

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

Sistema de Telemetría para monitoreo de consumo eléctrico residencial

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero en Telemática

Presentado por:

Cruz Ochoa Alberto Jose

Ochoa Ochoa Ariana De Los Angeles

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2020

DEDICATORIA

Alberto Cruz

El presente proyecto lo dedico a mi familia, los cuales siempre se han estado a mi lado en cada momento de mi vida pese a los problemas que existieran. En especial a mi madre la cual me fomento a cumplir mis metas sin rendirme ante los problemas.

Ariana Ochoa

Dedico este trabajo principalmente a Dios, porque me ha permitido llegar hasta este momento de mi vida, por darme la fortaleza, la paciencia, perseverancia y ganas de seguir adelante. A mi padre y mi madre por ser mis pilares fundamentales en todo momento, por sus esfuerzos y sacrificios día a día. A mi mami Elia porque sé que en algún momento ella soñó con verme dónde estoy ahora y hubiera deseado poder estar presente el día de mi graduación. A mi hermana quien siempre estuvo para apoyarme, levantarme el ánimo y ser mi ejemplo a seguir como la gran profesional que es ahora. Mi papá siempre dice "Para atrás ni para tomar impulso" y así lo estamos demostrando.

AGRADECIMIENTOS

Alberto Cruz

Mi más sincero agradecimiento a mi madre por apoyarme en cada etapa de mi vida y por enseñarme a no rendirme para cumplir mis objetivos. También quiero agradecer a mis compañeros y profesores por fomentarme lo que afrontar problemas que puedan ocurrir en mi vida profesional.

Ariana Ochoa

A Dios por permitirme celebrar este logro obtenido y poder compartirlo con mi familia.

A mi mamá por el apoyo incondicional y los sacrificios realizados a lo largo de mi etapa estudiantil. A mi papá por las enseñanzas, por demostrarme que puedo continuar a pesar de los obstáculos y el amor infinito demostrado con su sacrificio.

A mis compañeros quienes siempre han estado en todo momento apoyándome, demostrándome que todo tiene solución y que soy muy capaz de lograr todo lo que me proponga. A mis profesores, por ser quienes nos han alentado día a día a esforzarnos y enseñarnos lo que consideran que es importante para forjar nuestro camino como profesionales.

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Los estudiantes *Cruz Ochoa Alberto Jose* y *Ochoa Ochoa Ariana De Los Angeles* damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”

Alberto Cruz

Ariana Ochoa

EVALUADORES

José Córdova García
PROFESOR DE LA MATERIA

José Córdova García
PROFESOR TUTOR

RESUMEN

No contar con un detalle del consumo de facturas eléctricas mensuales y de cada equipo presente en el hogar genera malestar en la ciudadanía al no tener un respaldo de su consumo en relación con el costo de una planilla eléctrica. El proyecto consiste en el diseño e implementación de un sistema de telemetría para el monitoreo de cargas eléctricas residenciales, mediante la interconexión del protocolo MQTT para el análisis de datos de consumo en tiempo real.

Por lo que se elaboró un sistema de telemetría para el análisis y toma de datos del consumo eléctrico residencial u organizacional en tiempo real mostrada en una plataforma independiente que el usuario observará. Para la adquisición de datos se usó un sensor comercial situado en un laboratorio de ESPOL, encargado de capturar los valores de potencia eléctrica consumida y estos valores se almacenaron en una base de datos diseñada para este propósito. Se creó una interfaz amigable alojada en un servidor web que permite al usuario visualizar los datos almacenados mostrados en gráficas y tablas. Adicionalmente, el sistema permite la integración con un software de optimización que muestra una información más detallada del consumo estimado de cada uno de los electrodomésticos en el hogar.

El sistema contempla un análisis de los resultados obtenidos en relación con sistemas convencionales que no facilitan al usuario un detalle sobre el consumo eléctrico residencial, con un sistema de telemetría de bajo costo por almacenamiento en memoria y alto grado de accesibilidad.

Palabras Clave: Telemetría, protocolo MQTT, sensores comerciales, optimización.

ABSTRACT

Not having a monthly electricity bill with details of the consumption of each appliance in the home can generate discomfort among customers when their final value to pay does not match the perceived consumption of the users. In this project we propose the design and implementation of a telemetry system for the monitoring of residential electrical loads, through the interconnection of the MQTT protocol for the analysis of consumption data in real time.

A telemetry system was developed for the analysis and collection of real-time residential or organizational electricity consumption data displayed on an independent platform that the user will observe. For the acquisition of data, a commercial sensor was used located in a laboratory of ESPOL, in charge of capturing the values of electrical power consumed and these values were stored in a database designed for this purpose. A user-friendly interface was created hosted on a web server that allows the user to view the stored data displayed in graphs and tables. In addition, the system allows integration with an optimization software that displays more detailed information on the estimated consumption of each household appliance in the home.

The system includes an analysis of the results obtained in relation to conventional systems that do not provide the user with a detail on residential electricity consumption, with a low-cost telemetry system for memory storage and a high degree of accessibility.

Keywords: *Telemetry, MQTT protocol, commercial sensors, optimization.*

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	i
ABSTRACT.....	ii
ÍNDICE GENERAL.....	iii
ABREVIATURAS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE TABLAS	ix
CAPÍTULO 1	1
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Descripción del problema	2
1.2. Justificación del problema	2
1.3. Objetivos	3
1.3.1. Objetivo general.....	3
1.3.2. Objetivos Específicos.....	3
1.4. Marco Teórico	3
1.4.1. Medidores eléctricos modernos	3
1.4.2. Medidores de consumo interno	5
1.4.3. Sensores de monitoreo comerciales	6
1.4.4. Métodos de transmisión de información.....	7
CAPÍTULO 2	9
2. METODOLOGÍA	9
2.1. Conexión con hardware	9
2.1.1. MQTT y su modelo Pub/Sub.....	10
2.1.2. Arquitectura de solución	12
2.2. Conexión con Software	15
2.3. Sistema end-to-end.....	17
2.3.1. Conectividad y redes involucradas.....	17
2.3.2. Arquitectura completa	18
2.4. Manejo de datos.....	19
2.4.1. Base de datos Hardware	20
2.4.2. Base de datos Software	23
2.4.3. Servicio Web.....	25
CAPÍTULO 3	26
3. RESULTADOS Y ANÁLISIS	26

3.1.	Análisis de almacenamiento en la base de datos	26
3.2.	Análisis de comunicación de datos sensor-colector	31
3.3.	Análisis del rendimiento del software de optimización	33
3.4.	Evaluación de costos	34
3.5.	Interfaz gráfica	36
3.5.1.	Página de Inicio	37
3.5.2.	Interfaz de análisis de datos por cada 5 minutos	39
3.5.3.	Interfaz de análisis de datos por cada hora.....	40
3.5.4.	Software de optimización para el consumo eléctrico residencial	41
3.6.	Encuesta hacia el usuario final	45
CAPÍTULO 4		49
4.1.	Conclusiones.....	49
4.2.	Recomendaciones.....	50
Bibliografía		51

ABREVIATURAS

CNEL	Corporación Nacional de Electricidad
MQTT	Message Queuing Telemetry Transport
kWh	kilo Watts-hora
kVarh	kilo Volt Amper-hora
AMI	Advanced Metering Infrastructure
IoT	Internet of Things
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
mm	milímetro
USB	Universal Serial Bus
HDMI	High-Definition Multimedia Interface
GPIO	General Purpose Input/Output
M2M	Machine-to-Machine
Pub	Publish
Sub	Subscribe
TCP	Transmission Control Protocol
IP	Internet Protocol
SSL	Secure Sockets Layer
TLS	Transport Layer Security
Uuid	Universally unique identifier
Json	JavaScript Object Notation
W	Watt
J	Joule
V	Voltio
LABET	Laboratorio de Ensayos Térmicos
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
FIEC	Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación
REST	Representational State Transfer.
API	Application Programming Interface
MVC	Modelo-vista-controlador
HTML	Hypertext Markup Language
MB	Megabytes

GB	Gigabytes
CPU	Central Processing Unit
VPN	virtual private network
App	Application
GAMS	General Algebraic Modeling System

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Proyectos de implementación de redes AMI alrededor del mundo. [8]	6
Figura 2.1. Arquitectura de conexión MQTT.....	11
Figura 2.2. Datos que se obtienen mediante la conexión MQTT con Smappee PRO. ...	12
Figura 2.3. Arquitectura de Hardware.....	13
Figura 2.4. Mensaje de ingreso al Portal Expert exitoso estando conectado a la red de LABET.....	14
Figura 2.5. Portal Expert de Smappee PRO mostrando la configuración MQTT con el broker local de Smappee.	15
Figura 2.6. Actividades planteadas para el desarrollo del proyecto del software.	16
Figura 2.7. Arquitectura completa de la solución.	18
Figura 2.8. Código perteneciente al script de Base de datos por segundo.	20
Figura 2.9. Código correspondiente al script de base de datos por hora.	21
Figura 2.10. Código correspondiente al script de base de datos por hora.	22
Figura 2.11. Código correspondiente al script de base de datos por hora.	22
Figura 2.12. Base de datos de ingreso de dispositivos.....	23
Figura 2.13. Base de datos del consumo por mes de cada dispositivo.....	24
Figura 2.14. Base de datos de la salida del modelo matemático.	24
Figura 3.1. Gráfica de consumo de memoria de la base de datos por períodos de tiempo.	29
Figura 3.2. Gráfica de métrica de consumo de memoria con muestras por segundo. ..	30
Figura 3.3. Gráfica de métrica de consumo de memoria con muestras por cada 5 minutos.	30
Figura 3.4. Gráfica de métrica de consumo de memoria con muestras por hora.	31
Figura 3.5 Gráfica de la base de datos que refleja pérdida de comunicación entre sensor y la raspberry.	32
Figura 3.6. Página de inicio donde se muestra el sensor comercial.	37
Figura 3.7. Página de inicio donde se muestra la descripción del sistema.	38
Figura 3.8. Gráfica de potencia consumida el día anterior y último valor registrado.	39
Figura 3.9. Gráfica de potencia VS tiempo de las muestras de cada 5 minutos.	40
Figura 3.10. Gráfica de potencia VS tiempo de las muestras de cada hora.....	41
Figura 3.11. Formulario de ingreso de dispositivos en el hogar.....	43
Figura 3.12. Gráfica de tiempo de encendido de los dispositivos.	44

Figura 3.13. Gráfica de consumo de dispositivos y potencia VS tiempo.	45
Figura 3.14. Encuesta de satisfacción a usuarios.....	46
Figura 3.15. Encuesta de satisfacción de usuario.	47
Figura 3.16. Resultados de la primera pregunta del formulario.	48
Figura 3.17. Resultados de la segunda pregunta del formulario.....	48
Figura 3.18. Resultados de la tercera pregunta del formulario.	48
Figura 3.19. Resultados de la cuarta pregunta del formulario.....	49
Figura 3.20. Resultados de la quinta pregunta del formulario.....	49

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Comparación de especificaciones de diferentes sensores comerciales [12].	7
Tabla 3.1. Consumo de almacenamiento en muestras por segundo.	27
Tabla 3.2. Consumo de almacenamiento en muestras por cada 5 minutos.	28
Tabla 3.3. Consumo de almacenamiento en muestras por hora.	28
Tabla 3.4. Tiempo de ejecución del modelo matemático.	34
Tabla 3.5. Valores de costos para implementación en residencia.	36

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

Hoy en día el control y la concientización acerca del consumo energético se ha vuelto una prioridad y a la vez un problema muy inquietante y retador para el público en general, por el violento aumento de la energía que culmina en serios problemas económicos no solo para un consumidor residencial sino para un gobierno nacional. La crisis por la pandemia mundial ha ocasionado serios daños y afectaciones alrededor del mundo, no solo viéndose afectado el campo de la salud, sino también el campo educativo, laboral y profesional. Ecuador, así como otros países, se mantiene luchando día con día por mejorar su economía, sin embargo, un gran golpe que presentaron innumerables familias ecuatorianas fueron los problemas que tuvo CNEL, Corporación Nacional de Electricidad, al registrar altos consumos eléctricos de varias residencias, edificios, entidades y demás; la paralización de labores en campo por parte del personal de la empresa y la falta de tomas de lectura de medidores eléctricos generaron valores aproximados y exagerados registrados como consumo eléctrico, esto ha sido una afectación que el gobierno se encuentra aún en procesos de revisión y asumiendo valores que las familias no son capaces de cancelar. [1]

No llevar un detalle del consumo eléctrico ni un registro de dichos valores con sus respectivas horas y equipos monitoreados, genera cierta incertidumbre en muchos usuarios al desconocer los valores exactos de medición sin que se valide dichas alteraciones que finalmente vean afectado su bolsillo.

El uso de sensores de monitoreo comerciales no invasivos permite medir el consumo eléctrico sin necesidad de manipular directamente un circuito o aparatos eléctricos de un edificio, lo que beneficia de manera significativa en inversión de sensores e instalaciones. El diseño plantea un sistema telemétrico interconectado mediante el protocolo de comunicación MQTT que facilita un monitoreo y control del consumo eléctrico en tiempo real, mostrando gráficas y análisis de consumo por franjas horarias garantizando un

mejor detalle en la obtención de resultados, con la finalidad de realizar una comparativa sobre el consumo eléctrico con dicho sistema no invasivo en referencia al sistema convencional, toma de lecturas en medidores eléctricos con resultados imprecisos.

1.1. Descripción del problema

Una vez decretada la emergencia sanitaria por el Covid-19 muchas empresas dejaron de realizar sus actividades presenciales para evitar posibles contagios, este fue el caso de la CNEC; los trabajadores de CNEC dejaron de realizar sus labores diarias, que corresponden a la toma de lecturas de medidores eléctricos en residencias y edificios, generando una problemática en la emisión de las planillas eléctricas dado que muchos registros de consumo triplicaban su consumo habitual; mediciones aproximadas y fallos en ciertos medidores residenciales fueron las causas de cientos de reclamos a nivel nacional relacionados con valores excesivos de las planillas emitidas por la CNEC [1].

Muchos son los factores que generan un alto consumo energético en una residencia o empresa, pero la problemática radica en que no existe un monitoreo sobre dicho consumo, es decir que es poco convencional que un mismo usuario pueda llevar un control del consumo de sus aparatos electrónicos y a su vez visualizar un consumo eléctrico promedio en franjas horarias respectivas. Esto genera que los costos excesivos reflejados en planillas eléctricas no tengan opción a reclamo ya que un usuario final no cuenta con un registro de su consumo habitual.

1.2. Justificación del problema

En la actualidad, la mejor descripción al concepto de eficiencia energética es el consumo inteligente de energía, esto quiere decir que es posible cubrir una necesidad usando menos energía. Las fuentes de energía son finitas y poco a poco la demanda va en aumento, es por ello que su correcta utilización se plantea como una necesidad importante a futuro [2].

La presente investigación se enfocará en la elaboración y planteamiento de un sistema de monitoreo de telemetría para el análisis y toma de datos del consumo eléctrico residencial u organizacional, en tiempo real. Hoy en día en el ámbito urbano aproximadamente el 93.2% de viviendas gozan de un servicio eléctrico, sin embargo, no

cuentan con un sistema de monitoreo individual para cada circuito eléctrico que se encuentre en el hogar, el cual puede servir como apoyo en la identificación de los principales circuitos causantes de mayor consumo de energía eléctrica [3].

Adicionalmente, En la actualidad no es común contar con una conciencia energética, por lo que es importante el análisis del consumo eléctrico y la instrucción sobre el uso en exceso de los equipos que estén conectados a diversos circuitos eléctricos en residencias o edificios, para de tal forma ayudar en cuanto a la eficiencia energética no solo del país sino a nivel mundial, así como mantener una buena economía y un medio ambiente limpio.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Diseñar un sistema de telemetría mediante la interconexión de canales de comunicación basados en el protocolo de comunicación MQTT para el monitoreo y análisis de datos de consumo eléctrico en tiempo real.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Establecer la conexión entre el dispositivo y la aplicación mediante el protocolo MQTT.
- Analizar los datos obtenidos en tiempo real mediante gráficas en una plataforma independiente.
- Monitorear el consumo eléctrico en franjas horarias específicas para posteriormente realizar una comparativa de consumo.

