



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN DISPOSITIVO DE MONITOREO DE LOS PARÁMETROS
ASOCIADOS AL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN UNA VIVIENDA, CON ACCESO Y CONTROL
MEDIANTE UNA RED DE ÁREA LOCAL**

Freddy Alejandro Lorenti García

Asesorado por la Inga. Ingrid Rodríguez de Loukota

Guatemala, noviembre de 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN DISPOSITIVO DE MONITOREO DE LOS PARÁMETROS
ASOCIADOS AL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN UNA VIVIENDA, CON ACCESO Y CONTROL
MEDIANTE UNA RED DE ÁREA LOCAL**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

FREDDY ALEJANDRO LORENTI GARCÍA
ASESORADO POR LA INGA. INGRID RODRÍGUEZ DE LOUKOTA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO EN ELECTRÓNICA

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
VOCAL V	Br. Carlos Enrique Gómez Donis
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADORA	Inga. Ingrid Salomé Rodríguez de Loukota
EXAMINADOR	Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar
EXAMINADOR	Ing. Marvin Marino Hernández Fernández
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN DISPOSITIVO DE MONITOREO DE LOS PARÁMETROS ASOCIADOS AL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN UNA VIVIENDA, CON ACCESO Y CONTROL MEDIANTE UNA RED DE ÁREA LOCAL

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha julio de 2017.



Freddy Alejandro Lorenti García

Guatemala 11 de julio de 2018

Ingeniero
Julio Cesar Solares Peñate
Coordinador del Área de Electrónica
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Apreciable Ingeniero Solares.

Me permito dar aprobación al trabajo de graduación titulado "**Diseño e implementación de un dispositivo de monitoreo de los parámetros asociados al consumo de energía eléctrica en una vivienda, con acceso y control mediante una red de área local**", del señor **Freddy Alejandro Lorenti García**, por considerar que cumple con los requisitos establecidos.

Por tanto, el autor de este trabajo de graduación y, yo, como su asesora, nos hacemos responsables por el contenido y conclusiones del mismo.

Sin otro particular, me es grato saludarle.

Atentamente,



Inga. Ingrid Rodríguez de Loukota
Colegiada 5,356
Asesora

Ingrid Rodríguez de Loukota
Ingeniera en Electrónica
colegiado 5356

Guatemala, 3 de octubre de 2018

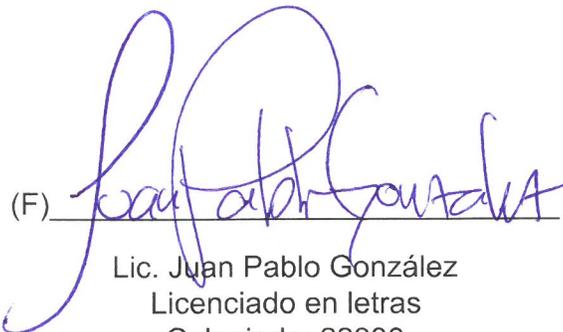
Unidad de Lingüística
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

A quien interese:

Por este medio extiendo constancia a la Unidad de Lingüística, de la Facultad de Ingeniería, que se ha realizado satisfactoriamente la revisión y corrección de estilo del trabajo de graduación de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica titulado: Diseño e implementación de un dispositivo de monitoreo de los parámetros asociados al consumo de energía eléctrica en una vivienda, con acceso y control mediante una red de área local; del estudiante: Freddy Alejandro Lorenti García, con número de carné 201212627 y número de correlativo H-322-18.

Para los requerimientos que su despacho necesite.

Atentamente,

(F) 
Lic. Juan Pablo González
Licenciado en letras
Colegiado: 22930

Juan Pablo González de León
LICENCIADO EN LETRAS
COL. 22930



REF. EIME 51. 2018.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen el Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante: **FREDDY ALEJANDRO LORENTI GARCÍA** titulado: **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN DISPOSITIVO DE MONITOREO DE LOS PARÁMETROS ASOCIADOS AL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN UNA VIVIENDA, CON ACCESO Y CONTROL MEDIANTE UNA RED DE ÁREA LOCAL,** procede a la autorización del mismo.


Ing. Otto Fernando Andrino González



GUATEMALA, 2 DE AGOSTO 2018.

Universidad de San Carlos
de Guatemala

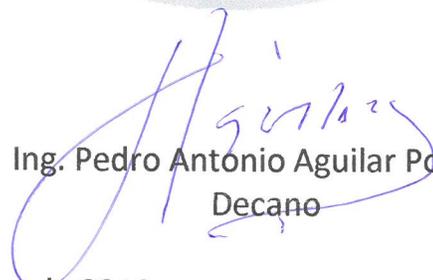


Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 477.2018

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica al Trabajo de Graduación titulado: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN DISPOSITIVO DE MONITOREO DE LOS PARÁMETROS ASOCIADOS AL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN UNA VIVIENDA, CON ACCESO Y CONTROL MEDIANTE UNA RED DE ÁREA LOCAL”** presentado por el estudiante universitario: **Freddy Alejandro Lorenti García** y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano



Guatemala noviembre de 2018.

/echm

ACTO QUE DEDICO A:

Mis padres

Freddy Lorenti y Mara García. Por el apoyo incondicional brindado, ser la fuente de amor más grande en mi vida y por haber estado conmigo en cada momento importante.

Mi hermana

Vivian Lorenti. Por creer siempre en mí y compartir toda una vida.

Mis abuelos

Esteban Lorenti, María Luisa Marroquín y Hortencia Ruano. Por regalarme parte de su sabiduría y experiencias.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por prepararme para la vida.
Facultad de Ingeniería	Por darme la oportunidad de crecer y las herramientas para ser un buen profesional.
Departamento de Matemáticas	Por formarme laboralmente y darme amigos invaluable
Lorena Contreras	Por ser una luz en mi vida. Por todo lo compartido. Por ser el apoyo más incondicional y sincero que jamás he tenido.
Ing. Estuardo Martínez	Por ser una persona increíble y una gran influencia en mi vida.
Inga. Ingrid de Loukota	Por su asesoría en la realización de este trabajo de graduación. Por su apoyo y gran corazón.
Amigos y compañeros de proyectos	Alejandro López e Irving Cosillo. Por toda la paciencia, entrega y amistad.
Mis amigos	Oscar Pérez, Ana Lucía Martínez, Celeste Martínez, Andrés Tejeda. Por las incontables experiencias que fueron y que vendrán.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XIII
OBJETIVOS	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
1. CONCEPTOS FUNDAMENTALES	1
1.1. Electricidad	1
1.2. Voltaje	1
1.2.1. Voltaje directo	1
1.2.2. Voltaje alterno	2
1.3. Corriente	3
1.3.1. Corriente directa	3
1.3.2. Corriente alterna	3
1.4. Ley de Ohm	4
1.5. Potencia	4
1.6. Energía	5
1.7. Sistema monofásico	6
1.7.1. Sistema monofásico de tres hilos	6
1.8. Redes informáticas	6
1.8.1. Tipos de redes informáticas	7
1.8.1.1. Red de área local	7
1.8.1.2. Red de área metropolitana	8
1.8.1.3. Red de área amplia	8

1.8.2.	Topologías de red.....	8
1.8.2.1.	Topología de bus	9
1.8.2.2.	Topología de estrella	9
1.8.2.3.	Topología de anillo	10
1.9.	Modelo OSI	11
1.10.	Direcciones de red	11
1.11.	Protocolo DHCP	12
1.12.	Página web	12
1.12.1.	Lenguaje HTML.....	13
1.12.2.	Lenguaje PHP	14
2.	TEORÍA DE LOS COMPONENTES ELECTRÓNICOS DEL DISPOSITIVO.....	17
2.1.	Transformador.....	17
2.1.1.	Transformador de voltaje.....	18
2.1.2.	Transformador de corriente	19
2.2.	Sensor de corriente	20
2.2.1.	Sensor invasivo	21
2.2.2.	Sensor no invasivo	22
2.3.	Amplificador operacional	22
2.3.1.	Amplificador inversor	24
2.4.	Microcontrolador	25
2.4.1.	Programación del microcontrolador	26
2.4.2.	Protocolo de comunicación asíncrona	27
2.4.3.	Convertor análogo digital	27
2.5.	Ordenador de placa reducida	28
2.5.1.	Aplicaciones	28
2.5.1.1.	Procesamiento de datos	29
2.5.1.2.	Servidor local	29

3.	DISPOSITIVO DE ADQUISICIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS....	31
3.1.	Fase de adquisición de datos	31
3.1.1.	Sensor de corriente.....	31
3.1.2.	Circuito de conversión de corriente a voltaje	32
3.1.3.	Digitalización de datos por microcontrolador	35
3.2.	Fase de procesamiento de datos.....	37
3.2.1.	Procesamiento de datos con Raspberry Pi 2,0	38
3.2.1.1.	Conexión con el microcontrolador	39
3.2.1.2.	Cálculo de parámetros	39
3.2.1.3.	Archivo de datos en tiempo real	41
3.2.1.4.	Historial mensual.....	41
4.	INTERFAZ DE ACCESO Y CONTROL	43
4.1.	Descripción de la interfaz.....	43
4.2.	Inicio	44
4.3.	Monitoreo	44
4.4.	Historial de consumos	47
5.	FUNCIONAMIENTO E IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO	49
5.1.	Diseño final.....	49
5.1.1.	Placa de circuito impreso	49
5.1.2.	Diagrama de bloques	49
5.1.2.1.	Fase de adquisición de datos.....	50
5.1.2.2.	Fase de procesamiento de datos	52
5.1.2.3.	Interfaz de visualización	53
5.1.3.	Requisitos de operación de la red LAN.....	54
5.2.	Interfaz de usuario	55
5.2.1.	Inicio	55
5.2.2.	Monitoreo en tiempo real	55

5.2.3.	Historial de consumos	57
5.3.	Implementación	58
5.3.1.	Mediciones en suministro general	60
5.3.2.	Mediciones en interruptor de iluminación.....	61
5.3.3.	Mediciones en interruptor de fuerza	62
CONCLUSIONES		63
RECOMENDACIONES		65
BIBLIOGRAFÍA		67
APENDICES		71

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Voltaje directo en el tiempo	2
2.	Voltaje alterno en el tiempo	2
3.	Topología de bus	9
4.	Topología de estrella.....	10
5.	Topología de anillo.....	10
6.	Código en HTML.....	14
7.	Código en PHP	15
8.	Transformador elemental	18
9.	Transformador monofásico comercial	19
10.	Transformador de corriente.....	20
11.	Sensor de corriente invasivo	21
12.	Sensor no invasivo de núcleo partido.....	22
13.	Símbolo del amplificador operacional ideal	23
14.	Diagrama interno del amplificador operacional ideal	23
15.	Amplificador inversor.....	24
16.	Esquema general del microcontrolador	25
17.	Ordenador Raspberry Pi	28
18.	CT de núcleo partido PZCT-02.....	32
19.	CT con resistencia de carga.....	33
20.	Amplificador operacional LM358	34
21.	Amplificador inversor.....	35
22.	Microcontrolador Arduino Nano	36
23.	Ordenador Raspberry Pi 2.0.....	38

24.	Menú principal	45
25.	Interfaz inicial de monitoreo	45
26.	Visualización en tiempo real	46
27.	Lista desplegable de selección	47
28.	Visualización del historial de consumos	48
29.	Placa de adquisición de datos	50
30.	Diagrama final	51
31.	Diagrama de adquisición de datos	51
32.	Diagrama de procesamiento de datos	52
33.	Mapa web de la interfaz.....	53
34.	Requisitos de red.....	54
35.	Página de inicio	56
36.	Página de monitoreo.....	56
37.	Monitor de consumo general en tiempo real	57
38.	Página de historial de consumos	58
39.	Tablero de interruptores.....	59
40.	Lectura inicial.....	59
41.	Lectura final	60
42.	Medición final en suministro general	60
43.	Medición final en interruptor de iluminación	61
44.	Medición final en interruptor de fuerza	62

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Amperios
USB	Bus serial universal
GB	Gigabyte
Hz	Hertz
CSS	Hojas de estilo en cascada
IEEE	Instituto de ingenieros eléctricos y electrónicos
KB	Kilobytes
K Ω	Kilo ohm
KW	Kilowatts
KWh	Kilowatts hora
C	Lenguaje de programación
Mbps	Megabits por segundo
MHz	Megahertz
mA	Miliamperios
Mm	Milímetros
nm	Nanómetro
Ω	Ohmios
ISO	Organización internacional de estandarización
PCB	Placa de circuito impreso
Q	Quetzales
UART	Receptor emisor asíncrono universal
s	Segundos
VRMS	Voltaje cuadrático medio

V

Voltios

W

Watts

GLOSARIO

Ancho de banda	Rango de frecuencias en el que puede trabajar un canal de comunicación.
Baudio	Tasa de transmisión de datos en un sistema digital.
Bobina	Componente pasivo que almacena energía en forma de campo magnético.
Cable conductor	Objeto que permite el paso de la corriente eléctrica sin presentar mayor oposición.
Campo magnético	Magnitud vectorial que representa la intensidad de fuerza magnética.
Carga eléctrica	Propiedad física de algunas partículas subatómicas que se manifiesta mediante fuerzas de atracción y repulsión entre ellas, a través de campos magnéticos.
Componentes activos	Conocidos como semiconductores, realizan diversas funciones cuando se configuran con componentes pasivos.
Componente pasivo	Cumplen funciones sencillas en circuitos eléctricos y electrónicos.

Electrón	Partícula ligada al núcleo de un átomo que posee carga eléctrica negativa.
Espira	Conductor cerrado plano que se enrolla sobre un núcleo para formar una bobina magnética.
Frecuencia	Magnitud que mide el número de repeticiones por unidad de tiempo de una señal periódica.
Ganancia	Valor que incrementa o disminuye la magnitud de una señal analógica.
GeoGebra	Programa de matemáticas dinámicas que reúne gráficos, álgebra, etc.
Google Chrome	Explorador web de código cerrado desarrollado por Google.
Impedancia	Componente pasivo utilizado en circuitos de corriente alterna.
KiCad	Programa para diseño de diagramas esquemáticos.
Notepad ++	Editor de textos.
Potenciómetro	Resistencia variable. Posee una pieza mecánica para realizar el ajuste.

Proteus 8	Programa para diseño de diagramas esquemáticos y PCB.
Python	Lenguaje de programación.
ROM	Read Only Memory, en inglés. Memoria de lectura.
Router	Dispositivo que permite la interconexión de ordenadores en una red.
Script	Código de programación que ejecuta tareas específicas.
Tierra	Referencia de cero voltios en un circuito eléctrico o electrónico.
Tierra virtual	Nodo de circuito que se mantiene a un potencial de referencia constante, sin estar conectado directamente.
Tomacorriente	Dispositivo utilizado para energizar equipos eléctricos o electrónicos.
Topología de red	Mapa físico o lógico de una red de computadoras.
Transmisión serial	Técnica de comunicación digital que permite la utilización de un solo canal para transmitir información, enviando uno a uno los datos.

RESUMEN

En el presente trabajo de graduación se describe el diseño e implementación de un dispositivo capaz de realizar mediciones de consumo de energía eléctrica y presentar los datos de una manera fácil y amigable para el usuario final.

