



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES INDUSTRIALES

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE MONITOREO DE PARÁMETROS DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA, MEDIANTE DISPOSITIVOS INTELIGENTES APLICADO A LAS IoT EN USO RESIDENCIAL”

Trabajo de Titulación

TIPO: Dispositivo Tecnológico

Presentado para optar el grado académico de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA, CONTROL Y REDES INDUSTRIALES

AUTOR: FREDDY EDUARDO LAPO ROBLES

DIRECTOR: Dr. GEOVANNY ESTUARDO VALLEJO VALLEJO

Riobamba – Ecuador

2020

©2020, FREDDY EDUARDO LAPO ROBLES

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, FREDDY EDUARDO LAPO ROBLES, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 01 de septiembre de 2020



Freddy Eduardo Lapo Robles

070534355-6

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA

**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES
INDUSTRIALES**

El tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de titulación: tipo: Dispositivo Tecnológico, “**DISEÑO DE UN SISTEMA DE MONITOREO DE PARÁMETROS DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA, MEDIANTE DISPOSITIVOS INTELIGENTES APLICADO A LAS IoT EN USO RESIDENCIAL**”, realizado por el señor: **FREDDY EDUARDO LAPO ROBLES**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud del Tribunal Autoriza su presentación.

FIRMA

FECHA

Ing. Edwin Vinicio Altamirano Santillán
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Dr. Geovanny Estuardo Vallejo Vallejo
**DIRECTOR DE TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Ing. José Luis Morales Gordon
MIEMBRO DE TRIBUNAL

DEDICATORIA

El actual trabajo de titulación va dedicado a mis padres, por brindarme todo su apoyo y guiarme cada día, tanto en el transcurso de mi vida como en mi trayectoria académica, a mi hermana, que a pesar de la distancia siempre me ha motivado a seguir adelante en todos mis propósitos, a mi familia que siempre han estado pendiente de mi bienestar y ayudarme cuando se presentaba una situación complicada, a todos mis amigos y personas que estimo mucho que me daban ánimos o un consejo cuando más lo necesitaba.

Freddy

AGRADECIMIENTO

Por todo lo vivido, agradezco a Dios por ser el omnipotente que me dio fuerza y sabiduría para mantenerme firme en este camino difícil del cual supe entender la importancia de ser alguien mejor en la vida, un ejemplo a seguir y ser una mejor persona cada día, a mis queridos padres Nanci y Freddy, que siempre me guiaron mis pasos en cada una de las circunstancias de la vida hasta llegar a mi formación universitaria que, a pesar de no tenerlos cerca, siempre considere todo el esfuerzo y sacrificio que hicieron para que llegara hasta aquí, a mi apreciada hermana Katherine, por darme ánimos y consejos cuando pasaba por un momento crucial y afligido, además de alentarme a progresar en mis estudios, a todos los docentes que me brindaron y aportaron conocimientos durante mi formación académica hasta culminar y dar un paso hacia el ámbito profesional de igual manera a los ingenieros Andrés Morocho y José Morales por su apoyo y orientación en el desarrollo del trabajo de titulación, finalmente a todos mis compañeros, amigos y personas que he llegado a conocer en esta etapa de mi vida en la que tuve momentos únicos e inolvidables es por ello que siempre los apreciaré mucho y que de alguna forma cooperaron en conseguir este gran logro.

Freddy

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiii
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	xiv
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	xv
RESUMEN.....	xvii
SUMMARY.....	xviii
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1	MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	4
1.1	El Internet De Las Cosas.....	4
1.1.1	<i>Tipos de Conectividad en la IoT.....</i>	<i>5</i>
1.1.2	<i>Protocolos De Comunicación IoT.....</i>	<i>8</i>
1.1.2.1	<i>Protocolo de Comunicación entorno Doméstico.....</i>	<i>8</i>
1.1.2.2	<i>Protocolo de Comunicación entorno Industrial.....</i>	<i>9</i>
1.2	Conceptualización del Consumo Energético Residencial.....	10
1.2.1	<i>Calidad Energética.....</i>	<i>10</i>
1.2.2	<i>Eficiencia Energética.....</i>	<i>11</i>
1.2.2.1	<i>Eficiencia Energética en el Sector Residencial.....</i>	<i>11</i>
1.2.2.2	<i>Normas y Reglamentos de la Eficiencia Energética.....</i>	<i>12</i>
1.2.3	Situación del Sector Eléctrico en el Ecuador.....	13
1.2.3.1	<i>Evolución de demanda por categorías de consumo.....</i>	<i>14</i>
1.2.3.2	<i>Proyección de demanda en el sector Residencial.....</i>	<i>14</i>
1.2.3.3	<i>Precio promedio de energía facturada a clientes regulados.....</i>	<i>15</i>
1.3	Armónicos En Las Redes Eléctricas.....	16
1.3.1	<i>Armónicos.....</i>	<i>16</i>
1.3.2	<i>Fuentes de Armónicos.....</i>	<i>17</i>
1.3.3	<i>Efectos de armónicos en la red Eléctrica.....</i>	<i>18</i>
1.3.4	<i>Parámetros esenciales de la distorsión armónica.....</i>	<i>19</i>
1.3.5	<i>Normativas para la distorsión armónica.....</i>	<i>23</i>
1.3.5.1	<i>Norma IEEE Std 519 – 2014.....</i>	<i>24</i>

1.3.5.2	<i>Norma nacional CONELEC 004/01</i>	25
1.4	Sistemas de Monitoreo Energéticos Comerciales	27
1.4.1	<i>Medidor de energía PowerLogic PM8240</i>	27
1.4.2	<i>Central de medida para circuitos de derivación BCPMC224S</i>	28
1.4.3	<i>Analizador de Red METSEPM3200</i>	29
1.4.4	<i>Equiparación de los sistemas de monitoreo comerciales</i>	30
1.5	Sensores	31
1.5.1	<i>Sensores por el principio de transducción</i>	32
1.5.2	<i>Sensores por el tipo de variable medida</i>	32
1.5.3	<i>Sensores de Corriente y Voltaje</i>	33
1.6	Placas de Desarrollo	34
1.7	Tarjetas o dispositivos de comunicación	36
1.8	Elementos de Visualización	37
1.10	Herramientas para el Diseño de Interfaces Web	39

CAPITULO II

2	PROPUESTA Y DISEÑO DEL PROTOTIPO	41
2.1	Requerimientos y esquemización para el diseño del sistema	41
2.2	Diseño global de la Arquitectura del sistema	42
2.3	Diseño por etapas del sistema	43
2.4	Selección de dispositivos electrónicos para el sistema de monitoreo	45
2.4.1	<i>Arduino Mega 2560</i>	45
2.4.2	<i>Sensor de Corriente no invasivo SCT 013 – 030 y SCT 013 – 010</i>	46
2.4.3	<i>Sensor de Corriente no invasivo SCT 013 – 000</i>	47
2.4.4	<i>Módulo transformador de voltaje AC ZMPT101B</i>	48
2.4.5	<i>Módulo de fuente de alimentación – convertidor de potencia 12V/5V</i>	48
2.4.6	<i>Amplificador operacional LM358P</i>	49
2.4.7	<i>Raspberry Pi 3 B+</i>	50
2.4.8	<i>LCD 192x64</i>	51
2.4.9	<i>Módulo adaptador I2C para LCD</i>	52
2.4.10	<i>Conector Jack 3.5mm Encapsulado estéreo</i>	53
2.5	Diagrama de Conexiones para el sistema de Monitoreo	54
2.5.1	<i>Etapas de alimentación</i>	54
2.5.2	<i>Etapas de Acondicionamiento de las señales</i>	55
2.5.3	<i>Etapas de Adquisición de Datos</i>	56
2.5.4	<i>Etapas para el procesamiento de datos y visualización</i>	58

2.6	Diseño de Software del Sistema de monitoreo.....	59
2.6.1	<i>Requerimientos de Software para el sistema de Monitoreo.....</i>	59
2.6.2	<i>Software para la lectura y procesamiento de las señales</i>	60
2.6.2.1	<i>Programación en el entorno de Arduino</i>	60
2.6.3	<i>Software para la creación de la Base de datos e interfaz Web</i>	63

CAPITULO III

3	VALIDACIÓN DEL PROTOTIPO	68
3.1	Constatación de sensores.....	68
3.1.1	<i>Constatación de medición para el voltaje</i>	69
3.1.2	<i>Constatación de medición de los sensores no invasivos</i>	70
3.2	Evaluación del envío y recepción de datos	73
3.3	Pruebas para la admisión de mensajes de alerta	75
3.4	Verificación de los parámetros de la calidad energética	76
3.4.1	<i>Validación de las mediciones de potencia</i>	77
3.4.2	<i>Validación de las mediciones del factor de potencia.....</i>	79
3.4.3	<i>Validación de las mediciones de la distorsión armónica total.....</i>	81
3.5	Análisis de la corriente entre los grupos de circuitos existentes.....	85

CAPITULO IV

4	EVALUACIÓN ECONÓMICA	91
4.1	Beneficio y comparación de costos.....	91
	CONCLUSIONES.....	92
	RECOMENDACIONES.....	93

GLOSARIO

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	Norma – Reglamentos para la Eficiencia Eléctrica	13
Tabla 2-1:	Precio medio de energía facturada por las empresas distribuidoras	16
Tabla 3-1:	Clasificación de las Fuentes Armónicas	17
Tabla 4-1:	Límites de distorsión de voltaje según la norma IEEE 519 – 2014.....	24
Tabla 5-1:	Límites de distorsión de corriente para sistemas de 120 V a 169 KV	24
Tabla 6-1:	Limites de distorsión de corriente para sistemas con 69 KV – 161 KV nominal	25
Tabla 7-1:	Limites de distorsión de corriente para sistemas mayor a 161 KV	25
Tabla 8-1:	Limites armónicos para V y THD según CONELEC.....	26
Tabla 9-1:	Características de sistemas de monitoreo comerciales	30
Tabla 10-1:	Características principales de sensores de voltaje – corriente	33
Tabla 11-1:	Características de sistemas de monitoreo comerciales	34
Tabla 12-1:	Características de los dispositivos de comunicación	36
Tabla 13-1:	Diferencias entre LCD y LCD TOUCH NEXTIONS	37
Tabla 14-1:	Ventajas y Desventajas entre plataformas de bases de datos	38
Tabla 15-1:	Características de herramientas de desarrollo de interfaces web.....	40
Tabla 1-2:	Lista de comandos para la instalación de phpMyAdmin y MariaDB.....	64
Tabla 2-2:	Comandos para la conexión entre el servidor y la red Local.....	65
Tabla 3-2:	Lista de nodos aplicados en el editor de flujos de Node – Red	66
Tabla 1-3:	Comparación de medidas tomadas entre el MT – 1710 y el ZMPT101B	69
Tabla 2-3:	Mediciones de los sensores no invasivos y equipo patrón	71
Tabla 3-3:	Resultados de datos procesados enviados y receptados en la interfaz web	74
Tabla 4-3:	Resultado de pruebas para la recepción de notificaciones.....	76
Tabla 5-3:	Equiparación entre las mediciones de potencia del sistema y equipo patrón	77
Tabla 6-3:	Nómina de cargas conectadas a cada circuito de la residencia.....	79
Tabla 7-3:	Validación de mediciones de FP entre el sistema y el equipo Fluke	80
Tabla 8-3:	Validación de mediciones del THD _I entre el sistema y el equipo Fluke 435	82
Tabla 9-3:	Lecturas de Amperaje para el análisis de ANOVA	85
Tabla 1-4:	Costos de componentes utilizados en la implementación del sistema.....	91

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1.	Objetos conectados por Internet según la evolución futura.....	5
Figura 2-1.	Modelo de comunicación “Dispositivo a Dispositivo”	6
Figura 3-1.	Modelo de comunicación “Dispositivo a la Nube”	6
Figura 4-1.	Modelo de comunicación de “Dispositivo a Puerta de Enlace”	7
Figura 5-1.	Modelo de intercambio de datos a través del back end	7
Figura 6-1.	Aplicaciones de la IoT en la Industria.....	9
Figura 7-1.	Escala de la eficiencia eléctrica.....	12
Figura 8-1.	Demanda anual de energía entre los periodos 2007-2016.....	13
Figura 9-1.	Evolución de consumo facturado por sector 2007 – 2016	14
Figura 10-1.	Proyección de clientes para el sector residencial	15
Figura 11-1.	Proyección del consumo energético para el sector residencial	15
Figura 12-1.	Descomposición de la onda distorsionada y orden de los armónicos.....	17
Figura 13-1.	Medidor PowerLogic.....	28
Figura 14-1.	Central de medidas BCMP	29
Figura 15-1.	Medidor METSEPM3200	30
Figura 16-1.	Clasificación de sensores por principio de transducción.....	32
Figura 17-1.	Clasificación de sensores de variable física	33
Figura 1-2.	Esquema global del sistema	42
Figura 2-2.	Arquitectura del sistema por etapas.....	43
Figura 3-2.	Arduino MEGA 2560.....	45
Figura 4-2.	Sensor SCT 013 – 030.....	46
Figura 5-2.	Sensor SCT 013 – 000.....	47
Figura 6-2.	Módulo de voltaje ZMPT101B	48
Figura 7-2.	Fuente Conmutada DC – DC	49
Figura 8-2.	OPAM LM358P	50
Figura 9-2.	Tarjeta Raspberry Pi3 B+	51
Figura 10-2.	Pantalla LCD 192x64 de 4 pulgadas	52
Figura 11-2.	Módulo para LCD a interfaz I2C	52
Figura 12-2.	Conector Jack	53
Figura 13-2.	Esquemático de etapa de alimentación.....	54
Figura 14-2.	Conexión para Acondicionamiento de señal de corriente	55
Figura 15-2.	Conexión para Acondicionamiento de sensor SCT 013 – 000.....	56
Figura 16-2.	Forma de colocar el sensor de corriente.....	56

Figura 17-2.	Conexión para la lectura de voltaje en la carga.....	57
Figura 18-2.	Conexión de módulos y sensores para la adquisición de señales.....	57
Figura 19-2.	Esquema de Conexión para el procesamiento y visualización de datos.....	58
Figura 20-2.	Flujograma de la lectura y visualización de parámetros eléctricos.....	61
Figura 21-2.	Flujograma de conexión y Recepción en la Base de datos.....	65
Figura 22-2.	Diagrama de flujo de comunicación entre el servidor y la interfaz web.....	67
Figura 1-3.	Montaje e Implementación del Sistema de Monitoreo.....	68
Figura 2-3.	Multímetro MT – 1210.....	69
Figura 3-3.	Pinza Amperimétrica MT – 3266.....	71
Figura 4-3.	Información procesada en la base de datos desde su interfaz phpMyAdmin.....	73
Figura 5-3.	Lecturas desde la interfaz Web.....	74
Figura 6-3.	Registro en la plataforma Twilio y demostración del SMS.....	75
Figura 7-3.	Analizador de señales Fluke 435.....	77
Figura 8-3.	Medición máxima y mínima de potencia para el circuito 4.....	78
Figura 9-3.	Resultado del THD _I desde equipo Fluke para circuito 4.....	83
Figura 10-3.	Señales de voltaje y corriente para el circuito 3 obtenidos en el equipo Fluke.....	85
Figura 11-3.	Prueba ANOVA aplicada para las muestras de cada circuito.....	87
Figura 12-3.	Comparación por circuitos individuales utilizando la herramienta Tukey.....	88

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3. Distorsión Armónica total para el circuito 3.....	84
Gráfico 2-3. Comparación entre las medias entre los circuitos con un 95% de confianza	89
Gráfico 3-3. Pruebas para encontrar la disconformidad entre los circuitos según su amperaje.	90

ÍNDICE DE ANEXOS

- Anexo A:** Especificaciones Técnicas del Arduino Mega 2560
- Anexo B:** Datos técnicos de los sensores no invasivos series SCT 013
- Anexo C:** Datos técnicos del modulo de voltaje ZMPT101B – Esquemático
- Anexo D:** Datos técnicos de Fuente Step Down 12/5 VDC
- Anexo E:** Datos técnicos de amplificador operacional dual LM358P
- Anexo F:** Especificaciones técnicas de Raspberry Pi3 B+
- Anexo G:** Datos técnicos de LCD 192x64
- Anexo H:** Datos técnicos de modulo I2C
- Anexo I:** Dimensiones conector de audio estéreo 3.5mm
- Anexo J:** Código principal del sistema de monitoreo
- Anexo K:** Programación visual a través de diagramas de flujo para el desarrollo de la interfaz
- Anexo L:** Estructura de la interfaz web desarrolla en Node – Red
- Anexo M:** Esquematación para la obtención del FP para el circuito 4
- Anexo N:** Reemplazamiento de interruptores en el tablero de distribución
- Anexo O:** Placa PCB del sistema y montaje en el gabinete eléctrico
- Anexo P:** Funcionamiento del sistema de monitoreo energético en la residencia
- Anexo Q:** Registro y toma de datos con el analizador de calidad energética Fluke 435

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1-1.	Factor de Potencia.....	19
Ecuación 2-1.	Factor de Potencia en presencia de armónicos.....	19
Ecuación 3-1.	Potencia activa	20
Ecuación 4-1.	Potencia de una señal sinusoidal	20
Ecuación 5-1.	Potencia reactiva	20
Ecuación 6-1.	Potencia aparente	20
Ecuación 7-1.	Potencia aparente en presencia de armónicos	21
Ecuación 8-1.	Potencia de distorsión	21
Ecuación 9-1.	Corriente.....	21
Ecuación 10-1.	Voltaje.....	21
Ecuación 11-1.	Armónica de la corriente.....	21
Ecuación 12-1.	Armónica del voltaje	22
Ecuación 13-1.	THD en una señal.....	22
Ecuación 14-1.	THD del voltaje.....	22
Ecuación 15-1.	THD de la intensidad	22
Ecuación 16-1.	THD de la intensidad con IRMS total.....	23
Ecuación 17-1.	DH individual del voltaje	23
Ecuación 18-1.	DH individual de la corriente	23
Ecuación 1-3.	Cargas con amperaje inferior a 5A.....	73
Ecuación 2-3.	Cargas con amperaje superior a 30A	73

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

A:	Amperios
AC:	Corriente Alterna
ALG:	Puerta de Enlace de capa de Aplicación
ARCONEL:	Agencia de Regulación y Control de Electricidad
BCPM:	Medidor de potencia de circuito derivado
CONELEC:	Consejo Nacional de Electricidad
DC:	Corriente Directa
DH:	Distorsión Armónica
EIA:	Agencia Internacional de Energía
GWH:	Gigawatts hora
GSM:	Sistema global para las comunicaciones móviles
GPRS:	Servicio general de paquetes vía radio
HTML:	Lenguaje de Marcado de Hipertexto
HZ:	Hertz
HTTP:	Protocolo de transferencia de hipertexto
HMI:	Interfaz Hombre – Maquina
IRMS:	Corriente eficaz
IDE:	Entorno de Desarrollo Integrado
INEN:	Servicio Ecuatoriano de Normalización
IP:	Protocolo de Internet
IoT:	Internet de las Cosas
KWh:	Kilowatts hora
LCD:	Pantalla de cristal líquido
MWh:	Megawatts hora
MEER:	Ministerio de Electricidad y Energía Renovable
PLC:	Comunicación por La línea de Potencia
RTE:	Reglamentos Técnicos
SCT:	Transformador de Corriente de Conmutación
SIM:	Módulo de Identificación de Abonado
SIN:	Sistema Nacional Interconectado
TCP:	Protocolo de Control de Transmisión

THD:	Distorsión Total Armónica
UDP:	Protocolo de Datagrama de Usuario
VDC:	Voltaje de Corriente Directa
VAC:	Voltaje de Corriente Alterna
W:	Watts
WIFI:	Fidelidad Inalámbrica
XML:	Lenguaje de Mercado Extensible

RESUMEN

El objetivo de la investigación tuvo como enfoque principal, el diseño e implementación de un sistema que permita realizar mediciones y monitoreo del consumo energético de los circuitos existentes que se encuentra en el tablero de distribución principal en una residencia situada en la provincia de Chimborazo de la ciudad de Riobamba. La implementación del sistema se comenzó a partir del acondicionamiento de las señales y se configuró a través de dos etapas: por circuitería y otra por programación. El procesamiento de datos se efectuó en la tarjeta Arduino y se envió la lectura procesada a la tarjeta Raspberry pi3 donde se diseñó la interfaz web. A partir del sistema se adquirió lecturas aceptables de cargas inferiores a 5 Amperios con un error relativo 0.06% y para cargas superiores a 30 Amperios un error de 4.06%, además se determinó un pronóstico de 90.77% en la variación de amperaje entre las seis cargas existentes dentro de la residencia, la red del entorno doméstico con metodología IoT, permitió la supervisión y comprobación de los parámetros energéticos, simultáneamente se almacenaron los datos adquiridos por los módulos de medición, a su vez se transmitió en tiempo real en una interfaz web y se notificó mediante SMS (Servicio de mensajes cortos) cada vez que se presentó un consumo inusual. Se concluye que el sistema funciona eficientemente debido a que los datos medidos llegan correctamente a la base de datos y representan el 94.69% de la información mientras que el medidor convencional no provee información precisa del consumo diario o calidad energética, además de que el usuario no pueda tener una constancia o no pueda refutar datos en caso de tener un cobro excesivo. Es recomendable amplificar las opciones de supervisión que permitan realizar un corte de energía en caso de sobreintensidades que puedan generar un sobrecalentamiento en los equipos.

Palabras Clave: <INGENIERÍA ELÉCTRICA>, <INTERNET DE LAS COSAS (IOT)>, <CONSUMO ENERGÉTICO>, <MONITOREO DE PARÁMETROS ENERGÉTICOS>, <ACONDICIONAMIENTO DE SEÑALES >, <EFICIENCIA ELÉCTRICA>



0423-DBRAI-UPT-2020

SUMMARY

The research was focused on designing and implementing a system that allows the energy consumption measurements and monitoring of the existing circuits located on the main distribution board in residence located in Riobamba city in Chimborazo province. The system implementation began from the signals conditioning and was configured through two stages: circuitry and another by programming. The data processing was carried out on the Arduino board, and the processed reading was sent to the Raspberry pi3 board, where the web interface was designed. Good readings of loads less than 5 Amps were acquired from the system with a relative error of 0.06%. An error of 4.06% for loads over 30 Amps was also acquired from the system. also, a forecast of 90.77% was determined in the amperage variation between the six existing loads in residence, as well as the domestic environment network with IoT methodology. This methodology allowed the energy parameters supervision and verification; simultaneously, the data acquired by the measurement modules were stored. In turn, a web interface was transmitted in real-time, and it was notified by SMS (Short Message Service) each time that an unusual consumption occurred. It is concluded that the system works efficiently because the correctly measured data reaches the database and represents 94.69% of the information. Simultaneously, the conventional meter does not provide accurate information on daily consumption or energy quality; besides, the user cannot have a proper record to claim in case of overcharging. It is recommended to amplify the supervision options that allow a power outage in overcurrents that may cause the overheating on equipment.

Keywords: <ELECTRICAL ENGINEERING>, <INTERNET OF THINGS (IOT)>, <ENERGY CONSUMPTION>, <ENERGY PARAMETERS MONITORING>, <SIGNAL CONDITIONING>, <ELECTRICAL EFFICIENCY>

INTRODUCCIÓN

Para el actual trabajo de titulación se realizó el diseño de un sistema de monitoreo de parámetros de la energía eléctrica, mediante dispositivos inteligentes aplicado a las IoT en uso residencial, con el objetivo de medir parámetros representativos de energía como voltaje, corriente, de manera que se pueda calcular el consumo eléctrico, porcentaje de distorsión total armónicos y el factor de potencia que se generan en cada circuito eléctrico o carga del hogar. Para ello, se levantará una red residencial con tecnología IoT que permitirá atender las recepciones de datos, el sistema será ubicado en el tablero de distribución principal o caja de breakers, para lo cual se captará la lectura de los datos desde el interior del hogar, se transmitirá por medio de los dispositivos conectados al sistema. Debido a la falta de conocimiento en general de la eficiencia eléctrica y el consumo energético, se busca determinar el consumo por cada circuito eléctrico en una residencia en tiempo real, para poder detectar los circuitos de mayor consumo y examinar los motivos que generan tales demandas de la energía en la vivienda.

ANTECEDENTES

Con el paso del tiempo, es notorio que el aumento de energía eléctrica por usuario va a evolucionar siguiendo el camino deseado para obtener un aprovechamiento de los recursos. En el Ecuador, se plantea conseguir el desarrollo sustentable sin afectar el medio ambiente ni desperdiciar los recursos naturales; esto es, satisfacer las necesidades energéticas de la sociedad, mejorando su calidad de vida con menor influencia al cambio climático. En contexto con las grandes potencias mundiales, hay una gran diferencia en la utilización de la energía eléctrica, pues en relación con nuestro país, no es relevante estudiar los altos consumos o desperdicios ya que aparentemente el volumen de consumo eléctrico es menor. No obstante, la demanda energética al igual que el número de usuarios que necesitan el suministro de esta, va en incremento para los próximos años de tal manera que el manejo del consumo eléctrico dependerá el uso eficiente en relación a la calidad de vida de los consumidores.(CONELEC, 2013, p.54)

La forma de vida estable de los habitantes de los países de un gran desarrollo industrial, actualmente, a sido afectado por la revolución de la economía que antes se basaba en aquella en la que cada persona o empresa solo produce lo que va a consumir e invertir por una economía en base a la actividad industrial. Se proyecta que para los años 2004 – 2030 se tendrá un gran

incremento hasta el 58% de la demanda energética en países que se encuentran en vías de crecimiento económico, esto según la EIA (Agencia Internacional de Energía). (eltelégrafo, 2017)

Hoy en día, el sector residencial en ciudades de nuestro país se observa que el consumo de energía eléctrica es elevado, esto se debe al desperdicio de energía eléctrica por falta de conocimiento en todo lo que se refiere a la eficiencia energética. Por lo cual, la intención del trabajo de titulación es la de buscar y determinar el consumo por circuitos eléctricos de una residencia en tiempo real, para detectar e informar los circuitos o aparatos eléctricos de mayor consumo y examinar sus posibles causas.

En algunos países, se han desarrollado tecnologías y sistemas que permiten tener un control orientado al mejorar y supervisar el uso energético en hogares considerando el múltiple uso de cargas, generando altas distorsiones armónicas (THD) alterando la calidad. Es por ello por lo que se tomara referencias a partir de sistemas ligados a la problemática planteada. A partir de un estudio de calidad en el consumo de energía eléctrica residencial realizado en el instituto Politécnico Nacional en México (Zamora y Gonzáles, 2002, p.4), se pretende desarrollar un sistema que permita realizar mediciones de consumo, monitoreo de armónicos y factor de potencia de los diferentes circuitos eléctricos en una vivienda, además de incluir dispositivos inteligentes (IoT) que permitirán gestionar de manera eficiente la comunicación del sistema, además de garantizar que el usuario revisar el consumo eléctrico por circuitos en tiempo real, brindado comodidad y facilidad de manejo del sistema al usuario.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo diseñar un sistema de monitoreo de parámetros de la energía eléctrica, mediante dispositivos inteligentes aplicado a las IoT en uso residencial?

SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA

- ¿Cuáles son los tipos de dispositivos inteligentes existentes en el mercado para la selección de la instrumentación adecuada en el sistema de monitoreo?
- ¿Cuál será el layout de la red de monitoreo para la construcción del circuito de supervisión de armónicos y medición del consumo eléctrico residencial?
- ¿Cuál será la estructura de la red y la tecnología necesaria para el desarrollo del sistema planteado?

- ¿Cuál será el diseño de la etapa de acondicionamiento para la señal de los sensores?
- ¿Diseñar e implementar una página Web, a través de un servidor que permita al usuario visualizar el consumo eléctrico dentro de la residencia?
- ¿Cómo se evaluará el sistema implementado para el monitoreo de armónicos y medición del consumo energético residencial?

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Diseñar un sistema de monitoreo de parámetros de la energía eléctrica, mediante dispositivos inteligentes aplicado a las IoT en uso residencial

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudiar los tipos de dispositivos inteligentes existentes en el mercado para la selección de la instrumentación adecuada en el sistema de monitoreo.
- Determinar el layout de la red de monitoreo para la construcción del circuito de supervisión de armónicos y medición del consumo eléctrico residencial.
- Determinar la estructura de la red y la tecnología necesaria para el desarrollo del sistema planteado.
- Diseñar la etapa de acondicionamiento para la señal de los sensores.
- Diseñar e implementar una página Web, a través de un servidor que permita al usuario visualizar el consumo eléctrico dentro de la residencia.
- Evaluar el sistema implementado para el monitoreo de armónicos y medición del consumo energético residencial.

CAPÍTULO I

1 MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

El primer capítulo se detalla brevemente definiciones y características sobre el internet de las cosas, conceptualización del consumo energético residencial, armónicos en las redes eléctricas, sistemas de monitoreo energético comerciales, sensores, placas de desarrollo, tarjetas de desarrollo, dispositivos de comunicación, elementos de visualización y herramientas para el desarrollo de interfaces web.

1.1 El Internet De Las Cosas

Radica en que la mayoría de las cosas u objetos usados a menudo puedan conectarse vía Internet en cualquier lapso y lugar. De manera técnica, se basa en la combinación de dispositivos y sensores en elementos cotidianos de modo a permanecer conectados a Internet por medio de redes configuradas al alcance del usuario, puede ser una red local, redes móviles e inalámbrica. Como es habitual, el Internet se encuentra en la mayoría de los medios en cualquier parte permitiendo la accesibilidad colectiva de esta tecnología, aplicaciones compactas y realizables. Debido a su costo y tamaño, es sencillo la incorporación de sensores en una residencia o cualquier ambiente. Simplemente el hecho y la facilidad de poder adaptarse un objeto a la red, este tipo de tecnología es el futuro de hacia varios sectores de nuestra sociedad. Cada elemento enlazado a la red IoT, va a entregar cierta información de importancia para el área de aplicación, mejorando la capacidad de alcance e interacción en la mayoría de las personas. (Fundación de la Innovación Bankinter, 2011, p.42)

Los objetos inteligentes tienen la opción de tomar decisiones según el ambiente y a su vez explotar las rutas de comunicación idóneas para la recepción de datos de forma que da permiso a otros objetos de acceso a la información con el objetivo de poder interactuar con entidades externas a través de usuarios, teléfono móvil u otros dispositivos. En la figura 1-1 se muestra un esquema de la IoT según la línea de tiempo. Se estima que para el año 2020, unos 50 millones de objetos inteligentes se conectarán cuando el nivel mundial de población aumente o llegue hasta los 7,6 mil millones. (Liñán et al., 2015: p.2)

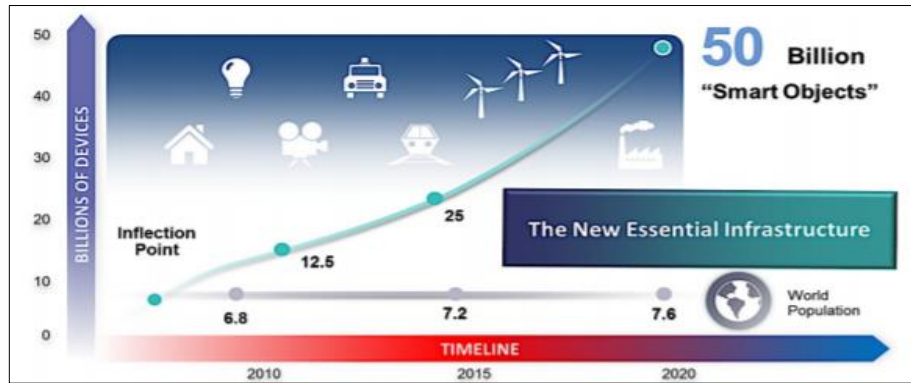


Figura 1-1. Objetos conectados por Internet según la evolución futura

Fuente: Liñan, 2015, Internet de las Cosas

1.1.1 Tipos de Conectividad en la IoT

Las aplicaciones de la IoT se basan en la variedad de conexiones que se puedan configurar y cada una posee sus propias particularidades y propiedades. Según la Junta de Arquitectura de Internet, expone cuatro modelos de conectividad: Dispositivo a Dispositivo (device to device), Dispositivo a la Nube (device to cloud), Dispositivo a Puerta de Enlace (device to gateway) e Intercambio de Datos a través del Back End (back end data sharing). Los modelos mencionados anteriormente se enfatizan en que pueden adaptarse en los dispositivos de la IoT a poder conectarse de forma que el usuario toma consideración el uso de esta tecnología. (Rose et al., 2015: p.5)

Considerando lo antes mencionado, se describe cada uno de los cuatro modelos de comunicación habituales que manejan los dispositivos de la IoT:

Comunicación “Dispositivo a Dispositivo”: se establece cuando existen dos o más dispositivos que se vinculan y se comunican entre sí omitiendo un servidor que brinda un conjunto de aplicaciones terceros. La mayoría de estos dispositivos se relacionan en diversos tipos de redes, como es la red IP o la Internet. Usualmente este modelo se aprovecha en sistemas de automatización en hogares, regularmente la cantidad de datos es mínima para la comunicación entre los dispositivos con requerimientos inferiores en cuanto a la alimentación y tasa de transmisión. Hay una variedad de dispositivos diseñados para aplicaciones residenciales: lámparas, cerraduras e interruptores entre otros, las cuales se emite una pequeña cantidad de información para cumplir una acción, en cambio para entrelazarse algún tipo de comunicación directa entre dispositivo y dispositivo, generalmente se usa protocolos conocidos como Bluetooth, ZigBee o Z-Wave, como se indica en la Figura 2-1. (Rose et al., 2015: p.19)

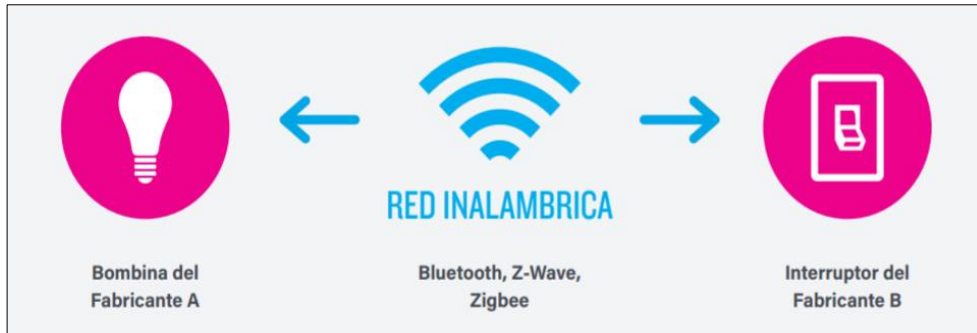


Figura 2-1. Modelo de comunicación “Dispositivo a Dispositivo”

Fuente: Rose, Eldridge & Chapin, 2015, Internet Society

Comunicación “Dispositivo a la Nube”: mediante el dispositivo IoT independientemente de la familia u protocolo que emplee, se conecta espontáneamente a la nube a través de un proveedor de servicios que permita el intercambio de información y poder manipular el tráfico de datos u mensajes. Este tipo de comunicación es aplicado a ciertos dispositivos electrónicos de consumo en la IoT, permitiendo que el dispositivo transmita los datos hacia una base de datos en la nube y desde ahí el usuario pueda tener la supervisión y el acceso a la información por medio de una interfaz web, teléfono móvil o por el software propio del objeto o dispositivo. Este entorno facilita la comunicación entre los mecanismos ya presentes como son las conexiones Ethernet o Wifi, de forma que se llega a crear un vínculo entre el dispositivo y la red IP para luego conectarse al servicio en la nube. En la figura 3-1 se muestra un ejemplo de este modelo de comunicación. (Rose et al., 2015: p.20)



Figura 3-1. Modelo de comunicación “Dispositivo a la Nube”

Fuente: Rose, Eldridge & Chapin, 2015, Internet Society

Modelo “Dispositivo a puerta de Enlace”: para que un dispositivo de la IoT pueda conectarse, necesita de un servicio externo ALG (Puerta de Enlace de capa de Aplicación) de forma que va a

tener contacto con el servicio en la nube. Especialmente el teléfono inteligente es utilizado como puerta de enlace en conjunto con una aplicación específica para poder comunicarse con un dispositivo y transferir los datos a la nube, debido a que la por sí solos estos dispositivos no tiene la suficiencia de conectarse. En otras palabras, el dispositivo va a tener incluido un software de aplicación que va a funcionar como una puerta de enlace local de modo que va a intervenir como mediador entre el dispositivo y el servidor de la nube, teniendo ciertos privilegios de seguridad entre otras funciones. (Rose et al., 2015: p.21)

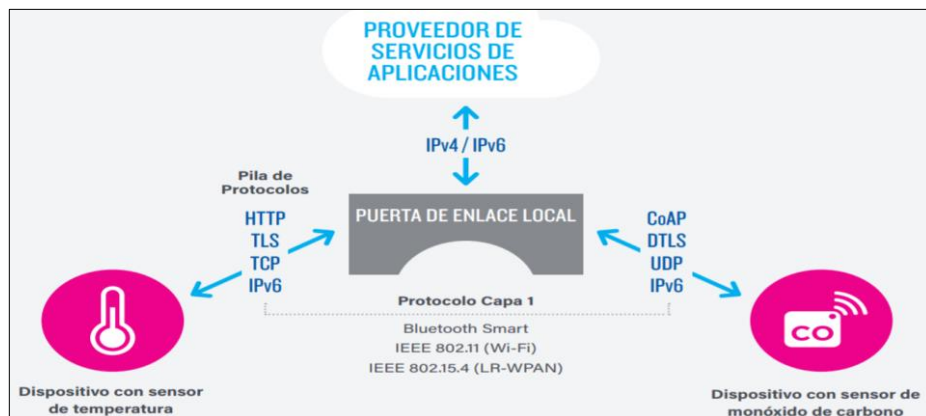


Figura 4-1. Modelo de comunicación de “Dispositivo a Puerta de Enlace”

Fuente: Rose, Eldridge & Chapin, 2015, Internet Society

Modelo de Intercambio de Datos a través del Back End: este modelo hace referencia a una arquitectura de comunicación que accede añadir y analizar la información obtenida de un dispositivo de la IoT. Los objetos inteligentes de un servicio en la nube que interactúan en cooperación de datos entregados por otros elementos, el usuario tiene el control de poder exportar y supervisar. Esta arquitectura de comunicación permite que el usuario pueda dar acceso a terceros de datos entregados por sus elementos, dispositivos o sensores. (Rose et al., 2015: p.23)



Figura 5-1. Modelo de intercambio de datos a través del back end

Fuente: Rose, Eldridge & Chapin, 2015, Internet Society

1.1.2 Protocolos De Comunicación IoT

Un protocolo de comunicación es un conjunto de reglas o normas que permiten la comunicación y entendimiento entre dos o más dispositivos. Existen diferentes formas de comunicarse según el entorno de aplicación ya sea industrial o a nivel doméstico, para ello se debe tener algunos requisitos elementales que se necesitan además de las formas de habituales de comunicaciones entre los dispositivos.

1.1.2.1 Protocolo de Comunicación entorno Doméstico

Con el paso del tiempo cada vez son más las residencias que poseen dispositivos IoT y poco a poco los pequeños sectores industriales y comerciales, en el transcurso del tiempo se ha ido introduciendo una serie de módulos con su propio lenguaje y protocolo en el mercado tecnológico. Algunos de ellos poseen compatibilidad de funcionamiento entre si mientras que otros no ya que no poseen una licencia libre. (Sáez, 2019)

Entre los protocolos más distinguidos:

- **Thread (network protocol):** tecnología establecida por las comunicaciones por red a través de IPV6 utilizando un cifrado AES, dispone de un nivel de seguridad aceptable por lo que su progreso beneficiara a futuro.
- **MFi (Made For iPhone/iPod/iPad):** protocolo encaminado y diseñado para la interacción con dispositivos Apple que incluye un chip que permiten la verificación de elementos, cables y dispositivos de conexión sean genuinos.
- **HomePlug y HomeGrid:** estos protocolos manejan la comunicación por medio de la red eléctrica, tecnología con la que es desarrollada por muchas marcas. Cada producto posee su propio cifrado para la transmisión de datos y otros que comunican sin cifrar.
- **OFC (Open Connectivity Foundation):** se basa en la utilización de código abierto ofreciendo interconectividad, además de brindar garantías en la interoperabilidad de la mayoría de los dispositivos. Este protocolo es promovido por ciertas empresas como Intel, Microsoft, Samsung, etc.

