

Optimización de la eficiencia energética en los hogares, con microred fotovoltaica piloto, con tecnologías de medición inteligente en la ciudad del Cusco

Johonel Caceres Espinoza

johonel.caceres@unsaac.edu.pe

<https://orcid.org/0000-0002-9191-0901>

Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

Donato Mamani Pari

donato.mamani@unsaac.edu.pe

<https://orcid.org/0000-0002-0998-3124>

Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

Pablo Apaza Huanca

pablo.apaza@unsaac.edu.pe

<https://orcid.org/0000-0002-3941-1347>

Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

RESUMEN

En la actualidad, el sector eléctrico peruano, viene atravesando varias modificaciones, respecto a su matriz energética, utilización de energías renovables, biocombustibles, eficiencia energética, donde se tiene una interacción unidireccional limitada, entre las empresas distribuidoras y los consumidores, el cual dificulta a la red, tener una respuesta rápida al crecimiento de la demanda y el constante cambio que sufren las redes eléctricas. Una alternativa de solución, es la utilización de redes inteligentes, el cual introduce un dialogo bidireccional de la electricidad, entre las empresas distribuidoras y los consumidores (clientes regulados y clientes libres), permitiéndose el desarrollo de nuevas tecnologías, utilización de herramientas de automatización, y una mejora en la eficiencia y cuidado del medio ambiente. En este artículo, se presenta los efectos de incorporar un prototipo de medidor inteligente bidireccional, que utiliza módulos de adquisición de datos y procesamiento de información, como voltaje, corriente, potencia y energía; adicionalmente, permite detectar perdidas no técnicas, por hurto de energía. El prototipo que se utilizó, fue un medidor Arduino MEGA 2560 y una pantalla liquida LCD, que permita visualizar los parámetros eléctricos e incentive a los consumidores, al ahorro de energía eléctrica (Smart Meter).

Palabras clave: *medidor inteligente, eficiencia energética, ahorro de energía, gestión de la demanda, energías renovables.*

Correspondencia: johonel.caceres@unsaac.edu.pe

Artículo recibido 10 agosto 2022 Aceptado para publicación: 10 septiembre 2022

Conflictos de Interés: Ninguna que declarar

Todo el contenido de **Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar**, publicados en este sitio están disponibles bajo

Licencia [Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) 

Cómo citar: Caceres Espinoza, J., Mamani Pari, D., & Apaza Huanca, P. (2022). Optimización de la eficiencia energética en los hogares, con microred fotovoltaica piloto, con tecnologías de medición inteligente en la ciudad del Cusco. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(5), 1667-1681. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i5.3178

Optimization of energy efficiency in homes, with pilot photovoltaic microgrid, with smart metering technologies in the city of Cusco

ABSTRACT

At present, the Peruvian electricity sector has been undergoing several modifications, regarding its energy matrix, use of renewable energies, biofuels, energy efficiency, where there is a limited unidirectional interaction between distribution companies and consumers, which makes it difficult to the network, have a quick response to the growth in demand and the constant change that the electricity networks suffer. An alternative solution is the use of smart grids, which introduce a two-way electricity dialogue between distribution companies and consumers (regulated customers and free customers), allowing the development of new technologies, use of automation tools, and an improvement in efficiency and care for the environment. This article presents the effects of incorporating a bidirectional smart meter prototype, which uses data acquisition and information processing modules, such as voltage, current, power and energy; additionally, it allows non-technical losses to be detected, due to energy theft. The prototype that was used was an Arduino MEGA 2560 meter and a liquid LCD screen, which allows visualizing the electrical parameters and encourages consumers to save electricity (Smart Meter)

Keywords: *smart meter; energy efficiency; energy saving; demand management; renewable energies*

1. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, los sistemas eléctricos han presentado constantes cambios, debido a las necesidades de energía eléctrica, donde se construía centrales térmicas alrededor de las ciudades que tenían una mayor cantidad de pobladores y centrales hidroeléctricas cercanos a su materia prima. En este tipo de sistema, se tiene una interacción unidireccional, debido a que solamente las empresas de generación convención entregaban la energía eléctrica, a través de un conjunto de redes eléctricas, de manera de satisfacer el balance de potencias, teniendo como consecuencias enormes cantidades de perdidas debido a la existencias de redes muy extensas, y enmalladas, con el fin de satisfacer las demandas, produciendo que el sistema sea complejo y en puntos extremos, energías que se encuentran fuera de la NTCSE.

