

Desarrollo de un módulo de medición de variables eléctricas en transformadores de potencia mediante conceptos de IoT

Development of a module for measuring electrical variables in power transformers using IoT concepts

Pedro Jefferson Barragán Barón
Pedro.barragan00@usc.edu.co

Jhon Hadder Guzmán Atehortúa
Jhon.guzman02@usc.edu.co

Fernando Vélez Varela, M.sC
Fernando.velez00@usc.edu.co

Javier Ferney Castillo García, Ph.D
Javier.castillo00@usc.edu.co

Universidad Santiago de Cali, Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Electrónica

Resumen

En este trabajo se detalla el desarrollo de un módulo que realiza mediciones de variables eléctricas en un transformador de potencia de baja tensión. Estas variables son enviadas por medio del estándar IEEE802.11 conectándose a una base de datos almacenada en la nube; asociándose al medidor por medio de conceptos de IoT, con el objetivo de permitir a un cliente realizar análisis, monitoreo y gestión de su red eléctrica. Para la construcción de este módulo, se utilizan sensores de corriente no invasivos conectados a un medidor trifásico y se usa una tarjeta de comunicación que permite extraer los datos del medidor y enviarlos a la base de datos en la nube. Con este módulo se logra que un transformador de potencia eléctrica convencional se convierta en un transformador de potencia eléctrica inteligente, haciéndolo un *Smart Object* y así extraer información de éste de forma telemétrica en tiempo real.

Palabras Clave: Medición de Energía Eléctrica Inteligente; IoT; Testbed.

Abstract

This work details the development of a module that performs measurements of electrical variables in a low voltage power transformer. These variables are sent by means of the IEEE802.11 standard, connecting to a database stored in the cloud; associating IoT concepts with the meter, this to allow a client to perform an analysis, monitoring and management of their electrical network. For the construction of this module, non-invasive current sensors connected to a three-phase meter are used and a communication card is used that allows data to be extracted from the meter and sent to the cloud database. With this module, it is possible to convert a conventional electrical power transformer into an smart electrical power transformer, making it a Smart Object and thus extract information from it telemetrically in real time.

Keywords: Smart Electric Power Measurement; IoT; Testbed.

1. INTRODUCCIÓN

La infraestructura de una red eléctrica de un campus está compuesta principalmente por los emplazamientos determinados por la presencia de transformadores de potencia de corriente alterna. Dichos dispositivos son a los que se les puede observar referencias características como el voltaje alterno, el umbral máximo, mínimo, factor de potencia, corriente, energía activa, energía reactiva, etc, que se originan por la misma red de suministro. Por lo general, estos transformadores son monitoreados mediante complejos sistemas que implican un alto costo o no son monitoreados y no se tiene gestión ni local ni remota de sus variables de referencia definidas a partir del comportamiento del consumo de potencia eléctrica. (Anubel y Poll, 2019).

Para mitigar lo mencionado como desventaja, se ofrece un proceso de medición telemétrica basado en IoT (Internet of Things), el cual aporta una prometedora solución que se basa en un módulo que alcanza a garantizar altos niveles de confiabilidad, lo que involucra probablemente un aumento del rendimiento del sistema en la toma de decisiones en un

menor tiempo y la posibilidad de realizar análisis para aumentos de carga a la infraestructura propiamente dicha, entre otros. (Erraissi, Raoufi, Aarich, Akhsassi y Bennouna, 2018). El concepto de IoT está especificado para que haya una interrelación entre los dispositivos informáticos y los dispositivos de telemetría asociados a los transformadores de potencia, para que estos dispositivos cuenten con un ID (del inglés, *identification*) único y con la capacidad de entregar los datos de la medición de sus referencias eléctricas a través de una red en la cual se tiene una interacción M2M (del inglés, *Machine to Machine*), minimizando con esto el riesgo eléctrico hacia el ser humano; esto gracias a la determinación de sensores y transductores que tecnológicamente convierten a esta clase de instancia básica general en un sistema ciber físico, que puede ser parte de sistemas de tecnología de redes inteligentes, plantas de energía y hogares inteligentes. (Singh et al, 2020).

Debido al bajo costo de los módulos de medición basados en IoT, puede establecerse una fuerte ventaja que se espera ser aprovechada mucho más cuando se alcance un alto grado de madurez y la popularización de los protocolos como CoAP (del inglés, *Constrained Application Protocol*), MQTT (del inglés, *Message Queue Telemetry Transport*) y XMPP (del inglés, *Extensible Messaging and Presence Protocol*), los cuales se definen actualmente como estándares. Debido a la revolución tecnológica en todo el mundo, las tecnologías inteligentes están reemplazando a las antiguas. En el sector de la energía, la tecnología IoT se está volviendo más atractiva hoy en día y se espera que para el 2023, haya alrededor de 20 mil a 50 mil millones de cosas que estén conectadas a Internet en todo el mundo. (Hossain, Rahman, Sarker, Haque y Jahid, 2019).

Es de apreciar que en un entorno tipo campus se pueden tener una considerable cantidad de transformadores, los cuales no tienen sistema de medición de energía eléctrica. También es de mencionar que el tema de seguridad funcional de las redes que dependen del esquema principal de alimentación de potencia, es fundamental debido a que un entorno de esta clase puede encontrarse en crecimiento constante, lo cual incrementa el gasto de energía y esto obliga a conocer hacia dónde se puede proyectar la demanda o capacidad de los transformadores y así evitar daños en los equipos eléctricos, que afecta a toda la comunidad e incrementa los costos por reparaciones. Instalar una serie de equipos de medición en tiempo real tiene un alto costo económico y además no puede ser monitoreado por personal ajeno al prestador de servicio eléctrico, quedando la información en manos de terceros. (Muralidhara, Hedge y Rekha, 2020).

El propósito principal de este trabajo, es desarrollar un módulo de medición de variables eléctricas en transformadores de potencia de corriente alterna, basado en IoT, mediante lo cual éstos puedan ser gestionados y monitoreados por mecanismos de telemetría.

2. ANTECEDENTES

“En el mundo, ya se vienen implementando redes eléctricas inteligentes denominadas *Smart Grids*, la red eléctrica es un elemento indispensable en la sociedad, sin embargo, ésta no ha cambiado mucho en los últimos 100 años.”(Mojica, Cuéllar y Medina, 2016)(Bravo Caicedo y Castillo García, 2018).