1.1.2.2 Protocolo de Comunicación entorno Industrial

Con la innovación de nuevas tecnologías y dispositivos IoT nace el principio de la Industria 4.0, que puede definir una introducción completa del formato digital a través de suplir varias tecnologías de software, sensores inteligentes, procesamiento de información que se da desde los servidores hasta los usuarios. Todo es posible siempre y cuando los dispositivos tengan los mecanismos de poder comunicarse entre ellos como hacia el exterior. (Sáez, 2019)

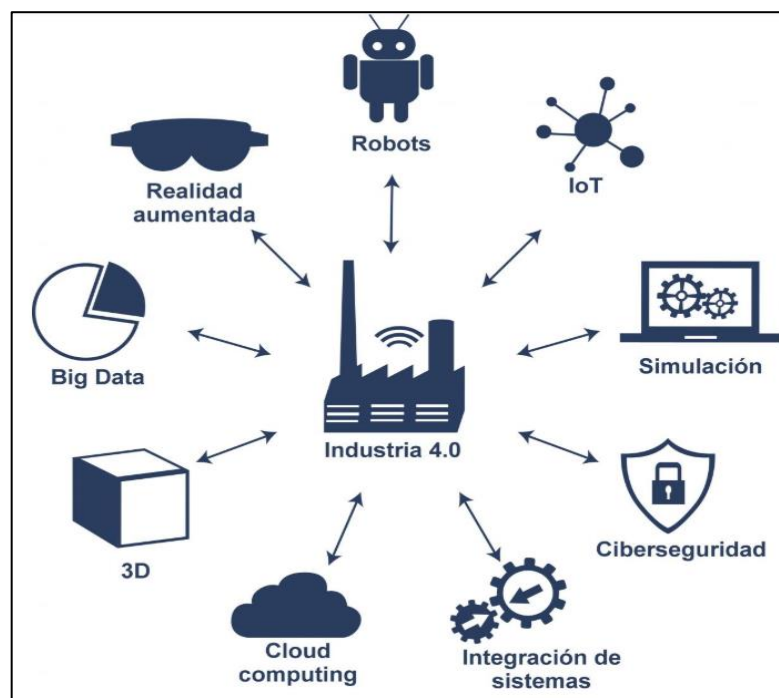


Figura 6-1. Aplicaciones de la IoT en la Industria

Fuente: Incibe-cert, 2019, <https://www.incibe-cert.es/blog/iot-protocolos-comunicacion-ataques-y-recomendaciones>

A continuación, se muestra los protocolos existentes para la comunicación en el sector industrial:

- **AMPQ (Advanced Message Queuing Protocol):** este protocolo está orientado a brindar la interoperabilidad y confiabilidad, considerado para aplicaciones corporativas de alto rendimiento y redes que permitan la comunicación instantánea para la transferencia de datos. Por otra parte, no es tan flexible para aplicaciones IoT en dispositivos de bajo recursos.
- **MQTT (MQ Telemetry Transport):** opera sobre TCP, sobresale por ser liviano y fácil de implementar. Recomendable para dispositivos de baja potencia. Está encaminado para el routing para una gran cantidad de usuarios que se encuentran conectados de forma concurrente.

- **WAMP (Web Application Messaging Protocol):** protocolo de comunicación abierta que se establece sobre WebSockets y brinda aplicaciones de rRPC y PubSub.
- **CoAP (Constrained Application Protocol):** diseñado para utilizarse en dispositivos IoT de baja gama. Utiliza el modelo REST de HTTP de caberas pequeñas, además de llevar UDP, multicast y otros sistemas de seguridad.
- **STOMP (Streaming Text Oriented Messaging Protocol):** protocolo elemental que maneja HTTP y mensajes de texto para buscar una gran capacidad de conectarse con otros sistemas o medios ya conocidos.
- **XMPP (Extensible Messaging and Presence Protocol):** protocolo abierto se fundamenta en XML orientado para aplicaciones de mensajería inmediata.
- **WMQ (WebShere MQ):** protocolo creado por IBM, utiliza el servicio de mensajería Message Queue.

1.2 Conceptualización del Consumo Energético Residencial

El consumo energético en las residencias se debe al funcionamiento individual o en conjunto de varias fuentes de energía como la electricidad, energía renovable, combustibles, etc. Generalmente, el consumo energético se presenta en las iluminarias, refrigeración, calefacción y aparatos eléctricos. Este consumo eléctrico (kWh) se consigue mediante el medidor que maneja la potencia estipulada por la empresa eléctrica y el tiempo que labora o funcionan los equipos eléctricos y la iluminación. Mensualmente se recibe una factura que muestra el consumo generado en ese tiempo. (twenergy, 2019)

1.2.1 Calidad Energética

La calidad de la energía eléctrica es un indicador que permite observar el grado en el que una instalación eléctrica resiste el funcionamiento eficaz y confiable de todas las cargas existentes. La deficiencia de la calidad energética suele generarse por causas externas implicadas por el servicio de distribución de la empresa eléctrica o puede ser en las propias instalaciones de residencias, compañías e industrias. (Idrovo y Romero, 2017)

A continuación, se mencionan las causas principales cuando se genera la deficiencia de calidad energética:

- Mala selección de conductores para los diferentes circuitos o cargas.
- Descomunal uso de dispositivos electrónicos.
- Gran cantidad de balastos eléctricos en sistemas de iluminación y lámparas.

Según las circunstancias antes mencionadas, se llegan manifestar perturbaciones que pueden perjudicar los sistemas e instalaciones eléctricas de diferentes maneras, como pueden ser:

- El sector de iluminación y monitores comienzan a titilar.
- Sistemas computacionales y equipos pueden llegar a colapsar o dejar de funcionar por cierta cantidad de tiempo.
- Accionamiento de protecciones de forma inadecuada.
- Sobre calentamiento de motores eléctricos.
- Elevado consumo energético lo que a su vez generan costos innecesarios y relativamente excesivos.

1.2.2 Eficiencia Energética

La eficiencia energética o ahorro de energía reside en el manejo de la energía aprovechando de la mejor manera este recurso. Para lograr esta iniciativa es necesario disminuir los hábitos en la utilización de equipos, uso de tecnologías que tenga un cierto grado eficiencia en comparación a los comúnmente conocidos. Es de gran relevancia el ahorrar energía, debido a que se lograría reducir los impactos ambientales que se presentan en la etapa de generación de energía específicamente en la combustión de fósiles. Al mismo tiempo se alcanzaría a combatir los efectos del calentamiento global, cambios climáticos y además se disminuirá los gastos ocasionados por el consumo innecesario. (CFE, 2019)

1.2.2.1 Eficiencia Energética en el Sector Residencial

El consumo eléctrico en el área residencial está conformado mayoritariamente por equipos electrodomésticos siendo el 46%, iluminación 49% y demás dispositivos que suelen estar en un domicilio a diferencia de los mencionados anteriormente como puede ser un ordenador, secador de pelo o pequeños accesorios de cocina o de uso persona entre otros. (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2016)

Como media en algunos países, los gobiernos han desarrollado un método de etiquetado en algunos equipos y electrodomésticos con el propósito de saber los niveles de consumo de energía eléctrica, además de poder tener en cuenta la eficiencia energética en la residencia o lugar de trabajo. Se representa a través de una escala de siete letras, desde la A hasta la G, cada una tiene un color que simboliza un nivel de eficiencia, conjuntamente se encuentra información del producto como son la marca, modelo y tipo de artefacto. Los rangos dependen del aparato ya que no todos consumen ni funcionan de la misma manera, en la figura 7-1 se puede apreciar la escala de eficiencia. (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2017a: pp.34-38)

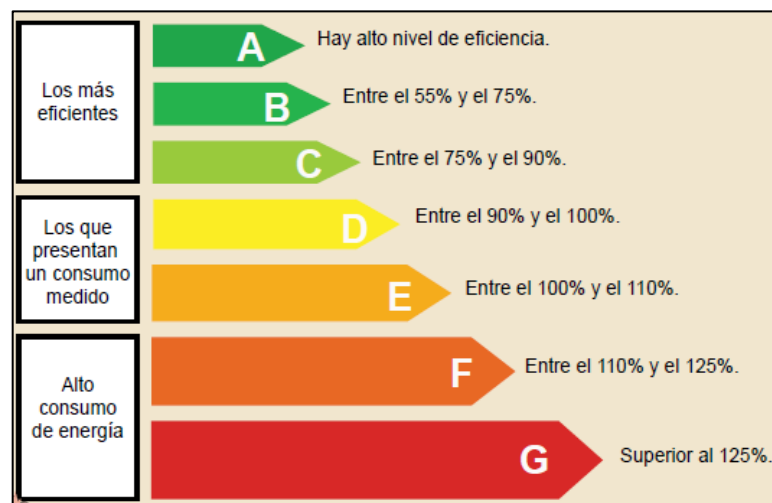


Figura 7-1. Escala de la eficiencia eléctrica

Fuente: Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2017, Guía práctica para el uso eficiente de la Energía eléctrica en el Ecuador

1.2.2.2 Normas y Reglamentos de la Eficiencia Energética

El Ministerio de Electricidad y Energía Renovable planteo el programa RENOVA que consiste en el reemplazo de electrométricos que suelen tener un mayor consumo energético por nuevos equipos calificados, elaborados a nivel nacional. Entre los años 2012 -2017, las empresas eléctricas encargadas de las distribuciones cambiaron 96.000 refrigeradoras y como resultado se obtuvo un ahorro de electricidad de alrededor 63.000 MWh al año. En la tabla 1-1 se detalla los reglamentos y normas que el MEER en conjunto con la Subsecretaría de Eficiencia Energética, elaboró y diseño los estándares para su aplicación en el país. (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2017b: pp.21-23)

Tabla 1-1: Norma – Reglamentos para la Eficiencia Eléctrica

REGLAMENTO-NORMA	DESCRIPCIÓN	
REGLAMENTOS	PRTE INEN 283	Aparatos de refrigeración para ocupación comercial
	PRTE INEN 260	Lámparas fluorescentes compactas y turbulares
	RTE INEN 035	Artefactos de refrigeración de uso doméstico
	RTE INEN 036 (1R)	Lámparas fluorescentes compactas
	RTE INEN 072	Eficiencia energética para Aire acondicionado
	RTE INEN 145	Eficiencia energética en motores eléctricos
	RTE INEN 009	Artefactos para uso doméstico de creación de frío
	RTE INEN 278	Luminarias, lámparas led y módulos
NORMA	NTE INEN-EN 50193-1	Calentadores de Agua instantaneo electricos

Fuente: Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2017

Realizado por: Lapo, Freddy 2019

1.2.3 Situación del Sector Eléctrico en el Ecuador

La demanda de energía eléctrica muestra una gran evolución del SIN (Sistema Nacional Interconectado), para el año 2016 se tuvo 23.518,47 GWh incluyendo servicios importados, para lo cual la tasa media anual de crecimiento entre los periodos 2007-2016 fue del 4.63%. (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2017c: pp.66-68)

En la figura 8-1 se muestra la evolución y crecimiento de demanda energética durante los últimos 10 años.

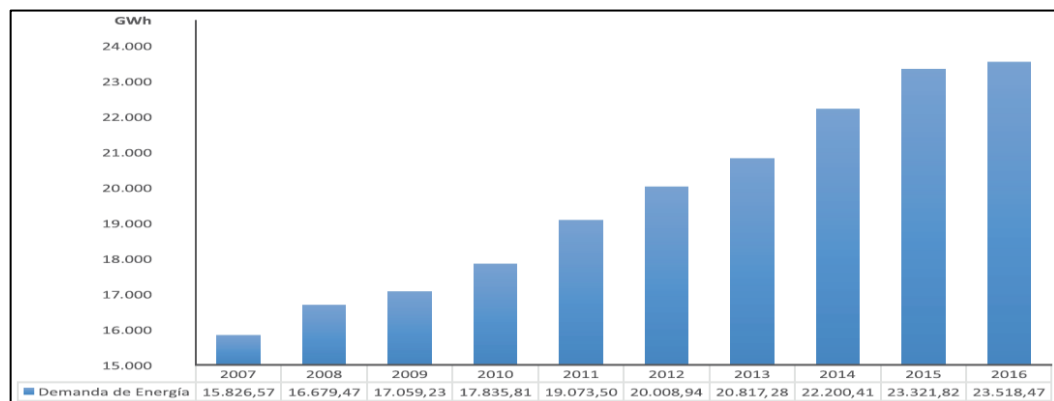


Figura 8-1. Demanda anual de energía entre los periodos 2007-2016

Fuente: Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2017, Plan Maestro de Electricidad 2016-2025

1.2.3.1 Evolución de demanda por categorías de consumo

Durante el periodo 2007 – 2016, el sector residencial ha sido el de mayor participación, después del sector industrial y comercial, en la siguiente figura 9-1 se observa los valores de consumo energético facturado por cada sector en los 10 últimos años, siendo el sector de menor crecimiento el alumbrado público con un 38%, mientras los de mayor crecimiento se presentaron en los sectores: industrial con el 155%, comercial con un 66% y residencial con el 64%. (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2017c: p.96)

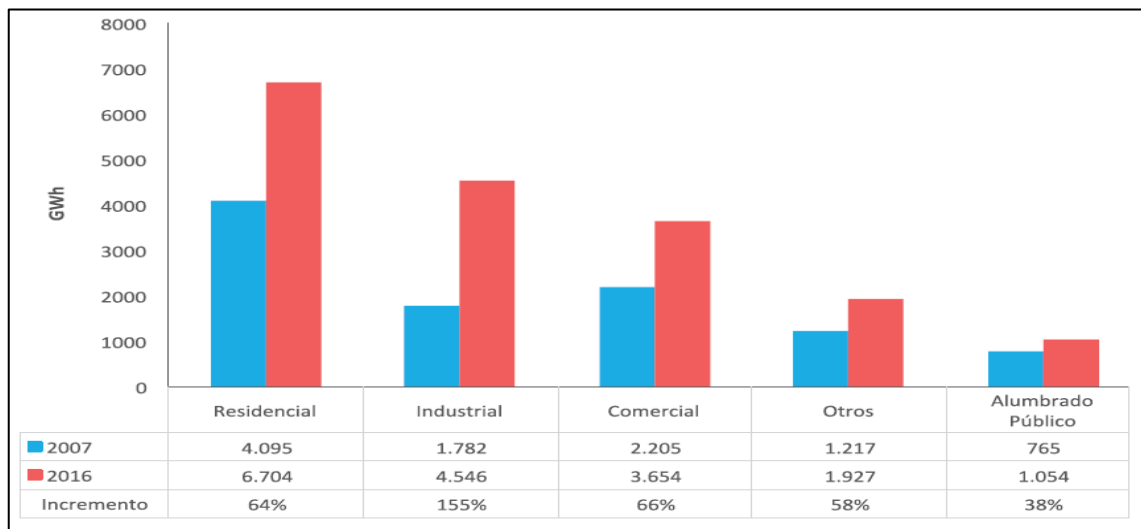


Figura 9-1. Evolución de consumo facturado por sector 2007 – 2016

Fuente: Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2017, Plan Maestro de Electricidad 2016-2025

1.2.3.2 Proyección de demanda en el sector Residencial

La proyección de demanda eléctrica muestra el avance histórico del número de usuarios en el periodo 2016 – 2025, donde se aprecia un crecimiento medio de 2,5%, además se proyecta que se tendrá aproximadamente 5,44 millones de clientes para el año 2025. Notablemente la velocidad en cuanto a la tasa de crecimiento en relación con los años anteriores va a reducirse ya que se considera que el grado de alcance va a crecer como se muestra la figura 10-1. (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2017c: p.101)

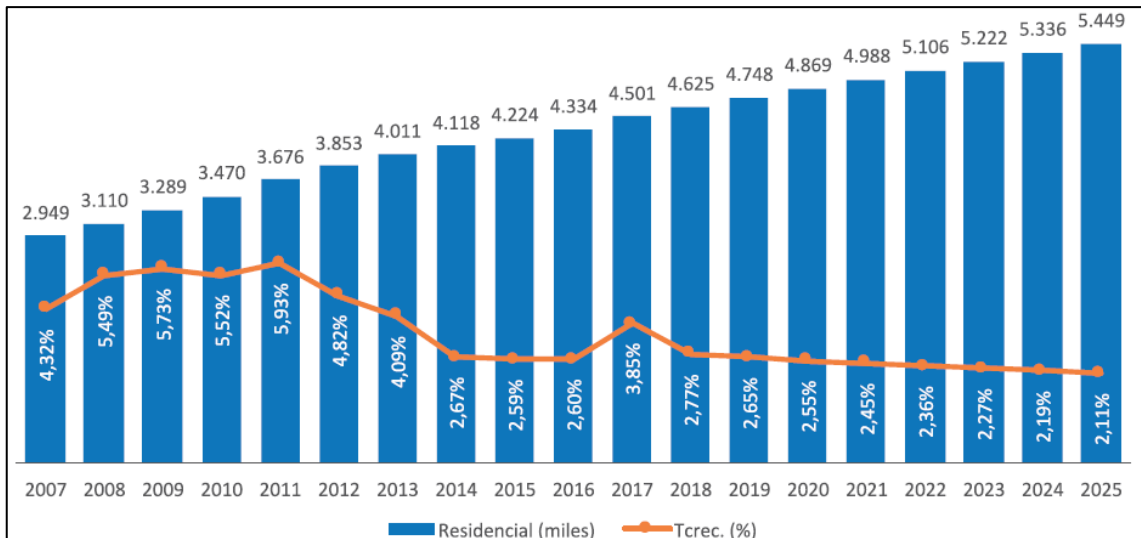


Figura 10-1. Proyección de clientes para el sector residencial

Fuente: Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2017, Plan Maestro de Electricidad 2016-2025

Por otro lado, el consumo energético en el sector residencial, para el periodo 2016 – 2025 se estima alcanzar un promedio del 3,2% con una valorización de 9.497 GWh para el año 2025.

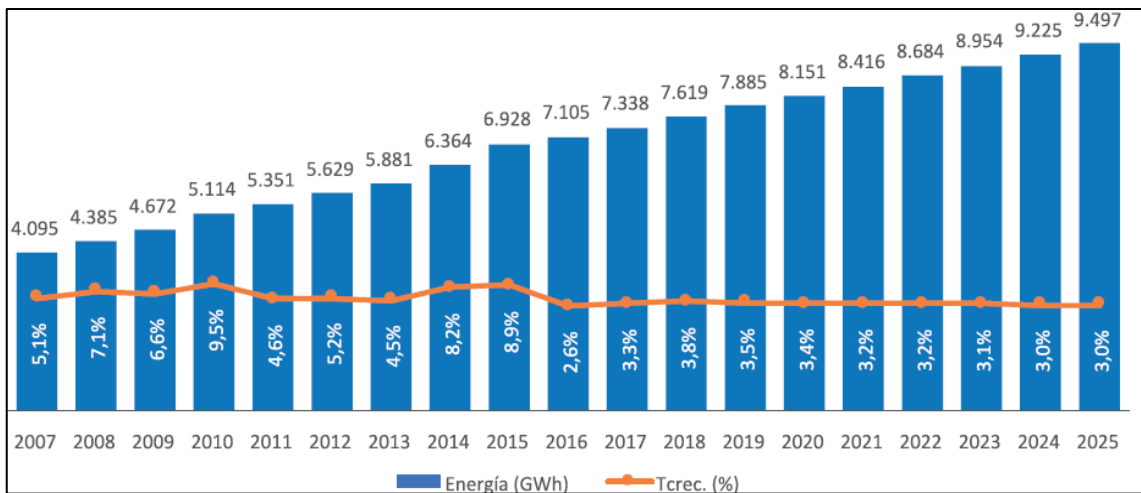


Figura 11-1. Proyección del consumo energético para el sector residencial

Fuente: Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2017, Plan Maestro de Electricidad 2016-2025

1.2.3.3 Precio promedio de energía facturada a clientes regulados

Para el año 2008, según la Agencia de Regulación y Control de Electricidad, el precio promedio de cada KWh sujetos a clientes regulados es decir que tienen previamente un contrato con la empresa encargada de la comercialización de energía, un límite permitido fue de 8,51 USD, mientras

en el 2017, el precio medio fue de 9,79 USD c/KWh (ARCONEL, 2017, p.129), evidenciando un aumento del 15,04% como se detalla en la tabla 2-1.

Tabla 2-1: Precio medio de energía facturada por las empresas distribuidoras

Año	Energía Facturada (GWh)	Total, Facturación (MUSD)	Precio Medio (USD c/KWh)
2008	11.146,68	948,30	8,51
2009	12.740,80	1.012,94	7,95
2010	13.769,73	1.091,66	7,93
2011	14.931,12	1.189,61	7,97
2012	15.847,99	1.283,32	8,10
2013	16.742,94	1.356,73	8,10
2014	17.958,30	1.611,82	8,98
2015	18.942,59	1.797,70	9,49
2016	18.897,42	1.863,06	9,86
2017	19.427,55	1.901,33	9,79

Fuente: ARCONEL, 2017

Realizado por: Lapo, Freddy 2019

1.3 Armónicos En Las Redes Eléctricas

Una de las dificultades que se presentan en la en red con respecto a la calidad de energía en sistemas eléctricos de baja de tensión es la desproporción de la onda, generada por un fenómeno denominado “Distorsión armónica”, inconveniente que afecta tanto a las redes eléctricas de distribución como a los clientes finales.

1.3.1 Armónicos

Los armónicos son ondas sinusoidales que pueden ser de intensidad o tensión, las cuales tienen frecuencias múltiplos enteros de la frecuencia en el que la fuente de alimentación del sistema este fabricado para su funcionamiento. Las distorsiones armónicas son generadas por ciertas características no lineales en aparatos u equipos y cargas en el sistema de potencia. Las

distorsiones y sus formas de onda pueden ser aisladas o descompuestas en la suma de la frecuencia fundamental y las frecuencias armónicas. (Universidad Politecnica Salesiana, 2013, p.24)

En la figura 12-1 se muestra cómo se compone una onda distorsionada al igual que el orden y secuencia de los armónicos que puede existir las redes eléctricas.

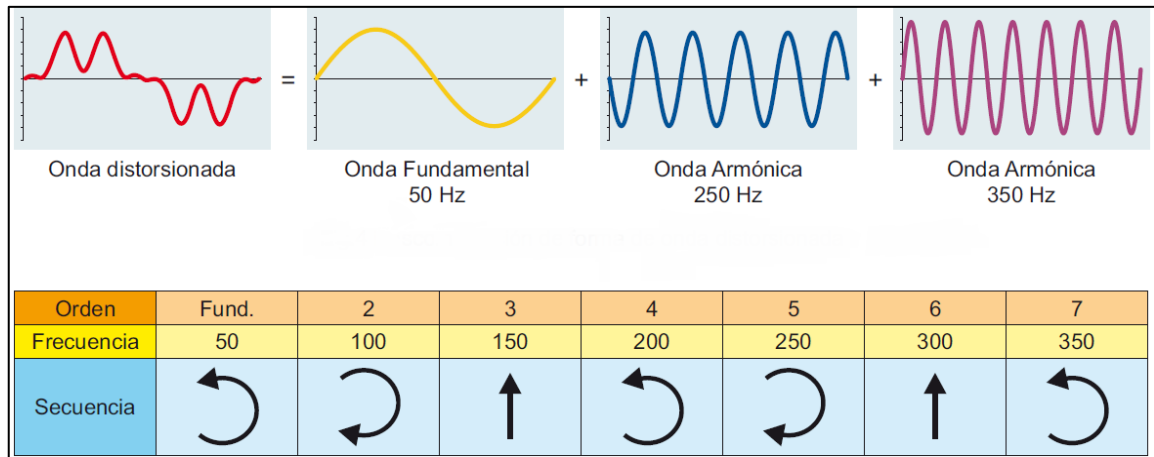


Figura 12-1. Descomposición de la onda distorsionada y orden de los armónicos

Fuente: Circutor, 2014, Procedimientos para el estudio y análisis de perturbaciones armónicas

1.3.2 Fuentes de Armónicos

Por lo general, el múltiple uso de cargas no lineales suelen ser las principales causas por las cuales se generan armónicos, además alteran la calidad energética y perjudican la red o sistema eléctrico. En la tabla 3-1 se muestra una clasificación de las principales fuentes de armónicos:

Tabla 3-1: Clasificación de las Fuentes Armónicas

Electrónicos	Basado en inductancia saturable	Basado en arcos y descargas eléctricas
<ul style="list-style-type: none"> Convertidores DC-AC en la red (transmisores de energía en DC, energía solar, etc.) Cargador de batería. Rectificadores en cargas inductivas y resistivas. 	<ul style="list-style-type: none"> Motores. Reactancia para restringir arcos de descarga. Transformadores. 	<ul style="list-style-type: none"> Hornos de arcos eléctricos Soldadores de Arco Lámparas de descarga (neón, fluorescentes, ahorradores de energía, etc.)

<ul style="list-style-type: none"> • Recortadores y reguladores (regulador de luz, ahorradores de energía en motores, variaciones de velocidad en motores pequeños, etc.) • Fuentes de Alimentación (variadores de frecuencia, lámparas electrónicas, dispositivos electrónicos domésticos y de oficina, etc.) 		
--	--	--

Fuente: Carrasquilla, 2017

Realizado por: Lapo, Freddy 2019

1.3.3 Efectos de armónicos en el sistema Eléctrico

Por lo general, en las redes monofásicas es frecuente hallar ciertos niveles de armónicos en residencias u oficinas donde hay elementos de calefacción regulables o redes de computadoras, por otro lado, en la industria, los sistemas trifásicos suelen tener elementos electrónicos causantes de la generación de armónicos. Es importante encontrar cualquier tipo de medidas para evitar efectos adversos, permitiendo el funcionamiento adecuado de los aparatos. (RTR Energía, 2012)

En la siguiente lista, se muestra algunos de los efectos armónicos en la red eléctrica:

- Perturbaciones en dispositivos y aparatos de control.
- Lecturas erróneas en los equipos de medición.
- Sobrecargas y vibraciones en las maquinas.
- Aumento en los niveles de potencia a enviar, agravando el factor de potencia en la red.
- Accionamiento inesperado de interruptores automáticos.
- Sobrecargas en los conductores eléctricos.
- Inestabilidad en el sistema eléctrico.
- Funcionamiento defectuoso de los relés de protección.
- Penalizaciones de las empresas eléctricas.

1.3.4 Parámetros esenciales de la distorsión armónica

Estos parámetros o indicadores permiten la evaluación y cuantificación de los niveles de distorsión armónica de las formas de ondas: corriente y tensión. Es por ello, que es conveniente definir algunos términos que son esenciales para la interpretación de cualquier tipo de estudio o medición. (Universidad Politecnica Salesiana, 2013, p.25-30)

A continuación, se definen cada uno de estos elementos:

- **Factor de potencia:** Relación entre la potencia activa P y la potencia aparente S , como se indica en la ecuación 1-1.

Ecuación 1-1: Factor de Potencia

$$F = \frac{P}{S}$$

Puede tener otra expresión como se muestra en la ecuación 2-1 refiriéndose a la frecuencia fundamental (60Hz), cabe resaltar que, en presencia de armónicos, es diferente a la ecuación 1-1.

Ecuación 2-1: Factor de Potencia en presencia de armónicos

$$\cos\varphi = \frac{P1}{S1}$$

Donde:

P1: Potencia activa fundamental

S1: Potencia aparente fundamental

- **Potencia activa:** En una señal deformada por armónicos, es la suma de potencias activas que corresponden a las intensidades y tensiones del mismo orden. Sus componentes armónicas pueden ser expresada como se muestra en la ecuación 3-1.

Ecuación 3-1: Potencia activa

$$P = \sum_{h=1}^{\infty} V_h I_h \cos \varphi_h$$

Donde:

φ : Ángulo de desfase entre la tensión y corriente

h: Orden de armónico

En carencia de armónicos, la expresión sería como se indica en la ecuación 4-1.

Ecuación 4-1: Potencia de una señal sinusoidal

$$P = V \cdot I \cdot \cos \varphi$$

- **Potencia reactiva:** Se define solamente para la fundamental, viene dada por la ecuación 5-1.

Ecuación 5-1: Potencia reactiva

$$Q = V \cdot I \cdot \sin \varphi$$

- **Potencia de distorsión:** Considerando la potencia aparente, se muestra la ecuación 6-1.

Ecuación 6-1: Potencia aparente

$$S = V_{rms} \cdot I_{rms}$$

Con existencia de armónicos, se puede expresar como se indica en la ecuación 7-1. La expresión $S^2 = P^2 + Q^2$ se anula. Se determina la potencia de distorsión D de tal manera que la fórmula sería como se muestra en la ecuación 8-1.

Ecuación 7-1: Potencia aparente en presencia de armónicos

$$S^2 = \sum_{h=1}^{\infty} V_h I_h \cos \varphi_h$$

Ecuación 8-1: Potencia de distorsión

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2 + D^2}$$

- **Tasa de distorsión armónica:** Antes de realizar una evaluación de la distorsión armónica, es necesario representar una señal eléctrica en una expresión matemática en el dominio del tiempo. La tasa de distorsión se define en porcentaje (%) las cuales permiten conocer los niveles de contaminación en la red eléctrica. Las expresiones para corriente y voltaje en una red eléctrica se indican en las ecuaciones 9-1 y 10-1.

Ecuación 9-1: Corriente

$$i(t) = I \cdot \cos \omega_0 t$$

Ecuación 10-1: Voltaje

$$v(t) = V \cdot \cos \omega_0 t$$

Aunque en los sistemas eléctricos puede llegar a presenciarse armónicos de corriente y voltaje, de forma que la expresión quedaría como se indica en la ecuación 11-1 y 12-1.

Ecuación 11-1: Armónica de la corriente

$$i(t) = \sum_{n=1}^k I_n \cdot \cos(n\omega_0 + \theta_n)$$

Ecuación 12-1: Armónica del voltaje

$$v(t) = \sum_{n=1}^k V_n \cdot \cos(n\omega_0 + \theta_n)$$

Donde:

V_n: Armónica de voltaje orden n

I_n: Armónica de corriente orden n

θ: Ángulo de la armónica n

- **Distorsión armónica total:** El THD concierne a la tasa de distorsión armónica global. Comúnmente es usada para aclarar o definir la magnitud del contenido armónico de una señal alternativa. En una señal $y(t)$, la tasa de distorsión se expresa en la ecuación 13-1.

Ecuación 13-1: THD en una señal

$$THD = \frac{\sum_{h=2}^{\infty} y_h^2}{y_1} * 100\%$$

Para los armónicos de tensión y corriente, las expresiones se muestran en las ecuaciones 14-1 y 15-1.

Ecuación 14-1: THD del voltaje

$$THD_V = \sqrt{\frac{V_2^2 + V_3^2 + V_4^2 + \dots}{V_1}} * 100\%$$

Ecuación 15-1: THD de la intensidad

$$THD_I = \sqrt{\frac{I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + \dots}{I_1}} * 100\%$$

La ecuación 15-1 puede expresarse de la siguiente manera como se indica en la ecuación 16-1, la cual es sencilla de usar cuando se sabe el valor eficaz total.

Ecuación 16-1: THD de la intensidad con IRMS total

$$THD_I = \sqrt{\left(\frac{I_{RMS}}{I_1}\right)^2 - 1} * 100\%$$

En armónicos individuales para la corriente y voltaje, se muestran en las siguientes ecuaciones 17-1 y 18-1.

Ecuación 17-1: DH individual del voltaje

$$IHDV_n = \frac{V_n}{V_1} * 100\%$$

Ecuación 18-1: DH individual de la corriente

$$IHDI_n = \frac{I_n}{I_1} * 100\%$$

1.3.5 Normativas para la distorsión armónica

Debido a la presencia de este fenómeno en los sistemas eléctricos desde la red de distribución hasta el sector residencial, existe normativas que permiten controlar y establecer límites de los niveles de distorsión admisibles en la que se deben aplicar tanto para los suministradores de la energía como a los usuarios finales. Existen normativas internacionales o nacionales que limitan los valores de voltaje y corriente para los beneficiarios o distribuidores de energía de forma que se establezca una responsabilidad y aprovechamiento de la energía eléctrica. Entre las normativas destacables para este fenómeno, actualmente se tiene la normativa internacional IEEE Std 519 – 2014 y la normativa nacional CONELEC – 004/01.

1.3.5.1 Norma IEEE Std 519 – 2014

Diseñada especialmente en sistemas de potencia que contengan cargas no lineales, recomendada en la práctica desde el punto de conexión común (PCC) entre el operador encargado de la transmisión o distribución de energía y el usuario, generalmente el PCC se considera el punto del sistema más próximo al cliente donde el encargado del suministro eléctrico puede habilitar el servicio a otro cliente. Los niveles de corriente y voltaje para la distorsión armónica para esta normativa son examinados desde el PCC, debido a que es el punto en común donde distintos usuarios comparten la misma red eléctrica o su vez pueden enlazarse nuevos usuarios. En la tabla 4-1 se detallan los límites recomendados de voltaje armónica las cuales se aplican en relación con las frecuencias que sean múltiplos enteros de la frecuencia nominal. (IEEE power and Energy Society, 2014)

Tabla 4-1: Límites de distorsión de voltaje según la norma IEEE 519 – 2014

Voltaje de bus V en PCC	Individual armónico (%)	Armónico total distorsión THD (%)
$V \leq 1000V$	5	8.0
$1000 V \leq 69KV$	3	5.0
$69KV < V \leq 161KV$	1.5	2.5
$161KV < V$	1	1.5

Fuente: IEEE power and Energy, 2014

Realizado por: Lapo, Freddy 2019

Para la corriente, los límites de distorsión que se recomiendan para sistemas con voltaje nominal de 120V a 69 KV se detalla en la tabla 5-1.

Tabla 5-1: Límites de distorsión de corriente para sistemas de 120 V a 169 KV

Componentes armónicos (impares)						
<i>ISC/IL</i>	$3 \leq h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h \leq 50$	TDD
< 20c	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20 < 50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50 < 100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100 < 1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
> 1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

Fuente: IEEE power and Energy

Realizado por: Lapo, Freddy 2019

Donde:

ISC: Corriente de cortocircuito máxima en el punto de medición PCC

IL: Corriente de la carga (componente de la frecuencia fundamental) en el PCC cuando se encuentra en funcionamiento

En la tabla 6-1 se muestran los límites de distorsión para la corriente para tensiones nominales que se encuentren entre 69 KV y 161 KV. Esta disposición se aplica para los usuarios que se encuentre conectados al sistema eléctrico con el rango de tensión antes mencionado.

Tabla 6-1: Límites de distorsión de corriente para sistemas con 69 KV – 161 KV nominal

Componentes armónicos (impares)						
<i>ISC/IL</i>	$3 \leq h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h \leq 50$	TDD
< 20c	2.0	1.0	0.75	0.3	0.15	2.5
20 < 50	3.5	1.75	1.25	0.5	0.25	4.0
50 < 100	5.0	2.25	2.0	0.75	0.35	6.0
100 < 1000	6.0	2.75	2.5	1.0	0.5	7.5
> 1000	7.5	3.5	3.0	1.25	0.7	10.0

Fuente: IEEE power and Energy, 2014

Realizado por: Lapo, Freddy 2019

Para los usuarios conectados a sistemas de transmisión en el PCC y el voltaje es mayor a 161 kV, se recomienda limitar los rangos de corriente armónica impares según a la tabla 7-1.

Tabla 7-1: Límites de distorsión de corriente para sistemas mayor a 161 KV

Componentes armónicos (impares)						
<i>ISC/IL</i>	$3 \leq h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h \leq 50$	TDD
< 25c	1.0	0.5	0.38	0.15	0.1	1.5
25 < 50	2.0	1.0	0.75	0.3	0.15	2.5
≥ 50	3.0	1.5	1.15	0.45	0.22	3.75

Fuente: IEEE power and Energy, 2014

Realizado por: Lapo, Freddy 2019

1.3.5.2 Norma nacional CONELEC 004/01

En nuestro país existe reglamentos y normas que exigen el cumplimiento de ciertos requerimientos que garanticen a los consumidores, la distribución y comercialización de la

energía eléctrica de forma confiable de las cuales las empresas distribuidoras deben someterse. Entre los parámetros eléctricos, se encuentra el índice de la calidad eléctrica como son los armónicos, el cual dispone de los límites de los valores eficaces de voltaje respecto a sus componentes y la distorsión armónica total (THD), valores que son denominados en porcentaje del voltaje nominal en el punto de medición. En la tabla 8-1 se detalla los valores de voltaje que debe regular o limitar según esta normativa. (CONELEC, 2001)

Tabla 8-1: Límites armónicos para V y THD según CONELEC

Componente (n) y THD	Tolerancia (V _i o THD _i con respecto al voltaje nominal del punto de medición)	
	V > 40 KV (otros puntos)	V ≤ 40 KV (trafos de distribución)
Impares no múltiplos de 3		
5	2.0	6.0
7	2.0	5.0
11	1.5	3.5
13	1.5	3.0
17	1.0	2.0
19	1.0	1.5
23	0.7	1.5
25	0.7	1.5
> 25	$0.1 + 0.6*25/n$	$0.2 + 1.3*25/n$
Impares múltiplos de 3		
3	1.5	5.0
9	1.0	1.5
15	0.3	0.3
21	0.2	0.2
Mayores de 21	0.2	0.2
Pares		
2	1.5	2.0
4	1.0	1.0
6	0.5	0.5
8	0.2	0.5
10	0.2	0.5
12	0.2	0.2

Mayores a 12	0.2	0.5
THD	3	8

Fuente: CONELEC, 2014

Realizado por: Lapo, Freddy 2019

1.4 Sistemas de Monitoreo Energéticos Comerciales

Existen un sinnúmero de sistemas de monitoreo que ofrecen múltiples aplicaciones para el usuario ya sean en equipos de medición o software de supervisión promocionadas por diferentes empresas, dicho lo anterior, se mencionara algunos destacables:

1.4.1 Medidor de energía PowerLogic PM8240

La familia PowerLogic de medidores de energía tienen un gran reconocimiento a nivel internacional debido a su alto rendimiento en las diferentes aplicaciones de la industrial en general, dispone de una gran diversidad de modelos que son empleados a dar soluciones, mejorando la calidad de la gestión eléctrica. (Schneider Electric, 2018a)

Aplicaciones y Beneficios:

- Evaluación y medición de parámetros básicos de la calidad energética.
- Ideal en aplicaciones de alta y baja tensión en instalaciones: residenciales, zonas comerciales, industrial o ambientes críticos de energía.
- Submedición por aparatos individuales (refrigeración, iluminación, etc.)
- Concesión de costos energéticos.
- Sistema de subfacturación.
- Permite la optimización de disponibilidad y confiabilidad de los equipos eléctricos.
- Monitorización de la calidad energética



Figura 13-1. Medidor PowerLogic

Fuente: Schneider, 2018, <https://www.se.com/us/en/>

1.4.2 Central de medida para circuitos de derivación BCPMC224S

El módulo BCMP PowerLogic es componente de alta precisión, propuesto para el área multi-circuito, a diferencia de productos diseñados para un elemento de hardware específico, se adapta a cualquier modelo BCMP y se puede implementar en instalaciones ya existentes o nuevas. Posee un rango de precisión excepcional y varias funciones para desafiar los problemas energéticos. (Schneider Electric, 2018b)

Aplicaciones y Beneficios:

- Se puede tener una supervisión en la facturación de consumo.
- Optimizar la eficiencia de la distribución de energía.
- Mejorar la infraestructura eléctrica existente.
- Tener un seguimiento del consumo y costos energéticos.
- Reducción de costos.
- Mejorar la eficiencia eléctrica.

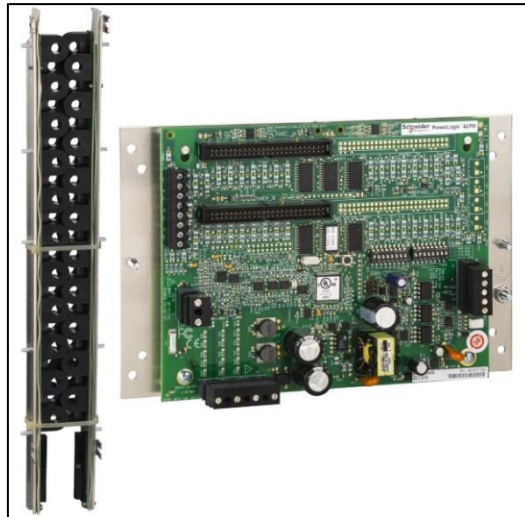


Figura 14-1. Central de medidas BCMP

Fuente: Schneider, 2018, <https://www.schneider->

1.4.3 Analizador de Red METSEPM3200

Este tipo de medidor tiene la capacidad de realizar mediciones y monitoreo de la red en cada una de las cargas o circuitos definidos en los tableros eléctricos de distribución, adicionalmente posee transformadores de intensidad que permitirán las mediciones tanto en la red monofásica como trifásica. Es ideal para aplicaciones en análisis de señales eléctricas y supervisión de los niveles de fiabilidad en el sistema eléctrico, además de sobrellevar aplicaciones que permiten tener el control de costos de consumo y subfacturación. (Schneider Electric, 2018c)

Aplicaciones y Beneficios:

- Lecturas de los parámetros eléctricos para la comprensión del sistema de distribución eléctrica.
- Permite la subfacturación del costo de consumo individuales de energía como: Agua, Gas, Aire, Vapor y Eléctrico por un periodo de tiempo.
- Red de control para la valoración de los problemas de calidad energética, permitiendo al usuario corregir funcionamiento de las cargas.
- Exploración de la facturación para la verificación de los pagos por la energía consumida.