Desde el siglo XXI, se introduce el concepto y la utilización de las redes inteligentes, donde se tiene un dialogo bidireccional de la electricidad y la información necesaria, entre las empresas de servicio público y los usuarios (clientes). Esta red, hace que los sistemas sean más eficientes, seguros, confiables y ecológicos, permitiendo el crecimiento y la utilización de:

- Sistemas de control y de comunicación.
- Utilización de nuevas tecnologías.
- Implementación de sistemas automatizados con software y hardware.
- Interconexión con otras fuentes de energía no convencionales, como es el caso de los sistemas eólicos y solares, que producen energía eléctrica.

Esto significa que las redes inteligentes, puede reemplazar la infraestructura obsoleta y permite que las empresas publicas administren, en forma eficiente el uso de la energía eléctrica, midiendo los parámetros eléctricos necesarios para la determinación del consumo en los hogares, con mucha frecuencia, a través de los medidores inteligentes.

Otras ventajas que conlleva la utilización de las redes inteligentes es:

- Reducción de los tiempos de atención, debido a las eventuales que puedan suceder en las redes que alteran la continuidad del servicio.
- Reducción del costo de despliegue de personal para atención de eventualidades.
- Reducción de tiempo de suministro por parte de los fabricantes, donde se reemplace los repuestos adecuados de equipos y materiales para el continuo suministro de energía.

Adicionalmente, estos dispositivos inteligentes pueden ser controlados y programados a través de la web, donde la utilización de los recursos renovables, como la energía eólica y la solar, son una fuente sostenible y creciente de energía eléctrica dentro de nuestra matriz energética. Sin embargo, las energías renovables son variables y dependientes de la naturaleza y agrega su complejidad de las operaciones normales de la red. La red inteligente proporciona los datos y la automatización necesario que permite que los paneles solares y los parques eólicos pongan energía en la red y se optimice su uso, para mantener al día las demandas.

Es por estas razones, que se hace necesario la implementación de nuevas tecnologías, teniendo como objetivo este artículo, la implementación de un medidor inteligente, el cual será implementado en el sistema eléctrico de la ciudad del Cusco, el cual será diseñado en función de diferentes aspectos y cuyas mediciones serán comparados con otros equipos de medición.

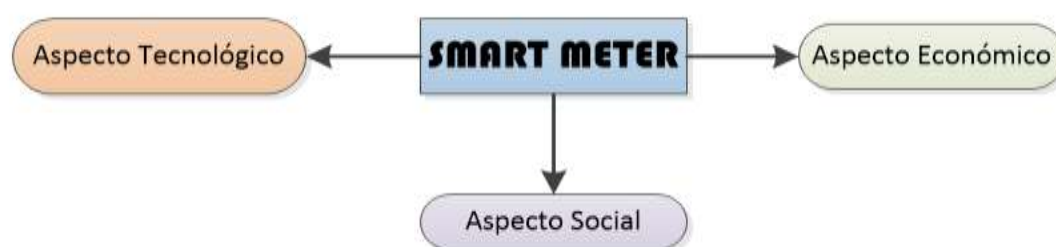
2. ESTRATEGIAS METODOLÓGICAS O MATERIALES Y MÉTODOS

Se implementará un sistema de medición inteligente, capaz de medir la energía eléctrica que se distribuye a los usuarios en tiempo real, donde se podrá identificar posibles oportunidades de ahorro. Recordemos que la utilización de este método, permitirá la mejora de la calidad de la energía acorde a la NTCSE, debido a que se tendrá una comunicación directa entre las empresas distribuidoras y los usuarios.

Para la recopilación de la información, se utilizó un medidor inteligente, que determina el consumo de energía eléctrica, para luego ser enviada, a un concentrador de datos, que es utilizado como medio de comunicación entre los medidores inteligentes y el sistema central, el cual recibe la información, de forma remota.

Para el desarrollo de este sistema de medición inteligente, se tomó en cuenta los aspectos mostrados en la Figura 1

Figura 1 – Aspectos considerador en la implementación de un Smart meter.



2.1. Aspecto Social

Para varias personas, el conocer la cantidad de energía que consume, pasa por desapercibido, principalmente en sectores de nivel económico medio, donde se aplicó encuestas para determinar la conformidad de los usuarios, respecto a los medidores convencionales (instalados en los domicilios) y conocer los hábitos de consumo de energía eléctrica por parte del usuario.