Debido a los cambios ambientales y los avances en la tecnología, los investigadores están trabajando en la combinación de las TICs (Las tecnologías de Información y Comunicación) con el sistema eléctrico. La mayoría de países desarrollados son pioneros o aplicantes de los desarrollos de *Smart Grids*, donde se busca que las redes permitan flujos de energía bidireccionales, y utilizan métodos de comunicación y control entre las mismas, esto genera mejoras en los aspectos ambientales y de producción energética, ya que el eficiente consumo de energía viene creciendo rápidamente en todo el mundo. “Desde 1990 hasta el 2009, la tasa de crecimiento de consumo total a nivel mundial fue de 72,17%, solo en 2009 el consumo aumentó el 17,3% y se espera que alcance el 22% en el 2030.” (Mojica et al., 2016).

En toda la historia de Colombia, las mediciones del consumo eléctrico se calculan utilizando en su gran mayoría medidores eléctricos analógicos convencionales, y en muy pocas partes dispositivos capaces de hacerlo de forma electrónica, y que al mismo tiempo se presten para convertirse en un objeto de IoT. Debido a que solo se hacen mediciones para luego en el tiempo realizar una comparación mensual, y por consiguiente tarificar el consumo de los usuarios, éstos no se enteran de todos los beneficios que traería tener un control sobre su consumo de energía eléctrica y cómo podrían beneficiarse económicamente de las mediciones. Si los usuarios tienen control sobre su consumo eléctrico, se podría obtener una mayor eficiencia energética. “Según la Agencia Internacional de Energía (AIE), la economía

mundial podría estar mejor en 18 billones de dólares para 2035 si adaptamos la eficiencia energética como primera opción” (Natarajan, 2015); además, “los economistas de la energía de renombre mundial han reconocido que las buenas prácticas de gestión y conservación de la energía pueden lograr hasta un 25% en la reducción de costos” (Natarajan, 2015). Sin embargo, ya existe la tecnología necesaria para realizar mediciones eficientes por cuenta de medidores inteligentes, los cuales realizan procesos de medición en tiempo real con posibilidad de envío de esta información a través de las redes de telecomunicaciones, almacenando estos datos y posibilitando el uso de herramientas de *Big Data* (Gran cantidad de datos) y así procesar todos los datos masivos suministrados por la red, ayudando a la toma de decisiones. (Kunicki, Borucki, Zmarzly y Frymus, 2020). Al integrar estos datos de medición con las redes de telecomunicaciones, se llega al concepto de *Smart Grids*. En Colombia ya se tiene un plan de desarrollo llamado “*Smart Grids* Colombia visión 2030”, el cual busca que por lo menos el 95% de los usuarios estén atendidos con medidores inteligentes a más tardar en el año 2030. (Grupo técnico proyecto BID, 2016) (Bravo Caicedo y Castillo García, 2018).

Durante la última década, se han desarrollado numerosos trabajos de investigación y se ha realizado un avance significativo en el uso de la tecnología de Internet de las Cosas (IoT) en relación con la infraestructura eléctrica. Se puede mencionar que se tiene a ésta como una tecnología de soporte que puede estar asociada a un sistema de medición inteligente. (Junior, Borges, Veloso, Rabêlo, y Rodrigues, 2019). En el sector eléctrico, se han realizado muchos estudios para mejorar la crisis energética mediante la adopción de fuentes de energía renovables. Al mismo tiempo, los investigadores demuestran que en el sector de gestión y ahorro de energía eléctrica ya hay diseñados muchos dispositivos basados en IoT. (Avancini et al., 2019) (O’Driscoll y O’Donnell, 2012).

Ya se tiene una relación definida entre dispositivos de medición y sensores inteligentes, que se integraron en la red eléctrica bajo el concepto de *Smart Object*. Por consiguiente, esto permite tener la visión de contar con una red inteligente para control y gestión, como lo es *Smart Grid*. (Bravo Caicedo y Castillo García, 2018). Consecuente a esto, las nuevas tecnologías, especialmente las telecomunicaciones, colocan a disposición información referente a la producción y el consumo, lo que se determina en ganancias de eficiencia y confiabilidad. (Al-Turjman y Abujubbeh, 2019).

Dentro de las arquitecturas tipo campus pueden disponerse dispositivos de medición, que permitan conocer y controlar el consumo de energía. La información obtenida es útil cuando lo observado por el comportamiento del consumo eléctrico se puede capturar y procesar como información, la cual debe ser dirigida a un centro de gestión y control que puede hacer que los datos tomados estén disponibles mediante un sistema de información y visualización tanto para los consumidores como para los proveedores. (Avancini et al., 2019).

Un sistema de adquisición de información de energía asociado a los procesos de telemetría de un medidor bajo el concepto de IoT, determina un rango de capacidades adicionales que se logran mediante el monitoreo en tiempo real de los *Smart Objects* y la recopilación de información. Esto proporciona además de los datos básicos a los sistemas relevantes, otras consideraciones que robustecen el concepto del análisis lo cual vuelve a este tipo de mecanismos más oportunos, completos y precisos. (Yao et al, 2018).

En el campo IoT, la infraestructura de red es principalmente de corto alcance, que ahora se usa ampliamente para la lectura móvil de medidores principales que son particularmente difíciles de leer y para la lectura remota de medidores divisionales domésticos. (Vélez Varela, 2020)

Los objetivos principales de una infraestructura de comunicación están representados por la posibilidad de acceso a los datos para usuarios, desarrolladores y la accesibilidad del nodo no destinado únicamente a los datos relacionados con él mismo. (Liang, He, Chen, y Du, 2018). Otro parámetro importante con respecto a las infraestructuras de red se refiere a su grado de madurez, de hecho, el uso de infraestructuras consolidadas permiten soluciones tecnológicas disponibles en el mercado. (Vélez Varela, 2018) (Abate, Carratù, Liguori y Paciello 2019).

Se puede observar que las mediciones eléctricas están evolucionando rápidamente con el nuevo concepto de *Smart Grids*, esto hace que el módulo desarrollado sea una ayuda a la transición desde las redes convencionales hacia las redes inteligentes como lo vienen planteando los diferentes autores.

