

AGENDA:

- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y OBJETIVOS
- INTRODUCCIÓN
- MATERIALES Y METODOLOGÍA
- DISEÑO DEL MEDIDOR
- ANÁLISIS DE RESULTADOS
- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



AGENDA:

- **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y OBJETIVOS**
- **INTRODUCCIÓN**
- **MATERIALES Y METODOLOGÍA**
- **DISEÑO DEL MEDIDOR**
- **ANÁLISIS DE RESULTADOS**
- **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**



PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad los medidores de energía eléctrica convencionales se limitan a registrar el consumo domiciliario en kWh, esto a su vez se ve reflejado al usuario monetariamente, este procedimiento es realizado mensualmente sin ningún plan de ahorro energético y económico, además no se esta exento de fallos por parte del personal de empresas eléctricas al efectuar lecturas manuales, el usuario no puede observar su consumo en tiempo real, lo cual no permite la concientización del correcto uso de la energía eléctrica.



OBJETIVO GENERAL

Diseñar e implementar un Smart Meter de energía eléctrica domiciliario mediante un módulo Raspberry Pi para la gestión del consumo en tiempo real.



OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Medir las variables eléctricas voltaje (V) y corriente (I), a través de sensores y acondicionadores de señal.
- Emplear una tarjeta de desarrollo Raspberry Pi como procesador principal y módulo IoT del medidor inteligente.
- Crear un servidor local, una base de datos y pantallas intuitivas con el usuario que muestren la información del Smart Meter en tiempo real.
- Configurar los dispositivos que estructuran el Smart Meter a través de los diferentes lenguajes de programación y sus respectivos protocolos de comunicación.
- Construir un tomacorriente inteligente para el control del consumo eléctrico domiciliario.
- Verificar el funcionamiento del medidor inteligente mediante pruebas para evidenciar que el prototipo trabaja de forma adecuada.



AGENDA:

- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y OBJETIVOS
- INTRODUCCIÓN
- MATERIALES Y METODOLOGÍA
- DISEÑO DEL MEDIDOR
- ANÁLISIS DE RESULTADOS
- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



INTRODUCCIÓN

El Medidor inteligente es un dispositivo cuya funcionalidad es la de censar variables eléctricas como voltaje (V) y corriente (I), procesarla y obtener potencia (W), energía eléctrica (kWh) y costo de la energía (\$) consumida en el domicilio, a la vez mostrarla mediante un servidor web al usuario en su ordenador o dispositivo móvil. En países cuya demanda energética es alta, una solución es gestionar la energía eléctrica con ayuda de un Smart Meter. Esta tecnología utilizada creció junto al internet y la era computacional, pues no solo permite la oportunidad de enviar y recibir datos entre humanos, sino también entre los dispositivos inteligentes. Esto se conoce como concepto de Internet de las cosas (IoT).



EVOLUCIÓN DEL MEDIDOR DE ENERGÍA ELÉCTRICA

MEDIDOR ELECTROMECAÁNICO

Bobinas de potencial y de corriente para contabilizar el consumo

Precisión de lecturas de $\pm 2\%$.

No posee ningún plan de ahorro de energía.

Las lecturas son de forma manual por personal de la empresa eléctrica.



$\pm 2\%$



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

EVOLUCIÓN DEL MEDIDOR DE ENERGÍA ELÉCTRICA

MEDIDOR DIGITAL

Posee sensores de Voltaje y Corriente

Precisión de lecturas de $\pm 0.5\%$.

No tiene ningún plan de ahorro de energía.

Pantalla LCD, led que reemplaza el disco que señala consumo.



$\pm 0.5\%$



EVOLUCIÓN DEL MEDIDOR DE ENERGÍA ELÉCTRICA

MEDIDOR INTELIGENTE

Tiene un plan de ahorro energético y gestión domiciliaria

Lecturas de forma remota mediante aplicaciones y páginas web

Consulta en tiempo real

Posee microprocesador y un servidor que almacena los datos



AGENDA:

- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y OBJETIVOS
- INTRODUCCIÓN
- MATERIALES Y METODOLOGÍA
- DISEÑO DEL MEDIDOR
- ANÁLISIS DE RESULTADOS
- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



SOFTWARE DEL MEDIDOR INTELIGENTE



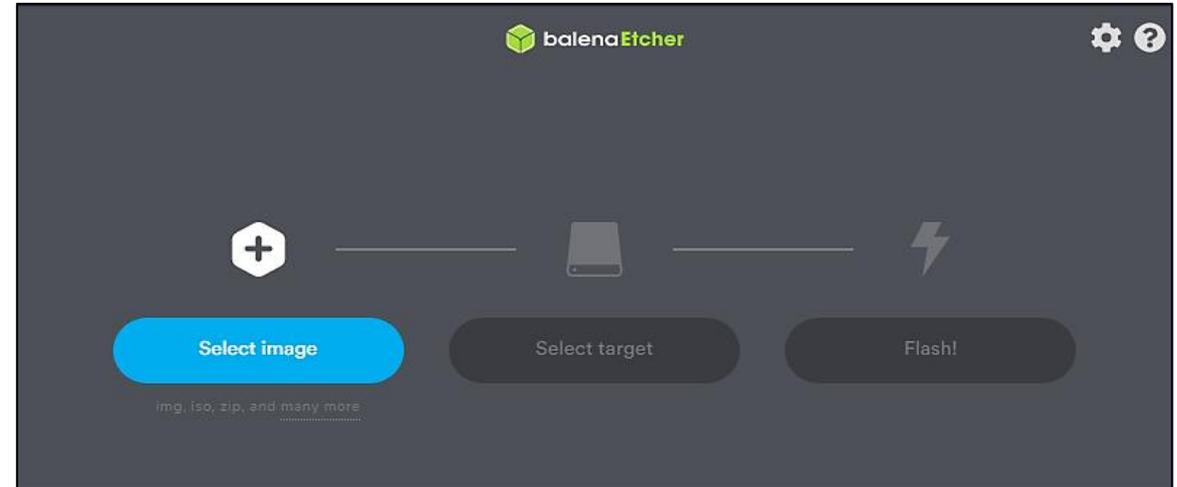
SOFTWARE DEL MEDIDOR INTELIGENTE

BalenaEtcher

Software que permitirá la instalación del sistema operativo Raspbian en la memoria microSD por medio de una imagen virtual, para su posterior uso de la Raspberry Pi.

Nmap

Herramienta utilizada con el propósito de exploración de red y auditoria de seguridad, analiza rápidamente equipos que estén conectados a una red local, con el cual se determina la dirección IP de la Raspberry.