En las encuestas, se abordan temas relacionados con: el nivel de conformidad, nivel de aceptación de un nuevo sistema de medición, hábitos de consumo, claridad en la información presentada al usuario y la forma en el cual, el usuario desearía conocer el valor del consumo de energía eléctrica. Gracias a los resultados obtenidos en las encuestas, se determinó la percepción, las necesidades y requerimientos, por parte de los usuarios sobre los medidores de consumo de energía eléctrica.

2.2. Aspecto Económico

Una vez identificado las necesidades y requerimientos por parte de los usuarios, se analizó el beneficio económico que resultaría para los consumidores la implementación de la propuesta, haciendo así, una comparación entre las ventajas y desventajas del sistema actual (utilización de los medidores convencionales) y el medidor desarrollado; además se realizó una comparación económica entre los medidores de energía eléctrica convencionales y los medidores híbridos, el cual tienen un costo mayor.

2.3. Aspecto Tecnológico

Se realizó un análisis de los sistemas de medición convencional y con ello, se evaluó la posibilidad de usar insumos tecnológicos existentes en el mercado, para llevar a cabo la construcción de la propuesta, obteniéndose un medidor completamente fiable y confiable, con parámetros de ajuste y calibración adecuados, que ayudan al usuario a tener un mejor seguimiento de los datos de consumo.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Resultados

El prototipo que se implementó, se muestra en la Figura 2, el mismo que fue sometido a seis tipos de prueba, para validar su funcionamiento, las mismas que se detallan a continuación:

Figura 2 – Prototipo de medidor implementado: (a) Vista interna; (b) Vista externa



3.1.1. Comparación de mediciones de parámetros eléctricos

En esta prueba se determina la exactitud de las mediciones de voltaje y corriente. Se comparó con las medidas de un multímetro “**True RMS UNIT-T UT204**”, que muestra los valores de voltaje con una resolución de hasta un decimal, con un error de $\pm 10\text{mV}$. Respecto a las mediciones de corriente, se presenta una resolución de 0.01 A en la escala de 0 a 40 A y de 0.1 A de 40 a 400 A con un error de $\pm 2\text{mA}$. Para las pruebas se tomaron 15 lecturas del prototipo implementado, sometido a variaciones ascendentes de voltaje AC e igual número de medidas, utilizando el prototipo, a cargas variables con valores que van de 0.05 A hasta 60 A , lo que le permite la protección. En la Figura 3 se muestra la medición obtenida en una prueba.

Como resultado de las pruebas se verifico que el prototipo puede medir valores de voltaje con errores absolutos máximos de $\pm 100\text{mV}$ y de corriente de $\pm 0.3\text{ A}$. Es sensible incluso para corrientes AC despreciables para el objetivo que persigue el prototipo implementado

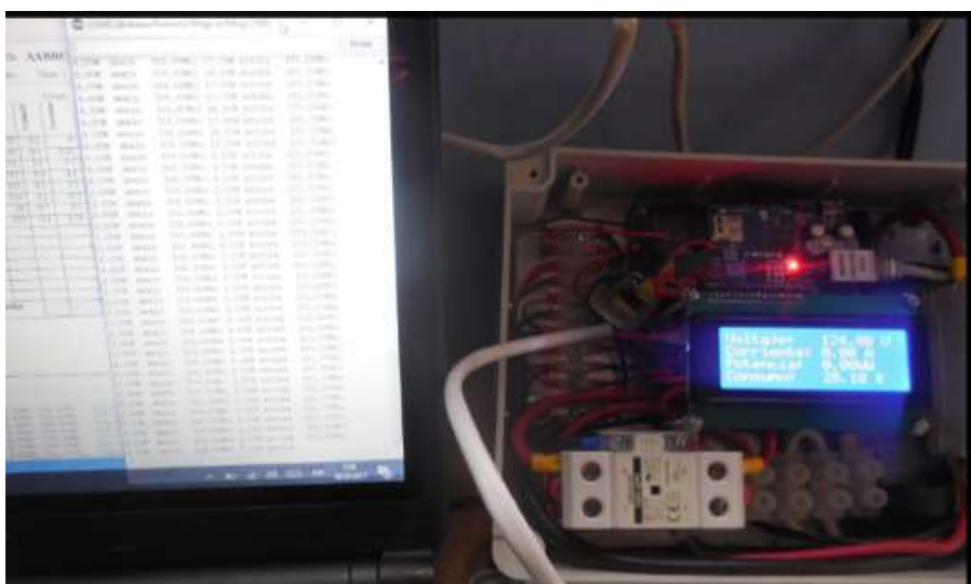
Figura 3 – Prueba de medición de voltaje



