



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y
APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA
PROPUESTA TECNOLÓGICA

**DISEÑO DE UN MÓDULO DE MEDICIÓN INTELIGENTE PARA LA LECTURA
DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE TECNOLOGÍA LORA EN
LA FÁBRICA DE MUEBLES JESSICA**

Propuesta tecnológica presentada previo a la obtención del Título de Ingeniería de
INGENIEROS ELECTROMECAÁNICOS

Autores:

Denis Cristobal Abad Berru

Ronald David Ganazhapa Guaman

Tutor:

Ing. M.Sc. Byron Paúl Corrales Bastidas

Latacunga – Ecuador

Marzo 2021



Universidad
Técnica de
Cotopaxi



Ingeniería
Electromecánica

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, **Abad Berru Denis Cristobal** y **Ganzhapa Guaman Ronald David** declaramos ser autores de la presente Propuesta Tecnológica:

“DISEÑO DE UN MÓDULO DE MEDICIÓN INTELIGENTE PARA LA LECTURA DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE TECNOLOGÍA LORA EN LA FÁBRICA DE MUEBLES JESSICA”, siendo el Ing. Byron Paúl Corrales Bastidas M.Sc. tutor del presente trabajo; y eximimos expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certificamos que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de nuestra exclusiva responsabilidad.

.....
Denis Cristobal Abad Berru

C.I. 1900791714

.....
Ronald David Ganzhapa Guaman

C.I. 0502879653



Universidad
Técnica de
Cotopaxi



Ingeniería
Electromecánica

AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título:

“DISEÑO DE UN MÓDULO DE MEDICIÓN INTELIGENTE PARA LA LECTURA DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE TECNOLOGÍA LORA EN LA FÁBRICA DE MUEBLES JESSICA”, de Abad Berru Denis Cristobal y Ganazhapa Guarnan Ronald David de la carrera de Ingeniería Electromecánica, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científicos-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, marzo del 2021

.....
Ing. Byron Paúl Corrales Bastidas M.Sc

C.I. 050234776-8



Universidad
Técnica de
Cotopaxi



Ingeniería
Electromecánica

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas; por cuanto, los postulantes: Abad Berru Denis Cristobal con C.I. 150078808-6 y Ganazhapa Guaman Ronald David C.I 050287965-3 con el título de Proyecto de titulación:

“DISEÑO DE UN MÓDULO DE MEDICIÓN INTELIGENTE PARA LA LECTURA DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE TECNOLOGÍA LORA EN LA FÁBRICA DE MUEBLES JESSICA”, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, marzo del 2021

Para constancia firman:

.....

Lector 1

Nombre: Ing. Luis Rolando Cruz Panchi
C.I. 050259517-6

.....

Lector 2

Nombre: Ing. Verónica Paulina Freire Andrade
C.I. 050205622-9

.....

Lector 3

Nombre: Ing. Jefferson Alberto Porras Reyes
C.I. 070440044-9



Universidad
Técnica de
Cotopaxi



Ingeniería
Electromecánica

AVAL DE IMPLEMENTACIÓN

En calidad de Gerente de la Fábrica de muebles Jessica certifico que mediante el proyecto de propuesta tecnológica: **“DISEÑO DE UN MÓDULO DE MEDICIÓN INTELIGENTE PARA LA LECTURA DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE TECNOLOGÍA LORA EN LA FÁBRICA DE MUEBLES JESSICA”**, de los estudiantes; Abad Berru Denis Cristobal y Ganazhapa Guaman Ronald David realizan la entrega de un módulo prototipo de medición y transmisión de datos del consumo de energía eléctrica, para la fábrica de muebles Jessica ubicado en el Cantón Latacunga, Barrio Colatoa.

De acuerdo a lo anterior se hace constar que el proyecto de propuesta tecnológica se encuentra en las condiciones adecuadas.

Latacunga, marzo del 2021

.....
Sr. Luis Anibal Quimbita Molina
GERENTE
C.I. 1711145622-6



Universidad
Técnica de
Cotopaxi



Ingeniería
Electromecánica

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, quien me ha dado la salud y fortaleza que necesito para culminar con mi carrera profesional.

Doy gracias a mis padres por ser lo mejor que me ha dado la vida, en especial a mi madre quien ha luchado cada día por apoyarme económica y moralmente en cada sueño realizado, gracias a su apoyo incondicional he logrado culminar con este proyecto.

