

**DESARROLLO DE UNA INTERFAZ DE USUARIO PARA MONITORIZAR
REMOTAMENTE EL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA POR CIRCUITO
RAMAL EN UNA INSTALACIÓN DE TIPO RESIDENCIAL BAJO LA
PERSPECTIVA DEL HOGAR INTELIGENTE (SMART HOME).**

**EDINSON JOSÉ HIGUERA LIZARAZO
JUAN ANDRES SALAZAR MESA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FÍSICO- MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍASELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA**

2016

**DESARROLLO DE UNA INTERFAZ DE USUARIO PARA MONITORIZAR
REMOTAMENTE EL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA POR CIRCUITO
RAMAL EN UNA INSTALACIÓN DE TIPO RESIDENCIAL BAJO LA
PERSPECTIVA DEL HOGAR INTELIGENTE (SMART HOME).**

**EDINSON JOSÉ HIGUERA LIZARAZO
JUAN ANDRES SALAZAR MESA**

**Proyecto de grado para optar el título de:
Ingeniero Electrónico**

**Director
CÉSAR ANTONIO DUARTE GUALDRÓN
Ingeniero Electricista, Ph.D**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FÍSICO- MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍASELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2016**

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	
1 MARCO TEÓRICO.....	15
1.1 Hogares inteligentes (<i>Smart Home</i>).....	15
1.2 Aplicaciones de un Hogar Inteligente.....	17
1.3 Internet de las cosas.....	18
1.4 Gestión de energía eléctrica residencial.....	20
1.4.1 Sistema de gestión energética residencial.....	20
1.4.2 Infraestructura de Medición Avanzada - AMI.....	25
2 METODOLOGÍA.....	30
2.1 Medidores inteligentes por circuito ramal.....	31
2.2 Trama de datos.....	32
2.3 Concentrador.....	33
2.4 Base de datos.....	34
2.5 Interfaz de usuario.....	36
3 PRUEBAS Y RESULTADOS.....	40
3.1 Pruebas Fase 1.....	40
3.1.1 Generación de información.....	40

3.1.2	Envío de información a MySQL.....	41
3.2	Pruebas Fase 2.....	43
3.2.1	Adquisición de datos a los medidores inteligentes.....	43
3.3	Visualización de la información.....	45
4	RECOMENDACIONES	47
5	CONCLUSIONES.....	47
	BIBLIOGRAFÍA.....	54

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Información proporcionada por medidor inteligente.	31
Tabla 2. Circuitos Ramales.	32
Tabla 3. Estructura trama de datos.	32
Tabla 4. Cuadro comparativo de los sistemas de gestión de bases de datos.	34

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Componentes de un hogar inteligente.	16
Figura 2. Concepto de Smart home.	17
Figura 3. Internet de las cosas en Smart home.	19
Figura 4. Constitución del sistema energético residencial.	21
Figura 5. Gateway.....	24
Figura 6. Componentes del sistema de gestión energética.	24
Figura 7. Arquitectura de medición convencional y medición inteligente.	27
Figura 8. Diagramas de bloques de AMI.....	29
Figura 9. Arquitectura sistema propuesto.	30
Figura 10. Beaglebone como concentrador.	34
Figura 11. Diseño de la base de datos MySQL.....	36
Figura 12. Diseño de la Interfaz de usuario por módulos.....	37
Figura 13. Conexión PHP-MySQL.	38
Figura 14. Privilegios de usuarios en la interfaz web.	39
Figura 15. Generación de datos en Python.....	41
Figura 16. Envío de datos a MySQL.	42

Figura 17.solicitud de información a los medidores por modbus.	44
Figura 18. Diagrama de flujo de cron de Linux.	45
Figura 19. Visualización de información de un medidor inteligente.	46

RESUMEN

TITULO: DESARROLLO DE UNA INTERFAZ DE USUARIO PARA MONITORIZAR REMOTAMENTE EL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA POR CIRCUITO RAMAL EN UNA INSTALACIÓN DE TIPO RESIDENCIAL BAJO LA PERSPECTIVA DEL HOGAR INTELIGENTE (SMART HOME)*

AUTOR: EDINSON JOSÉ HIGUERA LIZARAZO, JUAN ANDRES SALAZAR MESA.**

PALABRAS CLAVE: circuito ramal, interfaz de usuario, casa inteligente, tele-medida.

DESCRIPCIÓN

Debido a la creciente demanda de energía eléctrica y a la contaminación, producto de la utilización de combustibles fósiles para la generación, transporte y distribución de esta energía, se evidencia, la importancia de los hogares dentro de la perspectiva de gestión y ahorro energético, de esta manera, en este trabajo de grado se presenta el desarrollo e implementación de una interfaz de usuario que permite monitorizar de forma remota el consumo de energía eléctrica por sub-medición por circuito ramal en un hogar inteligente.

Se investigó acerca de los hogares inteligentes, para identificar sus componentes, sus aplicaciones, y sus características técnicas; para posteriormente proponer un sistema de gestión energética residencial, que permita la monitorización del consumo de energía eléctrica, por medio de una interfaz de usuario, en este caso una página web. El objetivo de esta herramienta es suministrar a los usuarios información más detallada del consumo de energía eléctrica de la vivienda, haciendo posible identificar el consumo de energía eléctrica [kWh] de los dispositivos en el hogar. De esta manera, se busca crear conciencia en los usuarios para que puedan tomar acciones correctivas e implementar planes de gestión energética que permitan un uso racional y eficiente del recurso dentro del hogar inteligente.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones. Ingeniería Electrónica. Director del proyecto: César Antonio Duarte Gualdrón. Codirector(es). Diana Carolina Carrillo Arenas, Luis Fernando Rueda

ABSTRACT

TITLE: DEVELOPMENT OF A USER INTERFACE TO REMOTELY MONITOR THE CONSUMPTION OF ELECTRICAL ENERGY PER BRANCH CIRCUIT IN AN INSTALLATION OF RESIDENTIAL TYPE UNDER THE PERSPECTIVE OF THE INTELLIGENT HOME (SMART HOME) *

Author: EDINSON JOSÉ HIGUERA LIZARAZO, JUAN ANDRES SALAZAR MESA**.

Key words: branch circuit, user interface, smart house, tele-measure.

Description

Due to the increasing demand for electric energy and pollution, product of the use of fossil fuels for the generation, transport and distribution of this energy is evident, the importance of households within the perspective of management and energy savings in this way, in this work of degree presents the development and implementation of a user interface that allows to remotely monitor the consumption of electrical energy per sub-measurement per branch circuit in a smart home.

It was investigated about the smart home, to identify their components, their applications and their technical characteristics; for subsequently propose a system of residential energy management, that allows monitoring the consumption of electrical energy, by means of a user interface, in this case a web page. The objective of this tool web is to provide users with more detailed information of the electric energy consumption of the house, making it possible to identify the consumption of Electric Energy in [kWh] of the devices in the home. In this way, it seeks to create awareness among the users so that they can take corrective actions and implement energy management plans that allow for a rational and efficient use of the resource within the intelligent home.

* Project of grade

** Physical Mechanical Engineering's Faculty. School of Electrical Engineering, Electronics and Telecommunications. Electronic Engineering. Director of the project: César Antonio Duarte Gualdrón. Co-director(s). Diana Carolina Carrillo Arenas, Luis Fernando Rueda.

INTRODUCCIÓN

La generación, el transporte y la distribución de la energía eléctrica necesaria para que las personas puedan realizar diversas actividades cotidianas, hace necesario el uso de recursos naturales y económicos. Estos procesos liberan compuestos químicos, que, en conjunto con las malas prácticas de uso de la energía eléctrica, propician la destrucción de los ecosistemas. Un ejemplo de estos, son los compuestos como el dióxido de carbono y el metano, los cuales ocasionan el efecto invernadero, produciendo alteraciones en el clima, afectando los cultivos y acelerando el derretimiento del hielo polar [1].

La demanda de energía eléctrica está aumentando a nivel mundial, provocando que las emisiones de gases de efecto invernadero del sector energético también aumenten. La tendencia va a continuar, impulsada principalmente por el crecimiento económico y el aumento de la población [2]. Debido a esto, se han propiciado alternativas de solución como: la generación distribuida, la respuesta a la demanda, la tarifa diferencial, las micro-redes de energía y los sistemas de gestión energética residencial [3] [4].

La integración de fuentes no convencionales de energía eléctrica y el uso de sistemas de gestión energética a nivel residencial se presentan como una opción interesante debido a la creciente demanda de electrodomésticos, dispositivos móviles de entretenimiento digital y comunicaciones, siendo los hogares un sector con vasto potencial de ahorro energético. Diversos estudios han mostrado que sólo con brindar a los usuarios el consumo desagregado de la energía y proveer retroalimentación frente a su gasto energético se logra reducir el consumo [5] [6], en especial debido a que la información suministrada al usuario final sobre los patrones de consumo propicia la gestión individual de la demanda.

En este trabajo de grado presenta el desarrollo de una interfaz de usuario que

permite monitorizar de forma remota el consumo de energía eléctrica en las viviendas, basado en el concepto de sub-medición por circuito, brindando al usuario información sobre el consumo energía eléctrica en cada uno de los circuitos ramales del hogar. Siendo esto, una herramienta para identificar actividades cotidianas y electrodomésticos con un alto gasto de energía eléctrica; permitiendo realizar acciones correctivas y mejorar los modelos de consumo en el hogar.

El documento está organizado de la siguiente manera. En el capítulo 1 se describen los componentes, aplicaciones y características técnicas de un hogar inteligente, posteriormente el capítulo 2 presenta la metodología utilizada para el desarrollo de un sistema de monitorización del consumo de energía eléctrica en el hogar, basado en concepto de sub-medición por circuito ramal y el capítulo 3 muestra las pruebas realizadas y los resultados obtenidos. Finalmente, capítulo 4 y 5 expone las observaciones y conclusiones del trabajo presentado respectivamente.

1 MARCO TEÓRICO

1.1 HOGARES INTELIGENTES (*SMART HOME*)

Es un sistema que integra distintas tecnologías mediante el uso simultáneo de las telecomunicaciones, la electrónica, la informática y la electricidad, enfocadas hacia la gestión energética, el confort y la seguridad del usuario residencial, permitiéndole optimizar y aumentar su calidad y estilo de vida [7]. Originalmente, la integración de tecnología en los hogares fue utilizada para controlar aplicaciones de tipo ambiental, tales como iluminación y calefacción [8], pero actualmente estos sistemas han evolucionado y permiten controlar el encendido y apagado de la mayoría de dispositivos eléctricos que se encuentran dentro de la casa y también hacen posible la monitorización de las actividades al interior de la casa, haciendo posible un funcionamiento personalizada según las costumbres y preferencias del usuario [9].

Las casas inteligentes son un campo de investigación importante en el cual es posible realizar ahorro de energía eléctrica a través de la integración de sistemas de medición y la gestión energética [10]. De esta manera, por medio de la participación del consumidor en la cadena energética, es posible lograr un uso racional y eficiente de energía eléctrica. Lo cual a su vez, puede lograr reducción de la demanda, evidenciando que con sólo presentar al usuario el perfil de consumo de los electrodomésticos, se puede lograr que el usuario modifique su perfil de carga, este enfoque se conoce como Gestión de la Demanda, la cual influye en el comportamiento del usuario en relación con el consumo de electricidad [11].