3.1.2. Comparación de igualdad de medición entre módulos de APVCP&E

La prueba consiste en verificar que las mediciones de consumo son iguales en los módulos de APVCP&E, para ello se conectaron a la misma fuente de energía y cargas idénticas a sus sensores, consecuentemente se tomaron datos de voltaje, corriente, potencia y energía de forma simultánea. Los resultados obtenidos de determinan errores máximos de 0.4 V, 0,3 A, 9 W y 0 kWh respectivamente. Se determinó que los errores absolutos de corriente y potencia incrementan proporcionalmente a la cantidad de carga conectada mientras que no existe error absoluto para las mediciones de consumo de energía con lo que se concluye que las mediciones en ambos módulos son iguales. En la Figura 4 se muestran los datos obtenidos al supervisar el puerto serial de prototipo.

Figura 4 – Datos obtenidos, al supervisar el puerto serial del prototipo



3.1.3. Prueba de repetitividad de datos

Busca determinar la estabilidad de equipo, para esto se tomaron 10 lecturas de voltaje, corriente, potencia y energía con un intervalo de tiempo de tres segundos ante una carga constante de 2 W. Con la ayuda del Software CalCasioFx9860, se calculó la media, la desviación estándar y el coeficiente de variación en cada uno de los parámetros eléctricos. De su análisis estadístico se determinó que coeficiente de variación máximo es de 0.24%. Lo que permite concluir que el prototipo implementado se encuentra dentro de los niveles de estabilidad

3.1.4. Verificación de mediciones, tomando en cuenta la longitud de la acometida

El objetivo de esta prueba, fue determinar que no existe variación en las mediciones de los sensores de corriente, al situarlos a diferentes longitudes, para lo cual se tomaron 10 muestras de corriente ubicando al sensor a distancias variables de acometida. En esta prueba se ubica el sensor a 0, 5, 10, 20 y 30 metros de distancia haciendo circular una corriente de 0.06 A y 50A a través del conductor de la acometida. Se obtiene el coeficiente de variación de 1.8% para la corriente de 0.06 A y de 0.14% para la de 50 A. Esto demuestra que no se presenta atenuación de la señal enviada por los sensores en distancias de hasta 30 m

3.1.5. Prueba de detección de hurto de energía

El objetivo de esta prueba, fue determinar si el medidor inteligente, detecta hurto de energía, para esta prueba, el prototipo fue sometido a diferentes formas de acceso ilegal de energía en la zona vulnerable. Al colocar conductores que permitan tomar energía, o realizando un bypass entre la entrada y salida de la fase dentro del medidor. Se realizó 10 ensayos colocando cargas variables en la zona vulnerable y se verificó el estado del piloto indicador de hurto de acuerdo a la diferencia en las mediciones de potencia. De las pruebas se concluye que el equipo detecta el hurto de energía cometido dentro de la zona vulnerable.

3.1.6. Comparación del prototipo, implementado con el medidor tradicional.

El objetivo de esta prueba es comparar la eficiencia en medición de consumo, con el medidor tradicional de la empresa concesionaria Electro Sur Este S.A.A.

Para este análisis se comparó 15 medidas diarias de consumo eléctrico en kWh del prototipo y las de un medidor tradicional, que se llevó a cabo a una residencia con consumo moderado. Para calcular el consumo diario, se obtiene la diferencia del consumo actual menos el consumo anterior en ambos medidores. Las pruebas se realizaron durante 15 días, donde el día 1 al 6 se obtuvo un error mínimo de -0.2 y máximo de 0.5 kWh a partir del día no presenta error absoluto en las mediciones. El prototipo mide el consumo en kWh hasta 9.99 kWh a partir de los 10 se utilizan las unidades de kWh, por ello las primeras mediciones son más exactas en comparación con el medidor tradicional. Después de los 10 kWh el error absoluto es 0 kW es decir el prototipo mide el mismo consumo que el medidor tradicional. Se concluye que de esta prueba realizada el medidor inteligente, no tiene porcentaje de error en las mediciones de energía mayores a 10 kW en relación al medidor tradicional

