

**DESARROLLO DE UN SISTEMA IOT PARA MONITOREO Y APOYO EN EL
DIMENSIONAMIENTO DE CONSUMO ENERGÉTICO PARA LA INDUSTRIA
LICORERA DEL CAUCA**



Presentado por:

NELSON EDUARDO GUEVARA MUÑOZ

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA AUTÓNOMA DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA INGENIERÍA ELECTRÓNICA
POPAYÁN
2020**

**DESARROLLO DE UN SISTEMA IOT PARA MONITOREO Y APOYO EN EL
DIMENSIONAMIENTO DE CONSUMO ENERGÉTICO PARA LA INDUSTRIA
LICORERA DEL CAUCA**



NELSON EDUARDO GUEVARA MUÑOZ

Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero en Electrónica

Director Institucional

ING. YAMIR HERNANDO BOLAÑOS

Director Organizacional

ING. JUAN MANUEL SEGURA

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA AUTÓNOMA DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA INGENIERÍA ELECTRÓNICA
POPAYÁN
2020**

NOTA DE ACEPTACIÓN

Aprobado por el comité de grado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca para optar al título de Ingeniero Electrónico.

Yamir Hernando Bolaños
Director

Juan Pablo Diago Rodríguez
Jurado 1

Julián Andrés Caicedo Muñoz
Jurado 2

Popayán, Mayo 2020

DEDICATORIA

Dedicado a Dios y a mi hermosa familia por su incondicional apoyo en todo este proceso de formación, a los docentes por compartir su conocimiento y sabiduría.

Nelson Eduardo Guevara Muñoz

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mis sinceros agradecimientos a mi director Institucional y mi director Organizacional el Ingeniero Yamir Hernando Bolaños y el Ingeniero Juan Manuel Segura por su paciencia, motivación, dedicación, conocimiento y criterio en el desarrollo de este proyecto de tesis, para mi ha sido un verdadero privilegio poder contar con su ayuda y su guía.

A mis compañeros y amigos que estuvieron siempre presentes en esta etapa, nombrarlos a todos sería extenso, por ello, a todos ellos ¡Infinitas gracias!

Nelson Eduardo Guevara Muñoz

TABLA DE CONTENIDO

1	<i>CAPITULO I: CONTEXTO GENERAL</i>	14
1.1	Planteamiento del problema	14
1.2	Justificación	15
1.3	Objetivos	17
1.3.1	General	17
1.3.2	Específicos	17
1.4	Metodología	17
2	<i>CAPITULO II: MARCO TEÓRICO</i>	19
2.1	Energía eléctrica	19
2.1.1	Voltaje	19
2.1.2	Corriente	20
2.1.3	Potencia instantánea	20
2.1.4	Energía activa	20
2.1.5	Energía reactiva.....	20
2.1.6	Armónicos eléctricos.....	20
2.1.7	Factor de potencia	21
2.2	Transformadores de corriente	22
2.2.1	Tipos de transformadores de corriente	22
2.3	Internet de las cosas (IoT).....	23
2.4	Tecnologías inalámbricas	25
2.4.1	LoRa	26
3	<i>CAPITULO III: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN</i>	31
3.1	Arquitectura modular del sistema electrónico.....	32
3.2	Selección de componentes electrónicos.....	33
3.3	Herramientas de desarrollo software.....	39
3.3.1	XAMPP	39
3.3.2	Apache.....	40
3.3.3	MySQL.....	40
3.3.4	HTML	41
3.3.5	PHP	41
3.3.6	CSS	42
3.4	Componentes electrónicos seleccionados	42

3.4.1	Sensor de corriente YHDC SCT016	42
3.4.2	Chip Atmel ATM90E32AS	44
3.4.3	ESP32 VROOM	45
3.4.4	ESP32 LoRa	46
3.5	Diseño esquemático sistema electrónico.....	48
3.5.1	Diseño CAD del circuito impreso PCB.....	53
3.5.2	Archivos gerber de fabricación del PCB	54
3.5.3	Producto final PCB	55
3.6	Configuración chip ATM90E32AS	56
3.6.1	Pines de salida ATM90E32AS.....	56
3.6.2	Modos de potencia	57
3.6.3	Interfaz SPI	59
3.6.4	Ajuste de parámetros para medición	62
3.7	Gateway LoRa	63
3.8	Aplicativo Web	64
3.8.1	Menú principal	65
3.8.2	Gráficos	65
3.8.3	Funcionalidad de documentación	69
3.8.4	Opción bloques	70
4	<i>CAPITULO IV: RESULTADOS, ANÁLISIS Y OBTENCIÓN DE DATOS.....</i>	71
4.1	Descripción de prueba de campo.....	71
4.2	Elementos requeridos	71
4.3	Esquema de conexión	71
4.4	Datos obtenidos	74
4.4.1	Gráficas voltaje	74
4.4.2	Gráficas corriente	76
4.4.3	Gráficas potencia activa	79
4.4.4	Gráficas potencia reactiva	79
4.4.5	Gráficas factor de potencia	80
4.4.6	Gráficas frecuencia	81
4.4.7	Gráficas temperatura	82
5	<i>CONCLUSIONES.....</i>	83
6	<i>TRABAJOS FUTUROS.....</i>	84
7	<i>REFERENCIAS</i>	85

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: UPME 2015 (Unidad de Planeación Minero Energético).....	15
Figura 2: Fases marco lógico.....	18
Figura 3: Descripción gráfica de armónicos.....	21
Figura 4: Relación matemática entre (P),(S) y (Q).....	21
Figura 5: Estructura física transformador de corriente.....	22
Figura 6: Representación gráfica IoT.....	24
Figura 7: Arquitectura de un sistema IoT.....	25
Figura 8: Estructura de red LoRaWAN.....	27
Figura 9: Clases de dispositivos LoRaWAN.....	27
Figura 10: Relación velocidad/distancia en LoRaWAN.....	29
Figura 11: Estructura PHY Uplink.....	29
Figura 12: Estructura PHY Downlink.....	29
Figura 13: Diagrama de implementación sistema IoT.....	32
Figura 14: Panel de control principal XAMPP.....	40
Figura 15: Proceso de petición HTTP con código PHP.....	41
Figura 16: Sensor de corriente SCT016 – Tipo núcleo dividido.....	42
Figura 17: Diagrama de tamaño TC SCT016.....	43
Figura 18: Diagrama de cableado TC SCT016.....	43
Figura 19: Chip Atmel ATM90E32AS.....	44
Figura 20: Diagrama de bloques chip ATM90E32AS.....	45
Figura 21: Módulo ESP32 VROOM.....	45
Figura 22: Placa ESP32 LoRa.....	46
Figura 23: Módulo con chip Semtech SX1276/SX1278.....	48
Figura 24: Diagrama esquemático energy meter board V1.0.....	48
Figura 25: Diagrama esquemático energy meter board V2.0.....	49
Figura 26: Retenedores simples – Energy metering board.....	50
Figura 27: Acondicionamiento señal de entrada, Voltaje.....	50
Figura 28: Acondicionamiento señal de entrada, Voltaje.....	51
Figura 29: Comunicación SPI maestro – esclavo.....	51
Figura 30: Resistencias “Pull-Up” – Energy metering board V1.0 y V2.0.....	52
Figura 31: Acondicionamiento señal de entrada, Corriente.....	52
Figura 32: Capa Top PCB V1.0 y V2.0.....	53
Figura 33: Capa Buttom PCB V1.0 y V2.0.....	53
Figura 34: Máscara de componentes PCB V1.0 y V2.0.....	54
Figura 35: Imágenes gerber PCB V1.0.....	54
Figura 36: Imágenes gerber PCB V2.0.....	55
Figura 37: Capa Top PCB Final.....	55
Figura 38: Capa Buttom PCB Final.....	56

Figura 39: Partes activas en Modo normal ATM90E32AS.....	57
Figura 40: Partes activas en Modo Idle ATM90E32AS.....	58
Figura 41: Partes activas en Modo detección ATM90E32AS.	58
Figura 42: Partes activas en Modo medida parcial ATM90E32AS.	59
Figura 43: Comunicación SPI maestro - esclavo.....	60
Figura 44: Tipos de comunicación SPI.....	60
Figura 45: Secuencia de lectura.....	61
Figura 46: Secuencia de escritura.....	62
Figura 47: Diagrama cliente - servidor.....	63
Figura 48: Estructura HTTP tipo GET.....	63
Figura 49: Base de datos creada en MySQL.....	64
Figura 50: Gateway ESP32 LoRa.....	64
Figura 51: Menú principal – Aplicativo Web.....	65
Figura 52: Variables eléctricas monitoreadas – Aplicativo Web.....	66
Figura 53: Submenú – Aplicativo Web.....	66
Figura 54: Gráfico Meter – Aplicativo Web.....	67
Figura 55: Opciones de descarga – Aplicativo Web.....	67
Figura 56: Gráfica de corriente mediante unión de puntos.....	68
Figura 57: Gráfico de corriente mediante barras.....	68
Figura 58: Reporte Excel descargable.....	69
Figura 59: Documentación.....	70
Figura 60: Bloques.....	70
Figura 61: Esquemático de conexiones ESP 32, ESP32 LoRa, ATM90E32AS y Sensores de corriente SCT016.....	72
Figura 62: Circuito área administrativa – Industria Licorera del Cauca.....	72
Figura 63: Totalizador principal eléctrico – Industria Licorera del Cauca.....	73
Figura 64: Ubicación nodo, gateway - Industria Licorera del Cauca.....	74
Figura 65: Gráfica voltaje VF1 – Periodo de muestreo.....	75
Figura 66: Gráfica voltaje VF2 – Periodo de muestreo.....	75
Figura 67: Gráfica voltaje VF3 – Periodo de muestreo.....	76
Figura 68: Gráfica corriente IF1 – Periodo de muestreo.....	77
Figura 69: Gráfica corriente IF2 – Periodo de muestreo.....	77
Figura 70: Gráfica corriente IF3 – Periodo de muestreo.....	78
Figura 71: Gráfica potencia activa – Periodo de muestreo.....	79
Figura 72: Gráfica potencia reactiva – Periodo de muestreo.....	80
Figura 73: Gráfica factor de potencia – Periodo de muestreo.....	81
Figura 74: Gráfica frecuencia– Periodo de muestreo.....	81
Figura 75: Gráfica temperatura – Periodo de muestreo.....	82

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Tipos de sensores de corriente.	23
Tabla 2: Características técnicas básicas - Tecnologías inalámbricas.	25
Tabla 3: Relación entre SF y la sensibilidad.....	28
Tabla 4: Requerimientos funcionales del sistema electrónico.....	31
Tabla 5: Características principales sensores de corriente.....	34
Tabla 6: Matriz de selección sensores de corriente.	35
Tabla 7: Características principales IC (Circuitos integrados).....	35
Tabla 8: Matriz de selección IC (Circuito Integrado).....	36
Tabla 9: Características principales Unidad de control.	37
Tabla 10: Matriz de selección Unidad de control.....	38
Tabla 11: Características principales LPWANS.	38
Tabla 12: Matriz de selección LPWANS.....	39
Tabla 13: Herramientas de desarrollo software.....	39
Tabla 14: Parámetros eléctricos y/o técnicos sensor SCT016.	43
Tabla 15: Modos de operación ATM90E32AS.	56
Tabla 16: Modos de potencia ATM90E32AS.....	57
Tabla 17: Modos de operación SPI.	61
Tabla 18: Formato de instrucciones para la comunicación SPI.....	61
Tabla 19: Tipos de calibración ATM90E32AS.....	62
Tabla 20: Elementos requeridos para prueba en campo.....	71

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1: Joule [19].....	19
Ecuación 2: Voltaje [19].	20
Ecuación 3: Corriente [19].	20
Ecuación 4: Potencia instantánea [19].....	20

RESUMEN

En este trabajo de grado se muestra el desarrollo e implementación de un sistema IoT para el monitoreo de variables eléctricas, que permita dimensionar el consumo energético en circuitos internos de la Industria Licorera del Cauca. El diseño del sistema se basa en dos componentes: La medición y la interfaz de usuario.

Para el componente de medición se realizó el diseño e implementación de un medidor polifásico de alto rendimiento y precisión basado en tecnología LoRa, así como también la programación del dispositivo y ajuste de parámetros para medición. En segunda instancia se desarrolló una plataforma web para la visualización de datos eléctricos, que permitió poner a prueba el sistema en el circuito del área administrativa de la empresa, obteniendo datos para identificar consumos en el tiempo, con el cual se pueda luego desarrollar un plan de gestión encaminado a la reducción de consumo energético.

Palabras claves: Sistema IoT, Consumo energético, Medidor de energía, LoRa, Servidor web local, Aplicativo web.

ABSTRACT

This degree work shows the development and implementation of an IoT system for the monitoring of electrical variables, which allows to measure the energy consumption at Licorera del Cauca's internal circuits. The system design is based on two components: Measurement and the user interface.

For the measurement component, the design and implementation of a high-performance and precision polyphase meter based on LoRa technology, as well as the programming of the device and adjustment of parameters for measurement. In the second instance, a web platform has been developed for visualization of electrical data, which is established to test the system in the circuit of administrative area of the company, getting data to identify consumption over time, with which you can then develop a management plan aimed at reducing energy consumption.

Key words: IoT System, Energy consumption, Energy meter, Local web server, Web application.

INTRODUCCIÓN

Es fundamental la influencia que tiene la energía eléctrica en el desarrollo económico y productivo de las industrias, siendo el principal insumo para generar bienes y servicios, según el BECO (Balance Energético Colombiano) en Colombia el sector industrial consume casi el 30% de la energía final del país [1].

Por otra parte, el agotamiento de las fuentes de generación y el alto consumo energético ha hecho que el sector busque reducir costos de producción por el alto valor de la electricidad, mediante planes de gestión de energía y uso de tecnologías para tomar decisiones correctas encaminadas a reducir el consumo energético [2].

Por este motivo, desde el campo de la ingeniería se puede contribuir al desarrollo de herramientas basadas en IoT, que permitan desarrollar de forma automática la recolección de información hacia plataformas en la nube donde se podrá realizar procesamiento y análisis para toma de decisiones.

Dicho esto, el presente trabajo de grado tiene como propósito monitorear parámetros eléctricos en circuitos internos de la Industria Licorera del Cauca, a través de un sistema electrónico de arquitectura IoT. Esto facilitará al personal no trasladarse a lugares de riesgo como tableros de distribución eléctrica para obtener muestras y así poder realizar históricos de los resultados obtenidos.

Problema de investigación: ¿Cómo obtener medidas de variables eléctricas durante largos periodos de tiempo y que estén disponibles para posterior análisis de consumo?

CAPITULO I: CONTEXTO GENERAL

1.1 Planteamiento del problema

La industria ha sido uno de los pilares fundamentales para el desarrollo económico y productivo de las últimas décadas, haciendo uso de la electricidad como principal insumo para producción de bienes y servicios, por tal razón al no tener un control óptimo de gasto energético se ha evidenciado el alto consumo eléctrico mundialmente a nivel industrial [1], generando impactos negativos a nivel ambiental debido al agotamiento de las fuentes de generación y económicos dado que, la electricidad a medida del tiempo tiene alta volatilidad de los precios disparando los costes de producción [2].

La mayor parte de energía primaria en Colombia es generada a partir de la hidroelectricidad, gracias a la abundancia de agua en la mayoría de zonas del país, y en segundo lugar de los combustibles fósiles (petróleo, gas y carbón), cuyas reservas son limitadas y se están agotando [3], incentivando a la generación de energías alternativas, entre ellas la Energía solar, Eólica, Oceánica entre otras, provenientes de los ciclos naturales del planeta, haciendo posible disponer del recurso de manera continua [4].

De acuerdo con el plan de acción indicativo de eficiencia energética 2017 – 2022 y de acuerdo con el BECO (Balance Energético Colombiano) en Colombia el sector industrial consume casi el 30% de la energía final del país, siendo el segundo sector con más gasto energético después del sector transporte, que consume aproximadamente un 40% [5]. En la figura 1 se presenta de manera gráfica la distribución del uso de la energía eléctrica en la industria.

Los porcentajes que componen la figura 1, relacionan un alto costo monetario en la facturación de energía, siendo la fuerza motriz la más importante para el proceso industrial [6]:

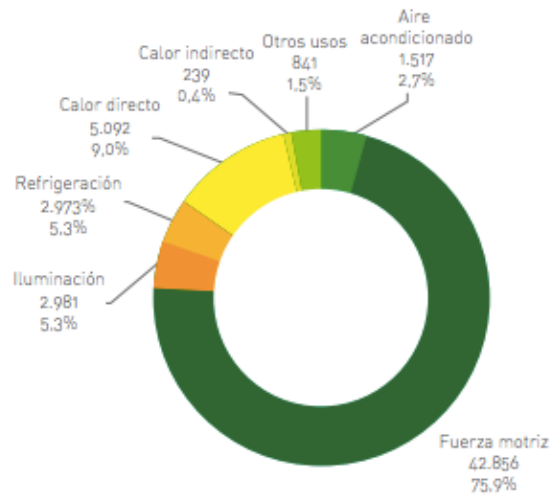


Figura 1: UPME 2015 (Unidad de Planeación Minero Energético) [5].

Por ello las empresas buscan reducir el costo mediante el desarrollo de planes de gestión de energía y uso de tecnologías para medición de consumo [7]. Es así como en el mercado existen empresas especializadas en obtener perfiles de consumo energético de las industrias, pero el acceso a este tipo de tecnologías de medición no siempre es viable dado que el costo es elevado limitando a pequeñas industrias o empresas acceder al servicio y poder perfilar su gasto energético [43], para así generar planes de gestión encaminados a optimizar y reducir costos operativos.

Para la Industria Licorera de Cauca es importante establecer planes de gestión de consumo energético en determinados circuitos de su red interna, mediante acciones iniciales como lo es el contraste entre energía consumida con la energía facturada, de no ser así nunca podrá perfilar su gasto energético lo que conllevará al aumento de costos de sus productos con el tiempo, convirtiéndose en una empresa no competitiva frente a otras fuertemente posicionadas en el mercado.

1.2 Justificación

El proceso de monitoreo es fundamental para determinar el consumo energético, donde se busca una certificación de la norma ISO 50001 mediante la implementación de estrategias de ahorro para contribuir significativamente al ciclo de eficiencia energética [8], ya que se busca satisfacer toda la demanda eléctrica de forma sostenible a todos los sectores consumidores. Por este motivo, desde el campo de la ingeniería y a nivel operativo se puede hacer uso de las ciencias de la electrónica para desarrollar soluciones tecnológicas como herramientas de apoyo al proceso de monitoreo energético utilizando tecnologías como IoT, que permite la captura y transferencia de datos a la nube [9], siendo posible contar con sistemas

que a través de un aplicativo web se pueda monitorear medidas reales y continuas, en periodos de tiempo que permitan una visión detallada del comportamiento de diferentes variables eléctricas asociadas al consumo energético, entre ellas la Tensión (V), Corriente (I), Energía activa (P) y Energía reactiva (Q).

Por otra parte, las vibraciones en las maquinas eléctricas conectadas a la red, la sobrecarga en los conductores de las fases y el disparo de interruptores automáticos entre otras, son alteraciones eléctricas comunes en el proceso industrial a causa de la energía reactiva y armónicos, lo que hace que sea altamente recomendado evitar, cancelar o disminuir al máximo la presencia de los mismos a futuro [10], [11]. Al respecto en Colombia se han establecido diferentes resoluciones por parte de la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), como la 065 de 2012, donde se expresa que, si el usuario consume un 50% más de potencia reactiva que de potencia activa, deberá pagar una penalización, igualmente en el artículo 25 de la 108 de 1997 dicta que el factor de potencia debe ser un valor fijo de 0.9 [12], [13], [14].

Dicho esto, finalmente es importante para la Industria Licorera del Cauca poder contar con procesos e instrumentos orientados a la reducción de consumo energético lo que conllevaría a tener una serie de beneficios a mediano y largo plazo, entre ellos [15]:

- Reducción en la facturación de energía.
- Mejora el rendimiento de los equipos por el aumento en el control y seguimiento de los mismos.
- Reducción de penalización en la facturación de energía.
- Incorporación de la innovación tecnológica.
- Mejoramiento de la competitividad.
- Sostenibilidad económica, empresarial, ambiental entre otras.

Siendo esta organización una empresa importante a nivel regional, dado que, parte de sus recursos están destinados a la generación de beneficios para la comunidad en sectores como la recreación, cultura, salud y deporte [16].

1.3 Objetivos

1.3.1 General

- Desarrollo de un sistema basado en IoT para monitoreo y apoyo en el dimensionamiento de consumo energético para la Industria Licorera del Cauca.

1.3.2 Específicos

- Diseñar un escenario de supervisión de variables eléctricas basado en tecnología IoT.
- Desarrollar un prototipo electrónico para la adquisición de los datos entregados por el medidor.
- Evaluar la operación del sistema IoT implementado mediante la toma de datos eléctricos en un circuito de la red interna designado por la empresa.

1.4 Metodología

Para realizar el presente proyecto, se propone una metodología basada en el marco lógico a desarrollar por fases, relacionados con los objetivos específicos como observa en la figura 2.

Fase 1: Se relaciona con el proceso de conceptualización, el contar con esta fase se espera obtener información que permita abordar el proceso de investigación de manera más formal, teniendo en cuenta conceptos y terminología.

Fase 2-5: Se relaciona con las fases de investigación y desarrollo del sistema IoT propuesto. Culminar estas fases permitirá cumplir con el primer objetivo del proyecto.

Fase 6-7: Se relaciona con las primeras pruebas al sistema IoT para el ajuste de parámetros y la toma de datos en un punto estratégico de la empresa.

Fase 8-9: El culminar estas etapas permitirán comprobar el correcto funcionamiento físico del sistema junto con el análisis de las gráficas de consumo en el aplicativo web.

Fase 10: Esta fase se relaciona con la documentación que se desarrollará durante el tiempo propuesto en este proyecto, con el fin de evaluar el sistema IoT.

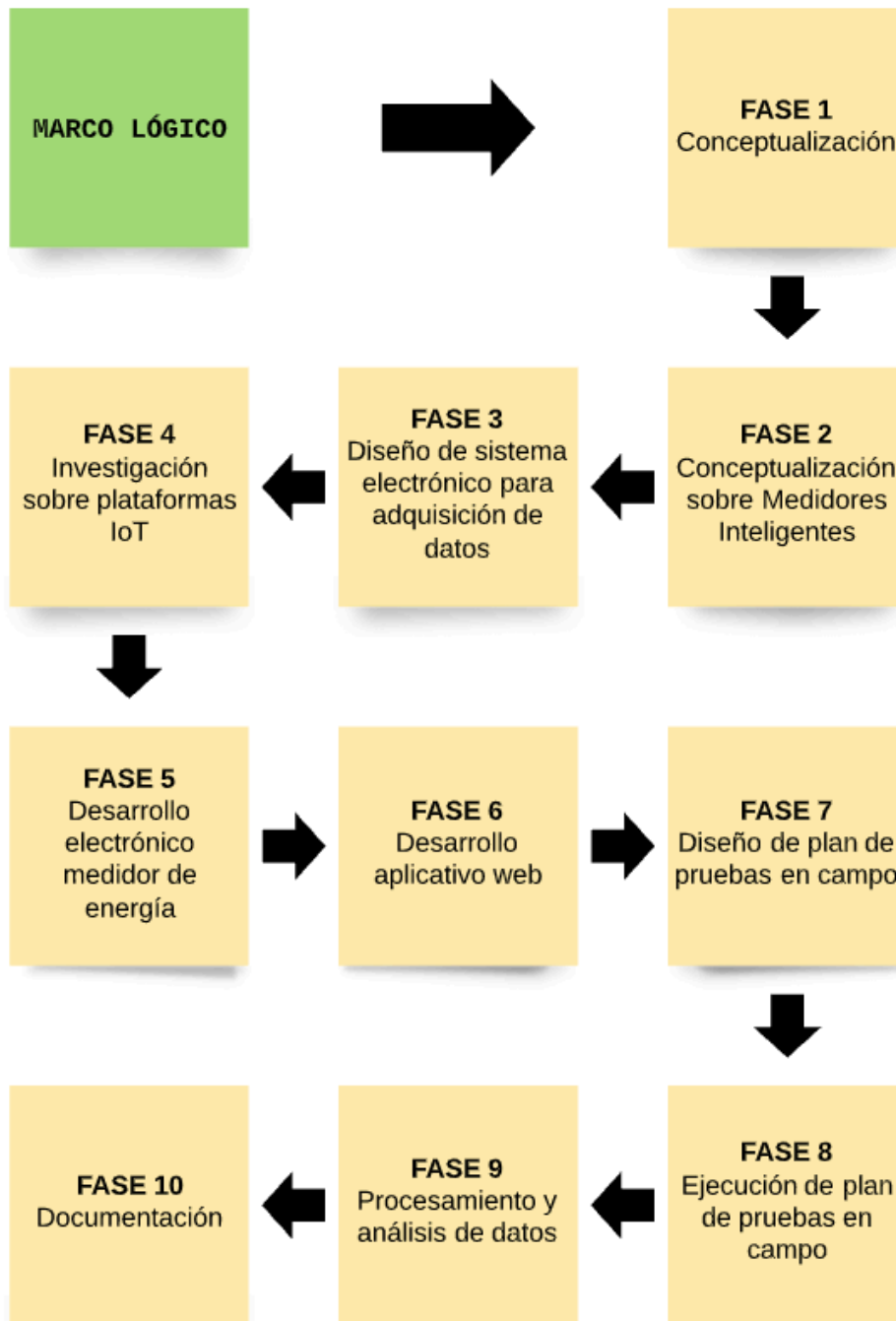


Figura 2: Fases marco lógico. Fuente propia.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

Esta sección tiene como propósito aportar contenido para una conceptualización básica y específica, sobre los temas relacionados con el desarrollo del proyecto.