Primero se desarrollan todos los conceptos fundamentales sobre parámetros básicos del consumo energético, redes de computadoras y desarrollo de páginas web. Este conjunto de conocimientos es necesario para entender e interpretar de manera correcta el contexto general del trabajo.

Posteriormente se describe la teoría necesaria para comprender los componentes electrónicos utilizados en el desarrollo del dispositivo. Se explica el funcionamiento de los sensores de corriente, mediante la teoría de transformadores, y se detallan los tipos que existen. Después de esto se define el amplificador operacional y las configuraciones necesarias para diseñar circuitos. Por último, se describen generalidades de los microcontroladores y ordenadores de placa reducida, que son componentes electrónicos más complejos.

El tercer capítulo presenta el diseño completo para realizar el correcto tratamiento de la señal proveniente de los sensores de corriente. También se exponen los elementos específicos utilizados en el desarrollo del dispositivo.

En el cuarto capítulo se explica el diseño de la interfaz final para el usuario, desarrollada en lenguajes HTML y PHP. En esta interfaz el usuario

interactúa con toda la información que el dispositivo proporciona, presentándola de una manera amigable y sencilla de entender.

Por último, se explica el funcionamiento del dispositivo mediante diagramas de bloques y se establecen las consideraciones para ser implementado. Consecuentemente con esto también se presenta la implementación final del dispositivo, con los resultados obtenidos luego de ocho días de trabajo continuo.

OBJETIVOS

General

Desarrollar un dispositivo de monitoreo de los parámetros asociados al consumo de energía eléctrica en una vivienda, con acceso y control mediante una red de área local.

Específicos

1. Describir los conceptos de los parámetros asociados al consumo de energía eléctrica, teoría de redes informáticas y desarrollo de páginas web en red de área local.
2. Presentar la teoría de los componentes electrónicos utilizados en el dispositivo.
3. Diseñar el dispositivo de adquisición y procesamiento de datos, describiendo las fases y los componentes electrónicos.
4. Diseñar la interfaz de control, con acceso por página web en red de área local.
5. Documentar el funcionamiento del prototipo, aplicado a una vivienda básica, con suministro general y dos interruptores específicos: iluminación y fuerza.

INTRODUCCIÓN

La energía eléctrica es uno de los servicios básicos más importantes en cualquier vivienda. Se utiliza para generar iluminación, energizar dispositivos electrónicos, estufas, calentadores, etc. La tarifa para el cobro de la energía es establecida por el proveedor de la región y regulada por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica de Guatemala.

Para la aplicación de la tarifa en la energía consumida se utiliza un medidor electromecánico de tipo ciclométrico, reloj o digital. Este dispositivo realiza un conteo de los kilowatts por hora (KWh) consumidos del suministro de energía y luego un operador designado por el proveedor visualiza el dato directamente del contador y emite la factura por el servicio. Este proceso se realiza exclusivamente al finalizar el período de facturación que establece la empresa y solo se conocen los datos de cada fin de mes, lo cual no permite un control óptimo para el usuario.

Es de gran beneficio para la economía de una vivienda conocer periódicamente el costo de la energía, para establecer límites de gasto diarios, semanales, mensuales o anuales, y, para tener dicho control, el usuario debe realizar la medición de la misma manera que el operador de la empresa proveedora y hacer una resta con el dato actual del contador en KWh y el dato de la factura del mes anterior, para luego multiplicarlo por la tarifa establecida y de esta manera conocer cuánto se ha gastado en electricidad hasta ese momento.

Para resolver este problema se propone un dispositivo electrónico de monitoreo, que permite al usuario visualizar todos los parámetros relacionados al consumo realizado, mediante una interfaz accesible desde cualquier navegador web, en cualquier dispositivo que esté conectado a la red interna de la vivienda en donde se realiza la implementación.

1. CONCEPTOS FUNDAMENTALES

1.1. Electricidad

Es la manifestación física que involucra modificaciones en las partes más pequeñas de la materia, específicamente con el movimiento de electrones, en materiales conductores y semiconductores que generan un flujo llamado corriente y, con esto, una diferencia de potencial eléctrico llamado voltaje, que hace posible la movilidad de las cargas en la región de interés.

1.2. Voltaje

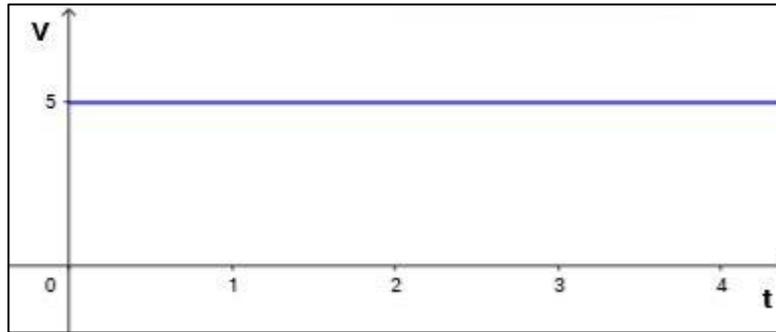
Se le llama voltaje o diferencia de potencial al cambio de energía potencial eléctrica (U), por unidad de carga (Q), que se encarga de brindar la fuerza necesaria para que cierta cantidad de electrones se movilice de un punto A a un punto B, en una región s de campo eléctrico E. La diferencia de potencial expresada en voltios está dada por la ecuación 1.1:

$$\Delta V = \frac{U_B - U_A}{Q} = - \int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{s} \quad (1.1)$$

1.2.1. Voltaje directo

El voltaje directo es aquel cuya amplitud se mantiene constante en cualquier instante del tiempo en el que se esté observando. En la figura 1 se muestra la representación gráfica en el tiempo de una señal de voltaje directo:

Figura 1. **Voltaje directo en el tiempo**

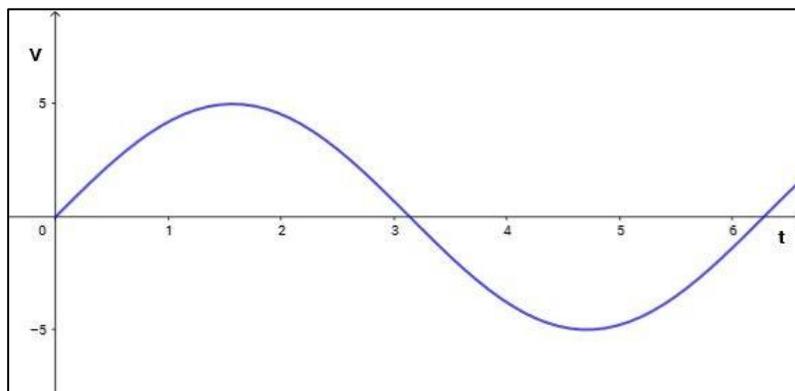


Fuente: elaboración propia, empleando Geogebra.

1.2.2. **Voltaje alterno**

Voltaje alterno es el que, por la forma en que se genera, posee variaciones en su amplitud a través del tiempo. En su forma más general posee una amplitud pico a pico estable, frecuencia definida, período, etc. En la figura 2 se muestra la representación gráfica en el tiempo:

Figura 2. **Voltaje alterno en el tiempo**



Fuente: elaboración propia, empleando Geogebra.

Para mediciones de este tipo de voltaje se utiliza el valor cuadrático medio de la señal y se le denomina V_{RMS} o voltaje eficaz. Este valor representa el mismo efecto de disipación de calor que su equivalente de voltaje directo. Para una señal senoidal es necesario conocer la amplitud máxima V_{max} y luego se aplica la ecuación 1.2 para conocer el voltaje eficaz:

$$V_{RMS} = \frac{V_{max}}{\sqrt{2}} \quad (1.2)$$

1.3. Corriente

Cuando un grupo de cargas eléctricas del mismo signo están en movimiento se dice que existe una corriente eléctrica I expresada en amperios. Esta se define como la rapidez con la que fluye la carga Q , a través de una superficie, en un diferencial de tiempo t y se representa con la ecuación 1.3:

$$I \equiv \frac{dQ}{dt} \quad (1.3)$$

1.3.1. Corriente directa

Al igual que el voltaje directo, la corriente directa es un valor que se mantiene constante a través del tiempo. Se genera por reacciones químicas de baterías, paneles solares, etc. Se utiliza en aplicaciones donde no se necesita transportar a grandes distancias, ya que la pérdida es considerable.

1.3.2. Corriente alterna

Al igual que el voltaje alterno, la corriente alterna posee variaciones en su amplitud a través del tiempo. Esta se genera a través de la transformación de cualquier energía primaria (eólica, hidráulica, solar, etc.). Se transporta

mediante líneas de alta tensión que recorren grandes distancias, partiendo de la central generadora hasta los centros de consumo (industria, viviendas, edificios, etc.).

1.4. Ley de Ohm

La corriente I que atraviesa un material es directamente proporcional a la diferencia de potencial V en este mismo, con una constante de proporcionalidad llamada resistencia. Esta es la ley de Ohm y se expresa como:

$$V = I * R \quad (1.4)$$

Los materiales comúnmente utilizados poseen cierta capacidad de oposición a la corriente eléctrica, que se traduce como resistencia R expresada en ohmios, referente a la ecuación 1.4.

1.5. Potencia

Potencia es realizar un trabajo en un diferencial de tiempo. La potencia eléctrica se genera al convertir energía de una forma a otra en un diferencial de tiempo. En otras palabras, en un circuito eléctrico, la potencia representa la pérdida de energía que le ocasiona al sistema la carga conectada.

En una batería se tiene energía potencial química que es producto de la reacción adentro de ella y que da origen a una corriente, cuando se coloca una resistencia en sus terminales. Cuando la resistencia aplica su oposición al paso de la corriente la energía térmica empieza a disiparse. Esto quiere decir que la capacidad de la batería se pierde en función de la corriente que consume el

circuito, y la potencia de cada resistencia es lo que le cuesta a la batería mantenerla.

Con la potencia P en watts entregada a, o absorbida por, una carga puede encontrarse conociendo el voltaje V y la corriente I con la ecuación 1.5:

$$P = V * I \quad (1.5)$$

1.6. Energía

Energía eléctrica se refiere a la potencia P que consume una carga, en un intervalo de tiempo t . Este intervalo debe ser el suficiente para realizar la conversión de energía y que la carga pueda funcionar correctamente. La energía W en Joules se expresa mediante la ecuación 1.6:

$$W = P * t \quad (1.6)$$

Para medir la energía consumida en una vivienda se utiliza el medidor de kilowatts-hora o vatímetro. Este dispositivo se coloca antes del tablero de distribución de potencia del sitio en donde se instala. El precio del kilowatt-hora consumido depende de la tarifa establecida por la distribuidora local. En la Ciudad Capital de Guatemala la distribución de energía eléctrica la realiza la Empresa Eléctrica de Guatemala (EEGSA) y la tarifa social¹ establecida por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica CNEE es de 1,0799 Q/KWh aplicada a consumos de 0 a 100W, y la no social de 1,1137 Q/KWh sobre los 100W.

¹ *Ajuste tarifario para trimestre de febrero a abril 2018.*
<http://www.cnee.gob.gt/wp/?p=3523>. Consulta: 17 de febrero de 2018.

1.7. Sistema monofásico

Es un sistema de producción, distribución y consumo de energía eléctrica formado por una única corriente alterna o fase, por lo tanto, el voltaje varía de la misma forma. Este tipo de distribución se utiliza para cargas sencillas como iluminación, calefacción y motores pequeños.

Los parámetros de voltaje que entrega el sistema dependen del país o región, siendo 220V o 110V, y una frecuencia de 50 o 60Hz. En Guatemala se utilizan 110V con una frecuencia de 60Hz. Los conductores por donde se transporta la energía se denominan líneas de tensión o hilos.

1.7.1. Sistema monofásico de tres hilos

En las viviendas de la ciudad de Guatemala se suministran sistemas monofásicos de tres hilos. Estos poseen dos líneas de tensión L_1 y L_2 , y una línea neutra N . La diferencia de potencial entre los hilos L_1 y L_2 es de 220V, mientras que la diferencia entre L_1 o L_2 y N es de 110V.

1.8. Redes informáticas

Se refiere al conjunto de equipos informáticos que se interconectan entre sí, a través de canales de comunicación para compartir datos. En las redes existen diversos equipos que cumplen funciones específicas como servidores, *routers*, *switches*, ordenadores, etc. Cada equipo pertenece a un grupo definido por los modelos teóricos de red como el modelo OSI y el TCP/IP.

Las redes informáticas son universales, por lo tanto existen protocolos para comunicación, enrutamiento, transporte, direccionamiento, que velan por el

correcto funcionamiento de la red y que el mensaje a transmitir llegue correctamente al destino especificado.

1.8.1. Tipos de redes informáticas

A medida que una red informática empieza a crecer es necesario jerarquizar y agrupar todos los elementos de la red. Esto se realiza para tener un mejor control para regular el tráfico de red, asignar restricciones, mejorar la defensa a ataques externos, distribuir correctamente las direcciones de red, etc. Las redes más importantes se describen a continuación.

1.8.1.1. Red de área local

Una red de área local (LAN por sus siglas en inglés) es la red más sencilla en la jerarquía de redes. Se implementa en lugares donde basta con un equipo de distribución de red para suplir a todos los usuarios. En otras palabras, se implementa en lugares como casas, oficinas, etc. Estas redes son privadas y las direcciones IP pueden asignarse a conveniencia.

Por lo general, cuando se habla de redes LAN se describe una interconexión por medio de enlaces físicos, o sea cables UTP. Cuando se posee un dispositivo que transmite señales inalámbricas, entonces se dice que es una red de área local inalámbrica (WLAN, por sus siglas en inglés). Esta red es muy ventajosa, ya que amplía el número de dispositivos que se pueden conectar a la red.

1.8.1.2. Red de área metropolitana

Red de banda ancha que comprende un área más extensa, proporcionando múltiples servicios y la interconexión de múltiples redes pequeñas como redes LAN. Este tipo de red ha adoptado un estándar que equivale a la norma IEEE. Las redes MAN pueden ser públicas o privadas.

Ofrecen baja latencia, por lo que la distribución de red puede hacerse de manera eficiente y con esto las redes LAN pueden trabajar de una manera segura. La comunicación en estas redes se realiza con medios como cobre, fibra óptica y microondas.

1.8.1.3. Red de área amplia

Este tipo de red también conecta varias redes locales entre sí, pero la principal diferencia con la red MAN es que los miembros de la red de área amplia (WAN, por sus siglas en inglés) no se encuentran en una misma ubicación física. Por lo tanto, esta red se implementa para transmisiones de larga distancia y también puede comunicarse con redes MAN.

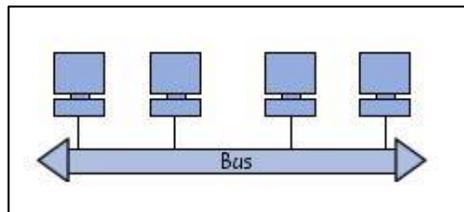
1.8.2. Topologías de red

En cualquier tipo de red se dice que todos los elementos están conectados entre sí. Para que sea posible esta conexión se debe seguir un mapa físico o arreglo espacial de red llamado topología física. La topología lógica es la verdadera razón de ser de la anterior, ya que esta define la manera en que viajarán los datos y cómo se establecerá la comunicación. Y ya que se busca la manera más eficiente para que la red sea fluida, existen varios tipos de topologías.