1.4. Marco Teórico

1.4.1. Medidores eléctricos modernos

El inicio de la lectura del consumo de energía eléctrica de los usuarios finales comenzó hace 120 años, llevada a cabo gracias a Watthorímetros electromecánicos; sin embargo, con el pasar de los años dichos medidores electromecánicos han sido desplazados paulatinamente por medidores electrónicos digitales más precisos y de fácil lectura. Estos equipos cuentan con una clasificación dependiendo de sus características. Al

hablar de características tecnológicas se clasifican en electromecánicos y electrónicos; en cuanto a las características funcionales se clasifican en monofásicos, bifásicos y trifásicos; la clasificación según su característica energética se basa en medidores de energía activa en kilo Watts-hora(kWh) y medidores de energía reactiva en kilo Volt Amper-hora (kVarh) [4].

Los medidores analógicos o electromecánicos son aquellos medidores que se pueden medir a simple vista ya que contienen ruedas de números que giran dependiendo de la medición que se encuentre realizando, esta característica hace a estos medidores unidireccionales. Estos sólo registran el consumo eléctrico, la información adicional y lectura de las tomas del medidor debe ser extraída manualmente por personal encargado de la empresa eléctrica.

Con el desarrollo y evolución tecnológica han surgido los medidores eléctricos digitales (electrónicos) o inteligentes, los cuales gozan de características similares a computadoras, con la diferencia de que su principal funcionalidad es la medición con capacidad de asociar comunicación bidireccional, con un control de manera remota o telemétrica.

Características de medidores eléctricos digitales

- Funcionalidad antirrobo, donde se encarga del envío de señales en caso de que el equipo sufra de alguna intervención.
- Equipos multitarifas, muestra un detalle de franjas horarias y consumos respectivos.
- Informa acerca de la calidad de la energía ya que detalla el monitoreo de la variación de potencias de corriente eléctrica.
- Servicios adicionales brindando al usuario final la oportunidad de monitorear su consumo eléctrico desde sus dispositivos móviles.
- Al ser medidores digitales facilitan la determinación de problemas y daños proporcionando soluciones eficaces.
- Lecturas reales dejando a un lado las lecturas estimadas.

Una ventaja adicional de los medidores electrónicos inteligentes, o contadores de telegestión, es el formar parte de la red eléctrica inteligente, comúnmente llamada Smart

Grid, a través de las redes AMI, de tal manera facilitan datos de consumo de mayor frecuencia a la compañía distribuidora correspondiente.

1.4.2. Medidores de consumo interno

Corresponde a equipos que realizan mediciones de energía eléctrica que consumen dispositivos individuales dentro del domicilio. En la actualidad, existen una gran variedad de equipos cumpliendo dichas funciones mediante el mismo principio básico, donde el medidor se encuentra conectado a una toma de corriente y el equipo que se medirá debe estar conectado en el medidor. Cuyo beneficio principal se basa en el ahorro de energía, ya que permite conocer cuáles son los aparatos eléctricos que consumen más energía o incluso si ocurre el caso de que un equipo consuma más energía de la que debería; despertando así una mentalidad de concientización al usuario final al conocer el consumo desagregado de los equipos incentivando al menor consumo diario de energía [5].

Redes AMI

AMI (Infraestructura de Medición Avanzada; siglas en inglés), concepto que surge con la finalidad de un análisis y control de datos de medición de consumidores dentro de un centro de gestión. AMI es un sistema capaz de obtener el consumo de energía en tiempo real, facilita acciones que brindan un mejor análisis y comprensión de la data obtenida; las redes AMI son aquellas que se relacionan con medidores inteligentes de electricidad, los cuales se encargan de administrar la información obtenida y por último realizar una toma de decisiones. Constituida por tres elementos principales: medidores inteligentes, red de comunicaciones y centros de gestión [6].

Con las redes AMI, clientes dueños de residencias, administradores de edificios, comerciales o industriales gozan de beneficios en cuanto a la administración de su red eléctrica, ya que con ayuda de medidores inteligentes forman redes de comunicaciones entre sí. Estas redes almacenan la información contenida desde los medidores y usando diferentes tecnologías de comunicación la transfieren a un sistema de adquisición de datos, obteniendo conclusiones acerca del consumo eléctrico. "Con un sistema AMI la toma de decisiones sobre el costo de la energía son más fáciles de tomar" [7].

Entre los sensores comerciales mayormente utilizados se encuentran Smappee [9], SENSE [10] y CURB [11] lo cuales permiten realizar el monitoreo del consumo eléctrico de manera no invasiva mediante inducción electromagnética, debido a que de esta forma no se requiere manipular directamente el circuito eléctrico del edificio. La disponibilidad de estos equipos en el escenario local del Ecuador no es favorable y se recomienda que se maneje la compra del equipo con agentes internacionales como intermediarios.

Como se puede ver en la información de la tabla 1.1 los tres tipos de sensores comerciales se puede observar la información obtenida a través de aplicaciones móviles, pero solo el Smappee y el CURB poseen una página web. Además, el Smappee y el SENSE permiten la detección de dispositivos mediante un algoritmo que reconoce diferentes tipos de firmas de energía de los dispositivos conectados. Luego, el Smappee y el CRUB poseen compatibilidad con dispositivos inteligentes que permiten que controlarlos de manera remota, logrando de esta forma poder apagarlos o encenderlos [12].

Tabla 1.1. Comparación de especificaciones de diferentes sensores comerciales [12].

Dispositivo	Aplicación móvil	Página web	Detección de dispositivos	Compatibilidad con dispositivos inteligentes	Alertas por correo	Panel solar compatible	Almacenamiento de información
SMAPPEE	X	X	X	X		X	3 años
SENSE	X		X			X	1 años
CURB	X	X		X	X	X	1 semana

1.4.4. Métodos de transmisión de información

Los sensores o medidores eléctricos junto con las redes y sistemas que los soportan encajan también en el marco del Internet de las Cosas (IoT, siglas en inglés). Los dispositivos IoT comúnmente pueden comunicarse a través del protocolo REST API y MQTT. Estos protocolos permiten obtener la información recopilada por los sensores en tiempo real para posteriormente ser procesada y mostrada de manera que el usuario requiera [13].

El Protocolo de REST API se basa en el método de cliente y servidor, donde el cliente envía al servidor de monitoreo de consumo eléctrico un mensaje HTTP POST para solicitar obtener un token de autenticación y luego el servidor valida las credenciales y le envía el token que posee una duración de 10 horas. Luego de haber obtenido el token se puede obtener la formación recolectada por los sensores del dispositivo o realizar configuraciones de manera remota [14].

Mientras que el protocolo MQTT se basa en el modelo de intercambio de datos publish/subscribe donde se requiere que un MQTT broker local o externo para que se pueda subscribir y pueda recibir y redireccionar hacia un cliente MQTT la información en tiempo real de la energía consumida, la configuración del equipo, estado de los conmutadores y reportes producidos [15].

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

El presente capítulo detallará varias secciones de los componentes principales e importantes para la implementación del sistema propuesto, comenzando por la parte de hardware analizando funcionalidades y características y finalmente la sección de software y manejo de datos que se encargará de mostrar los resultados al usuario final.

2.1. Conexión con hardware

Para la implementación del sistema de monitoreo de telemetría, se establecen los siguientes componentes de hardware:

Smappee

Dispositivo que pertenece al grupo de sensores de monitoreo comerciales, Smappee brinda información de uso energético histórica y en tiempo real, mostrados en una app amigable al usuario final y en un dashboard profesional [9].

El dispositivo tiene dos partes: una parte que se conecta directamente al tomacorriente y la otra parte que se instala en el cable de alimentación que se encuentra situado entre el contador eléctrico y la caja de fusibles. Smappee brinda soluciones de autoconsumo optimizado, que quiere decir que un mismo usuario que cuente con dicho equipo en su domicilio goza de la posibilidad de generar, almacenar, consumir y compartir la energía eléctrica a partir de la instalación realizada en su residencia; además Smappee otorga soluciones de reducción de costos de energía, balanceo dinámico de carga y protección contra sobrecarga, mediciones de fuerza mucho más precisas, monitorización de red [16].

Raspberry Pi

Computadora de bajo costo y de tamaño reducido (aproximadamente 85 mm x 53 mm), que corre un sistema operativo basado en Linux. Además, cuenta con conectores para puertos USB, ethernet, puerto Jack, HDMI, de memoria microSD y micro-usb para alimentación. Tiene una entrada GPIO de 40 pines que le permite interactuar con sensores o actuadores [17].

La Raspberry tiene un papel importante en el sistema presentado y es su función como punto intermedio, usada de manera local como servidor broker haciendo que los dispositivos se conecten a ella y de tal forma pueda controlar los eventos y acciones que ellos generen. Esto permite descartar la opción de una conexión con un servidor externo.

2.1.1. MQTT y su modelo Pub/Sub

MQTT, en inglés Message Queing Telemetry Transport, es un protocolo de comunicación M2M (machine-to-machine) de tipo message queue [18].

MQTT se desempeña como un protocolo de mensajería entre Cliente/Servidor que se basa en un patrón de publicaciones y suscripciones (pub/sub) a los llamados "tópicos". Cuando se publica algún mensaje en algún topic en específico, este mensaje es recibido por cada dispositivo que se encuentra suscrito a dicho tópico. Es el broker, servidor de traducción y almacenamiento de datos, quien se encarga de hacer llegar los mensajes suscritos [19].

El protocolo MQTT trabaja sobre TCP/IP o también sobre diversos protocolos de red que cuentan con soporte bi-direccional y que no presentan pérdida de datos. El proceso que realiza el pub/sub ocurre cuando el cliente comienza una conexión TCP/IP con el broker, el cuál cuenta con un registro de los clientes conectados; en la conexión mencionada MQTT se emplean los puertos reservados 1883 (no encriptado) y 8883 (encriptado) para comunicación cifrada mediante SSL/TLS, protocolos que brindan integridad y privacidad cuando existe una comunicación entre dos puntos dentro de una red [20].

Para el sistema planetado se define como broker MQTT al módulo mosquitto de Python considerado como una herramienta sencilla opensource y ligera que lo permite utilizar en grandes ambientes, incluso si no cuentan con los suficientes recursos [21] .

La figura 2.1 muestra el funcionamiento y topología de la conexión MQTT anteriormente detallada, donde la Raspberry cumple el papel de servidor broker donde se encuentra instalado el módulo Mosquitto de Python encargándose del patrón pub/sub entre la raspberry y sensor comercial de monitoreo con el fin de mostrar obtener los datos que se publiquen en el broker; para que posteriormente esos datos se administren y almacenen en la base de datos alojada en el servidor web.

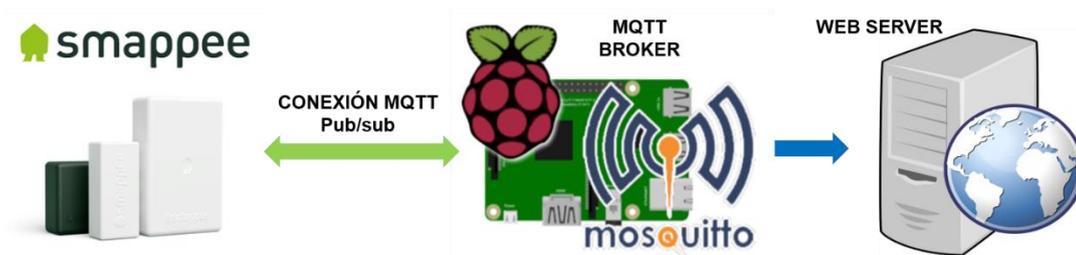


Figura 2.1. Arquitectura de conexión MQTT.

La Figura 1.2 adjunta se muestran los datos obtenidos de la medición realizada por el sensor de monitoreo Smappee PRO mediante la conexión MQTT con la Raspberry Pi; los datos recibidos se reflejan por cada segundo de medición en tiempo real, dado que se utiliza el MQTT Topic proporcionado por la documentación de Smappee PRO ***servicelocation/<uuid>/realtime*** donde el uuid corresponde al identificador único. Finalmente se muestra valores de potencia y voltaje en tiempo real.



```
Dashboard
721 Received Messages

{"totalPower":2810,"totalReactivePower":
703,"totalExportEnergy":0,"totalImportEnergy":
2669894,"monitorStatus":0,"utcTimeStamp":
1606848803923,"channelPowers":{"ctInput":
0,"power":1089,"exportEnergy":0,"importEnergy":
1035810,"phaseId":1,"current":98},"ctInput":
1,"power":1721,"exportEnergy":0,"importEnergy":
1634090,"phaseId":0,"current":154},"voltages":
[{"voltage":115,"phaseId":0},{"voltage":115,"phaseId":
1},"voltage":0,"phaseId":2]}
servicelocation/c99361ae-ef84-4183-a3bb-cf2b7a7b63d7/
realtime

{"totalPower":2818,"totalReactivePower":
704,"totalExportEnergy":0,"totalImportEnergy":
2667084,"monitorStatus":0,"utcTimeStamp":
1606848802923,"channelPowers":{"ctInput":
0,"power":1092,"exportEnergy":0,"importEnergy":
1034721,"phaseId":1,"current":99},"ctInput":
1,"power":1726,"exportEnergy":0,"importEnergy":
1632369,"phaseId":0,"current":154},"voltages":
[{"voltage":115,"phaseId":0},{"voltage":115,"phaseId":
1},"voltage":0,"phaseId":2]}
servicelocation/c99361ae-ef84-4183-a3bb-cf2b7a7b63d7/
realtime
```

Figura 2.2. Datos que se obtienen mediante la conexión MQTT con Smappee PRO.

Los valores de consumo que se obtienen de la conexión MQTT que son enviados desde el equipo Smappee PRO y llegan a la Raspberry, son recibidos en formato Json mostrando valores de potencia en tiempo real. La información es recibida cada segundo detallando valores de potencia en W(watt), energía en J(joule,WS), voltaje en V(voltio) y corriente en dA. Obteniendo resultados de potencia total, potencia total reactiva, energía total de exportación, energía total de importación. Una vez que los datos se reciben en la Raspberry, los mismos se envían al web server para ser alojados en la base de datos donde son almacenados y administrados para finalmente ser mostrados en gráficas y tablas al usuario final.

2.1.2. Arquitectura de solución

La Escuela Superior Politécnica del Litoral cuenta con un laboratorio encargado de realizar ensayos de conductividad térmica llamado LABET, Laboratorio de Ensayos Térmicos [22].

En dicho laboratorio se encuentra ubicado el dispositivo de medición encargado del monitoreo del consumo eléctrico, llamado Smappee. El sistema propuesto se muestra en la Figura 2.3 adjunta, donde Smappee se establece como dispositivo cliente y como servidor la Raspberry pi donde se encontrará instalado el broker MQTT, para garantizar que el protocolo MQTT siempre se encuentre disponible es necesario que el broker sea instalado en un servidor que se mantenga encendido, razón por la cual se considera a la Raspberry pi como la opción más viable por su bajo costo y consumo [23].

Quien va a publicar los mensajes va a ser Smappee registrando todas las mediciones requeridas y la Raspberry pi será quien suscribe. Tanto el dispositivo de medición como la Raspberry pi deben encontrarse en la misma red para que la conexión MQTT sea manera exitosa.