3. METODOLOGÍA Y MATERIALES

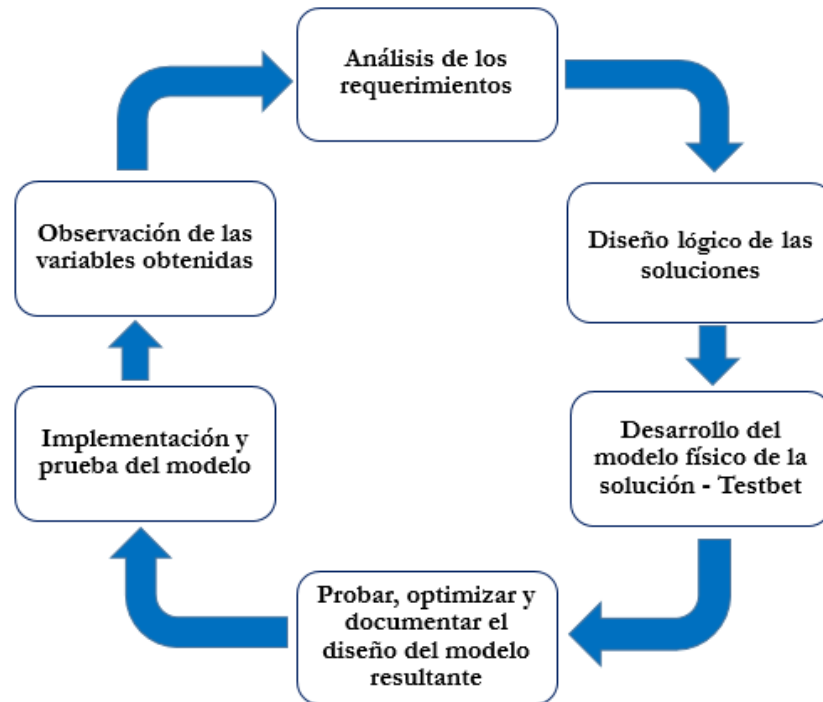
3.1. Metodología

La metodología para la realización del proyecto se divide en las siguientes fases:

- **Fase I:** Análisis de requerimientos: Se debe tener clara la estructura del sistema eléctrico en los bloques del entorno tipo campus para realizar la instalación de los equipos adecuados, para esto, se piden datos al área encargada.
- **Fase II:** Diseño lógico y físico de las soluciones: De acuerdo con los datos suministrados por el entorno tipo campus, se busca la solución con mayor impacto positivo en la red eléctrica, que permita una fácil toma de datos para la toma de decisiones con tiempos oportunos. Se lleva a cabo la compra de los equipos.
- **Fase III:** Desarrollo del modelo de la solución – *testbed*: Los datos se registran inalámbricamente en una infraestructura de almacenamiento utilizando la red IEEE 802.11, se tratan los datos utilizando mecanismos de software que permiten visualizarlos para ofrecer un tipo de análisis que pueda ser requerido a través de un web service.
- **Fase IV:** Prueba y optimización del modelo resultante: Se desarrollan pruebas preliminares en un tablero de distribución en una red eléctrica domiciliaria de baja potencia y se toman resultados los cuales se utilizan para optimizar el modelo final.
- **Fase V:** Implementación y prueba del modelo resultante: Se instala el prototipo y se realizan pruebas al modelo implementado usando un proceso experimental de campo en los emplazamientos de los transformadores, que están en el citado entorno (Universidad Santiago de Cali), en esto se toman muestras simultáneas con el fin de determinar y garantizar las funcionalidades del modelo.
- **Fase VI:** Monitorización y observación de los resultados del sistema a medir: Se realizan acciones de observación y monitorización a partir de las pruebas del diseño en referencia a su operación con la red eléctrica con la que cuenta el campus analizado (Universidad Santiago de Cali), se toman muestras de los resultados obtenidos de las pruebas funcionales del equipo.

Los sistemas típicamente se desarrollan y continúan en pruebas en el entorno de desarrollo que se determina para su aplicación durante un cierto período de tiempo, llamado frecuentemente ciclo de vida del desarrollo del proceso de prueba, que puede estar compuesto por un grupo de fases a definir, en las cuales se especifican sus debidos límites para la recolección de resultados. (Muralidhara et al, 2020). El enfoque resalta que se lleva a cabo el desarrollo de un módulo de adquisición de variables eléctricas por medio de mecanismos de telemetría que se soportan en IoT, por esto se considera realizar prácticas experimentales con el *Testbed* (Banco de pruebas) dispuesto para el caso. La metodología consiste en el desarrollo de unos procedimientos que se llevan a cabo identificando primero grandes acciones y descendiendo a sus detalles progresivamente, es decir experimental y sistémica. Esto se aprecia en la Figura 1.

Figura 1. Ciclo de vida de metodología diseño descendente

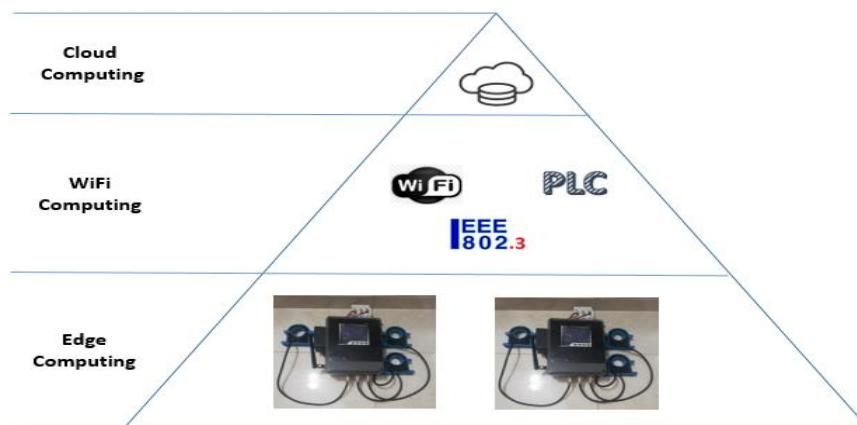


Fuente: Los Autores

3.2. Materiales y procedimientos para el desarrollo

En esta parte, se determinan los elementos que se discutieron para la implementación del desarrollo obtenido y se justifican los requisitos técnicos cruciales para asociarlos al esquema que se modeló y se dejó en la solución planteada y de esta forma concebir el sistema propuesto. La mayoría de las referencias tomadas acerca de los elementos usados se basan en los requisitos típicos que deben tener dichos sistemas y que deben cumplir éstos de acuerdo con los estándares teóricos, funcionales e industriales que actualmente se usan en las mediciones de potencia basadas en IoT; las aplicaciones que se sumaron al proceso de desarrollo son delimitadas para el campo de la monitorización de parámetros eléctricos en línea de los transformadores de potencia, esto se aprecia en la Figura 2.