1.8.2.1. Topología de bus

Todos los equipos están conectados a la misma línea de comunicación, por lo tanto, es la manera más simple de organizar una red. La desventaja principal radica en la vulnerabilidad de la conexión en común, entonces, si un tramo de la red deja de funcionar, toda la red cae.

Figura 3. Topología de bus



Fuente: VIALFA, Carlos. *Topología de bus*. <http://es.ccm.net/contents/256-topologia-de-red>.

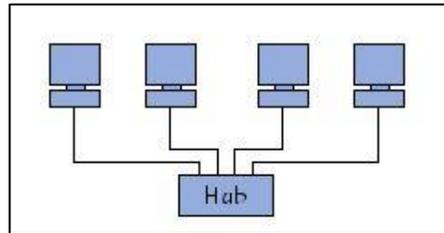
Consulta: 2 de marzo de 2018.

1.8.2.2. Topología de estrella

Los elementos de la red están conectados a un concentrador, por lo que todos los equipos pueden comunicarse entre sí, de una manera más ordenada, ya que el concentrador regula toda la información y distribuye los paquetes según sean solicitados. A diferencia de la topología de bus, si un canal de comunicación falla, la red sigue en línea.

La principal desventaja recae en el nodo central, ya que todo el tráfico de red pasa por este y, mientras más dispositivos existan, más tráfico se generará, haciendo que el concentrador trabaje más lento, según sus capacidades.

Figura 4. **Topología de estrella**

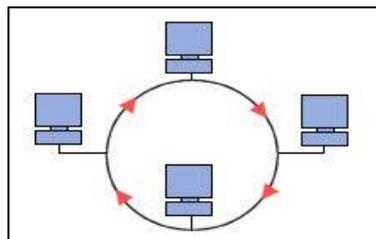


Fuente: VIALFA, Carlos. *Topología de estrella*. <http://es.ccm.net/contents/256-topologia-de-red>.
Consulta: 2 de marzo de 2018.

1.8.2.3. **Topología de anillo**

En esta topología los elementos de la red crean un bucle cerrado de conexión, por lo que cada uno posee entrada y salida únicas de anillo. En este tipo de comunicación los ordenadores poseen un turno para poder comunicarse y, cuando envían un paquete, este va de salto en salto por cada ordenador, hasta que llega al receptor indicado. A medida que se incrustan más dispositivos en la red, la transmisión de datos es más ineficiente, porque los paquetes deben realizar más saltos hasta llegar a su destino.

Figura 5. **Topología de anillo**



Fuente: VIALFA, Carlos. *Topología de anillo*. <http://es.ccm.net/contents/256-topologia-de-red>.
Consulta: 2 de marzo de 2018.

1.9. Modelo OSI

El modelo de Interconexión de Sistemas Abiertos (OSI, por sus siglas en inglés) es una referencia de lineamiento funcional para tareas de comunicaciones, creado por la ISO con el propósito de abrir la comunicación entre diferentes sistemas sin recurrir a cambios de lógica. Este modelo se divide en 7 capas que detallan el proceso de transmisión de la información. Estas capas son:

- Capa física
- Capa de enlace de datos
- Capa de red
- Capa de transporte
- Capa de sesión
- Capa de presentación
- Capa de aplicación

1.10. Direcciones de red

En una red completa existen diversos dispositivos que realizan una función en específico. Estos dispositivos necesitan conocer la posición exacta en donde se encuentran, por lo que se asigna una etiqueta que será irrepetible en esa red, específicamente. A esta etiqueta se le conoce como dirección IP, la cual es un conjunto de cuatro números del 0 al 255, separados por puntos.

Otro elemento importante en la dirección de red es la máscara de red, que es una combinación de bits utilizada para ayudar a identificar la dirección de red y la dirección del nodo. Por lo tanto, un sistema puede identificar si el paquete a enviar está dentro o fuera de la subred en la que está conectado.

Existen dos tipos de direcciones IP: públicas y privadas. Las direcciones públicas se utilizan para que un equipo se identifique en Internet, y las direcciones privadas para redes internas.

1.11. Protocolo DHCP

El protocolo de configuración dinámica de host (DHCP, por sus siglas en inglés) es un protocolo de cliente/servidor que asigna direcciones IP, puerta de enlace y máscara de subred a todo equipo que posea activada la opción. Ya que el servidor asigna automáticamente las direcciones, la red puede administrarse de forma centralizada, y también reduce los errores de configuración causados por configuraciones manuales. Por lo tanto, siempre existen direcciones disponibles cuando un equipo se conecta, manteniendo óptima la red, sin direcciones que no se estén utilizando.

1.12. Página web

Es un documento electrónico desarrollado, por lo general, en lenguaje HTML, para visualizar textos, imágenes, videos, sonido, etc. Una página web puede estar alojada en un servidor local o remoto. A cada página le corresponde un localizador uniforme de recursos o URL, que es una secuencia única de caracteres y se utiliza para acceder al contenido deseado, por ejemplo: <https://portal.ingenieria.usac.edu.gt/>. Cuando una página posee siempre el mismo contenido se le denomina estática y cuando el contenido depende de la información introducida por el usuario, se le denomina dinámica.

Para visualizar una página web es necesario un navegador web, el cual se encarga de traducir el lenguaje en el que fue desarrollada y mostrar todo lo que el documento electrónico pretende ofrecer. Este accede a la página mediante la

URL o la dirección IP, ya sea pública o privada. Comercialmente, los navegadores web son aplicaciones gratuitas y pueden ser instalados tanto en ordenadores como en dispositivos móviles. Los navegadores más comunes son Internet Explorer, Google Chrome, Mozilla Firefox, Opera, Safari, etc.

Para desarrollar una página web se utilizan diversos lenguajes que inclusive pueden ser combinados para realizar funciones más específicas. Entre los lenguajes clásicos se encuentran HTML, PHP, JavaScript, Ajax, etc. A continuación se describen los lenguajes HTML y PHP.

1.12.1. Lenguaje HTML

El lenguaje de marcas de hipertexto (HTML, por sus siglas en inglés) fue concebido como un conjunto de etiquetas estructurales y semánticas apropiadas para realizar documentos relativamente simples. Debido a su gran utilidad, HTML empezó a expandirse e integrar elementos dinámicos que hacen las páginas más llamativas e interactivas para el usuario. Los documentos HTML son archivos de texto plano creados a partir de cualquier editor de texto, pero también existen editores más avanzados que combinan diversas herramientas para un desarrollo más completo.

A través de los años el lenguaje HTML ha sido modificado para suplir las necesidades de la época. Actualmente la versión más reciente de este es HTML5, la cual usa nuevas etiquetas que no son reconocidas por navegadores desactualizados.

Figura 6. Código en HTML

```
1 <html>
2
3 <head>
4   <title>Ejemplo en HTML</title>
5 </head>
6
7 <body>
8   DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN DISPOSITIVO DE MONITOREO
9   DE LOS PARÁMETROS ASOCIADOS AL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA
10  EN UNA VIVIENDA, CON ACCESO Y CONTROL MEDIANTE UNA RED DE ÁREA LOCAL
11 </body>
12
13 </html>
```

Fuente: elaboración propia, empleando Notepad++.

1.12.2. Lenguaje PHP

Lenguaje de propósito general de código del lado del servidor que puede ser integrado directamente en el lenguaje HTML. Fue diseñado originalmente para el desarrollo de páginas dinámicas y puede ser integrado con bases de datos. Este código es invisible en el navegador web, por lo que la seguridad en la codificación de páginas es alta.

La diferencia entre HTML y PHP se expresa en la capacidad de PHP para realizar programación orientada a objetos, por lo que puede existir procesamiento de datos en los *scripts* creados. Esta diferencia puede generar la desventaja de lentitud en la ejecución de las hojas electrónicas.

Figura 7. Código en PHP

```
1 <html>
2
3 <head>
4 <title>Ejemplo en PHP</title>
5 </head>
6
7 <body>
8 <?php
9     if (TesisFinalizada == TRUE){
10        echo "¡Graduación!";
11    } else {
12        echo "Terminar la tesis";
13    }
14 >?>
15 </body>
16
17 </html>
```

Fuente: elaboración propia, empleando Notepad++.

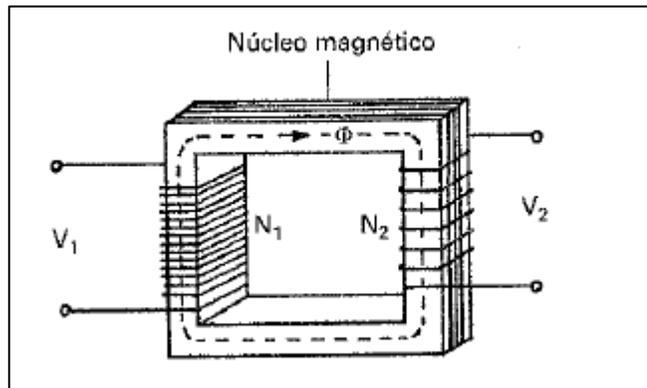
2. TEORÍA DE LOS COMPONENTES ELECTRÓNICOS DEL DISPOSITIVO

2.1. Transformador

Considerado como una máquina eléctrica estática, utilizada para variar valores de voltaje y corriente sin alterar la potencia y frecuencia de la señal de una forma significativa. Posee dos bobinados llamados primario y secundario, los cuales se arrollan en un núcleo magnético común. Estos bobinados son los encargados de elevar o reducir la magnitud deseada, utilizando el primario como entrada y el secundario como salida. Debido al efecto de inducción electromagnética, los embobinados no deben estar conectados entre sí para realizar la función con que fueron creados. Cabe destacar que un transformador funciona exclusivamente con corriente alterna, de esta forma la transferencia de energía eléctrica se realiza mediante el campo magnético variable presente en el núcleo del transformador.

Las espiras de un transformador juegan el papel más importante en la elevación o reducción de la tensión o corriente. Cuando el número de espiras del primario es igual al del secundario, la magnitud de salida es aproximadamente igual a la aplicada en la entrada. En la figura 8 se presenta un transformador elemental con V_1 como la tensión del primario, V_2 como tensión del secundario, N_1 representando el número de espiras del primario y N_2 el número de espiras del secundario.

Figura 8. **Transformador elemental**



Fuente: ALCALDE, Pablo. *Electrotecnia*. P. 201.

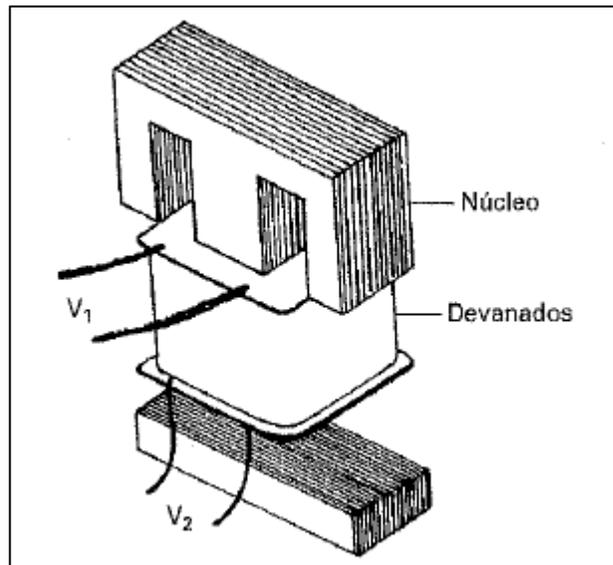
2.1.1. **Transformador de voltaje**

Permite elevar o disminuir la tensión aplicada en el devanado primario. El flujo magnético producido por el primario es proporcional a la tensión aplicada en la bobina y al número de espiras. La tensión inducida en el secundario es proporcional al flujo en común y a su número de espiras. Por lo tanto, mientras el número de espiras del secundario sea mayor a las del primario, el voltaje aplicado se elevará y viceversa. Para determinar la relación de transformación se recurre a la ecuación 2.1:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad (2.1)$$

Donde, al igual que en la figura 8, V_1 es la tensión del primario, V_2 tensión del secundario, N_1 es el número de espiras del primario y N_2 el número de espiras del secundario. Generalmente, los transformadores comerciales tienen la forma presentada en la figura 9:

Figura 9. **Transformador monofásico comercial**



Fuente: ALCALDE, Pablo. *Electrotecnia*. P. 201.

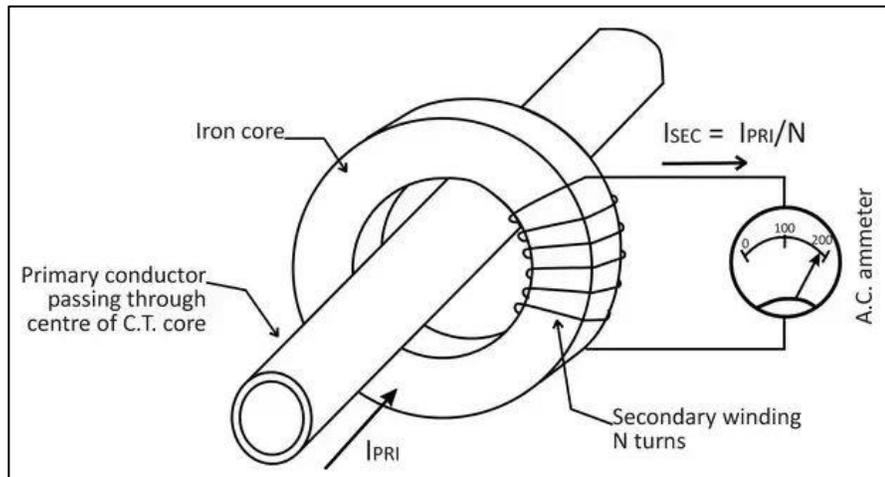
2.1.2. **Transformador de corriente**

A diferencia del transformador de voltaje, este tipo de transformador no poseen bobina de entrada, ya que utilizan el principio de inducción magnética en el núcleo del transformador, por donde atraviesa el cable conductor de corriente, cumpliendo la función de primario para así generar una nueva corriente en el devanado de salida, que también depende del número de espiras que este posea. Para conocer la relación de corriente de entrada I_1 y salida I_2 dependiente del número de espiras N , se utiliza la ecuación 2.2:

$$I_2 = \frac{I_1}{N} \quad (2.2)$$

En la figura 10 se presenta el ejemplo de un transformador de corriente:

Figura 10. Transformador de corriente



Fuente: MACKENZIE, Ian. *What is a current transformer*. <https://www.quora.com/What-is-a-current-transformer>. Consulta: 3 de marzo de 2018.

2.2. Sensor de corriente

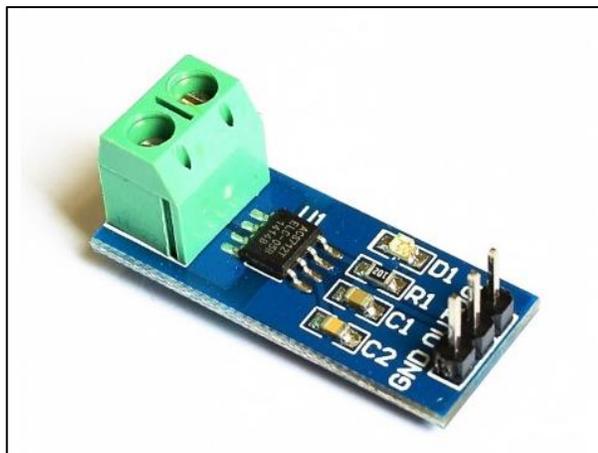
Basado en el principio del transformador de corriente, este sensor utiliza el efecto Hall para generar una tensión proporcional al producto de la fuerza del campo magnético creado por la corriente que fluye a través de su núcleo. Existen diversas aplicaciones para este sensor, una de ellas es realizar mediciones en líneas de alta tensión con equipos electrónicos que solo permiten corrientes del orden de los mA.

