas, entre otros.

En este contexto, derivado de la gran variabilidad de nuevos servicios en el mercado habilitados por tecnologías del IoT, es muy importante poder integrar y centralizar los diferentes nuevos servicios que surjan en el mercado de los usuarios de Vatia S.A.E.S.P como aliado integral para el crecimiento de su negocio, sin relevancia del tamaño y sector al cual este pertenezca en la economía nacional.

Es de esta manera que las herramientas desarrolladas de visualización, proyección y control de información de consumo energético en la plataforma SCADA, permiten la gestión de consumo energético de una o varias sedes y en pro de la gestión eficiente de los requerimientos de los clientes y de Vatia S.A. E.S.P, así mismo a través del monitoreo energético es posible revelar oportunidades de ahorro y contribuir en hábitos de Eficiencia energética (E.E) que fomentan el incremento

de la competitividad, ya que proporcionan información sobre los parámetros para el adecuado manejo y toma de acciones sobre el comportamiento energético. El cual se hace sostenible en el tiempo debido al envío de los informes para el seguimiento y validación de los planes de acción determinados por los usuarios para el consumo eficiente.

En cuanto a la información recolectada por la plataforma PSSD, es posible su integración con otros sistemas o plataformas superiores, aportando a la transformación digital integral de los comercializadores de energía. En este mismo sentido, la integración de la base de datos de facturación del servicio de energía permite la reducción de costos, incrementando la inmersión de la solución para el monitoreo de los datos. Considerando que el sistema desarrollado permite la transición de señales que admiten el control de cargas de forma automática o a través de las decisiones tomadas por el usuario.

Por su parte, la creciente necesidad de evolucionar en el desarrollo de los dispositivos de comunicación con cumplimiento regulatorio asegura el acceso remoto a los sistemas de medida, aportando a la reducción del costo total de la solución, así como para la comercialización de energía, ya que incrementa la competitividad de la oferta de energía dónde se proporciona este tipo de equipos.

En concordancia a los resultados, la implementación de nuevas tecnologías a través de marcas posicionadas en el mercado, sumado al bajo costo de los equipos desarrollados frente a sus competidores importados, permite la creación de una

nueva línea de dispositivos para telemetría, los que pueden ser comercializados entre los agentes que demandan la importación de equipos, abriendo nuevas oportunidades para ampliar su funcionalidad.

### Referencias

- Alexandre Pereto. (2014). UniMOOC: ¿Qué es Lean Startup?. Recuperado de <https://unimooc.com/que-es-lean-startup/>
- CNO. (2017). Acuerdo 1004 por el cual se aprueba el documento de “Condiciones mínimas de seguridad e integridad para la transmisión de las lecturas desde los medidores hacia el Centro de Gestión de Medidas y entre este último y el ASIC.” <https://www.cno.org.co/content/acuerdo-1004-por-el-cual-se-aprueba-el-documento-de-condiciones-minimas-de-seguridad-e>
- Grupo Energía de Bogotá. (2014). Artículo– Eficiencia Energética y ciudad: retos y experiencias exitosas: EEB y Bogotá. EEB Y BOGOTÁ. <https://www.grupoenergiabogota.com/eeb/index.php/empresa/eeb-y-bogota/articulo-eficiencia-energetica-y-ciudad-retos-y-experiencias-exitosas>
- Honeywell Elster. (2018). Honeywell Elster ¿: Product Details. Calálago de Productos. ¿Recuperado de [https://www.elstersolutions.com/es/product-details-na/61/es/A1800\\_ALPHA?fid=4D7D31767CD542AE8B7FF016AEB6ADCF#sbox0=;](https://www.elstersolutions.com/es/product-details-na/61/es/A1800_ALPHA?fid=4D7D31767CD542AE8B7FF016AEB6ADCF#sbox0=)
- IBM. (2018). Telemetry use cases. 8.0. Recuperado de [https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/es/SSFKSJ\\_8.0.0/com.ibm.mq.pro.doc/q002770\\_.htm](https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/es/SSFKSJ_8.0.0/com.ibm.mq.pro.doc/q002770_.htm)
- Itrón. (2014). ACE SL7000 tipo 762 (p. 1). Itrón. Recuperado de [https://www.itron.com/local/Spain/ProductPortafolio/ACE SL7000 tipo 762-EL-ES-04.14.pdf](https://www.itron.com/local/Spain/ProductPortafolio/ACE%20SL7000%20tipo%20762-EL-ES-04.14.pdf)
- Ministerio de minas y energía. (2016). Plan De Acción Indicativo De Eficiencia Energética 2017-2022. [http://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/MarcoNormatividad/PAI\\_PROURE\\_2017-2022.pdf](http://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/MarcoNormatividad/PAI_PROURE_2017-2022.pdf)
- Modbus org. (2012). MODBUS Application Protocol Specification V1.1b3 Modbus. Recuperado de <http://www.modbus.org>
- Möllers, M. (2016). Awareness of the low fidelity nature of a MVP–How the initial Technology Acceptance is influenced, 2-3.
- Organización Latinoamericana de Energía–OLADE (2020). Barómetro de la energía de América Latina y el Caribe 2020. Los desafíos del sector energético en la post pandemia, Pag.5. <http://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/old0458.pdf>
- Paramati, R, P. Shahzad, U. & Buhari Doğan. (2021). The role of environmental technology for energy demand and energy efficiency: Evidence from OECD countries, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 153, Pag. 2,

- 2022, 111735, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111735>.
- Paessler. (2018). PRTG Network Monitor—monitoreo de redes fácil. Recuperado de <https://www.es.paessler.com/prtg>
- Sandoval, M. A. (2020). Los Ascendidos. Mirada a la Relación Humano—Energía Eléctrica. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/20.500.12010/11465>.
- Singh, D., Sandhu, A., Thakur, A. and Priyank, N. (2020). An Overview of IoT Hardware Development Platforms. *International Journal on Emerging Technologies*, 11(5):155–163. ISSN No. (Online): 2249-3255. [https://www.researchgate.net/profile/Dhawan-Singh/publication/344207338\\_An\\_Overview\\_of\\_IoT\\_Hardware\\_Development\\_Platforms/links/5f5b92d1299bfd43cf9e447/An-Overview-of-IoT-Hardware-Development-Platforms.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Dhawan-Singh/publication/344207338_An_Overview_of_IoT_Hardware_Development_Platforms/links/5f5b92d1299bfd43cf9e447/An-Overview-of-IoT-Hardware-Development-Platforms.pdf)
- Strategyzer. (2018a). Business Model Canvas. Recuperado de <https://www.strategyzer.com/canvas/business-model-canvas>
- Strategyzer. (2018b). Value Proposition Canvas. Recuperado de <https://www.strategyzer.com/canvas/value-proposition-canvas>
- Software de gestión energética: PowerStudio Scada Deluxe. (2015). Circutor. Recuperado de <http://circutor.es/es/productos/medida-y-control/software-de-gestion-energetica/software-power-studio-scada-deluxe-detail>
- UPME. (2019). Implementación De Un Sistema De Gestión De La Energía (R. B. Fredy, Prias, Campos, Carlos (Ed.); 2nd ed.).
- Vannieuwenborg, F., Verbrugge, S., & Colle, D. (2018). Choosing IoT-connectivity? A guiding methodology based on functional characteristics and economic considerations. *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*, 29(5), 2–2. Recuperado de <https://doi.org/10.1002/ett.3308>
- WSL. (2016). MatMaX. Recuperado de [http://www.wsl.be/matmax/home\\_d.php?lang=en](http://www.wsl.be/matmax/home_d.php?lang=en)