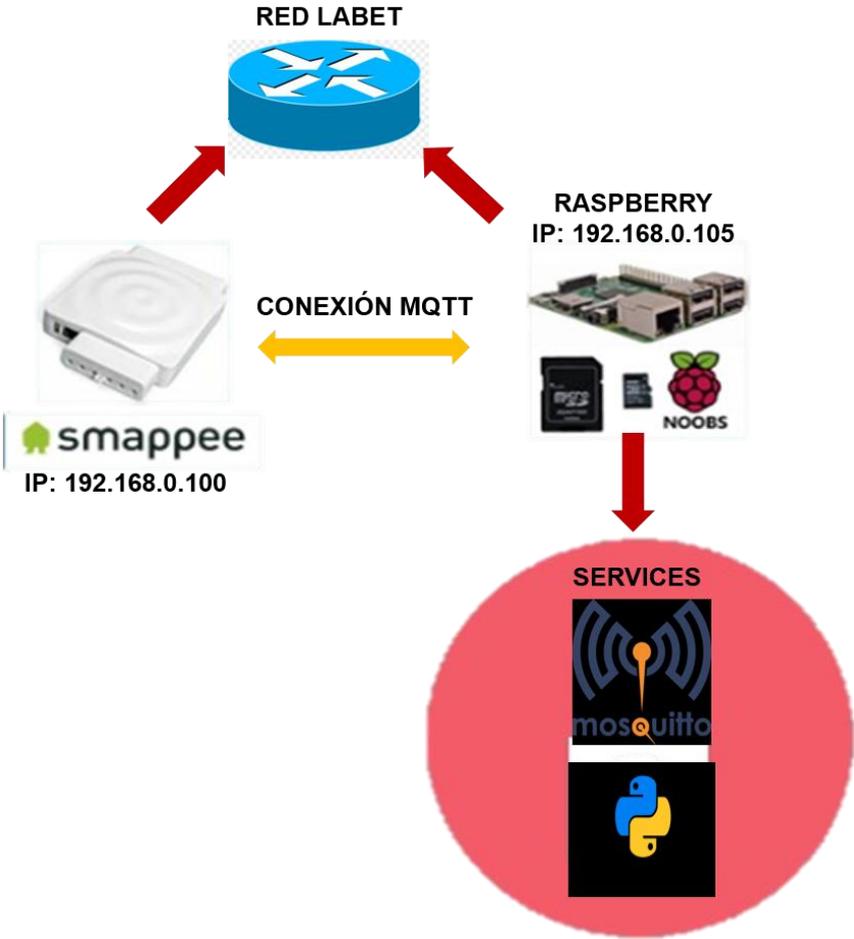


Figura 2.3. Arquitectura de Hardware.

Para lograr que Smappee realice la comunicacion MQTT primero se debe configurar en el portal Expert de Smappee la URL del broker (dirección IP donde se encuentra alojado el mismo), proceso que se detalla a continuación.

Al descargar la app Smappee e ingresar con usuario y contraseña, estando conectado a la red de LABET, se accede a la opción de *Ajustes, Tus monitores Smappee* y se escoge *Portal del experto* lo cual nos redirecciona desde el navegador a la URL <http://192.168.0.100/smappee.html> donde se cuenta con parámetros más avanzados que en la aplicación. Una vez en el portal de experto se escoge la opción de *Configuración avanzada* y tal como se visualiza en las Figuras 2.4 y 2.5 adjuntas, capturadas del equipo cuando se establecía la conexión MQTT, Smappee PRO cuenta con un broker local donde la dirección IP del broker MQTT externo corresponde a la dirección local del Smappee y de esta manera es establecida la conexión.

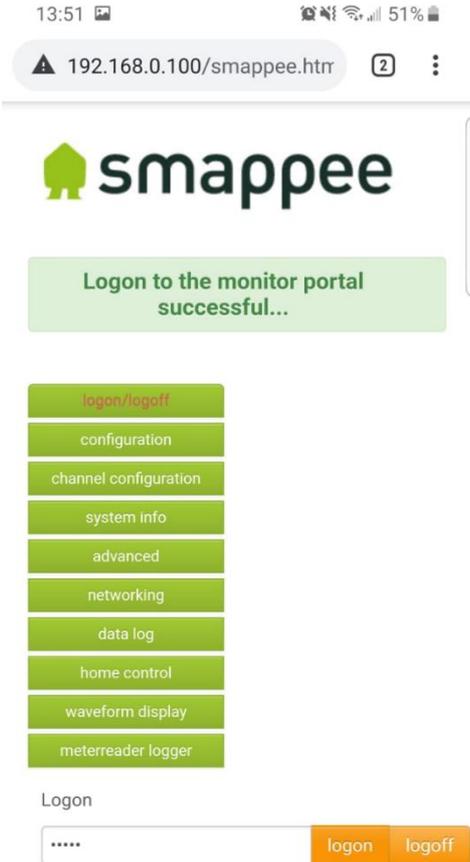


Figura 2.4. Mensaje de ingreso al Portal Expert exitoso estando conectado a la red de LABET.

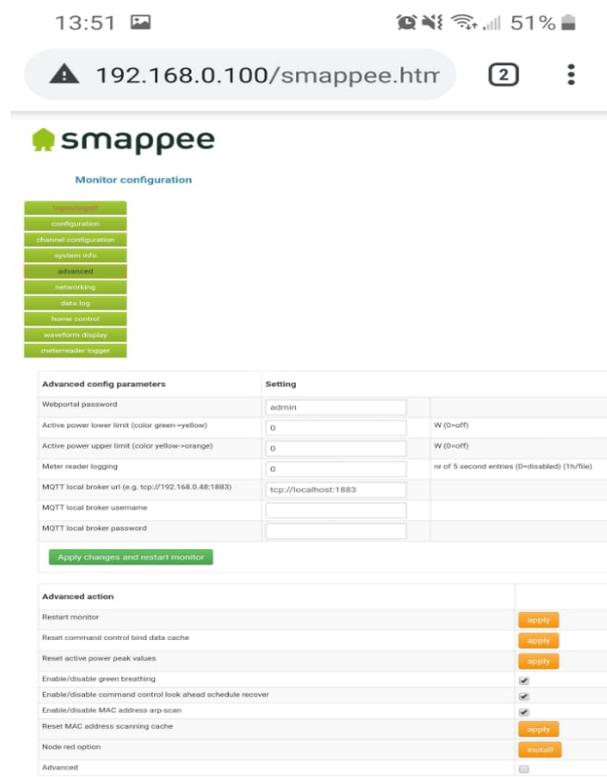


Figura 2.5. Portal Expert de Smappee PRO mostrando la configuración MQTT con el broker local de Smappee.

2.2. Conexión con Software

Al ser un proyecto multidisciplinario, el área de logística ha desarrollado un software de optimización para el monitoreo no intrusivo de cargas eléctricas en consumidores residenciales, en donde se indicará a continuación una breve explicación de su funcionalidad.

La medición del consumo de electricidad en cada vivienda será mediante un medidor inteligente, el mismo que usualmente se encuentra afuera de cada vivienda situado en el panel eléctrico principal. El monitoreo no intrusivo se basa en adquirir una desagregación del consumo eléctrico de cada uno de los electrodomésticos a partir del consumo global de la vivienda.

Con el sistema de monitoreo propuesto y la implementación de un problema de optimización combinatoria, se propone diseñar una curva de demanda representativa del consumidor residencial, gracias al análisis y comprensión del comportamiento y

similitudes de uso de los dispositivos eléctricos. Con el propósito de finalmente elaborar un modelo de eficiencia energética en el hogar.

A continuación, se muestra la siguiente Figura 2.6 donde se describe actividades planteadas para el desarrollo del proyecto.



Figura 2.6. Actividades planteadas para el desarrollo del proyecto del software.

El software utilizado en el sistema es GAMS, en inglés General Algebraic Modeling System, mismo que es empleado en ciertos procesos para la resolución del modelo [24].

GAMS corresponde a un software de alto nivel utilizado en modelados de sistemas para una optimización matemática. Los resultados que se obtengan de GAMS se comparan con los resultados que se obtendrán de Python que trabaja en conjunto con la librería Gurobi que es un solver. Los solvers se encargan de resolver problemas de optimización, obteniendo la solución factible, que cuenta una interfaz interactiva con Python [25].

Ambos softwares se complementan uno con otro sin embargo quien lleva ventaja es Python ya que es de código abierto y es posible exportar de mejor manera los datos a diferencia de GAMS.

El modelo desarrollado al basarse en un monitoreo de cargas eléctricas en consumidores residenciales cuenta con asignación de cargas individuales correspondiente al equipo o electrodoméstico disponible para el análisis y de tal forma establecer una toma de decisiones sobre el un consumo residencial individual. Un equipo se compone por varios estados, y dichos estados hacen referencia a las distintas potencias que consume dicho equipo. Para los datos de entrada se establecerán: cantidad de dispositivos en el hogar, estado del equipo, secuencia del estado dependiendo del dispositivo, mínimo uso de estado, carga total del medidor.

Una vez realizado el análisis de datos requeridos para el modelo de optimización, los mismos se almacenan en tablas que se agregarán a una base de datos donde el área de Telemática se encargará de almacenar dichos datos obtenidos en el servidor web y presentar los mismos mediante una interfaz amigable al usuario final.

2.3. Sistema end-to-end

2.3.1. Conectividad y redes involucradas

ESPOL, Escuela Superior Politécnica del Litoral, cuenta con varias facultades de especialidades que se encuentran dentro del campus y en la que todas comparten la misma red. El dispositivo sobre el cuál se va a trabajar y el que se va a encargarse de las mediciones de consumo eléctrico, Smappee PRO, se encuentra ubicado en LABET; según el análisis realizado Smappee tiene salida a internet ya que el dispositivo emite alertas de notificación por medio de la APP de Smappee PRO indicando que el equipo se ha quedado sin conexión cuando se ha presentado dicho escenario. Smappee se conecta por wifi a un router principal dentro del laboratorio, del mismo router se tiene una conexión por ethernet a la Raspberry Pi, la misma que también estará conectada a la red wifi general de ESPOL ya que el laboratorio utiliza la red de la universidad para su conexión a internet; de esta manera la Raspberry se puede conectar al servidor que alojamos en una computadora dentro del Laboratorio de Sistemas Telemáticos de la Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación ubicada dentro del campus.

2.3.2. Arquitectura completa

La arquitectura del sistema de monitoreo y adquisición de datos se muestra en la Figura 2.7 adjunta, tanto el equipo Smappee como la Raspberry pi se encuentran conectados a la misma red de internet, la Raspberry será quien aloje el broker Mosquitto MQTT y mediante un código en Python almacene la información que el cliente publica en dicho broker, además de encargarse de establecer la conexión con el servidor web previamente configurado en una de las máquinas de FIEC. En el servidor web se alojará la base de datos MariaDB utilizada para el almacenamiento y manejo de los datos que son receptados en la Raspberry pi y que mediante el lenguaje de programación en Python se enviarán a través de la red de ESPOL y se alojarán en el servidor.

Adicionalmente, el sistema muestra un cliente que representa el software de optimización, donde se ha desarrollado un modelo matemático planteado en lenguaje de python y con ayuda de GUROBI, solucionador de optimización, logrando almacenar el modelo en tablas de base de datos alojadas en el servidor web y finalmente mostrando una interfaz amigable al usuario final, con gráficos, tablas y cuadros comparativos.

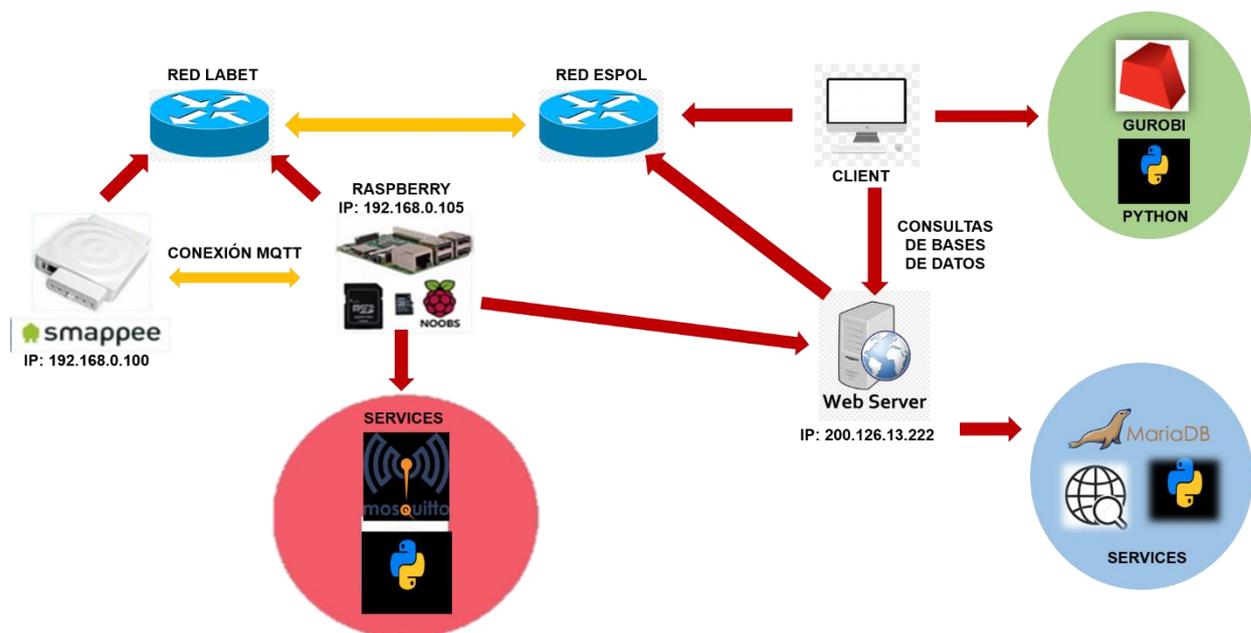


Figura 2.7. Arquitectura completa de la solución.

En secciones posteriores se mencionarán con detalle el manejo de datos y descripciones de las bases de datos involucradas en el sistema.

2.4. Manejo de datos

MariaDB

MariaDB corresponde a un sistema de gestión de base de datos que se deriva de MySQL, utilizada para la creación de bases de datos simples o complejas de manera simple. Sus características facilitan la compatibilidad con plataformas informáticas y cuenta con una variedad de aplicaciones que agilizan el acceso a las sentencias de la gestión de base de datos [26].

MariaDB es un software open source compatible con decenas de lenguajes y frameworks, que garantiza que aparezcan de manera más rápida parches, solventando problemas eventuales de seguridad. Además de que cuenta con una nueva gestión de conexiones con la base de datos, lo cual multiplica la cantidad de accesos de manera coincidente [27].

Django rest framework

Un REST API permite crear y conectar diferentes servicios obteniendo la información que se necesite a partir de diferentes fuentes, se considera como un estándar eficiente para la creación de servicios web. REST corresponde a un estilo de arquitectura de software empleado para explicar interfaces de diferentes sistemas que usen HTTP como forma de comunicación. Un REST API facilita distintos API endpoints, mismos que son accesibles cuando se desea obtener ciertos datos determinados [28].

Django REST Framework se caracteriza por contar con componentes adaptables y cambiables para el desarrollo de una aplicación, que permite un desarrollo sencillo de un REST API en Python [29]. Se considera como uno de los frameworks más conocidos y populares por ser muy rápido, bastante seguro, escalable y versátil.

2.4.1. Base de datos Hardware

La sección de hardware muestra los valores de potencia consumidos obtenidos por el equipo Smappee dentro del laboratorio donde se encuentra ubicado, al recibir la actualización de consumo por la conexión MQTT del sistema, los valores se registran cada segundo y por esto para facilitar la visualización y manejo de los valores de consumo al cliente final se crean dos bases de datos: manejo de datos por segundo y manejo de datos por hora.

Cuando el usuario requiera conocer los valores de consumo por cada segundo contará con la información solicitada, administrando la misma en franjas horarias dependiendo de cómo quiera visualizar los datos el cliente. Por el contrario, cuando quiera conocer valores de consumo en franjas establecidas por hora lo podrá visualizar por la base de datos hora. A continuación, se detalla el manejo de las bases de datos y el código en Python utilizado para el registro de datos.

Base de datos segundo

Base de datos que recibe las mediciones realizadas por Smappee en segundos por la lectura de mensajes MQTT, una vez se recibe el mensaje tal como se muestra en la Figura 2.8 adjunta, se almacena la información útil para el monitoreo de consumo eléctrico; en este caso registrando valores de potencia total, potencia reactiva, potencia Línea 1, potencia línea 2 y tiempo del registro.

```
29 def on_message(client, userdata, message):
30     mensaje = str(message.payload.decode("utf-8"))
31     trama = json.loads(mensaje)
32     pot_total = trama["totalPower"]
33     pot_react = trama["totalReactivePower"]
34     pot_L1 = trama["channelPowers"][0]["power"]
35     pot_L2 = trama["channelPowers"][1]["power"]
36     TS = trama["utcTimeStamp"] / 1000.0
37     fecha = datetime.fromtimestamp(TS)
```

Figura 2.8. Código perteneciente al script de Base de datos por segundo.