2.1 Energía eléctrica

La energía eléctrica es fuente de energía renovable que se deriva de la existencia en la materia de cargas eléctricas positivas y negativas que se neutralizan [17], la cual proviene de centrales de generación, su clase es determinada por el tipo de generadora, ejemplos son: centrales solares, hidroeléctricas, térmicas, biomasa, nucleares o por la quema de algún combustible como gasolina o Diésel [18].

La energía eléctrica se puede transformar en otros tipos como lumínica, mecánica y térmica, siendo un insumo importante para el desarrollo tecnológico debido a su facilidad de generación, distribución y gran número de aplicaciones [18].

El trabajo realizado por este tipo de energía se mide en 'joule' (J) y la potencia se mide en joule por segundo (J/s) que equivale a 1 watt (W) como se puede observa en la ecuación 1 [19]:

$$\text{Joule} = \text{Watts} * \text{segundo} = \text{Potencia} * \text{unidad(tiempo)}$$

Ecuación 1: Joule [19].

Esto quiere decir, que todo dispositivo eléctrico o electrónico cuando está funcionando genera un consumo de energía eléctrica en función de la potencia. El kilovatio- hora (KWh) es la unidad de medida en la que se factura el consumo eléctrico industrial o doméstico.

Seguidamente se presentan diferentes variables eléctricas, con las cuales es posibles determinar el consumo energético y posibles alteraciones en la red eléctrica.

2.1.1 Voltaje

Denominado también como diferencia de potencial, es la energía que impulsa a los electrones a lo largo de un circuito eléctrico cerrado siendo **v** el voltaje, **W** la energía en Joules (J) y **q** la carga en Coulomb (C), su unidad de medida se expresa en Voltios (V) como se observa en la ecuación 2 [19]:

$$v(t) = \frac{dW}{dq}$$

Ecuación 2: Voltaje [19].

2.1.2 Corriente

Es el flujo de electrones entre dos puntos de un conductor que se encuentran a distinto potencial eléctrico siendo **i** la corriente, **q** la carga y **t** el tiempo, su unidad de medida es el Amperio (A) como se observa en la ecuación 3 [19]:

$$i(t) = \frac{dq}{dt}$$

Ecuación 3: Corriente [19].

2.1.3 Potencia instantánea

Se define como el producto del voltaje por la corriente siendo la capacidad que tiene la electricidad de producir trabajo, su unidad de medida se expresa en Watts (W) como se observa en la ecuación 4 [19]:

$$p(t) = v(t) * i(t)$$

Ecuación 4: Potencia instantánea [19].

2.1.4 Energía activa

Es aquella que al ingresar a una instalación por los conductores de electricidad produce luz, calor y movimiento, es decir produce trabajo, su unidad de medida es Kilo-vatio-hora (KWh) [10].

2.1.5 Energía reactiva

Es la requerida para crear campo magnético en las bobinas de los motores, transformadores etc. Es considerada como una energía fantasma que produce sobrecarga en la red eléctrica, la cual no genera calor, luz, ni movimiento. Su unidad de medida se expresa en Kilo-vares-hora (KVARh) [10], [20].

2.1.6 Armónicos eléctricos

Son distorsiones en las ondas senosoidales en tensión o corriente en los sistemas eléctricos a causa de materiales ferromagnéticos, computadores, circuitos rectificadores o por el uso de equipos de conmutación etc.

Dicho lo anterior, una posible solución para corregir este tipo de problema es diseñando y ubicando filtros en el lado de baja tensión, en segundo lugar, buscando

la manera de reducir pérdidas y mantener los niveles adecuados de armónicos haciendo uso de condensadores, filtros pasivos o activos [10], [11].

En la figura 3 se puede observar armónicos afectando una señal de voltaje alterno:

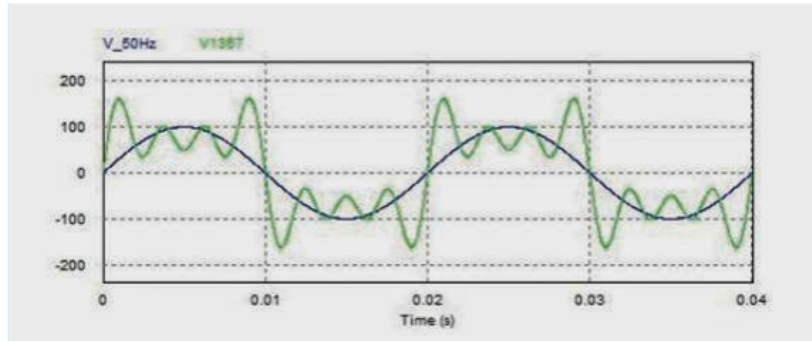


Figura 3: Descripción gráfica de armónicos [21].

2.1.7 Factor de potencia

Es la relación entre corriente y voltaje en sistemas eléctricos alternos, en condiciones ideales la corriente y el voltaje se encuentran en “fase” y el factor de potencia tiende a un valor muy cercano a 1, esto quiere decir que, si existen cargas inductivas en el circuito como motores el factor de potencia se verá afectado disminuyendo su valor cercano a 1 por ejemplo, 0.9 o 0.8. Dicho esto, en términos eléctricos hace que fluya más corriente eléctrica en las redes de distribución [21].

Para simplificar en la figura 4 se puede observar matemáticamente el factor de potencia, FP o $\cos \varphi$, de un circuito de corriente alterna, se calcula como el cociente entre la potencia activa (P) y la potencia aparente (S) [19].

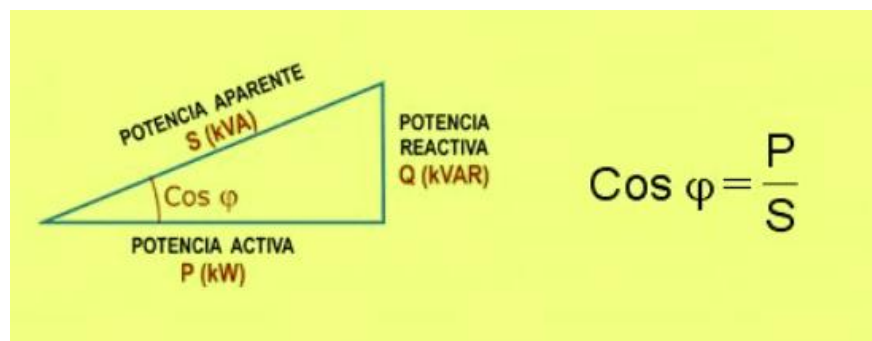


Figura 4: Relación matemática entre (P),(S) y (Q) [22].

2.2 Transformadores de corriente

Un transformador de corriente conocido como (TC) es un sensor diseñado para proporcionar una corriente menor en el segundo devanado respecto al devanado primario (Conductor principal).

Este dispositivo permite medir corrientes de magnitudes del orden de los amperios a magnitudes más pequeñas que son capaces de ser detectadas por electrónica de baja potencia, de esta manera es seguro monitorear el flujo de corriente eléctrica alterna.

Así mismo, los TC tienen diferentes relaciones por ejemplo 100:5 o 100:50 es decir, si en el devanado primario están fluyendo 100 amperios se obtendrá una corriente de 5A o 50 mA en el segundo devanado [23].

Para ilustrar mejor en la figura 5 se puede observar la estructura física de un transformador de corriente:

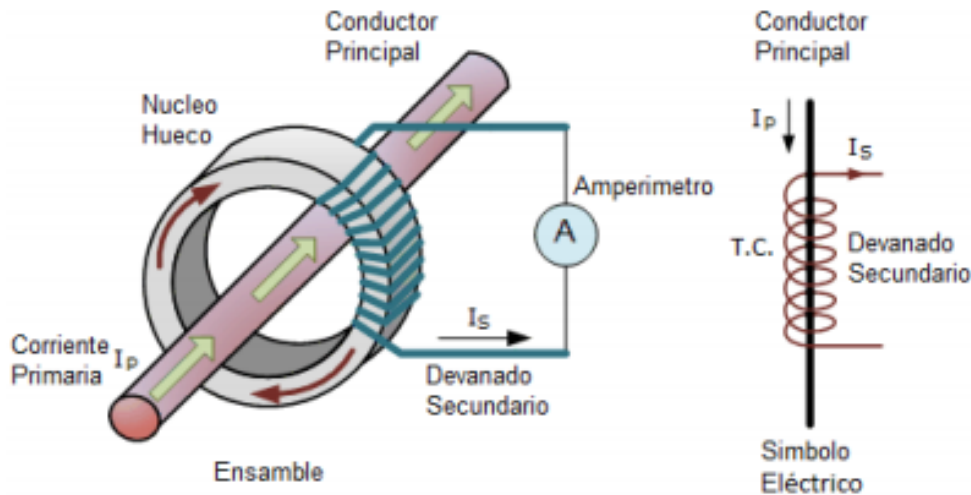


Figura 5: Estructura física transformador de corriente [23].

2.2.1 Tipos de transformadores de corriente

Existen diferentes tipos de transformadores de corriente según su construcción. En la tabla 1 [23], se describen algunos de ellos:

Tipo	Descripción	Imagen
Devanado primario	Poseen mas de una vuelta en el devanado primario. Los devanados primarios y secundarios se	

	encuentran totalmente aislados a un núcleo laminado [23].	
Barra	Los devanados primarios y secundarios se encuentran totalmente aislados por un núcleo laminado. El devanado primario es un conductor tipo barra que pasa por la ventana de un núcleo [23].	
Ventana	Tienen un devanado secundario aislado del núcleo y ensamblado permanentemente a él, pero no posee un devanado primario como parte integrada al transformador. Está previsto con aislamiento completo para que un conductor primario pase a través de la ventana [23].	

Tabla 1: Tipos de sensores de corriente.

2.3 Internet de las cosas (IoT)

El internet de las cosas tiene como objetivo principal la interconexión digital de múltiples dispositivos electrónicos con internet, conformado por múltiples sensores que conectan el mundo físico con el digital, y por medio de computadores y plataformas software es posible procesar y almacenar datos para su visualización [24].



Figura 7: Arquitectura de un sistema IoT [28].

2.4 Tecnologías inalámbricas

En la actualidad existe una gran variedad de tecnologías inalámbricas comunes en IoT, que permiten la transmisión de datos como Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee, LoRa, 2G/3G/4G entre otras [29].

Cada una de estas tecnologías posee características especiales que hacen posible diferentes aplicaciones. La tabla 2 permite observar una comparación técnica general de las principales tecnologías [29]:

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS BÁSICAS			
Tecnología	Alcance	Cantidad de dispositivos	Aplicaciones
ZigBee	10-75 m	65.525	Control remoto
Wi-Fi	50 m	255	Navegar en internet, Redes de computadores
Bluetooth	50-150 m	2	Móviles, Informática casera
Telefonía Móvil	200 Km	Indeterminado	Navegar en internet, Comunicación celular
LoRa	15 Km	62.500	IoT, Redes de sensores, Medidores inteligentes

Tabla 2: Características técnicas básicas.

El siguiente ítem se presenta de forma específica la tecnología LoRa, la cual fue empleada en el desarrollo del proyecto y su elección justificada se presenta en la etapa de diseño.

2.4.1 LoRa

LoRa es una tecnología inalámbrica con modulación de radiofrecuencia similar a AM, FM o el PSK (Modulación por desplazamiento de fase), comúnmente utilizados en comunicaciones militares, diseñado para aplicaciones de baja potencia de red de área amplia (LPWAN), es una tecnología exclusiva y patentada de propiedad de Semtech Corporation [30]. Es por esto que, surge de igual manera para suplir carencias en tecnologías tradicionales (WiFi, 2G, 3G, 4G).

Características técnicas de la tecnología LoRa de solución IoT para diferentes aplicaciones:

- Tecnología inalámbrica de bajo consumo (Hasta 10 años con una batería).
- Alta sensibilidad para recibir datos (-168dBm).
- Basado en modulación “chirp”.
- Baja potencia de emisión, hasta 20dBm sin Amplificar.
- Enlaces de hasta 166dBm, largo alcance en bandas sin licencia.
- Bidireccional.
- Largo alcance 10 a 15 Km.
- Paquetes de hasta 256 bytes de información.
- Permite el protocolo IPv6.
- Alta inmunidad a interferencias.
- Rango de frecuencia desde 137 hasta 960 MHz.

Este tipo de características permiten que LoRa sea una de las tecnologías ideales para la transferencia de datos a grandes distancias en lugares con baja cobertura a red celular o redes privadas, es por ello que surge el protocolo de comunicación LoRaWAN [30], [31].

2.4.1.1 Protocolo de comunicación LoRaWAN

El protocolo de comunicación LoRaWAN es utilizado para permitir la comunicación entre dispositivos LoRa, los nodos recopilan la información entregada por los sensores y los Gateways o puertas de enlace actúan como medio para el flujo de información bidireccional o unidireccional entre los nodos y los servidores. Para garantizar una buena comunicación, nodos y gateways cuentan con un código de detección de errores CRC (Verificación de Redundancia Cíclica) usado para detectar cambios accidentales en los datos, por otra parte, el servidor de red se conecta con el gateway mediante una conexión TCP/IP inalámbrica o cableada.

Las principales características del protocolo de comunicación LoRaWAN son los siguientes [30], [31]:

- Topología estrella.
- Encriptación AES 128.
- Soporte para 3 clases de nodos.
- Administración de dispositivos.

La figura 8 representa la estructura de una red LoRaWAN:

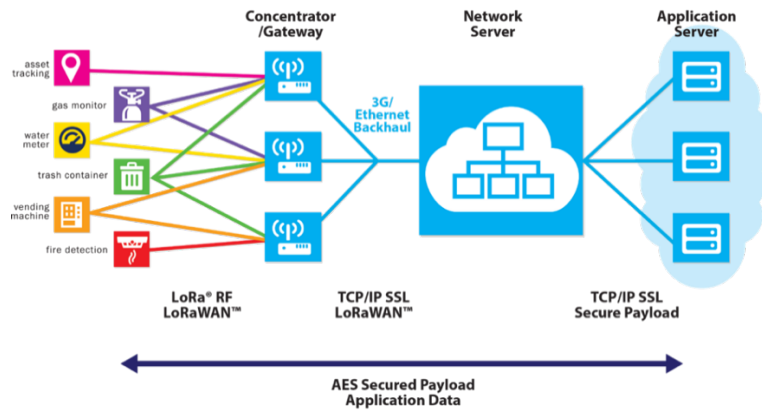


Figura 8: Estructura de red LoRaWAN [30].

2.4.1.2 Clasificación dispositivos LoRa

En el protocolo de red LoRaWAN existen tres tipos de nodos representados en la figura 9:

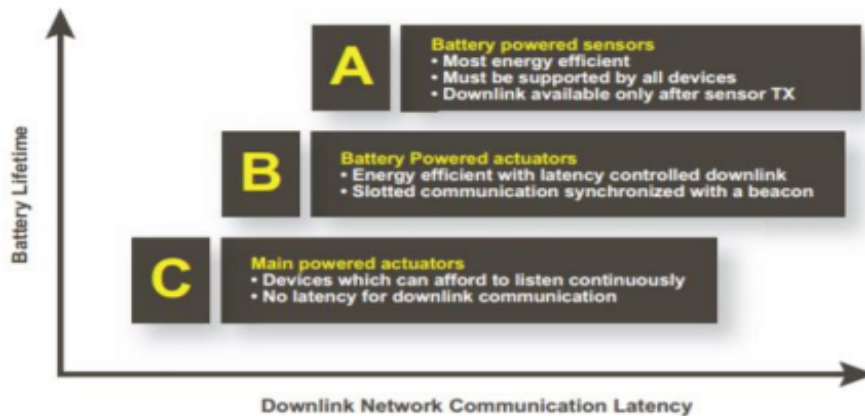


Figura 9: Clases de dispositivos LoRaWAN [31].

Clase A: Dispositivos terminales bidireccionales de menor potencia

Los nodos de tipo A permiten una comunicación bidireccional, su configuración es la más usada en casi todos los dispositivos, este tipo de clase ofrece mayor ahorro de energía debido a que solo entra en modo escucha (Llamado ventana RX) después de enviar un dato hacia el gateway, es por ello que es ideal para dispositivos que usan batería [30].

Clase B: Dispositivos terminales bidireccionales con latencia de enlace descendente determinista

Los nodos de tipo B son dispositivos finales bidireccionales que poseen ventanas de recepción con base a tiempos predeterminados con el gateway, esto permite al servidor saber cuando el dispositivo final esta escuchando. Este tipo de nodos puede usar una batería o una fuente externa dependiendo de los tiempos asignados de escucha [30].

Clase C: Dispositivos terminales bidireccionales de menos latencia

Los nodos de tipo C tienen ventanas de recepción abiertas casi continuamente, solo cerradas cuando transmiten información. El dispositivo final de Clase C utiliza más energía para funcionar que la Clase A y B, pero ofrece la menor latencia para la comunicación entre el servidor y el dispositivo final. La recomendación es usar estos dispositivos con una fuente externa de alimentación [30].

2.4.1.3 Factor de dispersión

La red LoRaWAN es la encargada de administrar el factor de ensanchamiento utilizado y la potencia de señal de transmisión para optimizar el rendimiento y la escalabilidad. En la tabla 3 se representa la relación entre los factores SF y la sensibilidad del dispositivo [30]:

SF	Tasa de bits equivalente	Sensibilidad (dBm)
12	0.293	-137
11	0.537	-134.5
10	0.976	-132
9	1.757	-129
8	3.125	-126
7	5.468	-123

Tabla 3: Relación entre SF y la sensibilidad.

La figura 10 sirve de apoyo para concluir que a mayor distancia entre el nodo y el gateway, el factor de dispersión será mayor, disminuyendo la velocidad de transmisión, así como la sensibilidad en el receptor deberá ser mayor [30].

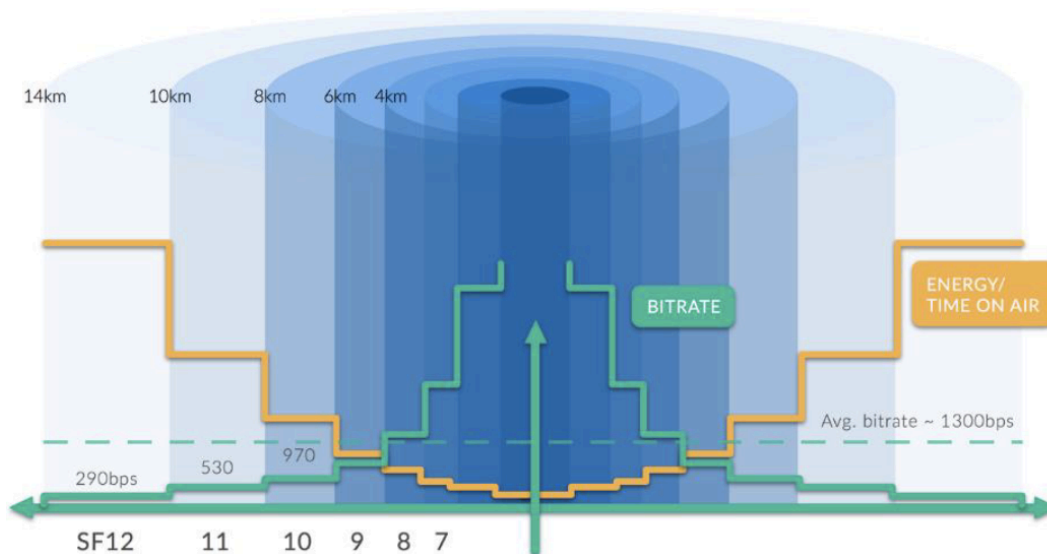


Figura 10: Relación velocidad/distancia en LoRaWAN [30].

2.4.1.4 Estructura de paquetes LoRaWAN

En LoRaWAN existen dos tipos de mensajes downlink y uplink. En la figura 11 se puede observar la estructura de los mensajes PHY Uplink que envía los dispositivos finales (nodos) al servidor de red a través del gateway como intermediarios, estos mensajes utilizan el modo explícito de paquetes de radio LoRa.

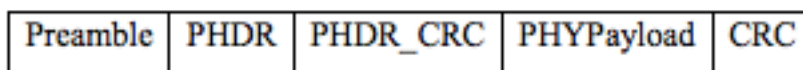


Figura 11: Estructura PHY Uplink [30].

En la figura 12 se puede observar la estructura de los mensajes PHY Downlink que se envían desde el servidor de red a un dispositivo final (nodo) pasando por un gateway, de igual manera utilizan mensajes en modo explícito de paquetes de radio LoRa.

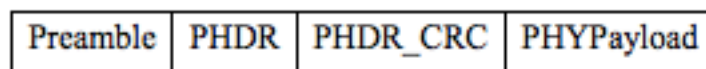


Figura 12: Estructura PHY Downlink [30].

Todos los nodos están configurados para la difusión de los datos a todos los canales que posea el sistema, cuando un nodo envía un paquete de datos LoRaWAN a una puerta de enlace (gateway) este dispositivo lo convierte en un paquete UDP y lo envía al servidor de red, emitiendo un mensaje de confirmación al gateway, aunque no se requiera confirmación. Los nodos deben esperar el fin de ciclo de trabajo para volver a enviar información [30].

2.4.1.5 Seguridad

Al momento de implementar un sistema IoT la seguridad es un factor importante, LoRaWAN define dos capas de criptografía:

- Una clave de sesión única de 128 bits compartida entre el dispositivo final y el servidor de red.
- Una clave de sesión de aplicación única de 128 bits (AppKey) compartida de extremo a extremo en el nivel de la aplicación.

Los algoritmos AES (Advanced Encryption Standard), son empleados para brindar la autenticación y la integridad de los paquetes al servidor de red y el cifrado de extremo a extremo al servidor de la aplicación [31].

CAPITULO III: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

Seguidamente, en la tabla 4 se puede observar los requerimientos que plantea la Industria Licorera del Cauca para el desarrollo del sistema, inicialmente para cumplir con esos requisitos se plantea un diagrama de bloques el cual describe a nivel general los módulos internos, con el propósito de dar a entender el funcionamiento de la arquitectura propuesta.

Por otra lado, el sistema permitirá la medida de variables eléctricas en el circuito del área administrativa, aclarando que la elección de este circuito se deriva de trabajos de grado en ingeniería donde se determinó que, para encontrar perdidas en la red interna inicialmente se debe medir los circuitos internos de mayor a menor consumo antes de realizar una medición general de la fábrica.