Los componentes típicos de un hogar inteligente son mostrados en la Figura 1. Se puede observar la presencia de electrodomésticos inteligentes, fuentes no convencionales de energía, el vehículo eléctrico, la infraestructura de medición avanzada (*Advanced Metering Infrastructure, AMI*), la red de área doméstica (*Home Area Network, HAN*), el concentrador, el *Gateway* y la interfaz de usuario [12]. Adicionalmente, el hogar inteligente está conectada a internet, por lo que se puede monitorizar y controlar de forma remota por medio de un computador o dispositivo móvil [13].

Figura 1. Componentes de un hogar inteligente.

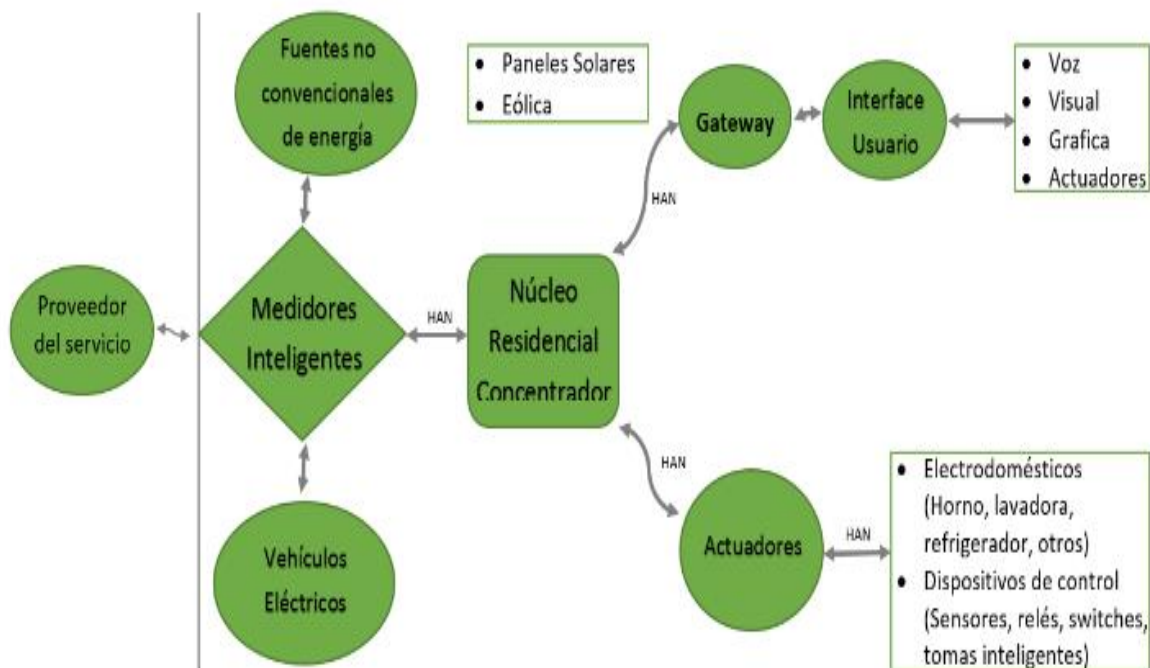


Fuente: [14]. QUISPE, Leslie. Casas inteligentes para el día de hoy.

De una manera esquemática, una casa inteligente puede ser descrita como un hogar que está equipado con dispositivos inteligentes, una red de comunicación doméstica que sea capaz de mantener conectados los dispositivos, un concentrador que recibe toda la información y gestiona las diversas funcionalidades del sistema, y el *Gateway*, el cual es una pasarela entre el hogar y el usuario a través de Internet [8].

En la figura 2, se ilustra de manera esquemática la composición de una *Smart home*.

Figura 2. Concepto de Smart home.



1.2 APLICACIONES DE UN HOGAR INTELIGENTE

Las infraestructuras de comunicaciones y control de un hogar inteligente, se encaminan a prestar múltiples servicios y beneficios, los cuales son adecuados a

las necesidades y requisitos del consumidor; sin embargo, dichos servicios pueden ser agrupados en tres categorías de aplicación general [15]:

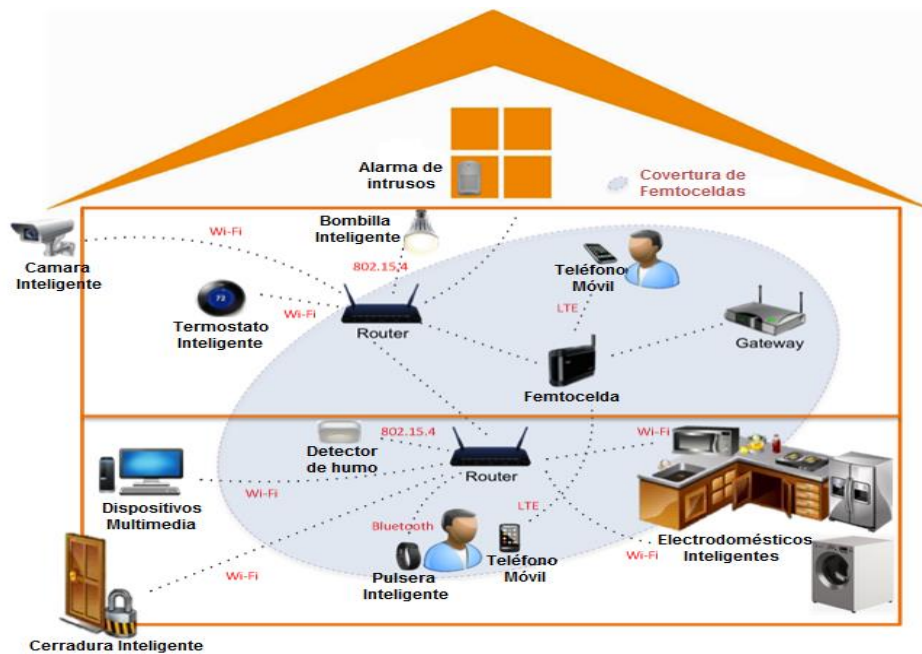
- **Protección y seguridad:** en esta categoría se pueden encontrar sistemas de alarmas, de incendio, de gas, de inundación, de pánico y componentes de tele-seguridad. Además, posee protección de la información que se intercambia entre la casa y la empresa de servicios públicos que provee la energía [15].
- **Confort, comunicación y entretenimiento:** se integra funcionalidades que permiten el control de iluminación, de persianas, de puertas y de diferentes clases de dispositivos de uso residenciales como radios, televisores, teatros en casa y dispositivos Wi-Fi. Adicionalmente, permite la integración de diferentes protocolos de comunicación dentro de la red de área local.
 - **Gestión energética:** es una de las principales aplicaciones de un hogar inteligente, y hace referencia a la administración o manejo de la energía eléctrica. Dentro de estos servicios se puede incluir el control de sistemas de climatización (*Heating, Ventilating and Air Conditioning, HVAC*) de edificaciones, monitorización y control del consumo desagregado de energía eléctrica, integración de fuentes no convencionales de energía, el vehículo eléctrico, almacenamiento de energía, la tarifa diferencial, la gestión de la demanda y demás servicios complementarios que el proveedor del servicio ofrezca. [16] [15].

1.3 INTERNET DE LAS COSAS

El concepto del internet de las cosas (*Internet of Things, IoT*) trabaja para unir y enlazar el mundo físico con el mundo virtual [17], es decir, su objetivo es facilitar la interacción de dispositivos inteligentes y aplicaciones reales cibernéticas. Esta tecnología interconecta diferentes tipos de objetos inteligentes entre sí, no solo para recopilar información del entorno e interactuar con el mundo físico (comando/control), sino que también utiliza los estándares de internet existentes

para suministrar servicios de aplicaciones, comunicaciones, recopilar, analizar y distribuir información, por lo que se requiere garantías de confidencialidad, integridad y fiabilidad del sistema [18] [19].

Figura 3. Internet de las cosas en Smart home.



Fuente: [18]. LEE, Changmin, et al. Securing smart home: Technologies, security challenges, and security requirements

Uno de los campos de rápido crecimiento de la tecnología del internet de las cosas son los hogares inteligentes. Presentándose como una nueva alternativa para realizar comunicación entre los diferentes dispositivos de la vivienda, los cuales actualmente están interconectados por tecnologías de comunicación inalámbricas o alámbricas como *Bluetooth*, *Zigbee*, *Z-wave*, *Power Line Communications (PLC)* y *RS-485*, entre otros [19]. De esta manera, por medio de routers, modem o Gateway se proporciona la conectividad a internet de los equipos y con el usuario de forma remota (ver figura 3) [18].

1.4 GESTIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA RESIDENCIAL

Para este tipo de aplicaciones, un hogar inteligente está compuesto por distintas sub-sistemas que trabajan en conjunto, con el fin de lograr un uso racional y eficiente de energía. Dentro de estos sub-sistemas existentes podemos encontrar el sistema de gestión energética residencial (*Home Energy Management System, HEMS*), las fuentes no convencionales de energía eléctrica, la infraestructura de medición avanzada, el vehículo eléctrico y la interfaz de usuario [20] [21].

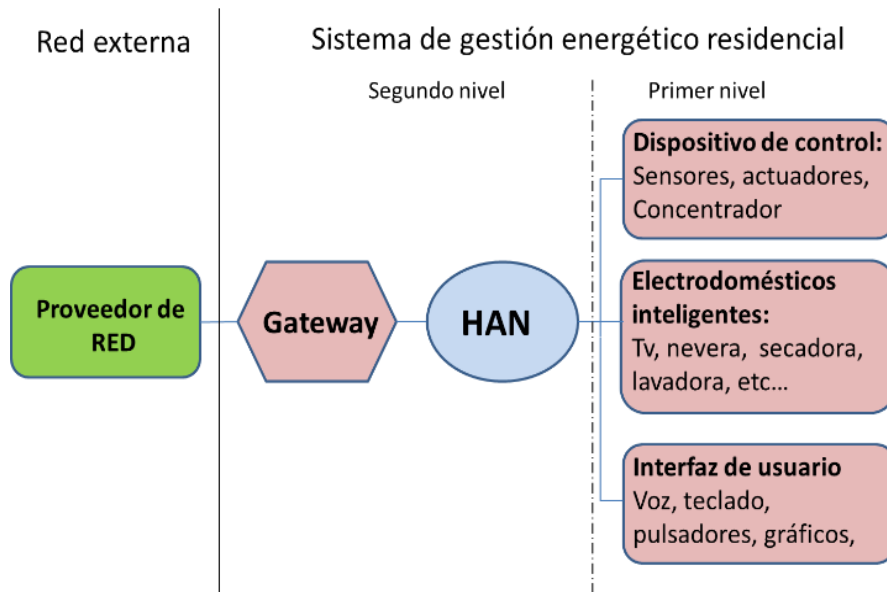
1.4.1 Sistema de gestión energética residencial. Es la columna vertebral de un hogar inteligente, ya que contiene todos los componentes encargados del control y la monitorización de la casa, los cuales son: los electrodomésticos inteligentes, la red de área doméstica y el Gateway. Además, le permite al usuario monitorizar y tener control de la vivienda de forma remota [20].