Figura 2. Modelo por capas del proceso de medición en referencia al concepto de IoT



Fuente: Los Autores

3.2.1. Los materiales que se mencionan a continuación son los que se usaron para la implementación del desarrollo del módulo de medición:

- Medidor trifásico con módulo de comunicación MODBUS RTU.
- Conversor de MODBUS RTU a TCP/IP.
- Placa de desarrollo con módulo IEEE 802.11.
- Sensores de corriente no invasivos.

La Tabla 1 muestra las características del medidor dispuesto para el módulo de medición.

Tabla 1. Referencias técnicas del módulo de medición

| Parámetros Técnicos | | |
|-------------------------------|--------------------|-------------|
| Voltaje | Rango de medición | 380V/100V |
| | Consumo de energía | < 1VA |
| Corriente | Rango de medición | 5A/1A |
| | Consumo de energía | <1VA |
| Frecuencia | Rango de medición | 45Hz - 65Hz |
| Clase de medida | Energía activa | 0,5S |
| | Energía reactiva | 1S |
| Temperatura de trabajo | -10°C - 55°C | |

Fuente: (Chujing Electric, 2019)

3.2.2. Comunicación y conexiones dispuestas para el sistema propuesto

- La comunicación con los sistemas típicos actualmente aplicados para mediciones eléctricas en línea utilizando la interfaz RS485, full duplex de 2 hilos (con protocolo Modbus).
- La comunicación con los sensores de corriente típicos externos por medio de cables flexibles multiconductores portátiles compuestos de dos conductores de cobre blando con aislamiento individual termoplástico de policloruro de vinilo (PVC).
- La comunicación del medidor con el sistema IEEE802.11 se hace usando un conversor MODBUS RTU a TCP/IP, usando a dicho conversor en modo esclavo.
- La comunicación con la base de datos se realiza a través de una tarjeta de desarrollo que cuenta con un módulo IEEE802.11 y es configurada en modo Server, ésta es la encargada de interrogar el medidor y enviar los datos recibidos a la base de datos a través de Internet.
- Para realizar la carga de la información a la base de datos se utiliza el protocolo MQTT.
- La base de datos se gestiona a través de un sistema no relacionado de alto desempeño (NoSQL).

3.2.3. Adquisición de los datos

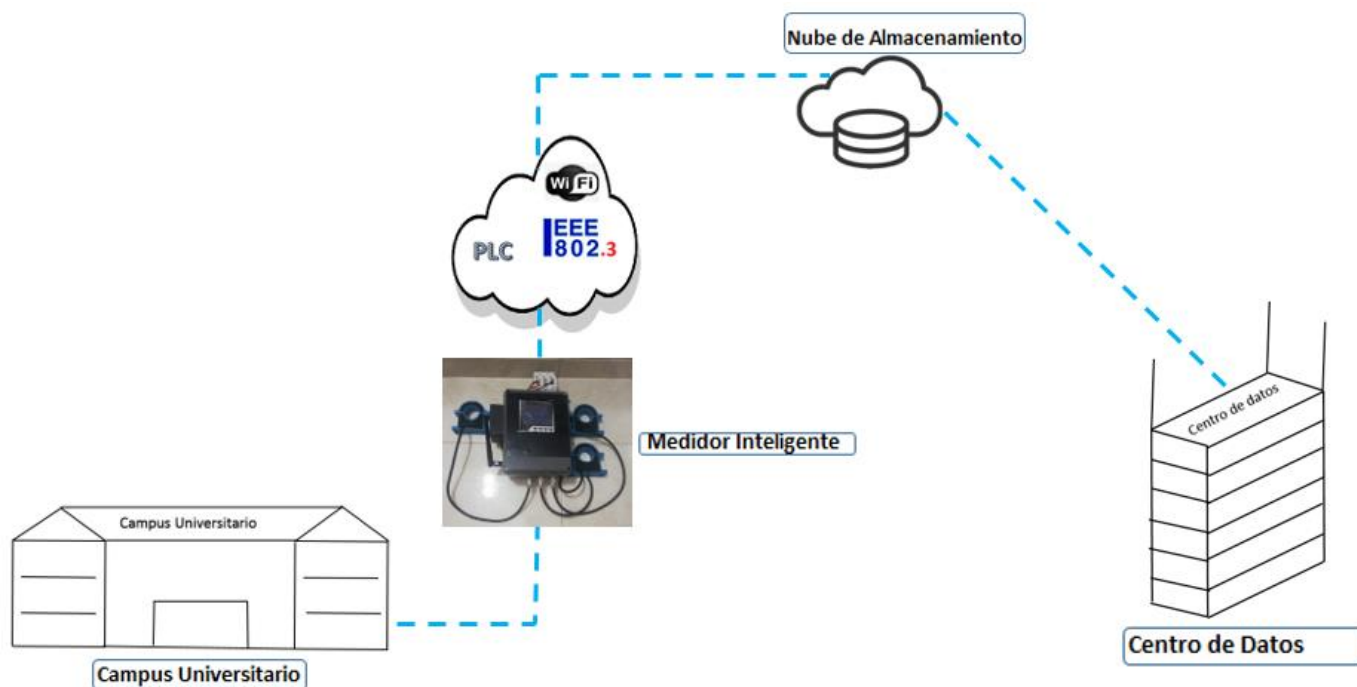
Para el registro local de todos los datos de parámetros de potencia eléctrica, se usó un medidor de tres fases con comunicación RS-485, conectado a las señales de tensión y corriente, los datos obtenidos pasan de forma referencial a un sistema de base de datos, en la cual se pueden operar para su debido despliegue en el sistema de información.

3.2.4. Sincronización y actualizaciones de los datos

Para la actualización y sincronización de hora automática se usó Unix Timestamp, que se referencia en el reloj de tiempo real RTC incorporado y servidor de hora NTP (del inglés, *Network Time Protocol*).

Lo anterior se aprecia en la Figura 3, que presenta la arquitectura general del sistema de medición.