ID requisito	Descripción	Justificación
R-01	Se debe desarrollar un sistema electrónico que permita monitorear variables eléctricas en un circuito interno.	Facilitar al usuario contar con información del consumo energético respecto a las cargas conectadas a la red.
R-02	Las variables eléctricas a monitorear son Voltaje, Corriente, Energía Activa, Energía Reactiva, Factor de Potencia, Frecuencia.	Variables importantes para determinar el gasto energético.
R-03	El sistema debe contar con un medio de comunicación inalámbrica que permita el monitoreo.	Facilitar al personal no trasladarse a lugares riesgo como tableros de distribución eléctrica.
R-04	El almacenamiento de la información se realizará en un servidor local del área de mantenimiento.	Facilitar al usuario no requerir permisos del área de comunicaciones de la empresa para acceder, modificar o eliminar la información recolectada.
R-05	El aplicativo web debe permitir la visualización de las variables eléctricas monitoreadas.	Indispensable para el análisis de la información recolectada por el sistema electrónico.

Tabla 4: Requerimientos funcionales del sistema electrónico.

3.1 Arquitectura modular del sistema electrónico

En la figura 13 se puede observar el esquema general de la arquitectura propuesta la cual se compone de 7 módulos, estos módulos son el principal insumo para adelantar en detalle los aspectos concernientes al diseño electrónico:

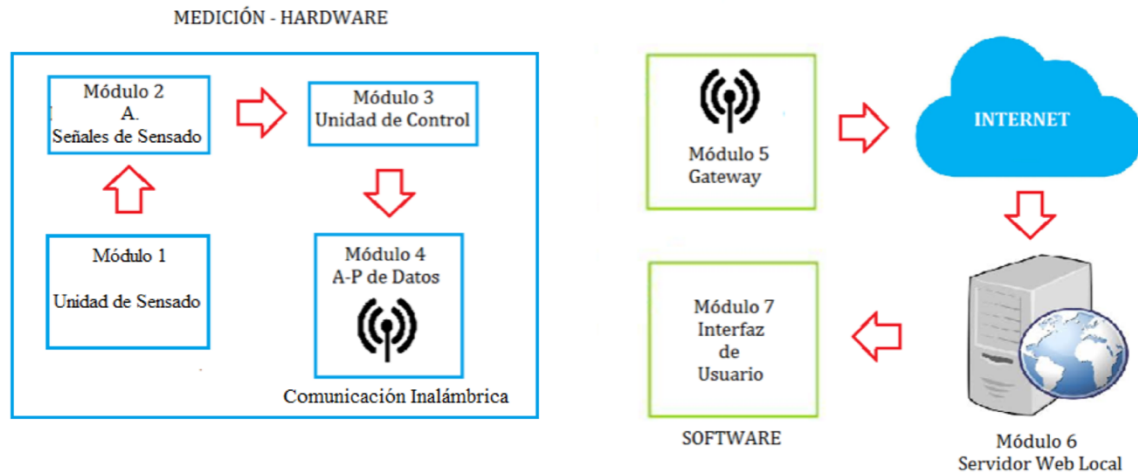


Figura 13: Diagrama de implementación sistema IoT. Fuente propia.

Módulo 1 – Unidad de sensado de variables eléctricas

Este módulo estará conformado por sensores de corriente y señales eléctricas de entrada provenientes del circuito del área administrativa.

Módulo 2 – Acondicionamiento de señales de sensado

El acondicionamiento de señales eléctricas se realizará a través de un medidor, siendo este elemento capaz de realizar el cálculo de corriente, voltaje, energías activa, reactiva, aparente entre otras.

Módulo 3 – Unidad de control

Este módulo es el encargado de extraer los datos que corresponden a las lecturas hechas por el medidor, este módulo se comunica con el módulo 4.

Módulo 4 – Procesamiento y acondicionamiento de datos eléctricos

Estará conformado por un dispositivo embebido de control inalámbrico, que permitirá el acondicionamiento de la información para asegurar la estabilidad suficiente de los datos hacia el módulo gateway.

Módulo 5 – Gateway

El gateway se conformará por un módulo inalámbrico y funcionará como puente entre el sistema electrónico y el servidor web local.

Módulo 6 – Transferencia de datos al servidor web local

El servidor web local es el lugar donde se procesará y se almacenará los datos recolectados por el sistema electrónico IoT, con el objetivo de consultar la información en cualquier momento.

Módulo 7 – Monitorización de datos eléctricos

El aplicativo web es el escenario donde se visualizarán los datos eléctricos en forma de gráficas. Este tipo de gráficas corresponden al gasto eléctrico de las cargas del circuito del área administrativa obtenidos por el sistema electrónico IoT.

Con respecto al diagrama modular, se presentará una serie de tablas que tiene como objetivo dar respuesta a la implementación necesaria para materializar cada uno de los módulos de la arquitectura, así como también establecer una base de selección metodológica que permita la selección de componentes electrónicos.

3.2 Selección de componentes electrónicos

De la tabla 4 a la 11 corresponde a parte de la metodología que se utilizó para analizar características y selección de componentes a partir de los requerimientos del sistema, por cada elemento existen 2 tablas, las tablas (4,6,8,10) poseen datos técnicos relevantes y las tablas (5,7,9,11) son tablas de decisión que se denominan matrices de selección, lo que permite convertir valores subjetivos a datos cuantitativos. Las matrices de selección se realizan haciendo una lista de criterios (1,2,3...n), cada criterio recibe un peso por ejemplo (50), se considera que a mayor importancia mayor será el peso y que la suma de los pesos es igual a cien puntos, para completar las matrices se obtiene un ponderado multiplicando el peso por el valor, el cual tiene los siguientes rangos (1-4)= Inapropiado, (5-7)= Aceptable y (8-10)= Muy aceptable, el rango se determina dependiendo de las características de el elemento, al final el que logre mayor puntaje será el candidato a utilizar en el diseño y construcción del sistema electrónico.

En la tabla 5 se presenta la selección de los sensores de corriente que corresponde al módulo 1 del sistema, para detectar las variables eléctricas de corriente y voltaje:

Sensor de Corriente Características	YHDC SCT016	ECS1030-L72	YHDC SCT013
			
Entrada máxima	160A	60A	50A
Tasa de salida	40mA	15mA	1V
Exactitud	1%	1%	1%
Peso	70g	60g	55g
Material	Ferrita	Ferrita	Ferrita
Temperatura de operación	-25° C – 60°C	-40°C – 65°C	-25°C – 70°C
Dimension de apertura	16mm x 16mm	10mm x 10mm	13mm x 13mm
Costo	8.64 USD	11.91 USD	9.25 USD

Tabla 5: Características principales sensores de corriente.

Teniendo en cuenta las características relevantes de los sensores de corriente [44], [45], [46] se realiza la matriz de decisión, donde se propone tener en cuenta los siguientes criterios:

- Entrada máxima: En el circuito del área de administrativa se manejan corrientes altas.
- Tasa de salida: El chip ATM90E32AS recomienda salida de corriente por parte del sensor.
- Dimensión de apertura: Los conductores de las fases tiene un diámetro considerable por el flujo de corriente alta.
- Costo: Costo de adquisición por unidad.

Según los criterios anteriores se hace la evaluación en la tabla 6:

Ítems de Evaluación	Criterio	Peso	YHDC SCT016		ECS130-72		YHDC SCT013	
			Valor	Ponderado	Valor	Ponderado	Valor	Ponderado
			(1 - 10)		(1 - 10)		(1 - 10)	
1	Entrada máxima	25	9	225	6	150	5	125
2	Tasa de salida	20	8	160	8	160	3	60

3	Dimensión de apertura	40	9	360	6	240	7	280
4	Costo	15	9	135	6	90	7	105
Total		100		880		640		570

Tabla 6: Matriz de selección sensores de corriente.

Para el módulo 1 se opta por trabajar con el sensor de corriente YHDC SCT016 ya que es un elemento con características técnicas que cumple con las necesidades del proyecto, además de su bajo coste de adquisición.

La tabla 7 esta orientada a la selección del circuito integrado que permite la lectura de variables eléctricas, correspondiente al módulo 2 del sistema. Este es un elemento crítico, ya que se opta por diseñar el medidor de energía debido a alto costo de adquisición y a las restricciones en el módulo de comunicación de los medidores existentes en el mercado:




Circuito Integrado Características	ATM90E32AS 	Allegro ACS726 	ADE7757 
Canales ADC's	6	6	2
Exactitud de Medida	+/- 0.1%	+/- 1%	+/- 0.1%
Calcula Voltaje	SI	SI	SI
Calcula Corriente	SI	SI	SI
Calcula Energía Activa	SI	NO	SI
Calcula Energía Reactiva	SI	NO	NO
Cumple con la norma IEC62052-11	SI	NO	NO
Factor de Potencia	SI	NO	NO
Salida Comunicación	Digital	Analógica	Digital
Tipo de Salida	Digital	Analógica	Digital
Tipo de Empaquetado	TQFP48	QSOP24	MS-012AC
Costo	3 USD	2 USD	3 USD

Tabla 7: Características principales IC (Circuitos integrados).

Teniendo en cuenta las características relevantes de los circuitos integrados [38], [47], [48], se realiza la matriz de decisión donde se propone tener en cuenta los siguientes criterios:

- Canales ADC's: Primordial para la medición de redes polifásicas.

- Funciones: Cálculo de Energía activa, reactiva, Factor de potencia, Potencia instantánea.
- Exactitud de medida: Confiabilidad de los datos leídos.
- Comunicación: Facilidad de comunicación con la Unidad de control.
- Normas: Cumplimiento de la normas IEC62052-11.
- Costo: Costo de adquisición por unidad.

Según los criterios anteriores se hace la evaluación en la tabla 8:

Ítems de Evaluación	Criterio	Peso	ATM90E32AS		Allegro ACS726		ADE7757	
			Valor	Ponderado	Valor	Ponderado	Valor	Ponderado
			(1 - 10)		(1 - 10)		(1 - 10)	
1	Canales ADC's	20	8	160	8	160	2	40
2	Funciones	20	10	200	4	80	6	120
3	Exactitud de medida	25	8	200	3	75	8	200
4	Comunicación	10	9	90	3	30	9	90
5	Normas	20	9	180	1	20	1	20
6	Costo	5	8	40	9	45	8	40
Total		100		870		410		510

Tabla 8: Matriz de selección IC (Circuito Integrado).

Como resultado de la evaluación se opta por trabajar con el circuito integrado ATM90E32AS de Atmel Corporation, el cual es escogido por ser un medidor sin restricciones en el módulo de comunicación, por su precisión y bajo coste.

Seguidamente se hace una revisión bibliográfica en línea sobre diferentes dispositivos que ofrecen características adecuadas para el módulo de procesamiento y acondicionamiento de datos que corresponde al módulo 3 del sistema, en la tabla 9 se presentan 3 opciones seguida de unas características técnicas extraídas de las hojas de datos suministradas por el fabricante:

Caract.	ESP32 VROOM		ESP8266		ATMEGA328P	
	Memoria Flash	Hasta 16 MB	Memoria Flash	Hasta 4 MB	Memoria Flash	32KB
Procesador	Tensilica Xtensa LX6 32 bits Dual Core		Tensilica LX 106 32 bits a 80 MHz		ATMEGA328P	
Velocidad reloj	240 MHz		160 MHz		20 MHz	
RAM	520 kB		80 kB (40 kB disponibles)		2 KB	
Voltaje de Entrada	3.3V – 5V		3.3V - 5V		1.8V – 5.5V	
Consumo mínimo	80 mA		80 mA		42,3 mA	
Bluetooth	SI		NO		NO	
Wi-Fi	SI		SI		NO	
Costo	5.6 USD		3.89 USD		3.17 USD	

Tabla 9: Características principales Unidad de control.

Luego de listar aspectos técnicos se hace una matriz de selección, para el caso de la unidad de control se proponen cuatro items:

- Costo: Costo de adquisición por módulo.
- Información disponible: Información que ofrece el fabricante del dispositivo.
- Procesamiento: Velocidad de procesamiento de datos.
- Extras: Elementos que mejoren el funcionamiento del dispositivo.

Según los criterios anteriores se hace la evaluación del microcontrolador, en la tabla 10 se muestra los resultados:

Ítems de Evaluación	Criterio	Peso	ESP32 VROOM		ESP8266		ATMEGA328P	
			Valor	Ponderado	Valor	Ponderado	Valor	Ponderado
			(1 - 10)		(1 - 10)		(1 - 10)	
1	Costo	20	7	140	8	160	9	180
2	Información disponible	40	9	360	8	320	8	320
3	Procesamiento	30	9	270	7	210	4	120

4	Extras	10	10	100	7	70	3	30
Total		100		780		760		650

Tabla 10: Matriz de selección Unidad de control.

Se opta por trabajar con el módulo ESP32 VROOM por ser un microcontrolador de bajo coste, con buen procesamiento de datos y bajo consumo.

En la tabla 11 se presenta la recopilación de datos técnicos relevantes de las tecnologías LPWANS, que permiten la comunicación inalámbrica en el módulo 4 del sistema:

Tecnología Características			
Frecuencia	433/868/780/915 MHz ISM	868/902 MHz ISM	868 MHz
B.W	64x125KHz/8x125KHz	100 Hz	100 Hz
Rango	2-10 Km Urbano	15 Km Urbano	16.6 Km Urbano
Tamaño del paquete	Definido por el usuario	12 bytes	Definido por el usuario
Topología	Estrella	Estrella	Estrella
Fabricante	LoRa Allience	Sigfox	Waviot
Velocidad de subida	<0.1 kbps	<10kbps	0.3-180 kbps
Velocidad de bajada	<0.1 kbps	<10kbps	0.5-200 kbps
Costo Shield	6.53 USD	59 USD	40 USD

Tabla 11: Características principales LPWANS.

Después de realizar la tabla con datos técnicos relevantes se realiza la matriz de selección para las tecnologías LPWANS, se propone tener en cuenta los siguientes criterios:

- Costo: Costo de adquisición por módulo.
- Información disponible: Información que ofrece el fabricante del dispositivo.
- Disponibilidad: Facilidad de encontrar el dispositivo en nuestro país.
- Curva de aprendizaje: Tiempo que se requiere para programar el dispositivo.

En la tabla 12, se puede observar los resultados de la evaluación de las tecnologías LPWANS:

Ítems de Evaluación	Criterio	Peso	LoRa		Sigfox		NB-IoT	
			Valor	Ponderado	Valor	Ponderado	Valor	Ponderado
			(1 - 10)		(1 - 10)		(1 - 10)	
1	Costo	20	7	140	8	160	9	180
2	Información disponible	40	9	360	7	280	3	120
3	Disponibilidad	30	9	270	7	210	2	60
4	Curva de aprendizaje	10	9	90	7	70	5	50
Total		100		860		720		410

Tabla 12: Matriz de selección LPWANS.

Se decide trabajar con la tecnología LoRa debido al rango de comunicación e información disponible. Cabe resaltar que el módulo ESP32 LoRa posee este tipo de comunicación y puede ser configurado como nodo o gateway, cumpliendo con las necesidades del proyecto.

3.3 Herramientas de desarrollo software

En la tabla 13 se presenta a nivel general las herramientas software utilizadas para la implementación del servidor web local y diseño del aplicativo, que corresponden a los módulos 6 y 7 del sistema:

Nombre	Tipo de Licencia	Justificación de Uso
XAMPP	Libre	Plataforma gratuita que permite la instalación de MySQL, Apache y PHP.
Apache	Libre	Servidor HTTP gratuito y de código abierto más popular a nivel mundial.
MySQL	Libre	Herramienta escalable, multiplataforma y con amplia documentación.
HTML	Libre	Herramienta de uso gratuito que permite obtener un código más limpio, mejora la interacción con el usuario y por ser multiplataforma.
CSS	Libre	Herramienta de uso gratuito que evita la duplicación de código y mejora la apariencia de páginas web.
PHP	Libre	Lenguaje totalmente libre y abierto, con una curva de aprendizaje baja y fácil acceso a base de datos.

Tabla 13: Herramientas de desarrollo software.

3.3.1 XAMPP

XAMPP es un servidor independiente de código abierto, funciona con diferentes sistemas operativos como Windows, Linux, Solaris y Mac OSX, ofrece los servicios

de Apache el cual es un servidor web, MySQL como gestor de base de datos y PHP como lenguaje de scripts entre otros. Opera bajo la licencia GNU (Licencia más usada a nivel mundial que ofrece al usuario final usar, estudiar, compartir y modificar el software), funciona como un servidor web, fácil de implementar y con la capacidad de interpretar páginas web dinámicas [32].

En la figura 14 se puede observar el panel de control principal de XAMPP y las funciones que posee:

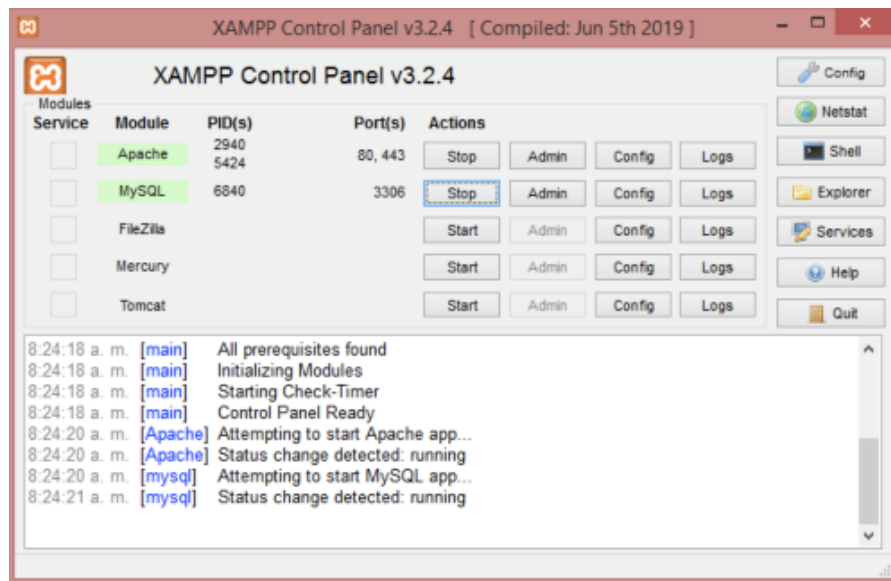


Figura 14: Panel de control principal XAMPP [32].

3.3.2 Apache

Apache es el servidor web más utilizado a nivel mundial, cuya función principal es enviar páginas web estáticas o dinámicas a la web (World Wide Web), se caracteriza por ser un servidor web robusto, confiable, seguro y con excelente rendimiento. Apache permite configurar un hosting virtual con el objetivo de probar códigos que están en etapa de desarrollo, además, es el encargado de habilitar los puertos de internet HTTP, HTTPS o puerto 8080 y 443 [33].

3.3.3 MySQL

MySQL es un gestor de base de datos que es un conjunto de tablas que tiene un nombre con el que se accederá a ella. La tabla es una estructura de datos que organiza los datos por filas y columnas, cada columna es un campo y una fila un registro, permite crear base de datos y tablas, insertar datos, modificarlos, ordenarlos y hacer consultas a través de phpMyAdmin el cual es un software de código abierto, diseñado para manejar la administración y gestión de MySQL [34].

3.3.4 HTML

HTML significa Hyper Text Markup Language, es un lenguaje que se utiliza en el desarrollo de sitios web, su estructura se basa en distintas etiquetas que el navegador se encarga de interpretar, la etiqueta es una palabra en inglés o un carácter ubicado entre los simbolos (<) y (>).

Para el desarrollo de un sitio web en HTML se debe tener en cuenta el orden de los siguientes items para su correcto funcionamiento:

- **<html>**: Se utiliza esta etiqueta para el inicio del documento HTML, le indica al navegador que lo que viene a continuación debe ser interpretado como código HTML.
- **<head>**: Se utiliza esta etiqueta para definir la cabecera del documento, la cabecera contiene la información que no se muestra directamente al usuario, por ejemplo el título de la ventana del navegador.
- **<body>**: Se utiliza esta etiqueta para definir que dentro de ella se escribirá el contenido principal del documento, dentro de esta etiqueta se puede definir propiedades comunes a toda la página como color y márgenes [35].

3.3.5 PHP

PHP significa Hipertext Preprocesor, es un lenguaje de código abierto comúnmente utilizado para el desarrollo web que puede ser incrustado en HTML, PHP es rápido y posee un gran número de librerías de funciones y mucha documentación. Las páginas que se ejecutan en el servidor pueden realizar accesos a bases de datos, conexiones en red y otras tareas para crear la página final que observará el cliente aunque el cliente solo reciba el código HTML que resulta de la ejecución del PHP [36] como se observa en la figura 15:

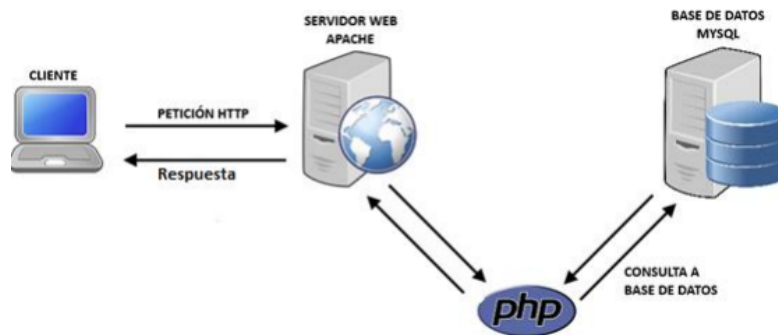


Figura 15: Proceso de petición HTTP con código PHP [40].

3.3.6 CSS

Es una hoja de estilos en cascada, un lenguaje creado para dar una apariencia o presentación más estilizada a las páginas web, definidas por HTML o XHTML. CSS es la mejor herramienta para agregar atributos como fuente, color, tamaño. CSS se hace necesario utilizar para crear páginas web con un grado de complejidad mayor. Su función principal de CSS es separar la estructura de la página web de su presentación, con el fin de crear documentos HTML bien definidos [37].

3.4 Componentes electrónicos seleccionados

Seguidamente se presentan los componentes electrónicos seleccionados con una descripción más detallada según la metodología empleada:

3.4.1 Sensor de corriente YHDC SCT016

SCT016 es un sensor y/o transformador de corriente de núcleo dividido no invasivo empleado en este proyecto para el muestreo del flujo eléctrico. En la figura 16,17, 18 y tabla 14 se puede observar indicadores técnicos, parámetros eléctricos y diagramas de interés de dicho sensor de corriente:



Figura 16: Sensor de corriente SCT016 – Tipo núcleo dividido [23].

Indicadores Técnicos	
Instalación	Colgante
Cable conductor	50 cm
Material de núcleo	Ferrita
Resistencia al fuego	ULP94-V0
Tensión de trabajo	660V
Temperatura de trabajo	-25°C - +60°C
Rango de frecuencia	50 Hz – 1KHz

Rigidez dieléctrica	3.5KV 50Hz 1min
Parámetros Eléctricos	
Tasa de entrada (RMS)	120 A
Entrada máxima	160 A
Tasa de salida	40 mA
Relación de vueltas	1:3000
Exactitud	1%
Linealidad	$\leq 0.2\%$
Fase de error	-
Resistencia de muestreo máxima	10 ohmios
Peso	70g

Tabla 14: Parámetros eléctricos y/o técnicos sensor SCT016.

Diagrama de tamaño del esquema en milímetros:

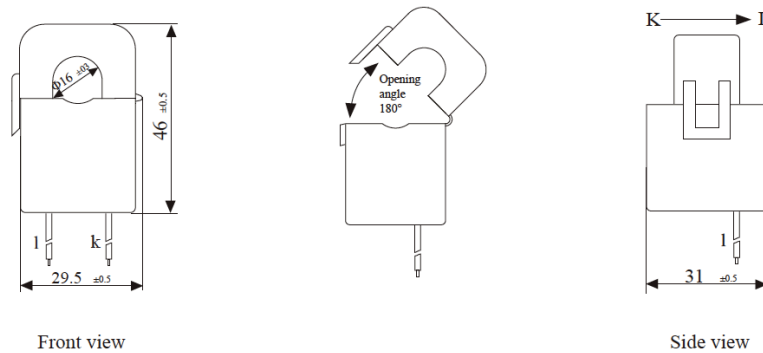


Figura 17: Diagrama de tamaño TC SCT016 [23].