Figura 15-1. Medidor METSEPM3200

Fuente: Schneider, 2018, <https://www.schneider-electric.com/ww/en/>

1.4.4 Equiparación de los sistemas de monitoreo comerciales

En la siguiente tabla 9-1, se exponen cada una de las características importantes de cada uno de los sistemas mencionados anteriormente.

Tabla 9-1: Características de sistemas de monitoreo comerciales

Características	<i>PowerLogic PM8240 (Intermedio)</i>	<i>BCPMC224S (Básico)</i>	<i>METSEPM3200 (Básico)</i>
Análisis de Energía	<ul style="list-style-type: none"> Hasta 63 armónicos Distorsión armónica THD e individual Captura de onda de corriente 	NO	<ul style="list-style-type: none"> Hasta el decimoquinto armónico
Aplicación	<ul style="list-style-type: none"> Medición de WAGES (Agua, Aire, Gas, Electricidad y Vapor) Monitoreo de potencia Red trifásica y monofásica 	<ul style="list-style-type: none"> Medición de Consumo y subfacturación Optimizar infraestructuras Red trifásica y monofásica 	<ul style="list-style-type: none"> Medición de consumo y subfacturación
Tipo de Medición	<ul style="list-style-type: none"> Corriente Voltaje Frecuencia 	<ul style="list-style-type: none"> Corriente Voltaje 	<ul style="list-style-type: none"> Corriente Voltaje Frecuencia

	<ul style="list-style-type: none"> Factor de potencia total Potencia activa y reactiva total Potencia aparente total Potencia activa y reactiva por fase, RMS 		<ul style="list-style-type: none"> Factor de potencia Energía Potencias: activa, reactiva y aparente
Frecuencia de Red	<ul style="list-style-type: none"> 50 Hz 60 Hz 	<ul style="list-style-type: none"> 50 Hz 60 Hz 	<ul style="list-style-type: none"> 50 Hz 60 Hz
No. de Entradas	<ul style="list-style-type: none"> 27 E/S digitales 17 E/S analógicas 	<ul style="list-style-type: none"> 24 núcleos solidos CT 	<ul style="list-style-type: none"> 4 entradas analógicas
Corriente de Medición	50 – 10000 mA	100 A	1 – 6 A
Tensión de Medición	<ul style="list-style-type: none"> 57 – 400 VAC, 42 – 69 Hz entre Fase y Neutro 100 – 690 VAC, 42 – 69 Hz entre fases. 	<ul style="list-style-type: none"> 90 – 277 V fase a neutro 150 – 480 V fase a fase 	<ul style="list-style-type: none"> 50 – 330 VAC, 45 – 65 Hz fase a neutro 80 – 570 VCA, 45 – 65 Hz fase a fase
Servicio Web	<ul style="list-style-type: none"> Página personalizable Notificación por correo electrónico 	NO	NO
Registro de Datos	<ul style="list-style-type: none"> Valores instantáneos Registro de alarmas Registro de formas de onda Registro de datos/consumo 	SI	<ul style="list-style-type: none"> Registro de datos/consumo Identificación de perturbaciones armónicas
Peso	581 g	1,5 kg	0,26 kg
Precio	\$ 6.025,00	\$ 1.602,68	\$ 577,00

Fuente: Schneider, 2018, <https://www.schneider-electric.com/ww/en>

Realizado por: Lapo, Freddy 2019

1.5 Sensores

Un sensor se define como un dispositivo de entrada y proporciona una salida manejable, es decir que se puede ajustar o adaptar a las condiciones de la aplicación de la variable física leída. En la actualidad, la mayoría de los sensores entregan señales eléctricas a la salida que pueden ser analógicas o digitales. Los sensores se clasifican de diferentes maneras, pero las más frecuentes son por el tipo de principio de transducción o variable a medir. (Corona et al., 2014: p.17)

1.5.1 Sensores por el principio de transducción

Usualmente este tipo de sensores en la práctica se utiliza poco, debido a la falta de percepción sobre la variable física a medir (Corona et al., 2014: p.18), se pueden clasificar según el modelo o tipo de transductor, como se observa en la figura 16-1.

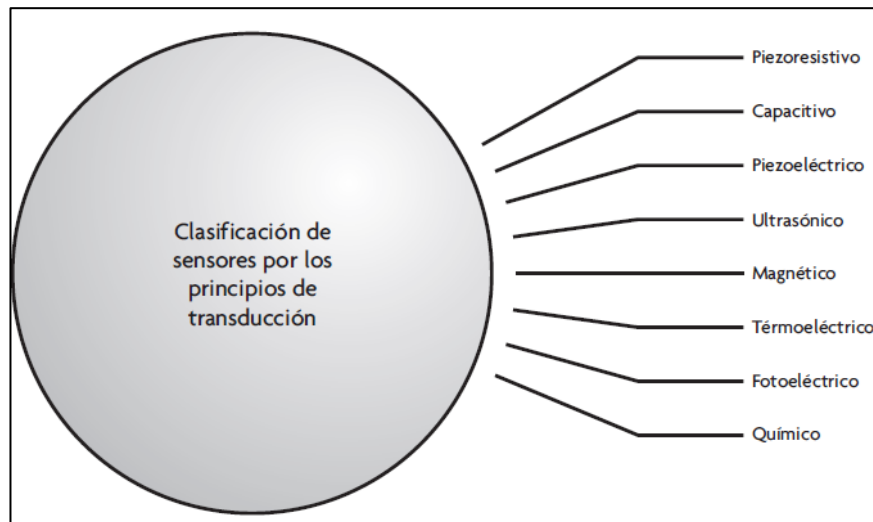


Figura 16-1. Clasificación de sensores por principio de transducción

Fuente: Corona, Abarca & Mares, 2014, Sensores y Actuadores

1.5.2 Sensores por el tipo de variable medida

Este tipo de sensores generalmente son los más comunes, debido a la funcionalidad que cumplen y que pueden ser utilizados para el control de medición de diferentes variables físicas, considerando las configuraciones que se realice, se podrá obtener una señal a la salida y poder interpretarlo, en la figura 17-1 se muestra la clasificación según el tipo de variable física. (Corona et al., 2014: p.18)

Clasificación de los sensores según la variable física a medir	De posición, velocidad y aceleración
	De nivel y proximidad
	De humedad y temperatura
	De fuerza y deformación
	De flujo y presión
	De color, luz y visión
	De gas y pH
	Biométricos
	De corriente

Figura 17-1. Clasificación de sensores de variable física

Fuente: Corona, Abarca & Mares, 2014, Sensores y Actuadores

1.5.3 Sensores de Corriente y Voltaje

Existen una gama amplia de dispositivos que permite la medición de estos parámetros según la aplicación y adaptaciones al sistema a desarrollar, en la tabla 10-1 se muestra los dispositivos que facilitan la lectura para las placas de desarrollo al igual que las características más sobresalientes.

Tabla 10-1: Características principales de sensores de voltaje – corriente

Características	Sensores de Corriente		Sensor de Voltaje
	WCS DC/AC	SCT 013	ZMPT101B
Tipo de Medición	AC o DC	AC	AC
Rango de Sensado	± 200A DC 150 RMS AC	100A	250VAC máx.
Aislamiento del Sensor con carga	SI	SI	SI
Aplicaciones	Monitoreo corriente AC Monitoreo en sistemas industriales y comerciales Detección de fallas por sobreintensidades	Adecuado para medición de corriente alterna Monitoreo y protección de Motores AC	Monitoreo Energético Domótica e IoT Ideal para mediciones de baja tensión

		Monitoreo de aparatos de iluminación	
Disponibilidad en el mercado	NO	SI	SI
Precio	\$ 20,00	\$ 12,00	\$ 5,00

Fuente: Alibaba, 2019, <https://spanish.alibaba.com/>; Electronilab, 2019, <https://electronilab.co/>; Naylamp MECHATRONICS, 2018, <https://naylampmechatronics.com/>

Realizado por: Lapo, Freddy 2019

Según la tabla 10-1, para el desarrollo del sistema se seleccionó los sensores de series SCT 013 y ZMPT101B debido a la facilidad de configuración en cuanto a programación y al rango que disponen cada uno ellos, la disposición del material aislante para las mediciones simplificando las modificaciones que pueden generar en los circuitos eléctricos además de tener un costo relativamente bajo.

1.6 Placas de Desarrollo

Las placas o tarjetas de desarrollo son dispositivos que tienen una gran utilidad en cualquier área de la industria en ciertos tipos de sistemas embebidos o aplicaciones sencillas. Cada una de estas tarjetas se diferencian de su tipo de tecnología, lenguaje de programación o sistema operativo. A continuación, en la tabla 11-1 se mencionarán algunas placas que son de fácil acceso y que se adaptan al proyector a desarrollar.

Tabla 11-1: Características de sistemas de monitoreo comerciales

Características	Intel Galileo Quark SoC X1000	Arduino Mega	NodeMCU Esp-32
Lenguaje de programación	Compactible con el IDE de Arduino, Intel C++ e interfaz basado en Java	Basado en C++ Entorno de desarrollo IDE	Esp-idf Lenguaje C++ Python RTOS's Java LUA
Numero de E/S	26 pines	De 16 a 54 pines	De 18 a 24 Pines

	digitales/analógicas/PWM	digitales/analógicas/PWM/UART	digitales/analógicas/PWM/UART
Periféricos	USB Ethernet Interfaz para tarjeta SD SPI UART	UART ICSP USB	Sensores táctiles capacitivos Amplificadores de bajo ruido Interfaz para tarjeta SD Ethernet SPI UART I2C e I2C
Nivel de Complejidad	Alta	Baja	Media
Ventajas	Compatible con el IDE de Arduino y Shields Creación de proyectos orientados a la IoT Medio Costo No disponible en nuestro mercado	Entorno de programación sencillo Código abierto Bajo Costo Disponibilidad en el mercado Variedad de módulos adaptables	Gran variedad de lenguajes de programación Bajo Costo Conectividad Bluetooth y Wifi Disponibilidad en el mercado Aplicaciones con pequeños servidores, procesamiento digital, domótica entre otras.
Desventajas	Sin interfaz gráfica Solo posee 256 Mb de memoria RAM	Algunas librerías tienen un retraso al ejecutarse Maneja señales de voltaje pequeñas Poco robusto	Sobrecalentamiento del Chip Wifi cuando se usa por mucho tiempo Poco robusto y nivel de protección bajo
Información en la Web	Media	Alta	Media
Precio	\$ 70	\$16	\$ 13

Fuente: Intel, 2018, <https://www.intel.la/>; INFOOTEC, 2018, <https://www.infootec.net/>; MCI electronics, 2018, <https://arduino.cl/arduino-mega-2560/>

Realizado por: Lapo, Freddy 2019

Dadas las características expuestas en la tabla 11-1, se optó por la selección del Arduino Mega debido a la facilidad con la que se puede desarrollar el código para la elaboración del proyecto técnico ya que posee una variedad de módulos adaptables a la tarjeta, además de disponibilidad en el mercado y el sinnúmero de información existente al igual de un costo accesible.

1.7 Tarjetas o dispositivos de comunicación

Existen una variedad de dispositivos que permiten la comunicación entre dispositivos, transferencia de datos y hospedar la información. Cada una tiene propiedades únicas con diferentes aplicaciones para tareas específicas y algunas de ellas pueden ser enlazadas con otros dispositivos compatibles a ciertas placas de desarrollo. En la tabla 12-1 se detallará las características representativas de cada una de ellas.

Tabla 12-1: Características de los dispositivos de comunicación

Características	Raspberry Pi3	PLC TL-WPA4220KIT	Xbee/Zigbee	GSM SIM800
Conectividad Inalámbrica	2.4GHz / 5GHz IEEE 802.11.b/g/n/ac Bluetooth 4.2, BLE	Wifi 300 Mbps 2.4/2.4835GHz	Radio Frecuencia IEEE 802.15.4 (punto a punto o multipunto)	GPRS (850/900/1800 / 1900MHz)
Capacidad de almacenamiento	Posee ranura para memoria SD	NO	NO	NO
Alcance	20 metros	100 metros	Entre 1.2 Km y 45 Km	Cobertura según operadora
Sistema de Alerta	A través de correo electrónico o aplicaciones móviles	NO	NO	Llamada o mensajes de texto
Disponibilidad en el Mercado	SI	SI	SI	SI
Precio	\$ 60	\$ 65	\$ 12 – 75	\$ 22

Fuente: Raspberry, 2019, <https://www.raspberrypi.org/>; tp-link, 2019, <https://www.tp-link.com/ec/>; MCI electronics, 2019, <https://xbee.cl/>

Realizado por: Lapo, Freddy 2019

Según las características mencionadas en la tabla 12-1, se determinó optar por la tarjeta Raspberry debido a las necesidades del sistema, aprovechando la opción de poder procesar, diseñar una base de datos y una interfaz web sin depender de plataformas o software externos que presentan ciertos inconvenientes en el tiempo de transmisión y límites de alojamiento de información por lo que se planteó el uso de estos elementos.

1.8 Elementos de Visualización

Dependiendo de la aplicación y parámetros a visualizar a través de una pantalla, existen una gran variedad de dispositivos con propiedades únicas que manejan un tipo de lenguaje específico y que se pueden adaptar otros módulos. Comúnmente están las pantallas LCD y LCD Touch. A continuación, en la tabla 13-1 se detallará cada uno de estos dispositivos.

Tabla 13-1: Diferencias entre LCD y LCD TOUCH NEXTIONS

Características	LCD (192x64)	LCD TOUCH (NEXTIONS 3.2")
Aplicaciones	Productos de Consumo Dispositivos de Telecomunicaciones Electrodomésticos Automatización Equipos Médicos Automóvil	Interacción con dispositivos IoT Cualquier aplicación u tipo de proyecto de control y proceso
Ventajas	Puede funcionar con tensión negativa opcional Se puede incorporar controlador I2C Bajo consumo de energía	Interfaz HMI y pantalla táctil Ranura para tarjeta SD y actualización de firmware Usa un solo puerto serial para la comunicación Pantalla táctil resistiva, 400x200, 65k de colores

		Posee memoria de almacenamiento y procesamiento de imágenes
Desventajas	Sin memoria de almacenamiento No permite la interacción con el usuario 21 terminales de conexión y demasiado cableado	Dificultad de configuración y programación Dimensión de pantalla considerable El cable USB debe ser de buena calidad para la alimentación
Alimentación	5V – 5.25 máx. 3.5mA	5V/85mA
Precio	\$ 20	\$ 100

Fuente: WINSTAR, 2018, <https://www.winstar.com.tw/es/>; NEXTION, 2019, <https://nextion.tech/>

Realizado por: Lapo, Freddy 2019

Según las características mencionadas en la tabla 13-1 y las necesidades para el desarrollo del sistema, se consideró el uso del LCD 192x64 debido al bajo consumo, precio accesible ya que es suficiente para la visualización de información y que no se requiere de alguna funcionalidad superior del LCD NEXTIONS.

1.9 Gestores de Base de Datos Comerciales y Públicos

Los gestores de bases de datos funcionan como una biblioteca el cual se encargan de almacenar un conjunto de información. Existe una variedad de gestores tanto públicos como comerciales que sus características van a depender de sus modelos y de las necesidades del usuario. En la tabla 14-1 se detalla las ventajas y desventajas entre las plataformas más representativas.

Tabla 14-1: Ventajas y Desventajas entre plataformas de bases de datos

Características	MySQL (Libre)	Oracle (Comercial)	Open Office (Libre)
Ventajas	Su rendimiento se destaca en la velocidad para efectuar operaciones.	Su sistema de gestión es la más completa y puede usarse en muchas plataformas.	No posee ningún costo adicional por descargar, instalación y actualizaciones.

	Costo relativamente bajo para el desarrollo de una base de datos debido a su mínimo consumo en funcionamiento. Compactible con la mayoría de los sistemas Operativos	Su aplicación está más orientada en la web. Mediante un repositorio principal se puede tener una gestión centralizada. A través de particiones, la gestión se vuelve eficiente y detecta duplicado de la información.	Puede manejarse sin registro previo a su utilización.
Desventajas	La mayoría de las utilidades no poseen la documentación respectiva. No posee es flexibilidad como otras plataformas.	Posee un costo muy elevado por su servicio. Tiene un nivel de complejidad considerable en el manejo de la programación, además de poseer un solo tipo de lenguaje.	El manejo en la interfaz es excesivo lo que conlleva a un alto consumo de recursos. No incorpora tecnologías distintivas y mayormente utilizadas como HTML o JavaScript. Escases de herramientas y incompatibilidad con lenguajes de otros gestores.

Fuente: Castillo, 2016, <https://jrking95.wixsite.com/isc6semestre/single-post/2016/1/28/Ejemplos-de-gestores-de-base-de-datos-libres-y-comerciales>; Madayeliperezhernandez309, 2017, <https://mape309site.wordpress.com/2017/11/15/ventajas-y-desventajas-de-mysql-oracle-visual-foxpro-y-access/>

Realizado por: Lapo, Freddy 2019

Considerando los detalles de la tabla 14-1, se ha optado por desarrollar la base de datos a través del software MySQL debido a que se adapta a las tareas del proyecto como es la obtención de datos a través de la red domestica con requisitos de almacenamiento mínimos, así mismo por la disponibilidad al público y portar licencia gratuita.

1.10 Herramientas para el Diseño de Interfaces Web

La función principal de una interfaz web es la interacción entre el usuario y ciertos métodos en internet teniendo en cuenta antes un diseño de cualquier tipo de aplicación web. Específicamente en el campo IoT existen varias herramientas que amplían las opciones de conectividad entre dispositivos e interactuar a través de una interfaz web. En la tabla 15-1 se detalla las características más sobresalientes de las herramientas de desarrollo de una interfaz web.

Tabla 15-1: Características de herramientas de desarrollo de interfaces web

Características	Node Red	OpenHAB	Contiki
Aplicaciones	Proyectos IoT Servicios en línea Tratamiento de eventos de negocio Sistemas de mensajería Interconexión de varios dispositivos hardware Manejo de sistemas de almacenamiento Aplicaciones Web	Automatización de Hogar Variedad de Interfaces por usuario Conexión de dispositivos de distintos proveedores	Conexión de sistemas de computacionales Redes de Sensores Domótica Sistemas de Alarma Computación Virtual en Red
Lenguaje	JavaScript	Java C/C++	Lenguaje de programación C
Tipo de Herramienta	Desarrollo de hardware y software (Código Abierto)	Software inteligente para hogar	Sistema Operativo (Código Abierto)
Nivel de Complejidad	Media	Alta	Media
Sistema Operativo	Windows, Linux y Mac	Windows, Linux y Mac	Propio

Fuente: BBVAOPEN4U, 2015, <https://bbvaopen4u.com/es/actualidad/el-internet-de-las-cosas-de-codigo-abierto-plataformas-y-aplicaciones-para>

Realizado por: Lapo, Freddy 2019

En base a la tabla 15-1, se utilizó la herramienta Node – Red debido a las funcionalidades que ofrece, las innumerables aplicaciones en el entorno IoT, el manejo del entorno del software es flexible que difieren a programas mucho más complejos y la conectividad de varios elementos hardware, lo que hace una herramienta ideal para el desarrollo de la interfaz web.

CAPITULO II

2 PROPUESTA Y DISEÑO DEL PROTOTIPO

En este capítulo, se describen cada uno de los componentes que dispone el sistema de monitoreo, al igual que su funcionamiento y la interconexión de los dispositivos. Se indica, además, cada una de las etapas del proceso y el diseño esquemático de los elementos de hardware y software.

2.1 Requerimientos y esquematización para el diseño del sistema

Para la realización e implementación del sistema de monitoreo se debe considerar los siguientes puntos:

Requerimientos de hardware:

- Tener a disposición sensores de corriente, módulo de voltaje, tarjetas de desarrollo, fuente de alimentación, circuitos integrados, conectores de audio, adaptador a 12V de 3A, interruptor termomagnético, modulo LCD y adaptador para el control de la pantalla LCD.
- Capaz de realizar mediciones para circuitos de 10A, 30A y 100A por parte de los sensores.
- La fuente de alimentación debe tener la capacidad de suministrar energía a todos los dispositivos.
- Incorporar un interruptor como elemento de protección en caso de presentar alguna sobrecarga o cortocircuito.

Requerimientos de software:

- Para la inicialización de dispositivos, acondicionamientos de señales, procesamientos de datos y configuración de la comunicación serial, debe programarse desde el entorno de Arduino basado en lenguaje C++.
- La creación de la base datos debe ser realizada desde el software MySQL utilizando un sistema de gestión denominado MariaDB escrito en C y C++.

- En el desarrollo de la interfaz web, utilizar la herramienta Node – red desde el editor de flujos el cual está escrito en el lenguaje de JavaScript.
- Configurar el protocolo SSH desde el sistema operativo Raspbian en el Raspberry.

2.2 Diseño global de la Arquitectura del sistema

La concepción global del sistema de monitoreo se muestra en la figura 1-2, donde se expone el esquema general por etapas: funcionamiento, lectura de los parámetros energéticos a través de los circuitos eléctricos de la residencia, etapa de alimentación del sistema y procesamiento de los datos para luego ser mostrados en la parte externa del gabinete y en la interfaz web.

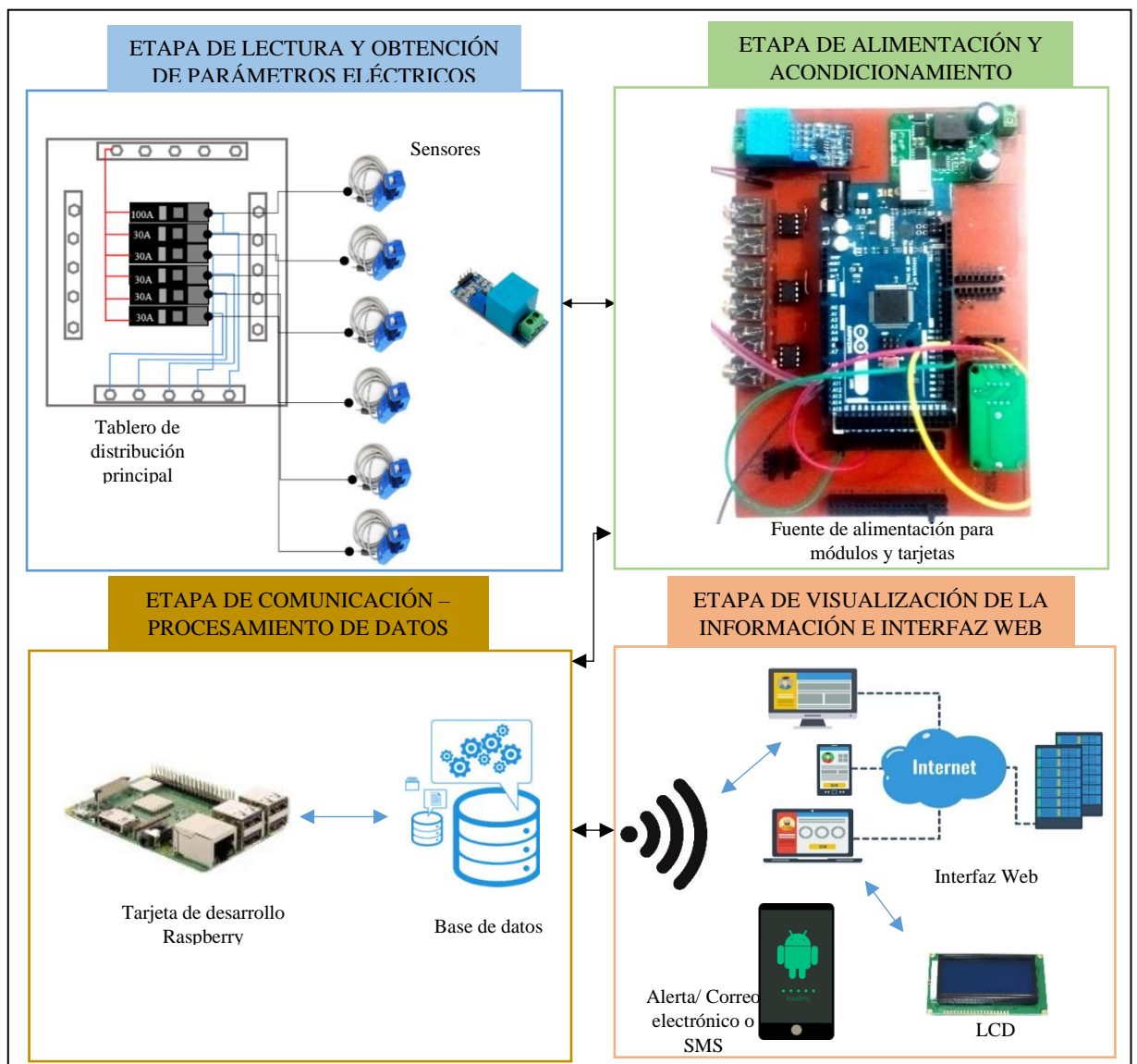


Figura 1-2. Esquema global del sistema

Realizado por: Lapo, Freddy 2020

El sistema de monitoreo permitirá al cliente o usuario, el acceso a la información de forma que pueda tener la supervisión de los elementos energéticos y existe una anomalía en algún punto de las instalaciones o cargas eléctricas en la residencia. La transferencia de datos se efectuará a través de los puertos seriales entre las tarjetas y módulos, además de aprovechar el entorno doméstico y la disposición de las conexiones inalámbricas que se pueden aplicar.

Los parámetros energéticos a medir: voltaje, corriente, potencia, factor de potencia y distorsión armónica, se obtendrán desde el tablero principal de distribución de una residencia para luego acondicionar y procesar los datos en la tarjeta de desarrollo Arduino, además se creará la base de datos a través de la tarjeta Raspberry Pi3, configuración de un servidor e interfaz web que permita el registro de usuario y acceso a información histórica, conjuntamente se visualizará en una pantalla de cristal líquido, el consumo energético en tiempo real y se tendrá un apartado para alertas a través SMS cuando se presente un consumo elevado o inhabitual.

2.3 Diseño por etapas del sistema

A continuación, se detallará cada una de las etapas que conforman el sistema a desarrollar para la culminación del trabajo de titulación.

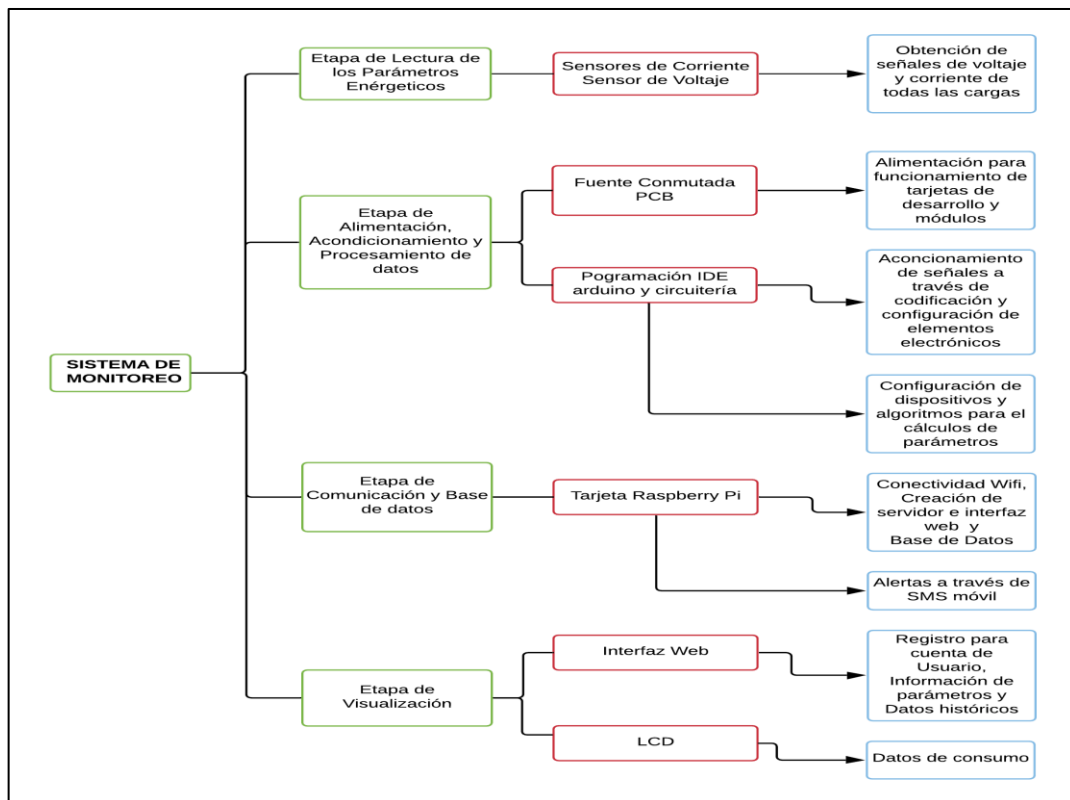


Figura 2-2. Arquitectura del sistema por etapas

Como se detalla en la Figura 2-2, el sistema de Monitoreo cuenta con cuatro etapas: lectura de los parámetros energéticos, alimentación – acondicionamiento y procesamiento de datos, comunicación – base de datos y visualización.

Para la lectura de los parámetros, los sensores de corriente no invasivos realizarán la lectura de las cargas que tiene la caja de distribución al igual que el módulo de voltaje. Antes de inicializar el sistema de monitoreo, el usuario debe calibrar los sensores para tener una mejor aproximación.

En la siguiente etapa, la fuente conmutada AC – DC de 12V suministrará energía a todos los dispositivos y módulos. El acondicionamiento de las señales permitirá que la información pueda ser reconocida por el Arduino Mega y a partir de un conjunto de instrucciones o algoritmos se obtendrá los parámetros a medir.

La placa Raspberry pi3 b+ tiene la capacidad de conexión Wifi, por lo cual se crea una red inalámbrica local y además se establece la base de datos en MySQL a partir de la información obtenida en el Arduino Mega 2560 y para la elaboración de la interfaz web se utilizará la herramienta de desarrollo Node – RED en lenguaje JavaScript, la cual permitirá la interacción con el usuario y acceder a la información. En adición, a través de algoritmo realizado en la tarjeta de desarrollo, se enviará un SMS al teléfono móvil cuando se llegue a detectar un alto consumo energético.

Finalmente, para la etapa de visualización, se tendrá una interfaz web con páginas de navegación que enlacen o vinculen al punto de interés, ya sea datos históricos o consumo en tiempo real, el usuario tendrá que registrarse para poder ingresar a la página. En la parte externa del gabinete del sistema se tendrá una pantalla LCD de 192x64 que mostrará el consumo actual y demás valores, opcionalmente se desarrollará una pequeña aplicación móvil que detallará los parámetros antes mencionados.

2.4 Selección de dispositivos electrónicos para el sistema de monitoreo

En esta sección se mencionará los elementos de hardware que se incluirán en la realización del sistema.

2.4.1 Arduino Mega 2560

Esta placa electrónica dispone de 54 pines que pueden utilizarse como entrada o salida de las cuales 15 están destinadas como salidas PWM, un cristal oscilador de 16MHz, puerto USB y entrada para la alimentación externa de la placa, se basa en el microcontrolador ATmega 2560 y puede ser adaptada a algunos módulos. Las aplicaciones que tiene esta placa son innumerables, aunque tiene una gran importancia en el manejo de motores paso a paso y en el área de la robótica. En la figura 3-2 se muestra la tarjeta de desarrollo Arduino Mega 2560. (Robotshop, 2015)

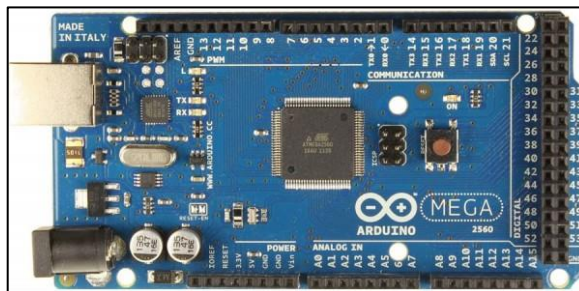


Figura 3-2. Arduino MEGA 2560

Realizado por: Lapo, Freddy 2019

Características técnicas principales (Ver Anexo A).

- Voltaje de Operación: 5V
- Voltaje de Entrada: 7 – 12V
- Voltaje de Entrada máximo: 20V
- Pines analógicos de entrada: 16
- Corriente DC por cada pin entrada/salida: 40mA
- Corriente DC entregada en el pin 3.3V: 50mA
- Clock Speed: 16MHz

2.4.2 Sensor de Corriente no invasivo SCT 013 – 030 y SCT 013 – 010

El sensor de corriente no invasivo también se considera como transformadores de corriente que se usan para la medición de corriente alterna, son apropiados para medir el consumo eléctrico en el hogar. Posee un núcleo fragmentado el cual es adecuado para análisis de la señal eléctrica y proyectos, ya que puede acoplarse a cualquier conductor de baja o alta tensión similar al funcionamiento de una pinza amperimétrica. (Electronilab, 2019) En la figura 4-2 se muestra el sensor a emplearse.



Figura 4-2. Sensor SCT 013 – 030

Realizado por: Lapo, Freddy 2019

Características técnicas principales (Ver Anexo B).

- Corriente de entrada: (0 – 30A / 0 – 10A) AC
- Modo de Salida: 0 – 1V
- No Linealidad: $\pm 1\%$
- Temperatura de trabajo: -25°C a $+70^{\circ}\text{C}$
- Longitud del cable: 150 cm
- Tamaño: 13x13 mm

2.4.3 Sensor de Corriente no invasivo SCT 013 – 000

De similar propiedades y diseño que el sensor SCT 013 030, con la diferencia que este sensor mide en un rango de 0 – 100A, además la salida es una señal de corriente no de voltaje por lo que se requiere un circuito de conversión de intensidad a tensión, la opción más simple sería colocando una resistencia de carga a su salida. Posee un transformador de corriente con núcleo de hierro de relación 2000:1 (100A: 50mA) e incorpora un diodo de protección cuando el transformador queda energizado. En la figura 5-2 se muestra el sensor no invasivo de series SCT 013 000. (CDMX Electrónica, 2019)



Figura 5-2. Sensor SCT 013 – 000

Realizado por: Lapo, Freddy 2019

Características técnicas principales (Ver Anexo B).

- Rango de Medición: 0 – 100A
- No linealidad: $\pm 3\%$ (Rango de 10 a 120A)
- Temperatura de operación: -25°C a $+70^{\circ}\text{C}$
- Relación de transformación: 2000:1 (100A: 50mA)
- Salida analógica en corriente: se necesita realizar una conversión de corriente a voltaje, la opción más sencilla sería colocar una resistencia de carga, por ejemplo: una variación de intensidad a medir de 0 – 12A, la salida en el transformador variaría de 0mA a 6mA, si la carga es de 200 Ohm se produciría un voltaje de 0V a 1.2V.

2.4.4 *Módulo transformador de voltaje AC ZMPT101B*

Este módulo permite medir el voltaje alterno en este caso para una residencia para nuestro país a 120 VAC – 60 Hz, facilita la lectura de nuestro microcontrolador debido a que la señal de esta tarjeta entrega valores escalables. Tiene integrado un transformador que permite aislar entre el voltaje AC de entrada y el lado secundario de su salida. Tolera voltajes de entrada hasta 250 VAC y proporciona una onda sinusoidal de amplitud que se puede modificar con un potenciómetro incluida en la placa. (Naylamp MECHATRONICS, 2018) En la figura 6-2 se muestra el módulo de voltaje

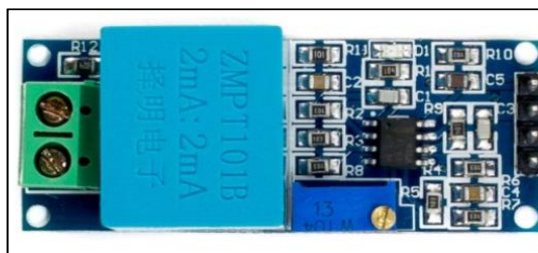


Figura 6-2. Módulo de voltaje ZMPT101B

Realizado por: Lapo, Freddy 2019

Características técnicas principales (Ver Anexo C).

- Voltaje de Alimentación: 3.3V – 5VDC
- Voltaje de entrada: 250 VAC máx.
- Señal de salida: analógica senoidal
- Voltaje Alterno de Salida: Onda senoidal 5VAC máx.
- Dimensiones: 5 cm x 2cm x 2.4cm

2.4.5 *Módulo de fuente de alimentación – convertidor de potencia 12V/5V*

El módulo de conversión DC – DC step down (buck) tiene la capacidad de ajustar el voltaje de entrada y proveer un voltaje menor a la salida. Esta pequeña fuente puede entregar hasta 5A, de forma que facilita a los circuitos para su alimentación y emite una pequeña cantidad de calor. Al ser una fuente conmutada de inferior perfil y alta eficiencia puede utilizarse para alimentar

diferentes etapas de un circuito, alimentar módulos, control de acceso, etc. (WAVGAT, 2019) En la figura 7-2 se puede apreciar la fuente a usarse.



Figura 7-2. Fuente Conmutada DC – DC

Realizado por: Lapo, Freddy 2019

Características técnicas principales (Ver Anexo D).

- In: entrada positiva
- Salida: salida positiva
- GND: entrada/salida
- Dimensiones: (45x31x16) mm
- Voltaje de entrada: 9 – 35V
- Voltaje de salida: 5V
- Corriente de salida: 5A
- Potencia de salida: 25W

2.4.6 Amplificador operacional LM358P

El LM358P es un circuito integrado compuesto por dos amplificadores operacionales individuales, está diseñado particularmente para que funcione a una única fuente de alimentación en un gran rango de tensión. Posee una alta ganancia con compensación de frecuencia interna, además se puede funcionar mediante fuentes de alimentación distribuidas o divididas, las pérdidas de corriente que se abastece por la fuente, es independiente de la magnitud de tensión de la alimentación. (ElectroCrea, 2019) En la figura 8-2 se muestra el amplificador operacional.

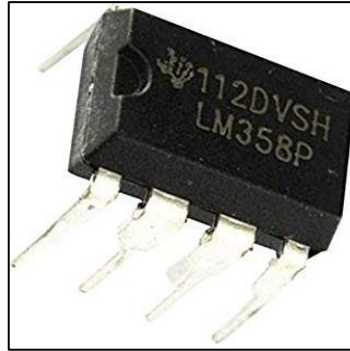


Figura 8-2. OPAM LM358P

Fuente: ElectroCrea, 2019

Características técnicas principales (Ver Anexo E).

- Tensión de alimentación mínimo: 1.5V
- Tensión de alimentación máximo: 16V
- Tipo de amplificador: alta ganancia
- 8 pines
- Compensación de frecuencia interna para ganancia unitaria
- Ancho de banda: 700 KHz
- Oscilación de voltaje de salida entre 0 Vcc y 1.5Vcc

2.4.7 Raspberry Pi3 B+

Esta microcomputadora es un rediseño de su anterior modelo Pi3, conservando su tamaños y posición de sus elementos, se ha mejorado el procesador con uno más potente funcionando a 1.4 GHz teniendo una mejor conectividad Bluetooth, Wifi con doble banda de 5 GHz y 2.4 GHz, además, la tarjeta de red Ethernet tiene la capacidad de adquirir los 300 Mbps ya que funciona en el puerto USB 2.0. En la figura 9-2 se aprecia el miniordenador que se incluye en el sistema. (Raspberry Pi Foundation, 2016)

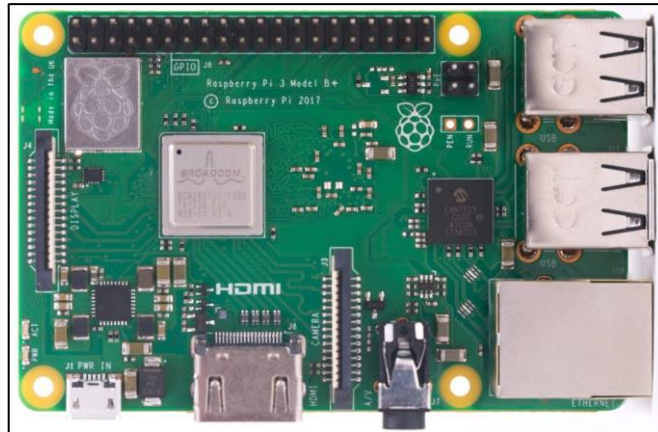


Figura 9-2. Tarjeta Raspberry Pi3 B+

Realizado por: Lapo, Freddy 2019

Características técnicas principales (Ver Anexo F).