Figura 3. Arquitectura general del sistema de medición

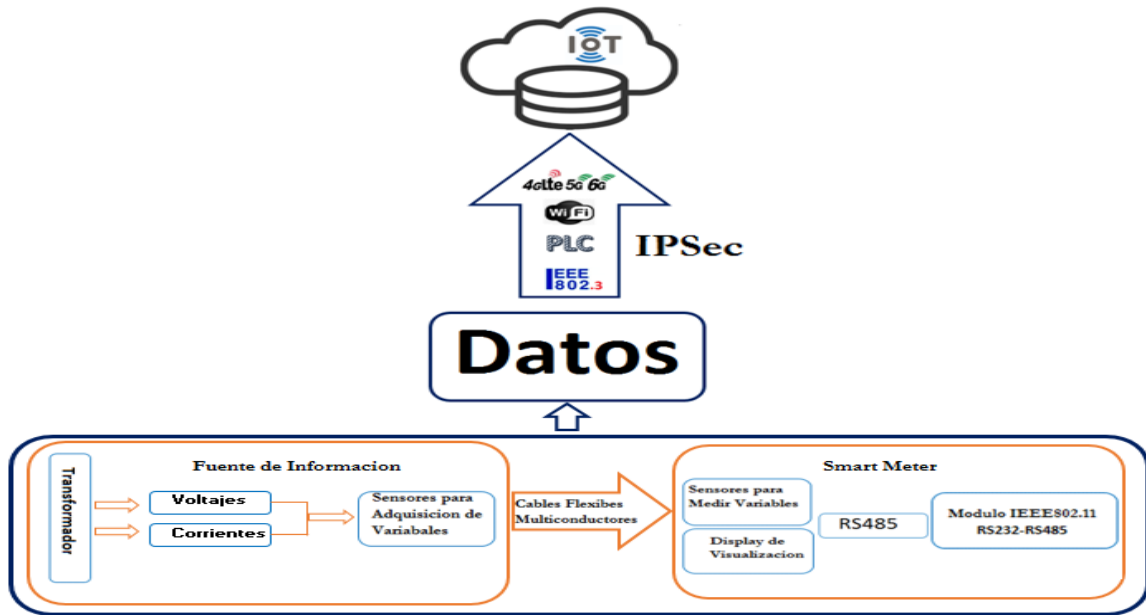


Fuente: Los Autores

3.2.5. Fiabilidad, seguridad y protección de datos.

Uno de los aspectos cruciales con respecto al sistema, es la continuidad del proceso de registro y archivo de los parámetros medidos, ya que la comunicación de la que se dispone es unilateral entre la unidad de medición y la base de datos y para realizar alguna modificación en la configuración del dispositivo se debe acceder físicamente a él. El registro básico de parámetros del sistema remoto en la base de datos, control y recopilación de información relacionada se hace mediante una conexión IEEE802.11 soportada en IPSec (del inglés, *Internet Protocol Security*). La composición por bloques del esquema de manejo de datos se encuentra en la Figura 4.

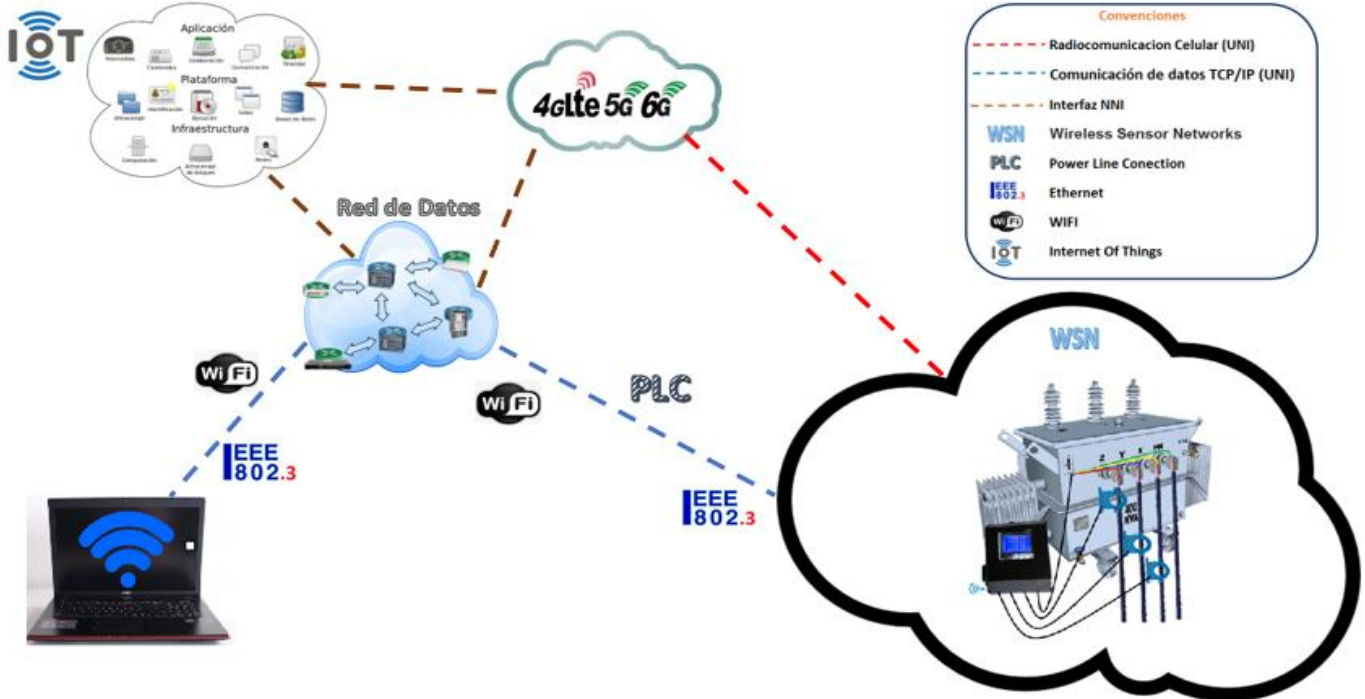
Figura 4. Estructura en bloques del concepto de medición y manejo de datos



Fuente: Los Autores

La relación de estos elementos referenciales se encuentra en la Figura 5.

Figura 5. Modelo esquemático de conexión del módulo de medición



Fuente: Los Autores

4. RESULTADOS DEL PROCESO DE DESARROLLO

La meta definida en este desarrollo se encarga de realizar la adquisición de datos con una solución de medición dispuesta en un nodo que se adjuntó a un transformador de potencia, lo cual se logró usando los debidos conceptos relativos al manejo de potencia y cargas eléctricas para consumo. En esta sección se presentan los resultados obtenidos después de un procedimiento de operación, en conjunto con los resultados de las pruebas de campo de los sensores de medición que se ubicaron en el dispositivo que se convirtió en un *Smart Object*.