La gama de sensores de corriente comprende a los sensores invasivos y los no invasivos. Las diferencias de estos dos tipos radican en la situación y aplicación que se necesite medir, por lo que ambos son de gran utilidad en la industria.

2.2.1. Sensor invasivo

Se utiliza en aplicaciones donde el paso de la corriente puede ser interrumpido o medido directamente para conectarse como un amperímetro convencional. Por lo general, este sensor se presenta como un módulo electrónico que comprende un circuito integrado encargado de realizar las mediciones de corriente, por lo que no se aplica un efecto de transformación para disminuirla. Este tipo de módulo posee todos los componentes extra para que su utilización sea sencilla y no requiera nada más que realizar las conexiones pertinentes.

Figura 11. **Sensor de corriente invasivo**



Fuente: *Sensor de corriente ACS712*. http://www.naylampmechatronics.com/blog/48_tutorial-sensor-de-corriente-ac712.html. Consulta: 3 de marzo de 2018

2.2.2. Sensor no invasivo

Es el tipo de sensor más utilizado en la industria, gracias a la facilidad de instalación en cualquier línea de tensión, ya que no se debe interrumpir la línea para realizar la medición. Este sensor obedece el efecto Hall y puede ser de núcleo cerrado o núcleo partido. Otra ventaja de estos sensores es que pueden ser retirados en cualquier momento sin afectar el sistema.

Figura 12. **Sensor no invasivo de núcleo partido**

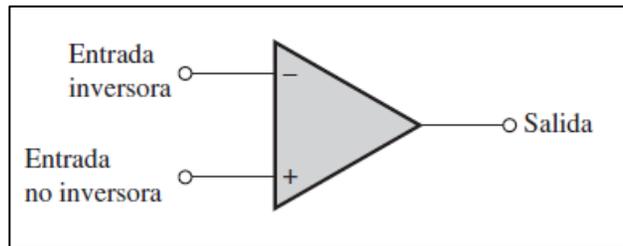


Fuente: *Split Core Current Transformer*. <https://www.accuenergy.com/product/acuct-5a-split-core-current-transformers>. Consulta: 3 de marzo de 2018.

2.3. Amplificador operacional

Su nombre proviene de las dos funciones básicas para las que fue diseñado, ya que puede ser utilizado para amplificar señales y para realizar operaciones matemáticas como adición, sustracción, integración y diferenciación. Actualmente se utilizan en configuraciones especiales con componentes pasivos y activos para tratamiento de señales, comparadores, amplificación, etc. Este circuito integrado presentado en la figura 13 posee, idealmente, dos terminales de entrada, la inversora y la no inversora, y una terminal de salida.

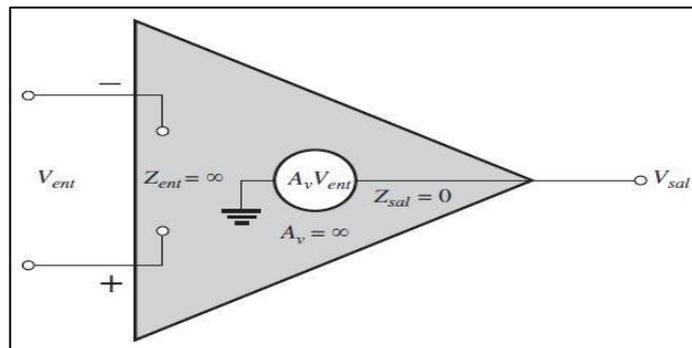
Figura 13. **Símbolo del amplificador operacional ideal**



Fuente: FLOYD, Thomas. *Dispositivos electrónicos*. P. 593

El amplificador ideal tiene una ganancia de voltaje infinita, ancho de banda infinito, impedancia de entrada infinita e impedancia de salida cero. El voltaje de entrada aparece entre las terminales inversora y no inversora, y el voltaje de salida se modela como una fuente de voltaje interna que resulta de la multiplicación de la ganancia infinita con el voltaje de entrada, como se indica en la figura 14. Estas propiedades permiten obtener diversas configuraciones del amplificador operacional y definir modelos teóricos para aplicar en casos reales.

Figura 14. **Diagrama interno del amplificador operacional ideal**

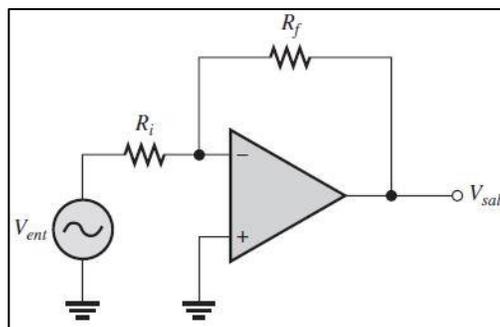


Fuente: FLOYD, Thomas. *Dispositivos electrónicos*. P. 594

2.3.1. Amplificador inversor

De todas las configuraciones del amplificador operacional, se encuentra el amplificador inversor, que utiliza la retroalimentación negativa para generar una ganancia estable y controlada, para poder amplificar los valores de la señal que ingresa, con un valor establecido. En la figura 15 se representa el amplificador inversor. La señal de entrada se aplica a una resistencia R_i conectada a la entrada inversora. Asimismo, la salida es realimentada a través de otra resistencia R_f , a la misma entrada. La entrada no inversora se conecta a tierra.

Figura 15. **Amplificador inversor**



Fuente: FLOYD, Thomas. *Dispositivos electrónicos*. P. 606

Debido a la naturaleza de su configuración, las señales que ingresan en este circuito se invierten. Esto se debe a los efectos del concepto de impedancia de entrada infinita, el cual genera una tierra virtual en la entrada inversora. Como no existe una corriente en esta entrada, la corriente en las resistencias R_i y R_f , es la misma. Por esta propiedad se puede realizar un análisis de nodos en el circuito y obtener una ecuación que describe la ganancia en términos de las resistencias anteriormente mencionadas. Esta es

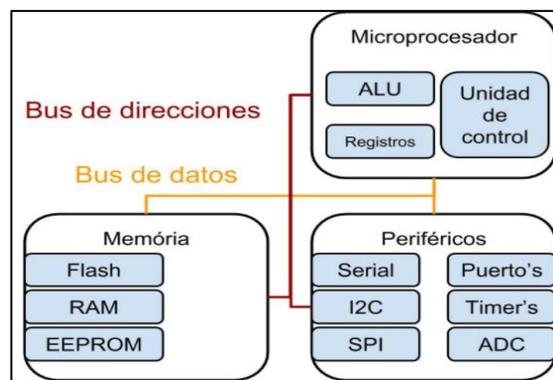
la ecuación 2.3 y representa una relación del voltaje de entrada con el voltaje de salida, por lo tanto, si se desea conocer el voltaje final del circuito, basta con despejar V_{sal} y realizar la multiplicación correspondiente:

$$\frac{V_{sal}}{V_{ent}} = -\frac{R_f}{R_i} \quad (2.3)$$

2.4. Microcontrolador

Circuito integrado ampliamente utilizado en tecnologías actuales. En su interior contiene una unidad central de procesamiento, unidades de memoria, puertos de entrada y salida, y periféricos. El microcontrolador ejecuta instrucciones previamente cargadas en la memoria ROM, trabajando en conjunto con los puertos y periféricos que estén implementados en este. Permite modularidad y flexibilidad debido a la capacidad de realizar diferentes funciones mediante sus periféricos instalados. En la figura 14 se presenta el esquema general de un microcontrolador:

Figura 16. **Esquema general del microcontrolador**



Fuente: MARMOLEJO, Rubén. *Microcontrolador – Qué es y para qué sirve*. <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/microcontrolador/>. Consulta: 11 de marzo de 2018.

Un microprocesador y un microcontrolador no son lo mismo. El microprocesador es la unidad lógica encargada de realizar el procesamiento de datos que ingresen al sistema. Este necesita de módulos externos para que todo su trabajo pueda materializarse, tales como bancos de memoria, bus de datos y bus de direcciones. Por lo tanto, el microprocesador es una parte del microcontrolador.

2.4.1. Programación del microcontrolador

Programación se refiere a la codificación de instrucciones específicas que le dirán al dispositivo qué funciones debe realizar. Los microcontroladores pueden programarse en lenguaje de alto nivel y bajo nivel. El lenguaje de alto nivel es el lenguaje tradicional, que posee instrucciones directas para realizar ciclos, condicionales, controlar puertos, etc., de una manera más sencilla y comprensible. Por lo general, el lenguaje de alto nivel utilizado para microcontroladores es el lenguaje C.

El lenguaje de bajo nivel, a diferencia del anterior, no posee instrucciones directas para realizar procesos. En este lenguaje se utilizan mnemónicos que representan instrucciones mucho más básicas, que ejercen un control directo en el hardware y están condicionadas por la estructura física del componente a programar. A este lenguaje se le conoce como lenguaje ensamblador y su función es traducir las sentencias al llamado código de máquina. Se utiliza para un desarrollo más específico y eficiente, porque en el código solo se ejecutan las instrucciones necesarias.

Ambos lenguajes tienen ventajas y desventajas, por lo que siempre debe analizarse el tipo de aplicación a realizar para decidir cuál usar.

2.4.2. Protocolo de comunicación asíncrona

Es el protocolo encargado de definir todos los parámetros para la transmisión y recepción de cadenas de datos en forma serial, entre dispositivos. Este protocolo trabaja usualmente con cadenas que poseen un bit de inicio, bits de información, bit de paridad para indicar los errores en el envío, y los bits de parada que indican cuando la cadena ha terminado. Posee una tasa de transmisión que se mide en baudios o número de bits que se transmiten por segundo.

El microcontrolador, generalmente, posee al menos un módulo de comunicación asíncrona y el usuario tiene acceso a este. Para utilizar el módulo se recurre al bus USB o a los pines predeterminados en el microcontrolador.

2.4.3. Conversor análogo digital

Es un módulo capaz de convertir una señal analógica en una señal digital mediante un cuantificador y codificándose en código binario. Para esto el microcontrolador toma muestras de la señal en intervalos periódicos mediante un tren de pulsos de un período determinado. La señal es transformada del dominio del tiempo continuo al dominio del tiempo discreto, por lo que solo se posee cierta información de la señal. Para que una señal digitalizada sea fiable el número de muestras por período que se toman debe ser elevado, sin sobrepasar la capacidad de procesamiento del microcontrolador.

El tratamiento que puede darse a una señal digitalizada es muy amplio, como la eliminación del ruido, recuperación de valores corrompidos, amplificación de los valores, etc.

2.5. Ordenador de placa reducida

Es una computadora que posee todos los periféricos necesarios en una sola tarjeta de tamaño reducido. Es un dispositivo muy poderoso altamente utilizado en sistemas embebidos, ya que puede realizar procesos complejos y eficientes, como una computadora normal, pero con la ventaja de tener un tamaño pequeño y consumir menos recursos. Es ideal para funcionar por largos períodos de tiempo sin ser interrumpido y sin un desgaste tan significativo. En la figura 17 se presenta una Raspberry Pi, la cual es altamente popular en la actualidad.

Figura 17. Ordenador Raspberry Pi



Fuente: *Raspberry Pi 2*. <https://www.raspberrypi.org/blog/raspberry-pi-2-on-sale/>. Consulta: 15 de marzo de 2018.

2.5.1. Aplicaciones

Debido a su alta y eficiente funcionalidad, los ordenadores de placa reducida tienen diversas aplicaciones que aprovechan sus capacidades elementales, tales como consumo mínimo de energía, memoria de estado sólido, procesador dedicado de gama alta, puertos de entrada y salida, etc.

2.5.1.1. Procesamiento de datos

El procesamiento de datos es fundamental en este tipo de dispositivos, ya que, gracias a su característica de ser un ordenador, solo necesita de un programa adecuado para realizar la tarea. Estos programas pueden ser realizados en lenguaje C o Python, por su eficiencia, funciones especializadas y diversas librerías que complementan el trabajo.

2.5.1.2. Servidor local

Un servidor tiene la función de almacenar información que puede compartirse mediante una página web, en Internet con una IP pública. Un servidor local solo funciona en una red interna, por lo que el dispositivo posee una IP privada.

Un ordenador de placa reducida es ideal para un servidor local, por las ventajas anteriormente descritas. Para esto deben instalarse programas como PHP, MySQL, Apache y los necesarios para desarrollar la aplicación.

3. DISPOSITIVO DE ADQUISICIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS

Se realizará el diseño de un prototipo de recolección de datos, que será capaz de realizar mediciones de corriente en un cable conductor. El dispositivo deberá operar con valores digitalizados que podrán ser manipulados para encontrar los parámetros básicos del consumo energético. Luego de obtener los valores deseados, el dispositivo procederá a procesar los datos y prepararlos para la presentación en la interfaz de acceso y control. Los códigos utilizados para este diseño pueden consultarse en la sección de anexos.

3.1. Fase de adquisición de datos

En esta fase se presenta el sensor y los circuitos necesarios para el correcto tratamiento de señales de manera analógica. Luego del tratamiento analógico inicia el procesamiento digital, que permite tener una señal más limpia y obtener los valores RMS. En la última etapa se realizan los cálculos necesarios y se preparan los datos para ser enviados a la fase de procesamiento, mediante transmisión serial.

3.1.1. Sensor de corriente

El sensor de corriente seleccionado para el proyecto es el transformador de corriente con núcleo partido PZCT-02, con una relación de 100A/100m (ver figura 18). Se utilizarán cuatro sensores de corriente para realizar todas las mediciones pertinentes. Las características por las que se utiliza este sensor son:

- Núcleo partido, que permite una instalación más sencilla y sin riesgo eléctrico por la manipulación de los conductores a medir.
- Relación de corriente 100A/100mA, con la que es posible realizar mediciones en cargas grandes y no perder resolución en la medida, ni dañar el dispositivo.
- Salida en corriente alterna, para que se pueda realizar un óptimo tratamiento de señal y la digitalización sea más precisa.

Figura 18. **CT de núcleo partido PZCT-02**



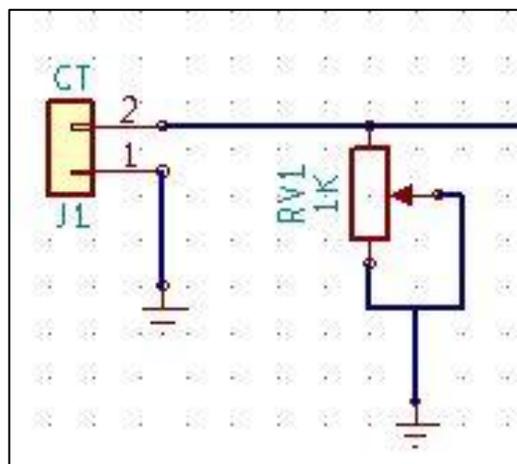
Fuente: elaboración propia.