Este sistema de gestión tiene como objetivo el uso racional y eficiente de la energía eléctrica, para lo cual puede realizar acciones de control de forma autónoma a partir de diferentes variables de entrada, además de proporcionar al usuario información detallada sobre el consumo de energía en el hogar, permitiendo que este pueda modificar algunas rutinas cotidianas [22]. Por otra parte, en [23] se evidencia que al entregar a los usuarios la retroalimentación del consumo de energía eléctrica se puede lograr un ahorro de hasta un 15% y si la retroalimentación llega a nivel de electrodomésticos y además es acompañado por consejos del uso eficiente de la energía, se puede llegar a generar un ahorro energético del 20% [24].

La composición del sistema de gestión energética la podemos dividir en dos niveles (Figura 4): el primer nivel lo integran los dispositivos hardware que permiten proporcionar al usuario los diferentes servicios de la vivienda como la

interfaz de usuario, los electrodomésticos inteligentes y los dispositivos de control; el segundo nivel está conformado por la red de área doméstica (*Home Area Network, HAN*) y el *Gateway* [16] [20].

Figura 4. Constitución del sistema energético residencial.



Fuente: [14]. RAMIREZ, Luis Carlos, RAMIREZ, Oscar Andres. Manual de parámetros de diseño de instalaciones internas para usuarios residenciales en un contexto de redes inteligentes domesticas

A continuación, se presentan los componentes del primer nivel del sistema de gestión energética (Figura 4):

Sensores: son dispositivos encargados de recoger la información de las variaciones de parámetros físicos como la luminosidad, la temperatura y el humo, convirtiéndolas en señales analógicas o digitales que se envían al sistema de control para que este las procese y tome acciones de control [20] [25].

Actuadores: dispositivos capaces de recibir una orden procedente de un sistema de control y realizar una acción que modifique el estado de un determinado equipo o instalación. Pueden ser clasificados como: actuadores on/off los cuales

permiten o no el paso de la corriente hacia el dispositivo conectado; y actuadores proporcionales los cuales son utilizados para el control de parámetros eléctricos como tensión y corriente [20].

En algunos casos el sensor y actuador pueden estar integrados en el mismo dispositivo. [25]

Concentrador: son dispositivos utilizados por el sistema de control centralizado, encargados de procesar las señales provenientes de los sensores y de enviar las señales de control a los actuadores para que estos operen; en las instalaciones puede existir un solo controlador que funciona como cerebro o varios en sistemas distribuidos [20].

Electrodomésticos inteligentes: son dispositivos inteligentes los cuales realizan tareas domésticas y que a su vez están interconectados a través de la red de área doméstica, para comunicarse entre sí y poder intercambiar información. Así mismo, pueden ser gestionados o controlados a través de internet o dispositivos móviles. [25]

Interfaz de usuario: permite la interacción del usuario con el hogar, proporcionando información de las características eléctricas de la residencia y del funcionamiento general de los diferentes sub-sistemas. Esta interacción pueden ser visual, auditiva o gráfica y se puede realizar por a través de un dispositivo móvil o cualquier equipo con conectividad a internet [20]. A continuación, se describen diferentes tipos de interfaces de usuario:

- **Interfaz local:** es una interfaz que consta de una pantalla y un teclado que permiten su configuración e instalación local, por lo general esta interfaz es muy básica, a nivel de comandos de texto debido a la poca resolución y tamaño de la pantalla, es decir no amigable para realizar operaciones

complejas [26].

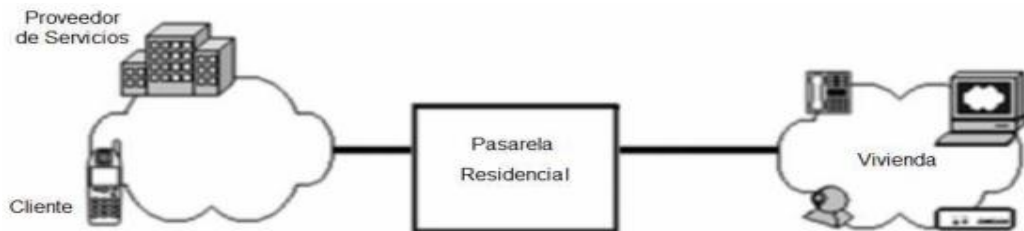
- Interfaz de voz: esta forma de control remoto permite al usuario conocer o programar el estado de la residencia en cualquier momento y desde cualquier teléfono fijo o móvil, con tan solo marcar un número del teléfono [26].
- Interfaz de mensajes móviles: En este caso la casa inteligente se comunica con el usuario en forma de mensajes de texto SMS, con el fin de informar en caso de alguna anomalía que presente la vivienda, para poder tomar acciones pertinentes al respecto [26].
- Aplicaciones móviles: hoy en día son tan comunes los teléfonos inteligentes como sus aplicaciones móviles; que, al integrarlas con hogares inteligentes, estas permiten tener una interfaz de usuario de acceso fácil y rápido con notificaciones en tiempo real.
- Interfaz web (páginas web): es la interfaz con mayor facilidad de uso para el usuario, ya que permite acceder a toda la configuración y al estado actual de la residencial a través de intuitivos menús gráficos [26]. Su principal ventaja es la eliminación de pantallas y teclados fijo [27].

A sí mismo, el segundo nivel del sistema de gestión energética residencial se compone de:

Gateway: Es un dispositivo que permite la comunicación de la HAN con las redes exteriores (Figura 5), posibilitando a los usuarios controlar y monitorear parámetros de la vivienda en forma remota. Posee funciones de seguridad firewall, que filtra los mensajes que fluye de la casa al exterior o viceversa [20]. Algunos de los componentes hardware del Gateway son: el procesador, el almacenamiento persistente (disco o RAM flash), sistemas de comunicaciones (por ejemplo, TCP / IP) y las interfaces del dispositivo (puerto serie o paralelo, por ejemplo), que típicamente son accionados por un sistema operativo (OS) o el sistema operativo en tiempo real (RTOS) [28].

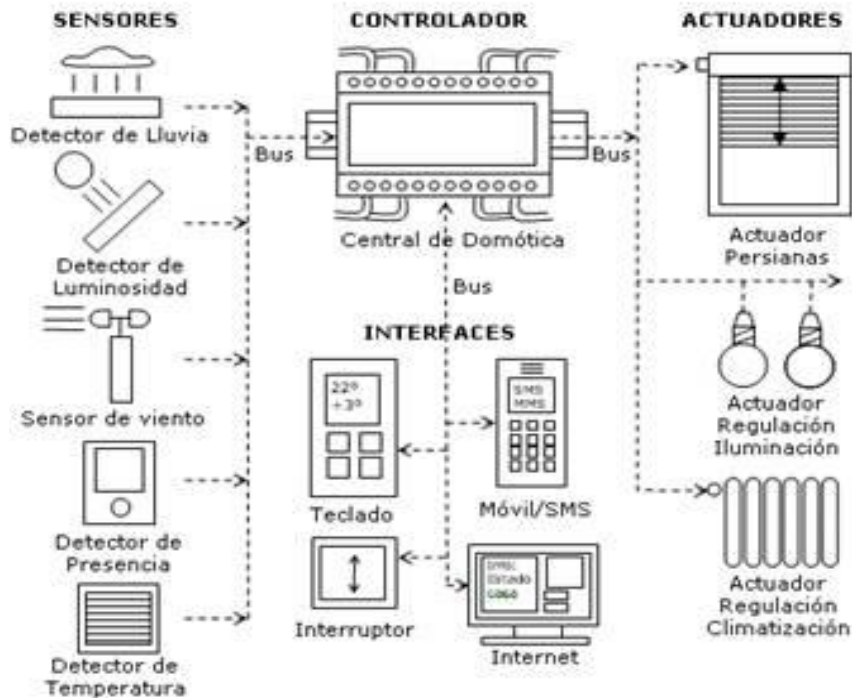
Red de área doméstica: Tiene como objetivos la comunicación y la conexión de los dispositivos inteligentes dentro del hogar inteligente [9]. Este escenario de conectividad, conlleva a beneficios para los consumidores, servicios públicos y la sociedad en general, ya que el consumidor se incorpora cada vez más en la cadena energética, mediante la obtención de un mayor control y concientización sobre el consumo de energía [29].

Figura 5. Gateway.



Fuente: [25] .RODRÍGUEZ, Ana Masip, FERNÁNDEZ, Miguel Ángel. La casa inteligente.

Figura 6. Componentes del sistema de gestión energética.



Fuente: [20]. PÁEZ, Andrés David y GARCÍA, Andrés Alfredo. Estudio de la capacidad de los servicios contextuales de las redes inteligentes residenciales aplicado a una futura red eléctrica en Bucaramanga.

En la Figura 6 se observa que estos dispositivos se conectan a la red de control ya sea por medio físico (cableado) o por medio de radiofrecuencia, en donde se transmite la información y los comandos que hacen posible el funcionamiento del sistema.

1.4.2 Infraestructura de Medición Avanzada – AMI. Es definida por la comisión federal de regulación energética (Federal Energy Regulatory Commission, FERC, 2008) como “un sistema que recoge información del consumo (y otros posibles parámetros) de los consumidores cada cierto tiempo y provee transmisión de los mismos mediante una red de comunicación a un punto de recolección de datos”. Esta definición implica la introducción de una nueva tecnología al sistema de potencia de todos los niveles con requerimientos específicos como: dispositivos digitales de recolección de datos equipados con comunicación bidireccional

(medidores inteligentes), red de comunicación, manejo y almacenamiento de datos [9] [30].

La función principal de la AMI es proporcionar un enlace de comunicación bidireccional entre los medidores inteligentes de servicio del hogar y las empresas de servicios públicos de energía eléctrica para la gestión energética remota [31] [30], esta comunicación mejorada elimina la necesidad tradicional de la adquisición manual de lecturas de consumo de energía, en su lugar. La AMI ofrece un sistema de notificación automática robusta con mayor frecuencia de lecturas [32].