Base de datos hora

Base de datos que recibe los valores de consumo por segundo y con ayuda del lenguaje de programación de Python almacena los valores en rangos de hora para que sean mostrados al usuario final.

En relación al código utilizado se establece un condicional indicando en primer lugar el id como 1 y de dónde se toma la fecha de registro de la lectura y se aplica un formato de año, mes, día y hora; para posteriormente determinar el rango horario de 1 hora asignado a la variable *fecha_despues*.

En caso de que ya se encuentre un id asignado a la tabla de valores por hora como se muestra en Figura 2.9 se agregan los nuevos id y valores; se analiza la base de datos por hora, se toma la fecha de registro y se suma una hora adicional para que la variable de *fecha_despues* se encuentre en el mismo rango de franja horaria determinado.

```
65 if valor[0] == 0:
66     try:
67         cur2.execute("SELECT * FROM webpage_valores_por_segundo where id = 1")
68     except mariadb.Error as e:
69         print(f"Error: {e}")
70     for i, potT, potL1, potL2, potReac, TS, TSS in cur2:
71         fecha = TS
72         fecha_antes = datetime(fecha.year, fecha.month, fecha.day, fecha.hour)
73         fecha_despues = fecha_antes + horaAumneto
74     conn2.close()
75 else:
76     try:
77         cur2.execute("SELECT * FROM webpage_valores_por_hora")
78     except mariadb.Error as e:
79         print(f"Error: {e}")
80     for i, potT, potL1, potL2, potReac, TS in cur2:
81         fecha = TS
82         fecha_antes = datetime(fecha.year, fecha.month, fecha.day, fecha.hour) + horaAumneto
83         fecha_despues = fecha_antes + horaAumneto
84     conn2.close()
```

Figura 2.9. Código correspondiente al script de base de datos por hora.

El código mostrado de la Figura 2.10 describe la obtención de todos los últimos valores almacenados con sus identificadores respectivos y realiza la conexión con la base de datos.

```

86 while True:
87     try:
88         conn3 = mariadb.connect(
89             user="admin",
90             password="admin123456",
91             host="200.126.13.222",
92             port=3306,
93             database="proyecto"
94         )
95     except mariadb.Error as e:
96         sys.exit(1)
97     cur3 = conn3.cursor()
98     try:
99         cur3.execute("SELECT * FROM webpage_valores_por_segundo")
100    except mariadb.Error as e:
101        print(f"Error: {e}")

```

Figura 2.10. Código correspondiente al script de base de datos por hora.

Finalmente, para el script de base de datos por hora se establece el código mostrado en la Figura 2.11, que muestra cómo se van añadiendo los datos con sus respectivos resultados del promedio de potencias obtenido por el cálculo realizado por hora del consumo.

El resultado del promedio de potencias se obtiene de la suma de las potencias o valores obtenidos por segundo, dividido para la cantidad de valores o longitud de la cadena; esos valores se añaden a la base de datos para que sean mostrados al usuario.

```

104 for i,potT,potL1, potL2, potReac, fechaBase, fechaSMAPEE in cur3:
105     if (fechaBase >= fecha_antes) and (fechaBase < fecha_despues) and (i not in id):
106         id.append(i)
107         potenciaTotal.append(potT)
108         potencial1.append(potL1)
109         potencial2.append(potL2)
110         potenciaReactiva.append(potReac)
111     elif (fechaBase >= fecha_despues) and (i not in id):
112         promPT = sum(potenciaTotal)/len(potenciaTotal)
113         promPL1 = sum(potencial1)/len(potencial1)
114         promPL2 = sum(potencial2)/len(potencial2)
115         promPR = sum(potenciaReactiva)/len(potenciaReactiva)
116     try:
117         cur_insert.execute("INSERT INTO webpage_valores_por_hora (potencia_Total,potencia_L1,potencia_L2,potencia_Reactiva, fecha) "
118             "VALUES (%(pt)s, %(pl1)s, %(pl2)s, %(pr)s, %(fecha)s)",
119             {'pt': promPT, 'pl1': promPL1, 'pl2': promPL2, 'pr': promPR, 'fecha': fecha_antes})
120     except mariadb.Error as e:
121         conn_insert.close()
122         sys.exit(1)

```

Figura 2.11. Código correspondiente al script de base de datos por hora.

2.4.2. Base de datos Software

En la sección de software se realiza el desarrollo del modelo propuesto con la finalidad de conocer que equipos y en qué tiempo los mismos se encuentran activos en una residencia, para finalmente retroalimentar el comportamiento y uso de cada equipo fomentando el ahorro energético.

Una vez que el modelo matemático se encuentra establecido basado en el monitoreo no intrusivo de cargas eléctricas y con la respectiva asignación de cargas individuales de los dispositivos, se procede a realizar la implementación de software para la resolución del modelo; para este proceso se usó Python como lenguaje de programación, así como el solver Gurobi. Con ayuda del lenguaje de python se establece una conexión entre el software de optimización y el servidor web donde se aloja la base de datos y esta base de datos será la que se encargue de almacenar el conjunto de estados o diferentes potencias que consuma cada electrodoméstico con ayuda del modelo implementado.

Al conectar el software con el servidor web y a su vez la base de datos, para ejecutar el modelo es necesario que el usuario ingrese la cantidad de electrodomésticos por cada tipo que se encuentren presentes en el hogar. En la Figura 2.12 se puede observar que por cada electrodoméstico se ingresa una cantidad dependiendo de los equipos que tenga el usuario en su residencia, esos datos se almacenan en la base de datos para que trabajen en conjunto con el modelo.



id_dispositivos	Refrigerador	Ventilador	Olla	Tv	Pc	Iluminacion	Lavadora	SecadoraDeCabello	Licuadora	AC	Bomba	Tostadora	Microondas
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Figura 2.12. Base de datos de ingreso de dispositivos.

El modelo matemático a su vez cuenta con un análisis de costo por consumo de cada equipo, es por ello que al ingreso de la cantidad de equipos presentes en el hogar y mediante el monitoreo de consumo por cada uno de ellos se determina el costo en dólares de lo que consumió cada electrodoméstico dependiendo del tiempo de uso del

mismo. En el caso de la Figura 2.13 mostrada el valor de consumo por cada uno de los electrodomésticos durante el último día de registro, considerando que el valor depende de la cantidad de equipos que se presenta en el hogar y el tiempo de actividad de los mismos.

The screenshot shows a database query result for the table 'webpage_consumo_por_mes'. The table has 14 columns representing different types of devices and their consumption values. The data is as follows:

id_dispositivos	Refrigerador	Ventilador	Olla	Tv	Pc	Iluminacion	Lavadora	SecadoraDeCabello	Licuadora	AC	Bomba	Tostadora	Microondas
1	2.91	4.94	2.86	3.54	5.09	12.98	6.62	3.93	3.99	10.15	4.07	3.24	3.15

Figura 2.13. Base de datos del consumo por mes de cada dispositivo.

Se mantiene un registro en la base de datos de los valores de consumo por cada equipo mostrados en lapsos de 6 minutos, los registros se presentan finalmente de forma amigable al cliente en la interfaz web para que el usuario final pueda visualizar en franjas de tiempo el consumo de cada dispositivo. El modelo planteado muestra un detalle de los valores de potencia que registra el equipo dependiendo del uso del mismo, valores que se observan en la Figura 2.14 en detalle.

The screenshot shows a database query result for the table 'webpage_salida_datos'. The table displays power output values for 19 different device instances across 14 categories. The data is as follows:

id_dispositivos	Refrigerador	Ventilador	Olla	Tv	Pc	Iluminacion	Lavadora	SecadoraDeCabello	Licuadora	AC	Bomba	Tostadora	Microondas
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	3.30	7.50	44.50	7.40	17.80	105.00	28.60	34.00	15.00	34.20	11.00	40.00	12.00
3	3.30	0.00	44.50	5.50	0.00	7.00	0.00	0.00	15.00	34.20	11.00	0.00	0.00
4	3.30	7.50	0.00	5.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	34.20	0.00	0.00	0.00
5	3.30	7.50	0.00	5.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	34.20	0.00	0.00	0.00
6	3.30	7.50	0.00	5.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	34.20	0.00	0.00	0.00
7	3.30	7.50	0.00	5.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	34.20	0.00	0.00	0.00
8	3.30	7.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	34.20	0.00	0.00	0.00
9	3.30	7.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	34.20	0.00	0.00	0.00
10	3.30	7.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	34.20	0.00	0.00	0.00
11	3.30	7.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	34.20	0.00	0.00	0.00
12	3.30	7.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	34.20	0.00	0.00	0.00
13	3.30	0.00	44.50	5.50	0.00	7.00	0.00	0.00	15.00	34.20	11.00	0.00	0.00
14	3.30	7.50	0.00	5.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	34.20	0.00	0.00	0.00
15	3.30	7.50	0.00	5.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	34.20	0.00	0.00	0.00
16	3.30	7.50	0.00	5.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	34.20	0.00	0.00	0.00
17	3.30	7.50	0.00	5.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	34.20	0.00	0.00	0.00
18	3.30	7.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	34.20	0.00	0.00	0.00
19	3.30	7.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	34.20	0.00	0.00	0.00

Figura 2.14. Base de datos de la salida del modelo matemático.

2.4.3. Servicio Web

Django Web

Django Web es un framework opensource escrito en Python, que cuenta con componentes seguros, útiles y además presenta una interfaz para acceso a la base de datos. Django cumple con el patrón de diseño conocido como Modelo-vista-controlador (MVC) y se basa principalmente en el re-uso, conectividad y extensibilidad de componentes [30].

HTML

HTML, Lenguaje de marcado de hipertexto, es un lenguaje utilizado para generar y desplegar una página web y contenidos en la misma, definiendo la estructura que llevará el contenido y haciendo que cada parte del mismo se comporte de una manera determinada [31]. Lenguaje simple y general usado para determinar otros lenguajes que tienen relación con el formato de los documentos.

JavaScript

JavaScript en HTML utilizado para mejorar la experiencia del usuario agregando dinamismo al sitio web que se plantea mostrar. Los lenguajes de script y JavaScript son quienes facilitan a los desarrolladores crear sitios web que permitan una interacción entre el usuario y el sitio web. Entre sus características se menciona que cuenta con interfaces completas y sencillas de utilizar, no cuenta con una completa interacción con el servidor [32].

La integración de estos lenguajes de programación como HTML, JavaScript y CSS, usado para manejar la presentación, formato y diseño de la aplicación creando una forma al estilo que se desea mostrar [33]; dan como resultado una interfaz web amigable y agradable a la vista del usuario. El código HTML se encarga de determinar la estructura de la página web, se agrega estilo y mejora de la apariencia con ayuda de CSS y finalmente, JavaScript se encarga de otorgar la funcionalidad y actividad a la página [34]. En el próximo capítulo se mostrará el resultado de la interfaz web y lo que visualizará el usuario final en la misma, con gráficas, tablas, descripciones y detalles del sistema de telemetría implementado.

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Para el presente capítulo, se ha realizado un análisis detallado de la capacidad de almacenamiento, comunicación de datos, rendimiento del sistema y costos de implementación; además de la interfaz que visualizará el usuario final. Mostrando un detalle de las ventajas que tiene la implementación del sistema de telemetría en un hogar o empresa y el costo por su accionamiento a futuro.

3.1. Análisis de almacenamiento en la base de datos

El tamaño de la base de datos depende de su aplicación, así como el número de usuarios y de elementos. Como estamos implementando un sistema en el cual se realiza un almacenamiento de datos por cada segundo, a continuación, se muestra una métrica de rendimiento basada en el consumo de memoria que ocupan los datos almacenados, valores de consumo que la misma base de datos nos otorga al momento de ingresar los registros en ella es por ello que planteamos almacenamientos a largo plazo hasta un máximo de 1 año considerando el detalle de en MB por cada registro en la base de datos. Mostramos un almacenamiento de datos en tablas por segundos, por cada 5 minutos y por horas, en donde según las tablas que se muestran más adelante, cada periodo abarca una cantidad de horas y a su vez una cierta cantidad de registros ya determinados.

La tabla 3.1 proyecta los resultados de muestras por segundo de cada uno de los datos que se van almacenando del monitoreo realizado, se presentan diferentes periodos de tiempo ya que se plantea un escenario a futuro para su implementación, por ende, es necesario conocer la cantidad de almacenamiento que se va a utilizar en caso de requerir un almacenamiento de datos por un año. Como es el caso mostrado, donde para 1 año con un total de 8760 horas y 31536000 muestras tomadas por segundo, se necesitará 1 GB (Gigabytes) de almacenamiento.

Tabla 3.1. Consumo de almacenamiento en muestras por segundo.

ALMACENAMIENTO EN MUESTRAS POR SEGUNDO			
<i>tiempo</i>	<i>horas</i>	<i>numero de registros</i>	<i>MB</i>
1 hora	1	3600	0,1842
1 dia	24	86400	4,4197
30 dias	720	2592000	132,5917
6 meses	4380	15768000	806,5995
1 año	8760	31536000	1613,1989

En secciones posteriores se analizará costos referentes a la cantidad de almacenamiento, sin embargo, la cantidad de 1 GB no resulta un costo elevado en el mercado aclarando que el escenario donde se plantea el uso de muestras por segundo va encaminado principalmente a empresas que necesitan conocer un detalle específico de las mediciones realizadas, por el contrario, para una residencia o pequeño negocio se recomendaría un almacenamiento en muestras como las que se presentan a continuación.

Tabla 3.2. Consumo de almacenamiento en muestras por cada 5 minutos.

ALMACENAMIENTO EN MUESTRAS POR CADA 5 MINUTOS			
<i>tiempo</i>	<i>horas</i>	<i>numero de registros</i>	<i>MB</i>
1 hora	1	12	0,0007
1 dia	24	288	0,0157
30 dias	720	8640	0,4702
6 meses	4380	52560	2,8606
1 año	8760	105120	5,7213

Tabla 3.3. Consumo de almacenamiento en muestras por hora.

ALMACENAMIENTO EN MUESTRAS POR HORA			
<i>tiempo</i>	<i>horas</i>	<i>numero de registros</i>	<i>MB</i>
1 hora	1	1	0,0001
1 dia	24	24	0,0029
30 dias	720	720	0,0855
6 meses	4380	4380	0,5204
1 año	8760	8760	1,0408

Las tablas 3.2 y 3.3 muestran la capacidad de memoria en muestras por cada 5 minutos y por hora en periodos de tiempo determinados. Donde claramente se puede notar que resulta un menor almacenamiento al hacer uso de las muestras por hora ya que analizando de manera anual se consume 1 MB de capacidad por las 8760 muestras en 1 año; por otra parte, el almacenamiento en muestras por cada 5 minutos anualmente consumo 5 MB por 105120 muestras.