A mis hermanos que a pesar de mis fallas y tropiezos me han motivado a seguir adelante, enseñándome que en la vida a pesar de los errores y peores sufrimientos se puede salir adelante.

Denis Abad



Universidad
Técnica de
Cotopaxi



Ingeniería
Electromecánica

AGRADECIMIENTO

A mi familia por ser el pilar fundamental en mi vida, por su amor incondicional, consejos impartidos, constancia en apoyarme siempre y por su ejemplo a seguir.

Mis hermanos/as por su motivación constantemente, sus consejos a ser mejor persona, por estar presente en los peores momentos de mi vida apoyándonos el uno del otro.

A la UTC por abrirme las puertas de esta prestigiosa institución, en la cual he compartido varias experiencias que me ayudarán a ser una mejor profesional y servir a la sociedad.

A los docentes por cada enseñanza impartida para mi vida profesional y personal.

Ronald Ganazhapa



Universidad
Técnica de
Cotopaxi



Ingeniería
Electromecánica

DEDICATORIA

En primera instancia dedico este proyecto a mi madre quien con su inmenso amor ha sido como un padre, ya que con su esfuerzo y sacrificio ha contribuido para lograr un escalón más en mi vida profesional sin importar las dificultades que se presenten.

A mis hermanos que con sus consejos y experiencia han sabido guiarme desde muy pequeño en el cumplimiento de cada uno de mis objetivos.

Además, dedico especialmente este proyecto a mis ángeles del cielo que siempre estarán presentes en mis pensamientos.

Denis Abad



Universidad
Técnica de
Cotopaxi



Ingeniería
Electromecánica

DEDICATORIA

A Dios por todas sus bendiciones y permitirme culminar con éxito mis estudios, a mis padres por su apoyo incondicional en el logro de cada meta plasmada durante el transcurso de mi vida, mi madre mi motor de vida principal para seguir en la lucha, pese a las adversidades presentadas juntas hemos salido adelante.

A mi abuelita Victoria por su lucha constante en apoyarme siempre, por sus valores impartidos y jamás dejarme decaer ante cualquier adversidad.

Además, esta meta culminada va dedicada a mi ángel del cielo quien siempre estará presente en cada logro a lo largo de mi vida.

Ronald Ganazhapa

ÍNDICE GENERAL

DECLARACIÓN DE AUTORÍA	i
AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN	ii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN	iii
AVAL DE IMPLEMENTACIÓN	iv
AGRADECIMIENTO	v
DEDICATORIA	vii
ÍNDICE GENERAL	ix
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiv
ÍNDICE DE ECUACIONES	xvi
RESUMEN	xvii
ABSTRACT	xviii
AVAL DE TRADUCCIÓN	xix
1. INFORMACIÓN BÁSICA	1
2. DISEÑO INVESTIGATIVO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA	2
2.1. TÍTULO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA	2
2.2. TIPO DE PROPUESTA ALCANCE	2
2.3. ÁREA DEL CONOCIMIENTO	2
2.4. SINOPSIS DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA	2
2.5. OBJETO DE ESTUDIO Y CAMPO DE ACCIÓN	3
2.5.1. Objeto de estudio	3
2.5.2. Campo de acción	3
2.6. SITUACIÓN PROBLÉMICA Y PROBLEMA	3
2.6.1. Descripción del problema	3
2.6.2. Problema	4
2.6.3. Matriz causa – efecto	4
2.7. HIPÓTESIS O FORMULACIÓN DE PREGUNTA CIENTÍFICA	4
2.8. OBJETIVOS	5
2.8.1. Objetivo general	5
2.8.2. Objetivos específicos	5
2.9. DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES Y TAREAS PROPUESTAS CON LOS OBJETIVOS ESTABLECIDOS	5