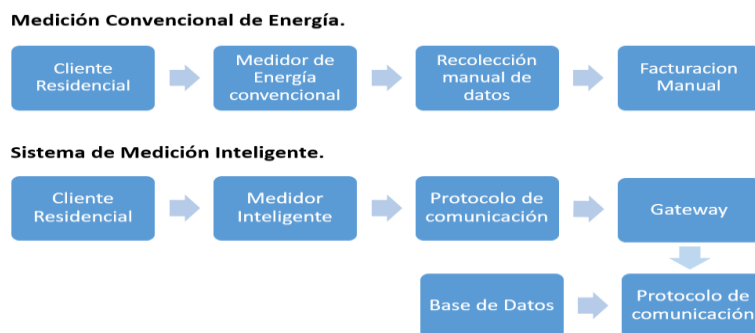
Medidor inteligente

Es un contador de energía avanzado que mide el consumo de energía eléctrica y proporciona información adicional como: potencia reactiva, tensión, corriente, frecuencia y factor de potencia en comparación con un contador de energía convencional. Su objetivo es mejorar la fiabilidad, la precisión, la calidad y la seguridad del suministro de energía [33]. Los medidores inteligentes están en la capacidad de proveer lectura del consumo de energía en tiempo real [29], además estos medidores pueden ser utilizados por las empresas de servicio público para detectar fallos y enviar notificaciones de apagones o restauración [34]. A continuación, se presentan las funciones principales de un medidor inteligente:

- Medición y facturación bidireccional de la energía, permitiendo inyectar energía a la red en los momentos de exceso de generación local.
- Ejecución de comandos remotos y locales.
- Integración de la tarifa diferencial por los proveedores de red, permitiendo al consumidor tener control del consumo de energía de acuerdo al precio.
- Corte y reconexión remota del servicio de energía eléctrica.

La introducción de medidores inteligentes cambia la forma en la que se recoge y se presentan los datos [29], ya que los contadores convencionales no cuentan con características fundamentales de los medidores inteligentes, tal como la adquisición de registros en tiempo real de los consumos de energía eléctrica y además no es compatible con las operaciones de conmutación de carga a distancia [35]. En la Figura 7 se observan las arquitecturas de medición cuando se componen de un medidor convencional y de un medidor inteligente.

Figura 7. Arquitectura de medición convencional y medición inteligente.



Fuente: [29]. ASARE-BEDIAKO, B., et al. **Overview and comparison of leading communication standard technologies for smart home area networks enabling energy management systems**

Sub-medición de energía eléctrica por circuito ramal

Con estos sistemas se busca brindar en tiempo real una aproximación del consumo de energía eléctrica cada sector de la vivienda, ya que con la división estratégica de los circuitos en ramales, posibilita una información más detallada, por medio de la recopilación de datos del consumo energético desagregado [9].

La recolección de estos datos se realiza mediante dispositivos de sub-medida independientes, adicionales a los provistos por las compañías de distribución de energía, uno por circuito ramal [20]. Estos dispositivos tienen un módulo de medición de energía eléctrica especialmente diseñado para aplicaciones residenciales monofásicas, un módulo de almacenamiento de datos, un módulo de

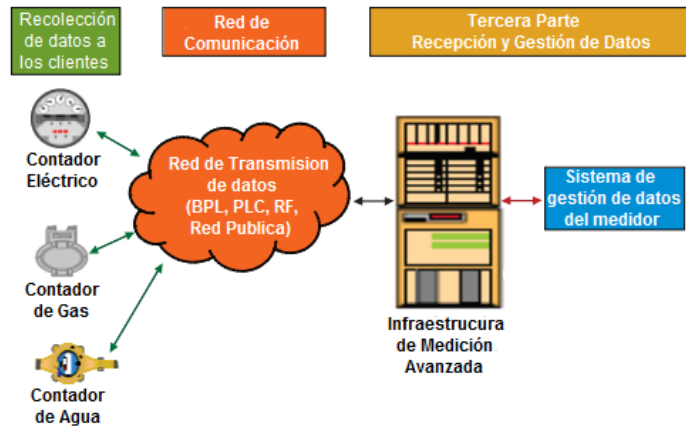
control, un módulo conmutador ON/OFF, un módulo de potencia y un módulo de comunicación. La mayoría de los sub-medidores se concentran en la medición de potencia activa a 120 V y en la transmisión inalámbrica o cableada de dichas medidas al concentrador de monitorización y control [9].

La sub-medición es clave para aumentar la eficiencia y la reducción de consumos de energía, puesto que *“Lo que no se puede medir, no se puede gestionar”* [36]; el primer paso es saber exactamente cuándo, dónde y que cantidad de energía se está utilizando. Esta sub-medición por circuito ramal es una de las formas en que se puede realizar un control más organizado en el interior de una vivienda [20], ya que con la división estratégica de estos circuitos ramales, posibilita la implementación de programas de gestión que permitan la reducción del consumo y los costos económicos provocados por el mal uso de la energía [36].

Requerimientos de la infraestructura de medición avanzada.

Una infraestructura de medición avanzada requiere la integración de los siguientes sistemas (Figura 8) [38]:

Figura 8. Diagramas de bloques de AMI.



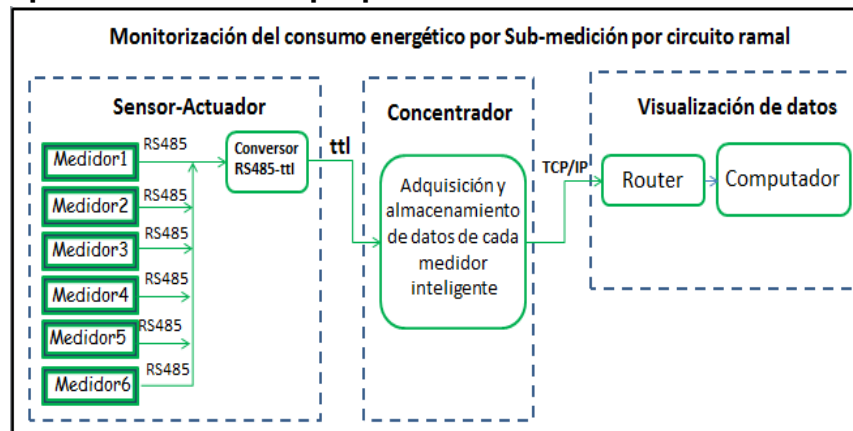
Fuente: [37]. Electric Power Research Institute (EPRI). Advance Metering Infrastructure – AMI

- Un sistema seguro de almacenamiento de los datos de consumo de los usuarios y de los eventos del sistema.
- Un sistema de comunicación que incorpore diferentes estándares de comunicación que permitan monitorización y control en tiempo real. Algunos de los posibles estándares de comunicación son: *Data Link Control (DLC)*, PLC, GSM/GPRS, ZigBee, *Worldwide interoperability for Microwave Access (WiMax)*.
- Un sistema que gestione órdenes remotas, que tenga respuesta a eventos, control de carga, seguimiento de la demanda, respuesta de la demanda, medición multiservicios y precio en tiempo real.
- Una interfaz de usuario con diferentes alternativas para que el usuario tenga acceso a la información. La complejidad y cantidad de variables manejadas en la infraestructura demandan interfaces de usuario concisas y en diferentes escenarios tanto para usuarios finales como para operadores de red.
 - Un sistema de procesamiento y recolección de datos que permita la lectura y procesamiento de eventos como: tensión eléctrica, corriente, frecuencia, potencia activa, potencia reactiva, calidad de la energía, pérdidas de potencia, así como respuesta del usuario a requerimientos de la demanda [9].

2 METODOLOGÍA

En la Figura 9 se presentan los componentes de la arquitectura propuesta para un sistema de monitorización del consumo de energía eléctrica en el hogar, basado en concepto de sub-medición por circuito ramal.

Figura 9. Arquitectura sistema propuesto.



El sistema de monitorización se divide en tres bloques:

1. **Sensor-actuador:** está compuesto por los medidores inteligentes, los cuales envían la información mediante el protocolo RS-485. Este protocolo permite la transmisión de información entre los distintos medidores (esclavos) y un maestro conectados a un mismo bus. En este caso el concentrador es el maestro que recibe los datos por puerto serial (ver Figura 10), esto hace necesaria la conversión del RS-485 a TTL, este último es un protocolo de comunicación que realiza el envío y/o recepción de datos seriales.
2. **Concentrador:** es el encargado de comunicarse con el bloque de visualización de datos mediante el protocolo TCP/IP, el cual permite la transferencia de datos entre estos dos por medio de la dirección IP de cada uno de estos. La conexión es realizada por un cable UTP categoría 5 a un modem con ancho de

banda de 100Mbps.

3. **Visualización de datos:** en este tercer bloque se encuentra la interfaz de usuario, en la cual se visualizan los datos de los medidores inteligentes; estos datos se encuentran almacenados en la base de datos, esta interfaz se puede observar a través de un computador el cual debe estar conectado a la red de área local.

2.1 MEDIDORES INTELIGENTES POR CIRCUITO RAMAL

Basados en la investigación presentada en [39], en la Tabla 2 se presentan los circuitos ramales asociados a un cliente residencial promedio. En esta tabla se muestra el nombre asignado a los circuitos ramales y la zona de la residencial a la cual pertenece. Los medidores inteligentes ubicados en cada uno de los circuitos ramales del hogar son los “DDS-1Y” y tienen la capacidad de proporcionar la información presentada en la Tabla 1.

Tabla 1. Información proporcionada por medidor inteligente.

Información	Abreviatura	Unidades
Potencia activa instantánea	P.A.I	kW
Potencia reactiva instantánea	P.R.I	kVAR
Potencia activa acumulada	P.A	kWh
Potencia reactiva acumulada	P.R	kVARh
Tensión	V	V
Corriente	I	A
Frecuencia	F	Hz
Factor de potencia	FP	-
Relé	R	-
Fecha	FEC	-
Identificación	ID	-

En la Tabla 1, la Fecha hace alusión al instante de tiempo en el que el medidor toma la lectura; y el relé proporciona información de su estado, es decir, si está abierto o cerrado.

Tabla 2. Circuitos Ramales.

No.	Nombre del circuito ramal	Zona del hogar
1	Iluminación	Todas las zonas.
2	Entretenimiento	Estar tv, alcoba principal y auxiliar.
3	Planchado-lavado	Zona de ropas
4	Cocina	Cocina
5	Refrigeración	Cocina
6	Pequeños electrodomésticos	Sala-comedor, terraza, baños.

Fuente [39]. W. Gomez. G. Archila. G. Ordoñez. J. Petit. M. Ortiz. Topological and technological characterization of a residential energy management system in the smart grid context

2.2 TRAMA DE DATOS

Después de tener la información proporcionada por los medidores, es necesario organizarla, esto con el fin de tener las medidas en el orden que se almacenan en la base de datos (Tabla 2). En la Tabla 3 se muestra la estructura utilizada para de la información de las medidas.

Tabla 3. Estructura trama de datos.

P.A	P.R	P.A.I	P.R.I	V	I	FP	F	R	FEC	ID
-----	-----	-------	-------	---	---	----	---	---	-----	----

Cabe recalcar que de la tabla anterior (Tabla 2) el ítem identificador (ID) del medidor hace referencia a la dirección Modbus asignada a cada medidor. Este parámetro permite diferenciar los medidores dentro del bus de conexión RS-485. Igualmente, la estructura de la trama de datos sirve para el diseño de la base de datos donde es almacenada esta información.

2.3 CONCENTRADOR

Es el dispositivo encargado de recolectar la información de los seis medidores del hogar por medio del protocolo de comunicaciones RS-485. Este dispositivo almacena los datos en un archivo CSV¹. De esta manera, en caso de que el servicio de la base de datos llegara a fallar, este archivo de texto sirve como copias de seguridad para no tener pérdidas de las lecturas de los medidores.