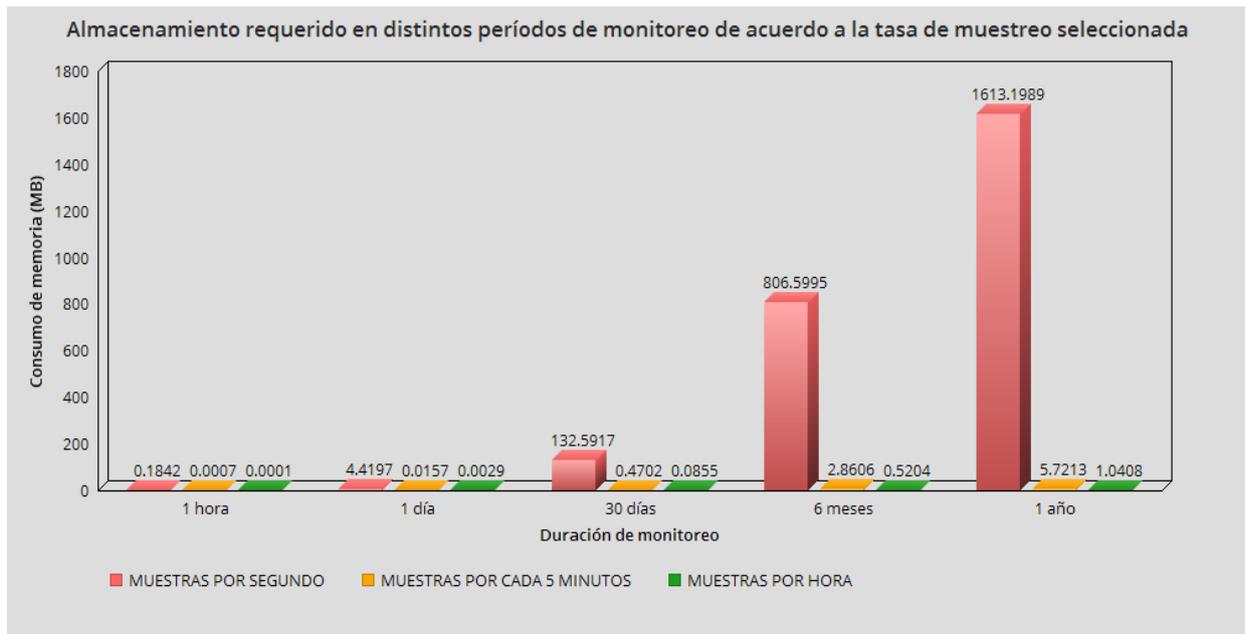


Figura 3.1. Gráfica de consumo de memoria de la base de datos por períodos de tiempo.

Al obtener la cantidad de consumo en memoria (MB) por cada número de registros almacenados en las tablas de base de datos, se obtuvieron los valores mostrados en la figura anterior donde se visualiza la comparación entre las diferentes muestras recibidas y sus respectivos valores de consumo en memoria dependiendo del tiempo establecido; es notable observar la comparativa existente entre un resultado de consumo en memoria con respecto a las muestras de almacenamiento por segundo dado que cuenta con un total de 31536000 registros, en referencia a los resultados de muestras por cada 5 minutos (105120 registros) o por hora (8760 registros). Concluyendo que existe un mayor consumo en memoria cuando la muestra de datos es por segundo y analizando el tiempo en un periodo de 12 meses.

Las Imágenes 3.2, 3.3 y 3.4 muestran un mejor detalle en base a cada tabla de almacenamiento con sus respectivas cantidades de registros, determinando su consumo en memoria respectivo.

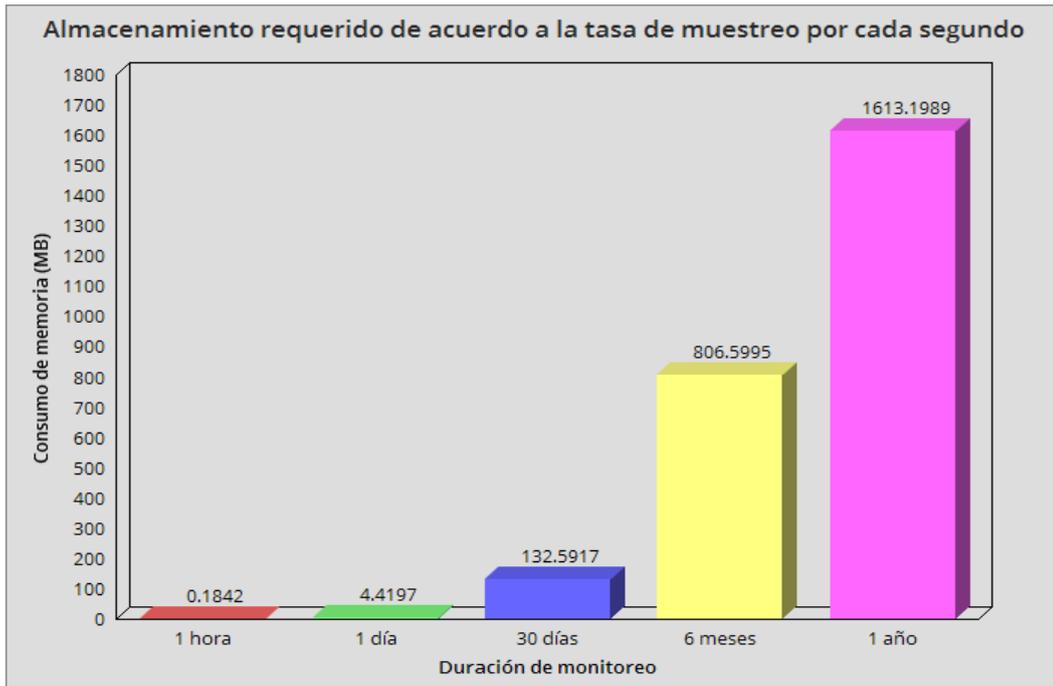


Figura 3.2. Gráfica de métrica de consumo de memoria con muestras por segundo.

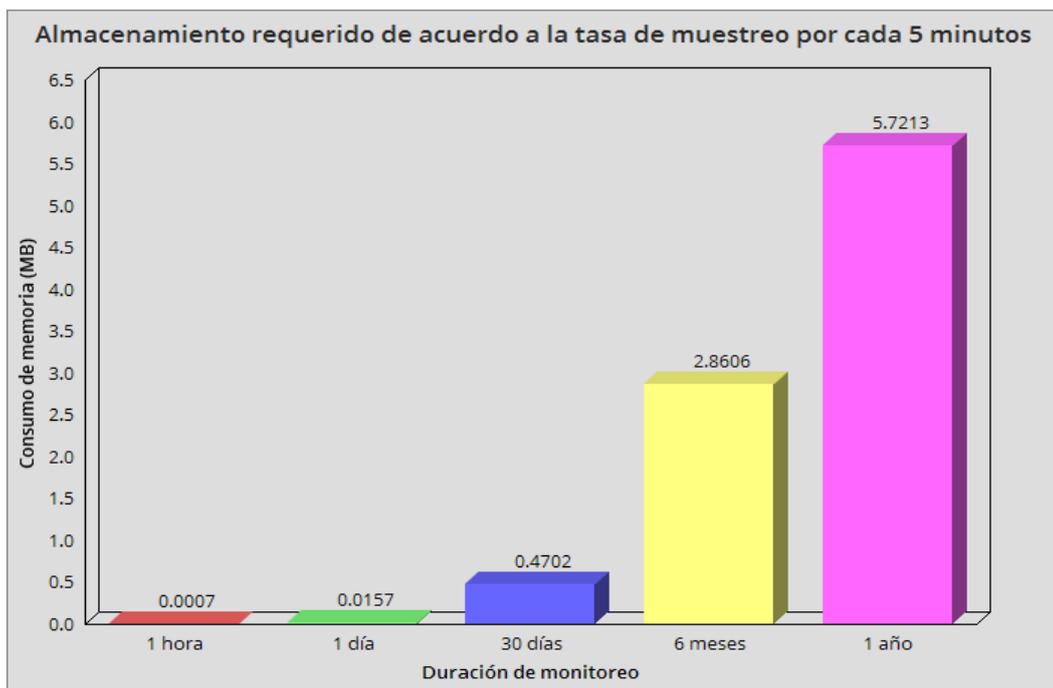


Figura 3.3. Gráfica de métrica de consumo de memoria con muestras por cada 5 minutos.

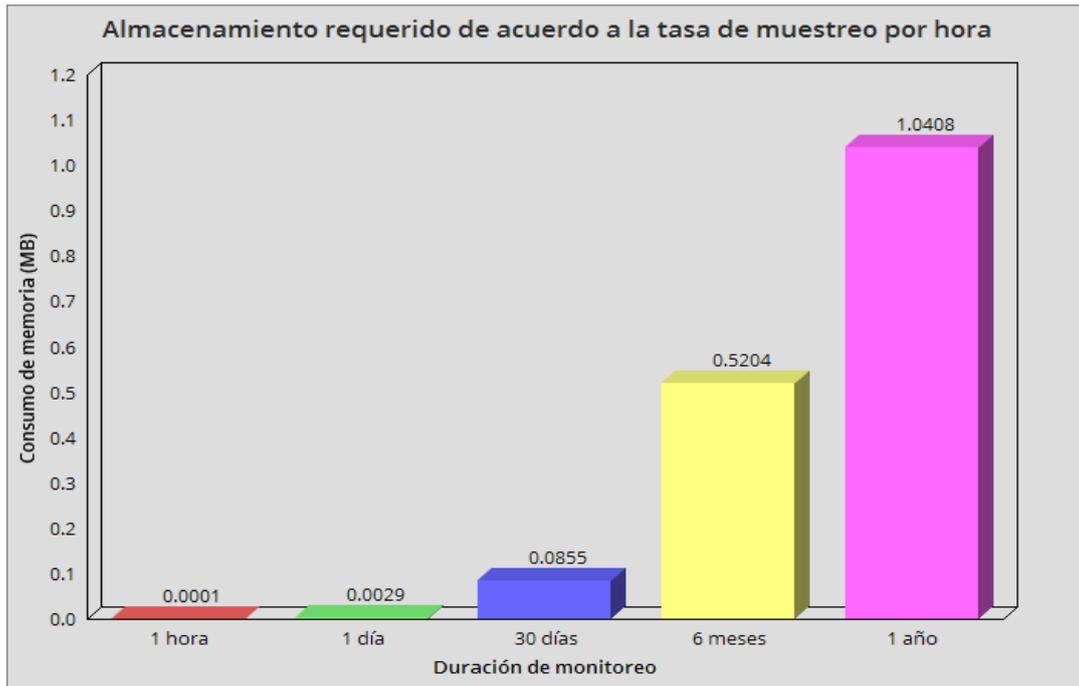


Figura 3.4. Gráfica de métrica de consumo de memoria con muestras por hora.

3.2. Análisis de comunicación de datos sensor-colector

La sección de hardware se compone por la conexión MQTT con el sensor comercial, Smappee PRO, la obtención de las mediciones de consumo y el registro y almacenamiento de dichos datos en una base de datos alojada en un servidor web.

MQTT al ser un protocolo de comunicación de máquina a máquina, presenta su tipo de conexión de manera abierta hasta que el cliente la finalice. Sin embargo, la conexión en este escenario se mantiene abierta con su servicio de mensajería push, con patrón pub/sub donde se publican los mensajes. Estos mensajes se alojan en el bróker/servidor ubicado en la Raspberry y se distribuye a la base de datos, donde finalmente se almacenan y se muestran en tablas al usuario final.

Al analizar como métrica de rendimiento el retraso de la comunicación entre el sensor de monitoreo Smappee con la Raspberry, se notó claramente no presentar retraso alguno o pérdida de paquetes, ya que la conexión era inmediata y los datos obtenidos que se reflejaban en Smappee inmediatamente aparecían en la base de datos; añadiendo como observación que la Raspberry se encuentra ubicada en el mismo sitio que el sensor

comercial Smappee, ambos conectados a la misma red wifi del laboratorio situado en ESPOL.

Con respecto a la comunicación entre el sensor y la Raspberry no se validan inconvenientes en la recepción de los datos de manera continua. Sin embargo, se presentaba una particularidad en cuanto a la conexión de la raspberry, dónde el equipo dejaba de enviar la información recibida a la base de datos, ya que ocurría una desconexión de la misma en un horario indeterminado, cada 24 horas aproximadamente. Se plantea como posibles causas de desconexión: la red de internet del laboratorio donde se sitúa la Raspberry, a pesar de estar conectado mediante cable ethernet al enrutador principal que otorga internet y además se considera que el script utilizado para la conexión MQTT con el sensor presente ciertos fallos que ocasionen la pérdida de conexión del equipo.

	id	potencia_Total	potencia_L1	potencia_L2	potencia_Reactiva	fecha
<input type="checkbox"/>		727	345	382	618	2020-12-15 08:40:00
<input type="checkbox"/>		704	334	371	604	2020-12-15 08:45:00
<input type="checkbox"/>	3953	731	347	384	623	2020-12-15 08:50:00
<input type="checkbox"/>	3954	778	370	407	650	2020-12-15 08:55:00
<input type="checkbox"/>	3955	742	353	389	624	2020-12-15 09:00:00
<input type="checkbox"/>	3956	708	336	372	607	2020-12-15 09:05:00
<input type="checkbox"/>	3957	727	345	382	618	2020-12-15 09:10:00
<input type="checkbox"/>	3958	775	369	406	647	2020-12-15 09:15:00
<input type="checkbox"/>	3959	747	355	392	629	2020-12-15 09:20:00
<input type="checkbox"/>	3960	706	335	371	605	2020-12-15 09:25:00
<input type="checkbox"/>	3961	721	342	379	612	2020-12-15 09:30:00
<input type="checkbox"/>	3962	785	374	411	648	2020-12-15 09:35:00
<input type="checkbox"/>	3963	774	369	405	645	2020-12-15 09:40:00
<input type="checkbox"/>	3964	712	338	374	612	2020-12-15 09:45:00
<input type="checkbox"/>	3965	723	343	380	616	2020-12-15 09:50:00
<input type="checkbox"/>	3966	781	372	409	648	2020-12-15 09:55:00
<input type="checkbox"/>	3967	778	371	407	646	2020-12-15 10:00:00
<input type="checkbox"/>	3968	712	338	374	611	2020-12-15 10:05:00
<input type="checkbox"/>	3969	726	345	381	617	2020-12-15 10:10:00
<input type="checkbox"/>	3970	792	378	414	657	2020-12-15 10:15:00
<input type="checkbox"/>	3971	712	338	374	611	2020-12-15 10:20:00
<input type="checkbox"/>	3972	726	345	381	617	2020-12-15 10:25:00
<input type="checkbox"/>	3973	792	378	414	657	2020-12-15 10:30:00
<input type="checkbox"/>	3974	644	304	340	575	2020-12-15 10:35:00
<input type="checkbox"/>	3975	0	0	0	0	2020-12-15 10:40:00

Figura 3.5 Gráfica de la base de datos que refleja pérdida de comunicación entre sensor y la raspberry.

Al acudir al laboratorio para la revisión de la raspberry, con un RESET el mismo funciona de manera correcta, sin embargo, se presenta la desconexión y pérdida de datos en un tiempo determinado donde el equipo se mantiene activo en periodo de tiempo fijo.

3.3. Análisis del rendimiento del software de optimización

La sección de software está compuesta por el sistema de optimización propuesto por la carrera de Logística donde se muestran finalmente los resultados obtenidos por el modelo matemático planteado, el cual cuenta con un análisis a fondo de ventanas de tiempo correspondientes, parámetros establecidos y métricas, dando como resultado el sistema que ha sido añadido al proyecto de telemetría planteado. Este modelo de optimización muestra el diseño en una curva de demanda representativa del consumidor residencial, gracias al análisis y comprensión del comportamiento y similitudes de uso de los dispositivos eléctricos en el hogar. Y finalmente, cuyo propósito es proponer un modelo de eficiencia energética residencial.

El modelo matemático utiliza un lenguaje de programación en Python, los datos que Python receipta son datos almacenados en tablas de Excel con la información de los parámetros analizados, estas tablas se leerán a través de Pandas que es una biblioteca de software escrita como extensión de NumPy para manipulación y análisis de datos en el lenguaje de programación Python [35]. Los datos se importan y almacenan en variables que posteriormente se analizan con el solver de Gurobi que devuelve los resultados ayudando a minimizar la función objetivo.

El proceso anteriormente detallado se enfoca en el software de optimización, sin embargo es el usuario final quien va a hacer uso del mismo; es por ello que en la interfaz web que visualiza el usuario y que se mostrará en una sección posterior, se solicita al mismo el ingreso de los equipos con los que cuenta en su hogar en un formulario web, para que dichos datos se almacenen en la base de datos que se conecta con el software de optimización y finalmente se muestre el modelo matemático propuesto. El tiempo de ejecución en segundos será una métrica de rendimiento, el cual iniciar desde el momento que el usuario pulsa el botón de enviar hasta que se cargue por completo la información con los detalles de consumo de cada dispositivo

Tabla 3.4. Tiempo de ejecución del modelo matemático.