3.	FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA	7
3.1.	Análisis de trabajos precedentes	7
3.2.	Redes de Comunicación	8
3.2.1.	Redes LPWAN	9
3.2.2.	Red de Área Local Inalámbrica (WLAN)	9
3.2.3.	Redes de Área Amplia (WAN).....	10
3.2.4.	Red Privada Virtual (VPN).....	10
3.2.5.	Topologías de red en las comunicaciones	11
3.2.6.	Protocolos de comunicación.....	12
3.2.6.1.	Protocolo LoRaWAN	12
3.2.6.2.	Protocolo OSI/ISO.	14
3.2.6.3.	Protocolo TCP/IP	16
3.2.6.4.	Protocolo Modbus	17
3.2.6.5.	Protocolo RS-485	18
3.3.	Redes inalámbricas.....	18
3.3.1.	Redes de comunicación inalámbricas para medición inteligente	18
3.3.2.	Redes y tecnología de comunicaciones inalámbricas para zonas urbanas	19
3.4.	Tecnologías Inalámbricas.....	19
3.4.1.	Tecnología LoRa	19
3.4.1.1.	Pros de LoRa	20
3.4.1.2.	Contras de LoRa.....	20
3.4.2.	Tecnología WiFi.....	21
3.5.	Internet De Las Cosas (IoT)	21
3.5.1.	Componentes de una IoT.....	22
3.6.	Medidores de consumo de energía eléctrica	24
3.6.1.	Tipos de contadores de energía	24
3.6.1.1.	Medidores electromecánicos ciclométricos	24
3.6.1.2.	Medidores electrónicos ciclométricos	26
3.6.1.3.	Medidores electrónicos con display	26
3.6.1.4.	Equipos modulares con comunicación PLC.....	27
3.6.1.5.	Medidores inteligentes	28
3.7.	Clasificación de los medidores de acuerdo a la conexión a la red	28
3.7.1.	Monofásico bifilar	28

3.7.2.	Monofásico trifilar	29
3.7.3.	Medidor bifásico trifilar.....	29
3.7.4.	Medidor trifásico trifilar	29
3.7.5.	Medidor trifásico tetrafilar.....	29
3.8.	Servidor en la nube.....	29
3.8.1.	Protocolo HTTP.....	29
3.9.	Aplicación para Smartphone	30
3.10.	Dispositivos de medición de energía.....	31
3.10.1.	Módulo PZEM-004(V3.0)	31
3.10.2.	Módulo KPM75	32
3.10.3.	Módulo AEW 100.....	33
3.10.4.	Módulo PZEM-016.....	33
3.10.4.1.	Protocolo de comunicación.....	34
4.	METODOLOGÍA Y DISEÑO EXPERIMENTAL	35
4.1.	Tipo de investigación utilizada	35
10.1.1.	Investigación Bibliográfica-documental.....	35
4.1.1.	Investigación Exploratoria.....	35
4.1.2.	Investigación descriptiva	35
4.2.	Métodos de investigación.....	36
4.2.1.	Método inductivo.....	36
4.3.	Requerimientos del sistema.....	36
4.4.	Dispositivo medidor de energía.....	37
4.5.	Selección del módulo de comunicación inalámbrico	38
4.6.	Microcontrolador ATmega328p.....	39
4.7.	Microcontrolador ATmega2560.....	41
4.8.	Módulo Wifi ESP8266.....	41
4.9.	Pantalla Nextion HMI	42
4.10.	Aplicación Android en App Inventor.....	43
4.11.	Base de datos online ThingSpeak.....	44
4.12.	Diseño para la implementación.....	45
4.13.	Diagrama de flujo del módulo de transmisión	45
4.14.	Diagrama de flujo del módulo recepción	46
5.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	46

5.1.	Resultado desarrollo de circuito.....	46
5.1.1.	Módulo emisor.....	46
5.1.2.	Módulo receptor	48
5.2.	Resultados de programación	49
5.2.1.	Resultados del HMI.....	49
5.2.2.	Resultados de la App.....	51
5.2.3.	Resultados obtenidos del emisor y receptor	52
5.2.4.	Pruebas de transmisión	55
5.2.5.	Resultados obtenidos en la nube.....	56
5.2.6.	Funcionamiento del dispositivo final	57
5.2.7.	Contrastación del equipo de medición.....	58
5.3.	Diagnóstico del consumo de energía por medio de la recolección y transmisión de parámetros eléctricos	59
6.	PRESUPUESTO Y ANÁLISIS DE IMPACTOS	62
6.1.	Presupuesto.....	62
6.1.1.	Materiales electrónicos	62
6.1.2.	Gastos de estructura y diseño de ingeniería del módulo	62
6.1.3.	Gastos varios.....	62
6.1.4.	Gastos directos totales	63
6.1.5.	Gastos indirectos totales	63
6.1.6.	Gastos totales del módulo.....	63
6.2.	Análisis de impactos.....	63
6.2.1.	Impacto tecnológico	63
6.2.2.	Impacto ambiental	64
6.2.3.	Impacto económico.....	64
6.3.	Beneficiarios del proyecto.....	64
6.3.1.	Beneficiarios directos	64
6.3.2.	Beneficiarios Indirectos.....	64
7.	CONCLUSIONES.....	64
8.	RECOMENDACIONES	66
9.	REFERENCIAS	66
	ANEXOS.....	70