- Procesador Cortex – A53 SoC de 64 bits a 1.4 GHz
- Wifi + Bluetooth: 2.4 GHz y 5 GHz IEEE 802.11.b/g/n/ac
- Ethernet sobre USB 2.0 (rendimiento hasta 300 Mbps)
- 4 puertos UBS 2.0
- HDMI
- GPIO de 40 pines
- Ranura Micro SD para cargar sistema operativo y almacenar datos
- Alimentación de 5V/2.5 DC
- Salida de audio estéreo y video compuesto

2.4.8 LCD 192x64

Para la visualización de los parámetros se utilizó un LCD 192x64, posee un amplio rango de temperatura para su funcionamiento, se puede usar en la mayoría de los sistemas integrados, seguridad, equipamiento médico, dispositivo industrial, etc. En la figura 10-2 se muestra la pantalla LCD a utilizar. (Team Source Display, 2019)



Figura 10-2. Pantalla LCD 192x64 de 4 pulgadas

Realizado por: Lapo, Freddy 2019

Características técnicas principales (Ver Anexo G).

- Formato: 192x64 puntos
- Corriente luz de fondo: 120mA
- Fuente de alimentación: 5V
- Temperatura de funcionamiento: -20 °C – 70 °C

2.4.9 *Módulo adaptador I2C para LCD*

Este módulo maneja la comunicación a través del bus I2C permitiendo a la LCD utilizar solo dos pines (SCL y SDA), se basa en el controlador I2C PCF8574 que concede la expansión de salidas y entradas digitales controlado por el bus I2C, por el diseño de la placa este pequeño modulo se utiliza principalmente para LCD alfanuméricos y también para evitar el exceso de cableado. En la figura 11-2 se muestra el módulo adaptador I2C. (Eneka SA, 2019)

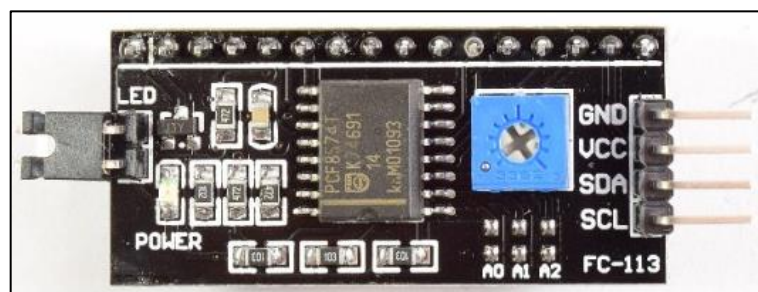


Figura 11-2. Módulo para LCD a interfaz I2C

Realizado por: Lapo, Freddy 2019

Características técnicas principales (Ver Anexo H).

- Voltaje de Funcionamiento: 5 VDC
- Compactible con protocolo I2C
- Dirección I2C: 0x3F (en algunos modelos es 0x27)
- Potenciómetro para ajuste de contraste

2.4.10 Conector Jack 3.5mm Encapsulado estéreo

Este tipo de conector es ideal para montajes en placas PCB, usualmente es utilizado para salidas audio de equipos portátiles como televisores, laptops, celulares, etc. También se utiliza como auxiliar de audio en cierto tipo de audífonos funcionan como entrada. Para el desarrollo del sistema de monitoreo se va a utilizar este conector debido a que los sensores tienen a su salida conector tipo plug. En la figura 12-2 se muestra el conector Jack. (GEEBOK ELECTRONICS, 2019)



Figura 1218-2. Conector Jack

Realizado por: Lapo, Freddy 2019

Características técnicas principales (Ver Anexo I).

- Tipo de conector: Jack 3.5 mm
- Salida: Estéreo (2 canales o bandas)
- Género: Jack (Hembra)
- Numero de pines: 5
- Dimensiones: 1.5cm x 1cm x 0.5cm

2.5 Diagrama de Conexiones para el sistema de Monitoreo

En este apartado, se explicará las conexiones de las tarjetas de desarrollo, módulos y demás dispositivos utilizados para el desarrollo del trabajo de titulación, el software empleado con sus respectivas librerías para los módulos. A continuación, se detallará cada una de las etapas que forman la estructura del sistema.

2.5.1 Etapa de alimentación

Se diseñó una placa electrónica PCB a partir de una fuente conmutada que entrega un voltaje regulado de 12VDC a 5VDC para el funcionamiento de las tarjetas de desarrollo Arduino, Raspberry pi, módulo de voltaje, amplificadores operacionales, modulo I2C, pantalla LCD, módulo RTC y además se incorporó un circuito de acondicionamiento. En la figura 13-2 se muestra el esquema de la placa realizada en Autodesk Eagle 9.0.

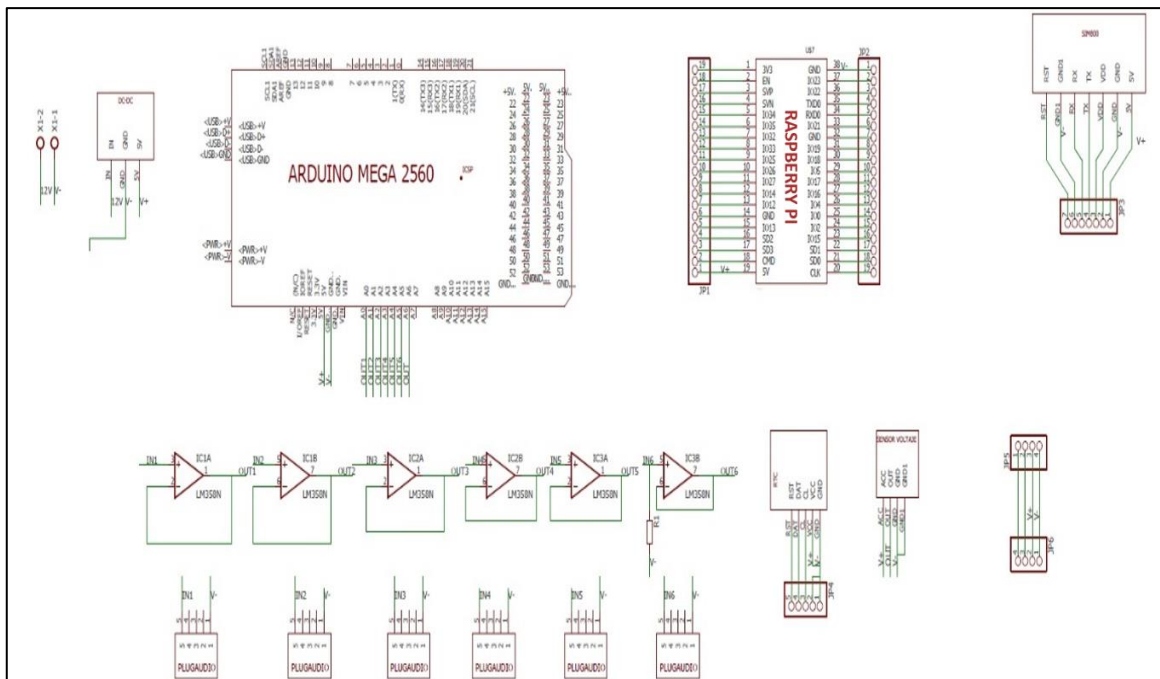


Figura 13-2. Esquemático de etapa de alimentación

Realizado por: Lapo, Freddy 2019

- La fuente conmutada posee 3 terminales: IN+ que se conectará a una pequeña fuente de poder externa en el terminal positivo de 12+VDC, GND se hará puente con todos los terminales

GND de los módulos, tarjetas de desarrollo y el otro terminal de la fuente, finalmente OUT se aplica un puente a todos los terminales VCC (5V) de los dispositivos.

2.5.2 Etapa de Acondicionamiento de las señales

Para el acondicionamiento, se diseñó una placa PCB que contiene los conectores Jack para la lectura de los sensores de corriente y una configuración seguidor de tensión con los amplificadores LM358P para rectificar la onda y trabajar con la parte positiva, además con líneas de código se realiza el cálculo y se configura el voltaje de referencia a 1.1V para obtener una lectura idónea, en la figura 14-2 se puede observar la conexión para esta etapa la cual se aplica para cada uno de los sensores de corriente. En el caso del módulo de voltaje, el Arduino leerá directamente la señal y se acondicionará a partir de programación.

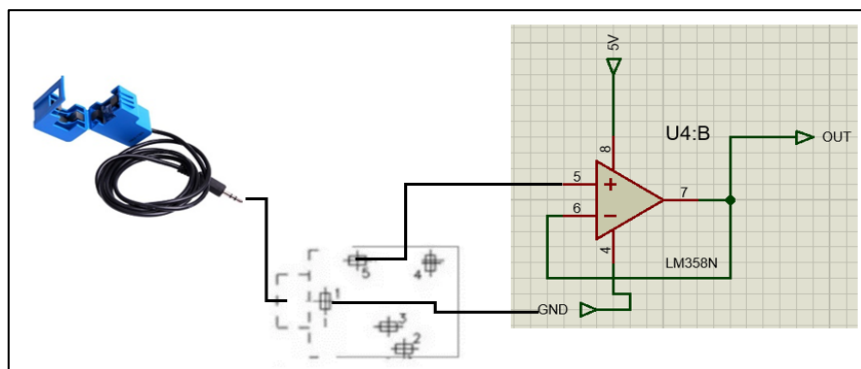


Figura 14-2. Conexión para Acondicionamiento de señal de corriente

Realizado por: Lapo, Freddy 2019

- Los pines 1 (GND) y 5 (Señal) del conector Jack deben conectar a los terminales 3 o 5 (entrada no inversora) y 4 (GND) del amplificador LM358P.
- Para el caso del sensor SCT 013 – 000, es necesario colocar una resistencia de carga en la entrada no inversora del terminal 3 o 5 del amplificador LM358P de forma que el Arduino pueda leer la señal ya que este sensor entrega valores de corriente y no de voltaje, en la figura 15-2 se muestra la modificación que se realiza.

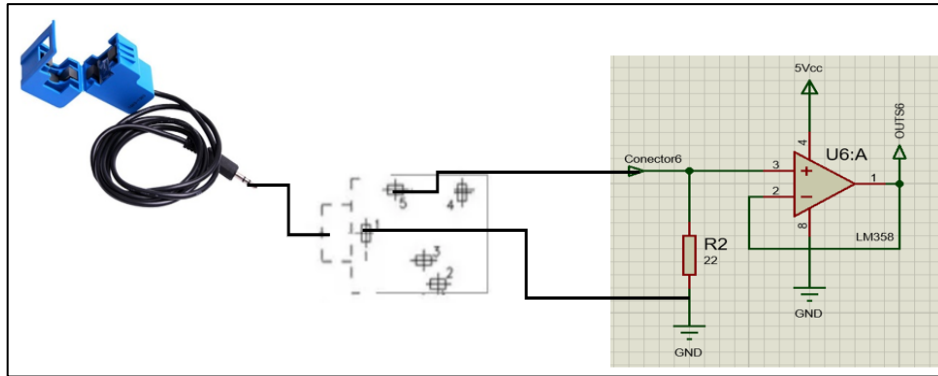


Figura 15-2. Conexión para Acondicionamiento de sensor SCT 013 – 000

Realizado por: Lapo, Freddy 2019

2.5.3 Etapa de Adquisición de Datos

En esta etapa se obtendrán las señales de voltaje y corriente de cada carga y a partir de cálculos realizados a través de programación, se hallan los otros parámetros eléctricos. Para los sensores de corriente y de voltaje se deben considerar los siguientes puntos para realizar una correcta lectura:

- En los sensores SCT 013 – 030 y SCT 013 – 000 se debe enganchar un solo cable de la carga puede ser neutro o fase, pero no los dos cables a la vez ya que se tomaría una lectura errónea, como se muestra en la figura 16-2.

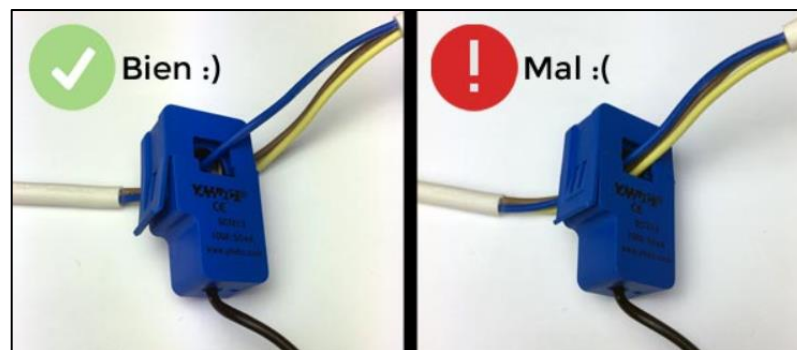


Figura 16-2. Forma de colocar el sensor de corriente

Fuente: PROGRAMAR FACIL, 2019, <https://programarfacil.com/blog/arduino-blog/sct-013-consumo-electrico-arduino/>

- El sensor de voltaje ZMPT101B tiene 2 pines de entrada en la que se conectaría las líneas de fase y neutro como se observa en la Figura 17-2.

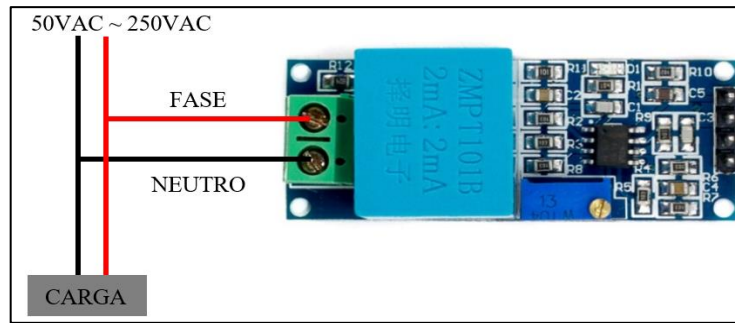


Figura 17-2. Conexión para la lectura de voltaje en la carga

Realizado por: Lapo, Freddy 2019

En la Figura 18-2 se muestra las conexiones y el diseño de la placa PCB expandida que incorpora la fuente de alimentación para cada uno de los módulos y tarjetas de desarrollo, acondicionamiento para señales resultantes de los sensores junto a los conectores Jack de 3.5mm y la adquisición de datos para luego realizar el procesamiento de datos. El diseño se realizó en Autodesk Eagle 9.0 debido a la flexibilidad que ofrece el software para este tipo de aplicaciones y la variedad de librerías que dispone.

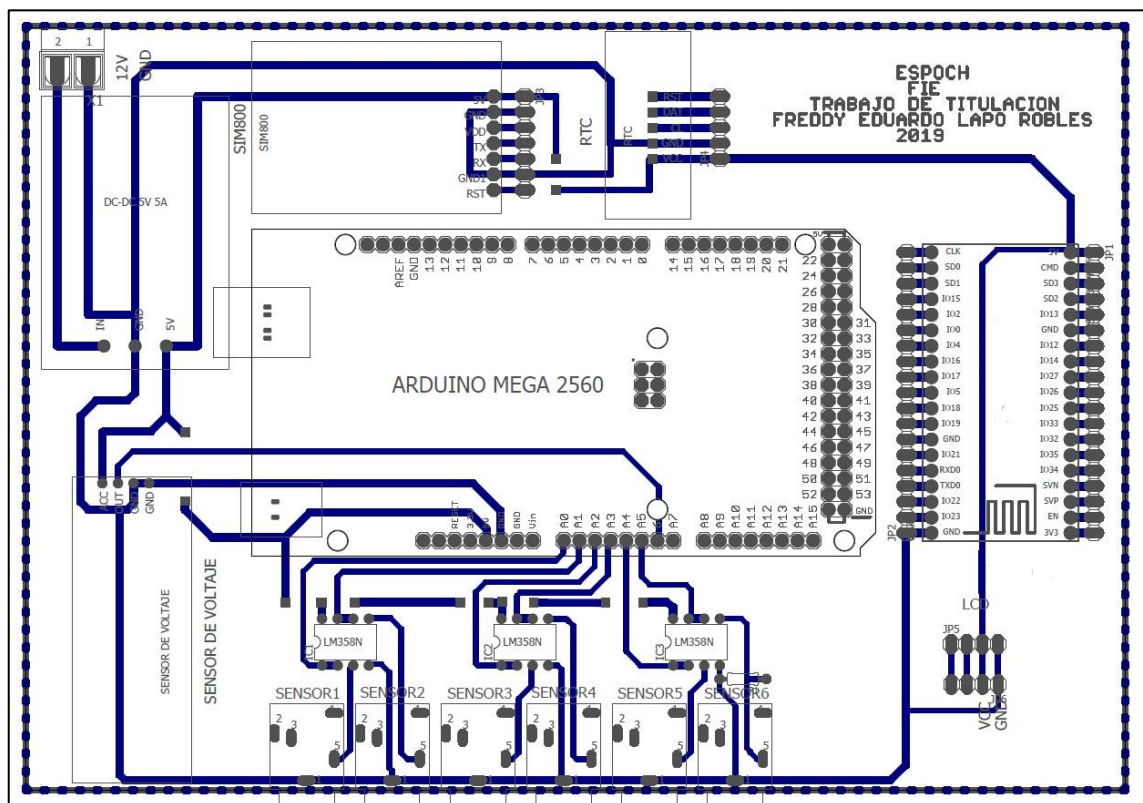


Figura 18-2. Conexión de módulos y sensores para la adquisición de señales

Realizado por: Lapo, Freddy 2019

- A cada salida de los amplificadores operacionales siendo los terminales 1 y 7, se conecta a las entradas analógicas del Arduino A0, A1, A2, A3, A4, A5 que son las señales de los sensores de corriente.
- El módulo de voltaje ZMTP101B tiene 6 terminales: FASE y NEUTRO para leer voltaje de carga, VCC se conecta a 5V, OUT al terminal A6 del Arduino y 2 terminales GND se conecta al terminal GND del Arduino.

2.5.4 Etapa para el procesamiento de datos y visualización

El esquema de conexión de las tarjetas que intervienen para el procesamiento de datos y visualización se detalla en el Figura 19-2. Para la recepción y almacenamiento de la información se empleará el Raspberry pi3 b+ donde se establecerá un mini servidor que aloje una base de datos y a su vez se diseñará la interfaz web, así mismo se mostrará los datos en la pantalla LCD.

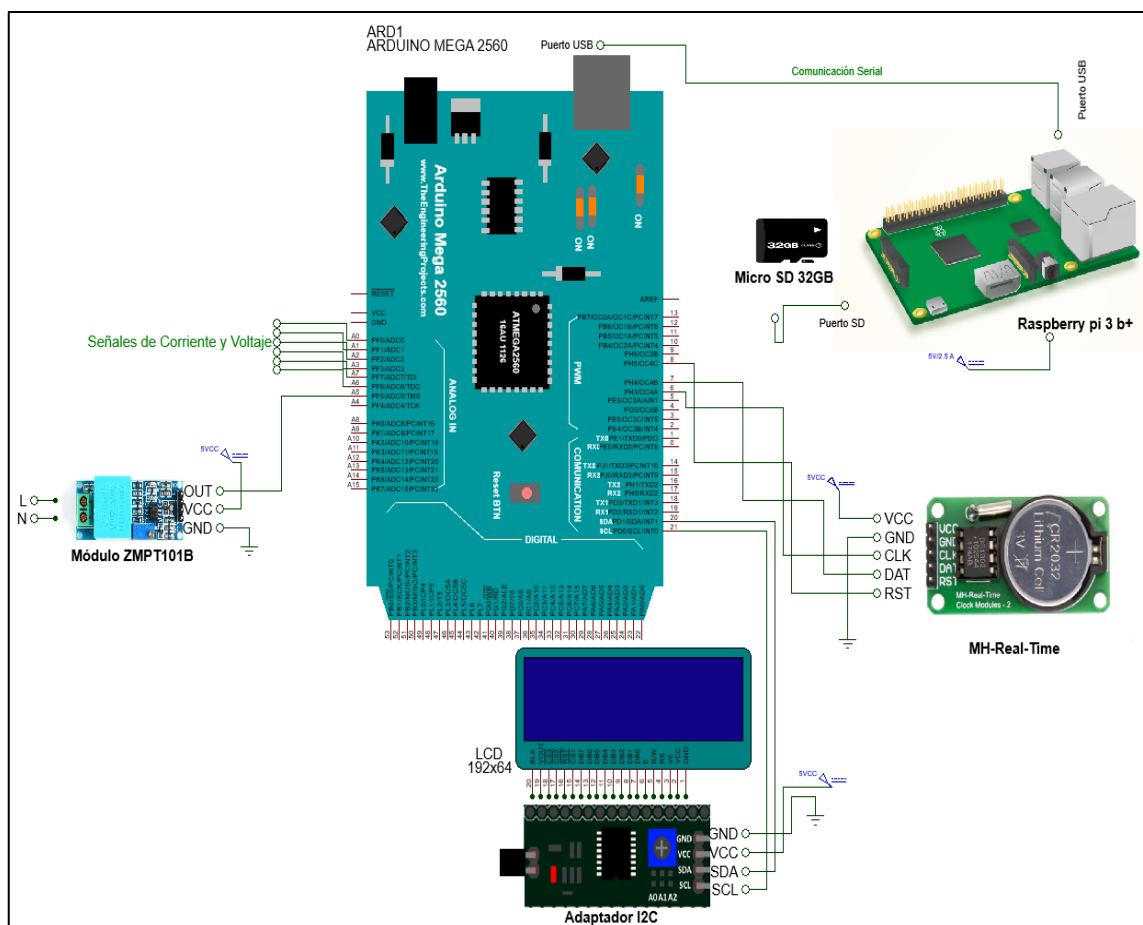


Figura 19-2. Esquema de Conexión para el procesamiento y visualización de datos

Realizado por: Lapo, Freddy 2019

Para esta etapa se detallará las conexiones realizadas a continuación:

- Para la admisión y procesamiento de los datos se conectará las tarjetas Arduino – Raspberry a través de los puertos serie USB tipo B y USB 2.0.
- Para el almacenamiento de la información, se insertará en la ranura del Raspberry una memoria microSD de 32GB especialmente para poder realizar las consultas históricas de la información a través de la interfaz web.
- El adaptador I2C tiene 4 terminales que se conectarán de la siguiente manera: el terminal uno se conectara al GND del Arduino, el terminal dos se conectara a 5V de la placa de alimentación para su funcionamiento, el terminal tres y cuatro se conectarán al pin 20 (SDA) y 21 (SCL) del Arduino.
- La pantalla LCD 192x64 se conectará paralelamente a los terminales del adaptador I2C teniendo en cuenta que cada uno de los terminales de la LCD deben coincidir con los terminales del adaptador de forma que se evitaría un daño al dispositivo.
- opcionalmente se acoplará al sistema un módulo RTC, en caso de que deje de funcionar el sistema, esto permitirá conocer la fecha, hora y año de desconexión. La conexión se realizará de la forma siguiente: VCC se conecta a 5V, GND al terminal GND del Arduino, CLK, DAT y RST a los terminales D6, D7 y D8 del Arduino respectivamente.

2.6 Diseño de Software del Sistema de monitoreo

En este apartado se detallará el software y librerías utilizadas para la lectura, procesamiento de datos, creación de la base de datos e interfaz web. A partir de la programación se describirá la funcionalidad que tiene en el desarrollo del sistema, se constituye además la supervisión de datos mediante una interfaz de fácil manejo e interactiva para el usuario.

2.6.1 Requerimientos de Software para el sistema de Monitoreo

En los siguientes puntos se detalla las exigencias del software que deben considerarse para el sistema:

- Lectura de señales acondicionadas para el Arduino.
- Algoritmos especiales para el cálculo de parámetros energéticos.
- Visualización simultanea de parámetros eléctricos.

- Compactibilidad con las librerías manipuladas.
- Enviar un correo electrónico de prevención o alerta.
- Acceso a la información de la base datos previamente a un registro de usuario.
- Brindar información histórica: diaria y mensual del consumo.

2.6.2 Software para la lectura y procesamiento de las señales

La programación se manejó en la plataforma de Arduino en el entorno IDE debido a que puede utilizarse para diferentes lenguajes, se basa y es escrito en C++. Este entorno ofrece librerías que simplifican la programación para operaciones específicas, además de que incorpora la gestión de placas que cada vez se va agregando según el avance o actualización de la versión de Arduino, resaltando que posee licencia libre y que puede llegar adaptarse a una amplia gama de placas electrónicas no necesariamente de la misma plataforma. (YÚBAL FM, 2018)

2.6.2.1 Programación en el entorno de Arduino

La programación desarrollada tiene dos secciones básicas: la primera para la lectura de las señales y la segunda parte para el procesamiento en la cual se determinará las variables energéticas a partir de algoritmos que permitan acelerar este proceso, verificar código en el anexo J. En el Figura 20-2 se detalla un flujograma sobre el funcionamiento del sistema de monitoreo para esta etapa.

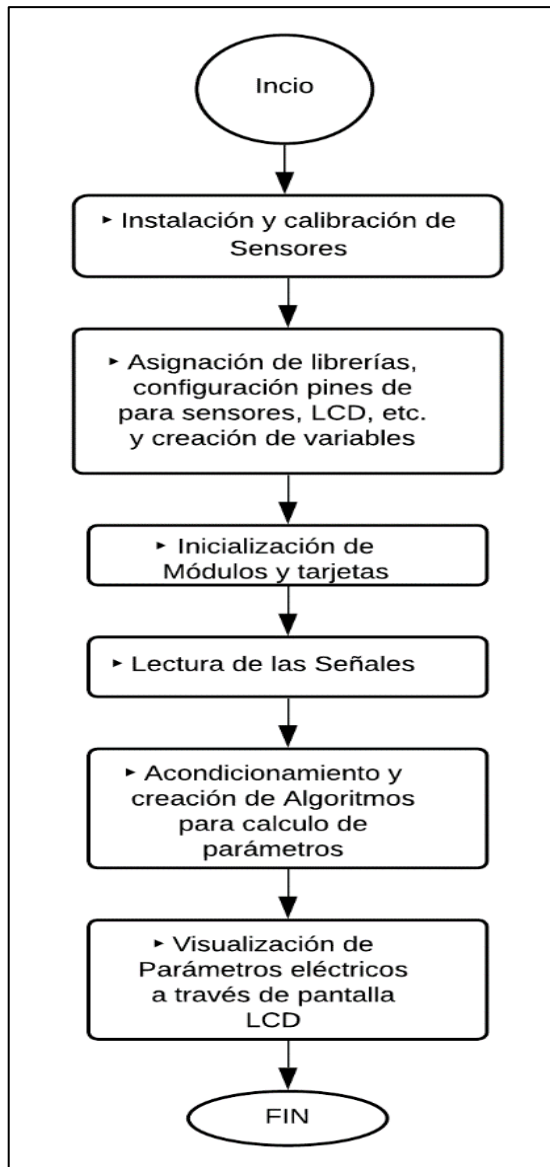


Figura 20-2. Flujograma de la lectura y visualización de parámetros eléctricos

Realizado por: Lapo, Freddy 2019

A continuación, se detallará las librerías, funciones y de forma breve la programación para esta etapa en la que se incluyen las dos secciones antes mencionadas.

Fuera de las funciones principales:

- **Lib. Filters:** A través de esta librería se aplica una búsqueda estadística de la señal del voltaje en tiempo real obtenido del módulo ZMPT101B.

- **Lib. FFT:** Esta librería permite hallar la transformada rápida de Fourier, dato con el que se puede hallar la distorsión armónica.
- **Lib. virtuabotixRTC:** Librería que facilita la configuración del módulo RTC.
- Se crean variables para generar un vector que va a contener la FFT (Transformada rápida de Fourier).
- Se crean variables de calibración y se define la frecuencia para el módulo de voltaje.

Inicialización o Setup:

- **Serial.begin():** Se establece comunicación y velocidad para la transferencia de datos entre el Arduino y el Raspberry pi3 b+.
- **Lib. LiquidCrystal_I2C:** Con esta librería se crea objeto a través del adaptador o módulo I2C en la que se especificará la dirección, filas y columnas a designar.
- **Lib. Wire:** A partir de esta librería se crea de manera global las funciones principales para controlar el hardware o el dispositivo a usar en este caso el módulo I2C.
- **lcd.init():** Mediante esta función se realiza la configuración e inicialización el I2C y el LCD.
- **lcd.backlight():** Se inicializa el LCD y luego se enciende la luz de fondo.
- **lcd.setCursor(columna, fila):** Se muestra los caracteres que se ingresan o se lee según las posiciones configuradas.
- Se ajusta la fecha, hora y formato para el funcionamiento del reloj para el módulo RTC.

Bucle de repetición o Loop:

- **RunningStatistics y InputStats.setWindosSec():** Estas funciones permitirán tener un seguimiento de las variables de voltaje y corriente además de la calibración con el fin de obtener datos sin procesar casi exactos para el cálculo de los parámetros energéticos.
- **analogReference (INTERNAL1V1):** Se establece un voltaje de referencia de 1.1V para las entradas analógicas solo para los sensores de corriente.
- **analogRead():** A partir de esta función se tomará los datos de los sensores SCT 013 y módulo de voltaje mediante los pines analógicos de Arduino.
- **Serial.print():** Por medio del puerto serial, se imprime o se muestra la lectura de los sensores que actualmente está recibiendo el microcontrolador.
- **delay():** Se realiza un pequeño retraso de tiempo para poder visualizar los datos mientras van modificando.

- **inputStats.input(), inputStats.sigma():** Con estos comandos se logra tomar una cadena de información de amplitud y calibración de valores de voltaje.
- **millis():** Se utiliza para la comparación de tiempos en los algoritmos desde que la placa ejecuta el programa, va a devolver un numero de milisegundos.
- **myRTC.updateTime():** Esta función actualizara las variables referentes a la fecha y hora desde que el sistema comienza a funcionar.
- **Lcd.print():** Se visualiza los caracteres y datos a través de la LCD.
- Se diseña un algoritmo para la lectura de la señal de voltaje obtenido por el módulo ZMPT101B.
- Se crea variables de corriente, potencia, factor de potencia y se llama a las funciones que contienen los cálculos respectivos.
- Se aplica un algoritmo para hallar el porcentaje de distorsión armónica total por circuitos.
- Se crean funciones individuales, el cual va a contener algoritmos específicos para el cálculo de la corriente por circuitos y además se acondiciona cada señal a través de programación.

2.6.3 Software para la creación de la Base de datos e interfaz Web

Una vez procesada la información, se utiliza la plataforma MySQL de licencia pública para la elaboración de una base de datos que permita garantizar, administrar y asegurar la información de usuario a su vez el acceso o permisos permitidos. Adicionalmente se diseña la estructura de la interfaz web con la herramienta Node – Red de forma que el usuario pueda ingresar al contenido de forma eficaz y sencilla.

2.6.3.1 Programación en el gestor MySQL MariaDB

El software empleado será phpMyAdmin para la administración, dado la sencillez para la creación, distribución de tablas, índices, relaciones, etc. El sistema para la gestión de la base de datos es MariaDB un derivado de MySQL, que va a facilitar el manejo de grandes cantidades de información y es compatible con otros sistemas informáticos. En la tabla 1-2 se muestra los comandos a utilizar desde la consola de comando del Raspberry pi para para la instalación de software PhpMyAdmin y el gestor MariaDB.

Tabla 1-2: Lista de comandos para la instalación de phpMyAdmin y MariaDB

Comando	Función
sudo apt update	Verificar actualizaciones disponibles
sudo apt install mariadb-server	Instalación sistema gestor de la base de datos
sudo mysql_secure_installation	Se añade nombre usuario y contraseña
systemctl status mysql.service	Verificación de funcionamiento del servicio
sudo apt update	Verificar actualizaciones disponibles
sudo apt install phpmyadmin php-mbstring php-gettext	Instalación phpMyAdmin (“Configurar y ingresar IP del router”)
sudo mariadb -u root -p	Acceso a la base de Datos MariaDB para la creación de un nuevo usuario
GRANT ALL PRIVILEGES ON *.* TO ‘username’ @‘localhost’ IDENTIFIED BY ‘password’;	Se crea un usuario y contraseña
quit	Salir del terminal

Fuente: Llamas, 2019

Realizado por: Lapo, Freddy 2019

Todos los comandos o acciones realizadas en la Raspberry a veces llegan afectar la programación que se está realizando de forma que a veces no se puede regresar al entorno anterior o ya sea por actualizaciones, por ello se utiliza GIT que es una herramienta que va a permitir regresar a las configuraciones anteriores que se haya hecho y que alguna forma llegue afectar el proyecto inicial. (Rubio, 2019)

El tráfico de datos entre el servidor y la interfaz web se utiliza el protocolo SSH es cuál va a permitir que la comunicación sea segura. Desde el terminal GIT en Raspberry se configura como servidor web, se configuró el Router y se verifica que la dirección asignada para el dispositivo sea IP fija o estática. En la tabla 2-2 se muestra los comandos para la conexión entre el servidor web y la red local sea por SSH.

Tabla 2-2: Comandos para la conexión entre el servidor y la red Local

Comando (Consola Raspberry)	Función
<code>sudo apt-get update</code>	Verificar actualizaciones disponibles
<code>sudo apt-get upgrade</code>	Instalación de actualizaciones
<code>sudo apt install git</code>	Instalación Git (Sistema de control de versiones)
<code>git --version</code>	Verificar versión Git
Comando (Consola Git)	Función
<code>ssh pi@192.168.... (pi servidor y Ip estática)</code>	Comunicación entre servidor y dispositivo Router

Fuente: Linuxize, 2020; Llamas, 2018

Realizado por: Lapo, Freddy 2019

En la siguiente Figura 21-2 se muestra el diagrama de flujo de los procesos de conexión y recepción de información para esta etapa.

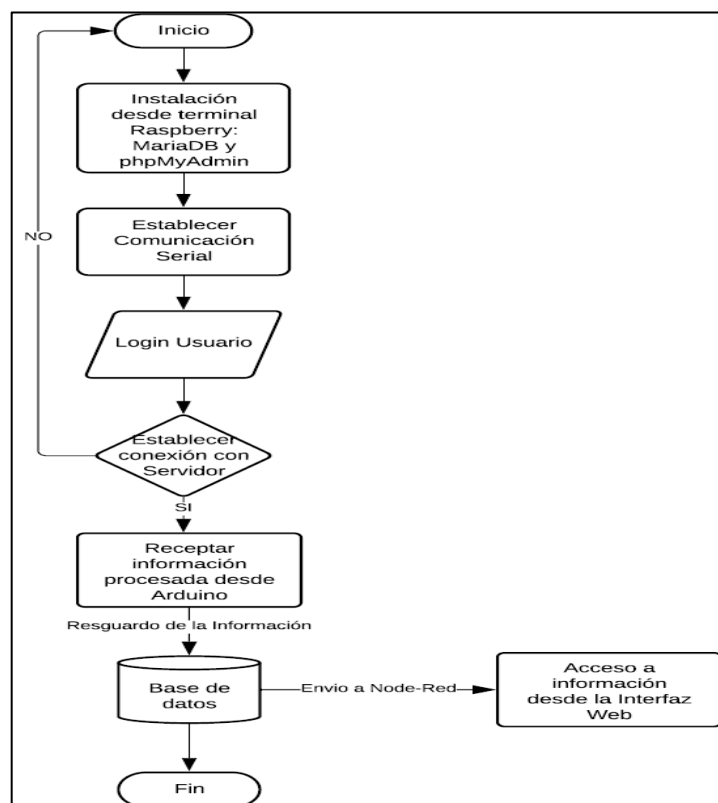


Figura 21-2. Flujograma de conexión y Recepción en la Base de datos

Realizado por: Lapo, Freddy 2019

2.6.3.2 Programación en Node – Red

La estructura y diseño de la interfaz web se realizó a través de la herramienta Node – Red dado que presenta una variedad de aplicaciones en varias áreas, el lenguaje de programación orientado a flujos de procesos. Principalmente se utiliza esta herramienta visual por la capacidad de manejar varios dispositivos de hardware conectados y capturar la información que envían estos elementos, además de brindar servicios en línea y tener un leve consumo de recursos. (Sancho, 2020)

Desde el entorno de trabajo en Node – Red se añadió y organizó diferentes tipos de nodos que se conectan entre sí, cada uno contiene funciones o tareas específicas para luego crear un flujo de datos para cada proceso, si un nodo en particular no se encuentra en el editor de flujos, se puede descargar directamente del repositorio de Node – Red. En la tabla 3-2 se detalla los tipos de nodos usados para el desarrollo de la interfaz.

Tabla 3-2: Lista de nodos aplicados en el editor de flujos de Node – Red

Nodo	Función
Inject	Dispara un flujo manualmente
Debug	Mostrar mensajes en la barra lateral de depuración dentro el editor
Function	Permite programar o escoger un nodo para una tarea específica
Switch	Permite que los mensajes sean enrutados a diferentes ramas de un flujo a través de un conjunto de reglas contra el mensaje
Change	Permite editar propiedades de un mensaje sin utilizar funciones
Template	Generar texto utilizando las propiedades de un mensaje
Arduino + Firmata	Permite la comunicación entre Arduino y Node – Red configurando previamente la velocidad de transmisión
MySQL	Permite el acceso a una base de datos
Dashboard	Crea un panel de datos en vivo
SerialPort	Permite la comunicación con puertos seriales de hardware

Fuente: Crespo, 2018

Realizado por: Lapo, Freddy 2019

En la Figura 22-2 se muestra el diagrama de flujo que detalla de forma esquemática, el funcionamiento y comunicación de la interfaz web con las tarjetas Arduino (información) y Raspberry (Servidor). En el anexo K se muestra la interfaz web con los flujos para la comunicación entre la plataforma y las tarjetas de desarrollo, ingreso del usuario, consultas y

configuración para las notificaciones a través de SMS lo cuales se programaron en el entorno de Node – Red.

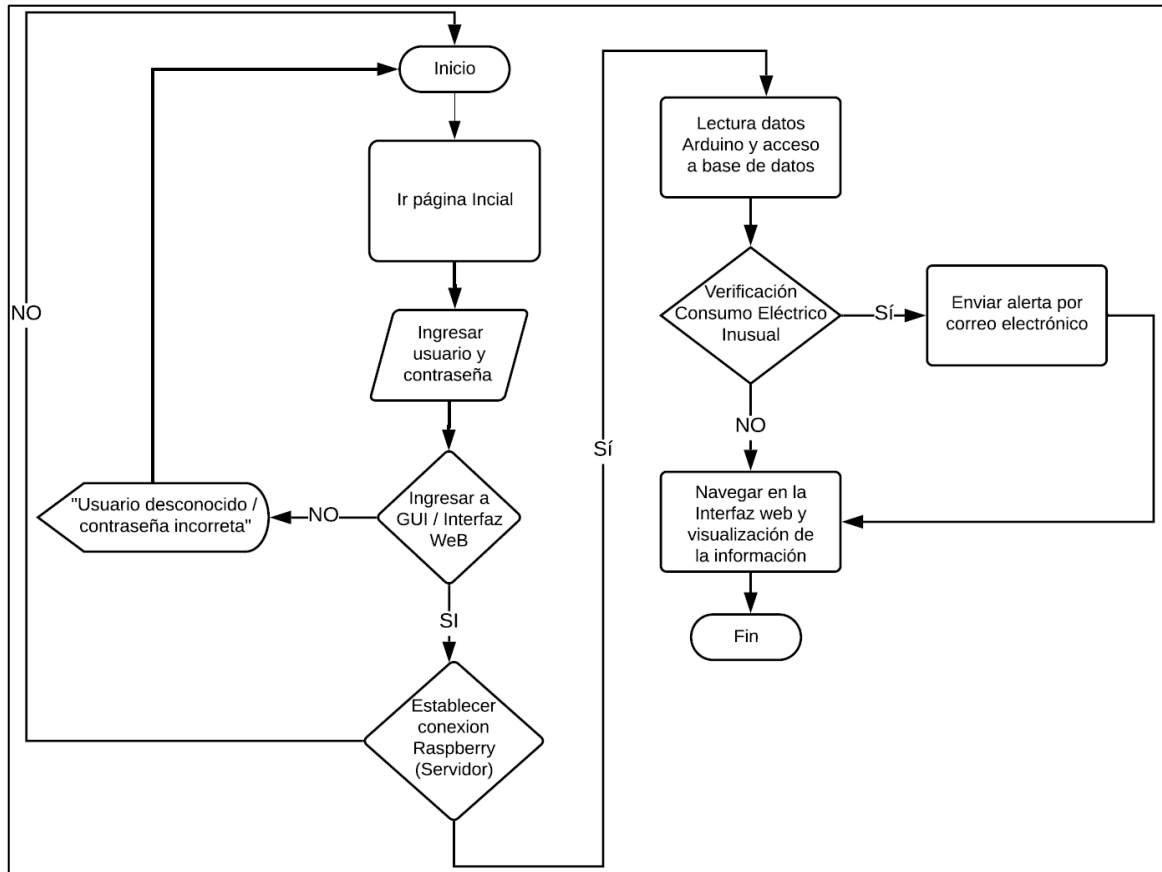


Figura 22-2. Diagrama de flujo de comunicación entre el servidor y la interfaz web

Realizado por: Lapo, Freddy 2019

CAPITULO III

3 VALIDACIÓN DEL PROTOTIPO

En esta sección se presentará la validación del sistema de monitoreo de parámetros de la energía eléctrica a través de tecnologías IoT para uso residencial. Se aplicaron pruebas para la constatación de sensores, verificación de envío y recepción de información en la base de datos, tiempo de aviso o alerta por mensaje de textos y verificación de parámetros de la calidad energética. En la figura 1-3 se muestra el sistema de monitoreo implementado.