En este proyecto se usa como concentrador la tarjeta de desarrollo BeagleBone (Ver Figura 10). Este sistema cuenta con un procesador Sitara ARM Cortex-A8 a 720MHz, memoria RAM de 256Mb, memoria de almacenamiento micro SD de 8Gb con sistema operativo de Linux Debian wheezy 7.8, dos puertos USB, un puerto Ethernet 10/100 y un total de 2x46 pines de expansión. Debido a que el sistema propuesto para la monitorización del consumo de energía eléctrica por sub-medición por circuito ramal es para una residencia, la base de datos se instaló en el mismo concentrador, ya que si la base de datos se aloja en un servidor remoto se elevarían los costos del sistema propuesto.

¹Archivo csv: tipo de documento para representar datos en forma de tabla, en la que los datos se separan por comas.

Figura 10. Beaglebone como concentrador.

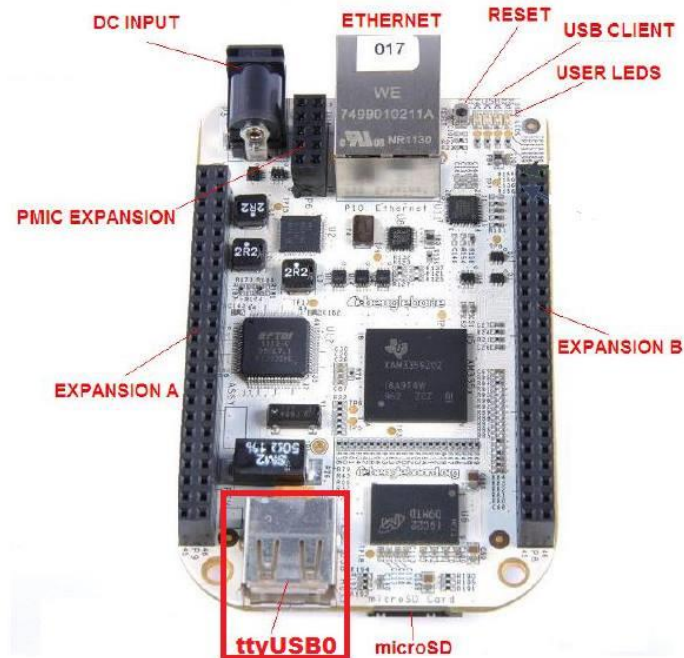


Tabla 4. Cuadro comparativo de los sistemas de gestión de bases de datos.

SGBD	TIPO DE LICENCIA	TAMAÑO BASE DE DATOS	MAXIMO TAMAÑO TABLA	MAXIMAS FILAS POR TABLA	MAXIMAS COLUMNAS POR TABLA
PostgreSQL	Libre	Ilimitada (Depende del sistema de almacenamiento)	32Tb	Ilimitado	dependiendo del tipo
MySQL	Libre	Ilimitada	Depende de las limitaciones del sistema	Ilimitada	4096 o menor dependiendo del tipo
Oracle	Comercial	Ilimitada	Ilimitada	Ilimitada	1000
SQL Server	Comercial	524.272 Tb	Información no encontrada	Limitado por el espacio de almacenamiento	1024

2.4 BASE DE DATOS

Para almacenar la información proveniente de los medidores inteligentes se hace necesario el uso de un sistema de gestión de bases de datos (SGBD), el cual sirve para definir, construir y manipular las bases de datos. En la Tabla 4 se presenta un

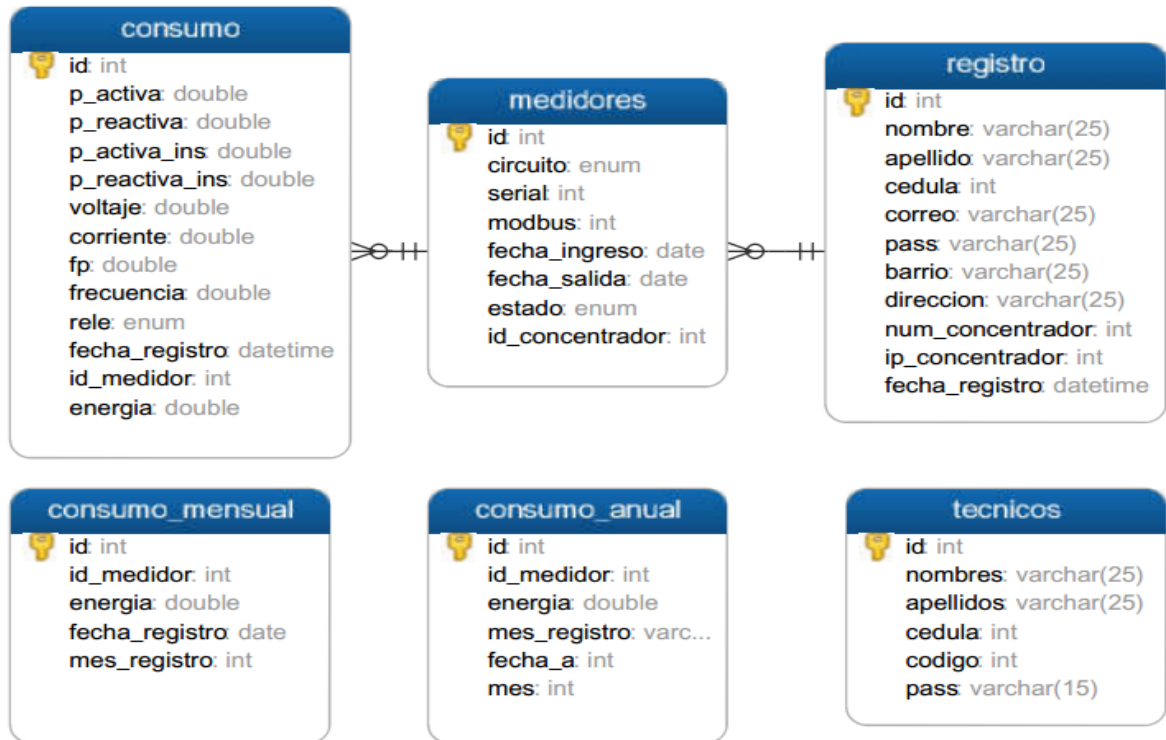
cuadro comparativo de los SGBD más utilizados (Oracle, MySQL, PostgreSQL y SQL Server) con sus especificaciones y características.

Para la elección del sistema de gestión de base de datos, se tiene como criterio que el sistema sea capaz de soportar el almacenamiento de grandes cantidades de registros, debido a que los medidores están generando datos en intervalos cortos de tiempo (cada minuto). La Tabla 4 presenta un cuadro comparativo de los motores de base de datos más conocidos, con el fin de evaluar cuál es el que presenta un óptimo servicio para la aplicación.

De la Tabla 4 se concluye que el mejor sistema de gestión de bases de datos es ORACLE, pero debido a los costos generados por este sistema, se toma la decisión de aumentar el tiempo de recolección a cada 20 minutos y utilizar el sistema MySQL para la gestión de información en la base de datos, ya que es de licencia libre y cumple con los requerimientos del sistema.

En el sistema de gestión de base de datos MySQL, se crea la base de datos nombrada smarthome_uis compuesta por cuatro tablas: la tabla de registro, la tabla de medidores, tabla de consumo y tabla técnicos, en las cuales se guarda información del usuario, del concentrador, de los medidores e información del consumo de cada circuito ramal. Por ejemplo, la tabla consumo se diseñó según la trama de datos, la cual contiene las variables eléctricas que entrega cada medidor; a cada uno de estos campos se le asigna un formato de acuerdo a los datos que va a contener (texto, entero, fecha, etc.), así mismo con la tabla medidores, la tabla registro y tabla técnicos. El diseño de la base de datos se puede observar en la Figura 11.

Figura 11. Diseño de la base de datos MySQL.



En la tabla “consumo” se registran los consumos diarios que suceden en cada medidor, por lo que para observar un consumo mensual y anual se crearon vistas (Figura 11), estas vistas son tablas virtuales que almacenan una consulta, es decir sus datos provienen de tablas u otras vistas. En general, las vistas permiten gestionar de manera eficaz y eficiente los cálculos para la presentación al usuario final.

2.5 INTERFAZ DE USUARIO

Para visualizar el consumo de energía eléctrica por circuito ramal de un hogar, se diseñó una interfaz de usuario basada en un entorno web. Esta se compone de módulos, en dónde el primero de ellos permite el ingreso y registro de usuarios. Una vez el usuario ingresa a su perfil tendrá acceso a los módulos de información por sector, registro de medidores y consejos energéticos; en la figura 12 se

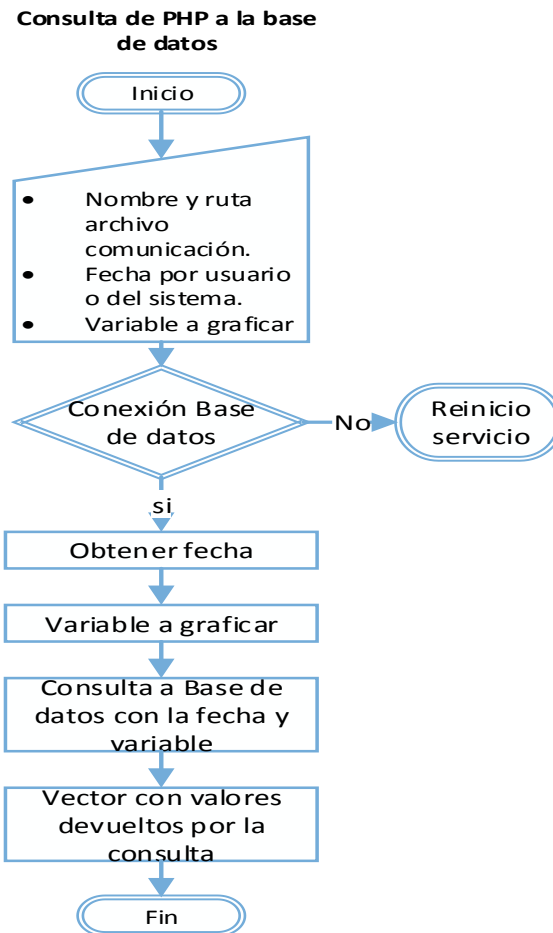
observa la integración de los módulos. Para la implementación de la página web se utiliza PHP, HTML, CSS y JavaScript con su librería chartnew.js [40].

Figura 12. Diseño de la Interfaz de usuario por módulos.



En el primer módulo de servicio técnico se realiza el registro del usuario residencial y después de ingresar a la plataforma en el segundo módulo de servicio técnico se procede con el registro de los medidores inteligentes. El módulo de información por sector contiene la información relacionada con el consumo de cada circuito ramal del hogar. En este módulo se encuentran varios sub-módulos: un sub-módulo llamado “Día”, el cual contiene las gráficas de potencia activa, potencia reactiva, tensión, corriente, frecuencia y factor de potencia; para todas estas medidas se grafica el comportamiento de las variables durante los últimos cinco días y adicionalmente, para el caso de la potencia activa se puede graficar una fecha específica que sea seleccionada. En los sub-módulos de “Mes” y “Año” se puede observar la potencia activa acumulada durante el mes y el año seleccionado. Otro de los módulos que se encuentran dentro de información por sector es el módulo de tiempo real, en el cual se pueden observar de forma gráfica los 6 parámetros de un medidor con intervalos de 10 segundos.