Diagrama de cableado:

- TVS es un supresor de voltaje transitorio de salida de corriente.

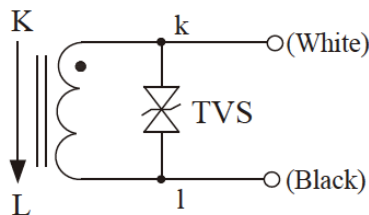


Figura 18: Diagrama de cableado TC SCT016 [23].

3.4.2 Chip Atmel ATM90E32AS

El ATM90E32AS es un IC (Circuito integrado) de medición de alto rango dinámico y polifásico de alto rendimiento con una precisión de $\pm 0.1\%$ para energía activa y $\pm 0.2\%$ para energía reactiva, incorpora 6 ADC sigma-delta de segundo orden, que se puede usar en tres canales de voltaje (fase A,B,C) cumpliendo totalmente con los requisitos IEC62052-11, IEC62053-33, IEC62053-23, ANSI C12.1 y ANSI C12.20 [38].

Se debe agregar que tiene incorporado un DSP (Procesador digital de señales) el cual ejecuta el cálculo de energía activa, energía reactiva, energía aparente, además calcula la medición de parámetros como el valor RMS de voltaje, corriente y potencia entre otros. Cuenta con una interfaz SPI de cuatro hilos para comunicarse con un microcontrolador externo. Para el muestreo de las señales se puede utilizar un CT (Transformador de corriente) o una bobina de Rogowsky (Bobina di/dt) [38].

En la figura 19 se puede observar el empaquetado del chip ATM90E32AS:

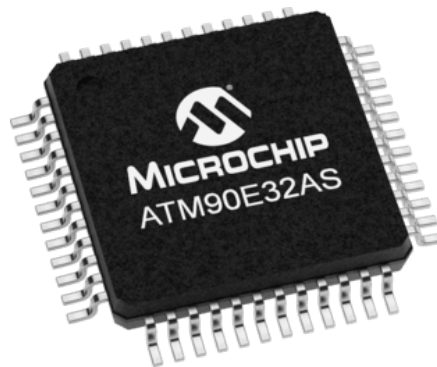


Figura 19: Chip Atmel ATM90E32AS [38].

En la figura 20 se puede observar el diagrama de bloques del chip el cual posee un procesador digital de señales, canales ADC, sensor de temperatura, controlador lógico, interfaz SPI, detector de corriente entre otros:

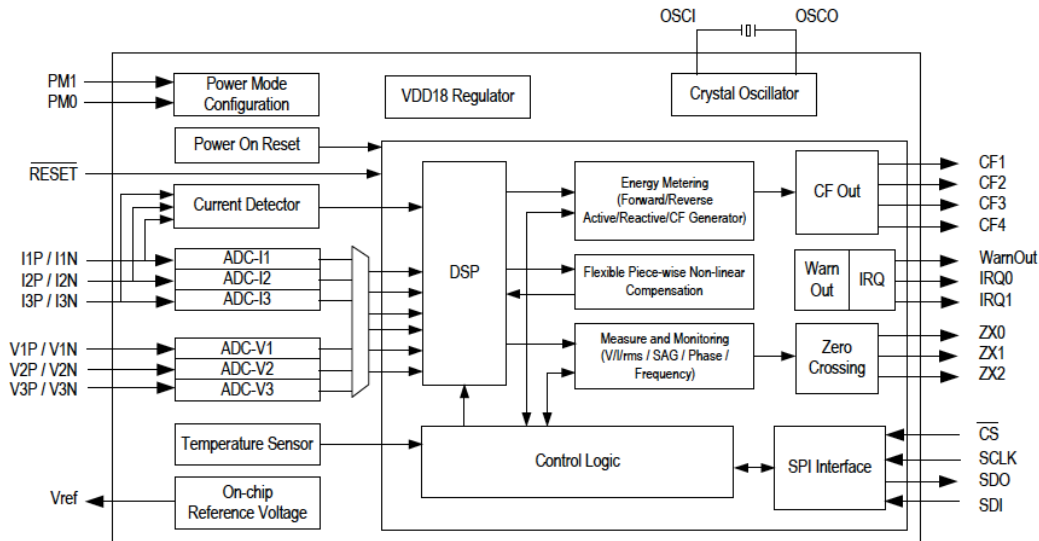


Figura 20: Diagrama de bloques chip ATM90E32AS [38].

3.4.3 ESP32 VROOM

ESP32 es un dispositivo electrónico de bajo costo y consumo de energía con tecnologías WiFi y Bluetooth, diseñado y fabricado por Espressif Systems [39]. Por otra parte la programación del dispositivo se realiza con el IDE de Arduino.

En la figura 21 se puede observar la placa ESP32 :



Figura 21: Módulo ESP32 VROOM [39].

Características técnicas:

- Procesador dual core Xtensa® LX6 de 32 bits.
- Velocidad de reloj : Entre 160 MHz y 240 MHz.
- 520 Kb de RAM.

- WiFi integrado: Access point & Station.
- Bluetooth 4.2 2.4 GHz; BT 2.0 y 4.0 BLE
- 36 GPIO pins.
- 16 x Analog-to-Digital Converter (ADC) de 12 bits de resolución y se pueden programar con límite de entrada a 1V, 2 V y 4V.
- 2 x Digital to Analog converter DAC de 8 bits.
- Pueden definirse hasta 16 canales de PWM.
- 2 x UART o puertas serie.
- 2 x I2C channels y 4 x SPI channels [39].

3.4.4 ESP32 LoRa

ESP32 LoRa es un dispositivo electrónico de desarrollo clásico de IoT, diseñado y fabricado por Heltec Automation™, esta basado en ESP32 + SX127x, tiene funciones Wi-Fi, BLE, LoRa, igualmente un sistema de administración de batería Li-Po. También incluye una pantalla de 0.96" OLED [34]. Así mismo la programación del dispositivo se realiza con el IDE de Arduino.

En la figura 22 se puede observar la placa ESP32 LoRa:



Figura 22: Placa ESP32 LoRa [40].

Características técnicas:

- MCU: ESP32 (240 MHz Tensilica LX6 dual-core + 1 ULP, 600 DMIPS, 520 KB SRAM, Wi-Fi, modo dual Bluetooth).
- Chip LoRa: SX1276 (868 y 915 MHz) o SX1278(433 y 470 MHz).

- Potencia de salida máxima de LoRa: 18dB +/- "dB.
- Recursos de hardware: UART x 3; SPI x 2; I2C x 2; 12S x 1 – 12 bits ADC; 8 bits DAC – 29 general GPIO.
- Monitor: Pantalla OLED de 0.96 pulgadas 128*64.
- Tipo de batería: 3.7 V de litio (SH1.25 x 2).
- Tamaño: 50,2 x 25,5 x 9,74 mm.
- Fuente de alimentación: 3.3V (>150 mA) – 5V (>500mA) [40].

3.4.4.1 Chip Semtech SX1276/SX1278

El chip Semtech SX1276/SX1278 es un transceptor de largo alcance que posee el módulo ESP32 LoRa. Permite enviar, recibir y alcanzar grandes distancias a bajas tasas de datos, catalogado como un dispositivo tipo C de LoRa [41]. Además ofrece un espectro largo de comunicación y posee una alta inmunidad a interferencias con el fin de minimizar el consumo de corriente.

Se basa en aplicaciones de redes de sensores inalámbricos para la medición inteligente, ciudades inteligentes, automatización de edificios, etc [41].

Carecterísticas chip Semtech SX1276/SX1278:

- Enlace máximo de 168 dB.
- +20 dBm - 100 mW de salida de RF constante.
- +14 dBm de alta eficiencia PA.
- Velocidad de bits programable de hasta 300 kbps.
- Alta sensibilidad: hasta -148 dBm.
- Parte delantera a prueba de balas: IIP3 = -12.5 dBm.
- Excelente inmunidad de bloqueo.
- Corriente RX baja de 10,3 mA, 200 nA de retención de registro.
- Modulación FSK, GFSK, MSK, GMSK, LoRaTM y OOK.
- Sincronizador de bits incorporado para la recuperación del reloj.
- 127 dB Dynamic Range RSSI.
- Sensores de RF automáticos y CAD con AFC ultrarrápido.
- Paquete de motor de hasta 256 bytes con CRC. (Brazil & Campaigns, n.d.)

En la figura 23 se observa el transceptor Semtech SX1276/SX1278

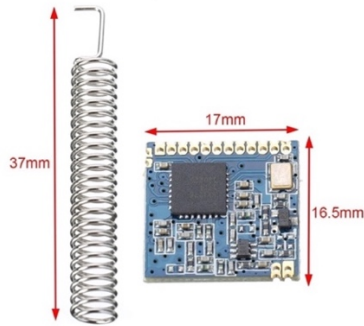


Figura 23: Módulo con chip Semtech SX1276/SX1278 [41].

3.5 Diseño esquemático sistema electrónico

Los diseños electrónicos se realizaron utilizando EasyEDA Online Ver. 4.11.9, en la elaboración de los diseños se integraron todos los bloques funcionales del medidor de energía realizando las conexiones necesarias y la adición de componentes para su correcto funcionamiento. En la figura 24 se muestra el resultado del diseño electrónico a nivel de diagrama esquemático de la versión 1.0:

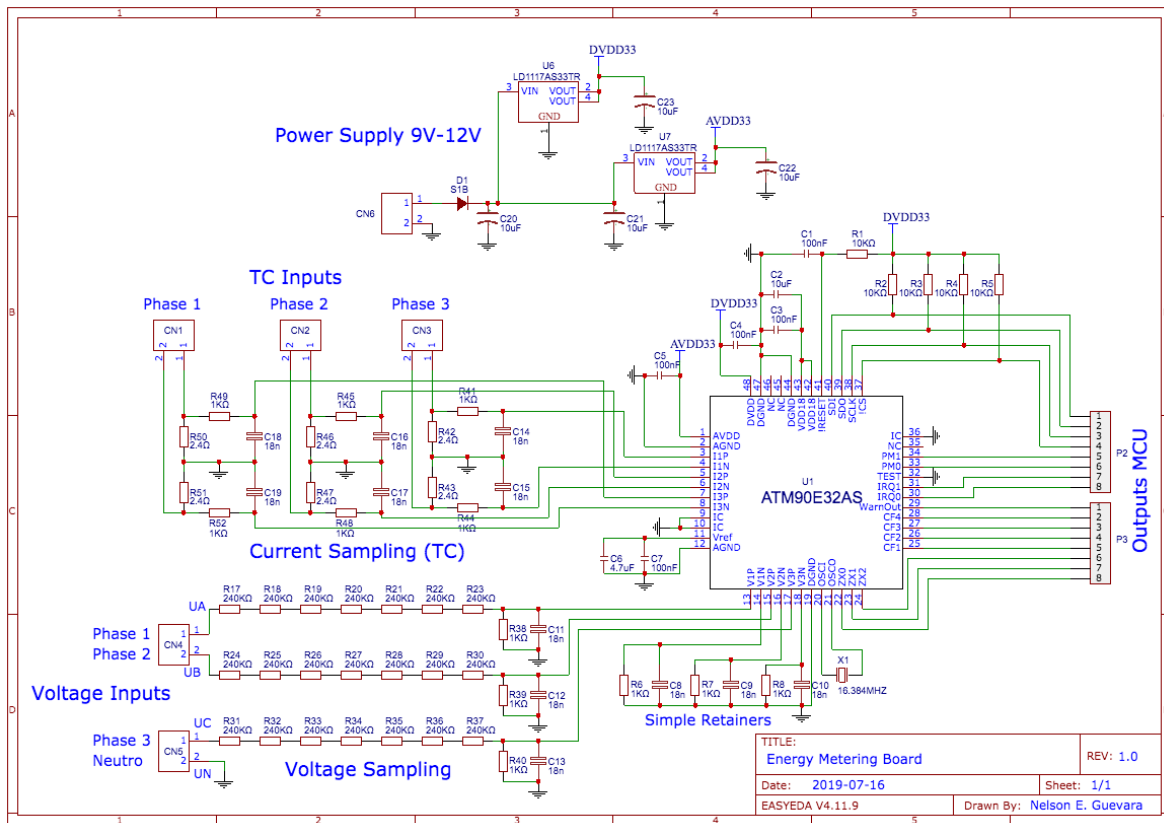


Figura 24: Diagrama esquemático energy meter board V1.0. Fuente propia.

En la figura 25 se muestra la versión 2.0 del medidor de energía el cual integra nuevos componentes con el propósito de hacer el sistema más robusto y compacto. Los nuevos componentes son un microcontrolador ESP VROOM 32 encargado de solicitar los registros de medición de energía al circuito integrado ATM90E32AS, un socket para el módulo ESP32 LoRa para el envío de datos a distancia e indicadores LED cuya función son generar pulsos de luz para conocer los KWh empleados por la carga entre otras funciones:

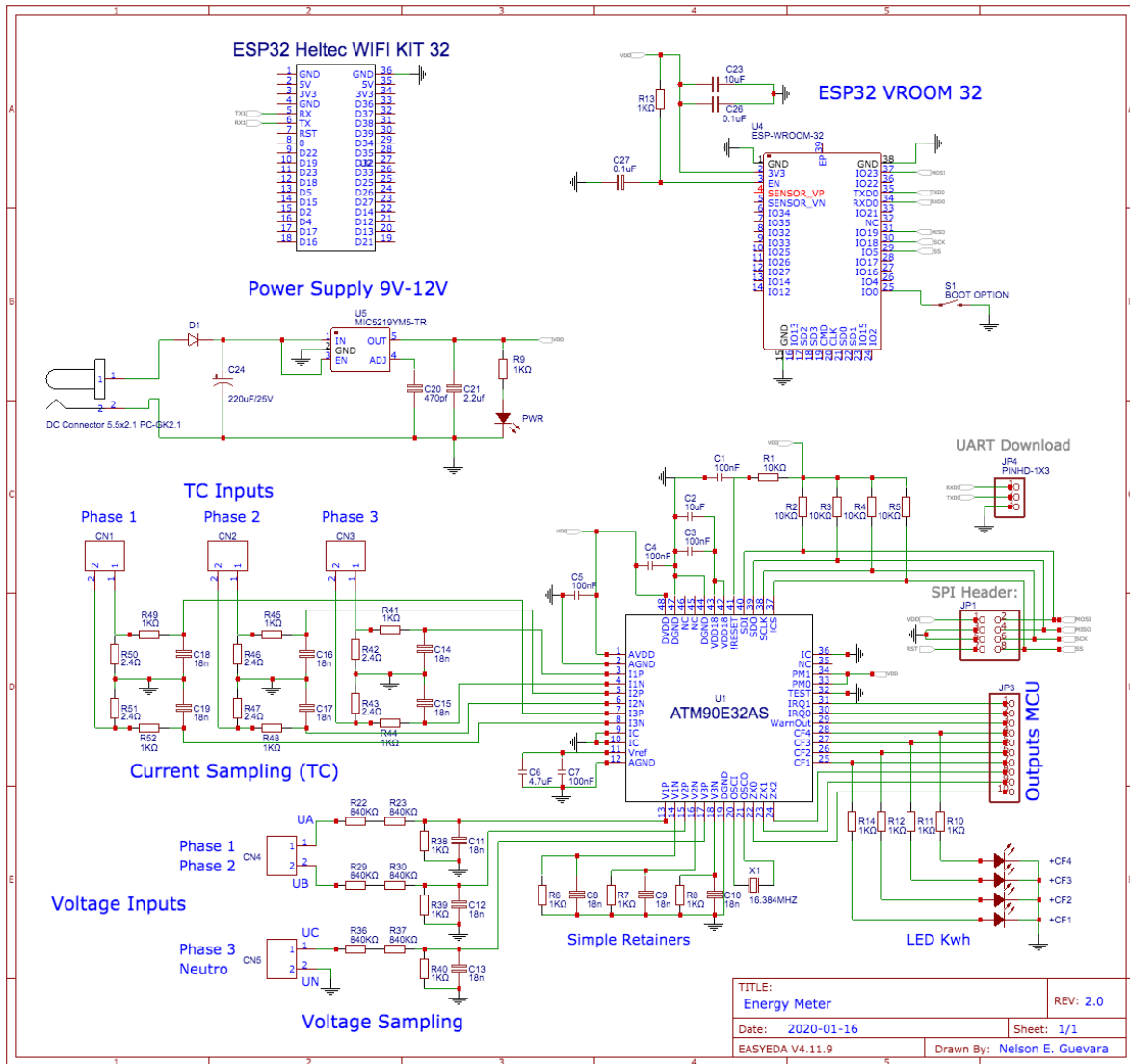


Figura 25: Diagrama esquemático energy meter board V2.0. Fuente propia.

En las entradas de voltaje alterno y neutro tanto de la versión 1.0 y 2.0 del medidor de energía, se encuentran conectados a los pines tres retenedores simples para

mejorar la señal de entrada, estos retenedores se encuentran en el recuadro de color rojo de la figura 26:

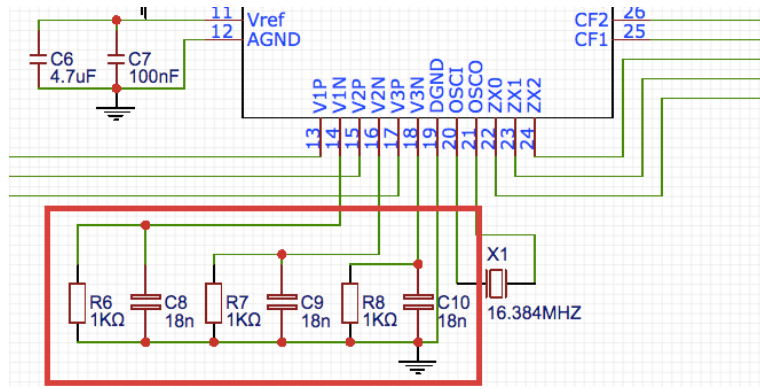


Figura 26: Retenedores simples – Energy metering board. Fuente propia.

En la figura 27 se muestra la configuración electrónica donde el voltaje alterno de entrada se reduce por medio de una división de voltaje. La división de voltaje consiste en siete resistencias conectadas en serie de un valor de $240\text{K}\Omega$ y una resistencia de $1\text{K}\Omega$ conectada en paralelo para la versión 1.0 y en la versión 2.0 consta de dos resistencias de $840\text{K}\Omega$ y una de $1\text{K}\Omega$ para simplificar el diseño de la versión 1.0 como se observa en la figura 28. Es necesario recalcar que la señal de entrada se encuentra en un rango de $120\ \mu\text{V}$ y 720mV por tal razón se agregan retenedores simples para estabilizar la señal:

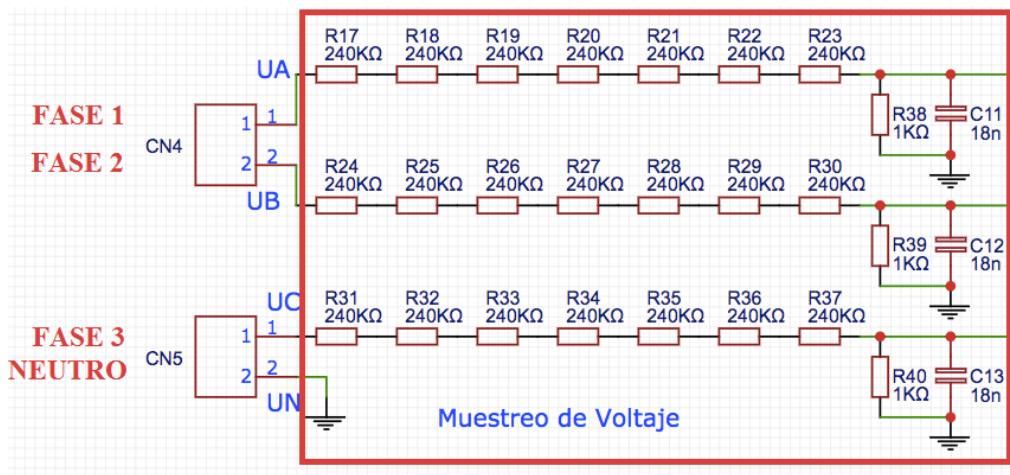


Figura 27: Acondicionamiento señal de entrada, Voltaje. Fuente propia.

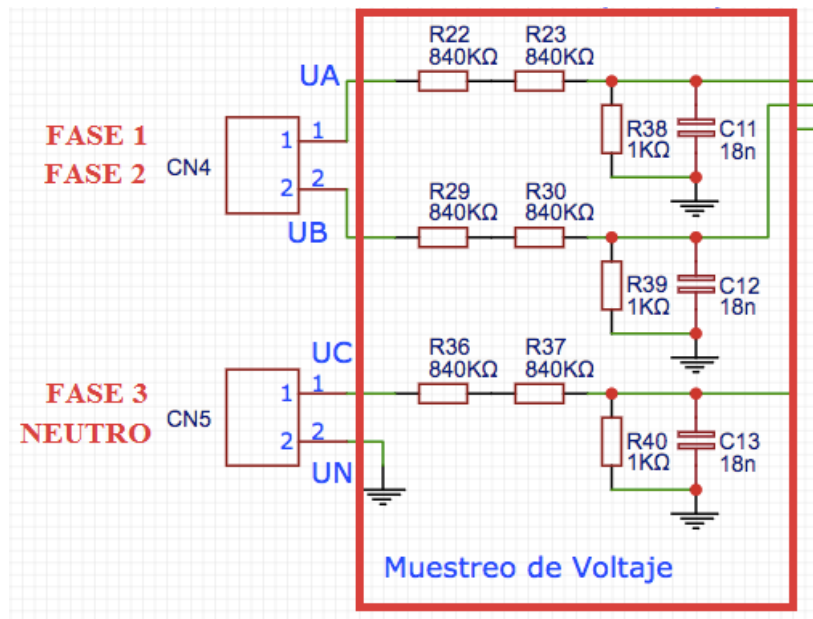


Figura 28: Acondicionamiento señal de entrada, Voltaje. Fuente propia.

La comunicación SPI maestro - esclavo está compuesta por cuatro (4) pines como se observa en la figura 29:



Figura 29: Comunicación SPI maestro – esclavo.

Estos pines están suministrados con un voltaje de 3.3V a través de las resistencias “Pull - Up”, cuyo objetivo es lograr un nivel constante de las señales digitales como se observa en la figura 30:

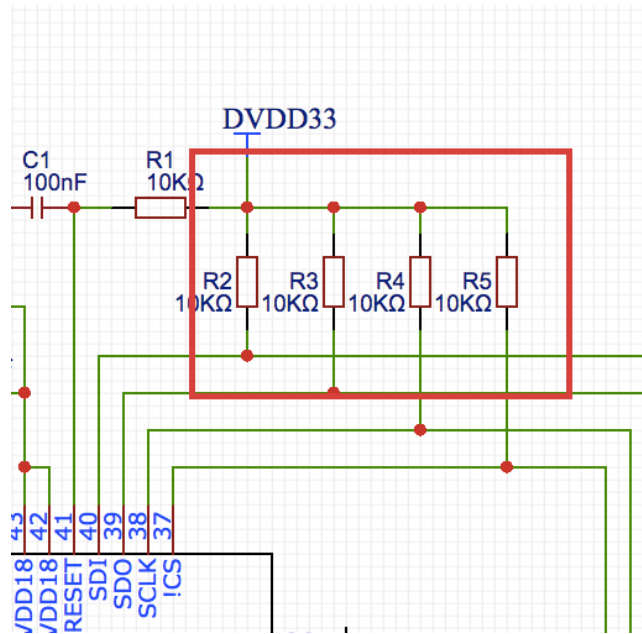


Figura 30: Resistencias “Pull-Up” – Energy metering board V1.0 y V2.0. Fuente propia.