Para medir sistemas objetivo que reflejen el consumo que tenga de aspectos como la potencia eléctrica y lo que ésta representa, se acude en la actualidad a formas, metodologías y modelos que por medio de tecnologías y otros mecanismos, materializan tales acciones de una forma directa o indirecta, o a través de métodos que pueden ser invasivos o no, y por la disposición estructural hoy en día los productos comerciales cuentan con la posibilidad de extraer sus datos, usando conceptos protocolares con determinaciones de tipo industrial, que los hacen ser un concepto cerrado para potencialmente hacerles gestión; lo cual implica ir de plano al reconocimiento implícito y explícito de los procesos de consumo, en donde se hace necesario conocer cómo un mecanismo planteado de esta manera puede ser compuesto y al mismo tiempo determinado como un objeto IoT; esto busca la posibilidad de medir las condiciones de referencia de su funcionamiento, que son de interés del objetivo de construcción de tal objeto. La forma en cómo se hace esto es considerando un mecanismo de medición que físicamente toma este proceso de una forma directa y extrae dichas variables para su almacenamiento y posterior procesamiento.

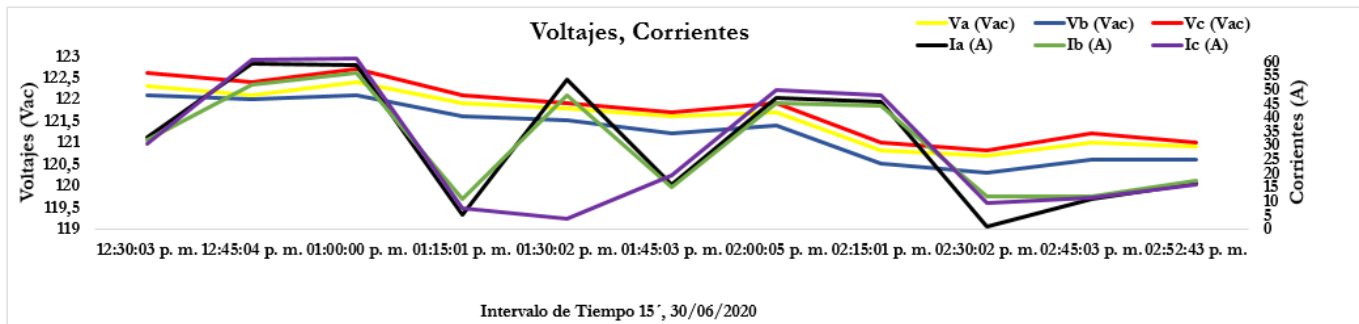
Las particularidades de implementación usadas dentro de este desarrollo, como ya se ha mencionado, se determinan por los procesos de medición de potencia eléctrica, definidos en principio sobre transformadores de circuitos principales de un campus; lo mencionado se especificó mediante el modelamiento del concepto de la medición, usando para esto un voltímetro, el cual permite ser gestionado asociándolo a una interfaz de red, lo cual lo convierte en un *Smart Object*, que puede ser rastreado con el uso de tal interfaz por medio de un sistema de gestión, lo que se representa en la posibilidad de que dicho objeto compuesto se convierta por el manejo de la convergencia, pervasividad y ubicuidad, en un elemento característico de IoT.

El sistema de adquisición de datos obtenidos mediante el modelo se utilizó para monitorear instalaciones de transformadores conectados a la red eléctrica de un campus (Universidad Santiago de Cali). La operación de éste da la posibilidad de extraer trece (13) variables de comportamiento funcionales.

De esto, se presentan a continuación los datos obtenidos que se adquieren de las señales de tensión y corriente en fase A, B y C, las cuales se desarrollaron durante un lapso de tiempo aproximado de dos (2) horas, sin embargo, el modelo puede estar en funcionamiento continuo durante el tiempo que se determine, pero para el caso, se tomaron muestras cada 5 segundos en el lapso considerado; para el proceso de gestión se graficó la información en períodos de 15 minutos para una fácil lectura global de los datos, lo cual el usuario del sistema de gestión puede variar, esto implica poder tener ventajas y herramientas dinámicas de análisis. Esto se aprecia en las medidas de tensión y corriente de cada fase como lo muestra la Figura 6. Las tablas que se adjuntan en la gráfica, definen los valores picos de los voltajes y las corrientes por fase, mostrando su valor, fecha y hora en la que se presentaron.

Figura 6. Señales de tensión y corriente del transformador medido del campus.

| | Max | Fecha | Hora | | Max | Fecha | Hora |
|----------|-----|------------|----------------|--------|------|------------|----------------|
| Va (Vac) | 122 | 30/06/2020 | 01:00:00 p. m. | Ia (A) | 59 | 30/06/2020 | 12:45:04 p. m. |
| Vb (Vac) | 122 | 30/06/2020 | 12:30:03 p. m. | Ib (A) | 55,9 | 30/06/2020 | 01:00:00 p. m. |
| Vc (Vac) | 123 | 30/06/2020 | 01:00:00 p. m. | Ic (A) | 60,9 | 30/06/2020 | 01:00:00 p. m. |

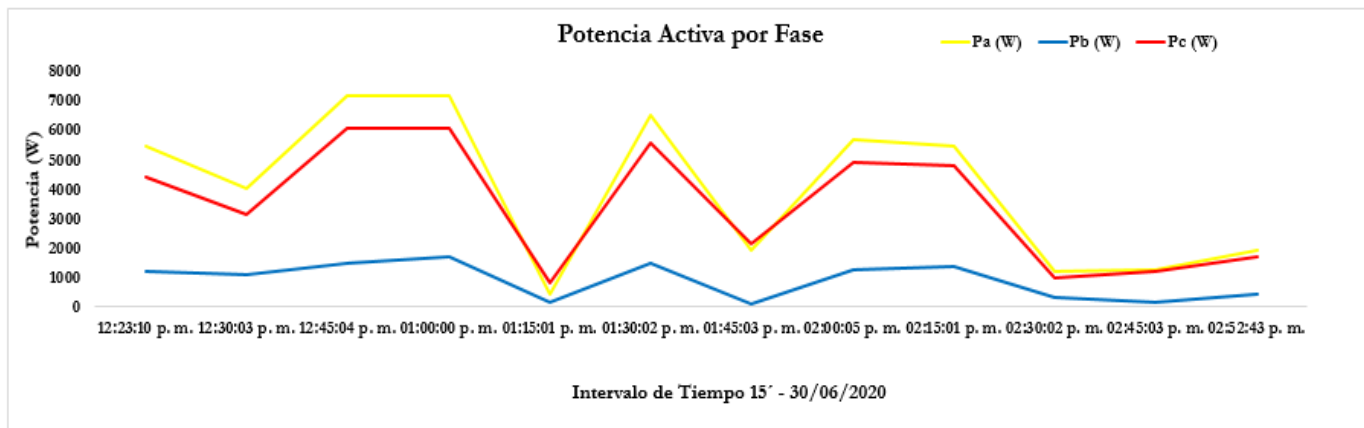


Fuente: Los Autores

De igual manera, se obtuvieron mediciones de la potencia activa por fase durante el mismo proceso de muestreo, lo cual se aprecia en la Figura 7. La tabla que se adjunta en la gráfica, define los valores picos de la potencia activa por fase, mostrando su valor, fecha y hora en la que se presentaron.