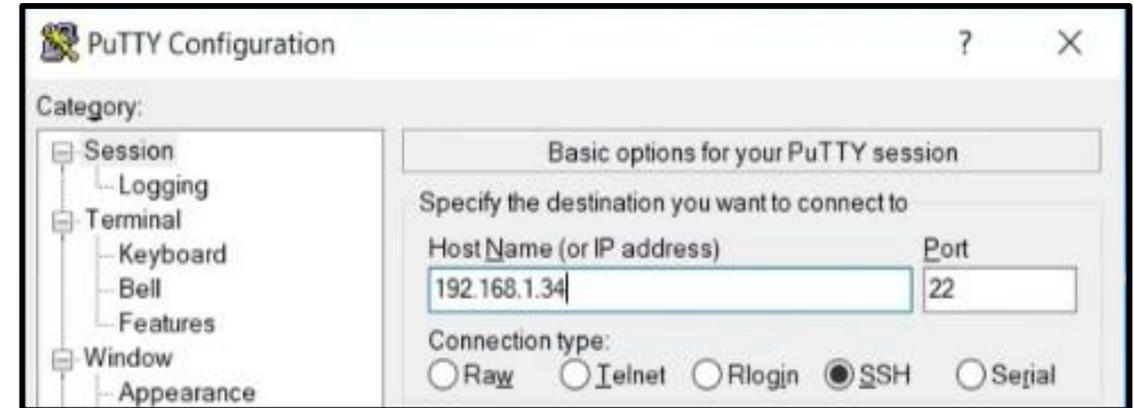
```
Nmap scan report for 192.168.1.34
Host is up (0.0014s latency).
Not shown: 999 closed ports
PORT      STATE SERVICE
22/tcp    open  ssh
MAC Address: B8:27:EB:20:73:F6 (Raspberry Pi Foundation)
```



SOFTWARE DEL MEDIDOR INTELIGENTE

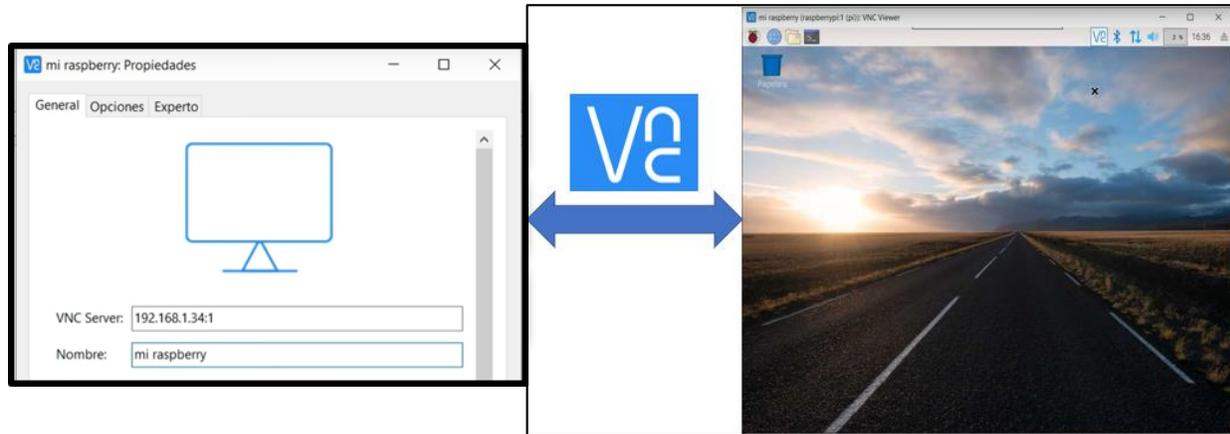
PuTTY

Herramienta cuya finalidad es conectar remotamente diferentes dispositivos que se encuentran en una misma red local, siendo uno de ellos el computador y el otro la Raspberry.



VNC Viewer

VNC es un software de interfaz sencilla, su función es monitorear y controlar de forma remota un sistema en cualquier otro lugar geográfico con acceso a la red.



SOFTWARE DEL MEDIDOR INTELIGENTE

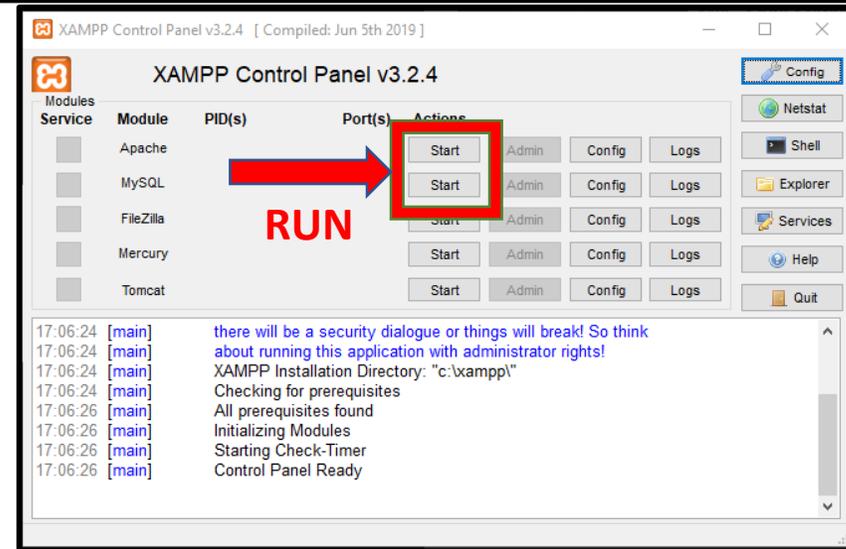
Python

Python es un lenguaje de programación de alto nivel, que consta de una estructura sencilla, pero a la vez eficaz cuando va direccionado a la programación orientada a objetos.