Figura 1-3. Implementación del Sistema de Monitoreo

Realizado por: Lapo, Freddy 2020

3.1 Constatación de sensores

En este punto, se muestran la validación de los sensores de corriente y voltaje utilizados en el sistema de las cuales se corroborará con equipos de medición en cada una de las señales.

3.1.1 Constatación de medición para el voltaje

Se utilizó el equipo de medición digital Pro'sKit MT – 1210 como se muestra en la figura 2-3, para la validación de las mediciones del módulo de voltaje ZMPT101B. Este equipo tiene un rango de medición de (400 m – 750) VAC con una precisión de $\pm (0.5\%+4)$. Se recolectó 25 muestras durante 1h entre 2-3 veces, desde las 10:30 hasta 11:30 (am), los siguientes resultados de la información obtenida se muestra en la tabla 1-3.



Figura 2-3. Multímetro MT – 1210

Realizado por: Lapo, Freddy 2020

Tabla 1-3: Comparación de medidas tomadas entre el MT – 1710 y el ZMPT101B

Tiempo	Muestra	Lectura Equipo patrón / MT- 1710 (VAC)	Lectura ZMPT101B (VAC)	Error Absoluto	Error Relativo
10:30–10:37	1	119.32	118.68	0.64	0.54%
	2	119.19	118.21	0.98	0.82%
	3	118.95	119.82	0.87	0.73%
10:45	4	119.05	118.14	0.91	0.76%
	5	118.43	119.11	0.68	0.57%

10:52	6	119.22	118.5	0.72	0.60%
	7	120.31	119.15	1.16	0.96%
	8	119.47	120.05	0.58	0.49%
10:57	9	119.01	118.61	0.40	0.34%
	10	119.21	118.42	0.79	0.66%
11:02	11	118.92	118.01	0.91	0.77%
	12	119.15	120.02	0.88	0.74%
11:07	15	120.74	119.81	0.93	0.77%
	16	119.84	118.49	1.35	1.13%
11:12	17	118.26	119.0	0.74	0.63%
	18	118.73	119.21	0.48	0.40%
11:17	19	119.45	120.12	0.67	0.56%
	20	119.45	120.12	0.67	0.56%
11:22	21	118.90	117.81	1.09	0.92%
	22	118.96	118.32	0.64	0.54%
11:30	23	117.65	118.12	0.47	0.40%
	24	117.98	118.61	0.63	0.53%
	25	120.01	121.87	1.86	1.55%

Realizado por: Lapo, Freddy 2020

Como se muestra en la tabla 1-3, el error relativo máximo es de 1.55% y el valor mínimo es de 0.34%, porcentajes que representan un error comparativamente bajo en relación a la lectura real (equipo patrón) y la del sistema, de manera que se puede refutar que los valores leídos para la prueba, se encuentran dentro de la escala del equipo MT-1710 y el ZMPT101B, adicionalmente se determina que el módulo de voltaje no agrega error de lectura al sistema por lo que se considera que la precisión del módulo al medir el voltaje es aceptable. Los datos registrados desde el horario establecido muestran una lectura estable en la red eléctrica por lo que se asume que para estos horarios no va a existir cambios de voltaje ya sea que los circuitos posean cargas en funcionamiento o no, sin embargo, el circuito 3 (Ducha eléctrica) en funcionamiento si presentó cambios repentinos donde en pruebas posteriores se detallará este comportamiento.

3.1.2 Constatación de medición de los sensores no invasivos

Para la validación de las mediciones de corriente realizadas por los sensores no invasivos de corriente SCT 013-030, SCT 013-000 y SCT 013-010 en cada uno de los circuitos existentes en

la vivienda, se efectúa la comparación con una pinza amperimétrica MT-3266 mostrada en la figura 3-3 que tiene un rango de lectura de 0 – 200 ACA y de 200 – 1000 ACA con una precisión de $\pm (3.0\%+5)$. Se recolectó 30 muestras en un intervalo entre 1-4 veces durante 1h, los datos se muestran en la tabla 2-3 en la que se muestra las comparaciones de medición entre un aparato externo y los sensores utilizados.



Figura 3-3. Pinza Amperimétrica MT – 3266

Realizado por: Lapo, Freddy 2020

Tabla 2-3: Mediciones de los sensores no invasivos y equipo patrón

Tipo de Sensor	Muestra	Lectura Equipo patrón MT-3266 (A)	Lectura SCT - series (A)	Error Absoluto	Error Relativo
SCT 013-030	1	2.960	2.887	0.073	2.47%
	2	2.310	2.301	0.009	0.39%
	3	1.990	1.992	0.002	0.10%
	4	2.510	2.418	0.092	3.67%
	5	2.000	1.952	0.048	2.40%
	6	2.230	2.310	0.080	3.59%
	7	3.850	3.836	0.014	0.36%
	8	3.920	3.901	0.019	0.48%

	9	4.900	4.897	0.003	0.06%
	10	4.710	4.713	0.003	0.06%
SCT 013 – 010	11	0.300	0.287	0.013	4.33%
	12	0.580	0.520	0.060	10.34%
	13	0.300	0.322	0.022	7.33%
	14	0.610	0.498	0.112	18.36%
	15	0.900	1.025	0.125	13.89%
	16	0.300	0.355	0.055	18.33%
	17	0.580	0.701	0.121	20.86%
	18	0.300	0.289	0.011	3.67%
	19	0.300	0.287	0.013	4.33%
	20	0.610	0.592	0.018	2.95%
SCT 013 – 000	21	36.500	35.019	1.481	4.06%
	22	35.120	34.026	1.094	3.12%
	23	33.450	31.091	2.359	7.05%
	24	34.830	33.729	1.101	3.16%
	25	34.830	33.735	1.095	3.14%
	26	36.500	35.196	1.304	3.57%
	27	36.500	35.314	1.186	3.25%
	28	33.450	34.050	0.600	1.79%
	29	35.620	34.503	1.117	3.14%
	30	36.500	35.128	1.372	3.76%

Realizado por: Lapo, Freddy 2020

Los resultados mostrados en la tabla 2-3 indica un error relativo máximo porcentual del 20.86%, el cual representa un error significativo para la mayoría de las mediciones menores a 1A y esto debe a cargas de muy bajo amperaje como es el caso de las luminarias o que se encuentren conectadas sin estar encendidas que es casi imperceptible para el equipo patrón y el sistema de medición, no obstante para mediciones mayores a 1.5A el error relativo es relativamente inferior, por lo que se considera que el sistema de monitoreo realiza las mediciones dentro del rango permitido y que no se agrega error de lectura la cual es aceptable. Para cargas menores a 5A, se obtuvo un error porcentual admisible del 0.06% y para valores mayores a 30A un error del 4.06%. El registro de datos se realizó a partir de las 5:00 pm, horario pico donde inicia o existe mayor demanda energética. En las ecuaciones 1-3 y 2-3, se muestra el cálculo para el error porcentual para circuitos que contengan cargas menores a 5A y mayores a 30A de amperaje.

Ecuación 1-3: Cargas con amperaje inferior a 5A

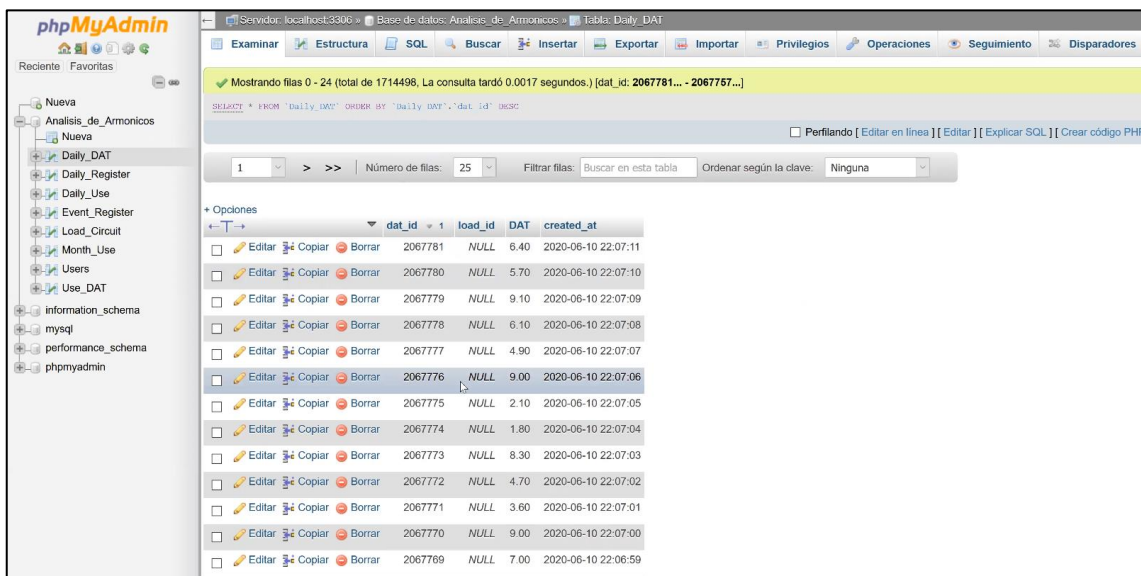
$$E\% = \frac{e_{patrón} - e_{lectura}}{e_{patrón}} = \frac{4.900 - 4.897}{4.900} \times 100\% = 0.06\%$$

Ecuación 2-3: Cargas con amperaje superior a 30A

$$E\% = \frac{e_{patrón} - e_{lectura}}{e_{patrón}} = \frac{36.500 - 35.019}{36.500} \times 100\% = 4.06\%$$

3.2 Evaluación del envío y recepción de datos

Se realizó una prueba para analizar la conducta del sistema para el envío de datos, se considera que los datos medidos llegan a la base de datos durante cada segundo y lo que se va a verificar es el envío desde la base de datos a la interfaz web. En el periodo de 1h llegan 3600 datos al servidor, para lo cual se realizó la prueba dentro de ese lapso entre 1 – 7 min, en la figura 4-3 se muestra la comprobación de la información existente en la base de datos para luego ser enviada, mientras que en la figura 5-3 se detalla la información en la interfaz. En la tabla 3-3 se detalla la recopilación de los resultados obtenidos en la interfaz web que se basa en la plataforma IoT. En el anexo L se muestra la interfaz web con las opciones que el usuario puede acceder.



	dat_id	load_id	DAT	created_at
<input type="checkbox"/>	2067781	NULL	6.40	2020-06-10 22:07:11
<input type="checkbox"/>	2067780	NULL	5.70	2020-06-10 22:07:10
<input type="checkbox"/>	2067779	NULL	9.10	2020-06-10 22:07:09
<input type="checkbox"/>	2067778	NULL	6.10	2020-06-10 22:07:08
<input type="checkbox"/>	2067777	NULL	4.90	2020-06-10 22:07:07
<input type="checkbox"/>	2067776	NULL	9.00	2020-06-10 22:07:06
<input type="checkbox"/>	2067775	NULL	2.10	2020-06-10 22:07:05
<input type="checkbox"/>	2067774	NULL	1.80	2020-06-10 22:07:04
<input type="checkbox"/>	2067773	NULL	8.30	2020-06-10 22:07:03
<input type="checkbox"/>	2067772	NULL	4.70	2020-06-10 22:07:02
<input type="checkbox"/>	2067771	NULL	3.60	2020-06-10 22:07:01
<input type="checkbox"/>	2067770	NULL	9.00	2020-06-10 22:07:00
<input type="checkbox"/>	2067769	NULL	7.00	2020-06-10 22:06:59

Figura 4-3. Información procesada en la base de datos desde su interfaz phpMyAdmin

Realizado por: Lapo, Freddy 2020

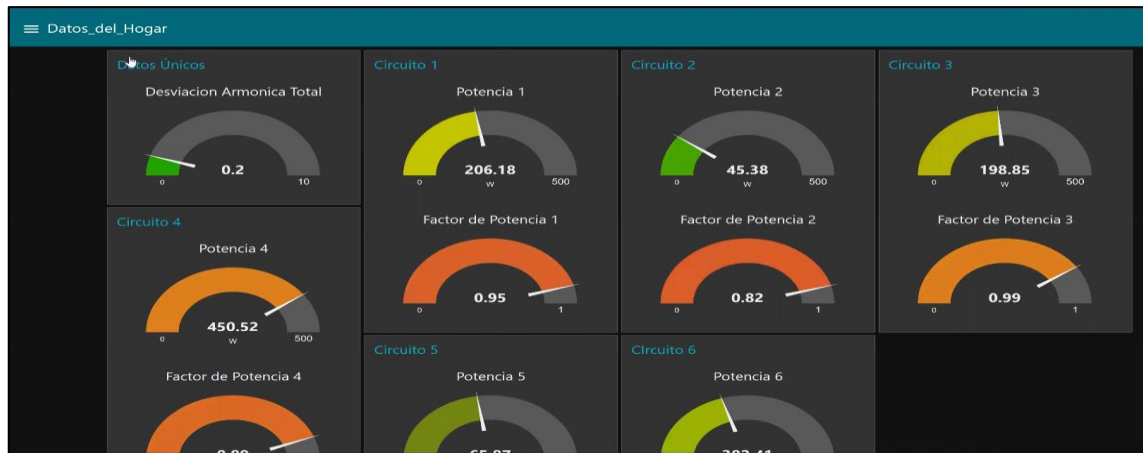


Figura 5-3. Lecturas desde la interfaz Web

Realizado por: Lapo, Freddy 2020

Tabla 3-3: Resultados de datos procesados enviados y receptados en la interfaz web

Tiempo	# datos	# datos procesados (Arduino)	# datos MySQL	# datos receptados en interfaz	# datos omitidos
11:04:55	0	0	0	0	0
11:10:52	357	357	357	342	15
11:16:47	355	355	355	341	14
11:22:12	325	325	325	310	15
11:28:03	351	351	351	331	20
11:34:10	367	367	367	351	16
11:40:07	357	357	357	340	17
11:46:03	356	356	356	338	18
11:52:18	375	375	375	364	11
11:58:29	371	371	371	325	46
12:04:15	386	386	386	367	19
1 hora	3600	3600	3600	3409	191

Realizado por: Lapo, Freddy 2020

Según los resultados de la tabla 3-3, en el lapso de 1h se recibieron 3600 datos desde la etapa de procesamiento a la base de datos, de los cuales se envió la información a la interfaz de los cuales se llegó a receptor 3409 y se omitieron 191 teniendo una eficiencia del 94.69% de datos receptados aptos para el sistema, según la ecuación 3-3. Los datos perdidos u omitidos son mínimos y se debe a fallas externas como la tecnología del Router, mala señal en la red y la utilización de

software de licencias abiertas, sin embargo, es totalmente tolerable para el óptimo funcionamiento del dispositivo.

Ecuación 3-3: Eficiencia de información receptada

$$Eficiencia = \frac{Datos\ procesados\ omitidos}{Datos\ procesados\ total} = \frac{3409}{3600} \times 100\% = 94.69\%$$

3.3 Pruebas para la admisión de mensajes de alerta

Se aplicó una prueba para la verificación del tiempo de envío y admisión del aviso por SMS en caso de que el sistema detecte un consumo elevado. Para la configuración de envío, se utilizó la plataforma Twilio, el cual permitirá la comunicación entre el sistema web desarrollado en Node – Red y el teléfono registrado para esta aplicación. En la figura 6-3 se muestra el registro y la función a utilizar en Twilio al igual de una demostración de la recepción de SMS, el cual va a componer la función de envío de la notificación. En la tabla 4-3 se detalla la prueba realizada en el circuito 1 para un conjunto de muestra de 10 datos en lo que se detectó 5 mediciones con niveles de consumo superiores al límite que necesita la carga (Lavandería), para observar el tiempo de notificación.

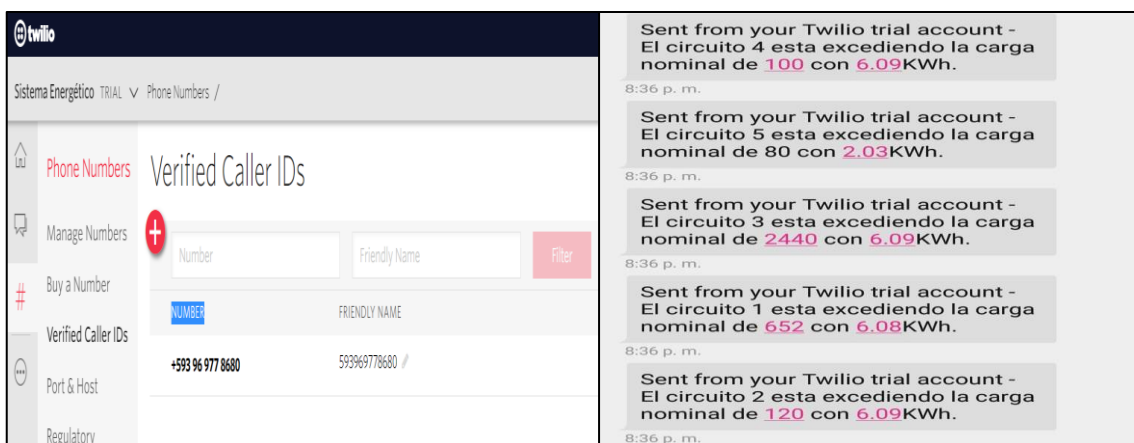


Figura 6-3. Registro en la plataforma Twilio y demostración del SMS

Realizado por: Lapo, Freddy 2020

Tabla 4-3: Resultado de pruebas para la recepción de notificaciones

# Muestra	Medición (KWh)	Limite Carga (KWh)	Potencia adicional (KWh)	Tiempo detección	Tiempo de recepción de mensaje	Diferencia de Tiempo (Seg)
1	580.87	652	---	---	---	---
2	580.87	652	---	---	---	---
3	580.87	652	---	---	---	---
4	510.10	652	---	---	---	---
5	510.10	652	---	---	---	---
6	679.01	652	27.01	10:02:38	10:03:08	30
7	679.34	652	27.34	10:04:10	10:04:42	32
8	682.48	652	30.48	10:05:25	10:06:01	36
9	682.48	652	30.48	10:07:16	10:07:53	37
10	697.02	652	45.02	10:09:41	10:10:36	55

Realizado por: Lapo, Freddy 2020

En la prueba aplicada se observó que las notificaciones por mensajes de texto solo llegan cada vez que aparece una lectura alta al límite que necesita la carga, se obtuvo un tiempo promedio de 38 segundos que le toma al sistema detectar una lectura inusual y enviar el SMS. El sistema una vez detecte a primera instancia una lectura elevada, la detección es instantánea y no se agrega un tiempo adicional, sin embargo el registro de la hora de detección se capturo desde el editor de Node – Red cuando se encuentra en ejecución, cabe señalar que para esta prueba se considera el lapso que le toma a la plataforma de servicio de mensajería enviar la notificación, se tomó esa cantidad de muestras debido a que no se va a observar una variación representativo no obstante, el sistema es confiable para la notificación de alertas en un tiempo aceptable adicionando que para la aplicación del sistema no se necesita de manera instantánea la información revelada.

3.4 Verificación de los parámetros de la calidad energética

En este apartado se ratifica los parámetros energéticos como la potencia, el factor de potencia y la distorsión total armónicas por cada carga existente en los circuitos de la residencia. Para su validación de estos parámetros se utilizó el analizador de motor y de calidad eléctrica Fluke 435 mostrado en la figura 7-3. Los registros se guardaron en el equipo y se transfirió toda la información a una PC para su análisis.



Figura 7-3. Analizador de señales Fluke 435

Realizado por: Lapo, Freddy 2020

3.4.1 Validación de las mediciones de potencia

Para la validación del parámetro medido por el sistema, se comprobó con el equipo de la figura 8-3, el cual tiene un rango de medición máximo de 6000 MW con una resolución de 0.1 W a 1 MW y una precisión de $\pm 1\% \pm 10$. Para la prueba, se tomó un conjunto de 20 muestras en el circuito 4 (Tomacorriente planta baja y alta) durante 1h entre intervalos de 1-3 veces cada 6 minutos, proporcionando resultados que se detallan en la tabla 5-3.

Tabla 5-3: Equiparación entre las mediciones de potencia del sistema y equipo patrón

Tiempo	# Muestra	Lectura Equipo patrón Fluke (KW)	Lectura Sistema (KW)	Error Absoluto (KW)	Error Relativo
13:01:03	1	0.087	0.084	0.003	3.448%
	2	0.087	0.084	0.003	3.448%
13:07:07	3	0.090	0.087	0.003	3.333%
	4	0.090	0.087	0.003	3.333%
	5	0.087	0.083	0.004	4.598%
13:13:01	6	0.083	0.079	0.004	4.819%
13:19:05	7	0.077	0.074	0.003	3.896%
	8	0.087	0.086	0.001	1.149%
13:25:02	9	0.083	0.081	0.002	2.410%

	10	0.080	0.083	0.003	3.750%
13:31:07	11	0.090	0.089	0.001	1.111%
	12	0.077	0.079	0.002	2.597%
13:37:09	13	0.080	0.077	0.003	3.750%
	14	0.083	0.079	0.004	4.819%
	15	0.073	0.075	0.002	2.740%
13:43:03	16	0.083	0.079	0.004	4.819%
13:49:06	17	0.080	0.084	0.004	5.000%
	18	0.260	0.248	0.012	4.615%
13:55:12	19	0.213	0.204	0.009	4.225%
	20	0.210	0.219	0.009	4.286%

Realizado por: Lapo, Freddy 2020

En la tabla 5-3 se muestra un error relativo máximo y mínimo del 5% - 1.11% para mediciones entre 0.084 KW – 0.089 KW, valores que se encuentra dentro de la escala permitida por el equipo presentando un error mínimo de medida, por lo que no se añade un error de lectura por parte del sistema de manera que se concluye como aceptable el funcionamiento del sistema de monitoreo. Con los registros tomados por el equipo Fluke 435 se observó una potencia máxima de 2.04 KW con un amperaje de 19 A en un lapso de 2 minutos y un mínimo de 0.063 KW, resaltando que para un periodo tan corto se produjo una medición fortuita. En la figura 8-3 se muestra el cambio de potencia de forma repentina, el cual se obtuvo a partir de los registros del equipo Fluke.

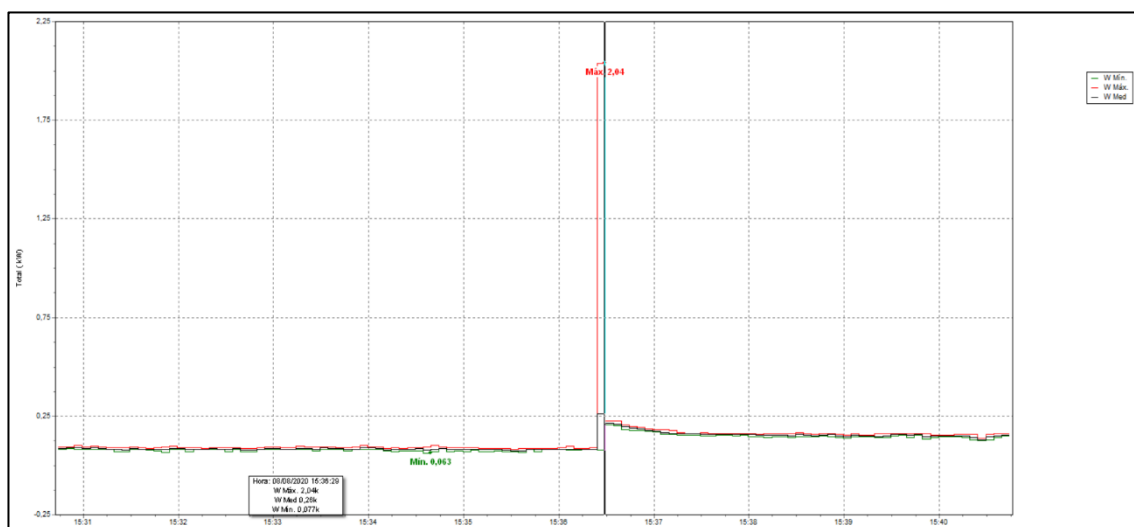


Figura 8-3. Medición máxima y mínima de potencia para el circuito 4

Realizado por: Lapo, Freddy 2020

3.4.2 Validación de las mediciones del factor de potencia

Para la evaluación y verificación del rendimiento eléctrico de las cargas existentes en cada circuito se comprobará las mediciones del factor de potencia que proporciona el sistema con el equipo Fluke que se muestra en la figura 8-3, el cual posee un rango de medida de 0 a 1 con una resolución de 0.001 y una precisión de $\pm 0.1\%$ con carga nominal. Para la obtención del factor de potencia fue necesario obtener el ángulo de desfase entre voltaje y corriente en un periodo múltiplo a la frecuencia de la red (60Hz) que a través de programación se logró hallar el ángulo de desfase y mediante librerías matemáticas obtener la potencia instantánea y a su vez calcular el FP (factor de potencia), para ello previamente se detectó el cruce por cero de los semiciclos de cada señal, con la cual se determina en ángulo de desfase, proceso aplicado a todos los circuitos. En el anexo M se muestra un boceto general para la obtención del factor de potencia, ejemplificando para el circuito 4. Cada circuito posee varias cargas, en la tabla 6-3 se detalla los artefactos de cada circuito conectados a la misma. Para esta prueba tomó 10 datos o muestras por circuitos durante 1h de lo cual se consiguieron los siguientes resultados que se detalla en la tabla 7-3.

Tabla 6-3: Nómina de cargas conectadas a cada circuito de la residencia

Circuito	Sección	Carga	Cantidad
1	Lavandería	Lavadora	1
2	Iluminación Lavandería	Focos Fluorescentes	2
3	Baño	Ducha Eléctrica	1
4	Tomacorrientes PA – PB e Iluminación exteriores	Refrigeradora, televisores, equipo de sonido, PC, etc.	11-15
5	Iluminación PB	Focos Fluorescentes – Incandescentes	1-5
6	Iluminación PA	Focos Fluorescentes	5

Realizado por: Lapo. Freddy 2020

Tabla 7-3: Validación de mediciones de FP entre el sistema y el equipo Fluke

# Muestra	Medición Equipo Fluke (FP)						Medición Sistema de Monitoreo (FP)						Error Relativo					
	C1 _F	C2 _F	C3 _F	C4 _F	C5 _F	C6 _F	C1 _S	C2 _S	C3 _S	C4 _S	C5 _S	C6 _S	C1 _E	C2 _E	C3 _E	C4 _E	C5 _E	C6 _E
1	-0.03	0.01	1	0.60	0.90	0.01	0.00	0.00	0.98	0.59	0.91	0.00	0.00%	0.00%	2.00%	1.67%	1.11%	0.00%
2	0.00	0.01	1	0.57	0.91	0.01	0.00	0.01	0.98	0.55	0.93	0.00	0.00%	0.00%	2.00%	3.51%	2.20%	0.00%
3	-0.01	0.01	0.07	0.60	0.98	0.01	0.00	0.00	0.03	0.58	1	0.00	0.00%	0.00%	14.28%	3.33%	2.04%	0.00%
4	0.02	0.00	0.34	0.59	0.99	0.02	0.00	0.00	0.19	0.57	1	0.01	0.00%	0.00%	5.88%	3.39%	1.01%	0.00%
5	0.01	0.00	1	0.60	0.97	0.00	0.00	0.00	0.96	0.59	0.94	0.00	0.00%	0.00%	3.00%	1.67%	3.09%	0.00%
6	0.01	-0.04	1	0.57	0.55	0.02	0.00	0.02	0.96	0.59	0.57	0.01	0.00%	0.00%	3.00%	3.51%	3.64%	0.00%
7	0.02	-0.05	1	0.59	0.68	0.03	0.00	0.03	0.98	0.58	0.66	0.00	0.00%	0.00%	2.00%	1.69%	2.94%	0.00%
8	0.01	0.01	1	0.58	0.69	0.02	0.00	0.00	0.95	0.60	0.68	0.00	0.00%	0.00%	2.00%	3.45%	1.45%	0.00%
9	0.02	0.01	1	0.63	0.70	0.02	0.00	0.00	0.96	0.62	0.73	0.00	0.00%	0.00%	3.00%	1.59%	4.29%	0.00%
10	0.02	0.02	1	0.55	0.70	0.01	0.00	0.01	0.98	0.57	0.72	0.00	0.00%	0.00%	2.00%	3.64%	2.86%	0.00%

Realizado por: Lapo. Freddy 2020

De acuerdo con los resultados mostrados en la tabla 6-3, el error relativo porcentual es mínimo, por lo que se considera que las mediciones son tolerables, además se encuentra dentro del rango de medición del analizador de señales y del sistema. Concluyendo que no hay interferencia o lecturas erróneas de forma que se verifica la correcta lectura del sistema. Como se observa en la tabla 6-3, los circuitos: C3 (Ducha eléctrica), C4 (Cocina de Inducción, electrodomésticos, etc.) y C5 (Iluminaria planta baja) muestran datos que se pueden interpretar ya que los circuitos C1 (Lavadora) y C6 (Iluminaria planta alta) no presenta lecturas relevantes debido a que no se encuentran en funcionamiento las cargas. Para el circuito C3 se observó un FP de 1 lo que significa que la energía brindada por la red, la carga llega a utilizar un 100% en utilidad es decir para su funcionamiento, sin embargo, en dos muestras se tuvo un FP entre 0.07 – 0.34, un rendimiento muy bajo, es decir hay pérdidas de energía y esto a su vez puede ser sancionado por la empresa eléctrica.

En el circuito C4, se tienen varias cargas de ahí su bajo factor de potencia entre 0.50 – 0.60 lo que denota que la mayoría son cargas no lineales como equipos de refrigeración, alumbrado, etc. De igual forma para el circuito C5, se observa un FP entre 0.57 – 1, esto debe a la presencia de focos incandescentes y fluorescentes que están conectadas al circuito. Un valor aproximado a 1, se determina que la lámpara es tipo incandescente ya que aprovecha al máximo su energía y no se pierde, sin embargo, posee un alto consumo, un FP levemente bajo se debe a lámparas fluorescentes compactas que contienen balastro que, debido a su construcción y al ser una carga no lineal tipo inductiva – capacitiva, manifiestan esta lectura. Esto se verifica según la norma INEN 036: “Eficiencia energética. Lámparas fluorescentes compactas. Rangos de desempeño energético y etiquetado”, el cual determina que el FP mínimo aceptable para lámparas compactas con balastro integrado debe ser mínimo de 0.6. (INEN, 2020)

3.4.3 Validación de las mediciones de la distorsión armónica total

Para la verificación de la correcta lectura del sistema. se comparó con el equipo Fluke 435 que se muestra en la figura 8-3, el cual posee un orden de armónicos desde 1 a 50 según la norma IEC 61000-4-7. Las pruebas se realizaron para las señales de corriente. que generalmente son donde se presentan tales fenómenos. El rango de medida con respecto a la señal fundamental esta entre 0.0 – 100% del THD_i. con una resolución de 0.1% y una precisión de $\pm 2.5\%$. Se tomaron 10 muestras por circuito durante 1h día en un lapso 6 minutos cada lectura, teniendo como resultados los datos que se muestran en la tabla 8-3.

Tabla 8-3: Validación de mediciones del THD_I entre el sistema y el equipo Fluke 435

# Muestra	Medición Equipo Fluke (THD _I %)						Medición Sistema de Monitoreo (THD _I %)						Error Relativo (THD _I %)					
	C1 _F	C2 _F	C3 _F	C4 _F	C5 _F	C6 _F	C1 _S	C2 _S	C3 _S	C4 _S	C5 _S	C6 _S	C1 _E	C2 _E	C3 _E	C4 _E	C5 _E	C6 _E
1	40.84	53.56	4.07	96.67	60.44	51.99	40.11	55.01	4.03	91.10	57.02	53.61	1.79%	2.71%	0.98%	5.76%	5.66%	3.12%
2	38.67	46.88	4.07	97.19	63.53	54.75	39.04	48.05	4.01	92.35	60.49	57.06	0.96%	2.50%	1.47%	4.98%	4.79%	4.22%
3	44.12	52.82	4.08	97.66	59.09	58.96	42.19	55.13	4.02	94.53	57.04	57.01	4.37%	4.37%	1.47%	3.20%	3.47%	3.31%
4	41.73	55.81	69.68	96.34	59.02	57.60	40.03	53.09	68.79	90.67	57.40	56.82	4.07%	4.87%	1.28%	5.89%	2.74%	1.35%
5	38.67	43.91	82.04	98.34	61.69	46.80	39.48	44.1	78.39	92.76	58.57	45.10	2.09%	0.43%	4.45%	5.67%	5.06%	3.63%
6	41.04	52.94	51.39	76.20	58.62	47.00	39.95	50.42	49.23	78.21	59.83	44.29	2.66%	4.76%	4.20%	2.64%	2.06%	5.77%
7	37.41	57.15	4.09	29.72	54.40	60.63	35.90	55.08	4.04	29.50	57.12	57.81	4.04%	3.62%	1.22%	0.74%	5.00%	4.65%
8	39.48	56.32	4.08	29.22	57.34	49.09	37.27	57.02	4.01	28.81	56.11	51.28	5.60%	1.24%	1.72%	1.40%	2.15%	4.46%
9	40.05	58.09	4.08	30.32	56.39	52.79	38.07	57.48	4.01	28.94	53.64	54.88	4.94%	1.05%	1.72%	4.55%	4.88%	3.96%
10	42.96	58.68	4.07	32.09	59.97	52.53	44.35	59.51	4.03	28.16	57.20	49.92	3.24%	1.41%	0.98%	12.25%	4.62%	4.97%

Realizado por: Lapo, Freddy 2020

Según los resultados obtenidos en la tabla 7-3, se obtuvo un error relativo máximo del 12.25% en el circuito C4 con respecto a la medición del equipo patrón y el sistema, un error ligeramente por encima de los demás circuitos y esto se debe a la gran cantidad de aparatos conectados al circuito lo que en efecto se produce un lapso de imprecisión en la lectura cada vez que se desconecte o vuelva a conectarse un aparato. Como resultado de la prueba, el error mínimo porcentual es del 5.89% el cual aceptable indicándose que no va a exceder los valores del rango permitido por el equipo patrón por lo que se considera que no se admiten errores de lectura por parte del sistema de manera que justifica el funcionamiento adecuado del sistema de monitoreo. No obstante, para la toma de muestras, se observó que cada circuito tuvo una variación drástica y leve, al momento de apagar o encender varias cargas, por ejemplo, para el circuito C1 (Lavadora) tuvo un cambio drástico del THD% al apagarse que afectó notoriamente al circuito C4 donde se encuentra conectadas varios aparatos siendo el circuito que posee una mayor carga de potencia. Los circuitos de mayor THD% son las que contienen cargas luminarias de tipo fluorescente como son el circuito C5 y C6, esto se da debido a que cambian la naturaleza de la onda senoidal e introducen armónicos en el sistema de distribución, a pesar de tener un alto nivel de THD% esto se verifica con la norma IEEE 519 – 2014, pero al ser cargas pequeñas que no afectan a los demás circuitos. El comportamiento del circuito C4, durante el registro de datos realizado por el equipo Fluke, se verificó un alto porcentaje de THD₁ para las primeras muestras en un pequeño por corto periodo de 6 minutos aproximadamente como se detalla en la figura 9-3, este fenómeno se presenta al mantener cierta cantidad de cargas en funcionamiento y al momento de desconectarse se eleva drásticamente el THD como se observa en este circuito que va desde 76.20% – 96.67% y que luego disminuye lo que indica que han conectado varios aparatos al circuito, aquello va a depender de la construcción que tengan cada uno de los equipos electrónicos y los horarios en donde se introduce mayor contaminación a la red ya sea por la naturaleza de las cargas o por parte de la empresa eléctrica encargada del suministro energético.

Fecha	Función	LIN(V) / L1(A) Mín.	LIN(V) / L1(A) Med	LIN(V) / L1(A) Máx.
08/08/2020 15:30:44 322mseg	Tensión	126,92 V	127,02 V	127,12 V
08/08/2020 15:30:44 322mseg	Corriente	1 A	1 A	2 A
08/08/2020 15:30:44 322mseg	THD V	4,01%	4,02%	4,03%
08/08/2020 15:30:44 322mseg	THD A	92,77%	96,67%	101,95%
08/08/2020 15:36:29 322mseg	Tensión	122,27 V	126,1 V	126,52 V
08/08/2020 15:36:29 322mseg	Corriente	1 A	5 A	19 A
08/08/2020 15:36:29 322mseg	THD V	4,1%	4,11%	4,12%
08/08/2020 15:36:29 322mseg	THD A	5,81%	76,2%	103,07%

Figura 9-3. Resultado del THD₁ desde equipo Fluke para circuito 4

Realizado por: Lapo, Freddy 2020

El circuito C3 (ducha eléctrica) es el único que difiere a los demás debido a que posee una carga especial, como se muestra en el gráfico 1-3, el THD máximo en la corriente es de 48,45% hasta el séptimo armónico, según la norma IEEE 519 – 2014 en la tabla 5-3, sobrepasa el límite permitido por lo que se determina que se añade distorsión a la red, considerando que a la carga se adiciona THD de los demás circuitos.

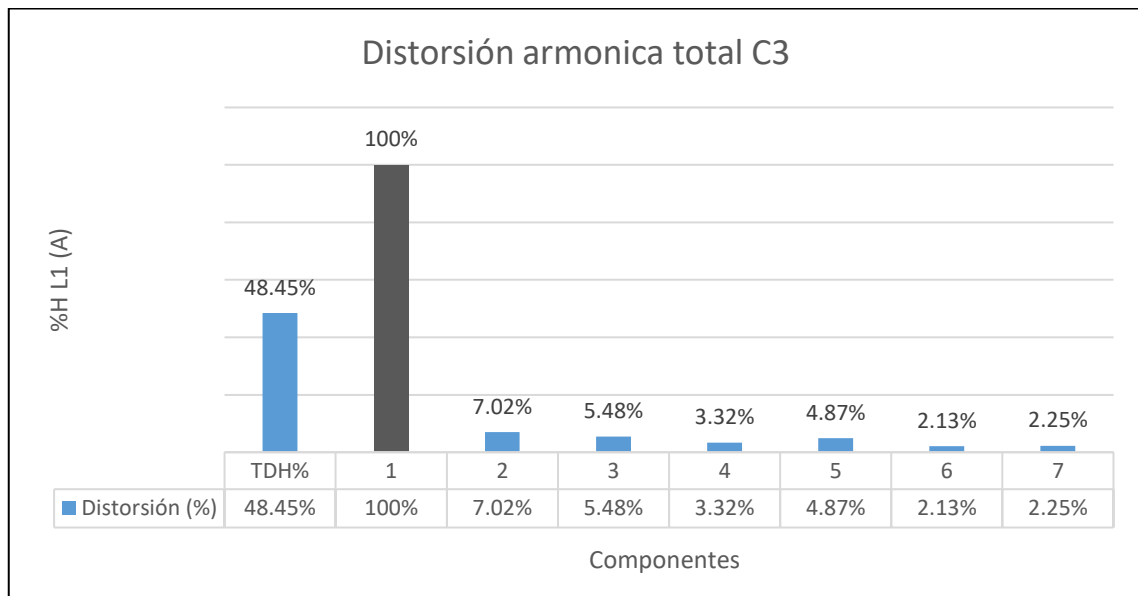


Gráfico 1-3. Distorsión Armónica total para el circuito 3

Realizado por: Lapo, Freddy 2020

Se debe agregar que se encontró 2 eventos que se obtuvo en los registros dados por el equipo de medición Fluke, específicamente en las variaciones de voltaje de forma fortuita. Estas variaciones solo se presentaron para esta carga, en la figura 10-3 se muestra las señales del voltaje y corriente para este circuito obtenidos por el equipo Fluke 435.