3.1.2. **Circuito de conversión de corriente a voltaje**

Debido a que la salida de la señal es de corriente alterna, se necesita una resistencia de carga que genere una diferencia de potencial de 1V. Este cálculo se realiza con la corriente máxima que entrega el sensor que es 100mA. Realizando la división correspondiente, la resistencia de carga necesaria para generar el potencial requerido es de 10Ω , por lo que se utiliza un potenciómetro de precisión de valor $1K\Omega$. En la figura 19 se muestra el diagrama eléctrico del

circuito, en donde la terminal 1 del sensor CT se conecta a tierra y la terminal 2 al potenciómetro de precisión, que, mediante un corto circuito entre su terminal central y la última, se conecta a tierra para cumplir con la configuración de resistencia variable.

Figura 19. **CT con resistencia de carga**

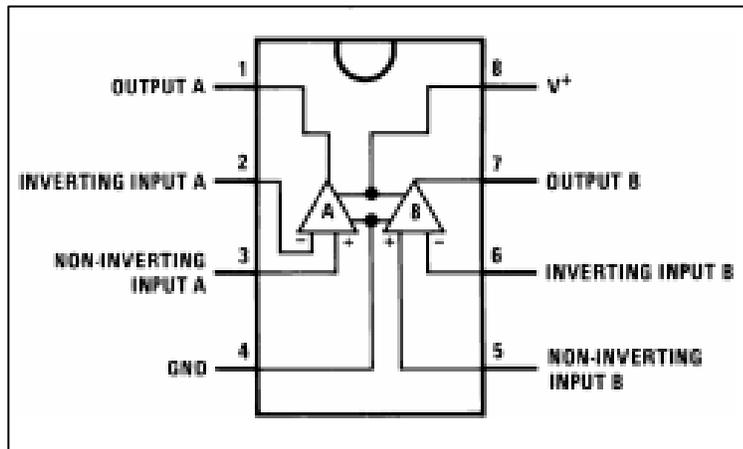


Fuente: elaboración propia, empleando KiCad.

Para que el microcontrolador pueda recibir la señal y no se dañe, todos los valores de voltaje deben ser positivos, por lo que se necesita un circuito que rectifique la señal.

El amplificador operacional LM358 de la figura 20 es un circuito integrado que posee dos amplificadores operacionales, con alimentación simple, ideal para rectificar la señal de voltaje de los sensores, sin obtener una pérdida significativa, como con los diodos. Cuando el LM358 es alimentado con 5V, la saturación se genera a partir de los 3,5V, por lo que es necesario que el valor máximo de voltaje sea de 1V.

Figura 20. **Amplificador operacional LM358**

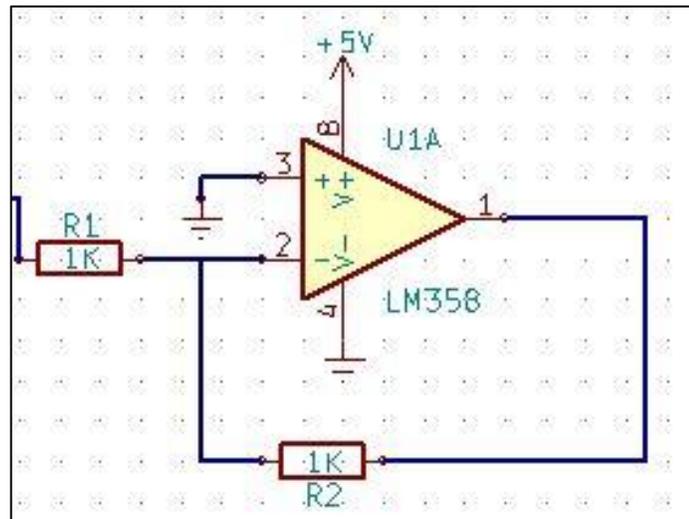


Fuente: *LMx58-N Low-Power, Dual-Operational Amplifiers*.

<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm158-n.pdf>. Consulta: 6 de abril de 2018.

La configuración de amplificador más apta para el tratamiento de esta señal es el amplificador inversor con factor de ganancia unitaria. Si bien la señal es invertida, esto no afecta a la medición debido a la simetría de onda. En la figura 21 se muestra el diagrama del circuito electrónico, donde las resistencias R1 y R2 deben ser de 1K Ω para que la ganancia sea unitaria. Estos valores aseguran que no exista una pérdida grande de voltaje o que la corriente de la señal se minimice antes de ingresar al microcontrolador. Para este circuito deben utilizarse dos circuitos integrados, para los cuatro sensores de corriente a utilizar.

Figura 21. **Amplificador inversor**



Fuente: elaboración propia, empleando KiCad.

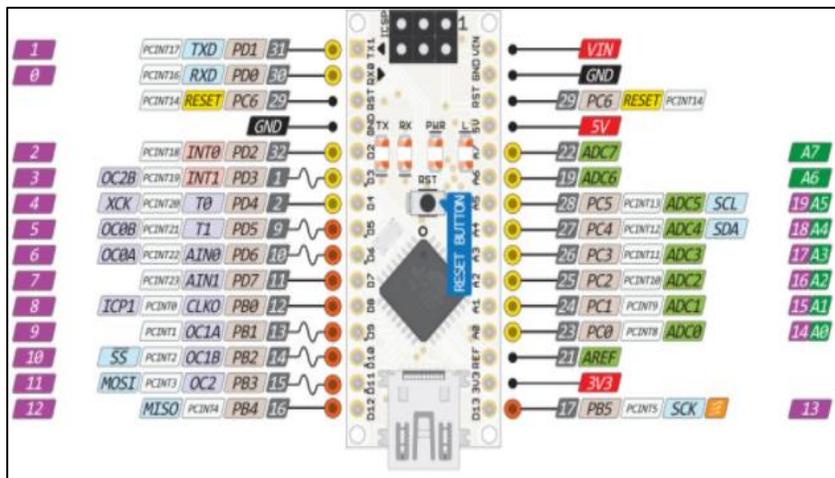
3.1.3. **Digitalización de datos por microcontrolador**

Para los procesos digitales se utilizará un microcontrolador Arduino Nano presentado en la figura 22. Sus características principales son:

- Procesador ATMEL ATMEGA 328P-AU
- Memoria flash de 32K
- Memoria SRAM de 2KB
- Memoria EEPROM de 1KB
- Ocho pines analógicos
- Comunicación serial por puerto USB
- Alimentación de 5V

La señal de entrada al microcontrolador no debe exceder los límites de voltaje del pin analógico a utilizar. Por esto se seleccionó con anterioridad un diseño que tenga una salida de 1V en su valor máximo, para utilizarse la referencia interna de 1,1V con una resolución de 1023 valores para la digitalización en el microcontrolador.

Figura 22. **Microcontrolador Arduino Nano**



Fuente: *Arduino Nano Pinout*. <http://lab.dejameworks.com/arduino-nano-pinouts/>. Consulta: 8 de abril de 2018.

Los valores digitalizados deben multiplicarse por el factor de escala definido por la relación de corriente del microcontrolador, para obtener el valor real de la corriente en el conductor a medir. En este caso, el factor de escala es de cien unidades.

Como todo equipo de medición, se necesita el valor cuadrático medio de la señal para realizar las operaciones pertinentes. Para determinar este valor se suman los cuadrados de los valores de corriente obtenidos en un número “n” de

períodos de la señal, que tiene una frecuencia de 60Hz. Los valores de las muestras tomadas se multiplican por un factor de dos, debido a que solo se muestrea medio período de la señal, por la rectificación en la fase de conversión. Después de la multiplicación se obtiene la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de la señal, dividida por el número de muestras o ciclos en los que la señal estuvo siendo muestreada.

Este proceso se realiza para cada sensor que se necesite conectar. La medición del suministro general se realiza con dos sensores de corriente, en donde los valores obtenidos por el microcontrolador deben sumarse, para tener el cálculo correcto de este consumo. Luego de obtener correctamente los valores RMS, el microcontrolador debe determinar la potencia RMS de la señal, utilizando la ecuación 1.5, con un valor de voltaje de 120VRMS.

Por último, el microcontrolador establece una conexión serial con el dispositivo encargado de procesar los datos. Esta conexión se establece con una velocidad de 9600 baudios y tiempo muerto de 1s. Los datos se enviarán separados por comas y un salto de línea, para indicar que una nueva trama de datos está siendo enviada.

3.2. Fase de procesamiento de datos

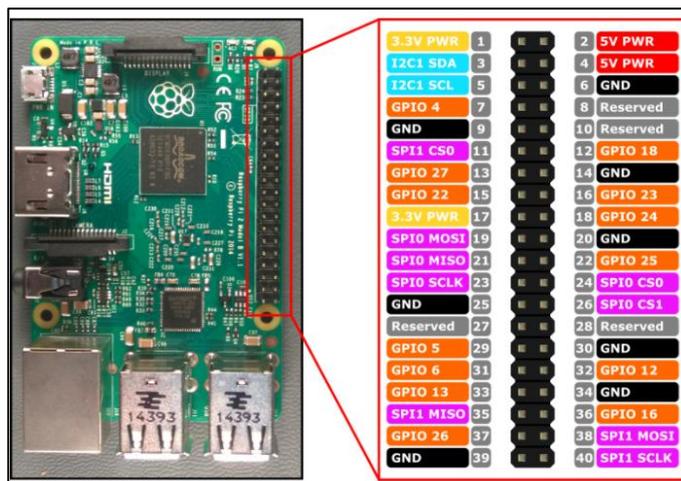
En esta fase se describe el diseño del *script* encargado de procesar los datos que ingresan del dispositivo de adquisición y así poder ser presentados en archivos de texto, que serán utilizados por la interfaz de acceso y control para desplegar las mediciones. El primer archivo presenta los datos temporales y los siguientes son un conjunto de doce archivos correspondientes a cada mes del año, que contienen el historial de mediciones con fecha y hora en que se realizaron.

3.2.1. Procesamiento de datos con Raspberry Pi 2,0

El ordenador de placa reducida Raspberry Pi 2,0 es el componente principal del prototipo. Las especificaciones más importantes, por las que se seleccionó este modelo, se enlistan enseguida, y la figura 23 presenta información más detallada del hardware del ordenador:

- Procesador ARM Cortex-A7 Quad-core a 900MHz
- Memoria SDRAM LPDDR2 a 450MHz de 1GB de capacidad
- Almacenamiento microSD
- Puerto ethernet de 10/100 Mbps
- Dimensiones de 85,60x56,5 mm

Figura 23. Ordenador Raspberry Pi 2.0



Fuente: *Raspberry Pi 2 and 3 Pinout*.

<https://github.com/DotNetToscana/IoTHelpers/wiki/Raspberry-Pi-2-and-3-Pinout>. Consulta: 8 de abril de 2018.

Para procesar los datos se recurrirá a la herramienta de programación Python, con la cual se generará un *script* que ejecute el cálculo de los parámetros básicos de consumo energético. Este *script* generará archivos de texto necesarios para la interfaz de acceso y control.

3.2.1.1. Conexión con el microcontrolador

El ordenador se conecta mediante comunicación serial por el puerto ttyUSB0. Para que la conexión sea posible se necesita importar la librería serial, una velocidad de transmisión de 9600 baudios y tiempo muerto de 1s. Cuando se establece la conexión y los datos empiezan a enviarse, se necesita un breve tiempo antes de capturar el primer dato, ya que es necesario descartar los caracteres no numéricos y así no tener errores en las operaciones matemáticas que se realizan.

Cada trama de datos que el ordenador recibe se interpreta como una cadena de caracteres que a su vez contiene información que debe ser suprimida. El paquete recibido presenta los tres datos de la potencia generada por la corriente que se está midiendo, separados entre sí por comas y cada paquete se separa con un salto de línea. Por lo tanto, el *script* debe suprimir las comas para almacenar en variables distintas los valores enviados y, por último, debe suprimir el salto de línea, para que el dato pueda guardarse correctamente en la variable indicada.

3.2.1.2. Cálculo de parámetros

Corriente, potencia, energía y costo de energía son los parámetros que se necesita calcular para presentar al usuario final en la interfaz de acceso y control.

Cuando el paquete de datos ingresa al ordenador contiene tres valores de potencia generados por el microcontrolador, con base en la corriente que se está midiendo. Con los valores de potencia separados, la energía de la señal debe calcularse mediante el área bajo la curva en un período de tiempo, por lo tanto, hay que realizar un promedio del número de lecturas tomadas, en un intervalo de 5 minutos para que los resultados sean más precisos. Luego de esto se utiliza la siguiente ecuación para calcular la energía parcial del período establecido:

$$E_{parcial} = \frac{P_{promedio}}{1000} * \frac{5}{60} [KWh]$$

La potencia promedio se divide entre mil, para convertir watts a kilowatts, y la multiplicación por la fracción constante indica la conversión de cinco minutos a horas, por lo tanto, las dimensionales de la energía parcial son kilowatts por hora. Se le llama energía parcial porque es necesario sumar todas las ventanas de tiempo medidas para obtener la energía total consumida.

El costo de la energía consumida se calcula multiplicando la energía total consumida por el precio del kilowatt-hora, mencionado en el capítulo 1, que es 1,0799 Q/KWh. Con esto se concluyen los cálculos necesarios para generar los archivos de texto que tendrán función de base de datos y actualización en tiempo real.

Cuando el script finaliza con un ciclo de operaciones realizadas es necesario inicializar los valores de potencia en cero, debido a que esta lectura no es de carácter acumulativo y no es necesario retener el valor que había sido almacenado en la variable.

3.2.1.3. Archivo de datos en tiempo real

Los archivos de texto son la conexión principal con la interfaz de acceso y control. El archivo de datos en tiempo real es un archivo con datos temporales en una sola línea. Cuando se realizan nuevas lecturas, el archivo se actualiza y se pierden los datos anteriores, ya que su atributo de apertura es solamente de reescritura. Esta acción permite que no haya una sobrecarga de datos en el servidor y que la lectura del fichero sea rápida.

En este archivo se imprimen datos de corriente, potencia, energía y costo de energía, separados por comas, de los tres circuitos que se están midiendo, para tener un total de doce parámetros y el dato final que contiene la fecha y hora en que se realizó la lectura. Estos valores se actualizarán automáticamente cada cinco minutos, que es el tiempo que tarda el *script* en procesar los datos del microcontrolador.

3.2.1.4. Historial mensual

Es un registro de todas las mediciones que se realizarán a lo largo del tiempo en que esté instalado el aparato. Como su nombre lo dice, existe un archivo de texto para cada mes del año, seccionando así toda la información almacenada.

Para generar el archivo correcto se analiza una variable de tiempo que almacena el número de mes al final del ciclo de lecturas del *script*. Esta variable se crea antes de que el programa ejecute las lecturas de manera cíclica y, cuando esto pasa, se almacena otra variable para realizar la comparación inicial del mes actual. En otras palabras, esta variable es recursiva y global, y se actualiza solamente al final del ciclo, para ser comparada de nuevo al inicio.

En este archivo solo se encontrarán datos de energía y costo de energía de los tres circuitos analizados y la fecha y hora en que se realizó la lectura. Los caracteres escritos en este archivo contendrán cabeceras en lenguaje HTML, que se interpretan como tablas en un explorador web. Esto se realiza para que el historial siempre esté disponible y gracias a su atributo de escritura en la última línea todos los datos pueden almacenarse sin problemas.