Número de electrodomésticos por cada tipo	Tiempo de ejecución (Segundos)
1	29,42559576 segundos
2	38,50802732 segundos
3	232,1351204 segundos
4	44,31118774 segundos
5	44,79471421 segundos

En base a la tabla 3.4 mostrada, se analiza el número de datos que ingresa el usuario en el formulario que se encuentra en la página web, número de datos por cada uno de los electrodomésticos establecidos. Una vez ingresados los datos se ejecuta el script del software en el tiempo de ejecución expuesto en la tabla dependiendo de la cantidad de datos ingresados, tiempo que demora en ejecutarse el modelo. Finalmente, mostrando el modelo matemático con el detalle de consumo por cada electrodoméstico en horarios respectivos y consumo por hora de cada equipo.

3.4. Evaluación de costos

Analizando el mercado, existe variedades de sensores comerciales para medición de consumo eléctrico que cuentan con conexión MQTT, Smappee es uno de estos sensores, equipo que fue utilizado en el capítulo 2 para el proceso de obtención de datos de consumo.

Smappee Pro tiene un costo en el mercado de alrededor de \$640 por el hardware necesario para su implementación, considerando la necesidad de añadir alrededor de \$330 por costo de suscripción con duración de 12 meses para el acceso y la visualización de los datos desde el portal web, con dicho acceso se ingresa a la nube de Smappee que se encarga del almacenamiento de los datos y la muestra en detalle de los mismos [36].

Shelly EM es también un sensor comercial que se encarga del monitoreo de consumo eléctrico realizando mediciones por medio de una pinza amperimétrica, devolviendo resultados en formato JSON sin tantos detalles y netamente información sobre potencia,

voltaje, potencia reactiva y demás; el costo del equipo incluyendo las pinzas es de \$40. Shelly EM resulta muy conveniente para el monitoreo del consumo ya que a diferencia de otros medidores no necesitan pagar alguna licencia adicional o la descarga de alguna app de su propiedad, con Shelly todo es abierto ya que publica los consumos vía MQTT o también cuenta con una API a la cual se accede a los datos publicados vía HTTP [37].

Sin embargo, en base a lo mencionado anteriormente depende del usuario final definir el sensor comercial a utilizar, considerando que cuente con conexión MQTT para el correcto funcionamiento del sistema de telemetría propuesto.

En cuanto al costo del prototipo, se plantea el uso de un servidor en la nube para futuras implementaciones, donde se mencionan como características para la determinación de su costo: el número de cores del CPU en el cuál según el planteamiento y análisis de datos administrados se establecen 2 cores, determinando 4 GB de memoria y 100 GB de almacenamiento con una renta mensual de un Firewall Base ya que al tratarse de información importante de un cliente final la misma debe contar con seguridad de los datos ingresados. Con un total de \$242 por costo de contratación de un Servidor en la nube. Adicionalmente, por costo de mano de obra y uso del equipo Raspberry Pi para la obtención de datos mediante conexión MQTT, se plantea un total de \$550 considerando como costo adicional el mantenimiento mensual que se quiera dar al sistema según lo requiera el cliente final.

Por ejemplo, consideremos una residencia a la cuál se desea realizar un monitoreo del consumo eléctrico, para el monitoreo es necesario colocar el sensor en la cable de fase del panel eléctrico, por tanto el uso de un sensor comercial es suficiente para una residencia. Si hablamos de una residencia los costos de implementación del sistema de telemetría dependen de los siguientes factores: costo del equipo, licencias en caso de que el sensor necesite para su uso, costos de hardware que abarca la raspberry utilizada en el sistema y en el caso del sensor ShellyEM que depende del usuario el uso de pinzas adicionales para la conexión del equipo con el panel eléctrico; y otros, que incluye mano de obra y mantenimiento del servicio. Los costos se muestran en la siguiente tabla adjunta.

Tabla 3.5. Valores de costos para implementación en residencia.

Nombre de Sensor	Costo/Sensor	Licencia del sensor	Hardware	Otros	Total
Smappee	\$285	NA	\$15	\$250	\$550
Smappee PRO	\$640	\$330	\$15	\$250	\$1235
ShellyEM	\$40	NA	\$25	\$250	\$315

La diferencia que existe entre la tabla mostrada de costos en una residencia con el costo de implementación en una empresa es muy distinta, ya que para una empresa se considera cantidad de sensores a utilizar dependiendo del tamaño de la misma, hardware que depende del uso de sensores utilizados en la implementación, así como también el servicio en la nube para el manejo y almacenamiento del monitoreo obtenido.

3.5. Interfaz gráfica

La interfaz gráfica que el usuario final visualiza fue desarrollada con un lenguaje HTML, JavaScript y CSS, lo que permite un diseño de una aplicación más innovadora y con varias herramientas que facilitan la visualización de sus datos.

En la interfaz web se muestra el Sistema de Telemetría propuesto tanto de la sección de hardware como de software, presentando gráficas y tablas de datos con sus respectivas descripciones y leyendas que detallan la funcionalidad del proyecto. Para su acceso la conexión es mediante una conexión VPN a la universidad de ESPOL, una vez conectado se tiene acceso a la página web mediante la IP <http://200.126.13.222:8000/> con su respectivo puerto aperturado.

Una vez ingresada la dirección IP al navegador el usuario observará la página de inicio de la página web de nuestro sistema, además poseerá las siguientes opciones para visualizar el consumo de potencia capturado por el sensor en tablas de datos minutos y tabla de datos horas. Finalmente, en consumo eléctrico residencial se encuentra el formulario de dispositivos para obtener una información más detallada de consumo de sus equipos.

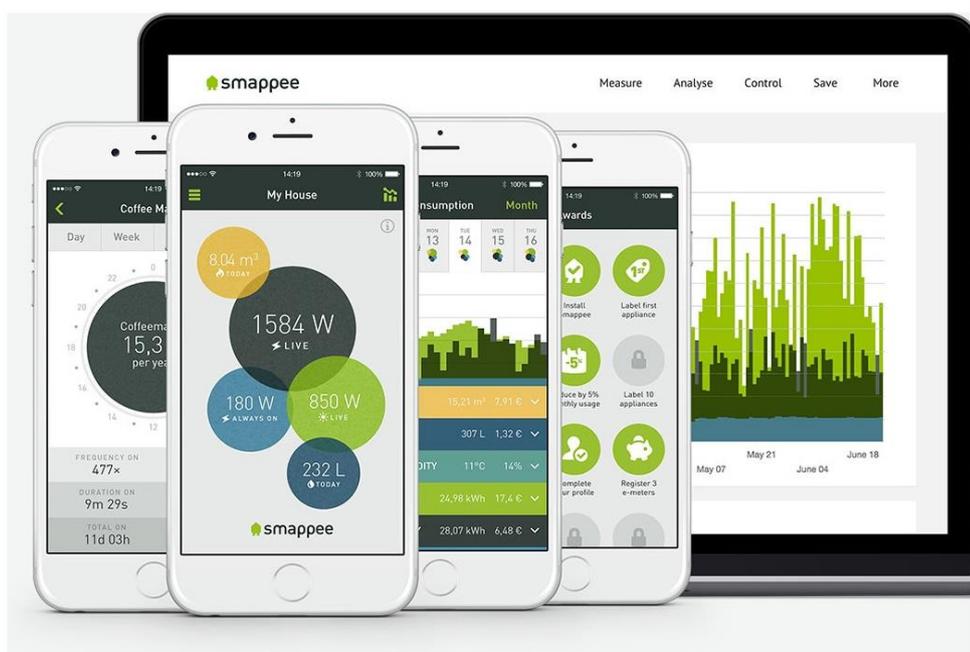
3.5.1. Página de Inicio

A continuación en la Figura 3.6 se presenta la página de inicio, donde se muestra el sensor comercial con el que se trabajó para el monitoreo del consumo eléctrico analizado en la sección de hardware, de donde se obtuvieron los datos para su posterior almacenamiento y manejo.



Figura 3.6. Página de inicio donde se muestra el sensor comercial.

La Figura 3.7 muestra una breve descripción del sistema y un resumen de las gráficas que el usuario va a visualizar, detallando cuáles fueron los valores de potencia analizados que se obtuvieron en la medición realizada por el sensor de monitoreo Smappee.



Descripción del sistema

La Escuela Superior Politécnica del Litoral cuenta con un laboratorio encargado de realizar ensayos de conductividad térmica llamado LABET. En dicho laboratorio se encuentra ubicado el dispositivo de medición encargado del monitoreo del consumo eléctrico, SMAPPEE. De dicho equipo se obtienen las mediciones en tiempo real de cargas eléctricas consumidas dentro del laboratorio en franjas de horario determinadas.

Detalle de gráficas mostradas

A continuación, se muestra el sistema de telemetría propuesto encargado de proyectar al usuario final un monitoreo del consumo eléctrico en franjas horarias específicas determinando valores de potencia consumidos:

- potencia total
- potencia reactiva
- potencia circuito 1
- potencia circuito 2

Consumo del día anterior como lo muestra la gráfica inferior o el último registro de consumo en potencias de la última hora registrada, como lo muestra los cuadros posteriores.

Figura 3.7. Página de inicio donde se muestra la descripción del sistema.

Para finalizar la página de inicio, la Figura 3.8 muestra en una gráfica los valores de potencia consumida las 24 horas del día anterior en intervalos de horas establecidas y un cuadro que muestra los valores de potencia consumida en la última hora que se obtuvo de registro.

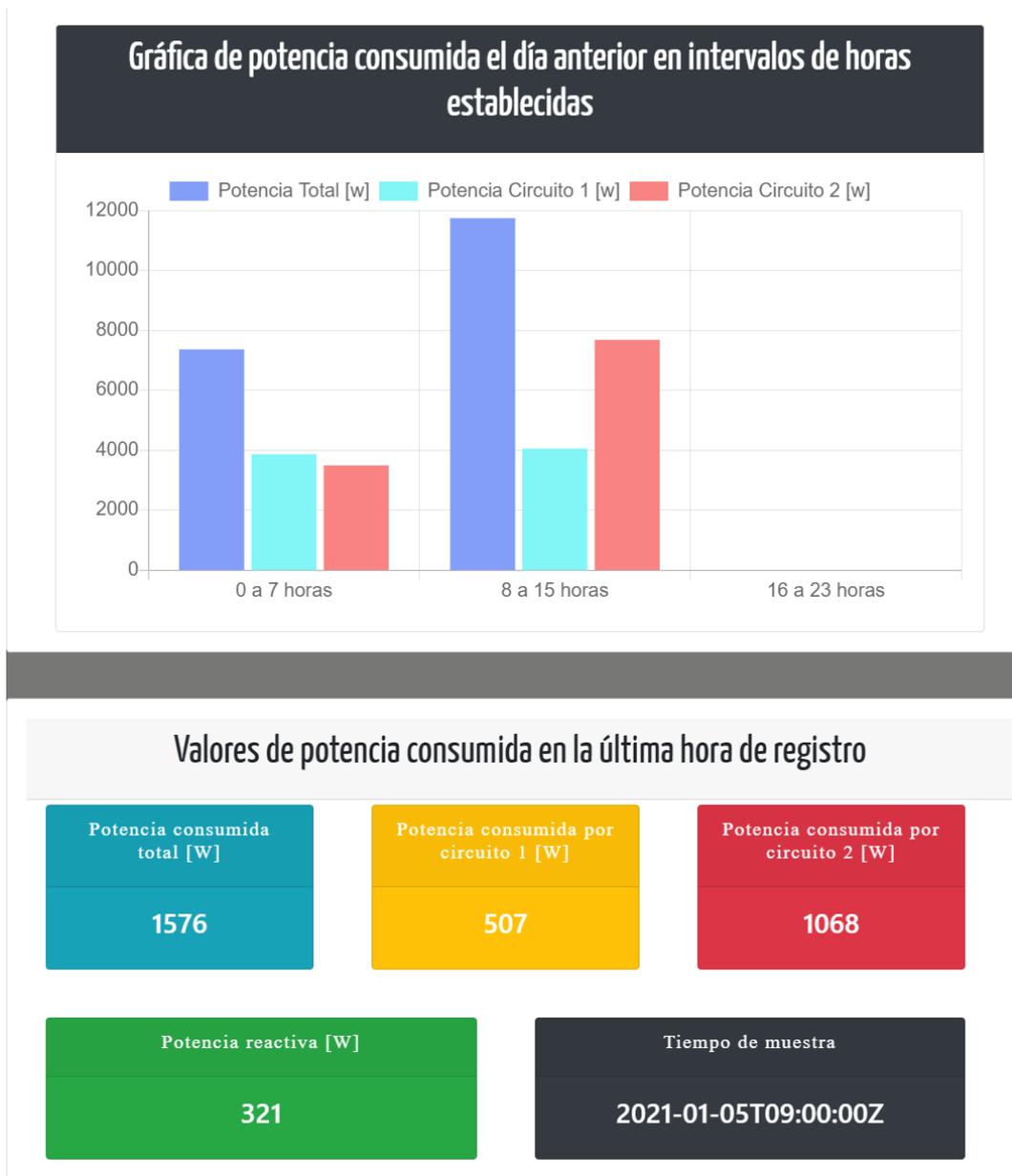


Figura 3.8. Gráfica de potencia consumida el día anterior y ultimo valor registrado.

3.5.2. Interfaz de análisis de datos por cada 5 minutos

En la sección de Tabla de Datos Minuto, aparece una búsqueda de datos por rango de 5 minutos, donde el usuario selecciona una fecha y hora de inicio y fin respectivamente, estableciendo una franja horaria que finalmente permitirá visualizar los valores de potencia consumidos en dicho rango de tiempo considerando que las mediciones son tomadas cada 5 minutos; y los datos que se muestren en la gráfica permitirán observar diferenciados por colores los valores de potencia Total, potencia Circuito 1 y potencia Circuito 2.

Así como también, la sección permite la visualización del gráfico con todos los datos capturados hasta la actualidad, sin determinar desde el inicio un rango de tiempo por parte del usuario, gráfico que se muestra a continuación en la Figura 3.9 adjunta.