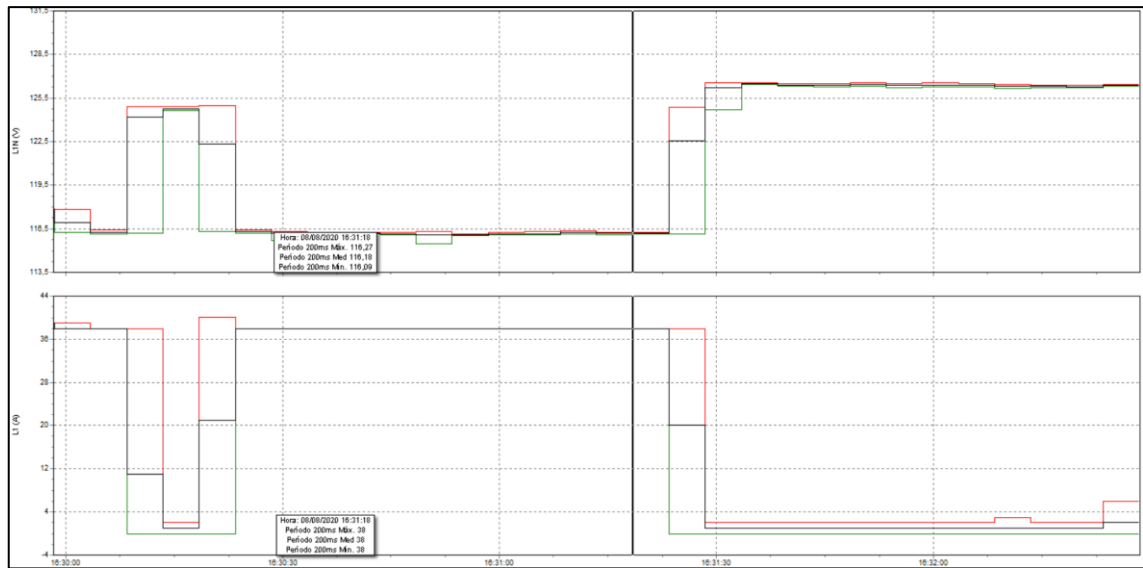


Figura 10-3. Señales de voltaje y corriente para el circuito 3 obtenidos en el equipo Fluke

Realizado por: Lapo, Freddy 2020

3.5 Análisis de la corriente entre los grupos de circuitos existentes

El parámetro que predomina en el sistema es la corriente debido a que es el factor principal que destaca para el cálculo de las medidas posteriores, además de indicar el valor que circula y necesitan los circuitos para cada una de sus cargas. Para el análisis, se utilizó el método estadístico ANOVA el cual permite comparar la media para diferentes tipos de muestra o poblaciones. La aplicación de esta prueba nos permitiera determinar en cuál de los circuitos existe una lectura representativa y verificar si realmente en ese circuito se tiene una carga que necesite tales valores de corriente para su labor. En la tabla 9-3 se detalla los circuitos y la lectura de corriente de cada uno de ellos con 20 muestras tomadas en un lapso de 1h. Para el análisis se utilizó como herramienta estadística el software Minitab® 18.1 debido a la facilidad de ejecutar operaciones avanzadas y básicas.

Tabla 9-3: Lecturas de Amperaje para el análisis de ANOVA

# Muestra	Circuito1 (A)	Circuito2 (A)	Circuito3 (A)	Circuito4 (A)	Circuito5 (A)	Circuito6 (A)
1	4.511	1.390	1.938	0.300	0.310	36.470
2	4.419	1.121	1.938	0.300	0.311	36.470
3	4.912	1.421	3.231	0.350	0.311	36.500

4	4.413	1.001	3.231	1.014	0.612	36.490
5	4.112	1.510	3.120	1.104	0.612	36.490
6	3.850	1.035	3.531	1.014	0.300	34.831
7	3.532	0.839	3.017	0.580	0.300	34.831
8	3.532	0.903	3.017	0.580	0.300	35.234
9	3.532	0.709	9.462	0.597	1.212	35.234
10	4.900	1.490	9.462	0.900	1.192	33.729
11	4.512	1.135	9.462	0.900	1.192	33.729
12	3.019	0.789	9.462	0.350	0.650	33.735
13	3.013	0.853	11.812	0.350	0.300	34.830
14	3.360	1.391	11.812	0.310	0.300	34.830
15	4.910	1.247	15.348	0.310	0.312	35.402
16	5.021	1.247	15.348	0.310	0.650	35.402
17	3.020	1.510	27.348	0.310	0.650	36.270
18	4.230	1.093	27.348	0.956	1.212	34.740
19	4.234	1.123	27.223	0.956	0.650	34.740
20	4.890	1.571	27.223	0.610	0.650	34.740

Realizado por: Lapo. Freddy 2020

Los datos de la tabla 8-3 fueron ingresados al software Minitab y se aplicó el método ANOVA para un solo factor siendo el amperaje. Esta prueba sostiene dos hipótesis: hipótesis nula dispone que todas las medias de una población esto es las medias de los niveles de los factores son iguales. Por otro lado, la hipótesis alterna dispone que en al menos un caso una es diferente. (Minitab, 2019) Para el análisis de la prueba se determina el rechazo para la hipótesis nula debido a que el valor de probabilidad p es menor que el valor de significancia de ANOVA, es decir que existe diferencias notables de amperaje en al menos uno de los seis circuitos la observar que las medias y varianzas en los grupos se alejan unas de otras además de lo antes mencionado. Así mismo se obtuvo un coeficiente de determinación del 90.77%, el cual indica que las predicciones para las futuras lecturas de corriente en los circuitos no tendrán mucha diferencia y serán similares siempre y cuando no se incorpore cargas adicionales a las existentes. A partir del análisis estadístico se comprueba que las mediciones realizadas por el sistema tendrán variaciones y que no existe una equivalencia de medidas entre los circuitos, lo cual se afirma con las pruebas anteriores y evidentemente el sistema presento un óptimo funcionamiento.

En la figura 11-3 se detalla los resultados de la prueba aplicada en Minitab.

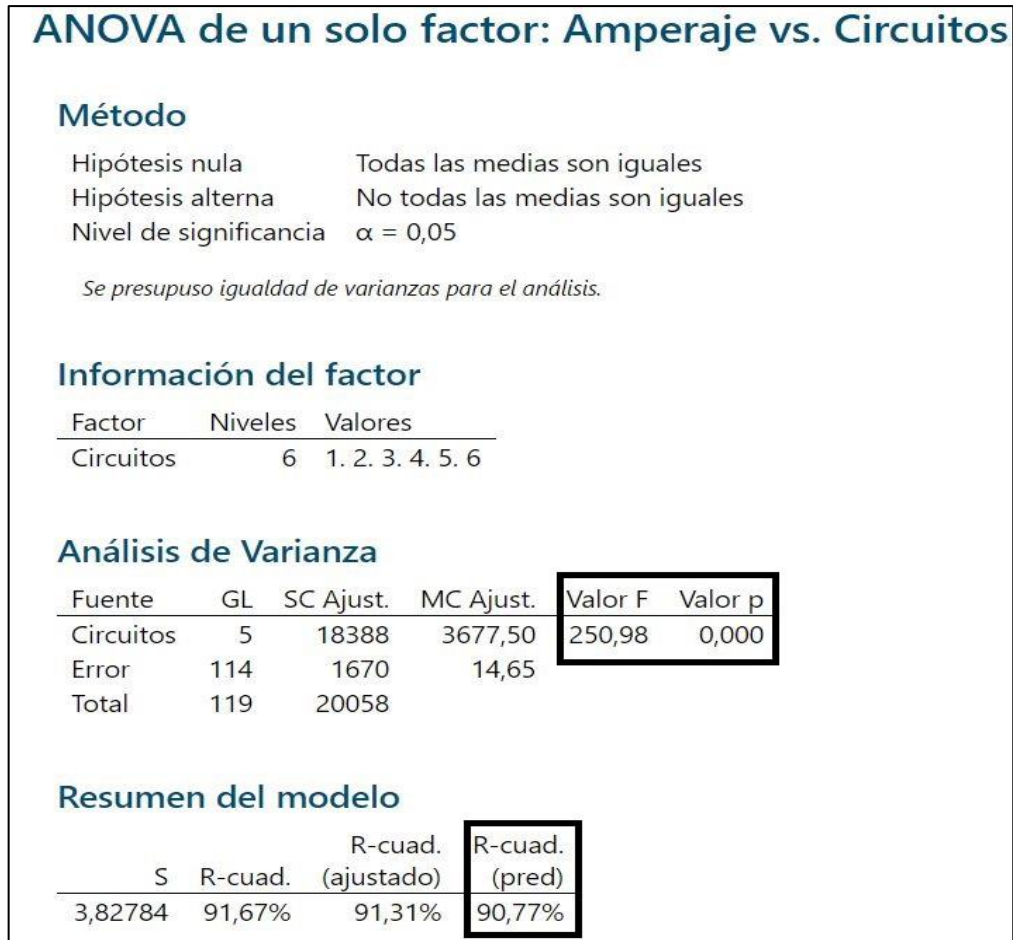


Figura 11-3. Prueba ANOVA aplicada para las muestras de cada circuito

Realizado por: Lapo. Freddy 2020

A partir de la prueba se comprobó que hay las medias en los niveles de corriente por circuito son muy diferentes entre ellos debido a que en cada circuito se tiene cierta cantidad de cargas no homogéneas. Para identificar que circuitos emanan mayor o menor amperaje incluyendo los circuitos que podrían compartir una característica común como es la corriente. Se aplicó un procedimiento de comparación llamado Tukey del cual se afirma que no existe ninguna similitud entre las lecturas de los circuitos, siendo el de mayor amperaje el circuito seis con un valor de 35.235 A y esto es por la naturaleza de la carga (Ducha eléctrica) el cual demanda un consumo considerable como se muestra en la figura 12-3.

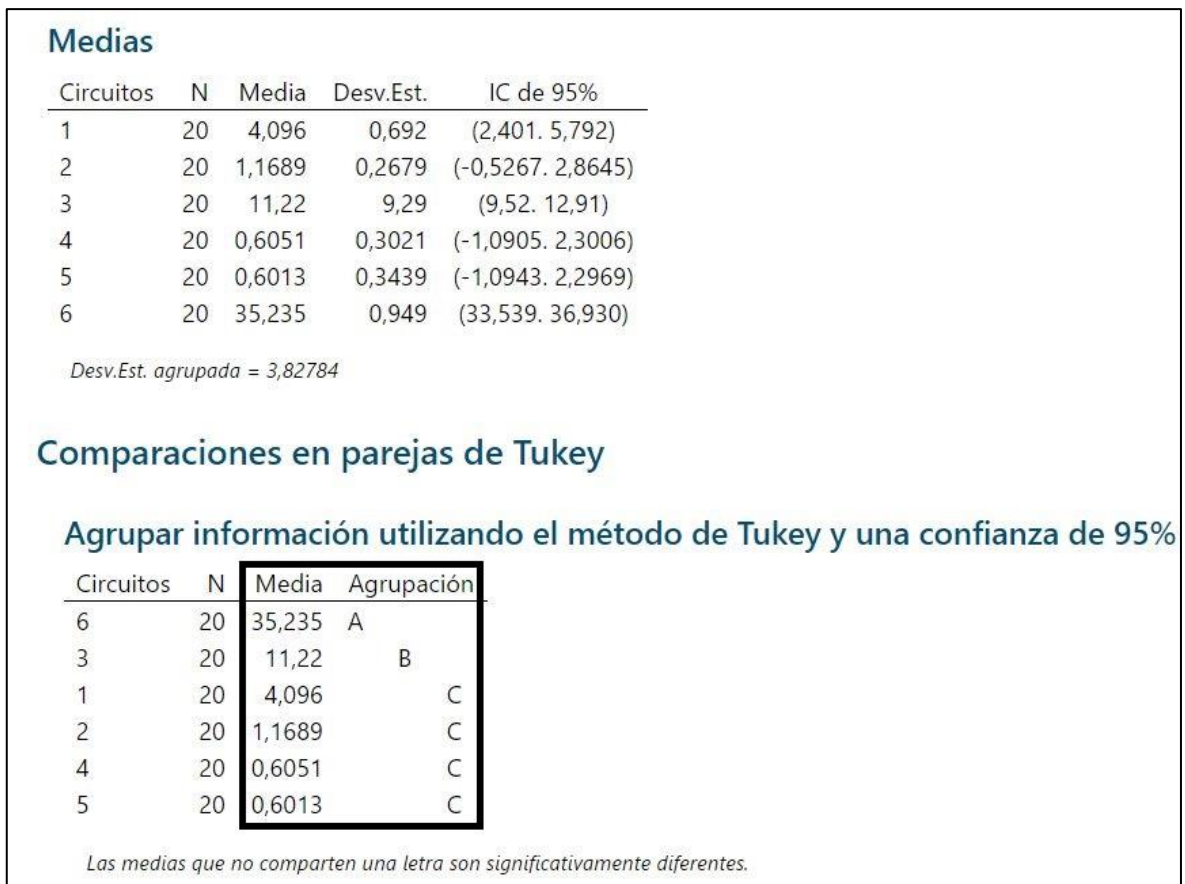


Figura 12-3. Comparación por circuitos individuales utilizando la herramienta Tukey

Realizado por: Lapo. Freddy 2020

En el gráfico 2-3 se muestra los intervalos de confianza al igual que las medias de cada uno de los circuitos, aquí se observa que cada grupo va a tener un punto que representa la media de cada conjunto y se comprueba que en los circuitos 3 y 6 tiene la media por encima de los demás, efectivamente porque en esos circuitos en donde mayoritariamente se encuentra conectados varias cargas. Se tiene un 95% de confiabilidad de que las medias de las lecturas para cada uno de los circuitos van a tener un intervalo de confianza y que se mantendrá en ese rango.

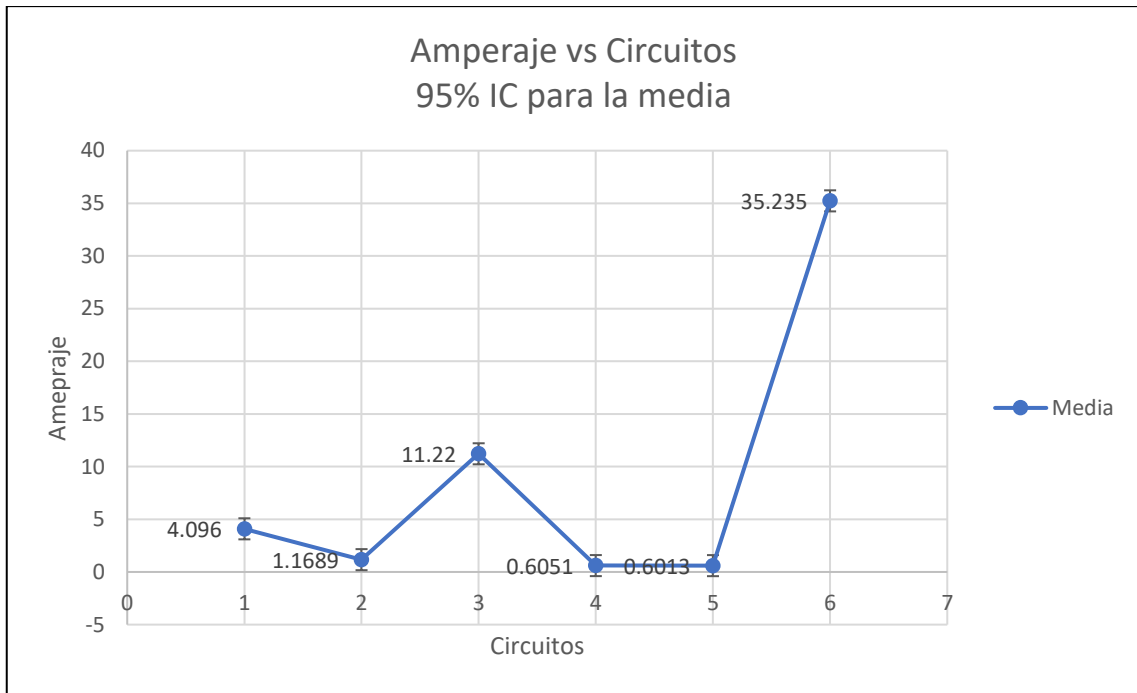


Gráfico 2-3. Comparación entre las medias entre los circuitos con un 95% de confianza

Realizado por: Lapo. Freddy 2020

En el gráfico 3-3 se muestra las agrupaciones de los circuitos en pares para un total de 15 combinaciones posibles de forma que se realiza una verificación de los pares son significativamente diferentes. Se observó que seis grupos que evidentemente no llegan a tener una media estadísticamente significativa eso se verifica con la figura 11-3 en la que se muestra que estos 4 circuitos comparten una letra (C), mientras que los nueve grupos restantes tienen un intervalo que se encuentran fuera de la línea vertical por lo que se analiza que para estos grupos varían extraordinariamente entre sí.

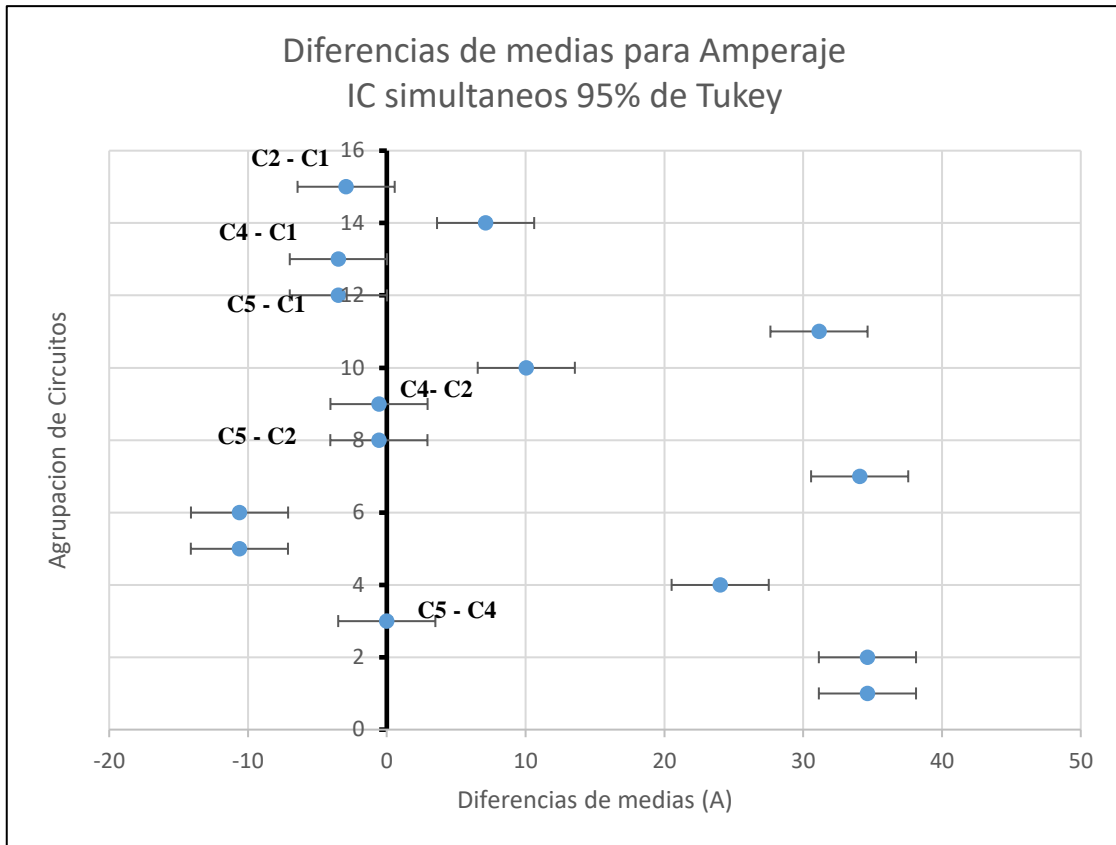


Gráfico 3-3. Prueba para encontrar la disconformidad entre los circuitos según su amperaje

Realizado por: Lapo, Freddy 2020

CAPITULO IV

4 EVALUACIÓN ECONÓMICA

En este capítulo se analizó el costo del sistema de monitoreo y medición de la energía eléctrica, considerando cada uno de los dispositivos y componentes, adicionando materiales indirectos al proyecto, en la tabla 1-4 se detalla todo lo que conforma de forma general lo antes mencionado.

Tabla 1-4: Costos de componentes utilizados en la implementación del sistema

Descripción	Cantidad	Importación	Costo (USD)
Arduino Mega 2560	1	NO	15.18
Raspberry Pi3 tipo B+	1	NO	70.00
Tarjeta microSD 32 Gb	1	NO	7.00
Sensores no invasivos series SCT 013	4 SCT 013 030 (30A) 1 SCT 013 010 (10A) 1 SCT 013 000 (100A)	NO	10.71 (c/u) 64.96
Módulo de voltaje ZMPT101B	1	SI	12.90
Fuente conmutada	1	SI	10.00
Adaptador a 12/5 V a 3 A	1	NO	6,00
Case para Raspberry pi 3 tipo B+	1	NO	7.00
Varios	---	---	200.00
Total			\$ 407,32

Realizado por: Lapo. Freddy 2020

4.1 Beneficio y comparación de costos

El sistema desarrollado permite realizar mediciones desde el tablero de distribución hasta 6 circuitos y un máximo de 100 A por circuito que se puede adaptar a cualquier tipo de uso residencial o comercial. Al comparar los costos de equipos en el mercado y el sistema desarrollado se tiene un beneficio del 49.09% en costo, considerando que los equipos económicos comerciales no poseen una interfaz gráfica ni sistema de alertas, por lo que se considera que el sistema de monitoreo implementado es accesible tanto para su adquisición referente a costo y funcionalidad.

CONCLUSIONES

Se desarrollo un sistema de monitoreo para uso residencial, implementado en un hogar de la ciudad de Riobamba, a partir de tecnologías IoT, principalmente se enfoca en las mediciones de datos energéticos y de la calidad eléctrica a través de la utilización de sensores no invasivos, tarjetas de desarrollos y plataformas virtuales, además dispone de una interfaz web que permite la supervisión de datos en tiempo real y realizar consultas de los últimos 3 meses de consumo energético, posee una capacidad de hasta 6 circuitos, con un rango máximo de hasta: 100A para 1 circuito, 30 A para 4 circuitos y 10A para un solo circuito. Los parámetros eléctricos de medición monitoreados por el sistema fueron los siguientes: Voltaje (VAC), Corriente (AC), Potencia (W), Consumo eléctrico (Kwh), Factor de Potencia y la Distorsión Armónica Total (%).

El sistema de monitoreo presenta una interfaz de fácil acceso para el usuario y presenta información adicional que la empresa encargada del suministro eléctrico no brinda y que puede ser útil al momento de verificar alguna lectura inusual o requerida por el usuario. En comparación a los sistemas comerciales se determinó entre un 32.14% y 49.09% menos que el sistema implementado.

Los componentes principales de hardware y software utilizados para el desarrollo del sistema disponen de documentación suficiente para sus configuraciones, los lenguajes de programación aplicados para el desarrollo del sistema son: C++, JavaScript y MySQL PHP los cuales son de código abierto lo que brindo la facilidad de programación, además se obtuvo una eficiencia del 94.69% de datos procesados recibidos en la interfaz web.

A partir de las pruebas se determinó que un 94,64%, el sistema recepta con éxito los datos medidos y calculados, la comunicación entre las tarjetas de desarrollo y la plataforma virtual es eficiente. A partir de la plataforma Twilio se configuró un servicio de SMS para alertar en caso de consumos que superar los límites de lo que necesita cada carga, de lo cual se obtuvo 38 segundos promedio que detecta y envía el mensaje de texto.

De las pruebas relacionadas a la calidad eléctrica se verifico que en la red eléctrica del hogar se producen armónicos ocasionados por las cargas no lineales, un caso sobresaliente es el circuito 3 (Ducha eléctrica), el cual presenta una variación de voltaje entre 90 – 130 V lo cual no se considera ideal para la carga, además de que la mayor generación de THD se da en los focos fluorescentes los cuales poseen un bajo consumo de energía y un factor de potencia entre 0.5 – 0.7.

RECOMENDACIONES

Se debe verificar la calibración a partir de programación, cada vez que se inicialice el sistema para una mejor precisión de medición y cálculo de los parámetros energéticos.

Para una mayor capacidad de procesamiento de datos y utilización de los recursos computacionales, se recomienda innovar a la última versión superior al Raspberry pi3 + B ya que para agregar aplicaciones adicionales se va a requerir un procesador más potente que sea capaz ejecutar varias tareas en corto tiempo.

Aumentar la capacidad de sensores para mediciones mayores a los 6 circuitos y mejorar la lectura para mediciones de cargas o lecturas muy pequeñas, de igual manera para cargas superiores a los 100A.

Permitir el acceso general a la interfaz web, debido que al ser una red local, la información es muy segura aunque no está disponible para aquellos que no se encuentren conectados a la red establecida, por lo que se recomienda configurar y habilitar esta opción, teniendo en cuenta la seguridad que por lo general para este tipo de redes e información que se guarda en la nube como habitualmente es el caso de las aplicaciones IoT, la seguridad suele ser muy baja.

Realizar mantenimientos preventivos al menos cada año para la conservación de las tarjetas de desarrollo, sensores, módulos y las instalaciones realizadas de forma que se garantice un funcionamiento óptimo evitando su la vez la suspensión del sistema en cualquier tipo de entorno.

Antes de ingresar a la interfaz web, se aconseja seguir el manual de usuario el cual se adjunta al prototipo realizado y puede descargarse a través del enlace: https://liveespochedu-my.sharepoint.com/:b:/g/personal/freddy_lapo_epoch_edu_ec/Ec80KgKMmRBNsyr2kggffU8BJFx5LE0JIAAnPUML-fhJO9g?e=RidDDD

Se recomienda amplificar las opciones de monitoreo tales como consumo de agua, sismos, alarma corte de energía en caso de un sobrecalentamiento en las cargas, de forma de tener una supervisión completa y vigilada las 24h teniendo un tiempo de respuesta instantáneo en caso de que se presente tales anomalías en una residencia.

GLOSARIO

Nube:	Servicio de alojamiento y procesamiento de información para un usuario.
Carga no lineal:	Cuando la relación tensión/corriente no es constante.
Transformador:	Elemento que permite aumentar o disminuir el voltaje manteniendo la potencia.
Monofásico:	Sistema eléctrico de una sola fase
Embebido:	Sistema computacional diseñado para cumplir funciones específicas en tiempo real.
Breaker:	Aparato que sirve para cortar o abrir el circuito de una instalación eléctrica.
Inductancia:	Atributo de un circuito eléctrico para oponerse al cambio de intensidad.
Tablero de distribución:	Componente principal de una instalación eléctrica el que se dividen a través de circuitos con protecciones, fusibles, etc.

BIBLIOGRAFÍA

AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL DE ELECTRICIDAD (ARCONEL). "Evolución histórica de precios medios periodo 2008-2017". Estadística Anual y Multianual del Sector Eléctrico Ecuatoriano [en línea], 2017, (Ecuador), p.129. [Consulta: 11 septiembre 2019]. Disponible en: <https://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/10/estadisticareducida.pdf>.

BBVAOPEN4U. *El Internet de las Cosas de código abierto: plataformas y aplicaciones para desarrolladores*, 2015. [en línea] [Consulta: 02 noviembre 2019]. Disponible en: <https://bbvaopen4u.com/es/actualidad/el-internet-de-las-cosas-de-codigo-abierto-plataformas-y-aplicaciones-para>.

CASTILLO, J. *Ejemplos de gestores de base de datos libres y comerciales*, 2016. [en línea] [Consulta: 17 octubre 2019]. Disponible en: <https://jrking95.wixsite.com/isc6semestre/single-post/2016/1/28/Ejemplos-de-gestores-de-base-de-datos-libres-y-comerciales>.

COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD (CFE). *Ahorro de Energía*, 2019 [en línea]. [Consulta: 5 noviembre 2019]. Disponible en: <https://www.cfe.mx/CFEAmbiental/Paginas/AhorroEnergía.aspx>.

CIRCUTOR. "¿Qué son los armónicos?". Procedimientos para el Estudio y Análisis de Perturbaciones Armónicas. [en línea], pp. 1-20. [Consulta: 19 noviembre 2019]. Disponible en: http://circutor.com/docs/procedimientos_sp.pdf.

CDMX ELECTRÓNICA. *Sensor De Corriente No Invasivo 100 A SCT-013-000*. 2019. [en línea]. [Consulta: 3 julio 2019]. Disponible en: <https://cdmxelectronica.com/producto/sensor-de-corriente-no-invasivo-100-ampere-arduino-sct-013/>.

CONSEJO NACIONAL DE ELECTRICIDAD (CONELEC). *Regulación 004/01-Calidad del Servicio Eléctrico de Distribución*, 2001. [en línea] [Consulta: 14 agosto 2019]. Disponible en: <http://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/02/Regulacion-No.-CONELEC-004-01.pdf>.

CONSEJO NACIONAL DE ELECTRICIDAD (CONELEC). *Plan Maestro de Electricación 2013 - 2022. Aspectos de sustentabilidad y sostenibilidad social y ambiental*, 2013. [en línea] [Consulta: 03 noviembre 2018]. vol. IV. Disponible en: <https://www.ariae.org/sites/default/files/2017-04/vol1-Resumen-Ejecutivo-PME-2013-2022.pdf>

CORONA, G. et al., *Sensores y Actuadores* [en línea]. N1. México: s.n. ISBN 6074389365. [Consulta: 11 noviembre 2018]. Disponible en: <http://es.slideshare.net/kaluisitoblog/sensores-yactuadoresseat>.

CRESPO. E. *Node-RED*, 2018 [en línea]. [Consulta: 19 enero 2020]. Disponible en: <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2018/11/20/node-red/>.

ELECTROCREA. *LM358P Amplificador operacional*. [en línea]. 2019. [Consulta: 10 julio 2019]. Disponible en: <https://electrocrea.com/products/amplificador-operacional-lm358p>.

ELECTRONILAB. *Sensor De Corriente Alterna 30A Transformador – SCT-013-030*. [en línea]. 2019. [Consulta: 3 julio 2019]. Disponible en: <https://electronilab.co/tienda/sensor-de-corriente-alterna-30a-transformador-sct-013-030/>.

ENKA SA. *MÓDULOS COMUNICACIÓN*. [en línea]. 2019. [Consulta: 11 julio 2019]. Disponible en: <http://www.enka.com.uy/robotica/modulos-comunicacion/módulo-interfaz-serail-i2c-detail.html>.

ELTELEGRAFO. *energía-oferta-y-demanda-en-ecuador*, 2017 [en línea]. [Consulta: 06 noviembre 2018]. Disponible en: <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/punto/1/energia-oferta-y-demanda-en-ecuador>.

FUNDACIÓN DE LA INNOVACIÓN BANKINTER. "El Internet de las Cosas En un mundo conectado de objetos inteligentes". Fundación de la Innovación Bankinter [en línea], no. 2, pp. 78. Disponible en: http://boletines.prisadigital.com/El_internet_de_las_cosas.pdf%5Cnhttp://www.fundacionbankinter.org.

GEEBOK ELECTRONICS. *Jack 3.5 mm Estéreo*. [en línea]. 2019. [Consulta: 11 julio 2019]. Disponible en: <http://www.geekbotelectronics.com/producto/jack-3-5mm/>.

IDROVO, P. & ROMERO, M. «ANÁLISIS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LA GRANJA IRQUIS DE LA UNIVERSIDAD DE CUENCA» [en línea] (Trabajo de titulación) (Pregrado) Universidad de Cuenca. Cuenca - Ecuador 2017. pp. 33-35. [Consulta: 01 noviembre 2019]. Disponible en: [http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/27359/1/TRABAJO DE TITULACION.pdf](http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/27359/1/TRABAJO_DE_TITULACION.pdf).

IEEE POWER AND ENERGY SOCIETY. *Práctica recomendada IEEE y Requisitos para el control armónico en Sistemas de energía eléctrica*, 2014 [en línea] [Consulta: 05 febrero 2019]. Disponible en: https://es.scribd.com/document/399050108/IEEE-Std-519-2014-espanol-pdf?campaign=VigLink&ad_group=xxc1xx&source=hp_affiliate&medium=affiliate.

SERVICIO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN (INEN). *MINISTERIO DE INDUSTRIAS Y PRODUCTIVIDAD SUBSECRETARÍA DE LA CALIDAD*, 2020. [en línea] [Consulta: 07 agosto 2020]. Quito: s.n. RTE INEN 036. Disponible en: https://drive.google.com/file/d/1Jo_iPNRJ1oskhc4uGYIM8PziKcc05FG9/view.

LIÑÁN, A et al., *Internet De Las Cosas*. [en línea], vol. 1, pp. 0-28. ISSN 05695503. DOI 978-1-118-43062-0. [Consulta: 29 octubre 2018]. Disponible en: <http://wireless.ictp.it/Papers/InternetdelasCosas.pdf%0Ahttp://wireless.ictp.it/Papers/InternetdelasCosas.pdf%0Ahttp://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/handle/6789/2916>.

LINUXIZE. *How to Install Git on Raspberry Pi*. [blog]. [Consulta: 29 enero 2020]. Disponible en: <https://linuxize.com/post/how-to-install-git-on-raspberry-pi/>.

LLAMAS, L. *CÓMO INSTALAR MARIADB EN RASPBERRY PI*. 2019 [en línea]. [Consulta: 13 enero 2020]. Disponible en: <https://www.luisllamas.es/como-instalar-mariadb-en-raspberry-pi/>.

LLAMAS, L. *CÓMO INSTALAR PHPMYADMIN EN RASPBERRY PI*. 2019. [en línea]. [Consulta: 13 enero 2020]. Disponible en: <https://www.luisllamas.es/como-instalar-phpmyadmin-en-raspberry-pi/>.

MADAYELI, PEREZ, HERNANDEZ. *ventajas y desventajas de MySQL, oracle, visual foxpro y access*. [blog]. [Consulta: 17 octubre 2019]. Disponible en: <https://mape309site.wordpress.com/2017/11/15/ventajas-y-desventajas-de-mysql-oracle-visual-foxpro-y-access/>.

MINISTERIO DE ELECTRICIDAD Y ENERGÍA RENOVABLE (MEER). *Eficiencia Energética Sector Residencial*. 2016 [en línea]. [Consulta: 09 septiembre 2019]. Disponible en: <http://historico.energia.gob.ec/eficiencia-energetica-sector-residencial/>.

MINISTERIO DE ELECTRICIDAD Y ENERGÍA RENOVABLE (MEER). "La etiqueta energética". Guía práctica para el uso eficiente de la energía eléctrica en el Ecuador [en línea], 2017, (Ecuador), pp. 1-116. [Consulta: 08 julio 2019]. Disponible en: <https://info.undp.org/docs/pdc/Documents/EQU/Guide%20for%20the%20Efficient%20Use%20of%20Electric%20Power%20in%20Ecuador-.pdf>

MINISTERIO DE ELECTRICIDAD Y ENERGÍA RENOVABLE (MEER). *Informe de Rendición de Cuentas*. [en línea]. S.l.: pp 1-47 [Consulta: 14 julio 2019]. Disponible en: <https://www.recursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/2019/01/Informe-RC-2017-MEER.pdf>.

MINISTERIO DE ELECTRICIDAD Y ENERGÍA RENOVABLE (MEER). *Plan Maestro de Electricidad 2016-2025* [en línea]. 2017. S.l.: s.n. [Consulta 16 julio 2019]. Disponible en: [http://www.centrosur.gob.ec/sites/default/files/PME 2016-2025 V_WEB %281%29.pdf](http://www.centrosur.gob.ec/sites/default/files/PME%2016-2025%20V_WEB%20%281%29.pdf).

MINITAB. *¿Qué es ANOVA?* [en línea]. 2019 [Consulta: 21 febrero 2020]. Disponible en: [https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/modeling-statistics/anova/supporting-topics/basics/what-is-anova/#:~:text=Un análisis de varianza \(ANOVA,diferentes niveles de los factores.](https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/modeling-statistics/anova/supporting-topics/basics/what-is-anova/#:~:text=Un análisis de varianza (ANOVA,diferentes niveles de los factores.)

NAYLAMP MECHATRONICS. *Transformador de voltaje AC - ZMPT101B*. [en línea]. 2018. [Consulta: 7 julio 2019]. Disponible en: <https://naylampmechatronics.com/sensores-corriente-voltaje/393-transformador-de-voltaje-ac-zmpt101b.html>.

NEXTION. *BASIC SERIES INTRODUCTION*. [en línea]. 2019. [Consulta: 22 octubre 2019]. Disponible en: <https://nextion.tech/basic-series-introduction/>.

RASPBERRY PI FOUNDATION. "Datasheet". Raspberry Pi 3 Model B+ [en línea], 2016, pp. 1-5. [Consulta: 10 julio 2019]. Disponible en: <https://static.raspberrypi.org/files/product-briefs/Raspberry-Pi-Model-Bplus-Product-Brief.pdf>.

ROBOTSHOP. *Arduino Mega 2560 Datasheet* [en línea]. 2015. [Consulta 13 Noviembre 2019]. S.l.: s.n. Disponible en: <http://www.robotshop.com/content/PDF/ArduinoMega2560Datasheet.pdf>.

ROSE, K. et al., "La Internet De Las Cosas — Una Breve Reseña". *Internet Society-ISOC*, [en línea], 2015, (Europa), pp. 1-83. [Consulta: 20 noviembre 2018]. ISSN 20292341. DOI <http://dx.doi.org/10.3846/mla.2010.041>.

RTR ENERGÍA. *Los Armónicos y la Calidad de la Energía Eléctrica*. [en línea], 2012. pp. 1-12. [Consulta: 21 noviembre 2019]. Disponible en: <http://fotosdeelectricidad.es/wp-content/uploads/2012/11/Armonicos.-RTR.pdf>.

RUBIO, J.C. *Qué es GIT y para qué sirve*. [blog]. [Consulta: 15 enero 2020]. Disponible en: <https://openwebinars.net/blog/que-es-git-y-para-que-sirve/>.

SÁEZ, I. *IoT: protocolos de comunicación, ataques y recomendaciones*. [en línea]. 2019. [Consulta: 7 febrero 2019]. Disponible en: <https://www.incibe-cert.es/blog/iot-protocolos-comunicacion-ataques-y-recomendaciones>.

SANCHO, P. *FUNDAMENTOS DE NODE-RED*. [en línea]. 2020. [Consulta: 12 enero 2020]. Disponible en: <https://www.techedgegroup.com/es/blog/fundamentos-node-red>.

SCHNEIDER ELECTRIC. *PowerLogic BCPM*. [en línea]. 2018 [Consulta: 11 octubre 2019]. Disponible en: <https://www.se.com/us/en/product/BCPMC224S/bcpm-power-monitoring-basic--24-solid-core-100-a---18-mm-ct-spacing/?range=2085-powerlogic-bcpm>.

SCHNEIDER ELECTRIC. *PowerLogic PM3000 series*. [en línea]. 2018. [Consulta: 1 octubre 2019]. Disponible en: <https://www.se.com/us/en/product/METSEPM3200/pm3200-power-meter/?range=61274-powerlogic-pm3000-series>.

SCHNEIDER ELECTRIC. *PowerLogic PM8000 series*. [en línea]. 2018 [Consulta: 20 octubre 2019]. Disponible en: <https://www.se.com/us/en/product/METSEPM8240/powerlogic-pm8000--pm8240-panel-mount-meter---intermediate-metering/?range=62252-powerlogic-pm8000-series>.

TEAM SOURCE DISPLAY. *COB 192x64 Gráfica Lcd Con Luz De Fondo Voltaje De 5v.* [en línea]. 2019. [Consulta: 10 julio 2019]. Disponible en: https://es.tslcd.com/cob-192x64-lcd-graphic-with-backlight-5v-voltage_p180.html.

TWENERGY. *El consumo energético en el hogar.* 2019 [en línea]. [Consulta: 1 agosto 2019]. Disponible en: <https://twenergy.com/eficiencia-energetica/como-ahorrar-energia-casa/el-consumo-energetico-en-nuestros-hogares-2313/>.

UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA. *Armonicos en las Redes Eléctricas.* 2013 [en línea], pp. 23-55. Disponible en: https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2011/2/EL5203/1/material_docente/bajar?id_material=384495.

WAVGAT. *24V/12V a 5V/5A 25W DC-DC Buck reductor módulo de fuente de alimentación rectificador síncrono convertidor de potencia.* [en línea]. 2019. [Consulta: 10 julio 2019]. Disponible en: <https://es.aliexpress.com/item/32815527104.html>.

WINSTAR. *Pantalla de Cristal Líquido LCD 192x64.* 2018 [en línea]. [Consulta: 13 octubre 2019]. Disponible en: <https://www.winstar.com.tw/es/products/graphic-lcd-display-module/wg19264e.html>.