4. INTERFAZ DE ACCESO Y CONTROL

La interfaz de acceso y control se considera la parte más importante del prototipo, porque es la forma en que el usuario final puede entender de manera amigable los resultados de las mediciones. En este capítulo se describe el diseño de todo lo que compone la interfaz. Desde cómo se manejarán los archivos de texto, hasta la presentación final en el explorador web.

4.1. Descripción de la interfaz

Todos los ordenadores e incluso los teléfonos celulares poseen un navegador web y esto define como razón principal que la interfaz del prototipo sea una página web.

El propósito de la interfaz es presentar un medio sencillo con funciones específicas, para que el usuario pueda consultar los registros en tiempo real e históricos de los consumos que se generaron desde que el equipo se instaló. Las consultas se realizarán mediante tres menús principales:

- Inicio: contendrá una breve descripción de la interfaz web y la bienvenida al usuario, con un apartado de información general del trabajo de graduación.
- Monitoreo: contendrá tres submenús que despliegan las mediciones en tiempo real del dispositivo.
- Historial de consumos: sección que despliega una barra de selección para escoger el mes deseado y así mostrar el historial correspondiente.

Todos los menús de la interfaz deben poseer un formato visual uniforme, por lo tanto, la solución es crear un archivo de extensión CSS, en donde se especifiquen el tamaño, tipo y color de letra; color de fondo; márgenes, posición, tamaño y estilo de los menús; y estilo de las tablas que presentan los datos. El diseño CSS puede encontrarse en los anexos, así como todos los archivos que componen la interfaz.

4.2. Inicio

Es la primera página que se ejecutará al acceder mediante un explorador web a la dirección IP del servidor, que se encuentra en la red local. Para que esto ocurra el archivo debe nombrarse como index.html.

La página de inicio contiene el acceso a los menús principales de la interfaz. Los menús son vínculos de referencia a las distintas páginas web cargadas en el servidor. En la figura 24 se visualiza dicho menú. Para que la interfaz sea uniforme el menú del inicio se replicará en todas las páginas existentes.

Entre otras características, la página de inicio tendrá una breve descripción de su función con indicaciones para interpretar los datos que se observarán y un menú extra, que redirige la página a la información general de este trabajo de graduación.

4.3. Monitoreo

Este apartado desplegará las mediciones actualizadas en tres submenús que representan a cada sensor conectado en el dispositivo. La página inicial

llamada Monitoreo presentará una tabla en donde se describen los valores a visualizar. La figura 25 presenta toda la interfaz de esta página:

Figura 24. **Menú principal**



Fuente: elaboración propia, empleando Google Chrome.

Figura 25. **Interfaz inicial de monitoreo**

- Inicio
- Monitoreo
- Historial de consumos
- General
- Iluminacion
- Tomacorrientes

Monitoreo en tiempo real

En esta seccion encontrara tres submenus para visualizar los consumos energeticos de su vivienda.

Los datos se interpretan mediante una tabla de valores, de la siguiente manera:

Corriente (A)	Potencia (KW)
Corriente demandada	Potencia consumida
Energia (KWh)	Costo (Q)
Energia acumulada	Dinero gastado en el mes

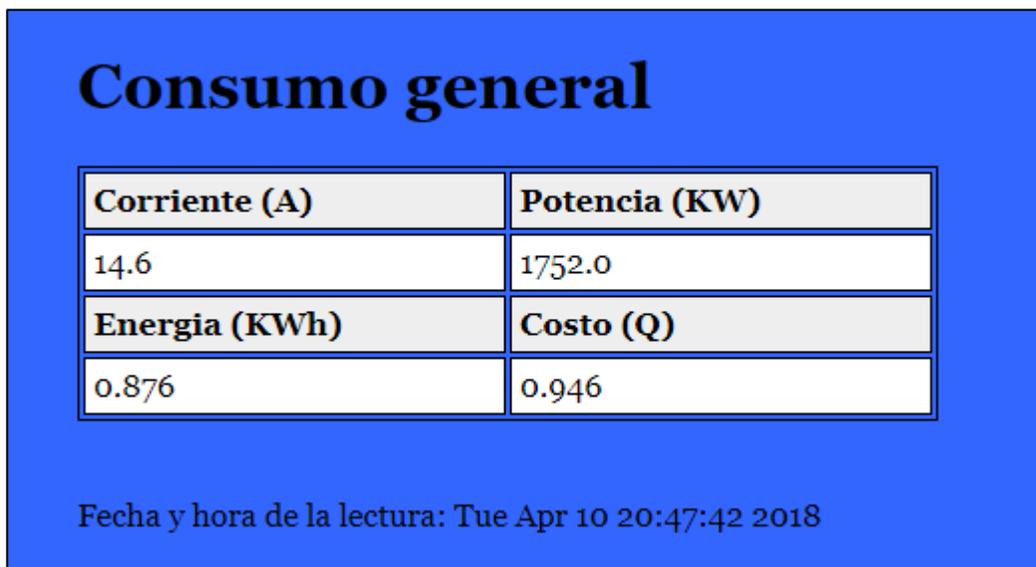
Fuente: elaboración propia, empleando Google Chrome.

Los tres submenús llamados General, Iluminación y Tomacorrientes, presentan los valores especificados en la tabla de la figura 25. Esta información se actualizará automáticamente cada cinco minutos, tiempo en que el sistema

procesa las lecturas y actualiza el archivo de datos en tiempo real. Este archivo, como se mencionó anteriormente, posee trece lecturas disponibles para representar.

Para acceder al archivo de datos en tiempo real se ejecutará código PHP en el archivo HTML para manejar la cadena presentada, la cual posee comas que identifican la separación de los datos. Luego de acceder al archivo, se separan los datos y se guardan en un vector, para facilitar la llamada a cada uno. Cada dato se coloca en la tabla correspondiente del submenú y se presenta como en la figura 26, que corresponde a la visualización del consumo general. Por último, esta visualización presentará la fecha y hora en que se realizó la actualización del sistema.

Figura 26. **Visualización en tiempo real**



Fuente: elaboración propia, utilizando Google Chrome.

4.4. Historial de consumos

Página que será utilizada para desplegar todos los registros realizados durante el mes por el dispositivo de monitoreo. Posee una lista desplegable para seleccionar el mes a visualizar, como en la figura 27. Al momento de seleccionar el mes deseado, el código PHP realiza una serie de verificaciones para seleccionar el archivo correcto de la base de datos. La base de datos posee doce archivos correspondientes a cada mes del año, en los que la información se almacena con las cabeceras HTML directamente desde el *script* en Python, para que, al momento de la apertura del archivo en la página, los datos se presenten en forma de tabla, como en la figura 28.

Figura 27. Lista desplegable de selección



Fuente: elaboración propia, utilizando Google Chrome.

La tabla de datos contiene los registros de energía consumida y costo de esa energía, desde la lectura inicial hasta la lectura final del mes, de los tres sensores conectados, general, iluminación y tomacorrientes. También posee la

fecha y hora en que se realizó la lectura y cada actualización se realiza después de la última tabla.

Figura 28. **Visualización del historial de consumos**

Abril		
Lectura Inicial Tue Apr 10 19:47:36 2018		
	Energia	Costo
General	0	0
Iluminacion	0	0
Fuerza	0	0
Lectura 1 Tue Apr 10 19:52:41 2018		
	Energia	Costo
General	0.0795KWh	Q 0.0858
Iluminacion	0.0319KWh	Q 0.0344
Fuerza	0.0476KWh	Q 0.0513

Fuente: elaboración propia, utilizando Google Chrome.

5. FUNCIONAMIENTO E IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO

5.1. Diseño final

El diseño final garantiza la correcta unificación de las fases que componen el prototipo. Desde la electrónica involucrada, hasta la interfaz gráfica. Este es el proceso más importante ya que establece todas las consideraciones generales que deben tenerse para el funcionamiento correcto de todo.

5.1.1. Placa de circuito impreso

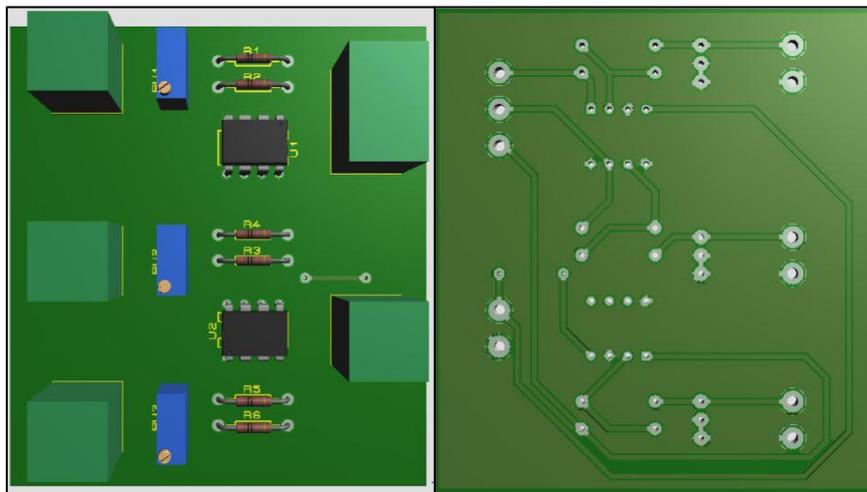
Para la fase de adquisición de datos se construyó una placa de circuito impreso presentada en la figura 29, mostrando ambas caras. Esta se elaboró con base en el diseño planteado en el capítulo 3. Este circuito es fundamental para recolectar los datos provenientes de los sensores de corriente, convirtiendo los valores que estos entregan en valores que son interpretables por el microcontrolador utilizado.

5.1.2. Diagrama de bloques

En la figura 30 se presenta el diagrama final de todo el dispositivo. Este inicia con las mediciones analógicas realizadas por los sensores de corriente, las cuales se envían a un convertidor de corriente a voltaje, en donde se establecen los niveles de voltaje correctos para que el microcontrolador realice las funciones programadas de calcular datos de potencia y enviar, mediante interfaz USB y protocolo UART, los datos a la computadora central o Raspberry Pi, que se encarga de procesar todos los parámetros relacionados al consumo

energético y luego ser presentados en una interfaz web, mediante un servidor local montado también en la computadora central.

Figura 29. **Placa de adquisición de datos**

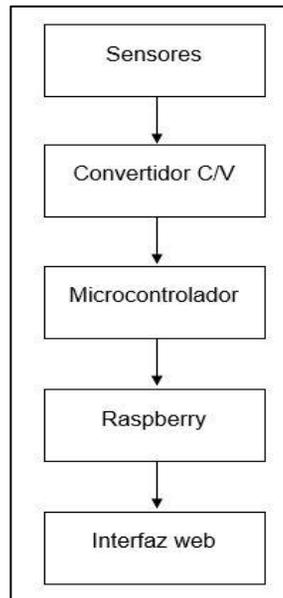


Fuente: elaboración propia, empleando Proteus 8.

5.1.2.1. **Fase de adquisición de datos**

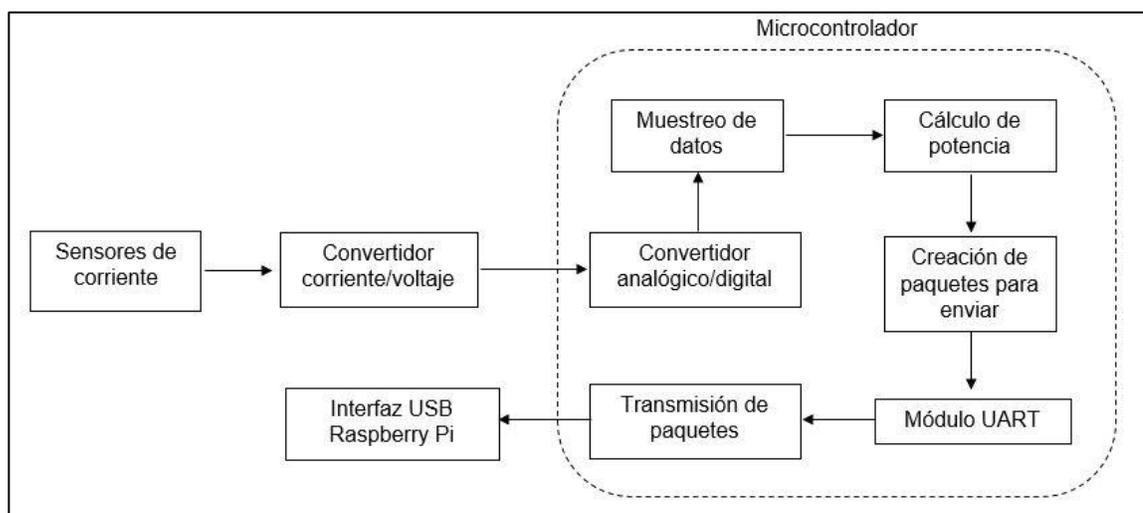
Comprende todos los procesos que realiza el dispositivo hasta antes de que los datos ingresen a la computadora central. Esta fase inicia con los sensores de corriente y su función principal es enviar paquetes unificados con los datos de potencia de cada sensor, de manera serial mediante el puerto USB. Estos paquetes contienen números decimales, separados por comas, y cada paquete está separado por los saltos de línea. El diagrama se muestra en la figura 30:

Figura 30. **Diagrama final**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Figura 31. **Diagrama de adquisición de datos**

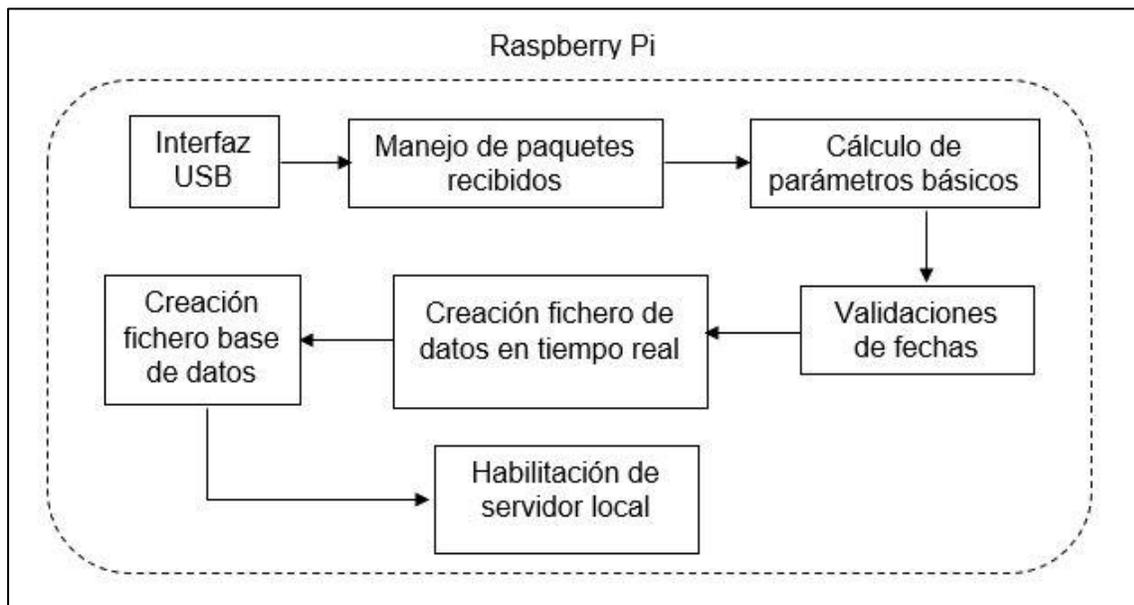


Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

5.1.2.2. Fase de procesamiento de datos

La figura 31 describe los procesos que se ejecutan por el *script* realizado en Python, en la computadora central, para interpretar los datos provenientes del microcontrolador y generar los cálculos correspondientes al consumo de energía. Debido a la gran cantidad de datos que se generan desde el microcontrolador, el programa ejecuta un ciclo que realiza promedios en intervalos cortos de tiempo, para determinar correctamente los datos a presentar. Estos datos son mostrados en tiempo real y almacenados en la base de datos. El fichero de datos en tiempo real es único y la base de datos comprende doce archivos correspondientes a cada mes del año. Estos ficheros son los utilizados por la interfaz web y procesados para presentarse al usuario final.