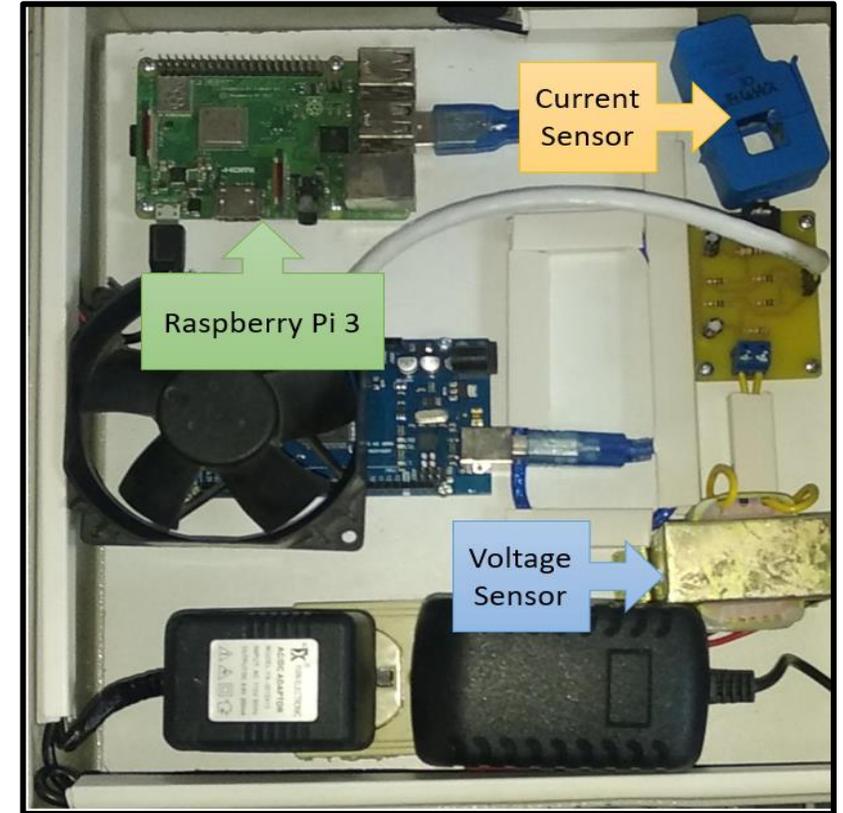
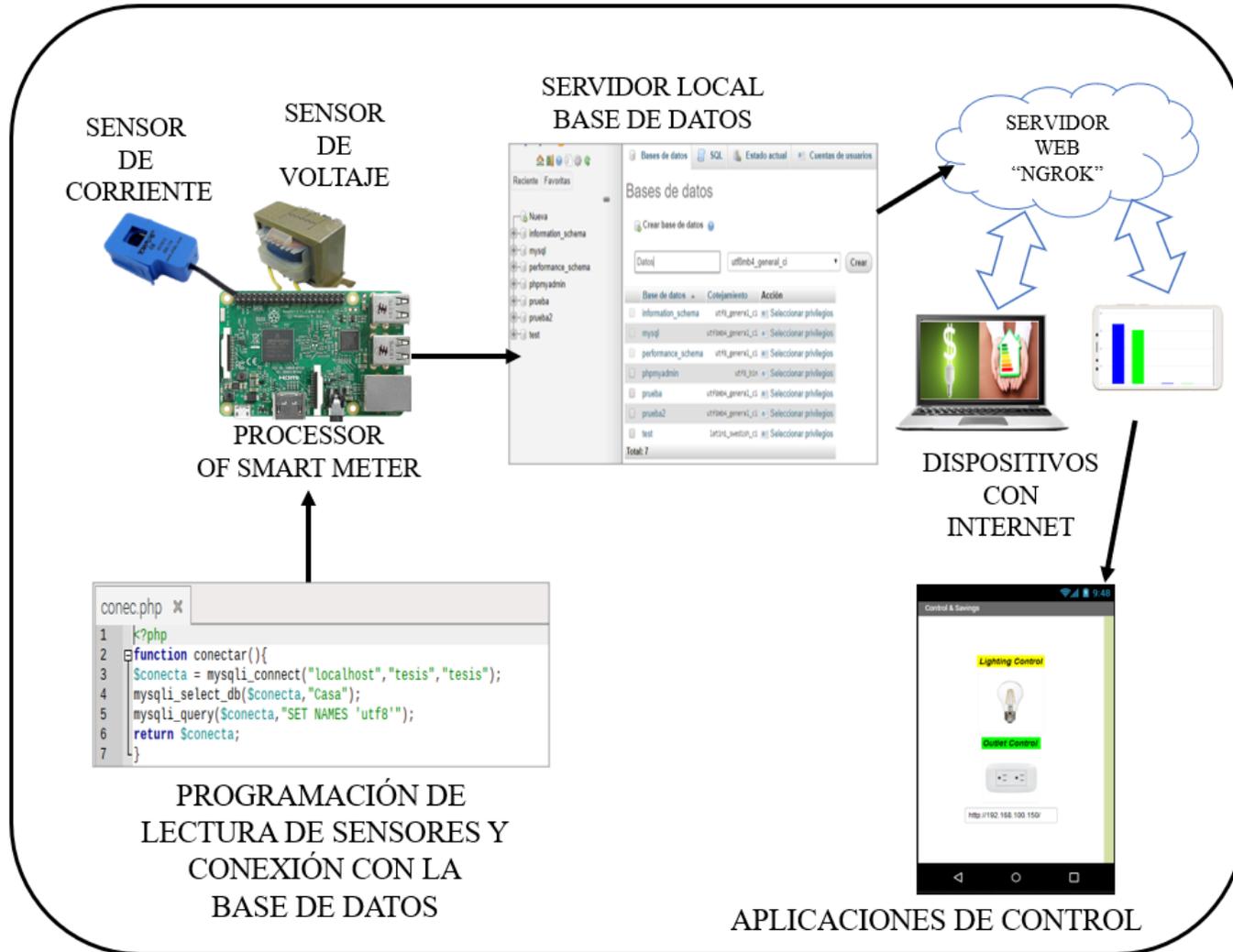
XAMPP

Es un paquete de instalación de plataformas agrupadas que consiste en un sistema de gestión de bases de datos MySQL, el servidor web Apache y los intérpretes para lenguajes de script: PHP y Perl

```
RecepcionDatos.py x
1 import mysql.connector
2 import serial
3 import pymysql
4 import time
5 #leer datos
6 datos = serial.Serial('/dev/ttyACM0',baudrate=9600,timeout=1.0)
7
8 # conexion con base de datos
9
10 while True:
11     while(datos.inWaiting()==0):
12         pass
13     conexion = mysql.connector.connect(host="localhost",user="tesis",
14                                       passwd="tesis",database="Casa")
```



ESTRUCTURA DEL MEDIDOR INTELIGENTE

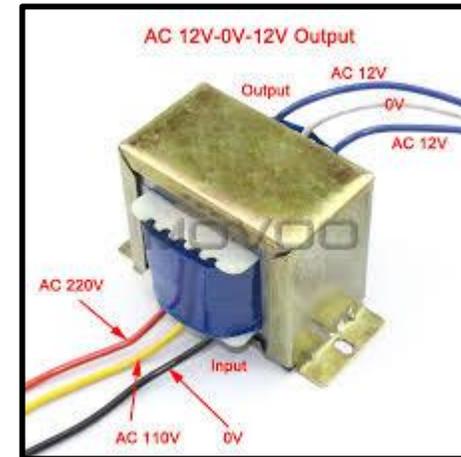


LECTURA DE VARIABLES

Voltaje (V) y corriente (I) son las variables a censar para determinar el consumo de energía eléctrica domiciliario para esto se emplean sensores como el *SCT-013-100* y el *transformador de voltaje*, posteriormente su señal debe ser acondicionada ya que las entradas del microprocesador aceptan valores máximos de 5Vcc.



Sensor SCT-013-100



transformador



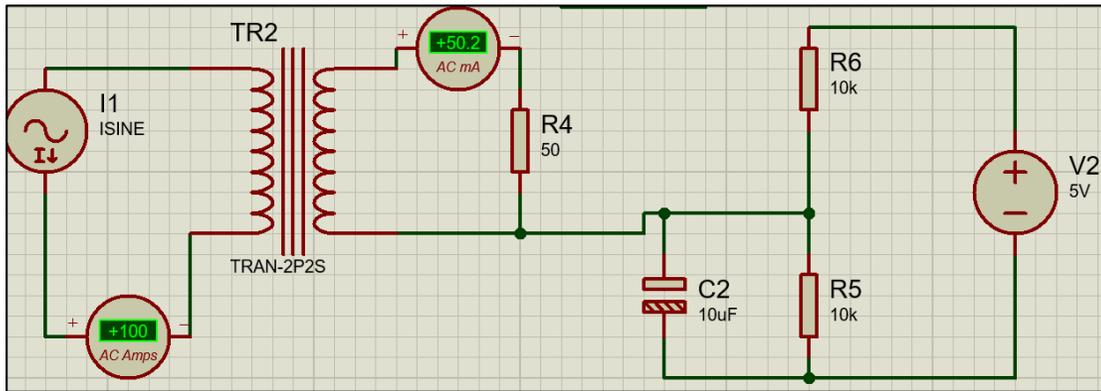
AGENDA:

- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y OBJETIVOS
- INTRODUCCIÓN
- MATERIALES Y METODOLOGÍA
- DISEÑO DEL MEDIDOR
- ANÁLISIS DE RESULTADOS
- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



CIRCUITO ACONDICIONADOR DE CORRIENTE

Para el cálculo de la resistencia de carga del circuito acondicionador de corriente se ha seguido el siguiente proceso.