YÚBAL FM. *Qué es Arduino, cómo funciona y qué puedes hacer con uno.* 2018 [en línea]. [Consulta: 10 enero 2020]. Disponible en: <https://www.xataka.com/basics/que-arduino-como-funciona-que-puedes-hacer-uno>.

ZAMORA, M. de J. & GONZÁLES, J. «Estudio de calidad en el consumo de energía eléctrica residencial» [en línea]. (Tesis) (Pregrado) Instituto Politécnico Nacional, México. 2008. pp. 4-6. [Consulta: 02 noviembre 2019]. Disponible en: https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/2750/1/ESTUDIO_DE_CALIDAD_EN_EL_CONSUMO_DE_ENERGIA_ELECTRICA_RESIDENCIAL.pdf.

ANEXOS

Anexo A: Especificaciones Técnicas del Arduino Mega 2560

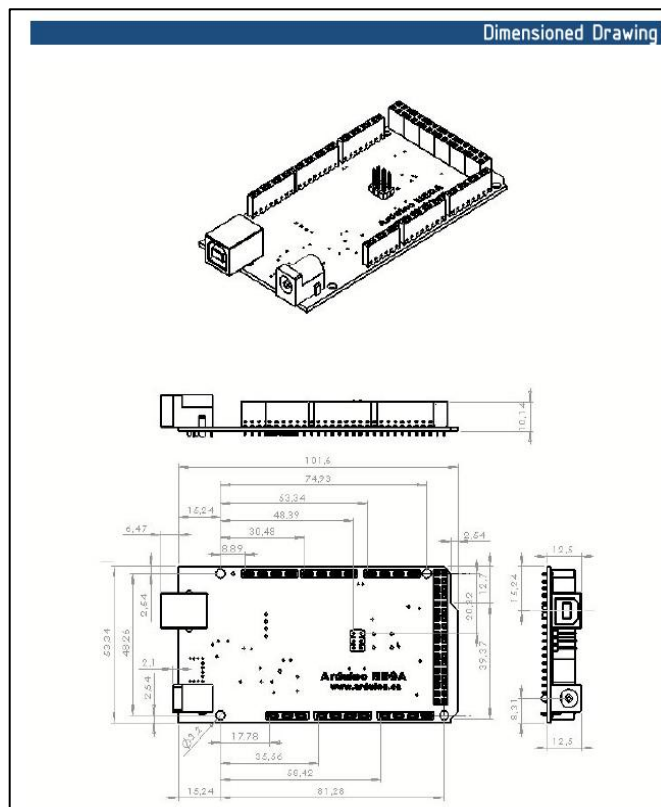
Technical Specification

EAGLE files: [_arduino-mega2560-reference-design.zip](#) Schematic: [arduino-mega2560-schematic.pdf](#)

Summary

Microcontroller	ATmega2560
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	54 (of which 14 provide PWM output)
Analog Input Pins	16
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	256 KB of which 8 KB used by bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz

the board



Anexo B: Datos técnicos de los sensores no invasivos series SCT 013

Split-Core Current Transformer



Model: SCT-013 Series

Characteristics: Opening size: 13mm×13mm
 Non-linearity±3% (10%—120% rated input current)
 1.5m leading wire, Diagram for standard three-output
 Current output type or Voltage output type
 (Voltage output type built-in sampling resistor)



Purpose: Suitable for the current measuring
 monitoring and protection of AC motor
 lighting equipment air compressor and so on

Core material: Ferrite

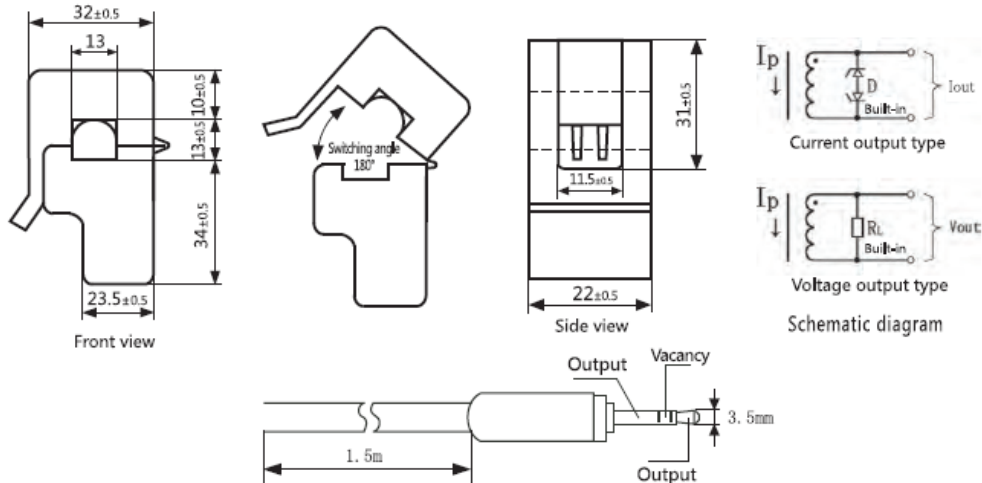
Mechanical strength: The number of switching is not less than 1000 times
 (Test under 20°C).

Safety index: Dielectric strength 6000V AC/1min

Fire resistance property: in accordance with UL94-V0

Working temperature: +25°C—+70°C

Outline size diagram: (in mm)



互感器系列

Table of technical parameters:

Model	SCT-013-000	SCT-013-005	SCT-013-010	SCT-013-015	SCT-013-020
Input current	0-100A	0-5A	0-10A	0-15A	0-20A
Output mode	Current/33mA	Voltage/1V	Voltage/1V	Voltage/1V	Voltage/1V
Model	SCT-013-025	SCT-013-030	SCT-013-050	SCT-013-060	SCT-013-070
Input current	0-25A	0-30A	0-50A	0-60A	
Output mode	Voltage/1V	Voltage/1V	Voltage/1V	Voltage/1V	


Output mode: Voltage output type built-in sampling resistor; Current output type built-in protective diode;
 Forbidden to be opening operating for current type.

Anexo C: Datos técnicos del módulo de voltaje ZMPT101B – Esquemático

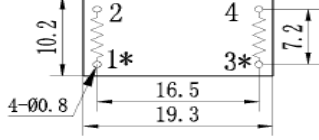
ZMPT107 potential transformer

Small size,high accuracy,consistency,for power measurement

Structural parameters:



Front view



Bottom view

Technical parameters:

	ZMPT107
Rated input current	2mA
Rated output current	2mA
Ratio	1000:1000
Phase difference	$\leq 30'$ (50Ω)
Linear range	0~3mA (50Ω)
Linearity	0.1%
Accuracy class	0.2
Isolation voltage	3000V
Uses	measurement
Sealing material	epoxy
Installation	PCB
Operating temperature	-40°C~+70°C

Use of illustration:

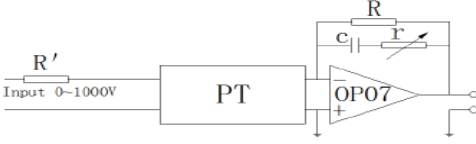


Figure 1


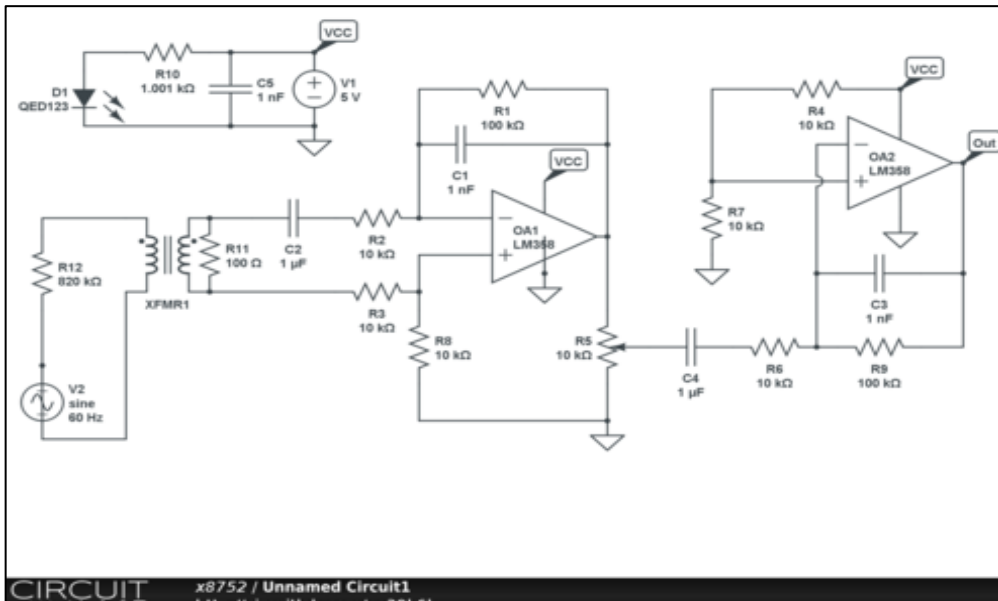


Figure 2

Tel:025-52608847
Fax:025-52633420
E-mail:zm@zeming-e.com



Anexo D: Datos técnicos de Fuente Step Down 12/5 VDC



DC-DC Step-down module
The replacement 055L exceeds the LM2596S

The electronic module
Electronic components

Product introduction

1. Entrada +: entrada positiva
2. Salida +: salida positiva
3. GND: Entrada/Salida
4. Dimensiones: 45*31*16mm (largo * ancho * alto)
5. Voltaje de entrada: 9-35 V (el voltaje límite máximo es 35 v, deja un poco de margen para usar, de lo contrario, se dañará)
6. Voltaje de salida: 5V
7. Corriente de salida: 5A
8. Potencia de salida: 25w

Detailed description: This is a promotional image for a DC-DC step-down module. It features a green PCB with a large black MOSFET, a high-power inductor, and two electrolytic capacitors. A blue terminal block is used for input and output connections. The text highlights that this module is a superior replacement for the LM2596S and provides a list of technical specifications.



High power inductor
High power MOS
Reverse polarity protection
IN+
GND
OUT+
LED
Synchronous rectification IC

30mm
45mm
Weight: 15.6g

Detailed description: This diagram provides a detailed view of the DC-DC step-down module. Red arrows point to various components: a high-power MOSFET, a high-power inductor, a synchronous rectification IC, and an LED. The input and output terminals are labeled IN+, GND, and OUT+. The dimensions of the module are given as 30mm in width and 45mm in length, with a weight of 15.6g. The module is shown from both a top-down perspective and a perspective view.

Anexo E: Datos técnicos de amplificador operacional dual LM358P

**LM158, LM158A, LM258, LM258A
LM358, LM358A, LM2904, LM2904V
DUAL OPERATIONAL AMPLIFIERS**
SLOS088P – JUNE 1976 – REVISED SEPTEMBER 2004

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)¹

	LM158, LM158A LM258, LM258A LM358, LM358A LM2904V	LM2904	UNIT
Supply voltage, V_{CC} (see Note 1)	± 16 or 32	± 13 or 26	V
Differential input voltage, V_{ID} (see Note 2)	± 32	± 26	V
Input voltage, V_I (either input)	-0.3 to 32	-0.3 to 26	V
Duration of output short circuit (one amplifier) to ground at (or below) 25°C free-air temperature ($V_{CC} \leq 15$ V) (see Note 3)	Unlimited	Unlimited	
Package thermal impedance, θ_{JA} (see Notes 4 and 5)	D package	97	97
	DGK package	172	172
	P package	85	85
	PS package	95	95
	PW package	149	149
Package thermal impedance, θ_{JC} (see Notes 6 and 7)	FK package	5.61	
	JG package	14.5	
Operating free-air temperature range, T_A	LM158, LM158A	-55 to 125	
	LM258, LM258A	-25 to 85	
	LM358, LM358A	0 to 70	
	LM2904	-40 to 125	-40 to 125
Operating virtual junction temperature, T_J	150	150	°C
Case temperature for 60 seconds	FK package	260	°C
Lead temperature 1.6 mm (1/16 inch) from case for 60 seconds	JG package	300	300
Storage temperature range, T_{stg}		-65 to 150	-65 to 150

¹ Stresses beyond those listed under "absolute maximum ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under "recommended operating conditions" is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

NOTES: 1. All voltage values, except differential voltages and V_{CC} specified for measurement of I_{OS} , are with respect to the network ground terminal.
2. Differential voltages are at IN+ with respect to IN-.
3. Short circuits from outputs to V_{CC} can cause excessive heating and eventual destruction.
4. Maximum power dissipation is a function of T_J (max), θ_{JA} , and T_A . The maximum allowable power dissipation at any allowable ambient temperature is $P_D = (T_J(max) - T_A) / \theta_{JA}$. Operating at the absolute maximum T_J of 150°C can affect reliability.
5. The package thermal impedance is calculated in accordance with JEDEC 51-7.
6. Maximum power dissipation is a function of T_J (max), θ_{JC} , and T_C . The maximum allowable power dissipation at any allowable case temperature is $P_D = (T_J(max) - T_C) / \theta_{JC}$. Operating at the absolute maximum T_J of 150°C can affect reliability.
7. The package thermal impedance is calculated in accordance with MIL-STD-883.

**LM158, LM158A, LM258, LM258A
LM358, LM358A, LM2904, LM2904V
DUAL OPERATIONAL AMPLIFIERS**
SLOS088P – JUNE 1976 – REVISED SEPTEMBER 2004

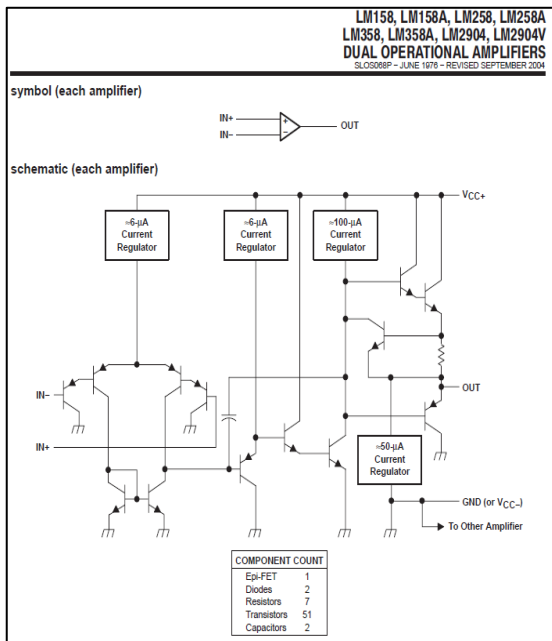
- Wide Supply Range:
 - Single Supply ... 3 V to 32 V (26 V for LM2904)
 - Dual Supplies ... ± 1.5 V to ± 16 V (± 13 V for LM2904)
- Low Supply-Current Drain, Independent of Supply Voltage ... 0.7 mA Typ
- Common-Mode Input Voltage Range Includes Ground, Allowing Direct Sensing Near Ground
- Low Input Bias and Offset Parameters:
 - Input Offset Voltage ... 3 mV Typ
 - A Versions ... 2 mV Typ
 - Input Offset Current ... 2 nA Typ
 - Input Bias Current ... 20 nA Typ
 - A Versions ... 15 nA Typ
- Differential Input Voltage Range Equal to Maximum-Rated Supply Voltage ... 32 V (26 V for LM2904)
- Open-Loop Differential Voltage Amplification ... 100 V/mV Typ
- Internal Frequency Compensation

description/ordering information

These devices consist of two independent, high-gain, frequency-compensated operational amplifiers designed to operate from a single supply over a wide range of voltages. Operation from split supplies also is possible if the difference between the two supplies is 3 V to 32 V (3 V to 26 V for the LM2904), and V_{CC} is at least 1.5 V more positive than the input common-mode voltage. The low supply-current drain is independent of the magnitude of the supply voltage.

Applications include transducer amplifiers, dc amplification blocks, and all the conventional operational amplifier circuits that now can be implemented more easily in single-supply-voltage systems. For example, these devices can be operated directly from the standard 5-V supply used in digital systems and easily can provide the required interface electronics without additional 1.5-V supplies.

TEXAS INSTRUMENTS
POST OFFICE BOX 655383 • DALLAS, TEXAS 75265



**LM158, LM158A, LM258, LM258A
LM358, LM358A, LM2904, LM2904V
DUAL OPERATIONAL AMPLIFIERS**
SLOS088P – JUNE 1976 – REVISED SEPTEMBER 2004


electrical characteristics at specified free-air temperature, $V_{CC} = 5$ V (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS ¹	T_A ²	LIMITS						UNIT
			LM258			LM358			
			MIN	TYP ³	MAX	MIN	TYP ³	MAX	
V_{IO}	Input offset voltage	$V_{CC} = 5$ V to MAX, $V_C = V_{C(RMIN)}$, $V_O = 1.4$ V	25°C	3	5	3	7	9	mV
θ_{VIO}	Average temperature coefficient of input offset voltage	Full range		7			7	9	μ V/°C
I_{IO}	Input offset current	$V_O = 1.4$ V	25°C	2	30	2	50	150	nA
θ_{IIO}	Average temperature coefficient of input offset current	Full range		10			10	150	μ A/°C
I_{IB}	Input bias current	$V_O = 1.4$ V	25°C	-20	-150	-20	-250	-500	nA
V_{ICR}	Common-mode input voltage range	$V_{CC} = 5$ V to MAX	25°C	0 to $V_{CC} - 1.5$		0 to $V_{CC} - 1.5$			V
			Full range	0 to $V_{CC} - 2$		0 to $V_{CC} - 1.5$			
V_{OH}	High-level output voltage	$R_L = 2$ k Ω , $V_{CC} = MAX$	25°C	28	28	28	28	28	V
			Full range	27	28	27	28	28	
V_{OL}	Low-level output voltage	$R_L = 10$ k Ω , $V_{CC} = 15$ V	25°C	5	20	5	20	20	mV
			Full range	5	20	5	20	20	
A_{VD}	Large-signal differential voltage amplification	$V_{CC} = 15$ V, $V_O = 1$ V to 11 V, $R_L = 2$ k Ω	25°C	50	100	25	100		V/mV
CMRR	Common-mode rejection ratio	$V_{CC} = 5$ V to MAX, $V_C = V_{C(RMIN)}$	25°C	70	80	65	80		dB
k_{SVR}	Supply-voltage rejection ratio (AV _{DD} /AV _{IO})	$V_{CC} = 5$ V to MAX	25°C	65	100	65	100		dB
V_{CPL}/V_{CCL}	Crosstalk attenuation	$f = 1$ kHz to 20 kHz	25°C	-20	-30	-20	-30		dB
			Full range	-10	-10	-10	-10		
I_O	Output current	$V_{CC} = 15$ V, $V_O = 1$ V, $V_{ID} = -1$ V, $V_{C} = 0$	25°C	10	20	10	20		mA
			Full range	5	5	5	5		
I_{OS}	Output current	$V_{CC} = 15$ V, $V_O = 200$ mV	25°C	12	30	12	30		μ A
			Full range	140	160	140	160		
I_{CC}	Supply current (two amplifiers)	$V_{CC} = 2.5$ V, No load	25°C	0.7	1.2	0.7	1.2		mA
			Full range	1	2	1	2		

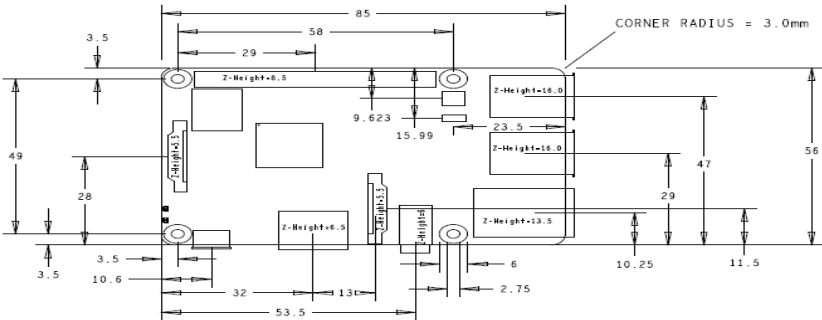
¹ All characteristics are measured under open-loop conditions, with zero common-mode input voltage, unless otherwise specified. MAX V_{CC} for testing purposes is 26 V for the LM2904 and 30 V for others.
² Full range is -55° C to 125° C for LM158, -25° C to 85° C for LM258, 0° C to 70° C for LM358, and -40° C to 125° C for LM2904.
³ All typical values are at $T_A = 25^\circ$ C.

Anexo F: Especificaciones técnicas de Raspberry Pi3 B+

Raspberry Pi 3 Model B+		2
Specifications		
Processor:	Broadcom BCM2837B0, Cortex-A53 64-bit SoC @ 1.4GHz	
Memory:	1GB LPDDR2 SDRAM	
Connectivity:	<ul style="list-style-type: none">■ 2.4GHz and 5GHz IEEE 802.11.b/g/n/ac wireless LAN, Bluetooth 4.2, BLE■ Gigabit Ethernet over USB 2.0 (maximum throughput 300 Mbps)■ 4 x USB 2.0 ports	
Access:	Extended 40-pin GPIO header	
Video & sound:	<ul style="list-style-type: none">■ 1 x full size HDMI■ MIPI DSI display port■ MIPI CSI camera port■ 4 pole stereo output and composite video port	
Multimedia:	H.264, MPEG-4 decode (1080p30); H.264 encode (1080p30); OpenGL ES 1.1, 2.0 graphics	
SD card support:	Micro SD format for loading operating system and data storage	
Input power:	<ul style="list-style-type: none">■ 5V/2.5A DC via micro USB connector■ 5V DC via GPIO header■ Power over Ethernet (PoE)-enabled (requires separate PoE HAT)	
Environment:	Operating temperature, 0–50 °C	
Compliance:	For a full list of local and regional product approvals, please visit www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b+	
Production lifetime:	The Raspberry Pi 3 Model B+ will remain in production until at least January 2023.	





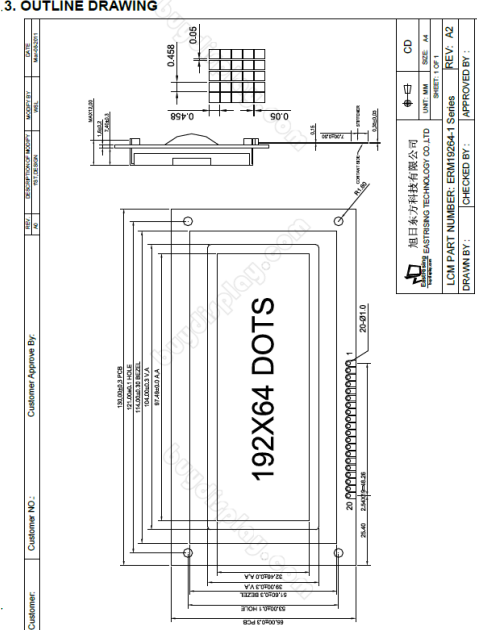
raspberrypi.org


Raspberry Pi 3 Model B+		3
Physical specifications		
		
Warnings		
<ul style="list-style-type: none">■ This product should only be connected to an external power supply rated at 5V/2.5A DC. Any external power supply used with the Raspberry Pi 3 Model B+ shall comply with relevant regulations and standards applicable in the country of intended use.■ This product should be operated in a well-ventilated environment and, if used inside a case, the case should not be covered.■ Whilst in use, this product should be placed on a stable, flat, non-conductive surface and should not be contacted by conductive items.■ The connection of incompatible devices to the GPIO connection may affect compliance, result in damage to the unit, and invalidate the warranty.■ All peripherals used with this product should comply with relevant standards for the country of use and be marked accordingly to ensure that safety and performance requirements are met. These articles include but are not limited to keyboards, monitors, and mice when used in conjunction with the Raspberry Pi.■ The cables and connectors of all peripherals used with this product must have adequate insulation so that relevant safety requirements are met.		
Safety instructions		
To avoid malfunction of or damage to this product, please observe the following:		
<ul style="list-style-type: none">■ Do not expose to water or moisture, or place on a conductive surface whilst in operation.■ Do not expose to heat from any source; the Raspberry Pi 3 Model B+ is designed for reliable operation at normal ambient temperatures.■ Take care whilst handling to avoid mechanical or electrical damage to the printed circuit board and connectors.■ Whilst it is powered, avoid handling the printed circuit board, or only handle it by the edges to minimise the risk of electrostatic discharge damage.		

raspberrypi.org

Anexo G: Datos técnicos de LCD 192x64

 Graphic Module Datasheet ERM19264-1 Series buydisplay.com		
2. SPECIFICATION		
2.1 Display Specification		
ITEM	STANDARD VALUE	UNIT
Dot Matrix	192 x 64 Dots	-
Display Connector	Pin Header, 20 pins	-
Operating Temperature	-20 ~ +70	℃
Storage Temperature	-30 ~ +80	℃
Touch Panel Optional	N/A	-
Font Chip Optional	N/A	-
*Sunlight Readable	No1.No3.No4.No5.No6.No7.No8	-
*Number of sunlight readable is from 1.1 ERM19264-1 Series Table of the datasheet.		
2.2 Mechanical Specification		
ITEM	STANDARD VALUE	UNIT
Outline Dimension	130.0(W) × 65.0(H) × 12.0(T) (MAX)	mm
Visual Area	104.0(W) × 39.0(H)	mm
Active Area	97.49(W) × 32.46(H)	mm
Dot Size	0.458x0.458	mm
Dot Pitch	0.508x0.508	mm
Net Weight	100.0 ± 15% grams (typical)	g
2.3 Electrical Specification		
ITEM	STANDARD VALUE	UNIT
IC Package	COB	-
Controller	S6A0107 or Equivalent	-
Interface	6800 8-bit Parallel	-
2.4 Optical Specification		
ITEM	STANDARD VALUE	UNIT
LCD Type	Refer to 1.1 ERM19264-1 Series Table	-
Backlight Color	Refer to 1.1 ERM19264-1 Series Table	-
Viewing Direction	6:00	Clock
LCD Duty	1/64	Duty
LCD Bias	1/9	Bias
URL: www.buydisplay.com Document Name: ERM19264-1 Series Datasheet-Rev1.0 Page: 6 of 20		

 Graphic Module Datasheet ERM19264-1 Series buydisplay.com														
3. OUTLINE DRAWING														
		<table border="1"> <tr> <td>CD</td> <td>REV. A2</td> </tr> <tr> <td>UNIT: MM</td> <td>SIZE: A4</td> </tr> <tr> <td>SHEET: 01 of 1</td> <td>REV. A2</td> </tr> <tr> <td colspan="2">LCM PART NUMBER: ERM19264-1 Series</td> </tr> <tr> <td>DRAWN BY:</td> <td>CHECKED BY:</td> </tr> <tr> <td colspan="2">APPROVED BY:</td> </tr> </table>	CD	REV. A2	UNIT: MM	SIZE: A4	SHEET: 01 of 1	REV. A2	LCM PART NUMBER: ERM19264-1 Series		DRAWN BY:	CHECKED BY:	APPROVED BY:	
CD	REV. A2													
UNIT: MM	SIZE: A4													
SHEET: 01 of 1	REV. A2													
LCM PART NUMBER: ERM19264-1 Series														
DRAWN BY:	CHECKED BY:													
APPROVED BY:														
URL: www.buydisplay.com Document Name: ERM19264-1 Series Datasheet-Rev1.0 Page: 7 of 20														

 Graphic Module Datasheet ERM19264-1 Series buydisplay.com		
4. ELECTRICAL SPEC		
4.1 Pin Configuration		
Pin Num	Pin Name	Description
1	VSS	Negative Power Supply, Ground (0V)
2	VDD	Positive Power Supply
3	V0	Operating Voltage for LCD (Variable)
4	RS	H: Data L: Instructoin Code
5	R/W	H: Read (Module ← MPU) L: Write (MPU → Module)
6	E	Enable Signal
7	DB0	Data Bus Line
8	DB1	
9	DB2	
10	DB3	
11	DB4	
12	DB5	
13	DB6	
14	DB7	
15	/CS1	Chip selection, enable access to left section of the LCD module
16	/RST	Reset Signal
17	/CS2	Chip selection, enable access to middle section of the LCD module
18	/CS3	Chip selection, enable access to right section of the LCD module
19	VOUT	Power Booster Output for V0
20	BLA	Positive Power for LED backlight

Anexo H: Datos técnicos de modulo I2C

I2C interface for LCD



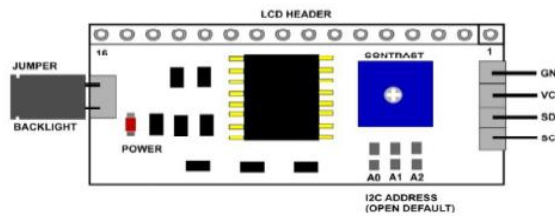
Discription:

This LCD2004 is a great I2C interface for 2x16 and 4x20 LCD displays. With the limited pin resources, your project may be out of resources using normal LCD shield. With this I2C interface LCD module, you only need 2 lines (I2C) to display the information. If you already has I2C devices in your project, this LCD module actually cost no more resources at all. Fantastic for Arduino based projects.

Specification:

Compatible with 16x2 and 20x4 LCD's
 Default I2C Address = 0X27
 Address selectable - Range 0x20 to 0x27

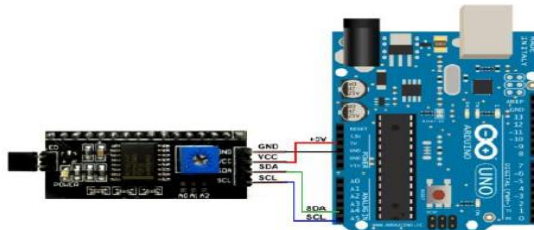
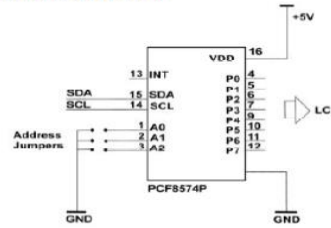
Board Layout:



The LCD2004 board utilized the PCF8574 I/O expander. This nifty little chip provides eight bits of parallel I/O addressable by a I2C bus address – 0x00 to 0x27. SainSmart tied all address leads to Vcc, so the LCD2004 board's I2C address is permanently fixed at hex 27. This is rather limiting since no additional LCD2004s can be added to the bus. Anyway, you simply address the board and write an eight bit value which is then presented on the output pins of the PCF8574, which, in this case, are connected to the HD44780 based LCD screen.

INPUTS			I2C SLAVE ADDRESS
A2	A1	A0	
L	L	L	0x20
L	L	H	0x21
L	H	L	0x22
L	H	H	0x23
H	L	L	0x24
H	L	H	0x25
H	H	L	0x26
H	H	H	0x27

H = Open Jumper L = Close Jumper



```
// Arduino Code
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,2,1,0,4,5,6,7,3, POSITIVE); // Initialize LCD Display at address 0x27
// unmodified backpack





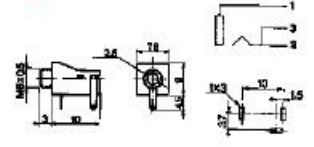

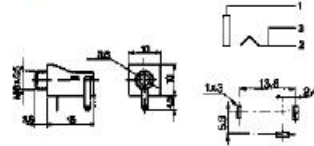

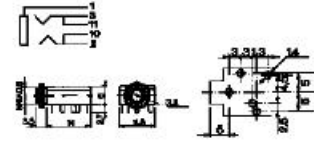

void setup() {
    // activate LCD module
    lcd.begin (16,2); // for 16 x 2 LCD module
    lcd.setBacklightPin(3,POSITIVE);
    lcd.setBacklight(HIGH);
}

void loop() {
    lcd.home (); // set cursor to 0,0
    lcd.print(" Hello, world!");
    lcd.setCursor (0,1); // go to start of 2nd line
    lcd.print(millis());
    delay(1000);
    lcd.setBacklight(LOW); // Backlight off
    delay(500);
    lcd.setBacklight(HIGH); // Backlight on

    delay(1000);
} // END
```

Check for more info at <https://arduino-info.wikispaces.com/LCD-Blue-I2C>

Anexo I: Dimensiones conector de audio estéreo 3.5mm

CONECTORES											
C. SETRONIC S.L.	CONECTORES DE AUDIO										
		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="background-color: #0070C0; color: white;">CODIGO</th> <th style="background-color: #0070C0; color: white;">DESCRIPCIÓN</th> <th style="background-color: #0070C0; color: white;">COLOR</th> <th style="background-color: #0070C0; color: white;">UNIDADES</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">4400</td> <td>Base mono 3.5</td> <td style="text-align: center;">MARFIL</td> <td style="text-align: center;">25</td> </tr> </tbody> </table>	CODIGO	DESCRIPCIÓN	COLOR	UNIDADES	4400	Base mono 3.5	MARFIL	25	<p>Base hembra mono 3.5mm para chasis con tuerca, cuerpo de plástico, terminales soldados. Mono jack 3.5 mm with nut.</p>
CODIGO	DESCRIPCIÓN	COLOR	UNIDADES								
4400	Base mono 3.5	MARFIL	25								
C. SETRONIC S.L.	CONECTORES DE AUDIO										
		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="background-color: #0070C0; color: white;">CODIGO</th> <th style="background-color: #0070C0; color: white;">DESCRIPCIÓN</th> <th style="background-color: #0070C0; color: white;">COLOR</th> <th style="background-color: #0070C0; color: white;">UNIDADES</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">4410</td> <td>Base estereo 3.5</td> <td style="text-align: center;">MARFIL</td> <td style="text-align: center;">25</td> </tr> </tbody> </table>	CODIGO	DESCRIPCIÓN	COLOR	UNIDADES	4410	Base estereo 3.5	MARFIL	25	<p>Base hembra estereo 3.5mm para chasis con tuerca, cuerpo de plástico, terminales soldados. Stereo jack 3.5 mm with nut.</p>
CODIGO	DESCRIPCIÓN	COLOR	UNIDADES								
4410	Base estereo 3.5	MARFIL	25								
C. SETRONIC S.L.	CONECTORES DE AUDIO										
		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="background-color: #0070C0; color: white;">CODIGO</th> <th style="background-color: #0070C0; color: white;">DESCRIPCIÓN</th> <th style="background-color: #0070C0; color: white;">COLOR</th> <th style="background-color: #0070C0; color: white;">UNIDADES</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">4420</td> <td>Base mono 2.5</td> <td style="text-align: center;">NEGRO</td> <td style="text-align: center;">25</td> </tr> </tbody> </table>	CODIGO	DESCRIPCIÓN	COLOR	UNIDADES	4420	Base mono 2.5	NEGRO	25	<p>Base hembra mono 2.5mm para C.I. con tuerca, cuerpo de plástico, terminales soldados. Mono jack 2.5mm C.I.</p>
CODIGO	DESCRIPCIÓN	COLOR	UNIDADES								
4420	Base mono 2.5	NEGRO	25								
C. SETRONIC S.L.	CONECTORES DE AUDIO										
		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="background-color: #0070C0; color: white;">CODIGO</th> <th style="background-color: #0070C0; color: white;">DESCRIPCIÓN</th> <th style="background-color: #0070C0; color: white;">COLOR</th> <th style="background-color: #0070C0; color: white;">UNIDADES</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">4430</td> <td>Base mono 3.5</td> <td style="text-align: center;">NEGRO</td> <td style="text-align: center;">25</td> </tr> </tbody> </table>	CODIGO	DESCRIPCIÓN	COLOR	UNIDADES	4430	Base mono 3.5	NEGRO	25	<p>Base hembra mono 3.5mm para C.I. con tuerca, cuerpo de plástico, terminales soldados. Mono jack 3.5mm C.I.</p>
CODIGO	DESCRIPCIÓN	COLOR	UNIDADES								
4430	Base mono 3.5	NEGRO	25								
C. SETRONIC S.L.	CONECTORES DE AUDIO										
		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="background-color: #0070C0; color: white;">CODIGO</th> <th style="background-color: #0070C0; color: white;">DESCRIPCIÓN</th> <th style="background-color: #0070C0; color: white;">COLOR</th> <th style="background-color: #0070C0; color: white;">UNIDADES</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">4440</td> <td>Base estereo 3.5</td> <td style="text-align: center;">NEGRO</td> <td style="text-align: center;">25</td> </tr> </tbody> </table>	CODIGO	DESCRIPCIÓN	COLOR	UNIDADES	4440	Base estereo 3.5	NEGRO	25	<p>Base hembra estereo 3.5mm para C.I. con tuerca, cuerpo de plástico, terminales soldados. Stereo jack 3.5mm C.I. with nut.</p>
CODIGO	DESCRIPCIÓN	COLOR	UNIDADES								
4440	Base estereo 3.5	NEGRO	25								

Anexo J: Código principal del sistema de monitoreo

```
byte sine_data [91] =
{
    0,
    4, 9, 13, 18, 22, 27, 31, 35, 40, 44,
    49, 53, 57, 62, 66, 70, 75, 79, 83, 87,
    91, 96, 100, 104, 108, 112, 116, 120, 124, 127,
    131, 135, 139, 143, 146, 150, 153, 157, 160, 164,
    167, 171, 174, 177, 180, 183, 186, 189, 192, 195,
    198, 201, 204, 206, 209, 211, 214, 216, 219, 221,
    223, 225, 227, 229, 231, 233, 235, 236, 238, 240,
    241, 243, 244, 245, 246, 247, 248, 249, 250, 251,
    252, 253, 253, 254, 254, 254, 255, 255, 255, 255
};

float f_peaks[5]; // los 5 picos de frecuencias principales en orden descendente

#include <Filters.h>

#define LIN_OUT 1 //salida lineal en 16 bits de resolución

#define FFT_N 256 //transformada de 256 puntos

#include<FFT.h> //incluimos la libreria

#include <openGLCD.h>

#include <bitmaps/BillsHead.h>

#include <bitmaps/FIE_EG.h>

#include <bitmaps/ESPOCH_EG.h>

//DISEÑO DE UN SISTEMA DE MONITOREO DE PARAMETROS DE LA ENERGÍA
ELECTRICA, MEDIANTE DISPOSITIVOS INTELIGENTES APLICANDO A LAS IoT EN
USO RESIDENCIAL

gText textAreaTop(textAreaTOP);

gText textAreaBottom(textAreaBOTTOM);

float maxConsume[6] = {652.0,220.0,2240.0,80.0,80.0,5000.0};

float testFrequency = 60; // Frecuencia (Hz)

float windowLength = 40.0 / testFrequency; // promedio de la señal

int Sensor = 0; //A6

float intercept = -0.04; // to be adjusted based on calibration testing
```

```

float slope = 0.0405; // to be adjusted based on calibration testing
float volts; // Voltage
unsigned long periodo = 1000;
unsigned long tiempoAnterior = 0;

float current[6];
float power[6];
float pf[6];
float harm[6];

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  GLCD.Init();
  GLCD.SelectFont(System5x7);
  GLCD.ClearScreen();
  GLCD.DrawBitmap(ESPOCH_EG , GLCD.Width/2 - (int)ESPOCH_EG[0]/2, 0);
  delay(2500);
  GLCD.ClearScreen();
  GLCD.DrawBitmap(FIE_EG , GLCD.Width/2 - (int)FIE_EG[0]/2, 0);
  delay(2500);
  GLCD.ClearScreen();
  textAreaTop.SelectFont(Arial14);
  textAreaBottom.SelectFont(Arial14);
  textAreaTop.println(F("DISEÑO DE UN SISTEMA DE MONITOREO DE PARAMETROS
DE"));
  textAreaBottom.println(F("LA ENERGIA ELECTRICA, MEDIANTE DISPOSITIVOS"));
  delay(3500);
  GLCD.ClearScreen();
  textAreaTop.println(F("INTELIGENTES APLICANDO A LAS IoT EN USO
RESIDENCIAL"));
  textAreaBottom.println(F("AUTOR:"));
  textAreaBottom.println(F("FREDDY LAPO ROBLES"));
}

```

```

void loop() {
  RunningStatistics inputStats;
  inputStats.setWindowSecs(windowLength);
  while (true) {
    analogReference(DEFAULT);
    Sensor = analogRead(6); //Leer pin Analógico
    inputStats.input(Sensor);
    if ((unsigned long)(millis() - tiempoAnterior) >= periodo) {
      volts = intercept + slope * inputStats.sigma(); //offset y amplitud
      volts = volts * (40.3231);
      int sumHarm = 0;
      for (int i = 0; i < 6; i++){
        current[i] = getCurrent(i);
        power[i] = current[i] * volts;
        pf[i] = power[i]/maxConsume[i];
        harm[i] = getHarmonic(current[i]);
        sumHarm += harm[i];
      }
      String dataSend;
      int j;
      for (j = 0; j < 6; j++){
        dataSend += String((unsigned long)(power[j]*100))+",";
      }
      for (j = 0; j < 6; j++){
        dataSend += String((unsigned int)(pf[j]*100))+",";
      }
      for (j = 0; j < 6; j++){
        dataSend += String((unsigned int)(harm[j]*100))+",";
      }
      for (j = 0; j < 6; j++){
        dataSend += String((unsigned int)(current[j]*100))+",";
      }
    }
  }
}

```

```

dataSend += String(int(sumHarm*100/6))+","+String((unsigned int)(volts*100));
Serial.println(dataSend);
tiempoAnterior = millis();
GLCD.ClearScreen();
GLCD.CursorTo(0, 0);
GLCD.print("POTENCIA  ");
GLCD.print("CORRIENTE");
for (j = 0;j < 6;j++){
  String SP = "P"+String(j+1)+" = ";
  GLCD.CursorTo(0, j+1);
  GLCD.print("P");GLCD.print(String(j+1));GLCD.print(" = ");
  GLCD.print(power[j]/1000);GLCD.print(" kW I");GLCD.print(String(j+1));GLCD.print("
= ");
  GLCD.print(current[j]);GLCD.print(" A");
}
GLCD.CursorTo(5, 7);
GLCD.print("VOLTAJE = ");
GLCD.print(volts);
GLCD.print(" V");
}
}
}

```

```
//SENSORES DE CORRIENTE
```

```

float getCurrent(int analog_pin){
  float constantAssign[6] = { 30.0,30.0,30.0,30.0,10.0,(100/1.1)};
  float voltajeSensor1;
  float corriente1 = 0;
  float Sumatoria1 = 0;
  long tiempo1 = millis();
  int N1 = 0;
  while (millis() - tiempo1 < 250) //Duración 0.5 segundos(Aprox. 30 ciclos de 60Hz)
  {

```

```

analogReference(INTERNAL1V1);

voltajeSensor1 = analogRead(analog_pin) * (1.1 / 1023.0);///voltaje del sensor 1

corriente1 = voltajeSensor1 * constantAssign[analog_pin];
//corriente1=VoltajeSensor1*(30A/1V)

Sumatoria1 = Sumatoria1 + sq(corriente1);

N1 = N1 + 1;

delay(1);

}

Sumatoria1 = Sumatoria1 * 2; //Para compensar los cuadrados de los semiciclos negativos.
corriente1 = sqrt((Sumatoria1) / N1); //ecuación del RMS

return (corriente1);

}

```

```

float getHarmonic(float Irms) {
    long antes1 = millis();
    for (int i1 = 0 ; i1 < 512 ; i1 += 2) { // 256 muestras, complejas
        fft_input[i1] = Irms; //Muestreamos el canal 0 (parte real)
        fft_input[i1 + 1] = 0; //parte imaginaria
        delay(4); //muestreo cada 4 ms (aprox. a 250)Hz
    }
}

```

```

float FFT(float in[], byte N, float Frequency)
{
    /*

```

Código para realizar FFT en arduino,

preparar:

pegar sine_data [91] en la parte superior del programa [variable global], pegar la función FFT al final del programa

Término:

1. en []: matriz de datos,
2. N: Número de muestra (tamaño de muestra recomendado 2,4,8,16,32,64,128 ...)
3. Frecuencia: frecuencia de muestreo requerida como entrada (Hz)

Si el tamaño de la muestra no está en potencia 2, se recortará al lado inferior del número, es decir, para 150 muestras, el código considerará las primeras 128 muestras, la muestra restante se omitirá.