Figura 7. Potencia activa por fase del transformador medido del campus.

| | Max | Fecha | Hora |
|--------|------|------------|----------------|
| Pa (W) | 7191 | 30/06/2020 | 12:45:04 p. m. |
| Pb (W) | 1697 | 30/06/2020 | 01:00:00 p. m. |
| Pc (W) | 6083 | 30/06/2020 | 01:00:00 p. m. |

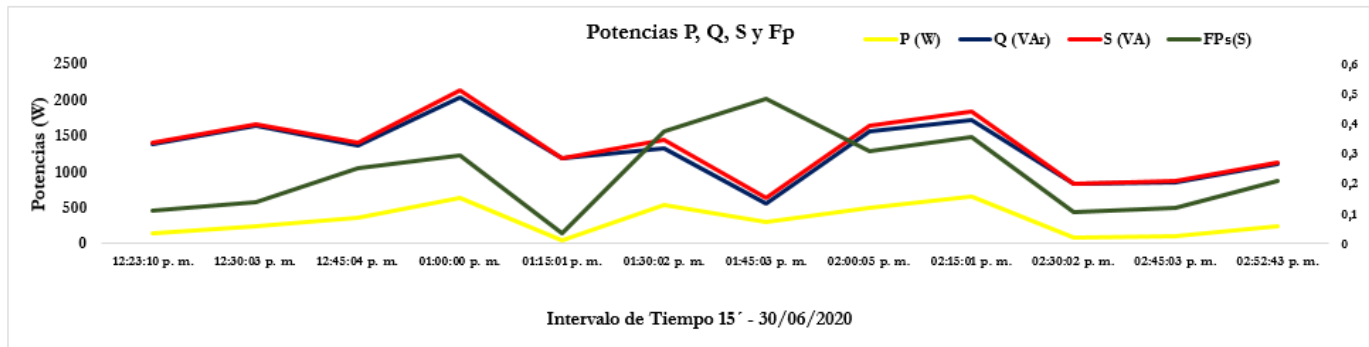


Fuente: Los Autores

El manejo de los indicadores eléctricos, los cuales están referidos principalmente al soporte tomado de un proveedor de potencia eléctrica, en el cual se tiene soporte y el manejo de estos parámetros en la conversión de energía y la generación de electricidad, como es el caso de las potencias totales que se aprecia en la Figura 8. La tabla que está adjunta en la gráfica define los valores picos de potencias totales (activa, reactiva y aparente) mostrando su valor, fecha y hora en la que se presentó.

Figura 8. Potencia P, Q, S totales (fase A, B y C) del transformador medido del campus.

| | Max | Fecha | Hora | Fp prom |
|---------|---------|------------|----------------|---------|
| P (W) | 651,00 | 30/06/2020 | 02:15:01 p. m. | 0,233 |
| Q (VAr) | 2036,00 | 30/06/2020 | 01:00:00 p. m. | |
| S (VA) | 2131,24 | 30/06/2020 | 01:00:00 p. m. | |



Fuente: Los Autores

En el caso de un sistema de potencia eléctrica implícito en un ambiente de GNS's de una TIC, el comportamiento se determina por la electricidad consumida, la cual está destinada a procesos de soporte en cuanto a servicios desplegados en plataformas que se soporten como los sistemas de luminarias, soporte de redes de alimentación y sistemas de telecomunicaciones, donde todo lo cual está determinado sobre ambientes de *networking*, en donde se comienza a extender el concepto de IoT, es decir, el recurso que se tipifica es la electricidad de baja tensión, en particular para los entornos TIC y sistemas similares como las arquitecturas de redes tipo campus, como también aquellos entornos de consumo industrial de energía a mediana y gran escala. (Vélez Varela, 2018).

En el mercado hay diferentes tipos de medidores de redes eléctricas, los cuales tienen precios que difieren de acuerdo a los elementos y necesidades de los clientes, sin embargo, el módulo desarrollado tiene la ventaja de convertir un transformador convencional en un transformador inteligente a un bajo costo, permitiendo que la tasa de tiempo de medición se ajuste a los requerimientos del cliente, las variables eléctricas medidas se pueden adquirir de manera remota con el estándar IEEE802.11 o hacerlo de forma local con el estándar IEEE802.3 y así realizar gráficas o análisis de manera sencilla a través de un software.

El módulo desarrollado no cuenta con una base de datos propia en la nube, lo cual hace que se deba recurrir al pago de un servicio de alquiler de bases de datos, el precio de funcionamiento en una base de datos durante un mes con una tasa de medición de 5 segundos es de 0,75 USD, sin embargo, este módulo está pensado para que trabaje en conjunto con otros módulos de medición en otros puntos de la red, lo que hace que el precio de la base de datos varíe de acuerdo a la cantidad de módulos instalados y a la tasa de medición.

5. CONCLUSIONES

- Este estudio describió el diseño e implementación de un módulo de medición eléctrica, aplicable a redes de baja potencia y que se soportó en una arquitectura sobre TCP/IP, gestionable a través de una base de datos en la nube, con lo cual se lograron extrapolar los procesos de convergencia, pervasividad y ubicuidad mediante el concepto de IoT y el uso de las interfaces adecuadas.
- La meta lograda es hacer gestión eléctrica mediante un proceso de adecuación de los sistemas observados, aprovechando las ventajas que ofrecen los dispositivos por medio de sus interfaces y la generación de sus OIDs (del inglés, *objects identification*) y así poner en práctica los métodos de trabajo basados en IoT.
- Con la asociación de la interfaz de medición al transformador se pudo lograr la resolución del estado de la incertidumbre, y permitió gestar un concepto funcional de *Smart Object*, lo cual se resolvió simplemente con la

determinación de procesos de configuración, lecturas de parámetros eléctricos, extracción de los valores relacionados e interpretación de los consumos de energía, que se puedan aplicar usando las adecuadas normas de red (normas ISO, TCP/IP e ITU) y de manejo eléctrico del caso.