1. Escalar el sensor de corriente según lo requerido.

$$I_{pico} = 100 A \rightarrow \text{valor a escalar el sensor}$$

2. Calcular la corriente del secundario del STC13-100, sabiendo que la relación de espiras es de 1/2000.

$$I_s = \frac{N_p * I_{pico}}{N_s} \quad I_s = \frac{1 * 100}{2000} = 0.05 A$$

3. Calcular la resistencia de carga, conociendo que el voltaje de referencia de una fuente externa es en este caso de 5V.

$$R_{carga} = \frac{V_{REF}}{I_s} \quad R_{carga} = \frac{5}{0.05} = 50 \Omega$$

4. Finalmente, calcular el factor de calibración para que las lecturas del sensor de corriente sean correctas.

$$F_{cal} = \frac{I_{pico}}{R_{carga}} \quad F_{cal} = \frac{100}{50} = 40$$



CIRCUITO ACONDICIONADOR DE VOLTAJE

Para el cálculo de la resistencia de carga del circuito acondicionador de voltaje se ha seguido el siguiente proceso.

1. Obtener ecuación en función de las resistencias, para obtener el valor correspondiente a R_{V1} .

$$V_{trafo} = 28.4 V$$

$$V_{in} = 28.4\sqrt{2} = 40.16 V$$

$$V_{out} = \frac{R_{V1}}{R_1 + R_{V1}} * V_{in}$$

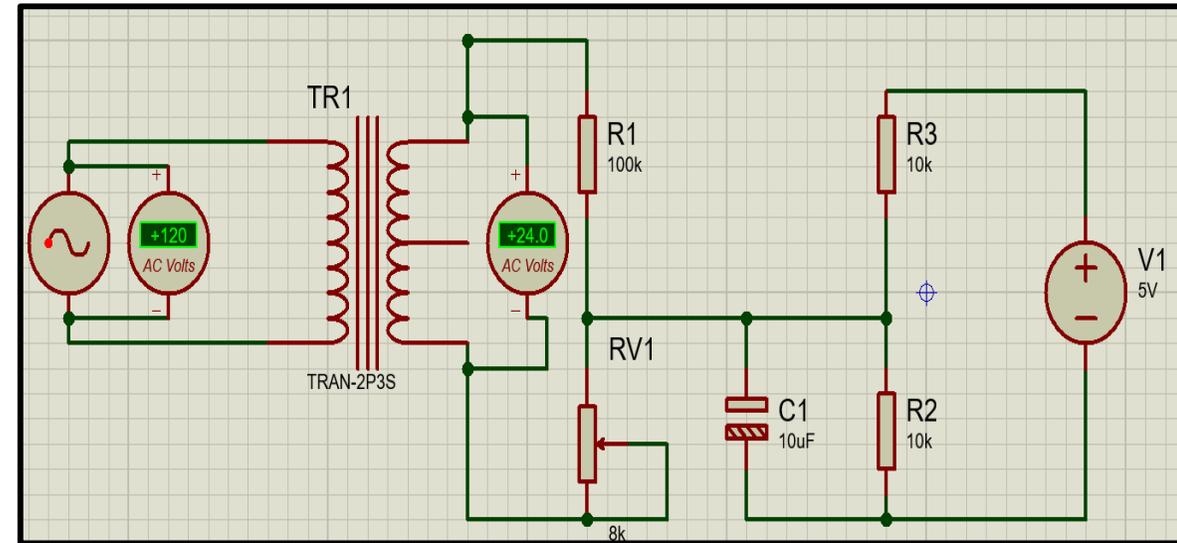
$$2.5V = \frac{R_{V1}}{R_1 + R_{V1}} * 40.16V$$

2. Asumir el valor de una de las resistencias, $R_1 = 100k\Omega$

$$R_{v1} = \frac{V_{out} * R_1}{V_{in} - V_{out}}$$

$$R_{v1} = \frac{2.5 * 100k}{40.16 - 2.5}$$

$$R_{v1} = 6.63 k\Omega$$



SOFTWARE DEL SMART METER: BASE DE DATOS

La base de datos es el principal sistema de almacenamiento del Smart Meter, en ella se registra el consumo del usuario, a la vez que permite acceder a ella en tiempo real para posteriormente indicar sus valores en una interfaz gráfica que genere concientización en el ahorro energético.

Su proceso de instalación es el siguiente:

- En la consola de Raspberry proceder con la instalación de MySQL.
- Proseguir con la instalación de Apache para la lectura de archivos escritos en PHP.
- Para comprobar que php está funcionando correctamente, crear un fichero el cual quedará en blanco y solo deberá ser guardado en la carpeta “html” de la Raspberry, finalmente en el navegador introducir la siguiente dirección “localhost/info.php” y deberá indicar la versión de php instalada.

PHP Version 5.2.6-1+lenny2



System	Linux virtualdebian 2.6.26-2-686 #1 SMP Sun Jun 21 04:57:38 UTC 2009 i686
Build Date	Jan 26 2009 22:22:34
Server API	Apache 2.0 Handler
Virtual Directory Support	disabled
Configuration File (php.ini) Path	/etc/php5/apache2
Loaded Configuration File	/etc/php5/apache2/php.ini
Scan this dir for additional .ini files	/etc/php5/apache2/conf.d
additional .ini files parsed	/etc/php5/apache2/conf.d/pdo.ini
PHP API	20041225
PHP Extension	20060613
Zend Extension	220060519
Debug Build	no



SOFTWARE DEL SMART METER: BASE DE DATOS

- Proceder a crear el usuario y contraseña para la base de datos, para el presente caso ambos parámetros serán “tesis”:

```
CREATE USER tesis@localhost IDENTIFIED BY tesis;
```

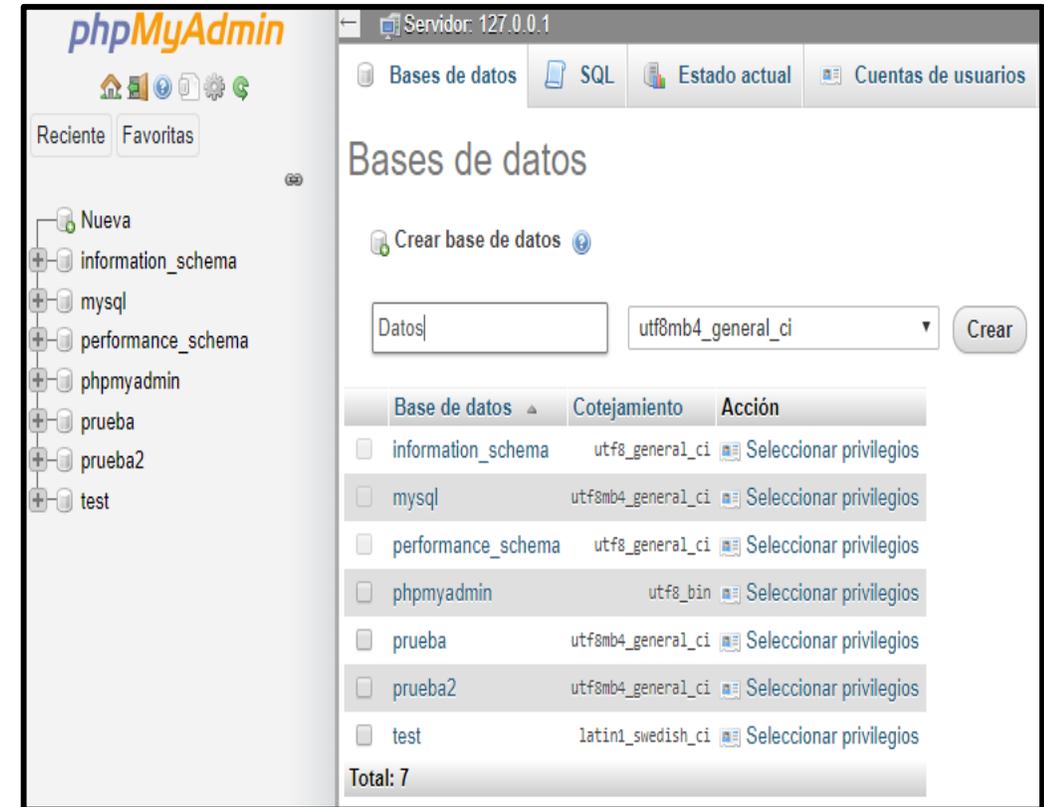
- A continuación, crear la base de datos, la cual para el presente proyecto llevará el nombre de “casa” y a la vez otorgar los permisos al usuario creado anteriormente:

```
CREATE DATABASE casa;  
GRANT ALL PRIVILEGES ON casa.* TO tesis@localhost;  
FLUSH PRIVILEGES;
```