3.2. Discusión

3.2.1. Sistema de Medición Inteligente (SMI)

Se considera que un SMI es una solución integral de hardware y software para la gestión de las transacciones de energía en todos los puntos de un sistema eléctrico, donde es necesario medir los flujos de energía y a través de sistemas de comunicaciones, transmitir estas mediciones a centros de tratamiento de la medida, donde esta información puede ser utilizada en las empresas por diversos sistemas como pueden ser sistemas comerciales (venta de energía), sistemas de supervisión y control, sistemas de venta dinámica de energía (precios diferenciados por bloques horarios) y sistemas de servicio a los usuarios (notificaciones, reclamos, alertas). Los Sistemas de Medición Inteligente, físicamente están compuestos por contadores de energía, colectores de datos y centros de procesamiento de datos. La captura de los datos de medida se realiza en los contadores y estos pueden ser transmitidos a los colectores de datos mediante sistemas de comunicaciones cableados o inalámbricos. Luego que los Colectores de Datos han recibido los datos provenientes de los contadores, estos datos pueden ser enviados a los centros de procesamiento de datos de las empresas a través de sistemas comunicaciones físicos o inalámbricos.

La Figura 5 muestra las posibilidades tecnológicas para los SMI

Figura 5 – Sistema de Medición Inteligente



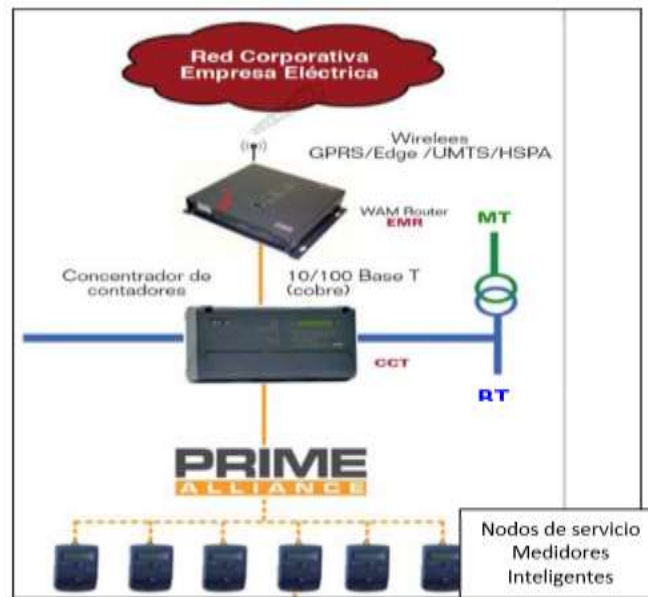
3.2.2. Sistema de Medición Inteligente Propuesto

De acuerdo con la información de avance, de los Sistemas de Medición Inteligente en el mundo, se observa que los SMI han adquirido un nivel de madurez y confiabilidad, dado su éxito en los países de Europa en los cuales se han desarrollado normativas regulatorias y las empresas eléctricas se han agrupado para desarrollar tecnologías mediante la conformación de Alianzas como es el caso de PRIME, G3 y Meters & More. En los Estados Unidos el mercado de los SMI se desarrolla sin la participación de regulaciones y cada empresa de acuerdo con sus intereses ha optado por soluciones tecnológicas no estandarizadas. Así también en el Perú se han desarrollado diversos foros de SMI con la participación de fabricantes, proveedores de software, empresas distribuidoras y organismos normativos y reguladores.

Debido a las consideraciones y antecedentes de la tecnología PLC, se ha considerado presentar como proyecto Piloto de Sistemas de Medición Inteligente, una solución basada en cableado físico, utilizando como sistema de comunicaciones el protocolo PLC con el Estándar PRIME.

La Infraestructura de hardware y sistemas de comunicaciones para el desarrollo del Proyecto de SMI se muestra en la Figura 6.