En la figura 31 se puede observar las entradas que corresponden a los sensores de corriente o TC, así mismo se agregan retenedores simples entre la carga del transformador de corriente y el chip ATM90E32AS para estabilizar la señal:

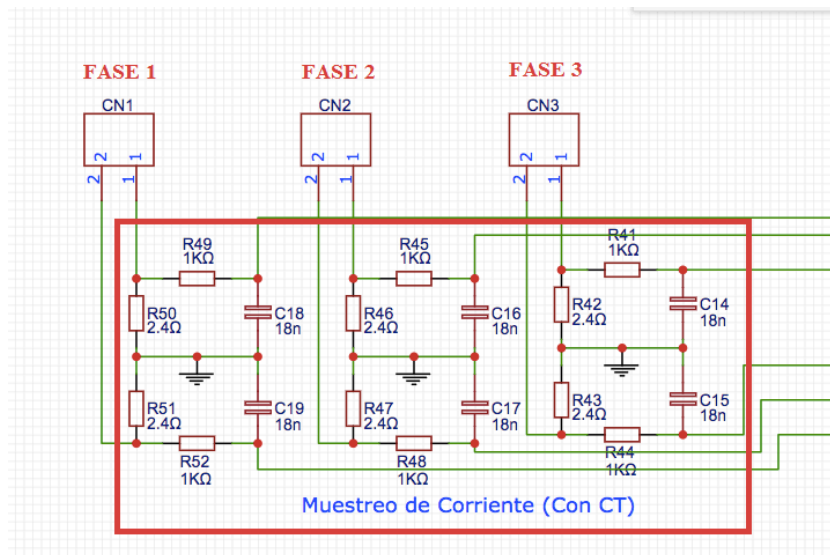


Figura 31: Acondicionamiento señal de entrada, Corriente. Fuente propia.

3.5.1 Diseño CAD del circuito impreso PCB

Los diseños de los circuitos impresos se elaboraron en EasyEda Online, en la figura 32 y 33 se puede observar el resultado en 3D. Las dimensiones de las PCB son las siguientes:

Versión 1.0 = 62.74 mm x 66.55 mm (ancho x largo).

Versión 2.0 = 101.4 mm x 72.82 mm (ancho x largo).

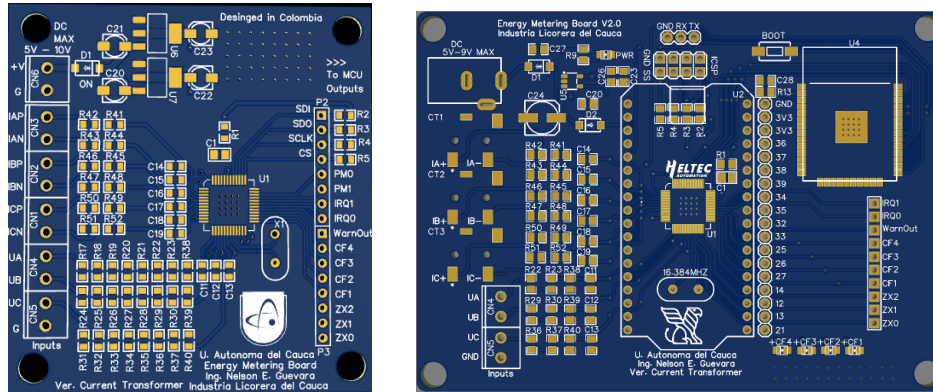


Figura 32: Capa Top PCB V1.0 y V2.0. Fuente propia.

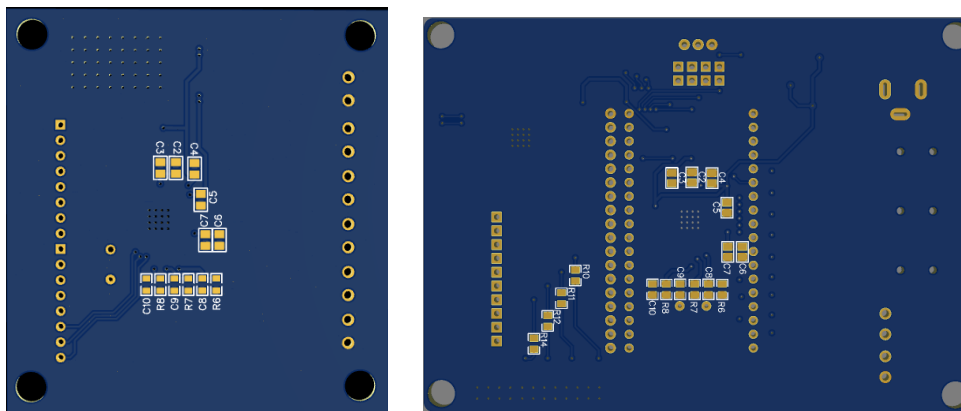


Figura 33: Capa Bottom PCB V1.0 y V2.0. Fuente propia.

En la figura 34 se puede observar la máscara de componentes de las PCB:

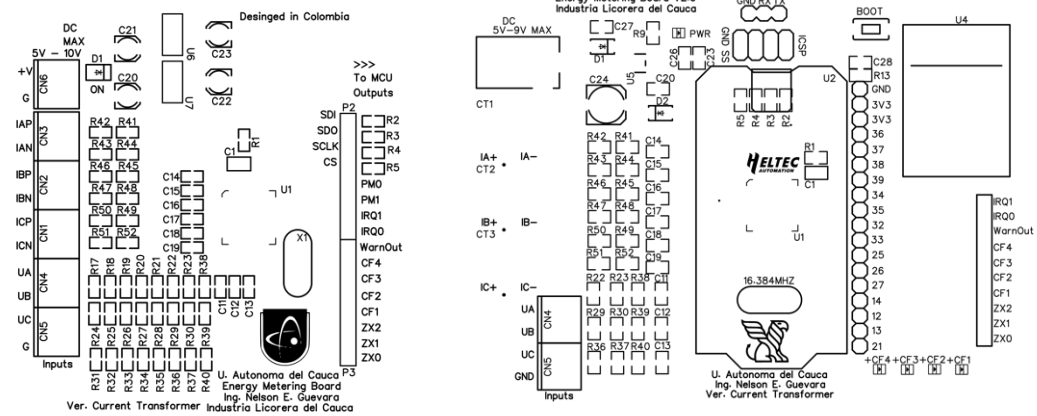


Figura 34: Máscara de componentes PCB V1.0 y V2.0. Fuente propia.

En el anexo 5 se consigna el listado de componentes (BOM) utilizados en el diseño de la placa PCB V1.0 y V2.0.

3.5.2 Archivos gerber de fabricación del PCB

Luego de verificar las conexiones de los componentes electrónicos se requiere el servicio de fabricación del PCB siendo necesarios los archivos gerber, los cuales le permite a la máquina interpretar el diseño y hacer la fabricación como se muestra en la figura 35 y 36:

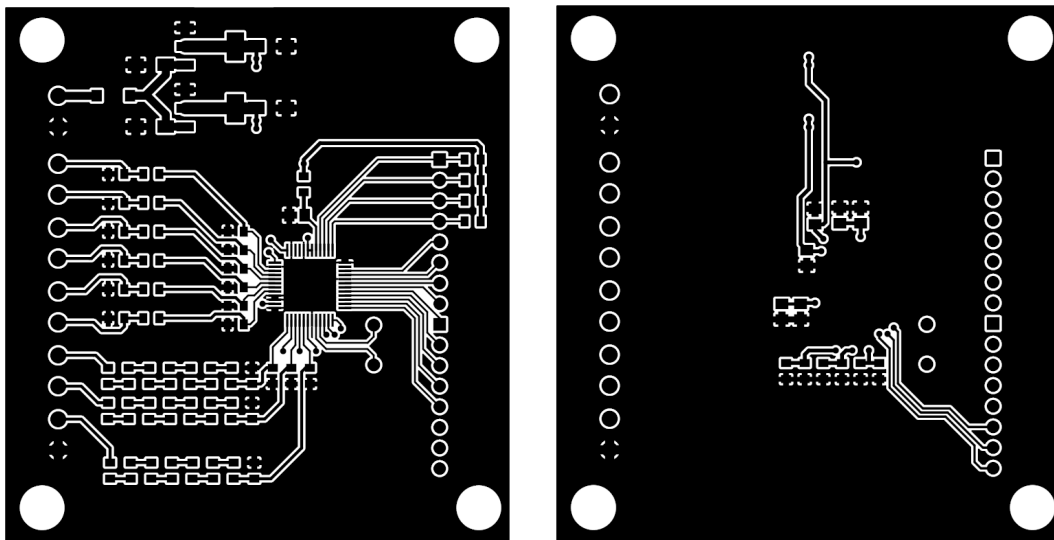


Figura 35: Imágenes gerber PCB V1.0. Fuente propia.

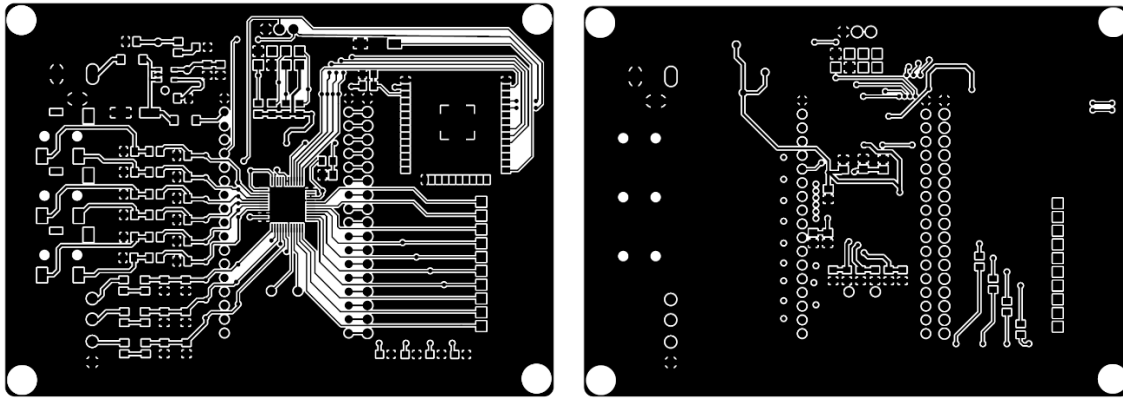


Figura 36: Imágenes gerber PCB V2.0. Fuente propia.

3.5.3 Producto final PCB

En las figuras 37 y 38 se puede observar la tarjeta PCB final impresa con todos los componentes soldados para su correcto funcionamiento:

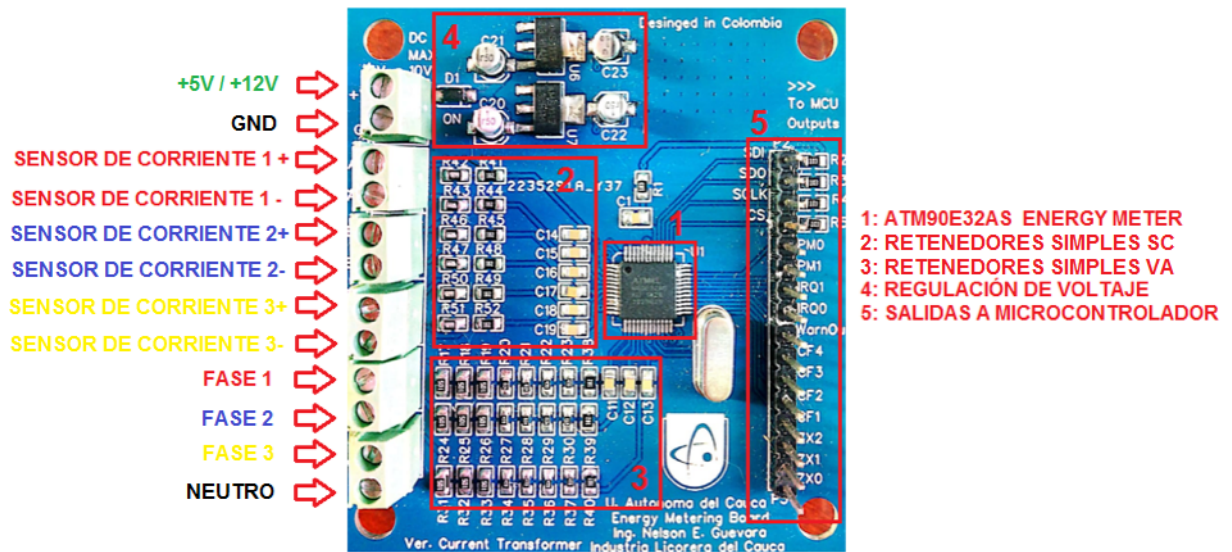


Figura 37: Capa Top PCB Final. Fuente propia.

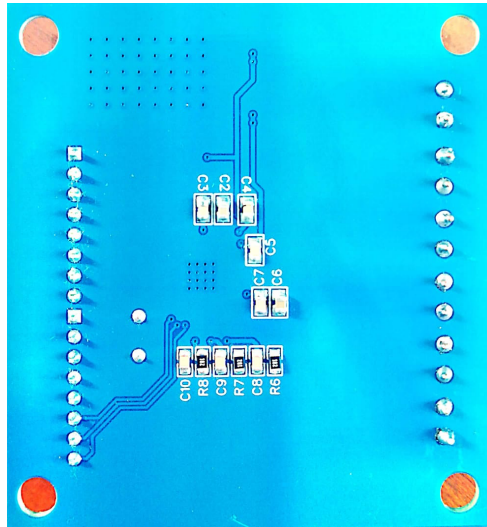


Figura 38: Capa Bottom PCB Final. Fuente propia.

3.6 Configuración chip ATM90E32AS

Un aspecto fundamental para el correcto funcionamiento del chip ATM90E32AS es la configuración de inicial de parámetros, por ello esta sección tiene como propósito brindar información relevante al lector como pines de salida del chip, modos de operación, comunicación SPI, ajuste de valores entre otros, para la comprender el funcionamiento del medidor:

3.6.1 Pines de salida ATM90E32AS

En la tabla 15 se describen los pines más relevantes para este proyecto y su respectiva función :

Pines	Función
V1P, V2P, V3P	Entradas para la medición de Voltaje (Fase A,B,C).
I1P, I2P, I3P	Entradas para la medición de Corriente (Fase A,B,C).
OSCI, OSCO	Conectados a un oscilador de cristal, se usa para crear un frecuencia de reloj estable para el chip (ATM90E32AS no requiere condensadores para el cristal ya que los posee internamente).
CF1, CF2, CF3, CF4	Señales de pulso para realizar lectura de energía activa, reactiva, aparente entre otras con instrumentos ópticos. (Se puede configurar igualmente por comunicación SPI).

Tabla 15: Modos de operación ATM90E32AS.

3.6.2 Modos de potencia

Los pines PM1 y PM0 determinan en que modo se requiere que opere el chip. El chip tiene cuatro modos de potencia diferentes y serán explicados brevemente a continuación:

PM1:PM0	Modo de Potencia
11	Normal (N modo)
10	Medida Parcial (M modo)
01	Detección (D moode)
00	Idle (I modo)

Tabla 16: Modos de potencia ATM90E32AS.

3.6.2.1 Modo normal

Todos los bloques en el ATM90E32AS están activos excepto el “Detector de corriente” debido a que este bloque compara si alguna corriente de fase supera un umbral configurado, siendo un bloque que no se necesita en el desarrollo del proyecto. Este tipo de configuración se puede observar en la figura 39:

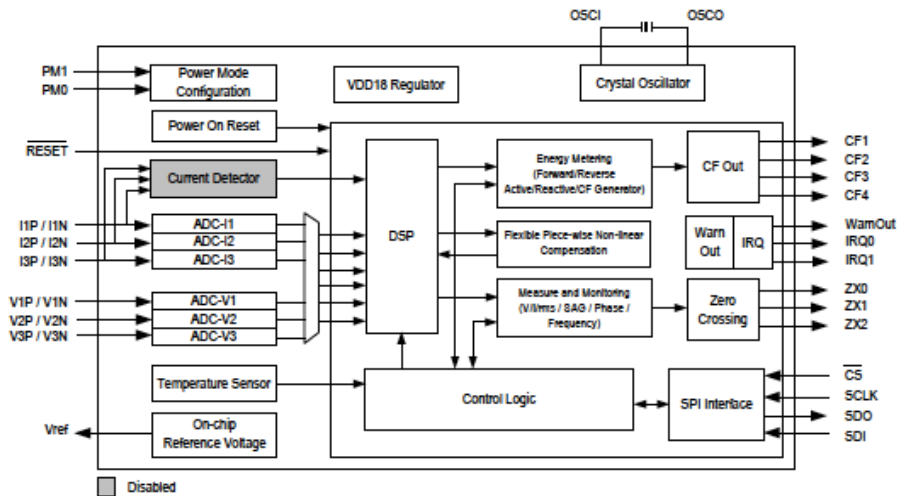


Figura 39: Partes activas en Modo normal ATM90E32AS [32].

3.6.2.2 Modo IDLE

En este modo todas las funciones están desactivadas, siendo útil esta configuración en aplicaciones de bajo consumo donde la tasa de muestreo es baja. El circuito integrado se alimenta con 3.3V de la fuente, pero consume una corriente sumamente pequeña, este modo estará activado solamente con el objetivo de esperar instrucciones de la unidad de control, en la figura 40 se puede observar los bloques deshabilitados excepto “Power Mode Configuration”:

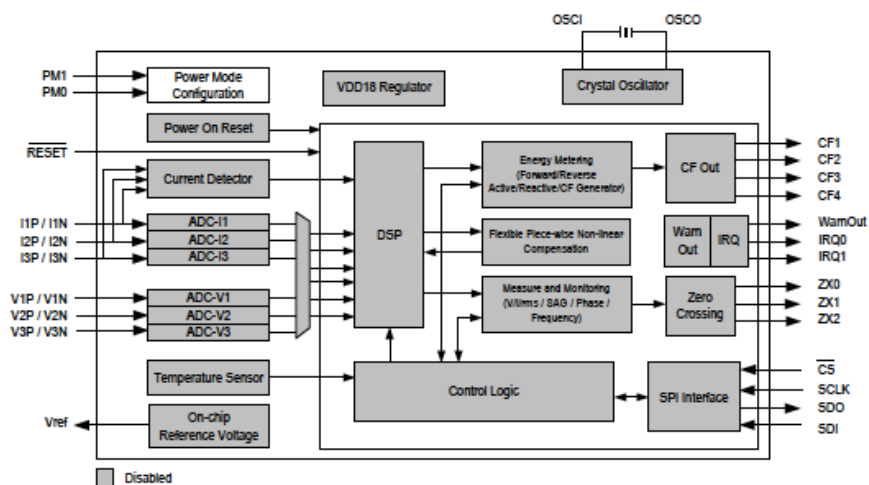


Figura 40: Partes activas en Modo Idle ATM90E32AS [32].

3.6.2.3 Modo detección

En la figura 41 se puede observar el diagrama de “Detection Mode”. El detector de corriente controla la corriente que pasa por las fases y verifica que no exceda un cierto nivel de umbral. IRQ permite saber si una o más fases están por encima del nivel configurado en el registro “DetectCtrl” (Dirección 10H):

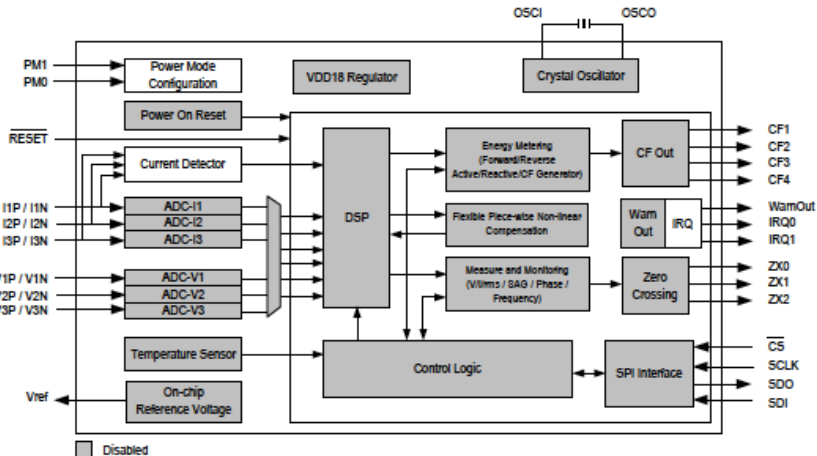


Figura 41: Partes activas en Modo detección ATM90E32AS [32].

3.6.2.4 Modo medida parcial

Es muy similar al Normal Mode, la diferencia es que el ATM90E32AS aquí funciona a una potencia menor, algunos de los bloques están deshabilitados y esto se puede apreciar en la figura 42. Existe la opción de suspender los sensores de corriente y bajar el reloj de 16,384 MHz a 8,192 MHz a través del registro “PMPwrCtrl” (Dirección: 0EH) en casos específicos para este modo:

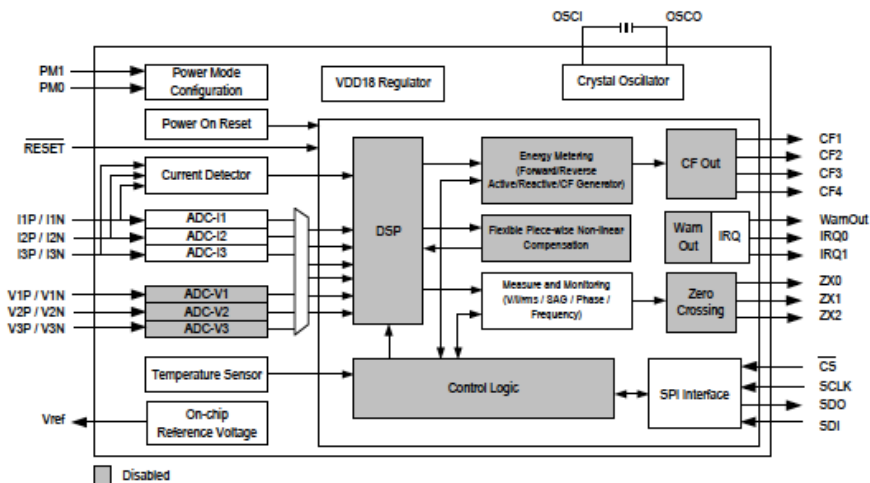


Figura 42: Partes activas en Modo medida parcial ATM90E32AS [32].

3.6.3 Interfaz SPI

La comunicación SPI es utilizada entre la unidad de control y el chip ATM90E32AS. Por otro lado el ATM90E32AS posee 244 registros donde todos tienen funciones específicas, como primer parámetro el chip debe estar configurado en el modo de energía deseado, en este caso se usa el chip en Modo normal, esto se logra con una señal lógica de 3.3V enviada desde la unidad de control o estar conectados directamente a VCC los pines PM1 y PM0 [32].

Así mismo para que exista el flujo de datos entre en la unidad de control y el chip, se pone en estado bajo el pin CS, esta comunicación bidireccional de lectura o escritura será explicada adelante con más detalle.

Cuatro (4) pines son los asociados con la interfaz SPI de la siguiente manera como se observa en la figura 43:

- **SDI:** Pin de datos de entrada.
- **SDO:** Pin de datos de salida.
- **SCLK:** Pin de entrada del reloj.
- **CS:** Entrada selección del chip.

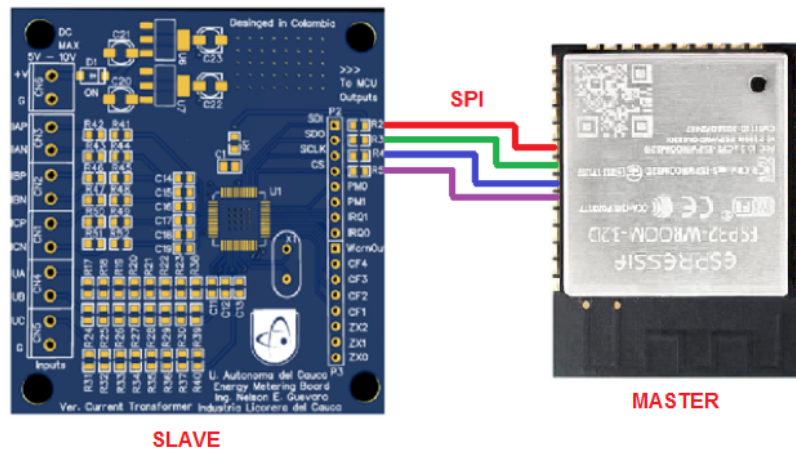


Figura 43: Comunicación SPI maestro - esclavo. Fuente propia.