sudo service mysql restart

Ingresar a la siguiente dirección

[‘http://localhost/phpmyadmin/’](http://localhost/phpmyadmin/).



SOFTWARE DEL SMART METER: BASE DE DATOS

- Se procede a crear la tabla colocando un nombre y la cantidad de columnas necesarias.
- Configurar la tabla con los siguientes parámetros:
 - Id, para registrar el número de dato de tipo INT puesto que es un valor entero, adicional activar la casilla A_I para aumentar automáticamente el índice de registro.
 - Fecha, para registrar hora, minutos y segundos en que fue realizada la medición de tipo DATETIME y valor predeterminado CURRENT_TIME.
 - Potencia, Energía y Consumo, para registrar el valor calculado de tipo FLOAT con una longitud de 4.2 pues las lecturas poseerán valores con decimales.

Nombre	Tipo	Longitud/Valores	Predeterminado	Cotejamiento
<input type="text" value="id"/> <small>Seleccionar desde las columnas centrales</small>	INT	10	Ninguno	
<input type="text" value="Fecha"/> <small>Seleccionar desde las columnas centrales</small>	DATETIME		CURRENT_TIME	
<input type="text" value="Consumo"/> <small>Seleccionar desde las columnas centrales</small>	FLOAT	4.2	Ninguno	



SOFTWARE DEL SMART METER: BASE DE DATOS

Para verificación se debe ingresar a la base de datos desde el navegador con la siguiente ruta “localhost/phpmyadmin”.

Ingresar con el usuario y contraseña respectivos que para el presente caso es “tesis” tanto como usuario como contraseña, y verificar en las tablas creadas que los valores registrados coincidan con las lecturas realizadas.

0.23	124.41	28.81	0.01	5e-05
0.25	124.41	30.56	0.01	5e-05
0.25	124.65	30.54	0.01	5e-05
0.24	124.17	30.27	0.01	5e-05
0.45	124.65	55.61	0.02	5e-05

Id	Fecha	Potencia	Energia	Consumo
1305	2020-05-28 11:30:00	28.81	0.01	0.00005
1306	2020-05-28 11:30:01	30.56	0.01	0.00005
1307	2020-05-28 11:30:02	30.54	0.01	0.00005
1308	2020-05-28 11:30:04	30.27	0.01	0.00005
1309	2020-05-28 11:30:05	55.61	0.02	0.00005

Nota: Los valores que se están subiendo a la base de datos únicamente corresponden a potencia, energía y consumo en dólares, los valores censados de corriente y voltaje son utilizados únicamente para cálculos.

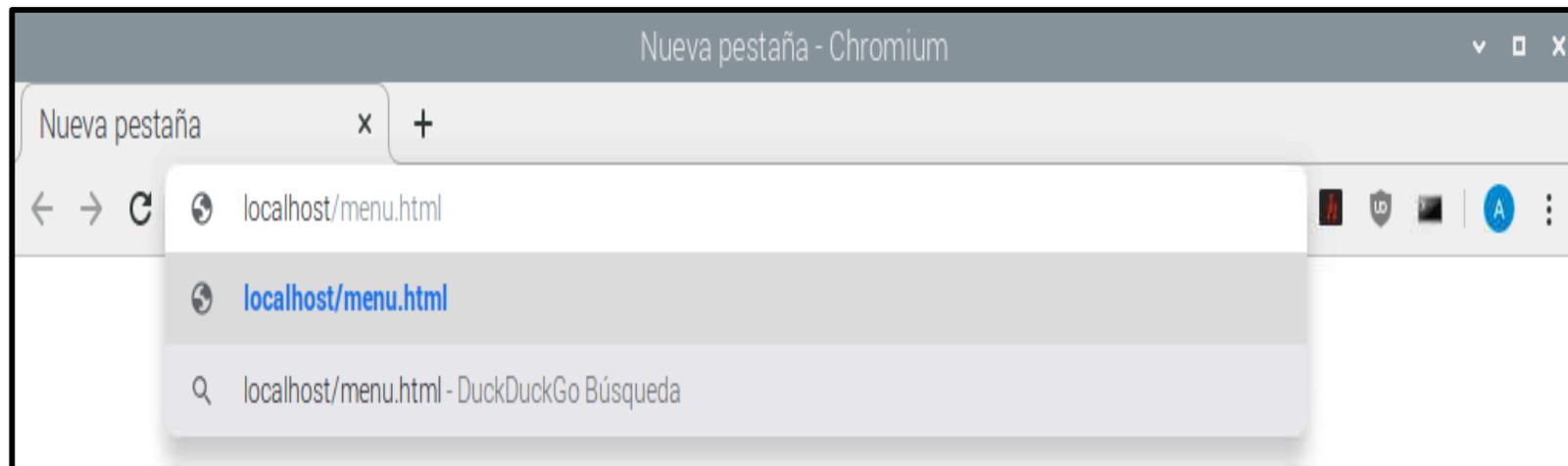


INTERFAZ GRÁFICA WEB

Con ayuda de lenguajes de programación PHP y JAVA SCRIPT se desarrolla páginas web conteniendo interfaces gráficas dinámicas e intuitivas con el usuario.