Figura 6 – Sistema de Medición Inteligente Prime



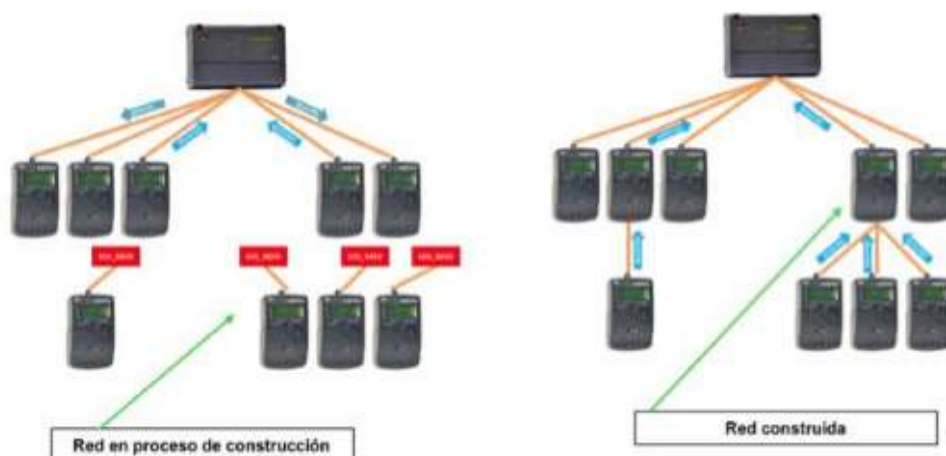
Fuente: PRIME, G3 y Meters & More

De acuerdo con la Figura 6, se aprecia que la solución de medida inteligente, tiene los componentes siguientes:

- Medidores inteligentes que se instalan en los puntos de entrega a los usuarios, estos medidores tienen como funciones más importantes, el registro de energía bidireccional, monitorización en tiempo real de tensión y corriente, registro de incidencias asociadas a calidad de producto, interrupciones, detección de fraude, control de demanda y accionamiento para corte o reconexión.
- Concentrador de medidores, que se instala en el tablero de BT (baja tensión) de la SED MT/BT que tiene como funcionalidad interrogar a los medidores de los usuarios y además también tiene un medidor interno de energía que almacena el consumo de la SED y puede realizar balances de energía, transmitir mensajes y consignas de corte y reconexión, así como recoger cualquier evento asociado a la calidad de energía proveniente de los medidores de los usuarios, a través del concentrador se puede identificar el desbalance de cargas, las fases de conexión de los medidores supervisados.
- El sistema de comunicaciones que permite establecer la comunicación entre los medidores y el concentrador corresponde al PLC de banda estrecha sobre la propia red eléctrica.
- Router de comunicaciones, que permite conectar el concentrador con la Red Corporativa de la empresa eléctrica, estos router de comunicaciones pueden

funcionar con sistemas GPRS o Fibra Óptica. El SMI propuesto, posee de forma nativa la característica de Plug & Play que le permite construir de forma automática y permanente la red de comunicaciones, esta característica se denomina “self healing”.

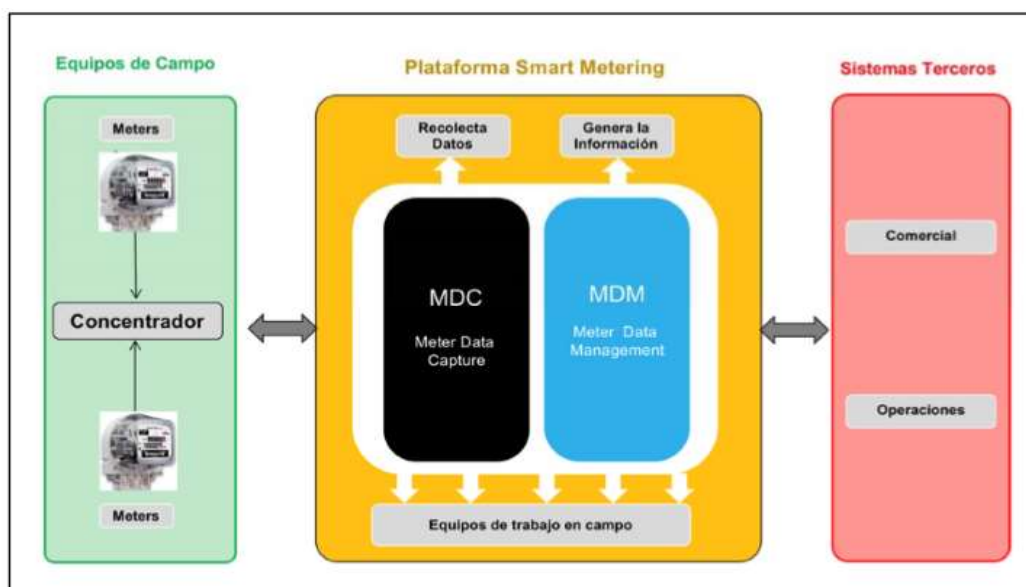
▪ **Figura 7 – Proyecto de SMI**



Fuente: PRIME, G3 y Meters & More

De manera integral para hacer posible una implantación exitosa del Proyecto Piloto, es necesario implantar una plataforma SMI que integra los Equipos de campo (medidores y concentrador), Plataforma MDC / MDM que gestiona la captura de la medida (captura, validación y estimación), explotación de datos (balances de energía, gestión de eventos y administración de órdenes de trabajo en campo) y Sistemas de Terceros, para integrar los datos con los Sistemas Técnicos y Comerciales de las empresas. La Figura 8, muestra la Plataforma Tecnológica a implantarse en el Proyecto Piloto.