Antes de realizar las mediciones se debe realizar la configuración SPI a través del maestro ESP32 VROOM u otra unidad de control, definiendo el reloj a una frecuencia adecuada por ejemplo 1 MHz, MSB (Bit más significativo) y SPI en “Mode 3” a su esclavo ATM90E32AS.

La polaridad del reloj y la fase son importantes en este proceso, cuando la polaridad es 0 esto significa que “Rising Edge” indica un pulso mientras que si la polaridad es 1 indica “Falling Edge” como un pulso, mientras que la fase indica cuando comienza el bit de datos.

Si la fase es 0, los datos estarán al final del ciclo de reloj, pero si la fase es igual a 1, se enviarán datos al comienzo del pulso como se observa en la figura 44 y la tabla 17:

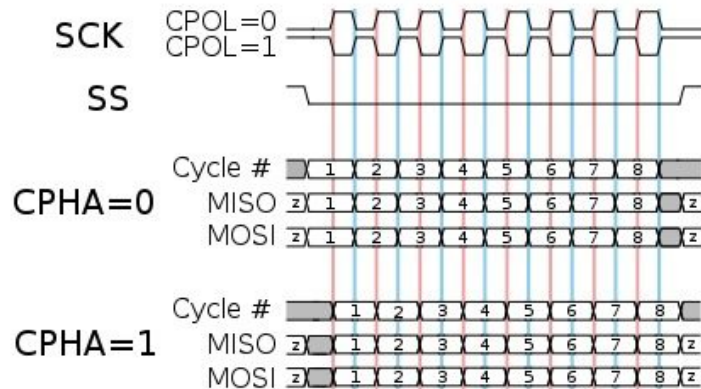


Figura 44: Tipos de comunicación SPI.

Modo SPI	Polaridad de Reloj (CPOL – CKP)	Fase de Reloj (CPHA)
0	0	0
1	0	1
2	1	0
3	1	1

Tabla 17: Modos de operación SPI.

3.6.3.1 Formato de interfaz SPI esclavo

La comunicación SPI se basa en enviar primero si los registros deben leerse o escribirse, es decir, si deben cambiar, el primer bit enviado al pin SDI define el tipo de acceso al chip ATM90E32AS. La tabla 18 muestra los tipos:

Instrucción	Descripción	Formato de Instrucción
Leer	Leer Registro	1
Escribir	Modificar Registro	0

Tabla 18: Formato de instrucciones para la comunicación SPI.

Una operación completa de lectura o escritura SPI es de 32 bits, que contiene una dirección de 16 bits y 16 bits de datos.

En la dirección de 16 bits, A0 – A9 corresponden a una dirección de registro válida, los bits A10 – A14 no importan, y el bit A15 define el modo de acceso de lectura o escritura.

Si la instrucción es leer la unidad de control se envía una señal de 32 bits al chip como se puede observar en la figura 45:

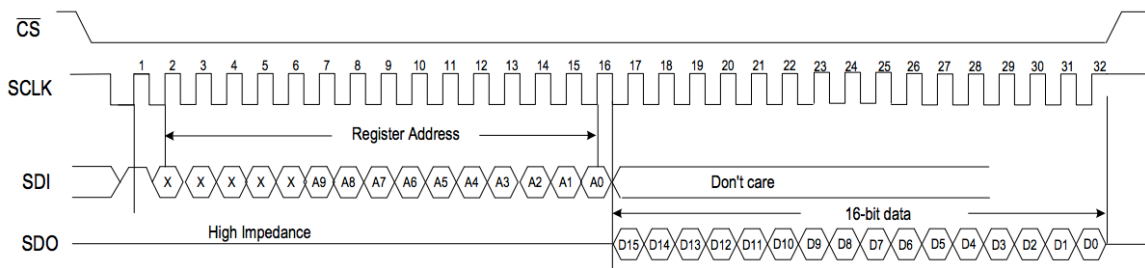


Figura 45: Secuencia de lectura [32].

Si se requiere configurar el valor de un registro se envía 32 bits que corresponden a la dirección válida y 16 bits del nuevo valor a reemplazar en dicha dirección en el ATM90E32AS como se observa en la figura 46:

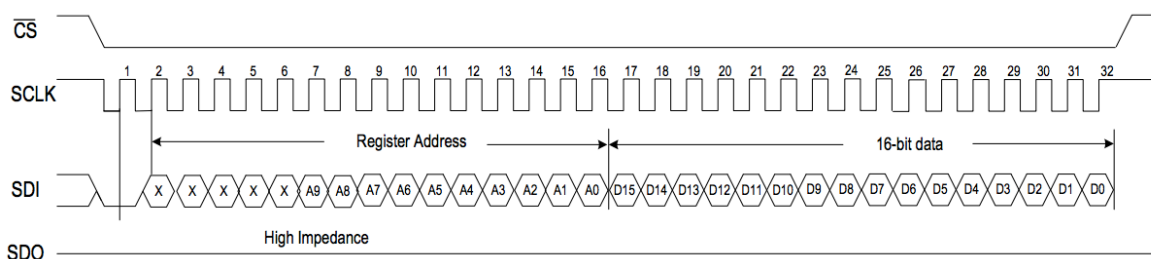


Figura 46: Secuencia de escritura [32].

El primer registro que se debe configurar es el “CfgRegAccEn” (Dirección: 7FH). Este registro permite la edición en el chip, es decir, que todos los demás registros se pueden configurar de la siguiente manera, “CfgRegAccEn” por 0x55AA, después de la configuración el medidor se activa estableciendo un bit en 1 en el registro “MeterEN” (Dirección: 00H) entre otras configuraciones según se requieran.

Además todos los ADC tiene una PGA (Power Gain Amplifier) en la entrada de alimentación y de voltaje para amplificar la señal después de la atenuación, para ello existe el registro “MMode1” (Dirección: 34H), que se puede usar para modificar la ganancia según lo requerido.

3.6.4 Ajuste de parámetros para medición

El ATM90E32AS debe ajustar ciertos parámetros para que las medidas solicitadas sean precisas, este proceso se logró con el apoyo de una pinza volti-amperimétrica calibrada. En la tabla 19 se muestra los parámetros que se deben sincronizar y que tipo de ajuste se requiere ejecutar:

Modo de Potencia	Parámetro	Ajuste requerido	Tipo de Ajuste
Modo Normal	Voltaje/Corriente	Si	Offset/Gain Ajust
	Potencia/Frecuencia/Fase de Angulo/Factor de potencia	No	-
	Medición de energía de onda completa	Si	Offset/Gain/Phase Angle Ajust
	Medición de energía fundamental	Si	Offset/Gain Ajust
	Medición de energía armónica	No	-

Tabla 19: Método de evaluación ATM90E32AS.

Una vez ajustados estos parámetros el medidor se encuentra listo para realizar lecturas acertadas. Aquellos parámetros que no se usan, no se hacen necesarios ajustarlos.

En el anexo 4 se consigna detalladamente el proceso de calibración y calculo de parámetros del medidor de energía. En el CD de anexos de igual manera se consigna la librería arduino ATM90E32AS diseñada en este proyecto la cual contiene todos los códigos fuente de los dispositivos hardware.

3.7 Gateway LoRa

Este módulo cumple dos funciones, la primera es recibir la información del medidor a través de la comunicación LoRa y la segunda como cliente vía internet como se observa en la figura 47:

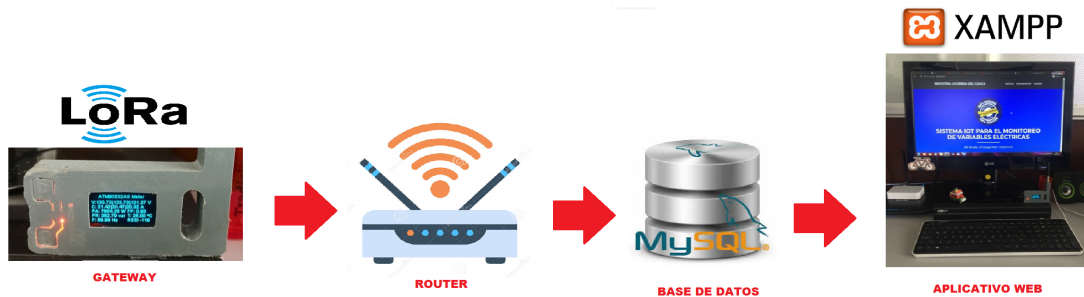


Figura 47: Diagrama cliente - servidor. Fuente propia.

Una vez recibida la información este dispositivo crea una solicitud HTTP tipo GET, la cual contiene los datos de las lecturas en su estructura, como se observa en la figura 48:



Figura 48: Estructura HTTP tipo GET. Fuente propia.

Este tipo de estructura se envía a través de la red Wi-Fi **Oficina_Mantenimiento** a la base de datos creada en MySQL, para depositar los valores sensados de las variables eléctricas, para esto se ha diseñado una tabla donde cada columna recibirá una variable como se muestra en la figura 49:

+ Opciones		ID	Fecha	Voltaje1	Voltaje2	Voltaje3	Corriente1	Corriente2	Corriente3	PA	FP	PR	Temp	Frec
Editar Copiar Borrar	1	2020-01-22 09:36:42	135.47	135.47	133.63	22.45	20.52	26.85	8794.53	0.94	533.68	23	59.99	
Editar Copiar Borrar	2	2020-01-22 09:37:04	135.44	135.44	133.54	22.67	24.31	30.46	9722.87	0.94	612.48	23	59.96	
Editar Copiar Borrar	3	2020-01-22 09:37:28	135.6	135.6	133.79	22.7	18.64	25.42	8412.03	0.94	509.42	23	60	
Editar Copiar Borrar	4	2020-01-22 09:37:58	135.46	135.47	133.64	22.97	18.61	25.14	8443.04	0.94	496.45	23	59.95	
Editar Copiar Borrar	5	2020-01-22 09:38:32	135.44	135.44	133.63	22.39	18.38	25.01	8304.32	0.94	491	23	59.98	
Editar Copiar Borrar	6	2020-01-22 09:38:57	135.74	135.74	133.94	22.44	18.74	26.4	8514.24	0.94	600.97	23	60.02	
Editar Copiar Borrar	7	2020-01-22 09:39:24	135.54	135.54	133.87	22.42	17.88	25.53	8312.84	0.94	603.09	23	59.99	
Editar Copiar Borrar	8	2020-01-22 09:39:51	135.55	135.55	133.93	22.45	18.56	25.92	8484.06	0.94	727.45	23	59.95	
Editar Copiar Borrar	9	2020-01-22 09:40:21	135.49	135.49	133.83	22.63	18.69	26.07	8589.44	0.95	741.41	23	59.92	
Editar Copiar Borrar	10	2020-01-22 09:40:54	135.18	135.18	133.5	22.53	20.48	27.53	8907.09	0.94	785.54	24	60.02	
Editar Copiar Borrar	11	2020-01-22 09:41:29	135.27	135.27	133.52	22.71	21.2	27.44	9024.56	0.94	652.75	24	60.02	
Editar Copiar Borrar	12	2020-01-22 09:41:56	135.2	135.2	133.42	22.31	23.02	29.04	9399.29	0.94	678.24	24	59.99	
Editar Copiar Borrar	13	2020-01-22 09:42:25	135.25	135.25	133.57	22.77	19.22	25.76	8598.57	0.95	625.41	24	59.95	
Editar Copiar Borrar	14	2020-01-22 09:43:08	135.27	135.27	133.63	21.91	19.02	25.34	8398.03	0.94	615.72	24	59.98	
Editar Copiar Borrar	15	2020-01-22 09:44:09	135.3	135.3	133.6	20.34	18.48	24.92	8163.34	0.95	365.37	24	60.02	
Editar Copiar Borrar	16	2020-01-22 09:44:31	135.25	135.24	133.51	20.58	18.32	24.88	8152.24	0.95	356.93	24	59.95	
Editar Copiar Borrar	17	2020-01-22 09:44:59	135.3	135.3	133.57	20.56	21.31	27.57	8880.65	0.95	407.72	24	59.99	
Editar Copiar Borrar	18	2020-01-22 09:45:26	135.35	135.35	133.66	20.53	20.09	26.21	8506.07	0.95	426.86	24	60	
Editar Copiar Borrar	19	2020-01-22 09:45:55	135.08	135.08	133.43	21.22	23.33	29.44	9431.81	0.95	483.35	24	59.96	

Figura 49: Base de datos creada en MySQL. Fuente propia.

En la figura 50 se puede observar el Gateway LoRa, en este caso se configuró un módulo ESP32 LoRa para realizar estas funciones:



Figura 50: Gateway ESP32 LoRa. Fuente propia.

En el anexo 1 se consigna la configuración inicial del módulo Gateway ESP32 LoRa y en el CD de anexos se deposita el código fuente en la librería Arduino ATM90E32AS.

3.8 Aplicativo Web

En este apartado se tratará el diseño del aplicativo web, el cual permite al usuario la visualización de las variables eléctricas recolectadas por el sistema. Este se realizó utilizando herramientas de software libre para no generar costos adicionales, como HTML, CSS, JavaScript, Frameworks y editores de texto.

Es importante resaltar que, antes de la programación de esta aplicación se debe instalar el servidor web local XAMPP en la computadora donde se almacenará la información, de igual manera la creación de la base de datos en MySQL. En el anexo 2 y 3 se consigna dicho proceso.

3.8.1 Menú principal

La plataforma cuenta con tres pestañas ubicadas en la parte superior derecha que corresponden a gráficos, documentación y bloques que componen el sistema IoT:

En la figura 51 se ilustra la interfaz principal del aplicativo web desarrollado:



Figura 51: Menú principal – Aplicativo Web. Fuente propia.

3.8.2 Gráficos

En esta sección se puede acceder al registro de las variables eléctricas monitoreadas, como se observa en la figura 52:

GRÁFICOS

VOLTAJE

CORRIENTE

POTENCIA
ACTIVA

POTENCIA
REACTIVA

FACTOR DE
POTENCIA

FRECUENCIA
TEMP °C

Figura 52: Variables eléctricas monitoreadas – Aplicativo Web. Fuente propia.

Cabe señalar que cada una de estas variables posee un submenú, que ofrece al usuario diferentes estilos de gráficos y reportes, como se puede observar en la figura 53:

SISTEMA IOT PARA EL MONITOREO DE VARIABLES ELÉCTRICAS

SELECCIONE UNA OPCIÓN:



Figura 53: Submenú – Aplicativo Web. Fuente propia.

Seguidamente, se describen los tipos de gráficos que componen esta sección de la plataforma:

Meter Voltaje

Este estilo permite observar el último valor numérico que ingresó a la base de datos, para este ejemplo la variable voltaje, como se observa en la figura 54:

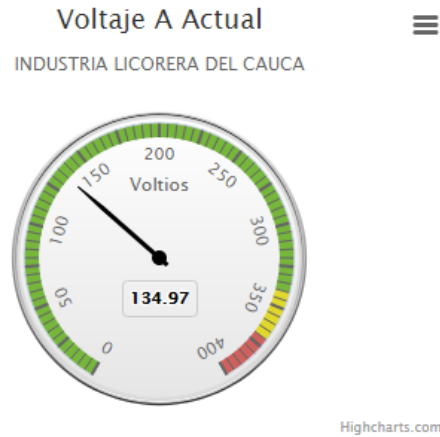


Figura 54: Gráfico Meter – Aplicativo Web. Fuente propia.

Por otra parte, es posible descargarlos en distintos formatos como se puede observar en la figura 55:

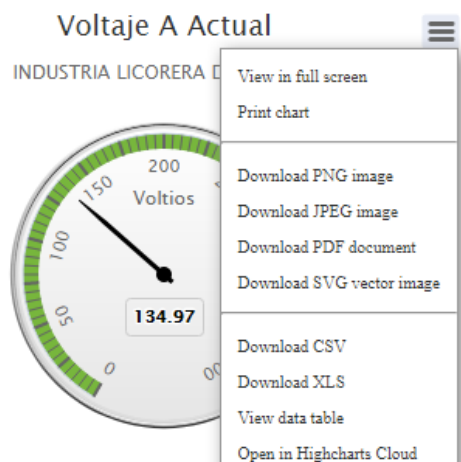


Figura 55: Opciones de descarga – Aplicativo Web. Fuente propia.

Gráfica de corriente mediante unión de puntos

Esta opción recrea de manera gráfica la información almacenada en la base de datos. El usuario posee la libertad de modificar la gráfica para observar dichos valores en segmentos en rangos de minutos, horas, días o semanas. En la figura 56 se puede observar un ejemplo:



Figura 56: Gráfica de corriente mediante unión de puntos. Fuente propia.

Gráfico de corriente mediante barras

Al igual que la opción anterior este tipo de gráfico tipo barras permite al usuario observar los valores almacenados de cualquier variable monitoreada. En la figura 57 se puede observar un ejemplo:

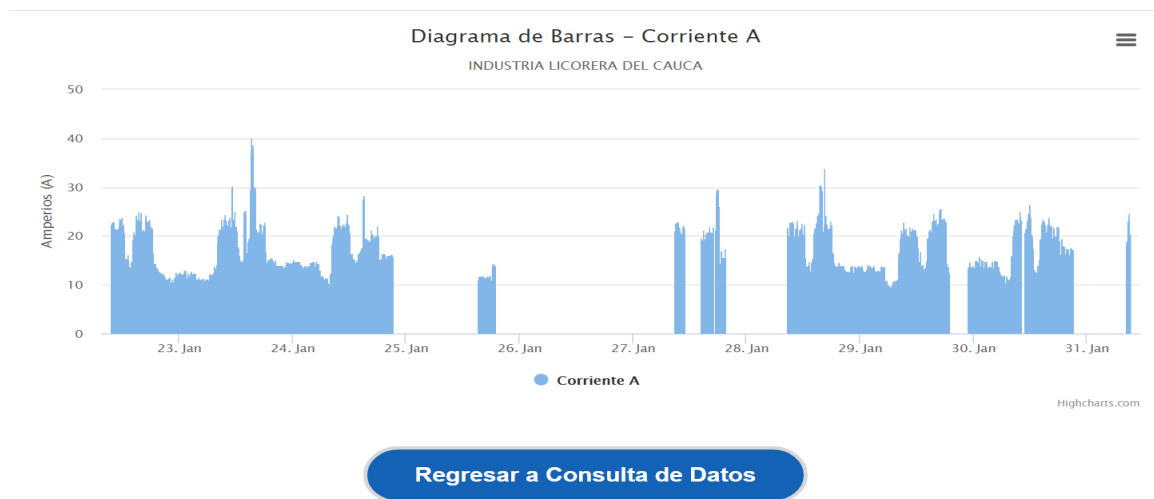


Figura 57: Gráfico de corriente mediante barras. Fuente propia.

Funcionalidad generación de reporte en Excel

Es importante mencionar que la posibilidad de generar reportes en hoja de cálculo parte como un requerimiento de la empresa dada la importancia de contar con este tipo de reportes, dicho esto se implementó una función que genera un archivo descargable compatible con Microsoft Excel, en el se almacena en formato filas el número de muestra, estampa de tiempo, voltajes y corrientes de cada fase, potencia activa, factor de potencia, potencia reactiva, temperatura y frecuencia de la red. En la figura 58 se puede observar un ejemplo del archivo en cuestión:

ID	FECHA	VOLTAJE 1 (V)	VOLTAJE 2 (V)	VOLTAJE 3 (V)	CORRIENTE 1 (A)	CORRIENTE 2 (A)	CORRIENTE 3 (A)	PACTIVA (W)	FP	PREACTIVA (VAR)	TEMPERATURA	FRECUENCIA
1	2020-01-22 09:36:42	135,47	135,47	133,63	22,45	20,52	26,85	8794,53	0,94	533,68	23	59,99
2	2020-01-22 09:37:04	135,44	135,44	133,54	22,67	24,31	30,46	9722,87	0,94	612,48	23	59,96
3	2020-01-22 09:37:28	135,6	135,6	133,79	22,7	18,64	25,42	8412,03	0,94	509,42	23	60
4	2020-01-22 09:38:58	135,46	135,47	133,64	22,97	18,61	25,14	8443,04	0,94	496,45	23	59,95
5	2020-01-22 09:38:32	135,44	135,44	133,63	22,39	18,38	25,01	8304,32	0,94	491	23	59,98
6	2020-01-22 09:38:57	135,74	135,74	133,94	22,44	18,74	26,4	8514,24	0,94	600,97	23	60,02
7	2020-01-22 09:39:24	135,54	135,54	133,87	22,42	17,88	25,53	8312,84	0,94	603,09	23	59,99
8	2020-01-22 09:39:51	135,55	135,55	133,93	22,45	18,56	25,92	8484,06	0,94	727,45	23	59,95
9	2020-01-22 09:40:21	135,49	135,49	133,83	22,63	18,69	26,07	8589,44	0,95	741,41	23	59,92
10	2020-01-22 09:40:54	135,18	135,18	133,5	22,53	20,48	27,53	8907,09	0,94	785,54	24	60,02
11	2020-01-22 09:41:29	135,27	135,27	133,52	22,71	21,2	27,44	9024,56	0,94	652,75	24	60,02
12	2020-01-22 09:41:56	135,2	135,2	133,42	22,31	23,02	29,04	9399,29	0,94	678,24	24	59,99
13	2020-01-22 09:42:25	135,25	135,25	133,57	22,77	19,22	25,76	8598,57	0,95	625,41	24	59,95
14	2020-01-22 09:43:08	135,27	135,27	133,63	21,91	19,02	25,34	8398,03	0,94	615,72	24	59,98
15	2020-01-22 09:44:09	135,3	135,3	133,6	20,34	18,48	24,92	8163,34	0,95	365,37	24	60,02
16	2020-01-22 09:44:31	135,25	135,24	133,51	20,58	18,32	24,88	8152,24	0,95	356,93	24	59,95
17	2020-01-22 09:44:59	135,3	135,3	133,57	20,56	21,31	27,57	8880,65	0,95	407,72	24	59,99
18	2020-01-22 09:45:26	135,35	135,35	133,66	20,53	20,09	26,21	8506,07	0,95	426,86	24	60
19	2020-01-22 09:45:55	135,08	135,08	133,43	21,22	23,33	29,44	9431,81	0,95	483,35	24	59,98
20	2020-01-22 09:46:30	135,16	135,16	133,28	20,94	21,05	27,25	8797,08	0,95	440,26	24	59,96
21	2020-01-22 09:46:58	135,38	135,38	133,61	20,53	18,78	25,23	8261,88	0,95	388,14	24	59,96
22	2020-01-22 09:47:20	135,28	135,28	133,4	20,62	19,02	25,55	8340,27	0,95	392,75	24	59,95
23	2020-01-22 09:47:51	135,32	135,32	133,34	20,59	22,68	29,8	9293,09	0,95	559,36	24	59,96
24	2020-01-22 09:48:10	135,46	135,46	133,58	20,74	18,84	26,33	8441,3	0,95	493,46	24	60,02
25	2020-01-22 09:48:35	135,46	135,46	133,51	21,19	18,24	25,96	8368,94	0,95	489,33	24	59,96
26	2020-01-22 09:48:55	135,38	135,38	133,48	20,66	18,65	26,03	8342,66	0,95	498,57	24	59,99
27	2020-01-22 09:49:20	135,06	135,07	133,17	20,7	18,85	26,21	8398,2	0,95	506,35	24	59,93
28	2020-01-22 09:49:52	135,35	135,35	133,43	21,11	21,07	28,29	8999,49	0,95	576,99	24	59,96
29	2020-01-22 09:50:22	135,1	135,1	133,28	20,94	21,09	27,13	8767,34	0,95	470,99	24	59,98
30	2020-01-22 09:50:58	135,54	135,54	133,65	21,13	22,61	28,76	9201,91	0,94	488,57	24	60,02
31	2020-01-22 09:51:23	135,39	135,39	133,61	20,81	20,74	27,18	8734,15	0,95	456,77	24	60
32	2020-01-22 09:51:56	135,49	135,49	133,69	21,08	18,86	25,47	8408,06	0,96	400,89	24	60

Figura 58: Reporte Excel descargable. Fuente propia.