Para Arduino nano, FFT de más de 128 muestras no es posible debido a una limitación importante (se recomiendan 64)

Para un mayor número de muestras puede surgir un problema relacionado con Memory,

Código de ABHILASH

Contacto: abhilashpatel121@gmail.com

Documentación: https://www.instructables.com/member/abhilash_patel/instructables/

*/

```
unsigned int data[13] = {1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256, 512, 1024, 2048};
```

```
int a, c1, f, o, x;
```

```
a = N;
```

```
for (int i = 0; i < 12; i++) // calculando los niveles
```

```
{
```

```
  if (data[i] <= a) {
```

```
    o = i;
```

```
  }
```

```
}
```

```
int in_ps[data[o]] = {}; // entrada para secuenciar
```

```
float out_r[data[o]] = {}; // parte real de la transformación
```

```
float out_im[data[o]] = {}; // parte imaginaria de transformar
```

```
x = 0;
```

```
for (int b = 0; b < o; b++) // inversión de bits
```

```
{
```

```
  c1 = data[b];
```

```
  f = data[o] / (c1 + c1);
```

```
  for (int j = 0; j < c1; j++)
```

```
  {
```

```
    x = x + 1;
```

```
    in_ps[x] = in_ps[j] + f;
```

```
  }
```

```
}
```

```

for (int i = 0; i < data[o]; i++) // actualiza la matriz de entrada según el orden inverso de bits
{
    if (in_ps[i] < a)
    {
        out_r[i] = in[in_ps[i]];
    }
    if (in_ps[i] > a)
    {
        out_r[i] = in[in_ps[i] - a];
    }
}

```

```

int i10, i11, n1;

```

```

float e, c, s, tr, ti;

```

```

for (int i = 0; i < o; i++) //fft
{
    i10 = data[i]; // valores generales de seno / coseno:
    i11 = data[o] / data[i + 1]; // bucle con seno coseno similar:
    e = 360 / data[i + 1];
    e = 0 - e;
    n1 = 0;

    for (int j = 0; j < i10; j++)
    {
        c = cosine(e * j);
        s = sine(e * j);
        n1 = j;

        for (int k = 0; k < i11; k++)
        {

```

```

tr = c * out_r[i10 + n1] - s * out_im[i10 + n1];
ti = s * out_r[i10 + n1] + c * out_im[i10 + n1];

out_r[n1 + i10] = out_r[n1] - tr;
out_r[n1] = out_r[n1] + tr;

out_im[n1 + i10] = out_im[n1] - ti;
out_im[n1] = out_im[n1] + ti;

n1 = n1 + i10 + i10;
}
}
}

/*
for(int i=0;i<data[o];i++)
{
Serial.print(out_r[i]);
Serial.print("\t");           // un comentario para imprimir RAW o / p
Serial.print(out_im[i]); Serial.println("i");
}
*/

// ---> en adelante out_r contiene amplitud y our_in contiene frecuencia (Hz)
float sumac = 0, cuadrado;
for (int i = 0; i < data[o - 1]; i++) // obteniendo la amplitud del número de complex
{
out_r[i] = sqrt(out_r[i] * out_r[i] + out_im[i] * out_im[i]); // para aumentar la velocidad
eliminar sqrt
out_im[i] = i * Frequency;
float Irms1 = get_corriente();
cuadrado = out_r[i] * out_r[i];
sumac += cuadrado;

```



```

float TDH = (sqrt(sumac) / Irms1) - 40.95;
Serial.print("Irms: "); Serial.print(Irms1, 3); Serial.print(" ");
Serial.print(out_im[i]); Serial.print("Hz ");
Serial.print("\t"); // un comentario para imprimir la bandeja de frecuencia
Serial.print(out_r[i]);
Serial.print(" TDH:"); Serial.print(TDH, 2); Serial.println("%");

}

x = 0; // detección de picos
for (int i = 1; i < data[o - 1] - 1; i++)
{
  if (out_r[i] > out_r[i - 1] && out_r[i] > out_r[i + 1])
  { in_ps[x] = i; // matriz in_ps utilizada para el almacenamiento del número de picos
    x = x + 1;
  }
}
s = 0;
c = 0;
for (int i = 0; i < x; i++) // re arrange según la magnitud
{
  for (int j = c; j < x; j++)
  {
    if (out_r[in_ps[i]] < out_r[in_ps[j]])
    { s = in_ps[i];
      in_ps[i] = in_ps[j];
      in_ps[j] = s;
    }
  }
  c = c + 1;
}

```

```
for (int i = 0; i < 5; i++) // actualizando la matriz f_peak (variable global) con orden descendente
```

```
{  
    f_peaks[i] = out_im[in_ps[i]];  
}  
}
```

```
float sine(int i)
```

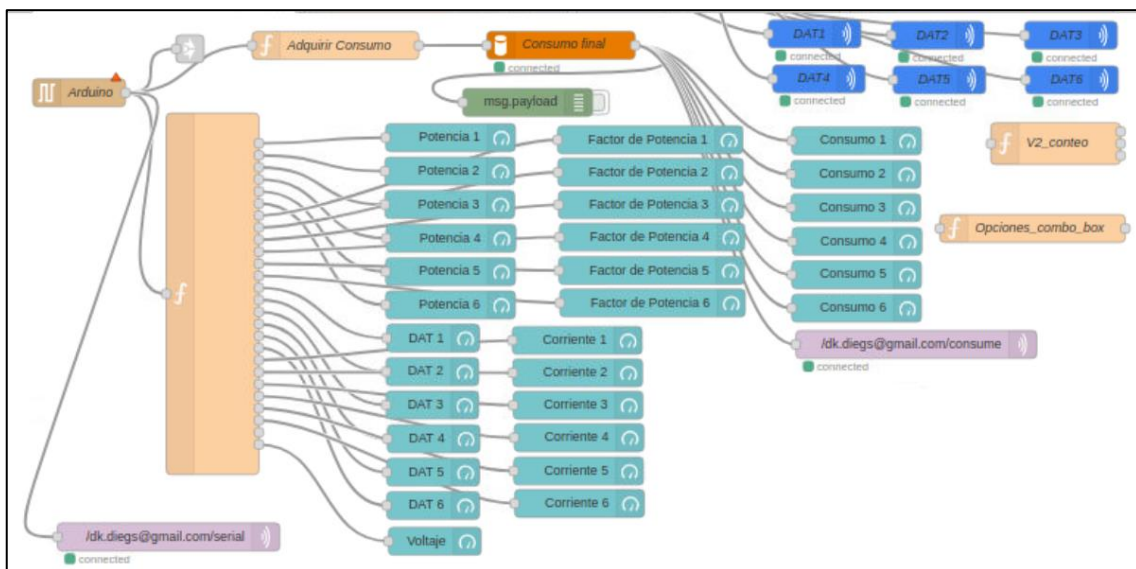
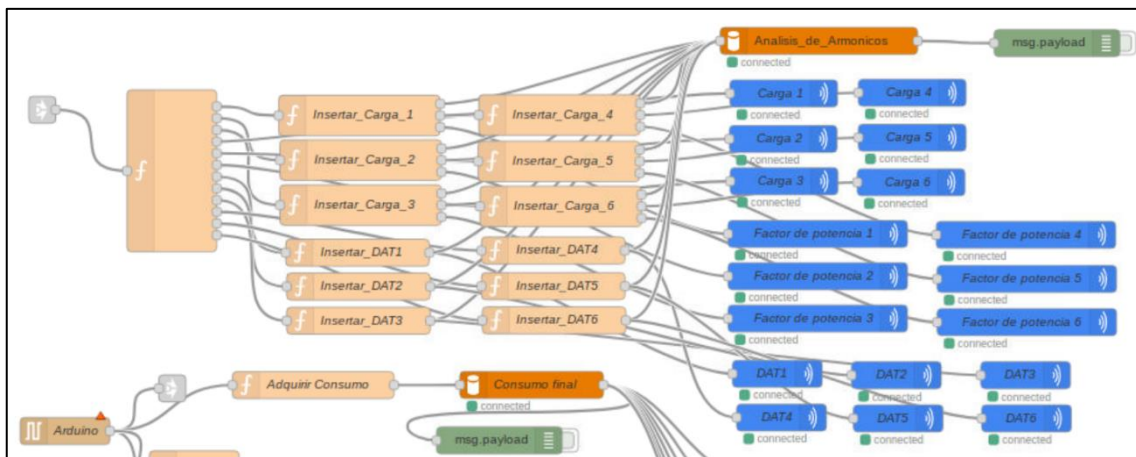
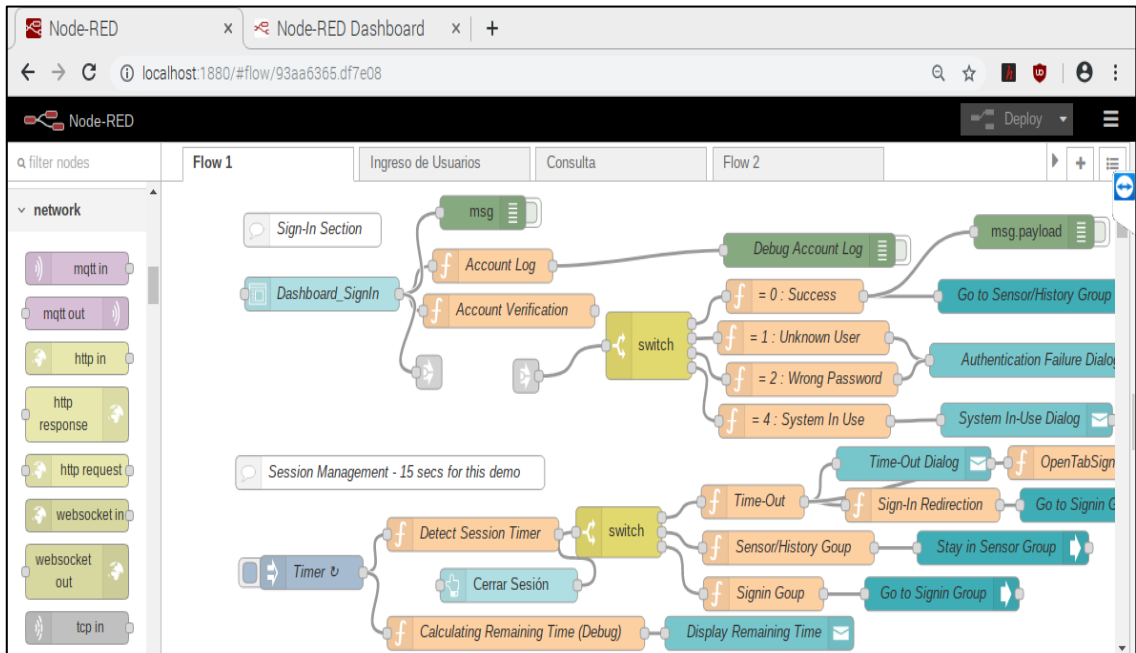
```
{  
    int j = i;  
    float out;  
    while (j < 0) {  
        j = j + 360;  
    }  
    while (j > 360) {  
        j = j - 360;  
    }  
    if (j > -1 && j < 91) {  
        out = sine_data[j];  
    }  
    else if (j > 90 && j < 181) {  
        out = sine_data[180 - j];  
    }  
    else if (j > 180 && j < 271) {  
        out = -sine_data[j - 180];  
    }  
    else if (j > 270 && j < 361) {  
        out = -sine_data[360 - j];  
    }  
    return (out / 255);  
}
```

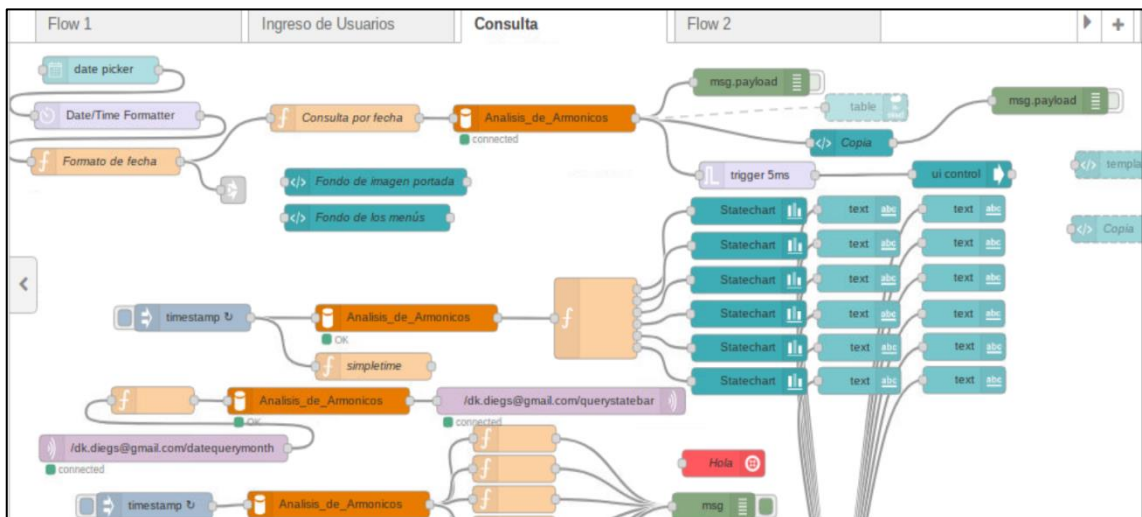
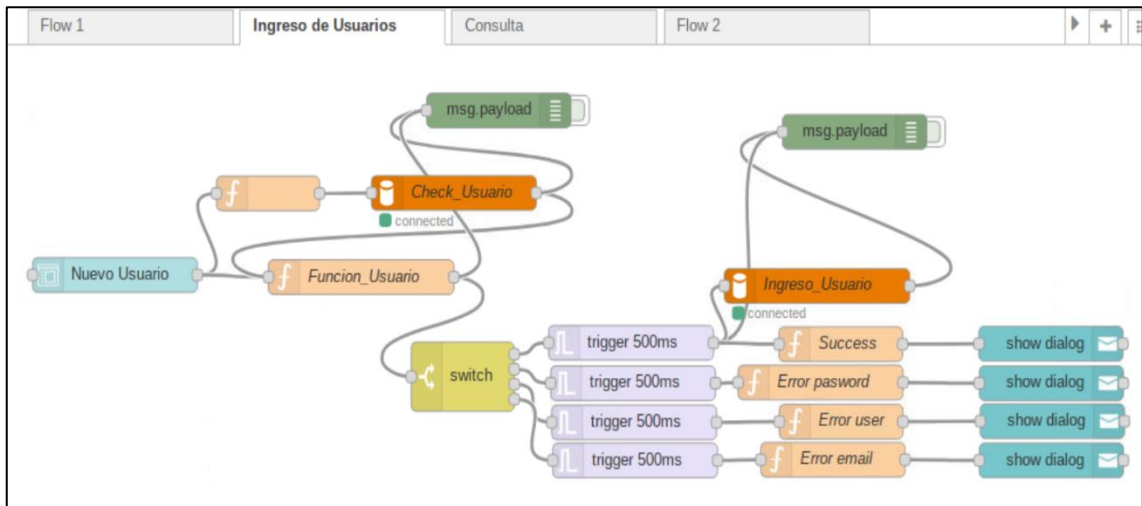
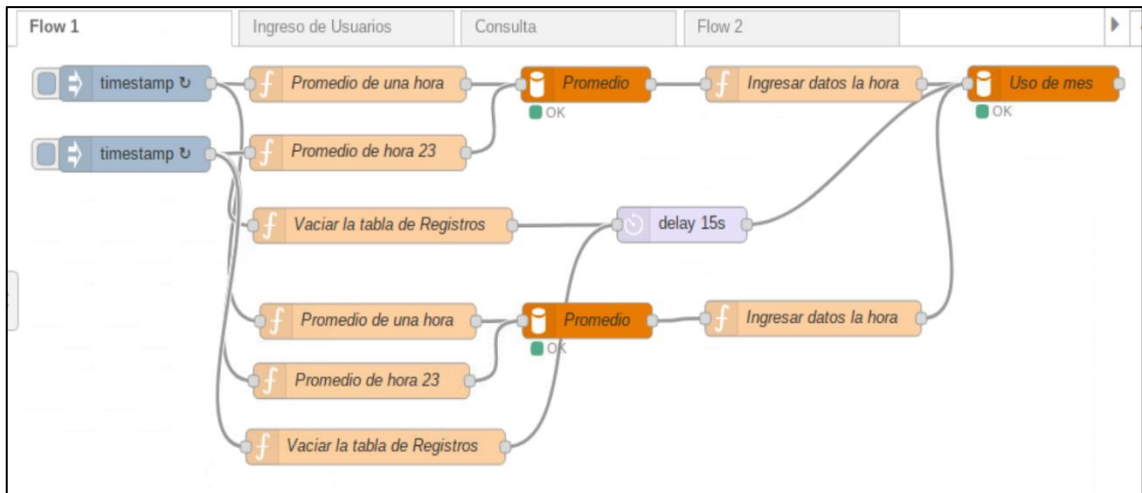
```
float cossine(int i)
```

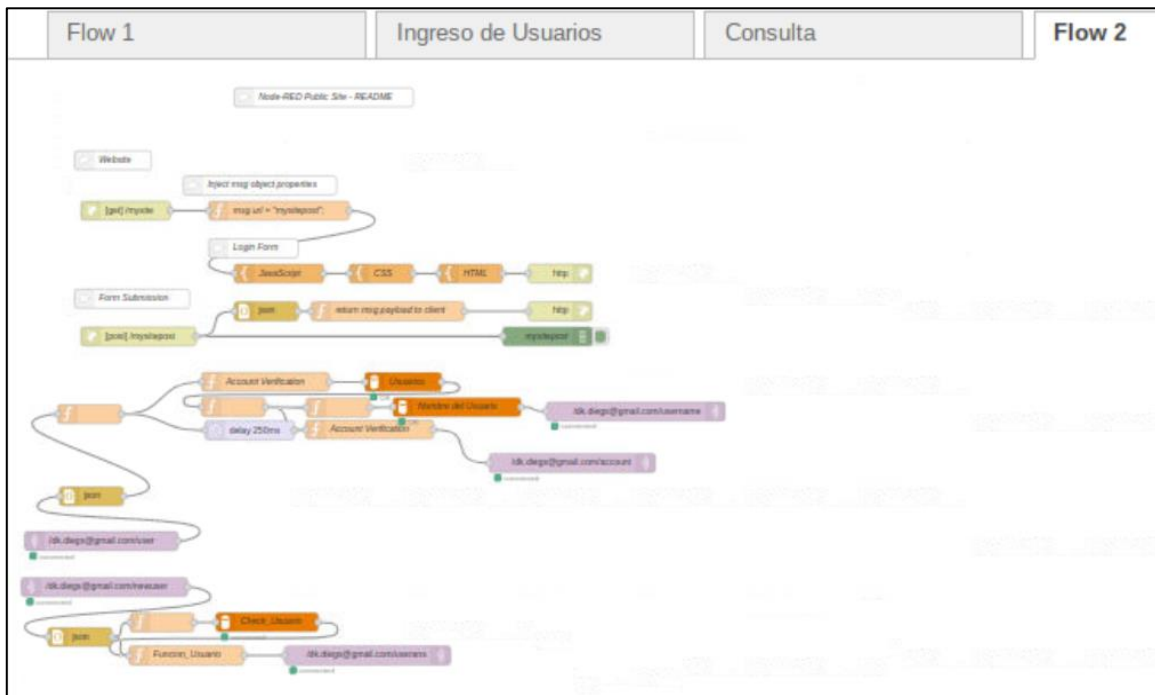
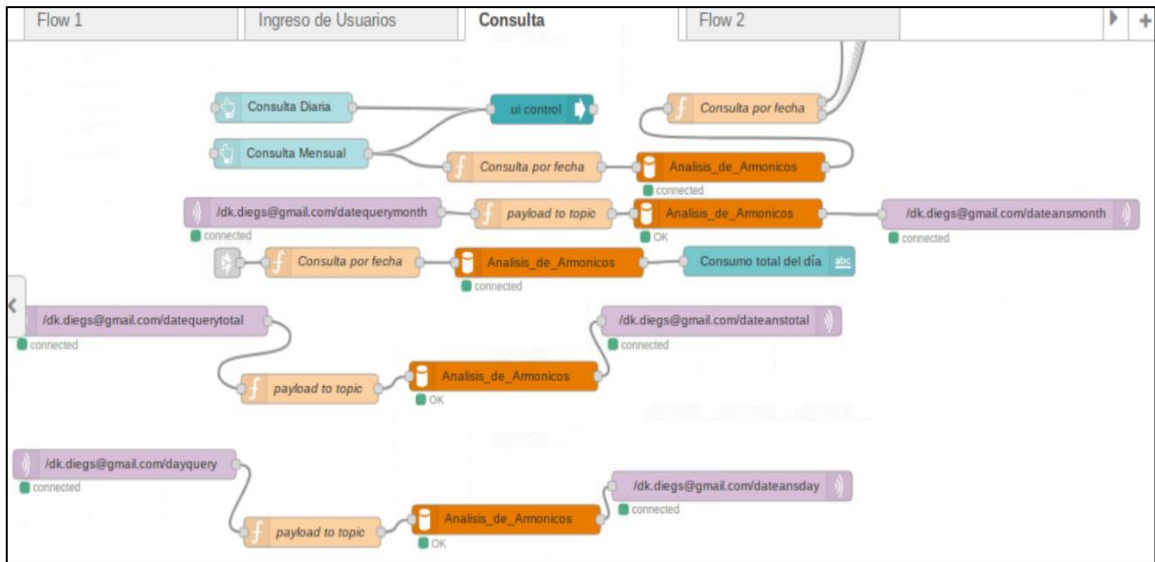
```
{
```

```
int j = i;
float out;
while (j < 0) {
    j = j + 360;
}
while (j > 360) {
    j = j - 360;
}
if (j > -1 && j < 91) {
    out = sine_data[90 - j];
}
else if (j > 90 && j < 181) {
    out = -sine_data[j - 90];
}
else if (j > 180 && j < 271) {
    out = -sine_data[270 - j];
}
else if (j > 270 && j < 361) {
    out = sine_data[j - 270];
}
return (out / 255);
}
```

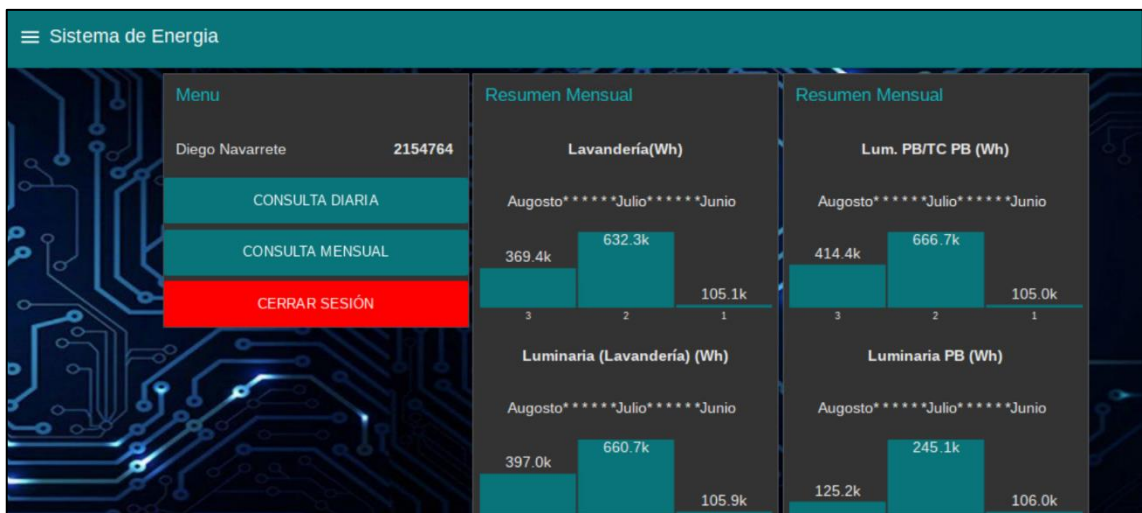
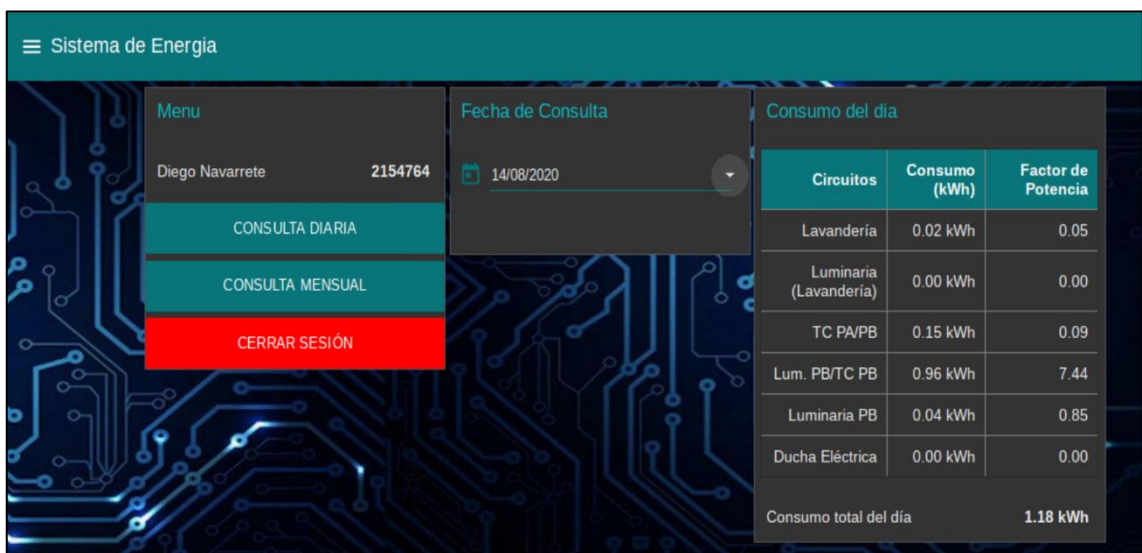
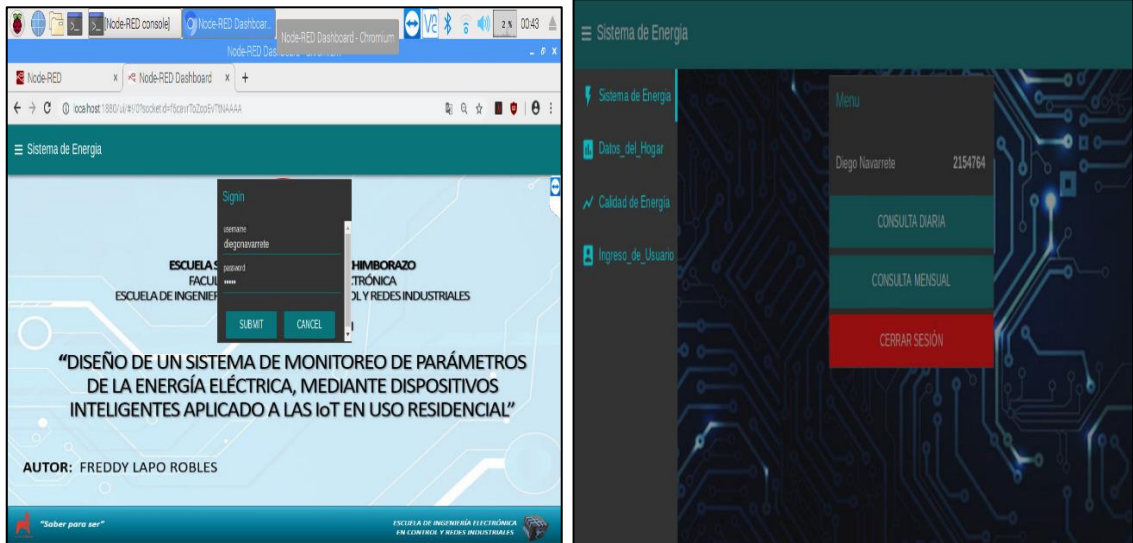
Anexo K: Programación visual a través de diagramas de flujo para el desarrollo de la interfaz





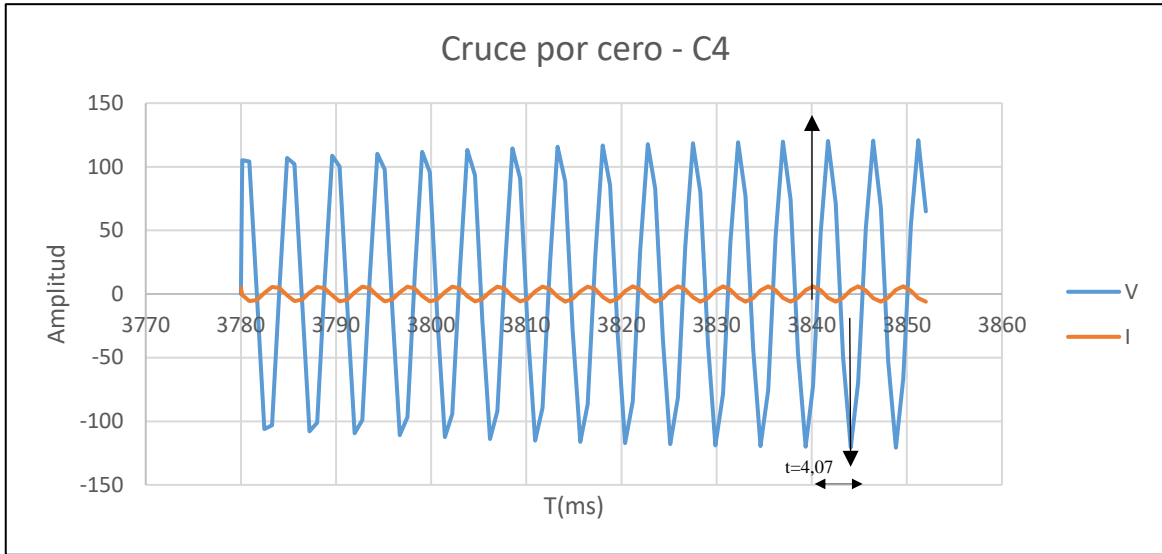


Anexo L: Estructura de la interfaz web desarrollada en Node – Red



Anexo M: Esquematación para la obtención del FP para el circuito 4

a) Obtención del cruce por cero de la corriente y voltaje



Realizado: Lapo, Freddy 2020

b) Registro del cruce por cero y cálculo de ángulo de desfase

# Muestra	Cruce por cero	T(ms)	Tdesfase (ms)	Lectura	Grados
1	I _{corriente}	3.78	----	5.57503 A	----
2	----	3.92	----	1.21894 A	----
3	----	4.61	----	4.56881 A	----
4	----	5.30	----	3.97523 A	----
5	----	5.99	----	2.02318 A	----
6	----	6.61	----	1.08135 A	----
7	----	7.23	----	4.03100 A	----
8	V _{voltaje}	7.85	4.07	5.92 A – 118.07 V	87.89
9	----	8.54	----	4.44439 A	----
10	----	9.23	----	1.39111 A	----
11	----	9.92	----	4.31589 A	----
12	----	10.54	----	1.57473 A	----
13	----	11.16	----	4.04533 A	----
14	----	11.81	----	1.93420 A	----
15	I _{corriente}	11.92	4.07	5.89 A – 115.65 V	87.89

16	----	12.03	----	3.759118 A	----
17	----	12.72	----	2.28702 A	----
18	----	13.41	----	3.61037 A	----
19	----	14.10	----	2.37861 A	----
20	----	14.72	----	2.46012 A	----
21	----	15.34	----	3.45806 A	----
22	V _{voltaje}	15.99	4.07	5.97 A – 118.85 V	87.89

Realizado: Lapo. Freddy 2020

Ecuación: Determinación del ángulo de desfase

$$\theta = \frac{Td * 360}{16,67}$$

Donde:

θ: ángulo de desfase

Td: tiempo desfase entre I y V (Td= 4,07)

El tiempo que se tarda en completar un ciclo con una frecuencia de 60Hz es 16,67ms (1/60Hz).

c) *Ecuaciones Aplicadas para el FP*

Ecuación: Potencia instantánea

$$p(t) = \frac{Im \cdot Vm}{2} [\cos\theta - \cos(2\omega - \theta)]$$

Ecuación: Potencia Activa o Potencia Promedio

$$P = \frac{Vm \cdot Im \cdot \cos\theta}{2}$$

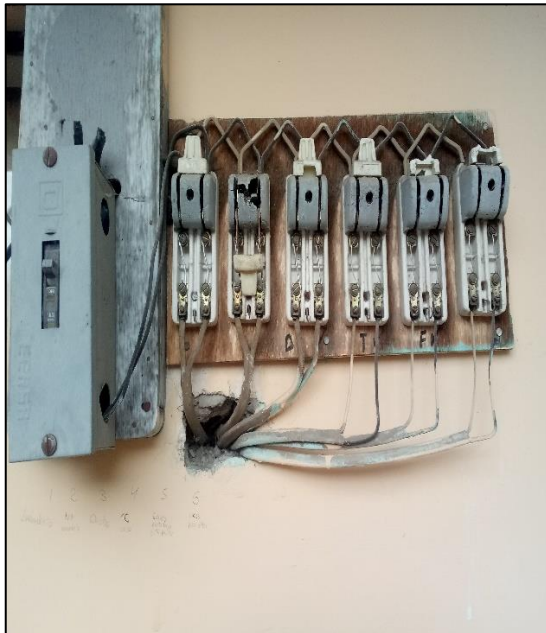
Ecuación: Potencia Aparente

$$S = V_{rms} \cdot I_{rms}$$

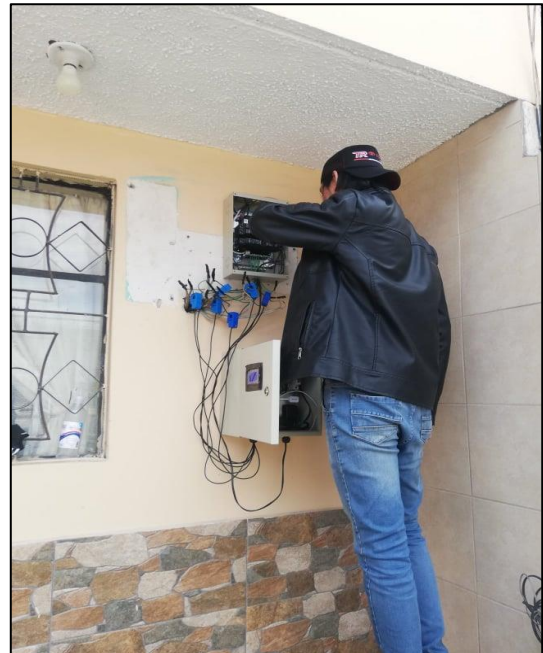
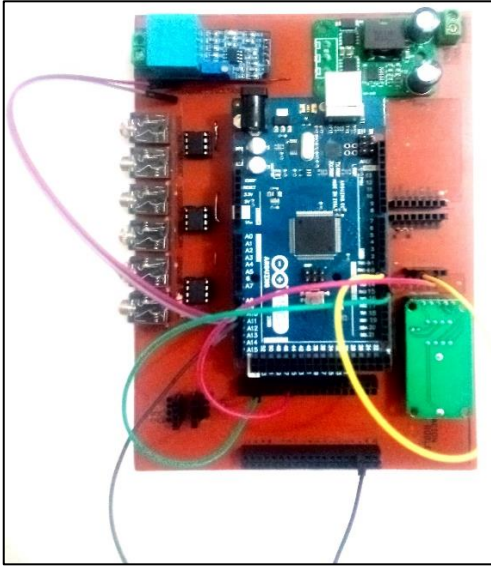
Ecuación: Factor de potencia

$$F = \frac{P}{S}$$

Anexo N: Reemplazamiento de interruptores en el tablero de distribución



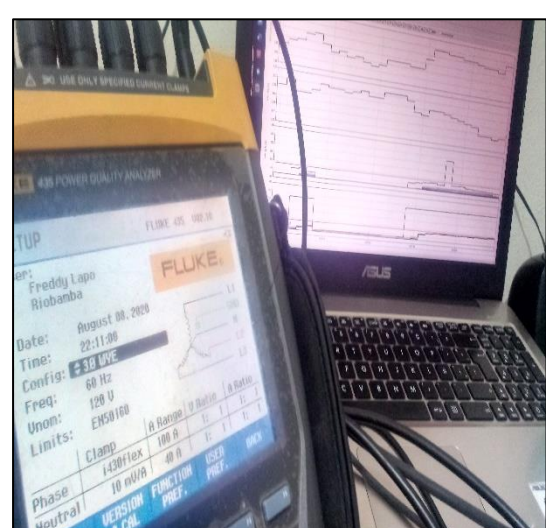
Anexo O: Placa PCB del sistema y montaje en el gabinete eléctrico



Anexo P: Funcionamiento del sistema de monitoreo energético en la residencia

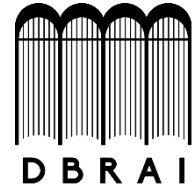


Anexo Q: Registro y toma de datos con el analizador de calidad energética Fluke 435





**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO**



**DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS
PARA EL APRENDIZAJE Y LA INVESTIGACIÓN**

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS
REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega:

INFORMACIÓN DEL AUTOR	
Nombres – Apellidos:	FREDDY EDUARDO LAPO ROBLES
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL	
Facultad:	INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
Carrera:	INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES INDUSTRIALES
Título a optar:	INGENIERO EN ELECTRÓNICA, CONTROL Y REDES INDUSTRIALES
f. Analista de Biblioteca responsable:	