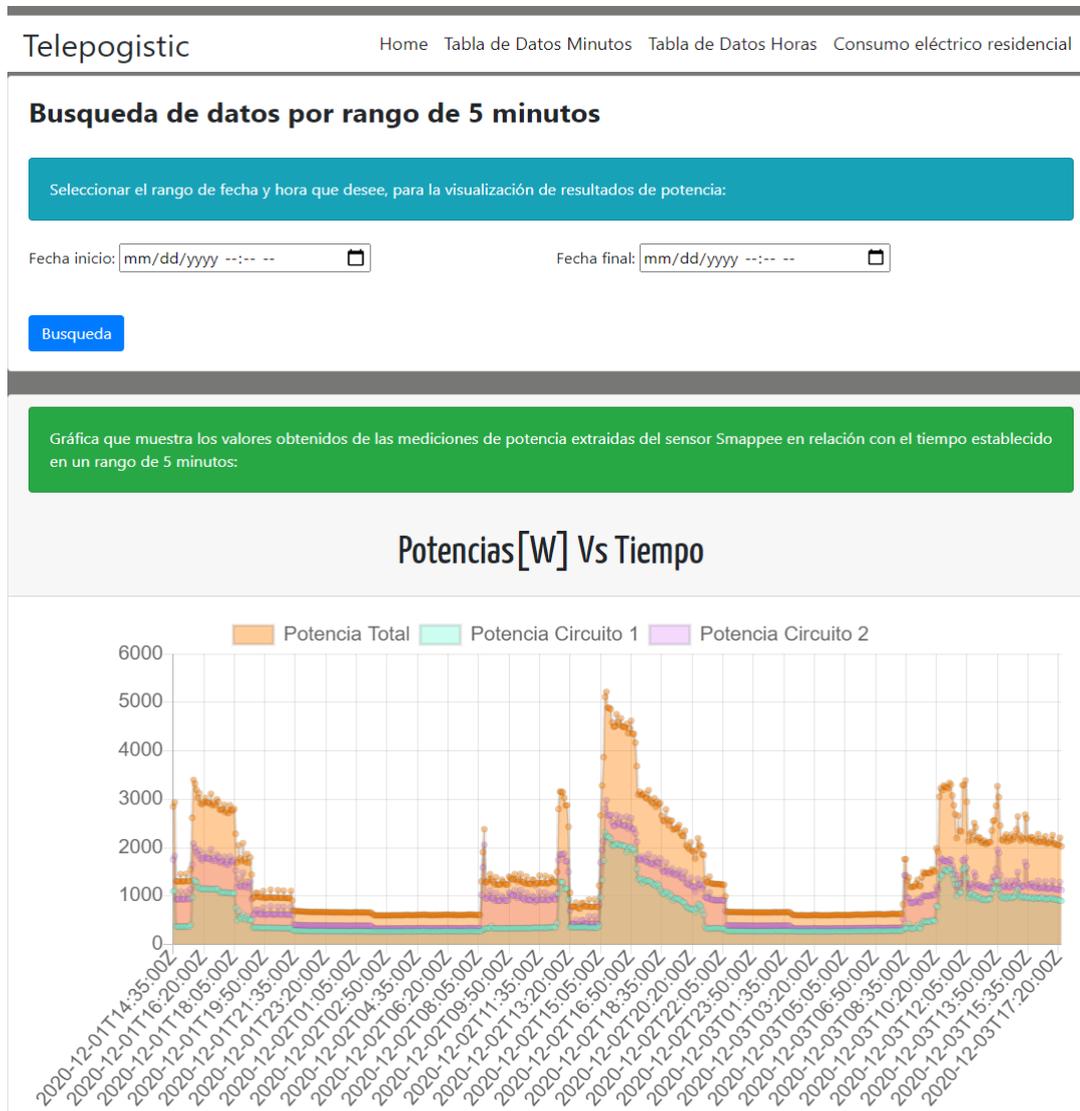


Figura 3.9. Gráfica de potencia VS tiempo de las muestras de cada 5 minutos.

3.5.3. Interfaz de análisis de datos por cada hora

En la sección de Tabla de Datos Horas, el usuario final decide si desea establecer en una fecha determinada una franja horaria para la visualización de los datos en dicho rango considerando que los valores de potencia han sido registrados por hora; o si desea analizar todos los datos que han sido almacenados hasta la actualidad. El sistema al

contar con una base de datos que almacena todos los valores obtenidos por el Smappee puede proporcionar la información de datos de potencia consumidos total al cliente final o si bien dependiendo de lo solicitado del rango establecido por el mismo.

En el caso de la Figura 3.10 adjunta se ha establecido un rango de 27 horas en una fecha establecida para la visualización de los valores de potencia consumidos como lo muestra la gráfica.

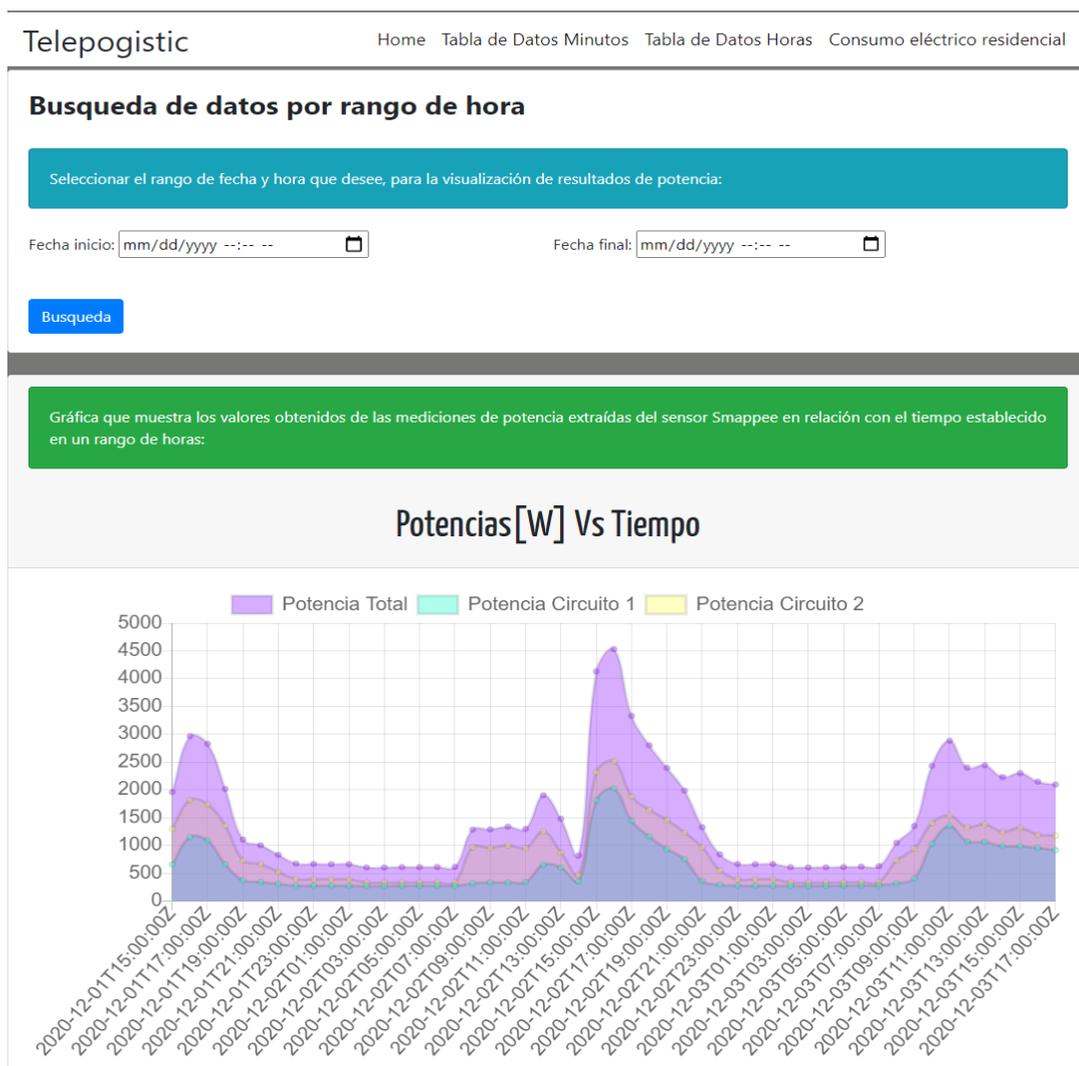


Figura 3.10. Gráfica de potencia VS tiempo de las muestras de cada hora.

3.5.4. Software de optimización para el consumo eléctrico residencial

En la sección de consumo eléctrico residencial es donde se utiliza el software de optimización propuesto.

Un usuario que quiera conocer los valores de consumo eléctrico que presenta en el hogar, así como saber el costo por consumo de cada electrodoméstico y no haya utilizado antes el software de optimización, debe ingresar la cantidad de electrodomésticos que tiene en su vivienda dependiendo de las categorías establecidas en el formulario que se muestra en la Figura 3.11 adjunta. Donde se ingresan las cantidades de electrodomésticos al formulario y dichos datos son enviados a un script en Python que ejecuta el modelo matemático y muestra los valores de consumo que el usuario desea conocer.

En caso de que un usuario ya haya ingresado sus datos anteriormente, puede seleccionar directamente la pestaña de Detalles de consumo y esta pestaña abrirá la ventana que muestra el monitoreo de consumo eléctrico de sus electrodomésticos.

A continuación, se mostrará el funcionamiento del software de optimización:

1. Ingresar la cantidad de equipos presentes en el hogar seleccionando el botón de **FORMULARIO** .
2. En caso de adquirir un nuevo electrodoméstico favor ingresar nuevamente el actualizado de equipos que tiene en su domicilio.
3. Si desea conocer detalles de su consumo eléctrico seleccionar el botón de **DETALLES DE CONSUMO**, estos datos se actualizan cada día mostrando gráficas de consumo de cada equipo.

Registro de electrodomésticos en el hogar

Click en el botón para el ingreso al formulario de registro

Formulario Detalles de consumo

Su ayuda ingresando la cantidad de dispositivos que presenta en su hogar:

Refrigerador	Ventilador
<input type="text"/>	<input type="text"/>
Olla	Tv
<input type="text"/>	<input type="text"/>
Pc	Iluminacion
<input type="text"/>	<input type="text"/>
Lavadora	SecadoraDeCabello
<input type="text"/>	<input type="text"/>
Licuadaora	AC
<input type="text"/>	<input type="text"/>
Bomba	Tostadora
<input type="text"/>	<input type="text"/>
Microondas	
<input type="text"/>	

Enviar

Figura 3.11. Formulario de ingreso de dispositivos en el hogar.

A continuación, en la Figura 3.12 se visualiza una gráfica de barras que muestra el tiempo de encendido de cada uno de los equipos que fueron ingresados por el usuario, mostrando claramente la comparativa de tiempo de uso entre cada uno de estos aparatos.

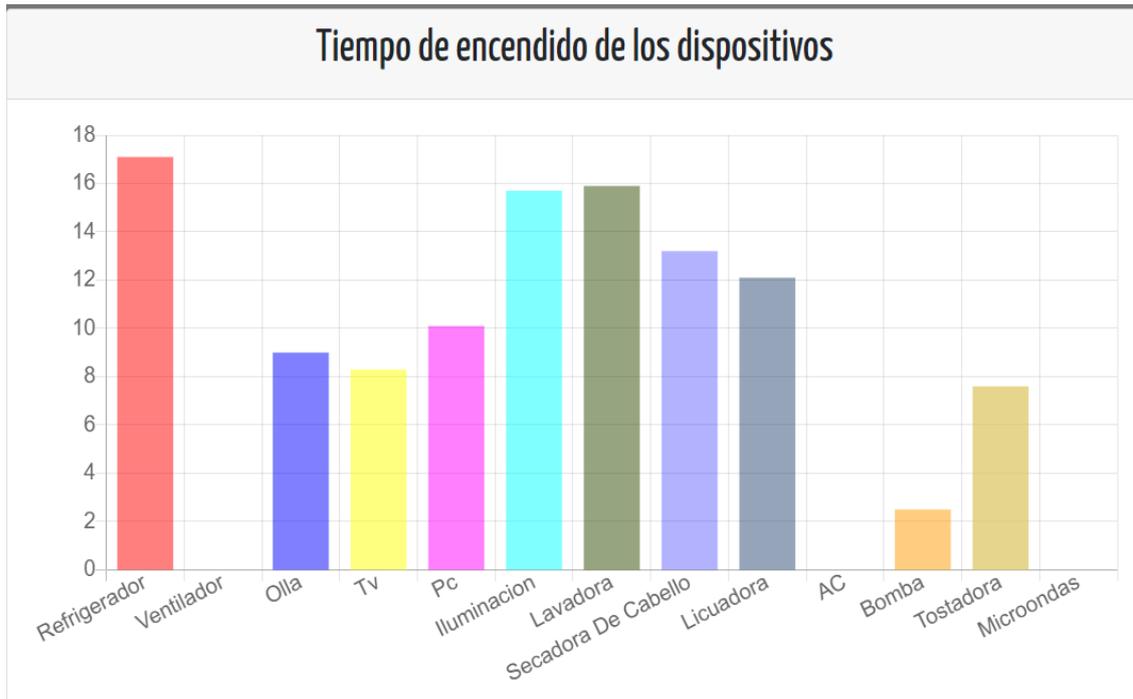


Figura 3.12. Gráfica de tiempo de encendido de los dispositivos.

Finalmente, en la siguiente Figura 3.13 se muestra una tabla detallando el valor de consumo por cada electrodoméstico, indicando el costo de consumo por cada equipo en base al tiempo de encendido de los mismos. Y una gráfica comparativa que muestra el valor de potencia consumida por cada electrodoméstico en franjas de tiempos establecidos diferenciados por colores que representan cada aparato eléctrico.

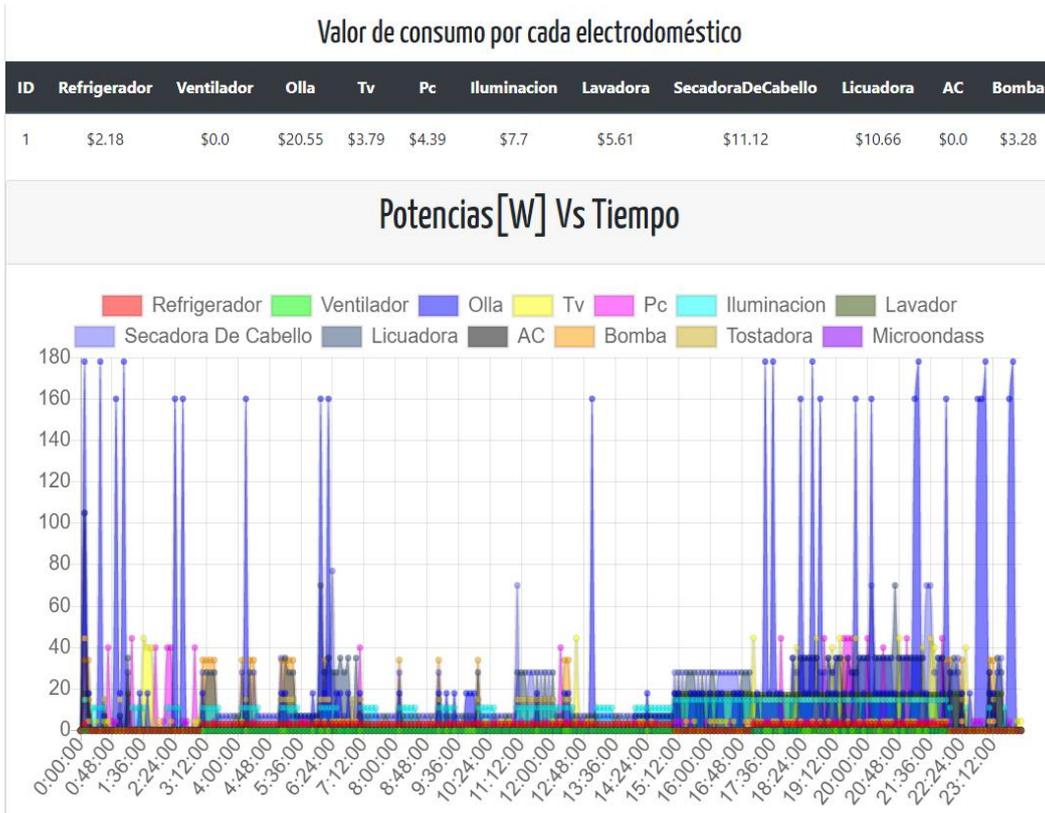


Figura 3.13. Gráfica de consumo de dispositivos y potencia VS tiempo.

3.6. Encuesta hacia el usuario final

Se realizó una encuesta hacia el usuario final con respecto a la visualización de la página web y futuras implementaciones del mismo, donde se muestra el funcionamiento y resultados del sistema de telemetría implementado; se ha creado una encuesta para el análisis de satisfacción del cliente la cual se muestra en las Figuras 3.14 y 3.15 adjuntas.

Análisis de satisfacción de la página web Telepogistic

Encuesta para medir el análisis de satisfacción del mercado al utilizar la página web de Telepogistic: Tecnología aplicada para el ahorro eléctrico

*Obligatorio

1. ¿Qué le pareció la página web de Telepogistic? *

- Agradable a la vista
- Muy llamativa
- Mala presentación

¿ Logró usted comprender el funcionamiento del sistema en base a los detalles que se mostraron en cada sección de la página? *

- Sí
- No
- Tal vez

Figura 3.14. Encuesta de satisfacción a usuarios.

¿Usted considera que el sistema de telemetría presentado "Telepogistic" cuenta con una ventaja importante en comparación con otros servicios en la actualidad? *

Sí

No

Tal vez

¿Está usted de acuerdo en que el costo de implementación sea el propuesto? *

Totalmente de acuerdo

Algo de acuerdo

Ni de acuerdo ni en desacuerdo

Algo en desacuerdo

Totalmente en desacuerdo

¿Usted implementaría este sistema en su residencia? *

Sí

No

Tal vez

Figura 3.15. Encuesta de satisfacción de usuario.