Figura 13. Conexión PHP-MySQL.



En los sub-módulos de “Día”, “Mes”, “Año” y “Tiempo real”, se encuentran las gráficas de las lecturas de los medidores inteligentes, las cuales son creadas por la librería chartnew.js de JavaScript. Los datos de estas graficas provienen de MySQL, por tanto, para extraerlos se necesita de PHP, en la figura 13 se observa el diagrama de flujo del funcionamiento de la consulta de PHP a la base de datos.

En el diseño de la interfaz de usuario se encuentran dos perfiles: uno de usuario final y otro del administrador, a los cuales se lo otorgan diferentes privilegios como se muestra en la figura 14.

Figura 14. Privilegios de usuarios en la interfaz web.



3 PRUEBAS Y RESULTADOS

En este capítulo se describen las pruebas realizadas para lograr el funcionamiento del sistema de medición inteligente por circuito ramal; las cuales se llevaron a cabo en dos fases:

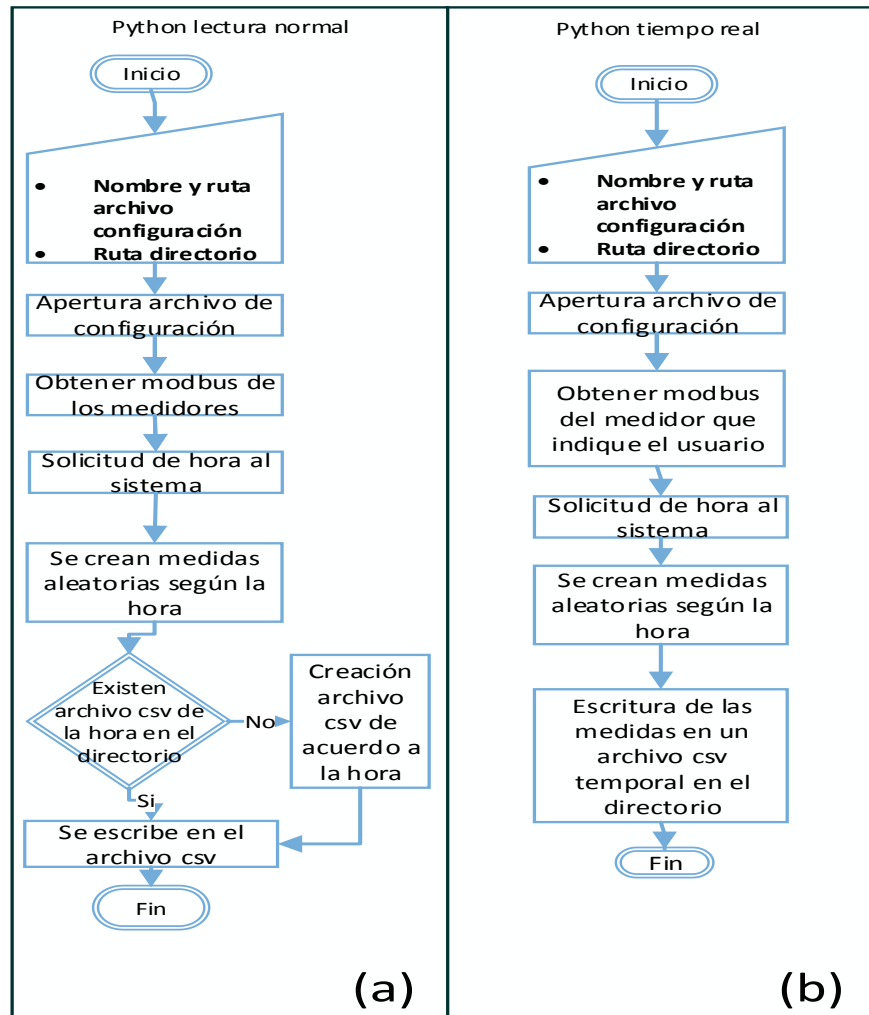
- **Fase 1:** pruebas del sistema emulando el funcionamiento de los medidores por medio de un script el cual genera datos de medida sintéticos.
- **Fase 2:** pruebas al sistema haciendo uso de los medidores inteligentes reales. Siendo necesario implementar la comunicación por medio del protocolo RS-485.

3.1 PRUEBAS FASE 1.

Para poder realizar las pruebas a esta fase se hace necesaria la creación de script de “generación de información”, el cual simula los parámetros que son proporcionados por los medidores. Esto fue necesario, debido a que no se tenía disponibilidad de los medidores y como primera etapa para verificar el funcionamiento del sistema. Adicionalmente, es creado un script en PHP para enviar esta información a la base de datos (ver Figura 16).

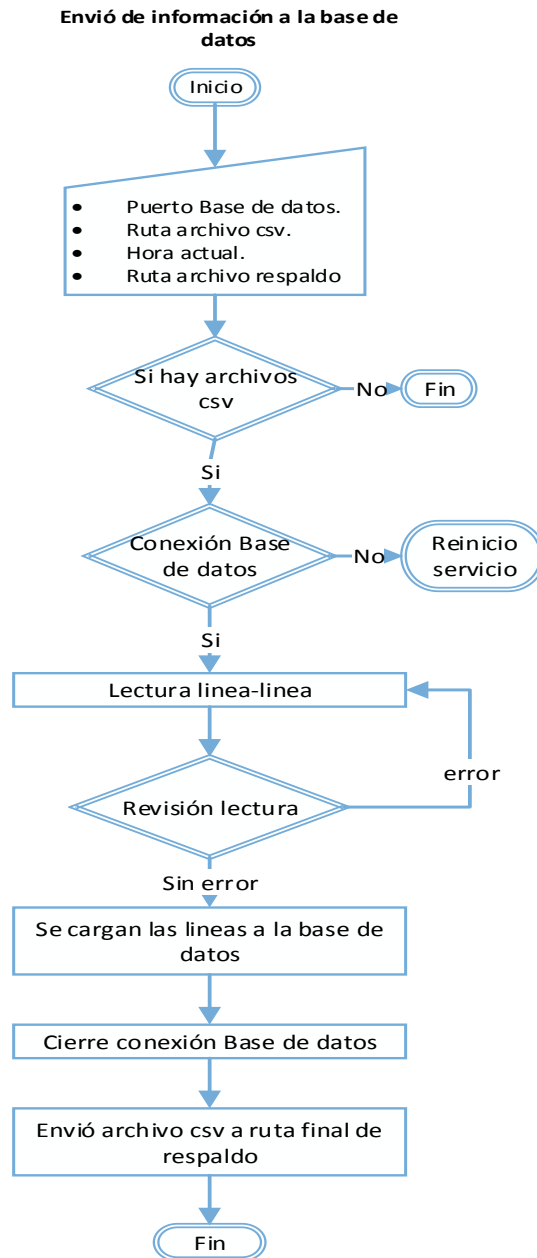
3.1.1 Generación de información. En la figura 15 (a) se presenta el diagrama de flujo del script de Python encargado de la lectura de los medidores cada 20 minutos. Igualmente, en la figura 15 (b) se describe el proceso utilizado para realizar la lectura en tiempo real de los medidores, el cual es ejecutado cada 10 segundos a partir del instante en el que el usuario inicie esta tarea y hasta que quiera finalizarla. Para verificar el funcionamiento de estos códigos se generan datos de forma aleatoria a partir de la curva de demanda promedio de un usuario residencial estrato 5 suministrada en la norma para el cálculo y diseño de sistemas de distribución de la Electrificadora de Santander (ESSA) [41].

Figura 15. Generación de datos en Python



3.1.2 Envió de información a MySQL. Para enviar la información generada por python a la base de datos, se utiliza un script en PHP (ver diagrama de flujo Figura 16), el cual se encarga de hacer la conexión con la base de datos y de cargar los datos a la misma.

Figura 16. Envió de datos a MySQL.



Los scripts de generación de información y el de envió de datos son ejecutados por el cron de Linux de la siguiente forma: el script de tiempo real se ejecutará

cada 10 segundos cuando el usuario lo solicite, el de lectura normal se ejecuta cada 20 minutos y el de cargar los datos a la base de datos cada hora.

Para probar el funcionamiento de esta fase, se realizó observación de datos en el instante que se crearon por python, se almacenaron en la base de datos y se graficaron en la interfaz de usuario, esto se realizó con la finalidad de verificar que el dato ingresado sea el mismo en los tres escenarios nombrados anteriormente.

3.2 PRUEBAS FASE 2.

Esta fase se cuenta con los medidores inteligentes, por lo que los scripts de generación de información de la fase anterior se remplazan por script que soliciten las lecturas a los medidores, cabe resaltar que para enviar la información a la base de datos se utiliza el mismo script de la Fase 1 (Figura 16).

3.2.1 Adquisición de datos a los medidores inteligentes. El diagrama de flujo de la Figura 17 (a) presenta el modelo de adquisición de datos para la lectura de los medidores; este proceso se realiza entre el concentrador y el sensor-actuador. De la misma manera, la Figura 17 (b) presenta el modelo de adquisición de datos en tiempo real, esto se diseñó en python para facilidades de respuesta del sistema operativo y manejo de puertos.

Al igual que la Fase 1 las ejecuciones de los scripts son controlados por el cron de Linux. Por tanto, el script de tiempo real es ejecutado cada 10 segundos cuando el usuario lo solicite, el de lectura normal cada 20 minutos y el de cargar los datos a la base de datos cada hora. Sin embargo, los medidores inteligentes no pueden responder dos solicitudes de lectura al tiempo, es decir no se puede ejecutar el tiempo real y el de lectura normal a la vez. Para solucionar esta limitación se desarrolla un script bash que se encarga de seleccionar cual código de python se ejecuta, de acuerdo a la necesidad del usuario. En la figura 18 se observa el diagrama de flujo de este script.

Figura 17. solicitud de información a los medidores por modbus.