Estos lenguajes son compatibles a código abierto, PHP determina los valores a graficar y enlaza a Java que posee la estructura del gráfico con la base de datos en MySQL

Para que el cliente pueda visualizar el consumo diario o mensual, deberá ingresar en su navegador con la siguiente ruta “localhost/menu.html”



INTERFAZ GRÁFICA WEB

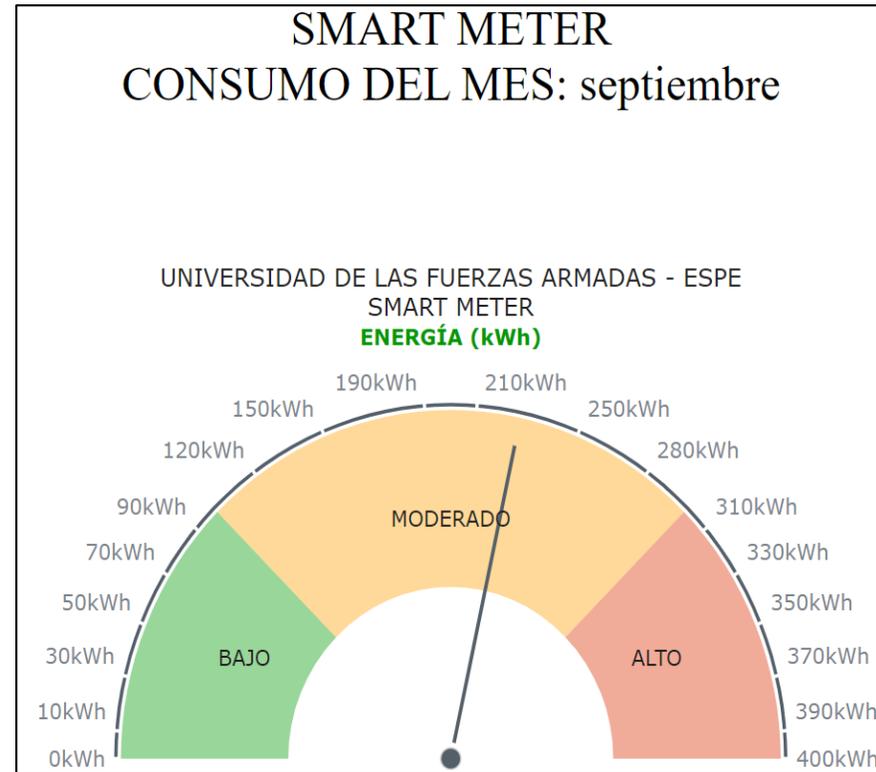
En la página web el usuario se encontrará con un menú intuitivo, con diferentes métodos de consulta como estadístico, gráfico o el historial monetario.



INTERFAZ GRÁFICA WEB: MÉTODO GRÁFICO

En este método se tendrá dos opciones siendo estas una búsqueda mensual o diaria, para ello se deberá especificar en los campos de mes o día a consultar según requiera el caso.

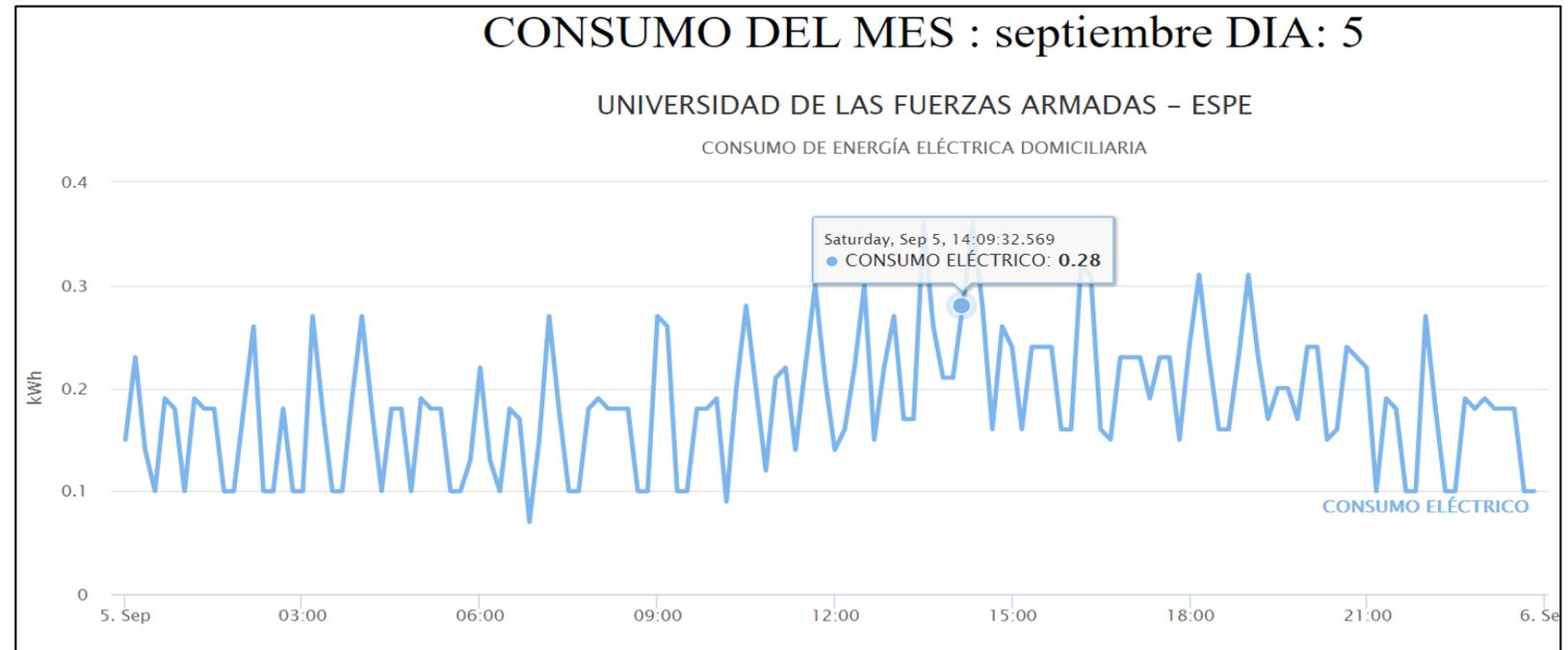
A continuación, se indicará el valor de energía consumido en el mes a consultar.