La muestra seleccionada se realizó a una población general, en su mayor parte estudiantes y profesionales de entre los 22 a 26 años los cuáles lograron conocer a detalle la explicación del sistema de telemetría propuesto y realizaron una interacción con la página web que visualizaron. De la encuesta realizada a la población se obtuvo resultados favorables con un total de 125 respuestas acerca de la satisfacción del usuario con la página web.

De la Figura 3.16 y 3.17 se muestran resultados favorables en cuanto a la presentación y comprensión del sitio web, indicando en su mayoría que es agradable a la vista, llamativo y fácil de entender sus funcionalidades.

1. ¿Qué le pareció la página web de Telepogistic?
125 respuestas

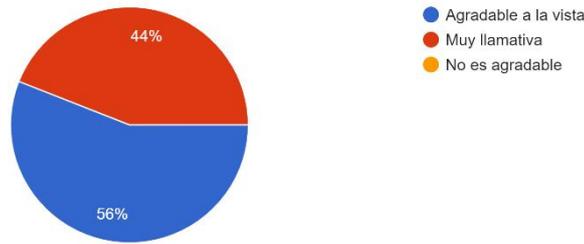


Figura 3.16. Resultados de la primera pregunta del formulario.

¿ Logró usted comprender el funcionamiento del sistema en base a los detalles que se mostraron en cada sección de la página?
125 respuestas

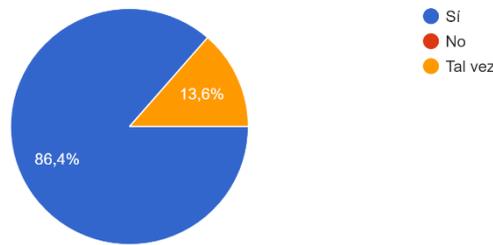


Figura 3.17. Resultados de la segunda pregunta del formulario.

Por el contrario, nos resulta extraño conocer que existe aproximadamente un 30% de la muestra, como se observa en la Figura 3.18, que considera que la comparación de nuestro sistema de telemetría con sistemas creados ya en la actualidad no cuenta con una ventaja o diferencia que le permita sobresalir ante el resto.

¿Usted considera que el sistema de telemetría presentado "Telepogistic" cuenta con una ventaja importante en comparación con otros servicios en la actualidad?
125 respuestas

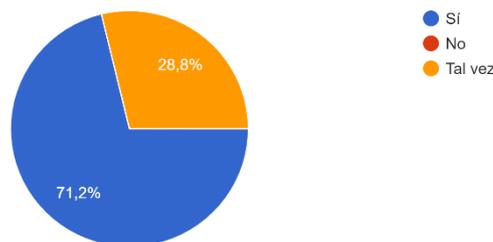


Figura 3.18. Resultados de la tercera pregunta del formulario.

Finalmente, en la Figura 3.19 se puede observar la respuesta de la población con el costo de implementación del sistema muestra los siguientes resultados: aproximadamente un 50% de la población indica que no se encuentran totalmente de acuerdo con el costo sin embargo no tienen conflictos. Por el contrario, existe un 17% que indican que el costo establecido les resulta indiferente y solo aproximadamente un 30% de la muestra indica que se encuentra de acuerdo con el costo para su implementación.

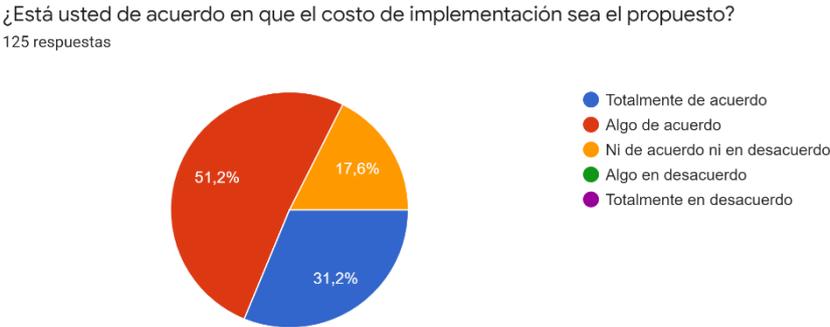


Figura 3.19. Resultados de la cuarta pregunta del formulario.

Se reciben resultados positivos, como se muestra en la Figura 3.20, al conocer que un 72% de la muestra implementaría este sistema de telemetría en su residencia y un 28% aún presentan dudas para realizar la implementación.



Figura 3.20. Resultados de la quinta pregunta del formulario.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

El uso de sistemas de monitoreo eléctrico ayuda a mejorar el manejo de energía a nivel residencial y comercial, esto es posible dado que los usuarios pueden observar cuánto han consumido durante el día y de esta forma los usuarios lograrán tomar decisiones más acertadas sobre el consumo energético.

Nuestro sistema de telemetría permite trabajar con cualquier tipo de equipo de monitoreo eléctrico comercial en el mercado que posea conexión al protocolo de comunicación MQTT, dado que la Raspberry actúa como broker intermediario y los equipos pueden publicar sus tópicos y la Raspberry recopila dicha información y la almacena en las tablas de la base de datos para posteriormente que se muestre de manera gráfica en el servidor web.

La capacidad requerida para almacenar 8760 horas de datos, recopilados en un año, es de 1.3 GB, lo que corresponde a 31,536,000 mediciones muestreadas con una resolución de 1 segundo. Esta resolución de datos brinda a las empresas detalles específicos sobre su consumo mientras mantiene bajos los requisitos de almacenamiento y mantenimiento. Además, para usuarios residenciales pueden optar por obtener tener una resolución de muestro de cada 5 minutos lo que equivale a 105,120 mediciones muestreadas en 8760 horas de datos le costaría 5.72 MB anualmente, el cual puede ser almacenado dentro de la Raspberry.

Mediante una encuesta para el análisis de satisfacción de la interfaz web se logró demostrar que un 72% de las 125 personas que fueron encuestadas les gustaría realizar la implementación del sistema de telemetría para reducir el consumo de energía eléctrica en sus hogares. También, en la encuesta no se presentó ninguna respuesta desfavorable

acerca de la interfaz web, lo que significa que se logró crear una interfaz amigable y fácil de entender para los usuarios.

4.2. Recomendaciones

Para la implementación de trabajos futuros de nuestro proyecto se debe tomar en cuenta una variedad de factores que nosotros no implementamos. Para mejorar la experiencia del usuario con el sistema se puede implementar alertas de picos de consumo donde el usuario es notificado cuando se está excediendo de un límite establecido y tome las correcciones respectivas lo antes posible. Además, se puede utilizar otros tipos de frameworks que funcionan mejor con sistemas de telemetría que Django como son React js, Angular para la creación de eventos de ocurrencias en la red eléctrica.

La opción de cuando se almacene un nuevo valor de consumo en la base de datos que las gráficas se actualicen automáticamente al nuevo valor sin la necesidad de que el usuario actualice manualmente refrescando la página web, para de esta forma se lo mayor dinámico posible a la interfaz web.

Además de buscar soluciones en la nube como puede ser la base de datos y el servidor web se encuentren alojados en la nube en lugar de una implementación física, de esta forma evitar el uso de recursos de hardware que pueden llegar a ser más costoso a largo plazo por el mantenimiento que estos requieren.

Por último, se puede crear en una aplicación móvil a parte de la interfaz web para la visualización del consumo generado dado que no siempre se contará con una computadora a mano y en la actualidad la gran mayoría posee un dispositivo móvil inteligente.

Bibliografía

- [1] E. universo, «CNEL dice que revisará todas las planillas que emitió en este mes, ante los más de 25 mil reclamos de cobros excesivos,» El universo, 16 Junio 2020.
- [2] CONELEC, Aspectos de sustentabilidad y sostenibilidad social y ambiental, Ecuador: CONELEC, 2013.
- [3] E. A. Pelaez y P. F. Jimenez, «<http://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/7930/1/13668.pdf>,» Universidad del Azuay, Cuenca, 2018.
- [4] ElectricaMX, «ElectricaMX,» ElectricaMX, Octubre 2015. [En línea]. Available: <https://electrica.mx/la-evolucion-de-los-medidores-de-energia-electrica/>. [Último acceso: 29 Octubre 2020].
- [5] «wikipedia,» wikipedia, 13 Noviembre 2020. [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Vatihor%C3%ADmetro#Contadores_de_consumo_internos. [Último acceso: 30 Diciembre 2020].
- [6] Á. J. Cervelion, . G. Agredo y . J. Revelo, «Diseño y evaluación de desempeño de la infraestructura AMI para la microrred de la Universidad de Nariño,» Universidad Cooperativa de Colombia, Colombia, 2018.
- [7] TecnologiasEOS, «Tecnologias EOS,» Tecnologias EOS, 24 Diciembre 2018. [En línea]. Available: <https://tec-eos.com/2018/12/24/conoce-los-beneficios-que-tiene-un-sistema-ami/>. [Último acceso: 6 Noviembre 2020].
- [8] J. Alvarado, «proyectos de implementación de medición avanzada alrededor del mundo,» Universidad de Cuenca, Cuenca, 2011.
- [9] SMAPPEE, «smappee,» smappee, 2020. [En línea]. Available: <https://www.smappee.com/>. [Último acceso: 6 Noviembre 2020].
- [10] Sense, «Sense,» Sense, 2020. [En línea]. Available: <https://sense.com/product/>. [Último acceso: 6 Noviembre 2020].
- [11] Curb, «energycurb,» Curb, 2020. [En línea]. Available: <https://energycurb.com/>. [Último acceso: 6 Noviembre 2020].
- [12] K. Whitney, «Solar,» Solar, 7 Septiembre 2017. [En línea]. Available: <https://www.solar.com/learn/energy-monitor-comparison/>. [Último acceso: 6 Noviembre 2020].

- [13] SMAPPEE, «vpt,» 2020. [En línea]. Available: <https://vpt.com.au/products-services/smappee-downloads/smappee-api-mqtt-paper-2020.pdf>. [Último acceso: 5 Novimebre 2020].
- [14] SMAPPEE, «Confluence,» Confluence, 2020. [En línea]. Available: <https://smappee.atlassian.net/wiki/spaces/DEVAPI/pages/8552463/Get+token>. [Último acceso: 5 Noviembre 2020].
- [15] MQTT, «MQTT,» MQTT, 2020. [En línea]. Available: <https://mqtt.org/>. [Último acceso: 5 Noviembre 2020].
- [16] Q. E. Solutions, «qksol,» QKSOL Energy Solutions, 18 Diciembre 2015. [En línea]. Available: <https://qksol.com/el-shazam-del-consumo-de-energia-2/>. [Último acceso: 6 Diciembre 2020].
- [17] raspberrypi, «raspberrypi,» raspberrypi, 6 diciembre 2020. [En línea]. Available: <https://raspberrypi.cl/que-es-raspberry/> . [Último acceso: 6 diciembre 2020].
- [18] L. LLamas, «luisllamas,» luisllamas, 17 Abril 2019. [En línea]. Available: <https://www.luisllamas.es/que-es-mqtt-su-importancia-como-protocolo-iot/>. [Último acceso: 6 Diciembre 2020].
- [19] tst-sistemas, «tst-sistemas,» tst-sistemas, [En línea]. Available: [http://www.tst-sistemas.es/mqtt/#:~:text=MQTT%20\(Message%20Queue%20Telemetry%20Transport,a%20un%20t%C3%B3pico%20del%20protocolo](http://www.tst-sistemas.es/mqtt/#:~:text=MQTT%20(Message%20Queue%20Telemetry%20Transport,a%20un%20t%C3%B3pico%20del%20protocolo) . [Último acceso: 6 Diciembre 2020].
- [20] redalia, «redalia,» redalia, [En línea]. Available: <https://www.redalia.es/ssl/protocolo-ssl/#:~:text=Se%20trata%20de%20protocolos%20criptogr%C3%A1ficos,en%20un%20red%20de%20comunicaci%C3%B3n>. [Último acceso: 6 Diciembre 2020].
- [21] A. Arduino, «Aprendiendo Arduino,» Aprendiendo Arduino, [En línea]. Available: <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2018/11/19/mosquitto/>. [Último acceso: 31 Enero 2021].
- [22] espol, «espol,» espol, 30 Marzo 2020. [En línea]. Available: <http://www.espol.edu.ec/es/noticias/labet-%C3%BAnico-laboratorio-de-ecuador-con-designaci%C3%B3n-para-realizar-ensayos-de-conductividad> . [Último acceso: 6 Diciembre 2020].
- [23] L. d. V. Hernández, «programarfacil,» programarfacil, [En línea]. Available: https://programarfacil.com/esp8266/mqtt-esp8266-raspberry-pi/#Arquitectura_de_un_sistema_MQTT. [Último acceso: 6 Diciembre 2020].
- [24] wikipedia, «wikipedia,» wikipedia, 5 Diciembre 2020. [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/General_Algebraic_Modeling_System . [Último acceso: 5 Diciembre 2020].

- [25] Oscar, «investigaciondeoperacion2es,» investigaciondeoperacion2es, 9 octubre 2011. [En línea]. Available: <http://investigaciondeoperacion2es.blogspot.com/2011/10/gurobi-optimization.html> . [Último acceso: 6 Diciembre 2020].
- [26] incosa, «incosa,» incosa, [En línea]. Available: <https://www.incosa.com.uy/blog/que-es-mariadb/> . [Último acceso: 6 Diciembre 2020].
- [27] Arsys, «arsys,» arsys, 31 Enero 2018. [En línea]. Available: <https://www.arsys.es/blog/programacion/mariadb/> . [Último acceso: 6 Diciembre 2020].
- [28] M. P. Estesó, «geekytheory,» geekytheory, [En línea]. Available: <https://geekytheory.com/que-es-una-api-rest-y-para-que-se-utiliza>. [Último acceso: 27 Enero 2021].
- [29] inlab, «inlab,» inlab, [En línea]. Available: <https://inlab.fib.upc.edu/es/blog/django-api-rest> . [Último acceso: 6 Diciembre 2020].
- [30] djangogirls, «djangogirls,» djangogirls, [En línea]. Available: <https://tutorial.djangogirls.org/es/django/> . [Último acceso: 6 Diciembre 2020].
- [31] mozilla, «mozilla,» mozilla, [En línea]. Available: https://developer.mozilla.org/es/docs/Learn/Getting_started_with_the_web/HTML_basics#:~:text=El%20Lenguaje%20de%20Mercado%20de,im%C3%A1genes%20y%20tablas%20de%20datos. . [Último acceso: 6 Diciembre 2020].
- [32] Gustavo, «hostinger,» hostinger Tutoriales, 1 Diciembre 2020. [En línea]. Available: <https://www.hostinger.es/tutoriales/insertar-javascript-en-html/> . [Último acceso: 6 Diciembre 2020].
- [33] B. R. López, «cursosgis,» 16 Diciembre 2015. [En línea]. Available: <https://www.cursosgis.com/como-integramos-los-lenguajes-html-css-y-javascript/>. [Último acceso: 23 Diciembre 2020].
- [34] P. Soriano, «geoinnova,» geoinnova, 26 Noviembre 2020. [En línea]. Available: <https://geoinnova.org/blog-territorio/html-css-y-javascript-lenguajes-para-el-desarrollo-de-paginas-web/>. [Último acceso: 3 Febrero 2021].
- [35] programacion.net, «programacion.net,» programacion.net, [En línea]. Available: https://programacion.net/articulo/introduccion_a_pandas_1632. [Último acceso: 13 Enero 2021].
- [36] J. Knudson, «smallbusinesscomputing,» 19 Agosto 2015. [En línea]. Available: <https://www.smallbusinesscomputing.com/biztools/smappee-pro-reduces-small-biz-energy-costs-consumption.html>. [Último acceso: 22 Enero 2021].

[37] Jesús, «nergiza,» 26 Septiembre 2019. [En línea]. Available: <https://nergiza.com/foro/threads/medidor-de-consumo-shelly-em.4667/>. [Último acceso: 22 Enero 2020].