- Se le pudo dar tratamiento a todo aquello que se defina como dispositivo funcional de generación de potencia eléctrica, en el cual no ha sido establecido un proceso de telemetría adecuado para la administración eléctrica.
- Con la extrapolación de esta idea desarrollada, se puede lograr el modelo de una arquitectura distribuida que esté diseñada paralelamente en una TIC y que evite interferencias con la operación de la red.
- Una vez que los factores medidos se obtienen, se considera que se comparen con los datos históricos de referencia que se tengan en cuenta en un análisis de esta clase. Finalmente, en factores medidos y seleccionados se propone realizar el debido monitoreo continuo, mediante un modelo distribuido y de convergencia, el cual debe ser realizado de forma cíclica, con lo que se asegura garantizar el adecuado seguimiento del entorno a observar.
- Tener un transformador de potencia inteligente es de gran ventaja porque se puede acceder a la información de las variables medidas desde cualquier parte del mundo y a cualquier hora.
- Se puede generar la ficha técnica de un dispositivo cualquiera y visualizarla en cualquier momento, ya que es posible registrar todos los cambios generados en las variables, mantenimiento, eventos o cargas asociadas al mismo.
- Como el trabajo desarrollado es un único módulo de medición de variables eléctricas, para instancias futuras, se espera determinar los procesos de mediciones de la red eléctrica con la disposición de múltiples módulos que converjan en un sistema de adquisición de datos.
- Para la continuación de este desarrollo, se debería tener en cuenta otro tipo de comunicación adicional de backup en caso de pérdida de señal de la red IEEE802.11, que lo haga de manera automática sin necesidad de ir al equipo y conectarse a él por medio de la red alterna como la del estándar IEEE802.3.

REFERENCIAS

- Abate, F., Carratù, M., Liguori, C. y Paciello, V. (2019). A low cost smart power meter for IoT. *Measurement*, 136, 59–66. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.12.069>
- Al-Turjman, F. y Abujubbeh, M. (2019). IoT-enabled smart grid via SM: An overview. *Future Generation Computer Systems*, 96, 579–590. <https://doi.org/10.1016/j.future.2019.02.012>
- Anubel, P., Poll, E. (2019). Smart metering in the Netherlands: What, how, and why. *Electrical Power and Energy Systems*, 109, 719–725. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2019.01.001>
- Avancini, D. B., Rodrigues, J. J. P. C., Martins, S. G. B., Rab, R. A. L., Al-Muhtadi, J. y Solic, P. (2019). Energy meters evolution in smart grids: A review. *Journal of Cleaner Production*, 217, 702–715. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01>
- Bravo Caicedo, E, F., Castillo García, J, F., (2018). “*Metodología para la evaluación de proyectos Smart Grid en Colombia*”, Cali, Colombia: Programa Editorial Universidad del Valle. ISBN: 978-958-765-693-0
- Chujing Electric. (2019). Multifuntion Network Electric Power Meter Instruction Book, 1.
- Erraissi, N., Raoufi, M., Aarich, N., Akhsassi, M. y Bennouna, A. (2018). Implementation of a low-cost data acquisition system for “PROPRE.MA” project. *Measurement*, 117, 21–40. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2017.11.058>
- Grupo técnico proyecto BID. (2016). Parte I Antecedentes y Marco Conceptual del Análisis, Evaluación y Recomendaciones para la Implementación de Redes Inteligentes en Colombia. Recuperado de: http://www.upme.gov.co/Estudios/2016/SmartGrids2030/1_Parte1_Proyecto_BID_Smart_Grids.pdf
- Hossain, S., Rahman, M., Sarker, T., Haque, E. y Jahid, A. (2019). A smart IoT based system for monitoring and controlling the sub-

station equipment. *Internet of things*, 7, 100085. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2019.100085>

Junior, W., Borges, F., Veloso, A., Rabêlo, R. y Rodrigues, J. (2019). Low voltage smart for monitoring of power quality disturbances applied in smart grid. *Measurement*, 147, 106890. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.106890>

Kunicki, M., Borucki, S., Zmarzly, D. y Frymus J. (2020). Data acquisition system for on-line temperature monitoring in power Transformers. *Measurement*, 161, 107909. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.107909>

Liang, M., He, Y., Chen, L. y Du, S. (2018). Greenhouse environment dynamic monitoring system based on WiFi. *IFAC PapersOnLine*, 51-17, 736-740. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.108>

Mojica G, P., Cuéllar, S. y Medina, C. (2016). Medición y gestión inteligente de consumo eléctrico. Recuperado de: https://www.sic.gov.co/sites/default/files/files/medicion_energia.pdf

Muralidhara, S., Hedge, N. y Rekha, P.M. (2020). An internet of things-based smart energy meter for monitoring device-level consumption of energy. *Computers and Electrical Engineering*, 87, 106772. <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2020.106772>

Natarajan, K. (2015). Some Strategies for Electrical Energy Conservation and Management in Industries. *Energy Engineering*, 112(6), 33–45. <https://doi.org/10.1080/01998595.2015.11494385>

O'Driscoll, E., O'Donnell, G. (2012). Industrial power and energy metering a-state-of-art review. *Journal of Cleaner Production*, 41, 53-64. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.09.046>

Singh, R., Yash, S.M., Shubham, S.C., Indragandhi, V., Vijayakumar, V., Saravanan, P. y Subramaniaswamy, V. (2020). IoT embedded cloud-based intelligent power quality monitoring system for industrial drive application. *Future Generation Computer Systems*, 112, 884-898. <https://doi.org/10.1016/j.future.2020.06.032>

Vélez Varela, F., (2018). *Proceso de gestión tecnológica aplicada a la evaluación del impacto ambiental de la infraestructura de las TIC, bienes, redes y servicios usando como modelo de referencia una red LAN*. Cali, Colombia: Universidad Libre Seccional Cali. ISBN: 978-958-5545-04-5

Vélez Varela, F., (2020). Energy Consumption Model for Green Computing. *Ed: Intech*, Páginas: 1-14. Inglaterra. ISBN: 978-1-78984-940-0. <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.92129>

Yao, H., Wang, X., Wu, L., Jiang, D., Luo, T. y Liang, D. (2018). Prediction method for smart meter life based on big data. *Procedia Engineering*, 211, 1111, 1114. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.12.116>