Figura 32. Diagrama de procesamiento de datos

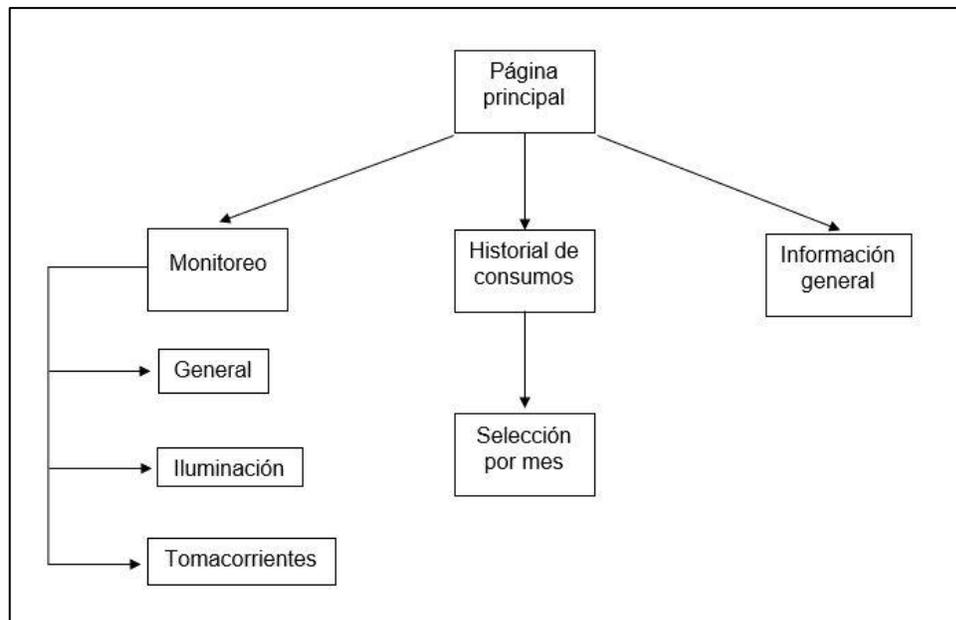


Fuente: elaboración propia, empelando Microsoft Word.

5.1.2.3. Interfaz de visualización

La figura 32 representa el mapa web de la interfaz. Aquí, el usuario tiene la facilidad de consultar los consumos realizados durante el mes y visualizar lo que ocurre en el instante con todo el sistema. La interfaz posee una página inicial que a su vez posee vínculos a las páginas secundarias, es decir, monitoreo, historial de consumos e información general. La sección de monitoreo opera con tres subpáginas en donde pueden observarse específicamente los valores del consumo general, iluminación y tomacorrientes. La sección historial de consumos posee una lista desplegable para seleccionar el mes que se desea y la sección de información general.

Figura 33. Mapa web de la interfaz



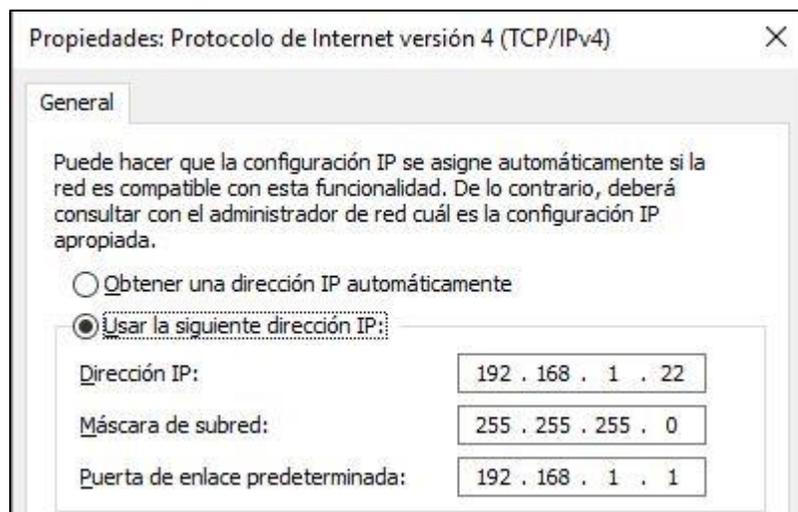
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

5.1.3. Requisitos de operación de la red LAN

El dispositivo debe cumplir con los parámetros establecidos por el *router*, para ser visible en todos los elementos de la red que tengan acceso a un explorador web. El primer requisito es que la dirección IP se encuentre en el rango en el que trabaja el *router*. Por lo general, los *routers* manejan el segmento 192.168.1.x, donde “x” se refiere a un número de 1 a 255. La máscara de subred es 255.255.255.0 y la puerta de enlace se identifica con la primera dirección que se pueda establecer, en este caso 192.168.1.1. El dispositivo fue configurado con la dirección 192.168.1.21, respetando las posibles direcciones apartadas para funciones administrativas.

No es necesario que el *router* establecido para crear la red tenga conexión a Internet, porque el servidor es local y posee todas las herramientas necesarias para que todo sea visible por el explorador que se desee utilizar.

Figura 34. Requisitos de red



Fuente: elaboración propia.

5.2. Interfaz de usuario

En esta sección se describe detalladamente la manera correcta de utilizar e interpretar la interfaz de usuario diseñada.

5.2.1. Inicio

Es la página principal de la interfaz. Posee acceso a todas las subsecciones establecidas. Para ingresar a esta se debe colocar la dirección 192.168.1.21 en el explorador web. La página contiene un mensaje de bienvenida y explica el significado de los parámetros presentados en toda la interfaz.

5.2.2. Monitoreo en tiempo real

Se despliegan tres nuevos submenús que poseen la información específica de los consumos en la vivienda con visualización en tiempo real. Presenta los cuatro parámetros más importantes en el consumo de energía, como lo son la corriente en A, potencia en KW, energía en KWh y costo en quetzales. Adicionalmente se imprime la fecha y hora en que se realizó esta medición.

Los datos que aquí se presentan son temporales y cambian en un período de cinco minutos. Los valores de corriente y potencia son instantáneos y los de energía y costo son acumulativos. En la figura 36 se muestra un ejemplo de la presentación de estos datos:

Figura 35. Página de inicio



Fuente: elaboración propia, empleado Google Chrome.

Figura 36. Página de monitoreo



Fuente: elaboración propia, empleando Google Chrome.

Figura 37. **Monitor de consumo general en tiempo real**



Fuente: elaboración propia, empleando Google Chrome.

5.2.3. **Historial de consumos**

Sección utilizada para desplegar la base de datos separada por meses. Para esta página solo es importante almacenar los valores acumulativos, es decir, energía y costo. Esto se debe a que los valores de corriente y potencia varían dependiendo de la carga que se esté utilizando en un momento preciso, por lo tanto, queda en función del monitoreo en tiempo real mostrarlos.

Cada mes posee una lectura inicial, identificada con la fecha en que se realizó y un número acumulativo que se reinicia en cada mes. Este número indica el orden de las lecturas. Se almacenan lecturas cada cinco minutos, tiempo correspondiente al del monitoreo en tiempo real, para que todo el sistema esté sincronizado. La figura 37 muestra la página con lecturas realizadas:

5.3. Implementación

El dispositivo se implementó en una vivienda básica que cuenta con suministro general, interruptor de iluminación e interruptor de fuerza, mostrado en la figura 39. Los sensores de corriente se colocaron de manera que la posición P1 estuviese paralela a la salida de corriente del interruptor.

Luego de la correcta instalación del equipo, el sistema empezó su funcionamiento el 30 de abril de 2018, como se muestra en la figura 40, con el valor cero como lectura inicial en los tres sensores.

Figura 38. **Página de historial de consumos**

Historial

192.168.1.21/historial.php

Inicio

Monitoreo

Historial de consumos

Historial por mes

Seleccione el mes a visualizar

Enero

Cambiar

Mayo

Lectura Inicial | Mon Apr 30 20:17:14 2018

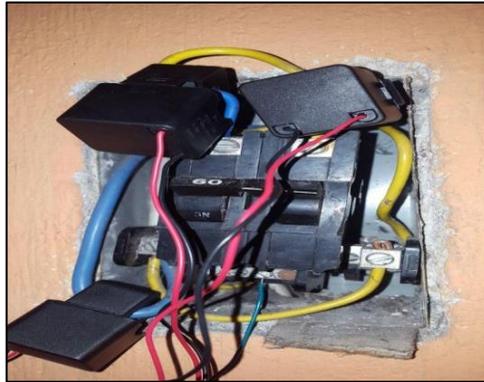
	Energia	Costo
General	0	0
Iluminacion	0	0
Fuerza	0	0

Lectura 1 | Mon Apr 30 20:22:30 2018

	Energia	Costo
General	0.0445KWh	Q 0.0496
Iluminacion	0.0012KWh	Q 0.0014
Fuerza	0.0435KWh	Q 0.0485

Fuente: elaboración propia, empelando Google Chrome.

Figura 39. **Tablero de interruptores**



Fuente: elaboración propia.

Figura 40. **Lectura inicial**

Lectura Inicial Mon Apr 30 20:17:14 2018		
	Energía	Costo
General	0	0
Iluminación	0	0
Fuerza	0	0

Fuente: elaboración propia, empleando Google Chrome.

Ocho días continuos fue el tiempo que el dispositivo estuvo recolectando información sobre el consumo eléctrico en la vivienda y el período de prueba finalizó el 8 de mayo de 2018, con un total de mil ochocientas once mediciones realizadas, y en la figura 41 se muestran los valores finales de energía consumida y el costo generado por este consumo:

Figura 41. **Lectura final**

Lectura 1811 Tue May 8 19:52:29 2018		
	Energia	Costo
General	75.5348KWh	Q 84.1232
Iluminacion	2.8801KWh	Q 3.2076
Fuerza	38.7361KWh	Q 43.1403

Fuente: elaboración propia, empleando Google Chrome.

Es común pensar que la suma de la energía consumida por los interruptores de iluminación y fuerza debería dar como resultado el valor del suministro general. Esta suposición se hace cuando el sistema que se está midiendo es ideal, balanceado y no posee pérdidas. Por lo tanto, en un sistema que no es ideal, como el utilizado, pueden existir muchos factores por los que esta diferencia se incrementa de tal manera.

5.3.1. **Mediciones en suministro general**

La figura 42 presenta toda la información de la última lectura realizada por el dispositivo en el suministro general, en el período explicado anteriormente. Estos datos fueron tomados del monitor de consumos en tiempo real.

Figura 42. **Medición final en suministro general**

Consumo general	
Corriente (A)	Potencia (KW)
4.28	513.68
Energia (KWh)	Costo (Q)
75.5348	84.1232

Fecha y hora de la lectura: Tue May 8 19:52:29 2018

Fuente: elaboración propia, empleando Google Chrome.

5.3.2. Mediciones en interruptor de iluminación

La figura 43 presenta toda la información de la última lectura realizada por el dispositivo en el interruptor de iluminación en el período de prueba. Estos datos fueron tomados del monitor de consumos en tiempo real.

Figura 43. **Medición final en interruptor de iluminación**

Consumo de iluminación	
Corriente (A)	Potencia (KW)
0.15	17.49
Energia (KWh)	Costo (Q)
2.8801	3.2076

Fecha y hora de la lectura: Tue May 8 19:52:29 2018

Fuente: elaboración propia, empleando Google Chrome.

5.3.3. Mediciones en interruptor de fuerza

La figura 44 presenta toda la información de la última lectura realizada por el dispositivo en el interruptor de fuerza, en el período explicado anteriormente. Estos datos fueron tomados del monitor de consumos en tiempo real.

Figura 44. **Medición final en interruptor de fuerza**

Consumo de tomacorrientes	
Corriente (A)	Potencia (KW)
3.93	471.52
Energía (KWh)	Costo (Q)
38.7361	43.1403

Fecha y hora de la lectura: Tue May 8 19:52:29 2018

Fuente: elaboración propia, empleando Google Chrome.

CONCLUSIONES

1. El dispositivo desarrollado permite que el usuario pueda visualizar en tiempo real el consumo energético en su vivienda.
2. Para manipular correctamente la señal proveniente de los sensores de corriente se utilizó tratamiento analógico y digital.
3. El acceso a la información que el dispositivo genera se realiza de manera más sencilla desde la página web desarrollada como interfaz de usuario.
4. Después de ocho días de trabajo continuo, el dispositivo registró mil ochocientas once lecturas completas por cada interruptor. Estas fueron almacenadas en la base de datos del sistema.
5. La sumatoria de los interruptores específicos no coincide con el total del interruptor principal, debido al desbalance del sistema eléctrico en donde se implementó el dispositivo.

RECOMENDACIONES

1. Instalar los sensores de corriente como se especifica en la sección 5.3, para que la medición sea correcta.
2. Realizar la conexión de drenaje a tierra en los sensores de corriente, para evitar zumbidos y corrientes parásitas que pueden dañar al dispositivo completo.
3. Verificar que el valor de calibración en los potenciómetros de precisión coincida con el propuesto en la sección 3.1.2.
4. Evitar la sobrecarga de sensores conectados al microcontrolador, para que los datos sean precisos y este trabaje de manera eficiente.
5. Verificar que la relación de entrada y salida de los sensores de corriente sea la misma a los presentados en la sección 3.1.1.
6. Seleccionar una dirección IP que esté bajo los lineamientos establecidos por el *router* que contiene la red local.
7. Realizar inspección de lecturas cada veinte minutos después de haber sido instalado por primera vez el dispositivo.

BIBLIOGRAFÍA

1. BOYLESTAD, R. *Introducción al análisis de circuitos*. 10ª ed. México: Pearson Educación, 2004. 1248 p.
2. CCM. *Dirección IP*. [en línea]. <<http://es.ccm.net/contents/267-direccion-ip>>. [Consulta: 2 de marzo de 2018].
3. CHENG, David K. *Fundamentos de electromagnetismo para ingeniería*. México: Pearson Educación, 1993. 510 p.
4. CISCO. *Direccionamiento de IP y conexión en subredes para los usuarios nuevos*. [en línea]. <https://www.cisco.com/c/es_mx/support/docs/ip/routing-information-protocol-rip/13788-3.html>. [Consulta: 2 de marzo de 2018].
5. Deusto Formación. *7 características del lenguaje PHP que lo convierten en uno de los más potentes*. [en línea]. <<https://www.deustoformacion.com/blog/programacion-diseno-web/7-caracteristicas-lenguaje-php-que-lo-convierten-uno-mas-potentes>>. [Consulta: 2 de marzo de 2018].
6. Electrónica Estudio. *¿Qué es un microcontrolador?* [en línea]. <<http://www.electronicaestudio.com/microcontrolador.htm>>. [Consulta: 5 de marzo de 2018].