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Sistema de tareas por objetivos.	5
Tabla 3.1. Características eléctricas del módulo de medición de energía.	33
Tabla 4.1. Características eléctricas de los módulos de medición energía.	37
Tabla 4.2. Relación de frecuencias de trabajo para el SX1272 y SX1276.	38
Tabla 4.3. Principales características del dispositivo LoRa seleccionado.....	38
Tabla 4.4. Principales características eléctricas del dispositivo LoRa seleccionado.....	39
Tabla 4.5. Características principales de diferentes ATmega328p.....	40
Tabla 4.6. Características principales del ATmega2560.	41
Tabla 4.7. Características principales de la pantalla Nextion.	42
Tabla 5.1. Resultados obtenidos de las distancias de comunicación.	53
Tabla 5.2. Resultados emisor y receptor de la Línea 1.....	54
Tabla 5.3. Resultados emisor y receptor de la Línea 2.....	54
Tabla 5.4. Error de medición de voltaje y corriente para diferentes distancias.	55
Tabla 5.5. Error de medición de voltaje y corriente para diferentes muestras.	58
Tabla 5.6. Distribución de las áreas de trabajo de la fábrica de muebles Jessica.	59
Tabla 5.7. Parámetros eléctricos del consumo de energía de la máquina canteadora.	59
Tabla 5.8. Parámetros eléctricos del consumo de energía de la máquina sierra.....	60
Tabla 5.9. Parámetros eléctricos del consumo de energía de la máquina cepilladora.....	60
Tabla 5.10. Parámetros eléctricos del consumo de energía de la máquina sierra de cinta.	60
Tabla 5.11. Parámetros eléctricos del consumo de energía de la máquina tupi de banco.	61
Tabla 5.12. Parámetros eléctricos del consumo de energía del compresor.	61
Tabla 6.1. Materiales Electrónicos.	62
Tabla 6.2. Estructura y diseño de ingeniería.....	62
Tabla 6.3. Gastos varios.....	62
Tabla 6.4. Gastos directos totales.	63
Tabla 6.5. Gastos indirectos totales.	63
Tabla 6.6. Gastos totales.....	63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1. Red PrivadaVirtual.....	11
Figura 3.2. Topologías de red básicas.	11
Figura 3.3. Aplicaciones en base al protocolo, modulación, regional y opciones MAC.	13
Figura 3.4. Esquema de red LoRaWAN.....	13
Figura 3.5. Modelo Protocolo OSI/ISO.....	14
Figura 3.6. Protocolo ModBus.	17
Figura 3.7. Esquema básico de un Internet de las cosas.....	22
Figura 3.8. Esquema de funcionamiento de medidor electromecánico.....	25
Figura 3.9. Medidor electromecánico con contador ciclométrico.....	25
Figura 3.10. Medidor Electrónico con contador ciclométrico.....	26
Figura 3.11. Medidor Monofásico Electrónico	26
Figura 3.12. Medidor multifunción con módulo de comunicación.....	27
Figura 3.13. Medidores monofásico y trifásico con PLC.....	27
Figura 3.14. Medidor inteligente multifunción.	28
Figura 3.15. Servidor en la nube.	30
Figura 3.16. Aplicación inteligente para Smartphone.	31
Figura 3.17. Conexión de módulo PZEM-004.	32
Figura 3.18. Conexión trifásica de cuatro hilos de bajo voltaje del KPM75.....	32
Figura 3.19. Módulo AEW 100.....	33
Figura 3.20. Módulo de medición de energía PZEM-016.....	35
Figura 4.1. Diagrama de conexión PZEM-016.	37
Figura 4.2. Pines del módulo LoRa SX1276.....	39
Figura 4.3. Pines del microcontrolador ATmega328p.	40
Figura 4.4. Pines del microcontrolador ATmega2560.	41
Figura 4.5. Pines del módulo Wifi ESP8266.....	42
Figura 4.6. Pines del módulo Wifi ESP8266.....	43
Figura 4.7. Panel de diseño de la aplicación en App Inventor.	43
Figura 4.8. Interfaz desarrollado en App Inventor.	44
Figura 4.9. Panel de diseño del servidor web.....	44
Figura 4.10. Diagrama de bloques de la propuesta.	45
Figura 4.11. Diagrama del flujo del módulo medidor.....	45
Figura 4.12. Diagrama del flujo del módulo maestro.....	46