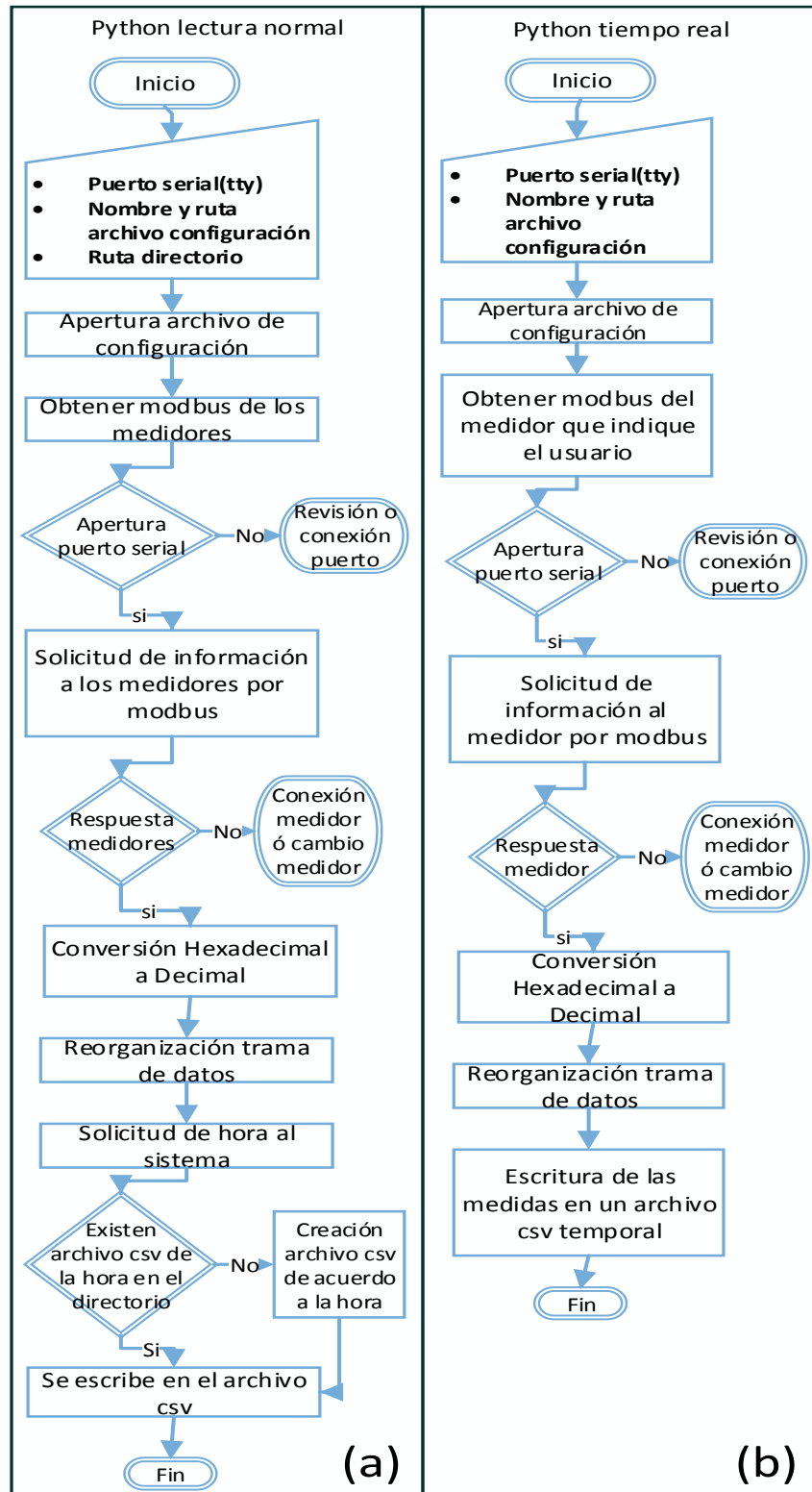
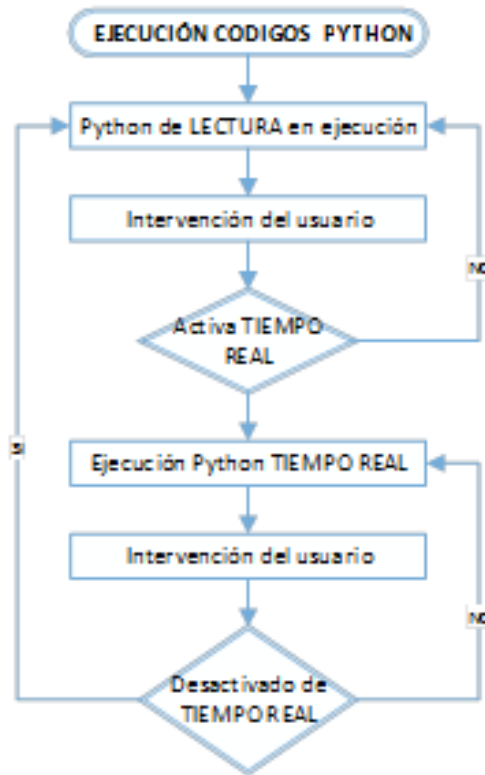


Figura 18. Diagrama de flujo de cron de Linux.



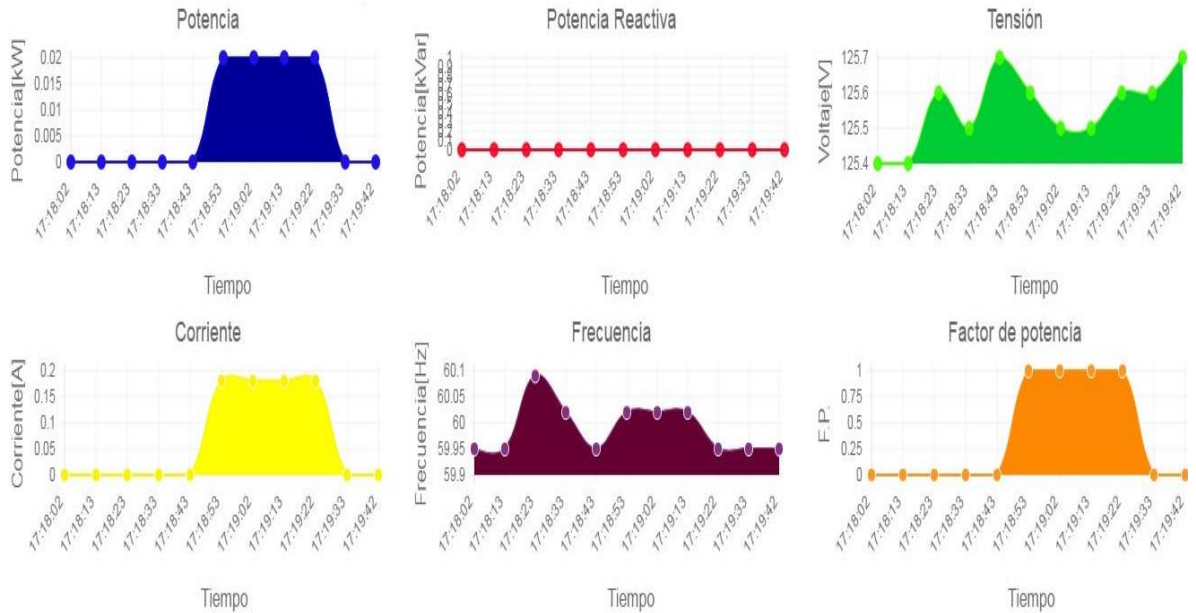
Para realizar la verificación de la transición de la información desde que el medidor toma la lectura hasta que es visualizado en la interfaz de usuario, se observa que el dato tomado por el medidor sea el mismo que llegue al concentrador, a la base de datos y a la interfaz de usuario.

3.3 VISUALIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN

En la interfaz de usuario implementada, se visualiza la información del consumo energético por sectores; esta información proviene de la base de datos, cuando las lecturas son cada 20 minutos o de un archivo csv si se trata de lecturas en tiempo real. Cuando las lecturas son cada 10 segundos, estos datos no se suben a MySQL ya que al ser en intervalos cortos de tiempo la base de datos se llenaría rápidamente, por ende, los datos se grafican directamente desde este archivo. En la Figura 19 se observa las gráficas realizadas con la librería chartsnew.js en donde se ilustran las variables eléctricas de un medidor inteligente, estas gráficas

tienen la finalidad de brindar información al usuario sobre el consumo de energía eléctrica por sector ya sea en tiempo real o cada 20 minutos, esta retroalimentación sirve para que el usuario pueda tomar decisiones sobre el ahorro de esta energía.

Figura 19. Visualización de información de un medidor inteligente.



4 CONCLUSIONES

La revisión bibliográfica permitió definir los hogares inteligentes como sistemas que integran diferentes tecnologías de telecomunicaciones, de la electrónica, la informática y la electricidad; con el objetivo de brindar a los usuarios protección, seguridad, comunicación, entretenimiento y sobre todo ahorro energético mediante la administración de los recursos energéticos. Teniendo en cuenta que todo esto se puede lograr sin perjudicar el confort y el estilo de vida del usuario.

Se evidencia el potencial de los hogares inteligentes, observando que en los últimos años ha ido creciendo su acogida debido a la integración de nuevas tecnologías como las fuentes no convencionales de energía, el vehículo eléctrico y el internet de las cosas.

En la trama de datos se estructura la información proveniente de los medidores inteligentes, con la finalidad de tener un orden para su almacenamiento en la base de datos. Unos de los limitantes es el almacenamiento de esta información, ya que se puede realizar mediante sistemas de gestión de bases de datos gratuitos o pagos; variando la capacidad de cada uno de estos, por lo que se limita la cantidad de información que se pueda guardar.

En el desarrollo del capítulo 2 se propone un sistema de interconexión para la monitorización del consumo energético por sub-medición por circuito ramal, este sistema como mínimo debe estar compuesto de un sensor, un concentrador y un sistema de visualización; para la comunicación de estos se puede implementar no solo como se propone sino de manera inalámbrica como la utilización de tecnologías de comunicación como Bluetooth, Zigbee, Z-wave, PLC entre otras.

Para la visualización de datos provenientes de la monitorización de los circuitos ramales es necesaria la implementación de un interfaz de usuario, la cual debe presentar la información de forma amigable e intuitiva para el consumidor; destacando la importancia de la potencia activa, ya que a partir de esta se genera la facturación del servicio de energía eléctrica, por lo que se presentan gráficas diarias, mensuales y anuales de esta variable, para tener un mayor control.

Uno de los módulos de mayor importancia en la interfaz de usuario es el módulo de tiempo real, ya que ofrece al consumidor una realimentación instantánea de los eventos ocurridos en cada circuito ramal, esto con el fin de conocer lo que ocurre en momentos o actividades específicas y así poder tomar medidas correctivas en ese instante.

5 RECOMENDACIONES

Como trabajo futuro se propone implementar el sistema de medición energética por circuito ramal en un hogar, para poder comparar los datos de consumo de energía del sistema propuesto y los datos del sistema de medición tradicional. Lo anterior con la finalidad de evaluar el impacto que puede tener la realimentación del consumo por circuito ramal en busca de tener un mayor ahorro energético.

Una de las limitaciones de la interfaz de usuario propuesta, es que solo puede observar desde una conexión a la red local del hogar. A partir de esto, para un trabajo futuro se sugiere que este sistema pueda tener acceso de forma remota a través de internet y, además, llevarlo a una aplicación móvil en Android o iOS con el fin de poder integrar notificaciones en tiempo real y además acceder al sistema de una manera más fácil y rápida.