3.8.3 Funcionalidad de documentación

Esta sección permite el acceso a los archivos relacionados con el proyecto como soporte técnico, entre la documentación se encuentra las guías de instalación, librerías, códigos fuente del medidor, gateway, aplicativo web entre otros documentos de interés los cuales se puede acceder para descarga a través de su hipervínculo. En la figura 59 se puede observar dicho bloque:



DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA IOT

Figura 59: Documentación. Fuente propia.

3.8.4 Opción bloques

Esta función se implementó con el objetivo que el usuario pueda visualizar la estructura del sistema desarrollado a nivel de bloques. En la figura 60 se presenta la imagen desplegada al dar clic sobre esta función:



Figura 60: Bloques. Fuente propia.

CAPITULO IV: RESULTADOS, ANÁLISIS Y OBTENCIÓN DE DATOS

En este capítulo se detalla el proceso de evaluación del sistema electrónico y análisis de los datos obtenidos. La primera actividad consiste en el diseño de una prueba la cual obedece también a un requerimiento y primer objetivo específico del proyecto, que es medir las variables asociadas a un circuito interno de la empresa.

4.1 Descripción de prueba de campo

Esta prueba consistió en conectar el módulo medidor en el circuito del área administrativa de la empresa, debido a que es el circuito con más carga, con el que se pretende a través del sistema analizar su comportamiento de consumo energético en el tiempo.

Durante la evaluación, el sistema estuvo operando en el transcurso de cinco (5) días con el objetivo de recolectar datos, este tiempo fue determinado por el Jefe de Mantenimiento.

Se debe agregar que, las conexiones eléctricas se realizaron con el apoyo del personal calificado en el área de electricidad de la empresa, dado que esta tarea es considerada como una operación de alto riesgo.

A continuación, en la tabla 20 se detallan los elementos necesarios para ejecutar esta prueba.

4.2 Elementos requeridos

Item	Descripción	Cantidad
Módulo medidor de energía	Basado en el chip ATM90E32AS	1
Sensores de corriente	Ref. YHDC SCT016	3
Antenas	Frecuencia de 915MHz	2
Fuente de alimentación	Elemento que proporciona 5V al sistema electrónico	1
Montaje con conexión a gabinete eléctrico	Montaje con cables para sensado de voltaje y corriente, dispuestos de fácil acceso mediante bornera	1

Tabla 20: Elementos requeridos para prueba en campo.

4.3 Esquema de conexión

Dicho lo anterior, en la figura 61 se presenta el esquema de conexiones realizado para el correcto funcionamiento del sistema:

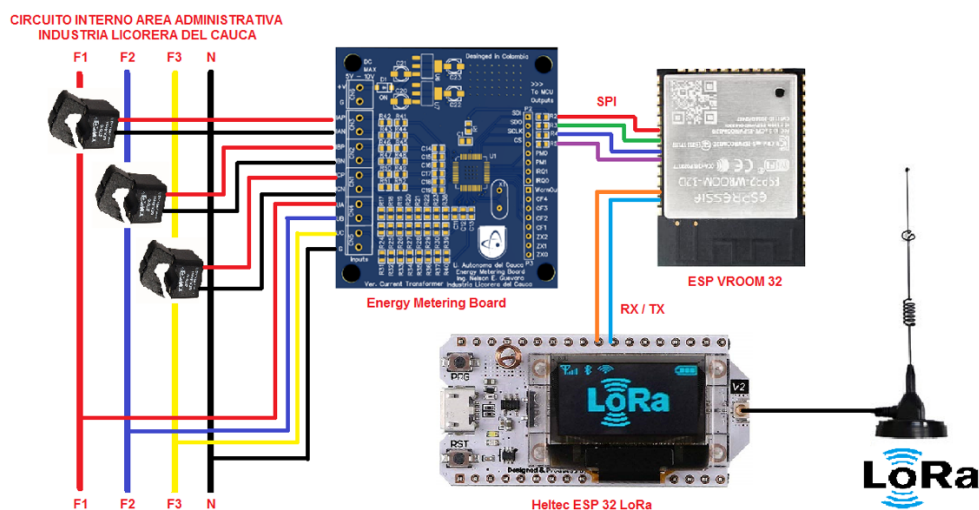


Figura 61: Esquemático de conexiones ESP 32, ESP32 LoRa, ATM90E32AS y Sensores de corriente SCT016. Fuente propia.

El totalizador principal de la empresa se compone de ocho (8) circuitos, entre ellos el circuito del área administrativa cuya acometida se encuentra en la parte inferior derecha en el recuadro 1 de color rojo, como se observa en la figura 62:

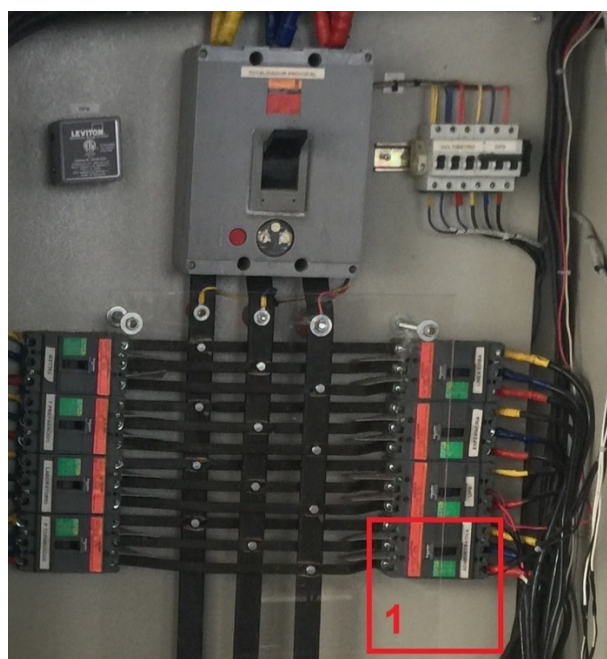


Figura 62: Circuito área administrativa – Industria Licorera del Cauca. Fuente propia.

La figura 63 brinda una visión más ampliada del totalizador principal donde se conectó el sistema. En la parte superior izquierda en el recuadro 2 de color rojo se encuentra el medidor realizando la toma de datos:

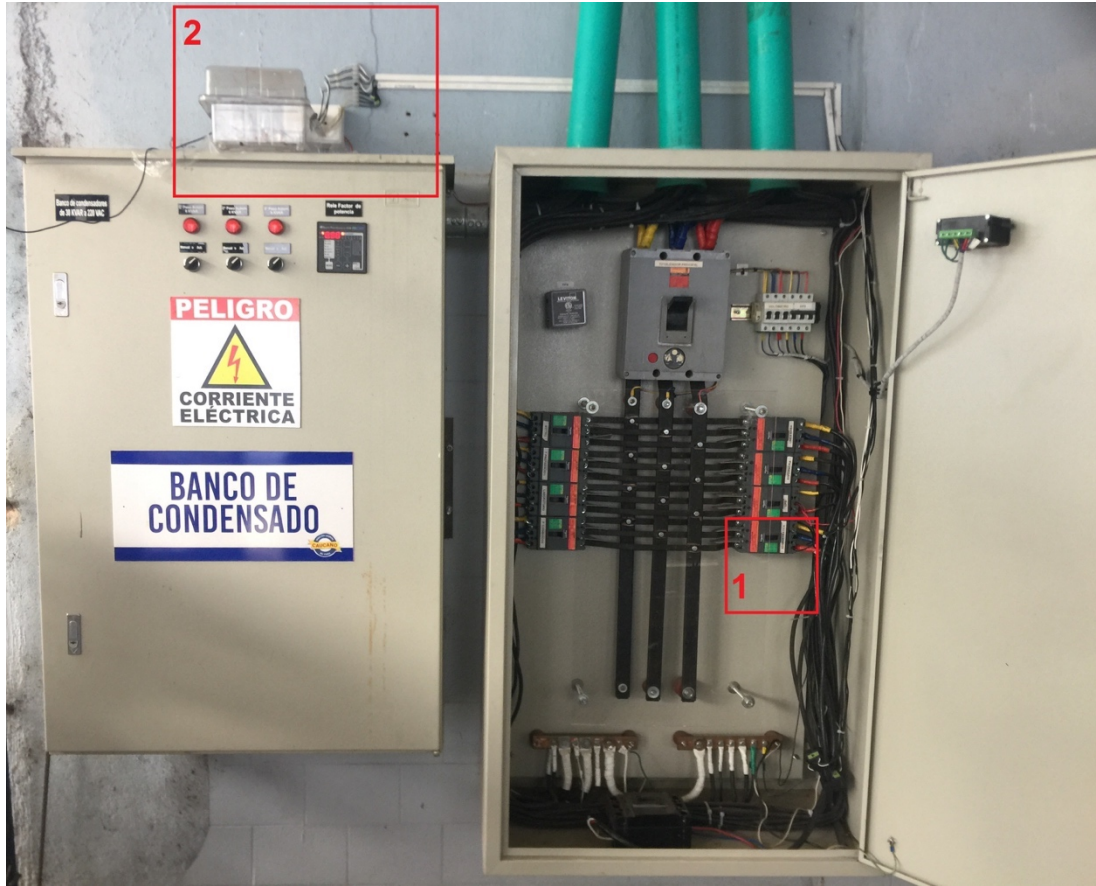


Figura 63: Totalizador principal eléctrico – Industria Licorera del Cauca. Fuente propia.

Los datos recolectados por el medidor de energía denominado nodo son enviados a través de la comunicación inalámbrica LoRa a una frecuencia de 915 MHz (Frecuencia permitida en Colombia) [42] hacia el gateway LoRa que se encuentra ubicado en la oficina de mantenimiento. La figura 64 ofrece una vista aérea de la ubicación de estos dos elementos:



Figura 64: Ubicación nodo, gateway - Industria Licorera del Cauca. Fuente propia.

4.4 Datos obtenidos

En el tiempo que duró la prueba, el sistema electrónico capturó 16.857 datos, con actualizaciones cada 30 segundos en el servidor web de las siguientes variables eléctricas:

- Voltaje en las tres fases, VF1, VF2, VF3 [V]
- Corriente en las tres fases, IF1, IF2, IF3 [A]
- Potencia activa
- Potencia reactiva
- Factor de potencia
- Frecuencia
- Temperatura

Las siguientes gráficas fueron arrojadas por el sistema electrónico, en las cuales se hizo un recorde por día correspondiente a las fechas en el recuadro gris de cada imagen y así poder analizar el comportamiento de un día completo de las variables en el circuito bajo monitoreo.

4.4.1 Gráficas voltajes

Para comenzar en las figuras 65, 66 y 67 se presentan las graficas de voltaje en las fases VF1, VF2 y VF3 muestreadas:

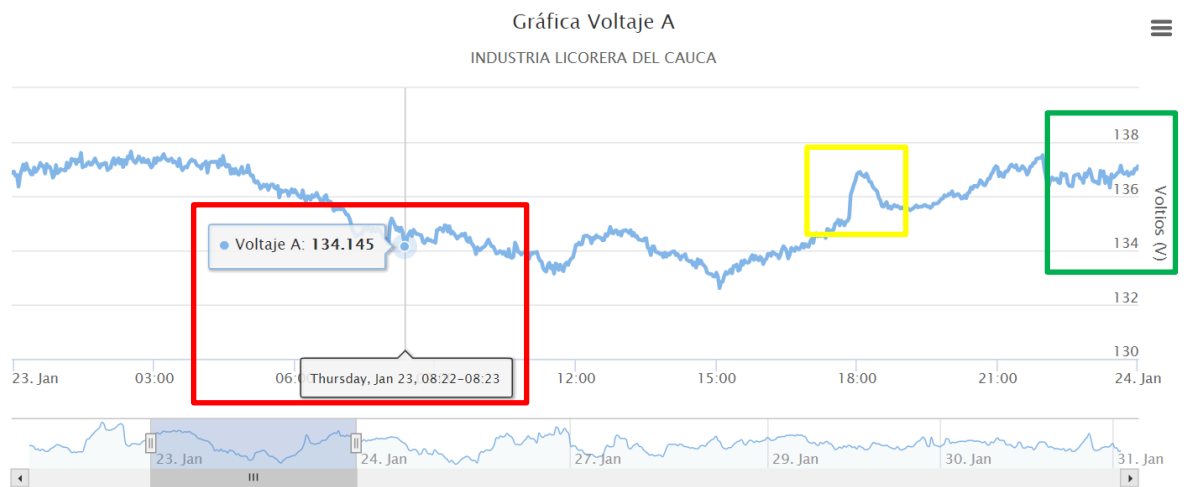


Figura 65: Gráfica voltaje VF1 – Periodo de muestreo. Fuente propia.

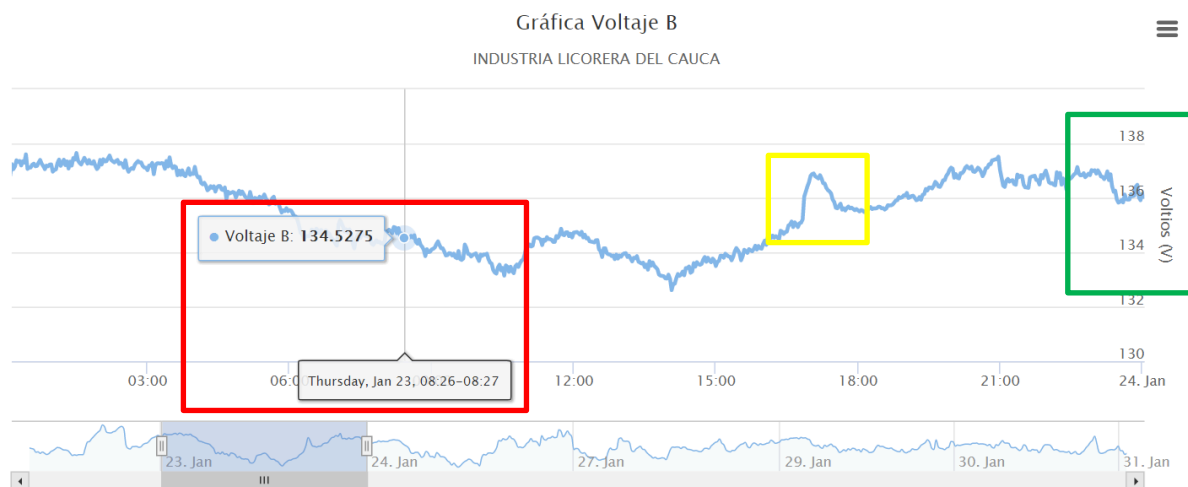


Figura 66: Gráfica voltaje VF2 – Periodo de muestreo. Fuente propia.

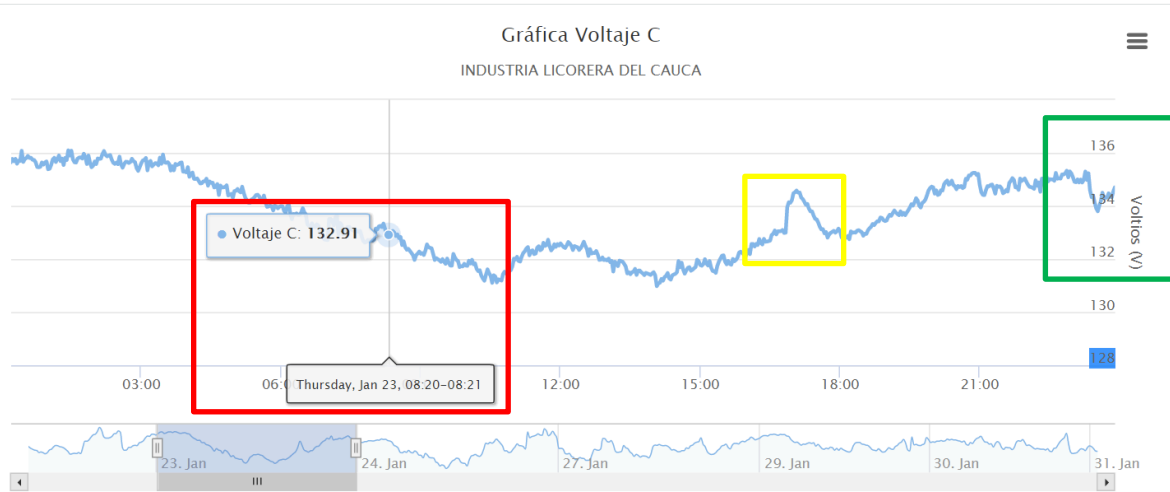


Figura 67: Gráfica voltaje VF3 – Periodo de muestreo. Fuente propia.

Finalmente en ellas se pudo observar por primera vez comportamientos del voltaje en área administrativa, los comportamientos observados fueron:

- Según las gráficas la variación promedio es de 3 a 4 voltios en horas laborales en cada fase, lo que indica un desbalance en las cargas de la red. (Recuadros verdes).
- En cada gráfica se nota de picos de tensión 10 minutos en cada fase antes de finalizar la segunda jornada laboral. (Recuadros amarillos).
- En todas las gráficas ocurre una reducción del voltaje en las tres fases al inicio de la primera jornada laboral (Recuadros rojos).
- El comportamiento de las señales de voltaje en las tres fases es muy similar pero la reducción de voltaje en ellas no es el mismo en la primera jornada laboral comparada con la segunda jornada.

Estos aspectos permiten conocer al usuario eventos relacionados con las actividades desarrolladas dentro de la empresa para detectar comportamientos anormales.

4.4.2 Gráficas corrientes

Seguidamente, en las figuras 68, 69 y 70 se puede observar las gráficas de la corriente de las fases IF1, IF2, IF3 muestreadas:

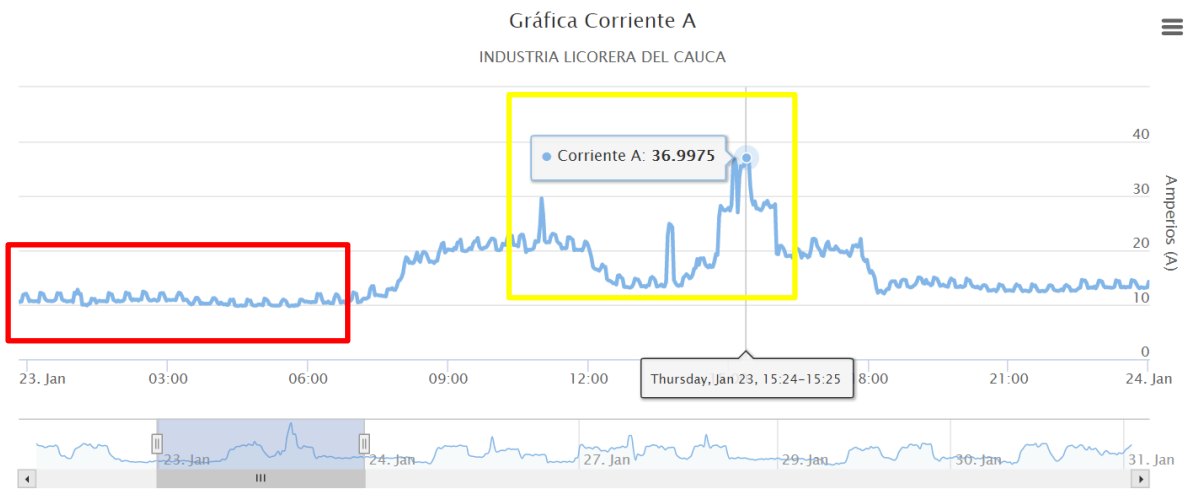


Figura 68: Gráfica corriente IF1 – Periodo de muestreo. Fuente propia.

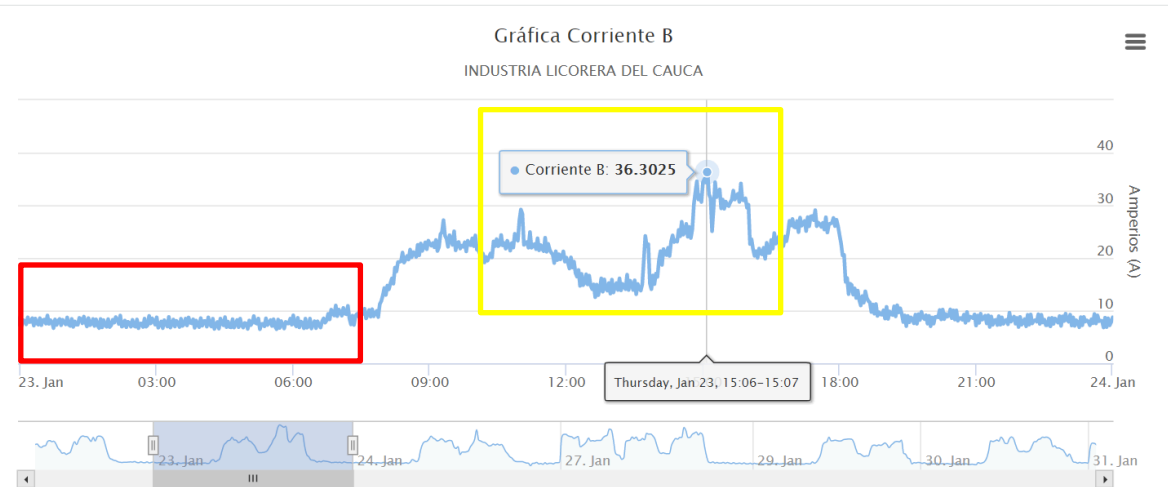


Figura 69: Gráfica corriente IF2 – Periodo de muestreo. Fuente propia.

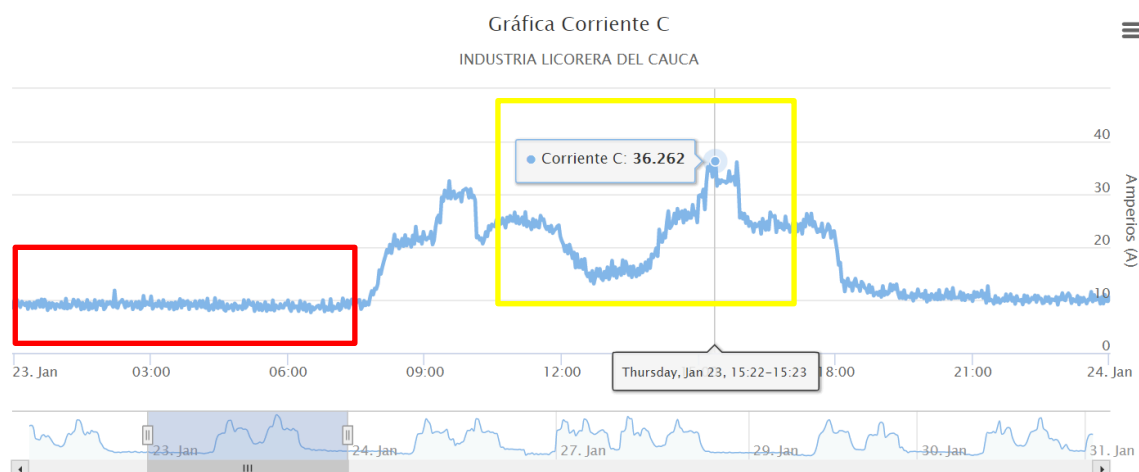


Figura 70: Gráfica corriente IF3 – Periodo de muestreo. Fuente propia.