INTERFAZ GRÁFICA WEB: MÉTODO ESTADÍSTICO

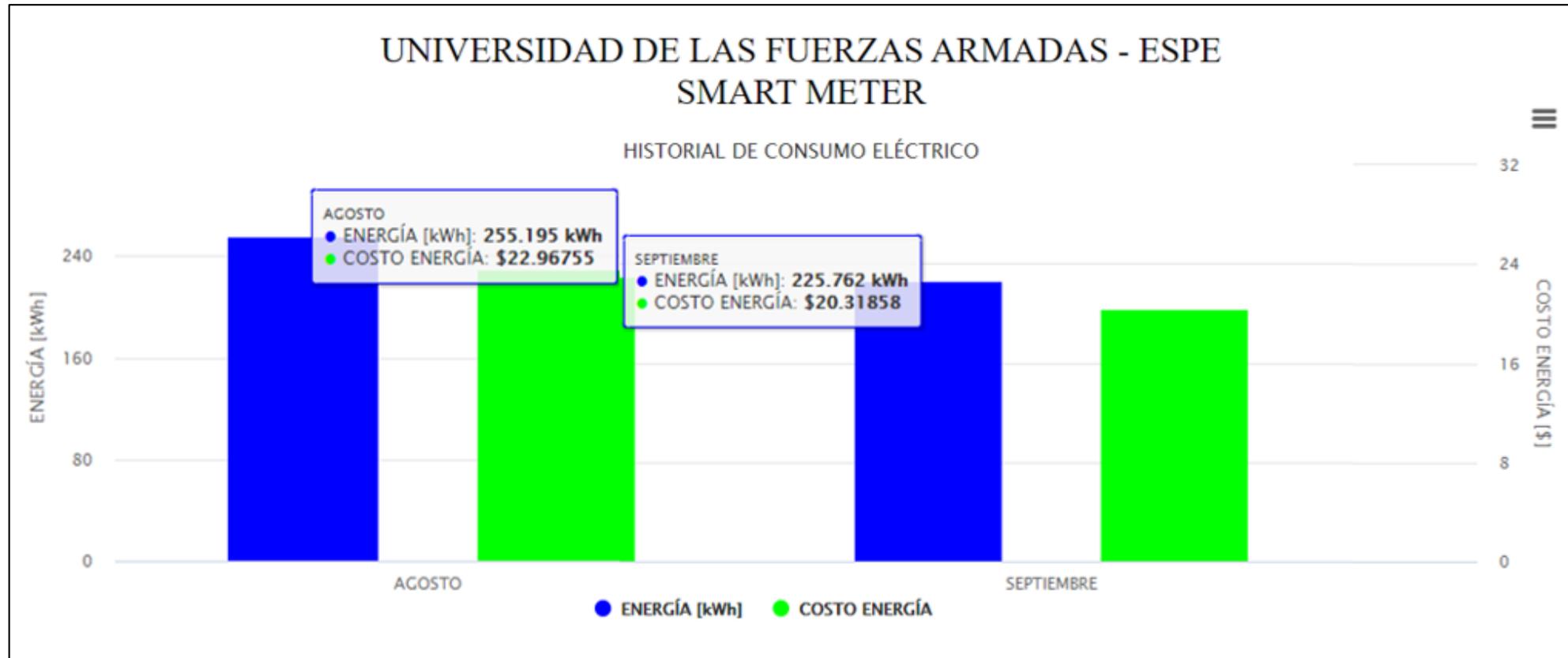
De manera similar al método anterior, aquí también existe dos formas de consulta mensual o diaria, cuyos campos deberán ser llenados según lo requiera el usuario.

A continuación, se indicará el comportamiento del consumo de energía eléctrica del usuario



INTERFAZ GRÁFICA WEB: HISTORIAL MONETARIO

Finalmente el último método es el histórico monetario, el cual registra por medio de un diagrama de barras similar a las facturas de las empresas distribuidoras de energía, tanto el consumo total del mes así como su cantidad en dólares.



INTERFAZ GRÁFICA WEB: DESCARGAR DATOS

Para un estudio mas detallado del consumo de energía eléctrica el cliente podrá descargar la información según el método de búsqueda realizado, para ello deberá seleccionar la opción “Download XLS o CSV”.



DESCARGA DE DATOS ARCHIVO CVS

El archivo descargado coincide con las lecturas de energía almacenadas en la base de datos.

DateTime	CONSUMO
19/05/2020 19:54	0,01
19/05/2020 19:55	0,55
19/05/2020 19:55	0,01
19/05/2020 19:55	0,02
19/05/2020 19:55	0,03
19/05/2020 19:55	0,04
19/05/2020 19:55	0,05
19/05/2020 19:55	0,06
19/05/2020 19:55	0,07
19/05/2020 19:55	0,08
19/05/2020 19:55	0,09
19/05/2020 19:55	0,1
19/05/2020 19:55	0,12
19/05/2020 19:55	0,13
19/05/2020 19:55	0,14
19/05/2020 19:55	0,15
19/05/2020 19:55	0,16

Id	Fecha	Potencia	Energia	Consumo
1	2020-05-19 19:55:04	30.64	0.01	0
2	2020-05-19 19:56:22	32.87	0.55	0.05
3	2020-05-19 19:56:23	27.55	0.01	0
4	2020-05-19 19:56:24	38.44	0.02	0
5	2020-05-19 19:56:25	27.82	0.03	0
6	2020-05-19 19:56:27	42.72	0.04	0
7	2020-05-19 19:56:28	50.24	0.05	0.01
8	2020-05-19 19:56:29	27.47	0.06	0.01
9	2020-05-19 19:56:30	27.87	0.07	0.01
10	2020-05-19 19:56:32	38.99	0.08	0.01
11	2020-05-19 19:56:33	37.92	0.09	0.01
12	2020-05-19 19:56:34	53.11	0.1	0.01
13	2020-05-19 19:56:36	51.11	0.12	0.01
14	2020-05-19 19:56:37	42.21	0.13	0.01
15	2020-05-19 19:56:38	43.17	0.14	0.01
16	2020-05-19 19:56:39	26.24	0.15	0.01
17	2020-05-19 19:56:41	43.7	0.16	0.02



AGENDA:

- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y OBJETIVOS
- INTRODUCCIÓN
- MATERIALES Y METODOLOGÍA
- DISEÑO DEL MEDIDOR
- ANÁLISIS DE RESULTADOS
- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



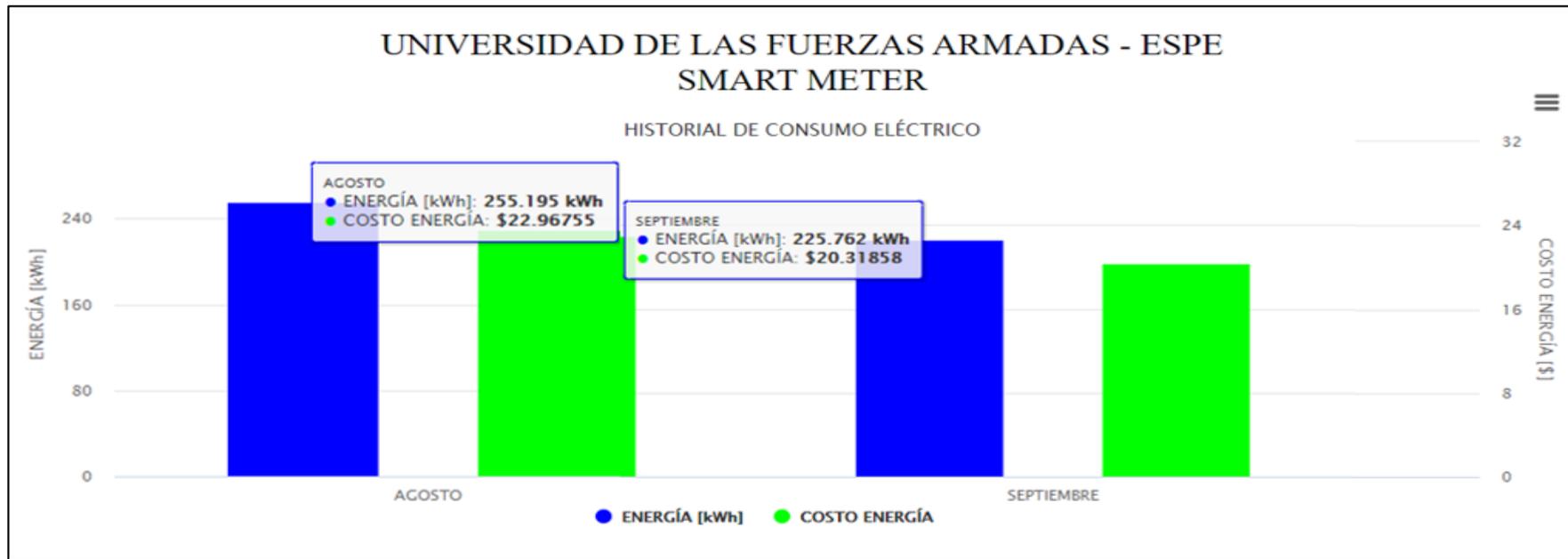
ANÁLISIS DE RESULTADOS

Las lecturas se realizaron en intervalos de tiempo iguales en un domicilio de la ciudad de Quito el cual cuenta con un departamento para 4 persona, la mitad del tiempo sin mostrar al usuario la plataforma de visualización y control, el resto del tiempo se facilitó las herramientas del prototipo para la visualización del consumo, además al emplear el tomacorriente inteligente como forma de control, se obtuvo un ahorro de energía y este se refleja tanto kWh como en costo de la energía.