7. Electrosome. *Using UART on Raspberry Pi – Python*. [en línea]. <<https://electrosome.com/uart-raspberry-pi-python/>>. [Consulta: 10 de marzo de 2018].
8. FLOYD, Thomas L. *Dispositivos electrónicos*. 8ª ed. México: Pearson Educación, 2008. 1008 p.
9. HAYT, William; BUCK, John. *Teoría electromagnética*. 7ª ed. México: McGraw-Hill Interamericana, 2006. 611 p.
10. Microsoft. *Networking Basics: Network addressing*. [en línea]. <[https://docs.microsoft.com/en-us/previous-versions/windows/it-pro/windows-server-essentials-sbs/cc527495\(v=ws.10\)](https://docs.microsoft.com/en-us/previous-versions/windows/it-pro/windows-server-essentials-sbs/cc527495(v=ws.10))>. [Consulta: 2 de marzo de 2018].
11. PCE Ibérica. *Transformadores de corriente*. [en línea]. <<https://www.pce-iberica.es/instrumentos-de-medida/medidores/transformadores-corriente.htm>>. [Consulta: 5 de marzo de 2018].
12. PHP. *Qué es PHP*. [en línea]. <<http://php.net/manual/es/intro-what-is.php>>. [Consulta: 2 de marzo de 2018].
13. Revista Ejemplode.com. *Ejemplo de leer y mostrar archivo de texto en PHP*. [en línea]. <https://www.ejemplode.com/20-php/138-ejemplo_de_leer_y_mostrar_archivo_de_texto_en_php.html>. [Consulta: 10 de marzo de 2018].

14. SEDRA, Adel; SMITH, Kenneth. *Circuitos microelectrónicos*. 4^a ed. México: Oxford University Press, 1999. 1158 p.
15. SUAREZ, Alejandro. *El módulo time*. [en línea]. <<https://python-para-impacientes.blogspot.com/2017/03/el-modulo-time.html>>. [Consulta: 10 de marzo de 2018].
16. Texas Instruments. *LMx58-N Low-Power, Dual-Operational Amplifiers*. [en línea]. <<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm158-n.pdf>>. [Consulta: 5 de marzo de 2018].

APÉNDICES

Apéndice 1. Código fuente Raspberry Pi.

```
import time
import serial

ser = serial.Serial(

    port = '/dev/ttyUSB0',
    baudrate = 9600,
    timeout = 1
)

def lectura0():
    rg0 = time.ctime()
    f.write("<br/><strong>Lectura Inicial")
    f.write(" | ")
    f.write(str(rg0))
    f.write("</strong><br/>")

    f.write("<table><tr>")
    f.write("<td> &nbsp;</td>")
    f.write("<th>Energia</th>")
    f.write("<th>Costo</th>")
    f.write("</tr>\n")

    f.write("<tr><th>General</th>")
    f.write("<td>")
    f.write(str(0))
```

Continuación apéndice 1.

```
f.write("</td>")
f.write("<td>")
f.write(str(0))
f.write('</td></tr>\n')

f.write("<tr><th>Iluminacion</th>")
f.write("<td>")
f.write(str(0))
f.write("</td>")
f.write("<td>")
f.write(str(0))
f.write('</td></tr>\n')

f.write("<tr><th>Fuerza</th>")
f.write("<td>")
f.write(str(0))
f.write("</td>")
f.write("<td>")
f.write(str(0))
f.write('</td></tr>\n')
f.write("</table>")
print 'Ciclo: 0'
f.close()
```

```
Tmuestreo = 300
costoKWH = 1.079
tRef1 = time.gmtime()
et1 = 0
et2 = 0
```

Continuación apéndice 1.

```
et3 = 0
M = 0

if tRef1.tm_mon == 1:
    f = open('dataBase_Enero.txt','a')
    lectura0()
elif tRef1.tm_mon == 2:
    f = open('dataBase_Febrero.txt','a')
    lectura0()
elif tRef1.tm_mon == 3:
    f = open('dataBase_Marzo.txt','a')
    lectura0()
elif tRef1.tm_mon == 4:
    f = open('dataBase_Abril.txt','a')
    lectura0()
elif tRef1.tm_mon == 5:
    f = open('dataBase_Mayo.txt','a')
    lectura0()
elif tRef1.tm_mon == 6:
    f = open('dataBase_Junio.txt','a')
    lectura0()
elif tRef1.tm_mon == 7:
    f = open('dataBase_Julio.txt','a')
    lectura0()
elif tRef1.tm_mon == 8:
    f = open('dataBase_Agosto.txt','a')
    lectura0()
elif tRef1.tm_mon == 9:
    f = open('dataBase_Septiembre.txt','a')
    lectura0()
```

Continuación apéndice 1.

```
elif tRef1.tm_mon == 10:
    f = open('dataBase_Octubre.txt','a')
    lectura0()
elif tRef1.tm_mon == 11:
    f = open('dataBase_Noviembre.txt','a')
    lectura0()
elif tRef1.tm_mon == 12:
    f = open('dataBase_Diciembre.txt','a')
    lectura0()
else:
    print "Error!!!!!"

try:
    TEspera = time.time()
    while time.time() - TEspera < 5:
        k = ser.readline()

while 1:
    #f = open('dataBase.txt','a')
    N = 0
    P1 = 0
    P2 = 0
    P3 = 0
    ti = time.time()
    tRef2 = time.gmtime()

    if tRef1.tm_mon == tRef2.tm_mon:
        if tRef2.tm_mon == 1:
            f = open('dataBase_Enero.txt','a')
        elif tRef2.tm_mon == 2:
```

Continuación apéndice 1.

```
        f = open('dataBase_Febrero.txt','a')
elif tRef2.tm_mon == 3:
        f = open('dataBase_Marzo.txt','a')
elif tRef2.tm_mon == 4:
        f = open('dataBase_Abril.txt','a')
elif tRef2.tm_mon == 5:
        f = open('dataBase_Mayo.txt','a')
elif tRef2.tm_mon == 6:
        f = open('dataBase_Junio.txt','a')
elif tRef2.tm_mon == 7:
        f = open('dataBase_Julio.txt','a')
elif tRef2.tm_mon == 8:
        f = open('dataBase_Agosto.txt','a')
elif tRef2.tm_mon == 9:
        f = open('dataBase_Septiembre.txt','a')
elif tRef2.tm_mon == 10:
        f = open('dataBase_Octubre.txt','a')
elif tRef2.tm_mon == 11:
        f = open('dataBase_Noviembre.txt','a')
elif tRef2.tm_mon == 12:
        f = open('dataBase_Diciembre.txt','a')
else:
        print "Error!!!!!"
else:
    #et1 = 0
    #et2 = 0
    #et3 = 0
    #M = 0
    print "Cambio de mes"
```

Continuación apéndice 1.

```
if tRef2.tm_mon == 1:
    f = open('dataBase_Enero.txt','a')
    lectura0()
elif tRef2.tm_mon == 2:
    f = open('dataBase_Febrero.txt','a')
    lectura0()
elif tRef2.tm_mon == 3:
    f = open('dataBase_Marzo.txt','a')
    lectura0()
elif tRef2.tm_mon == 4:
    f = open('dataBase_Abril.txt','a')
    lectura0()
elif tRef2.tm_mon == 5:
    f = open('dataBase_Mayo.txt','a')
    lectura0()
elif tRef2.tm_mon == 6:
    f = open('dataBase_Junio.txt','a')
    lectura0()
elif tRef2.tm_mon == 7:
    f = open('dataBase_Julio.txt','a')
    lectura0()
elif tRef2.tm_mon == 8:
    f = open('dataBase_Agosto.txt','a')
    lectura0()
elif tRef2.tm_mon == 9:
    f = open('dataBase_Septiembre.txt','a')
    lectura0()
elif tRef2.tm_mon == 10:
    f = open('dataBase_Octubre.txt','a')
    lectura0()
```

Continuación apéndice 1.

```
elif tRef2.tm_mon == 11:
    f = open('dataBase_Noviembre.txt','a')
    lectura0()
elif tRef2.tm_mon == 12:
    f = open('dataBase_Diciembre.txt','a')
    lectura0()
else:
    print "Error!!!!!"

while time.time() - ti < Tmuestreo:
    z = ser.readline()
    y = z.strip('\n')
    y = y.strip('\r')
    a,b,c = y.split(",")
    P1 = P1 + float(a)
    P2 = P2 + float(b)
    P3 = P3 + float(c)
    N = N + 1

Pprom1 = P1/N
Pprom2 = P2/N
Pprom3 = P3/N
ep1 = (Pprom1/1000)*(0.08333)
ep2 = (Pprom2/1000)*(0.08333)
ep3 = (Pprom3/1000)*(0.08333)
et1 = (et1 + ep1)
et2 = (et2 + ep2)
et3 = (et3 + ep3)
ce1 = (et1)*costoKWH
ce2 = (et2)*costoKWH
```

Continuación apéndice 1.

```
ce3 = (et3)*costoKWH

rg = time.ctime()

g = open("RTdata.txt","w")
#General
g.write(str(round(Pprom1/120,2)))
g.write(",")
g.write(str(round(Pprom1,2)))
g.write(",")
g.write(str(round(et1,4)))
g.write(",")
g.write(str(round(ce1,4)))
g.write(",")
        #Iluminacion
g.write(str(round(Pprom2/120,2)))
g.write(",")
g.write(str(round(Pprom2,2)))
g.write(",")
g.write(str(round(et2,4)))
g.write(",")
g.write(str(round(ce2,4)))
g.write(",")
#Fuerza
g.write(str(round(Pprom3/120,2)))
g.write(",")
g.write(str(round(Pprom3,2)))
g.write(",")
g.write(str(round(et3,4)))
g.write(",")
```

Continuación apéndice 1.

```
g.write(str(round(ce3,4)))
g.write(",")
g.write("Fecha y hora de la lectura: ")
g.write(str(rg))
g.close()
```

```
M = M + 1
f.write("<br/><strong>Lectura ")
f.write(str(M))
f.write(" | ")
f.write(str(rg))
f.write("</strong><br/>")
```

```
f.write("<table><tr>")
f.write("<td> &nbsp;</td>")
f.write("<th>Energia</th>")
f.write("<th>Costo</th></tr>\n")
```

```
f.write("<tr><th>General</th>")
f.write("<td>")
f.write(str(round(et1,4)))
f.write("KWh</td>")
f.write("<td>Q ")
f.write(str(round(ce1,4)))
f.write('</td></tr>\n')
f.write("<tr><th>Iluminacion</th>")
f.write("<td>")
f.write(str(round(et2,4)))
f.write("KWh</td>")
f.write("<td>Q ")
```

Continuación apéndice 1.

```
f.write(str(round(ce2,4)))
f.write('</td></tr>\n')
f.write("&tr><th>Fuerza</th>")
f.write("&td>")
f.write(str(round(et3,4)))
f.write("KWh</td>")
f.write("&td>Q ")
f.write(str(round(ce3,4)))
f.write('</td></tr>\n')
f.write("&table>")
print 'Ciclo: ',M
f.close()
tRef1 = time.gmtime()
except KeyboardInterrupt:
    ser.close()
f.close()
```

1. Código fuente del microcontrolador

```
float Vrms = 110.0;
int Tmuestreo = 500;

void setup() {
    Serial.begin(115200);
    analogReference(INTERNAL);
}

void loop() {

    float V_CT1, V_CT2, V_CT3; //Voltaje de Sensores
    float IrmsT = 0; //corriente 1
```

Continuación apéndice 1.

```
float Irms2 = 0; //corriente 2
float Irms3 = 0; //corriente 3
float S1 = 0; //Sumatoria 1
float S2 = 0; //Sumatoria 2
float S3 = 0; //Sumatoria 3
long t = millis(); //tiempo
int N = 0; //Contador 1

while(millis() - t < Tmuestreo){
  V_CT1 = analogRead(A1) * (1.1/1023.0);
  V_CT2 = analogRead(A2) * (1.1/1023.0);
  V_CT3 = analogRead(A3) * (1.1/1023.0);
  IrmsT = V_CT1 * 110.0;
  Irms2 = V_CT2 * 110.0;
  Irms3 = V_CT3 * 110.0;
  S1 = S1 + sq(IrmsT);
  S2 = S2 + sq(Irms2);
  S3 = S3 + sq(Irms3);
  N = N+1;
  //delay(1);
}
S1 = S1*2;
IrmsT = sqrt((S1)/N);

S2 = S2*2;
Irms2 = sqrt((S2)/N);

S3 = S3*2;
Irms3 = sqrt((S3)/N);
```

Continuación apéndice 1.

```
float PT = IrmsT * Vrms;  
float P2 = Irms2 * Vrms;  
float P3 = Irms3 * Vrms;  
  
Serial.print(PT);  
Serial.print(",");  
Serial.print(P2);  
Serial.print(",");  
Serial.println(P3);  
Serial.flush();  
}
```

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Código de página de inicio.

```
<!DOCTYPE html PUBLIC "-//W3C//DTD HTML 4.01//EN">
<html>
  <head>
    <title>Inicio</title>
    <link rel="stylesheet" href="formato.css">
    <!--<meta http-equiv="refresh" content="5; url=info.php">-->
  </head>

  <body>
    <!-- Menu General -->
    <ul class="navbar">
      <li><a href="index.html">Inicio</a>
      <li><a href="monitor.php">Monitoreo</a>
      <li><a href="historial.php">Historial de consumos</a>
      <li><a href="info.html" >Informacion general</a>
    </ul>
  </body>

  <br><br><h1>Monitor de consumo energetico</h1>
  <p>Bienvenido!
  <p>En este sitio encontraras el control general de tu dispositivo de monitoreo,
para estar enterado de los gastos relacionados a la energia electrica en tu vivienda.
  <p>Cuentas con dos menus, en los que podras revisar los parametros
relacionados al consumo actual y tambien un historial que contiene la energia y costo
acumulado, por mes.

</html>
```

Fuente: elaboración propia

Apendice 3. Código de página monitor.

```
<html>

<head>
  <title>Monitor</title>
  <link rel="stylesheet" href="formato.css">
  <!--<meta http-equiv="refresh" content="5; url=monitor.php">-->
</head>

<body>
  <!-- Menu General -->
  <ul class="navbar">
    <li><a href="index.html">Inicio</a>
    <li><a href="monitor.php">Monitoreo</a>
    <li><a href="historial.php">Historial de consumos</a>
  </ul>

  <ul class="navbarM">
    <li><a href="general.php">General</a>
    <li><a href="iluminacion.php">Iluminacion</a>
    <li><a href="fuerza.php">Tomacorrientes</a>
  </ul>

  <br><br><h1>Monitoreo en tiempo real</h1>
  <p>En esta seccion encontrara tres submenus para visualizar los
consumos energeticos de su vivienda.
  <p>Los datos se interpretan mediante una tabla de valores, de la
siguiente manera:<br><br>

  <table>
  <tr>
```

Continuación apéndice 3.

```
<th>Corriente (A)</th>
<th>Potencia (KW)</th>
</tr>
<tr>
<td>Corriente demandada</td>
<td>Potencia consumida</td>
</tr>
<tr>
<th>Energia (KWh)</th>
<th>Costo (Q)</th>
</tr>
<tr>
<td>Energia acumulada</td>
<td>Dinero gastado en el mes</td>
</tr>
</table>

</body>

</html>
```

Fuente: elaboración propia.