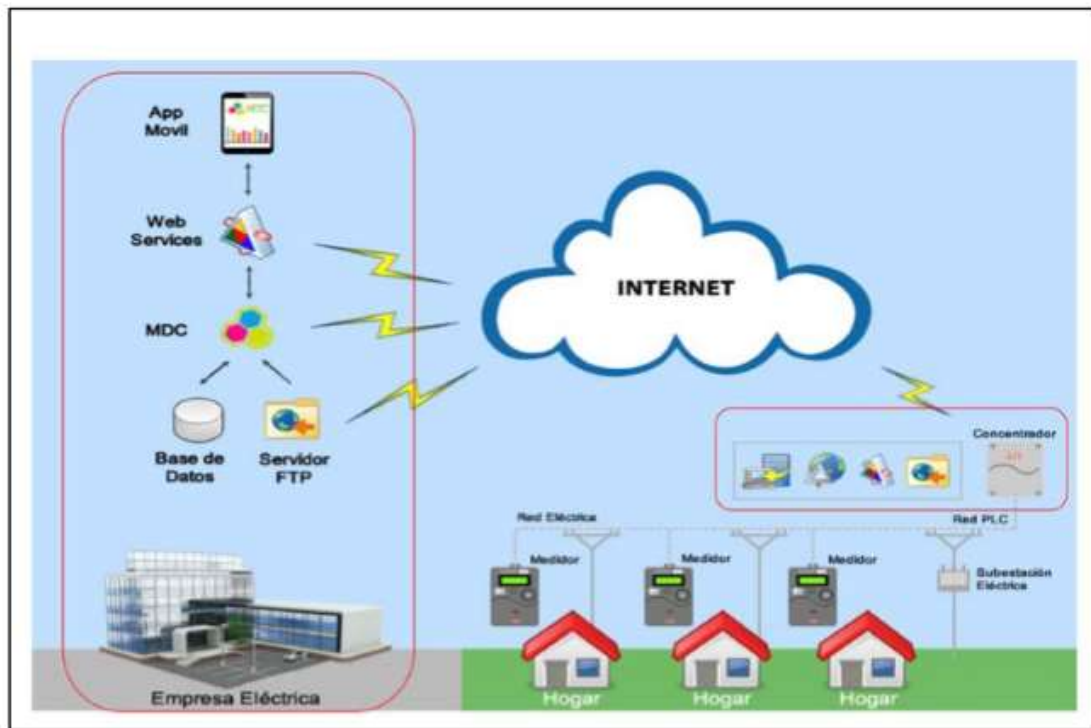
Figura 8 – Proyecto Piloto de SMI



Fuente: PRIME, G3 y Meters & More

De acuerdo a las características mostradas, el Framework planteado, se muestra en la Figura 9, donde se muestra la solución implantada

Figura 9 – Framework del proyecto piloto de SMI



El sistema de medición inteligente fue probado en la red eléctrica de Cusco, donde posee una interfaz intuitiva, amigable y de fácil acceso. Los usuarios pueden acceder a la información de consumo actual tanto de energía eléctrica, así como la información histórica de la evolución de sus consumos.

3.2.3. Análisis de los Resultados de la Medición de Consumo de Energía Eléctrica

Como lo indica la Tabla 1, con el sistema de medición inteligente se obtuvo un error promedio de +9,42 %, tomando en cuenta que todo equipo de medición presenta en sus características un margen de error considerable, el medidor permite al usuario conocer el consumo en kWh en tiempo real y realiza una comparación entre el consumo en KWh con un número de focos encendidos, logrando que el usuario perciba de mejor manera el uso de energía eléctrica de un usuario.