VISUALIZACIÓN	ENERGÍA (kWh)	COSTO (\$)
AGOSTO	255.195 kWh	\$ 22.96
SEPTIEMBRE	225.762 kWh	\$ 20.31



ANÁLISIS DE RESULTADOS

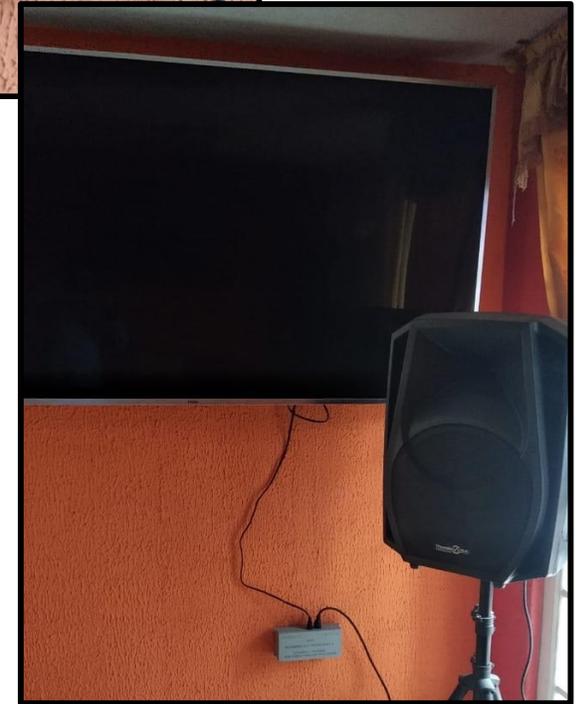


La figura muestra gráficamente el consumo representado en dólares dividido en meses, similar a las planillas que emite la empresa eléctrica para tener un control con fines ahorrativos, ahí se evidencia que mientras el usuario tuvo acceso a la plataforma de visualización, tomó medidas ahorrativas pues se evidencia una diferencia de \$2.65 reflejado en el valor final.



TOMACORRIENTE INTELIGENTE (GESTIÓN Y CONTROL)

El tomacorriente inteligente está programado para aislar equipos que permanecen conectados y tienen un mínimo consumo contribuyendo al ahorro en el domicilio, como se evidencia en los valores monetarios indicados anteriormente, pues a partir de las 23:00 hasta las 6:00 el tomacorriente inteligente desconecta de manera automática equipos como televisores, equipos de sonido, cargadores de celulares y laptops, ya que según el estilo de vida del usuario a esas horas estos equipos no son utilizados, adicionalmente tiene la función de desconectar y conectar el tomacorriente a la hora que el usuario desee.



AGENDA:

- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y OBJETIVOS
- INTRODUCCIÓN
- MATERIALES Y METODOLOGÍA
- DISEÑO DEL MEDIDOR
- ANÁLISIS DE RESULTADOS
- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



CONCLUSIONES

- Una correcta calibración de los sensores de las variables eléctricas: voltaje (V) y corriente (I), en conjunto con los circuitos que acondicionan su señal en los rangos de trabajo de la tarjeta de desarrollo Raspberry Pi, garantizan la precisión y exactitud del medidor inteligente.
- Para el monitoreo y control del sistema se utilizó diferentes protocolos de comunicación como TCP/IP y HTML, los cuales se encargan del envío y recepción de datos entre el usuario y el medidor inteligente, estos protocolos constituyen uno de los pilares fundamentales de Internet, pero también se utilizan en redes locales.
- La comunicación entre los diferentes lenguajes de programación es factible ya que son de código abierto, estructurado de la siguiente manera: Lectura y procesamiento de datos en Python, almacenamiento de información en la base de datos en PHP, consulta a través de formularios en protocolo de comunicación HTML, finalmente muestra de gráficos dinámicos e intuitivos en lenguaje de programación JAVA SCRIPT.



CONCLUSIONES

- El escalamiento de los gráficos se ajusta automáticamente de acuerdo con los valores registrados por el medidor inteligente, juntamente con un historial previo al lugar de instalación que definirán rangos de consumo de energía eléctrica bajo, moderado y excesivo.
- Los datos obtenidos por medio del medidor inteligente permiten al usuario la gestión, monitoreo y control del consumo de energía eléctrica, ya que estos se registran, procesan y almacenan en una base de datos mediante un servidor web local Xampp en tiempo real, permitiendo realizar consultas sobre el consumo a nivel domiciliario, las cuales se llevan a cabo a través de las pantallas dinámicas e intuitivas del medidor inteligente.



CONCLUSIONES

- La visualización se realiza en diferentes intervalos de tiempo diaria o mensual, también se clasifican en tres tipos de consulta: estadístico con información exacta de hora, fecha y valor en energía consumida, denotando características como consumos altos o excesivos; gráfico en forma de semaforización la cual incentiva el moderado o bajo consumo de energía eléctrica; historial monetario esta última asemejándose al sistema de facturación actual de parte de las empresas eléctricas mostrando el consumo en energía (kWh), como su equivalente en dólares, todo esto a través de la plataforma IoT.
- Si se requiere un estudio más detallado, las páginas web desarrolladas en lenguaje de programación JAVA SCRIPT y PHP ofrecen la opción de descarga de información almacenada en la base de datos en formatos CVS, XML, etc.



CONCLUSIONES

- El gráfico estadístico proporciona información de la curva de consumo de energía eléctrica a nivel domiciliario, en la cual se puede apreciar picos de consumo altos, moderados y bajos, en el transcurso de las 18H00 horas hasta 22H00 horas existe la mayor demanda de consumo, esta información ayuda al usuario a ser responsable con el sistema y tomar decisiones para la optimización del recurso energético.
- El control implementado aísla equipos que quedan conectados a la red eléctrica domiciliaria en Stand-by y tienen un consumo que si bien es mínimo representa un desperdicio de energía eléctrica ya que estos no son desconectados como pueden ser equipos de sonido, televisiones, cargadores de celular y computadora ubicados generalmente en dormitorios o salas de estudio, es aquí donde el tomacorriente inteligente realiza una desconexión de los mismos en las horas que no son utilizados.



RECOMENDACIONES

- La instalación del equipo debe tener cobertura constante de internet para realizar las consultas a través del servidor web en tiempo real, ya que al existir un corte mostrara el último resultado obteniendo lecturas con menos precisión.
- Calibrar de manera correcta los sensores y circuitos acondicionadores para mejorar la precisión del medidor inteligente, los datos de calibración se encuentran en el datasheet otorgado por el fabricante.
- Implementar el sistema operativo de la Raspberry en una tarjeta microSD mínimo de 16Gb clase 10 para evitar saturación de memoria y optimizar velocidad de escritura de datos.
- Coordinar los horarios del tomacorriente inteligente para optimizar el ahorro energético, es decir; desconectar equipos el mayor tiempo posible en el cual no sea imprescindible su uso.