CITAS

- [1] FUNDACION GAS NATURAL. Impactos Ambientales de la Producción Eléctrica: Análisis. Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE). 1999.
- [2] UNIVERSITY OF CAMBRIDGE. Cambio Climático: Implicaciones para el Sector Energético. Jun 2014.
- [3] DEPURU, Soma Shekara Sreenadh Reddy; WANG, Lingfeng; DEVABHAKTUNI, Vijay. Electricity theft: Overview, issues, prevention and a smart meter based approach to control theft. Energy Policy, 2011, vol. 39, no 2, p. 1007-1015.
- [4] FARHANGI, Hassan. The path of the smart grid. Power and energy magazine, IEEE, 2010, vol. 8, no 1, p. 18-28.
- [5] EHRHARDT-MARTINEZ, K.; LAITNER, J. A.; DONNELLY, K. A. Beyond the Meter: Enabling Better Home Energy Management. Energy, Sustainability and the Environment 2011, Elsevier, 2011, p. 273.
- [6] UENO, Tsuyoshi, et al. Effectiveness of displaying energy consumption data in residential houses. Analysis on how the residents respond. Proceedings, European Council for an Energy-efficient Economy, paper, 2005, vol. 6, p. 19.
- [7] HERRERA, Luis. Viviendas Inteligentes (Domótica). En: Ingeniería e Investigación. 2005, vol. 25, no. 2. pp. 47-52
- [8] RICQUEBOURG, Vincent, et al. The smart home concept: our immediate future. En E-Learning in Industrial Electronics, 2006 1ST IEEE International Conference on. IEEE, 2006. p. 23-28.

- [9] RODRIGUEZ, Walter, ARCHILA, Gustavo Adolfo . Caracterización tecnológica de la topología de un sistema de gestión energética residencial. Trabajo de grado ingeniero electricista . Universidad Industrial de Santander; Bucaramanga. 2012 180p.
- [10] LÜTOLF, R. Smart home concept and the integration of energy meters into a home based system. En Metering Apparatus and Tariffs for Electricity Supply, 1992., Seventh International Conference on. IET, 1992. p. 277-278.
- [11] COLLOTTA, Mario; PAU, Giovanni. A Novel Energy Management Approach for Smart Homes Using Bluetooth Low Energy. Selected Areas in Communications, IEEE Journal on, 2015, vol. 33, no 12, p. 2988-2996.
- [12] SUN, Huo-Ching; HUANG, Yann-Chang. Optimization of power scheduling for energy management in smart homes. Procedia Engineering, 2012, vol. 38, p. 1822-1827.
- [13] ZHOU, Chunlai; HUANG, Wenhui; ZHAO, Xiaoyun. Study on architecture of smart home management system and key devices. En Computer Science and Network Technology (ICCSNT), 2013 3rd International Conference on. IEEE, 2013. p. 1255-1258.
- [14] QUISPE, Leslie. Casas inteligentes para el dia de hoy. En: Revista Zoom. 2014.
- [15] RAMIREZ, Luis Carlos, RAMIREZ, Oscar Andres. Manual de parámetros de diseño de instalaciones internas para usuarios residenciales en un contexto de redes inteligentes domesticas. Trabajo de grado ingeniero electricista . Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. 2014, 191p.
- [16] PÁEZ, Andrés David. GARCÍA, Andrés Alfredo. Estudio de la capacidad de los servicios contextuales de las redes inteligentes residenciales aplicado a una futura red eléctrica en Bucaramanga. Trabajo de grado ingeniero electricista.

Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. 2014,174p.

- [17] MZAHM, Anas M.; AHMAD, Mohd Sharifuddin; TANG, Alicia YC. Agents of Things (AoT): An intelligent operational concept of the Internet of Things (IoT). En Intelligent Systems Design and Applications (ISDA), 2013 13th International Conference on. IEEE, 2013. p. 159-164.
- [18] LEE, Changmin, et al. Securing smart home: Technologies, security challenges, and security requirements. En Communications and Network Security (CNS), 2014 IEEE Conference on. IEEE, 2014. p. 67-72.
- [19] PANDE, Prajakta; PADWALKAR, Anand R. Internet of Things–A Future of Internet: A Survey. International Journal, 2014, vol. 2, no 2.
- [20] PÁEZ, Andrés David y GARCÍA, Andrés Alfredo. Estudio de la capacidad de los servicios contextuales de las redes inteligentes residenciales aplicado a una futura red eléctrica en Bucaramanga. Trabajo de grado. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. 2014.
- [21] TASCIKARAOGLU, A.; BOYNUEGRI, A. R.; UZUNOGLU, M. A demand side management strategy based on forecasting of residential renewable sources: A smart home system in Turkey. Energy and Buildings, 2014, vol. 80, p. 309-320.
- [22] REN, Danping; LI, Hui; JI, Yuefeng. Home energy management system for the residential load control based on the price prediction. En Online Conference on Green Communications (GreenCom), 2011 IEEE. IEEE, 2011. p. 1-6.
- [23] D'ALESSANDRO, Salvatore, et al. Home energy management systems: Design guidelines for the communication infrastructure. En Energy Conference (ENERGYCON), 2014 IEEE International. IEEE, 2014. p. 805-812.
- [24] KUSHIRO, Noriyuki, et al. Integrated home gateway controller for home

- energy management system. En Consumer Electronics, 2003. ICCE. 2003 IEEE International Conference on. IEEE, 2003. p. 386-387.
- [25] RODRÍGUEZ, Ana Masip, FERNÁNDEZ, Miguel Ángel. La casa inteligente. Universidad Carlos III, Madrid.
- [26] DE ANDRADE, Alejandro, PINZÓN, Andrés David. Implementación del sistema de domótica en el hogar. Trabajo de grado Ingeniero de Sistemas y Telecomunicaciones . Universidad católica de Pereira. Pereira. 2013,77p.
- [27] CASTELLANOS, German Alberto, PINTO, Beatriz Lucia. Sistema de información con interfaz web para fábrica de confección infantil. Trabajo de grado ingeniero de sistemas. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. 2010, 104p.
- [28] GONG, Li. A software architecture for open service gateways. Internet Computing, IEEE, 2001, vol. 5, no 1, p. 64-70.
- [29] ASARE-BEDIAKO, B., et al. Overview and comparison of leading communication standard technologies for smart home area networks enabling energy management systems. En Universities' Power Engineering Conference (UPEC), Proceedings of 2011 46th International. VDE, 2011. p. 1-6.
- [30] KUMAR, Vijay; HUSSAIN, Muzzammil. Secure communication for advance metering infrastructure in smart grid. En India Conference (INDICON), 2014 Annual IEEE. IEEE, 2014. p. 1-6.
- [31] NOWAK, Sophie; NOWAK, Marcjan; GROCHLA, Krzysztof. Properties of advanced metering infrastructure networks' topologies. En Network Operations and Management Symposium (NOMS), 2014 IEEE. IEEE, 2014. p. 1-6.
- [32] CHALMERS, Carl, et al. Smart Health Monitoring Using the Advance Metering Infrastructure. En Computer and Information Technology; Ubiquitous

Computing and Communications; Dependable, Autonomic and Secure Computing; Pervasive Intelligence and Computing (CIT/IUCC/DASC/PICOM), 2015 IEEE International Conference on. IEEE, 2015. p. 2297-2302.

- [33] GANDHI, Karan; BANSAL, Hari Om. Smart Metering in electric power distribution system. En Control, Automation, Robotics and Embedded Systems (CARE), 2013 International Conference on. IEEE, 2013. p. 1-6.
- [34] BARAI, Gouri R.; KRISHNAN, Sridhar; VENKATESH, Bala. Smart metering and functionalities of smart meters in smart grid-a review. En Electrical Power and Energy Conference (EPEC), 2015 IEEE. IEEE, 2015. p. 138-145.
- [35] ROY, Suryatapa; BEDANTA, Biswajeet; DAWNEE, S. Advanced Metering Infrastructure for real time load management in a smart grid. En Power and Advanced Control Engineering (ICPACE), 2015 International Conference on. IEEE, 2015. p. 104-108.
- [36] RODRÍGUEZ, José. Submetering como pieza clave en la gestión eficiente de la energía. In: 2 congreso eficiencia energética eléctrica. 2012.
- [37] Electric Power Research Institute (EPRI). Advance Metering Infrastructure (AMI). 2007.
- [38] LOPEZ RODRIGUEZ, R. H.; CESPEDES, G. Renato H. Challenges of advanced metering infrastructure implementation in Colombia. En Innovative Smart Grid Technologies (ISGT Latin America), 2011 IEEE PES Conference on. IEEE, 2011. p. 1-7.
- [39] W. Gomez. G. Archila. G. Ordoñez. J. Petit. M. Ortiz. Topological and technological characterization of a residential energy management system in the smart grid context. In: SICEL. Nov 2013.
- [40] FVANCOP/ChartNew.js. [Online]: Disponible en:

<https://github.com/FVANCOP/ChartNew.js/>

[41] ELECTRIFICADORA DE SANTANDER (ESSA). Norma para el cálculo y diseño de sistemas de distribución. Norma para el cálculo y diseño de sistemas de distribución. Revisión No: 3

BIBLIOGRAFÍA

ELECTRIFICADORA DE SANTANDER (ESSA). Normas para el cálculo y diseño de sistemas de distribución. Norma para el cálculo y diseño de sistemas de distribución. Revisión No: 3. Bucaramanga: ESSA. s.f

HALMERS, Carl, et al. Smart Health Monitoring Using the Advance Metering Infrastructure. En Computer and Information Technology; Ubiquitous Computing and Communications; Dependable, Autonomic and Secure Computing; Pervasive Intelligence and Computing (CIT/IUCC/DASC/PICOM), 2015 IEEE International Conference on. IEEE, 2015. p. 2297-2302.

LOPEZ RODRIGUEZ, R. H.; CESPEDES, G. Renato H. Challenges of advanced metering infrastructure implementation in Colombia. En Innovative Smart Grid Technologies (ISGT Latin America), 2011 IEEE PES Conference on. IEEE, 2011. p. 1-7.

LÜTOLF, R. Smart home concept and the integration of energy meters into a home based system. En Metering Apparatus and Tariffs for Electricity Supply, 1992., Seventh International Conference on. IET, 1992. p. 277-278.

PÁEZ, Andrés David y GARCÍA, Andrés Alfredo. Estudio de la capacidad de los servicios contextuales de las redes inteligentes residenciales aplicado a una futura red eléctrica en Bucaramanga. Trabajo de grado. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. 2014.

RAMIREZ, Luis Carlos, RAMIREZ, Oscar Andres. Manual de parámetros de diseño de instalaciones internas para usuarios residenciales en un contexto de redes inteligentes domesticas. Trabajo de grado ingeniero electricista . Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. 2014, 191p.

RODRIGUEZ, Walter, ARCHILA, Gustavo Adolfo . Caracterización tecnológica de la topología de un sistema de gestión energética residencial.Trabajo de grado ingeniero electricista . Universidad Industrial de Santander; Bucaramanga. 2012 180p.

TASCIKARAOGLU, A.; BOYNUEGRI, A. R.; UZUNOGLU, M. A. demand side management strategy based on forecasting of residential renewable sources: A smart home system in Turkey. Energy and Buildings [online], 2014, vol. 80, [cited: 3 Nov.2016] p. 309-320