Tabla 1 - Errores de medición de la energía eléctrica

Error Mínimo (%)	Error Máximo (%)	Error Promedio (%)
5.95	14.31	9.42

3.2.4. Análisis de los Resultados de Facturación

El análisis de facturación, se enfoca en la comparación del valor económico mensual facturado por la empresa de distribución frente al valor previo a cancelar indicado en el medidor, siendo el valor del medidor un costo aproximado sin agregar el porcentaje adicional perteneciente a los impuestos que presenta cada empresa de distribución. Por ese motivo el valor a cancelar que muestra el medidor en energía eléctrica esta referenciado a la tarifa indicada por la empresa concesionaria Electro Sur Este, ubicándose en la tarifa de un consumidor residencial que no exceda los 200 KWh a un valor de 0,09 centavos de dólar

4. CONCLUSIÓN O CONSIDERACIONES FINALES

- El medidor inteligente tiene la capacidad de medir dos variables de energía eléctrica en el hogar, permitiendo que el usuario visualice paralelamente los niveles de consumo, recalando que el medidor como todo equipo de medición presenta un margen de error por cada variable, es así que para la energía eléctrica el margen de error es de +9,42% con relación a los datos de lectura de los medidores convencionales de energía eléctrica y para el agua potable +14,42% con relación a datos de los medidores convencionales de agua potable.
- Lectura en tiempo real, es la gran ventaja que presenta este medidor frente a los medidores convencionales, de modo que el usuario sabe con exactitud la fecha y la hora donde mayor consumo de recursos de energía eléctrica se obtuvo, permitiendo que el usuario participe de forma activa ante el uso de recursos energéticos, gestionando de mejor manera el uso de los mismos.
- Se implementó un medidor inteligente de energía eléctrica capaz de reconocer fraude o hurto de energía tanto en la acometida como dentro del medidor, utiliza tecnología Ethernet como medio de comunicación con la PRIME y permite visualizar voltaje, corriente, potencia y consumo de energía en valores monetarios.
- Se determinó que el prototipo implementado puede medir el consumo de energía, hasta 9.99 kWh donde se utilizó como unidades el kWh, adicionalmente el medidor inteligente planteado, no presenta un porcentaje de error en las mediciones de energía mayores a 10 kW al ser comparado con el medidor tradicional

5. LISTA DE REFERENCIAS

- Armitage P, Berry G. Estadística para la Investigación Biomédica. Volumen I, Tercera Edición. Madrid España: Harcourt Brace; 1997.
- Chris B Kliros, Niroj Gurung, Benjamin Kregel, Liuxi Zhang, Muhidin Lelic. Sensor with Intelligent Measurement Platform and Low-Cost Equipment (SIMPLE) – Performance Characterization. IEEE Power. 2021
- Krishman Pandiaraj, Philip Taylor, Nicholas Jenkins, Charlie Robb. Distributed Load Control of Autonomous Renewable Energy Systems. IEEE 2001; Volumen 16
- Wilmer Guacaneme, Andres F. Rodriguez, Luis M Gomez, Francisco Santamaria, Cesar Trujillo. Desarrollo de un prototipo de micro-red residencial a baja escala. Tecnologías. 2018, Volumen 21: 107-125.
- Nikolay Matamov, Atanas Zahov. Remote Electricity Metering Systems. IEEE. 2019.
- Ney R. Balderramo Velez, Yolanda E. Llosas Albuerne, Luis Neves, Lenin A. Cuenca. Diseño de Redes Inteligentes para una Gestion Energetica. CICIC. 2019; Volumen 1: 96-101
- Hector Cho, Trinh Phi Hai, Yop Chung, Jin Tae Cho, Ju Yong Kim. Distributed and Autonomous Control System for Voltage Regularion in Low-Voltage DC Distribution Systems. IEEE. 2016, Volumen 6: 806-810
- Norbert Grass, Anja Woelfel. Optimization Algorithm Addressing Voltage and Power Quality in Distributed Grid Control Systems. IEEE-INTELEC. 2017, Volumen 17: 220-222.
- Marta Poplawska. Rigrig Project as first Polish step towards self-regulating and “green” smart grid system. IREC. 2018. Volumen 9.
- Robert Webster, Kumudu Munasinghe, Abbas Jamalipour. A Scalable Distributed Microgrid Control Structure. IEEE. 2013; Volumen 13: 10-14
- Pardeep Kumar, Andrei Gurtov, Mangal Sain, Andrew Martin, Phuong H. Ha. Lightweight Authentication and Key Agreement for Smart Metering in Smart Energy Networks. IEEE. 2018. Volumen 1: 1-11