Los comportamientos observados fueron los siguientes:

- En todas las gráficas el consumo en corriente aumenta en horas laborales de 8AM a 12PM y de 2PM a 6PM.
- En todas las gráficas existe un consumo significativo de 10 amperios en horas nocturnas en siendo este el consumo básico en el circuito. (Recuadros rojos).
- El consumo nocturno en corriente observado en las gráficas equivale a la operación de dos gabinetes de servidores web y aires acondicionados utilizados para su refrigeración.
- En la primera jornada laboral el consumo en corriente es de 20 amperios en promedio por cada fase.
- En cada gráficas se presenta un decremento en corriente entre las 12PM y 2PM el cual no llega a los 10 amperios por fase, debido a que seguramente quedan equipos conectados como celulares, computadores entre otros, en horas de almuerzo. (Recuadro amarillo).
- Según las gráficas a partir de las 2 PM se nota nuevamente un incremento de corriente y es en la fase 1 donde ocurre un pico máximo de 36 amperios cerca de las 3:30 PM, que consultando con el personal y según hábitos es altamente probable que se deba al encendido de cocinas eléctricas para preparar café y también aires acondicionados. (Recuadro amarillo).
- En las gráficas de las fases 2 y 3 se presentan rizados significativos respecto a la gráfica de la fase 1, seguramente se debe a fuentes conmutadas que poseen los computadores, celulares y otros equipos electrónicos.

- El comportamiento de las señales de corriente no es similar debido a que las cargas conectadas en cada fase son diferentes.

Algunos de estos comportamientos son altamente recomendados evitar o reducir para mitigar el consumo energético en el circuito del área administrativa de la empresa mediante seguimientos continuos para encontrar posibles causas.

4.4.3 Gráfica potencia activa

Consecutivamente, en la figura 71 se puede observar la gráfica de energía activa entregada por el sistema en las tres fases:



Figura 71: Gráfica potencia activa – Periodo de muestreo. Fuente propia.

Este tipo de energía esta asociada a todo el trabajo eléctrico requerido en el circuito. Los comportamientos observados para esta variable son los siguientes:

- Según la gráfica el valor promedio de la energía activa de las tres fases en horas no laborales es de 4KW (Recuadro rojo) y de 13KW máximos en horas laborales (Recuadro amarillo).

Esta variable permite al usuario conocer la potencia requerida en el circuito del área administrativa, con el propósito de reducir dicho valor a futuro.

4.4.4 Gráfica potencia reactiva

En la figura 72 se puede apreciar la gráfica de energía reactiva de las tres fases entregada por el medidor:



Figura 72: Gráfica potencia reactiva – Periodo de muestreo. Fuente propia.

Los comportamientos observados para esta variable son los siguientes:

- Según la gráfica la potencia reactiva en promedio en horas no laborales corresponde a un valor de 250 vares y 1100 vares en horas laborales. (Recuadro rojo y amarillo).
- Según los datos arrojados por el sistema este tipo de energía está dentro de los niveles permitidos la cual no excede por más del 50% a la energía activa, obedeciendo a la Resolución 065 de 2012 por parte de la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG).
- Este tipo de energía puede ser a causa de que no existen motores o máquinas grandes que requieren de campo magnético, pero si hay variaciones por los switcheos de los equipos conectados a la red.

Por otra parte este tipo de energía se debe mantener en niveles permitidos para evitar penalizaciones por parte de la empresa que brinda el servicio eléctrico.

4.4.5 Gráfica factor de potencia

En la figura 73 se puede observar el comportamiento del factor de potencia total de las fases en el periodo de muestreo:

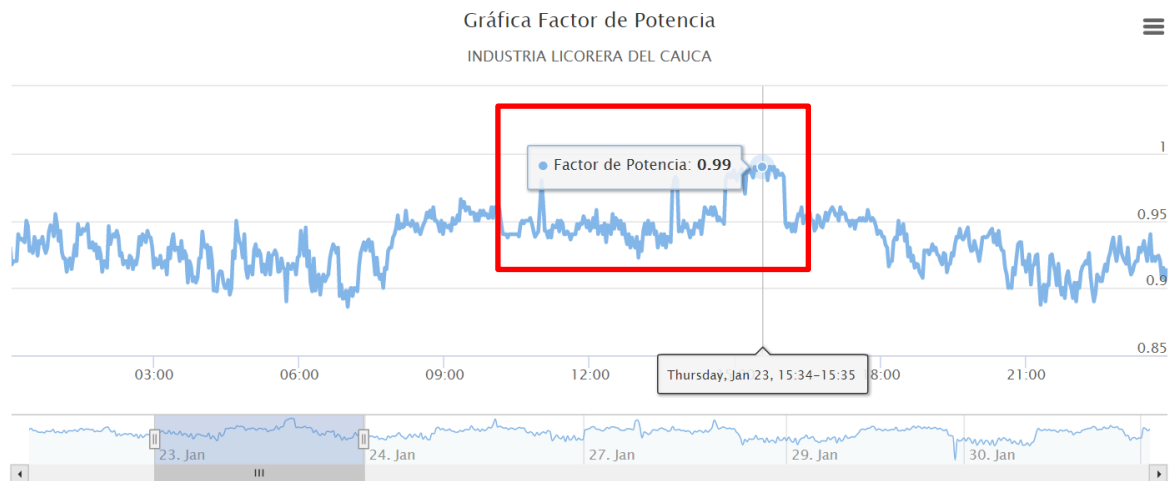


Figura 73: Gráfica factor de potencia – Periodo de muestreo. Fuente propia.

Los comportamientos observados para el factor de potencia son los siguientes:

- Según la gráfica la variación de esta variable en promedio es de 0.09 manteniendo un valor muy cercano 1 entre 0.90 a 0.99 el cual se encuentra dentro de los niveles permitidos obedeciendo al artículo 25 de la resolución 108 de 1997 por parte de la CREG. (Recuadro rojo).

Por otro lado, se debe aclarar que en la empresa se encuentra un gabinete con bancos de condensadores ayudando a mantener dicho valor.

4.4.6 Gráfica frecuencia

Seguidamente, en la figura 74 se puede observar la gráfica de la frecuencia total de las fases muestreadas por el sistema:

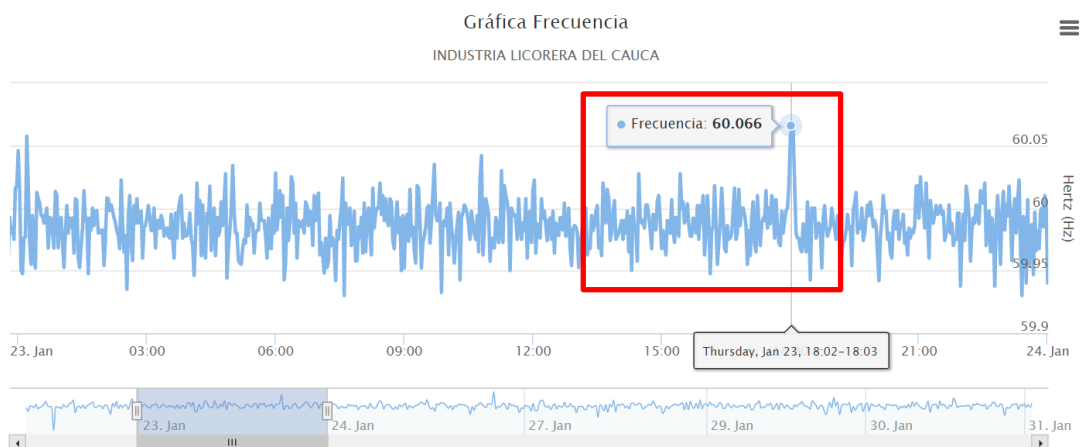


Figura 74: Gráfica frecuencia– Periodo de muestreo. Fuente propia.

Los comportamientos observados para la frecuencia son los siguientes:

- Según la gráfica el valor de la frecuencia se encuentra muy cercano a los 60Hz, esto indica que no existe distorsión armónica marcada, la cual obedece a la resolución 025 de 1995 por parte de la CREG, donde dicta que el rango de variación de operación debe estar entre 59.89 y 60.20Hz. (Recuadro rojo).

4.4.7 Gráfica temperatura

Finalmente se puede observar en la figura 75 la gráfica de temperatura captada por el medidor de energía:

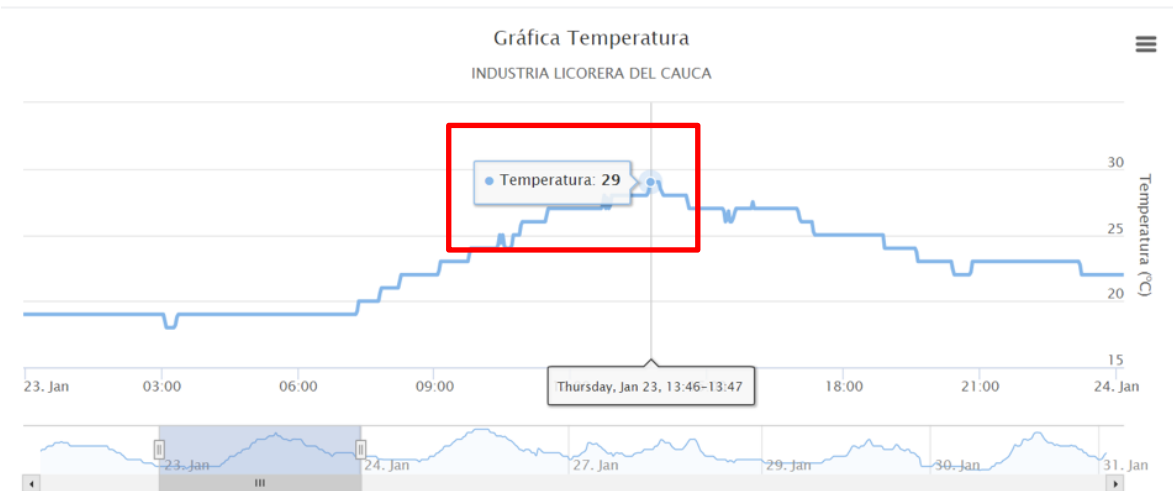


Figura 75: Gráfica temperatura – Periodo de muestreo. Fuente propia.

Dado que el medidor de energía se encuentra muy cerca al gabinete principal eléctrico la temperatura es un parámetro importante para determinar si hay recalentamiento en el cableado de los circuitos internos de la empresa. Los picos en temperatura que se observan en el recuadro de color rojo corresponden al funcionamiento del sistema sumado el calor de medio día. Adicionalmente, es importante indicar que si se ubica este dispositivo en un área donde existan aires acondicionados se puede contrastar la temperatura y el consumo energético.

CONCLUSIONES

- El sistema desarrollado permitió el monitoreo continuo y el análisis de los datos por medio de gráficas obtenidas, en ellas se pudo estimar el consumo energético, reconociendo horas pico de consumo y espacios de tiempo de bajo consumo identificando después de una comparación de varios días el patrón de consumo energético, lo que permitirá relacionarlo con actividades realizadas, para en un futuro generar proyectos de disminución de este gasto.
- No se pudo determinar el número total de equipos conectados al circuito del área administrativa, ya que las instalaciones son muy antiguas por ello es necesario diseñar el unifilar de la Industria Licorera del Cauca para saber como están distribuidas las cargas.
- El uso de tecnologías como IoT como es el caso de LoRa, permitió realizar un monitoreo remoto de las variables energéticas, con un alcance de hasta 300 metros entre el dispositivo de sensado y el concentrador.
- A nivel de la labor desarrollada como pasantía en la Industria Licorera del Cauca, se pudo tener una experiencia con todas las características que conlleva un proceso de ingeniería en el ámbito de I+D interactuando con diferentes tecnologías y herramientas de diseño hardware en el desarrollo del proyecto permitiendo ampliar conocimientos para la creación de soluciones tecnológicas.

TRABAJOS FUTUROS

- Adaptar el dispositivo a nivel hardware utilizando bobinas de Rogowsky las cuales permiten mayor precisión e incorporar una Raspberry Pi con conexión móvil 4G para el uso del sistema en diferentes escenarios con el fin de convertir el sistema en una herramienta portable.
- Adaptar el dispositivo a nivel software para que permita analítica de datos de consumo basado en la normatividad RETIE y CREG utilizando bases de datos no relacionales para que genere alertas o notificaciones vía correo electrónico e implementar un función para el encolamiento de datos cuando se pierda la conexión a internet, de esta manera se garantiza que ningún dato se pierda.
- Diseñar una red LoRa tipo estrella para el muestreo de distintos puntos eléctricos dentro de la empresa.
- Realizar calibración para certificación en laboratorio.

REFERENCIAS

- [1] C. DE Mondial L, “Recursos energéticos globales Encuesta 2013: Resumen WORLD ENERGY COUNCIL,” 2013. [Online]. Available: www.worldenergy.org. [Accessed: 14-May-2019].
- [2] Conselho Mundial da Energia, “Estudo do Conselho Mundial da Energia (WEC) destaca os grandes desafios do sistema de energia da América Latina e Caribe,” 2014. [Online]. Available: <https://www.worldenergy.org/estudo-do-conselho-mundial-da-energia-wec-destaca-os-grandes-desafios-do-sistema-de-energia-da-america-latina-e-caribe/>. [Accessed: 14-May-2019].
- [3] Ministerio de Educación Nacional and Universidad de Antioquía, “CVN - Colombia una potencia en energías alternativas,” 2016. [Online]. Available: <https://www.mineducacion.gov.co/cvn/1665/article-117028.html>. [Accessed: 14-May-2019].
- [4] J. Jaimes Rubiano, jonathan_jr00@hotmail.com, and E. en A. Gerencia, “Análisis de introducción sostenible de energías alternativas en Colombia,” *Cadena, Á. I. (2009)*. “Regulación para Incent. las energías alternas y la generación Distrib. en Colomb. Bogotá., vol. 1, p. 21, Aug. 2016.
- [5] Ministerio de Minas y Energía MME and Unidad de Planeación Minero Energética UPME, “PLAN DE ACCIÓN INDICATIVO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA 2017-2022,” Bogotá - Colombia, 2017.
- [6] Akseli Savolainen, “Hacia un futuro mejor,” 2004. [Online]. Available: http://www.blindobarra.co/pdf/ABB/04-2004/34-38_4M892.pdf. [Accessed: 20-May-2019].
- [7] L. Nahuel, “Impacto de la utilización de tecnologías informáticas frente a la búsqueda de eficiencia energética en organizaciones,” p. 9, 2016
- [8] P. L.- ICE, R. de Economía, and U. 2009, “Eficiencia energética y medio ambiente,” *revistasice.com*, vol. 1, p. 18, 2009.
- [9] D. C. Yacchirema Vargas and C. E. Palau Salvador, “Smart IoT Gateway For Heterogeneous Devices Interoperability,” *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 14, no. 8, pp. 3900–3906, Aug. 2016.
- [10] M. Román Lumbreras, J. Bergas Jané, A. Sudrià Andreu, and Universitat Politècnica de Catalunya. Departament d’Enginyeria Eléctrica., *Filtros activos de potencia para*

la compensación instantánea de armónicos y energía reactiva. Universitat Politècnica de Catalunya, 2006.

- [11] C. Ríos-Reyes, R. Rendón, M. N.-S. et technica, and undefined 2003, “ANÁLISIS DE ARMÓNICOS EN SISTEMAS ELÉCTRICOS.,” *dialnet.unirioja.es*, p. 6, 2003.
- [12] A. Arango-Manrique, “Caracterización del Esquema Remunerativo del Control de Tensión en el Mercado Eléctrico Colombiano,” Universidad Nacional de Colombia, 2010.
- [13] Resolución, “CREG 108 de 1997,” 1997. [Online]. Available: <http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/Indice01/Resolución-1997-CR108-97>. [Accessed: 29-Mar-2019].
- [14] CREG, “Resolución 047 de 2004,” 2004. [Online]. Available: <http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/Indice01/Resolución-2004-CREG047-2004>. [Accessed: 29-Mar-2019].
- [15] D. Sevilleja Aceituno and F. Soto Martos, “Eficiencia Energética En El Sector Industrial,” p. 92, Dec. 2011.
- [16] ILC, “Industria Licorera del Cauca,” 2014. [Online]. Available: <http://aguardientecaucano.com/category/institucional/>. [Accessed: 14-Mar-2019].
- [17] Twenergy, “Energía eléctrica - Twenergy.” [Online]. Available: <https://twenergy.com/energia/energia-electrica>. [Accessed: 09-Apr-2019].
- [18] ESSA, “Qué es la energía eléctrica | ESSA,” 2019. [Online]. Available: <https://www.essa.com.co/site/comunidad/es-es/aprendesobrelaenergía/quéeslaenergíaeléctrica.aspx>. [Accessed: 09-Apr-2019].
- [19] B. Soediono, “Fundamentos de Circuitos Eletricos,” in *Journal of Chemical Information and Modeling*, 5ta ed., vol. 53, México D.F, 1989, p. 160.
- [20] C. R. de Electrificación, “Energía Activa, Reactiva, Factor de Potencia,” 2017. [Online]. Available: <http://www.cre.com.bo/webcre/empresas/todoenergia.htm>. [Accessed: 09-Apr-2019].
- [21] E. A. Sarocco, “Armonicos en redes electricas,” 2011. [Online]. Available: <https://es.slideshare.net/esoracco/armonicos-en-redes-electricas>. [Accessed: 11-Apr-2019].

- [22] L. Kessler, “afinidad eléctrica,” 2007. [Online]. Available: <http://www.afinidadelctrica.com/articulo.php?IdArticulo=199>. [Accessed: 02-Mar-2020].
- [23] Wilfrido Osorno Rivera, “Selección y Especificación de Transformadores de Corriente y Potencial en Instalaciones Eléctricas Industriales,” Universidad Nacional Autónoma de México, 2014.
- [24] K. Rose, S. Eldridge, and L. Chapin, “OCTUBRE DE 2015 Para entender mejor los problemas y desafíos de un mundo más conectado,” Geneva, Switzerland, 2015.
- [24] Cisco, “Soluciones de Cisco para IoT | Servicios de Internet de las cosas - Cisco,” *Internet de las Cosas (IoT)*, 2019. [Online]. Available: https://www.cisco.com/c/es_co/solutions/internet-of-things/overview.html. [Accessed: 09-Apr-2019].
- [25] Azure.microsoft.com, “What is IoT | Microsoft Azure,” 2019. [Online]. Available: https://azure.microsoft.com/es-es/overview/internet-of-things-iot/what-is-the-internet-of-things/?site=mscom_iot. [Accessed: 09-Apr-2019].
- [26] J. C. Triana Useche, R. E. Rodríguez Leguizamo, and Jordan49@hotmail.com, “Prototipo de Solución Iot con Tecnología Lora en Monitoreo de Cultivos Agrícolas,” Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2018.
- [27] CognosOnline, “3 campos claves de aplicación del IoT en la educación superior,” *3 campos claves de aplicación del IoT en la educación superior*, 2018. [Online]. Available: <https://blog.cognosonline.com/3-campos-claves-de-aplicación-de-iot-en-la-educación-superior>. [Accessed: 13-Jun-2019].
- [28] S. Nastic, S. Sehic, D. Le, and ... H. T., “Aprovisionamiento de sistemas de nube IoT definidos por software,” ... *Conf. Sobre El Futur. ...*, p. 10, 2014.
- [29] Electronica SL, “11 Redes inalámbricas fundamentales para Internet de las Cosas | Revista Española de Electrónica,” *3 abril, 2016*, 2016. [Online]. Available: <https://www.redeweb.com/articulos/software/11-redes-inalambricas-fundamentales-para-internet-de-las-cosas/>. [Accessed: 02-Mar-2020].
- [30] P. Pickering, “Desarrollar con LoRa para aplicaciones IoT de baja tasa y largo alcance,” *Junio 29*, 2017. [Online]. Available: <https://www.digikey.com/es/articles/techzone/2017/jun/develop-lora-for-low-rate-long-range-iot-applications>. [Accessed: 16-Apr-2019].

- [30] Aprendiendo Arduino, “Redes LPWAN,” *5 de Marzo, 2018*, 2019. [Online]. Available: <https://www.aprendiendoarduino.com/2018/03/05/redes-lpwan/>. [Accessed: 21-Apr-2019].
- [31] LoRa Alliance, “Acerca de LoRaWAN,” 2019. [Online]. Available: <https://loralliance.org/about-lorawan>. [Accessed: 21-Apr-2019].
- [32] Apache Friends, “XAMPP Installers and Downloads for Apache Friends,” *Https://Www.Apachefriends.Org/Index.Html*, 2017. [Online]. Available: <https://www.apachefriends.org/es/index.html>. [Accessed: 24-Jan-2020].
- [33] “¿Qué es Apache? - Culturación,” 2018. [Online]. Available: <http://culturacion.com/que-es-apache/>. [Accessed: 24-Jan-2020].
- [34] “Qué es y para que sirve MySQL - Culturación,” 2018. [Online]. Available: <http://culturacion.com/que-es-y-para-que-sirve-mysql/>. [Accessed: 24-Jan-2020].
- [35] J. J. P. Reyes, “¿Qué es HTML?,” 2019. [Online]. Available: <https://devcode.la/blog/que-es-html/>. [Accessed: 24-Jan-2020].
- [36] PHP, “PHP: ¿Qué es PHP? - Manual,” 2001-2020. [Online]. Available: <https://www.php.net/manual/es/intro-whatis.php>. [Accessed: 24-Jan-2020].
- [37] Uniwebsidad, “Capítulo 1. Introducción (Introducción a CSS),” 2006-2020. [Online]. Available: <https://uniwebsidad.com/libros/css/capitulo-1>. [Accessed: 24-Jan-2020].
- [38] A. Microchip, “ATM90E32AS - Medición de energía,” San José, CA - USA, 2015.
- [39] Espressif, “ESP32-WROOM-32 Espressif Systems | Mouser Colombia,” 2019. [Online]. Available: <https://co.mouser.com/ProductDetail/Espressif-Systems/ESP32-WROOM-32?qs=chTDxNqvsyltcwz%2FUUJDtQ%3D%3D>. [Accessed: 24-Jan-2020].
- [40] Fernando Koyanagi, “Introduction to ESP32 WiFi LoRa: 11 Steps,” 2018. [Online]. Available: <https://www.instructables.com/id/Introduction-to-ESP32-WiFi-LoRa/>. [Accessed: 23-Dec-2019].
- [41] S. Corporation, “Sx1276/77/78/79 Wireless, Sensing & Timing Datasheet,” 1967. [Online]. Available: http://www.semtech.com/images/datasheet/sx1276_77_78_79.pdf. [Accessed: 22-Apr-2019].
- [42] ANE, “Resolución 711 de 2016,” Bogotá - Colombia, 2016.

- [43] E. L. INTRIAGO LOOR, “ANALIZADOR DE REDES ELÉCTRICAS CON TRANSMISIÓN INALÁMBRICA DE DATOS.,” pp. 0–110, 2019.
- [44] YHDC, “Transformador de corriente de núcleo dividido SCT016 entrada nominal 120A salida nominal 40 - PowerUC.” [Online]. Available: https://www.poweruc.pl/products/split-core-current-transformer-sct016-rated-input-120a?gclid=EAIaIQobChMI5rOr5O6k6QIVU8DICh1yCALwEAAYASAAEgKod_D_BwE. [Accessed: 08-May-2020].
- [45] YHDC, “Split core current transformer SCT013 rated input 5A / 10A / 15A / 20A – PowerUC.” [Online]. Available: <https://www.poweruc.pl/collections/split-core-current-transformers2/products/split-core-current-transformer-sct013-rated-input-5a-100a>. [Accessed: 08-May-2020].
- [46] Echun Electronic, “Transformador de corriente, TC, fabricante, proveedor.” [Online]. Available: <https://www.echun-elc.com/productsShow.asp?id=414>. [Accessed: 08-May-2020].
- [47] Allegro, “ACS726 pdf, descripción de ACS726, hojas de datos de ACS726, vista de ACS726 ::: ALLDATASHEET :::” [Online]. Available: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/848427/ALLEGRO/ACS726.html>. [Accessed: 08-May-2020].
- [48] “ADE7757 Datasheet and Product Info | Analog Devices.” [Online]. Available: <https://www.analog.com/en/products/ade7757.html#>. [Accessed: 08-May-2020].