Figura 5.1. Circuito de conexión módulo emisor.	47
Figura 5.2. Esquema PCB módulo emisor.	47
Figura 5.3. Tarjeta de expansión para módulo emisor.	48
Figura 5.4. Circuito de conexión módulo receptor.	48
Figura 5.5. Esquema PCB módulo receptor.	49
Figura 5.6. Tarjeta de expansión para módulo receptor.	49
Figura 5.7. Interfaz HMI desarrollada.	50
Figura 5.8. Interfaz conexión Wifi.	50
Figura 5.9. Diagrama de flujo del proceso para la programación en la pantalla.	51
Figura 5.10. Interfaz desarrollado en App Inventor.	51
Figura 5.11. Visualización de parámetros eléctricos.	52
Figura 5.12. Exportación de datos en formato CSV.	52
Figura 5.13. Transmisión de datos con LoRa.	53
Figura 5.14. Ambiente de experimentación.	53
Figura 5.15. Distancia de funcionamiento de los modulos.	55
Figura 5.16. Visualización de pparámetros eléctricos en ThingSpeak (Línea 1).	56
Figura 5.17. Visualización de pparámetros eléctricos en ThingSpeak (Línea 2).	57
Figura 5.18. Corriente obtenida por los sensores y la pinza amperimétrica (Línea 1).	57
Figura 5.19. Corriente obtenida por los sensores y la pinza amperimétrica (Línea 2).	58

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 5.1. Error de medición	58
Ecuación 5.2. Efectividad.....	59

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

TÍTULO: “DISEÑO DE UN MÓDULO DE MEDICIÓN INTELIGENTE PARA LA LECTURA DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE TECNOLOGÍA LORA EN LA FÁBRICA DE MUEBLES JESSICA”

Autores:

Denis Cristobal Abad Berru

Ronald David Ganazhapa Guaman

RESUMEN

El presente proyecto es sobre el diseño de un módulo de medición para la lectura del consumo de energía eléctrica, se fundamenta principalmente al no disponer de un sistema que permita la medición y transmisión de datos de las variables eléctricas a distancia, mediante tecnología LoRa para el monitoreo del consumo de energía eléctrica que generan las máquinas durante su producción, para ello se implementa un módulo de medición inteligente a base de módulos inalámbricos LoRa y dispositivos electrónicos que mantengan los mismos protocolos de comunicación para la emisión, transmisión y recepción de datos, evitando errores de interpretación y pérdidas de información. Con todos los parámetros técnicos establecidos, el sistema de medición mantiene una conexión estable lo que permite tener una base de datos eficiente, los cuales son almacenados en la nube mediante la configuración de un servidor web para que el usuario pueda observar los resultados por medio de una pantalla HMI o a su vez por una aplicación móvil que está disponible para sistemas Android, además mediante el módulo de medición puede analizar el consumo que realiza cada una de las máquinas a fin de poder establecer parámetros de usabilidad para generar ahorro energético.

Para comprobar el funcionamiento del prototipo se establecieron pruebas en campo obteniendo como resultado 96% de efectividad según los valores obtenidos de la transmisión y recepción de los datos dando un bajo porcentaje de error, lo que indica que la información transmitida del consumo de energía es aceptable.

Palabras claves: Tecnología LoRa, Internet de las cosas, transmisión de datos, servidor web.

COTOPAXI TECHNICAL UNIVERSITY
FACULTY ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES

TOPIC: “DEVELOPMENT OF A COLOR IDENTIFICATION DEVICE USING NEURAL NETWORKS AND FREE HARDWARE, ORIENTED TO THE HELP OF BLIND PERSONS”

Authors:

Denis Cristobal Abad Berru

Ronald David Ganazhapa Guaman

ABSTRACT

This project focuses on the design of a measurement module for the reading of electrical energy consumption, it is based mainly on not having a system that allows the measurement, transmission and display of data of electrical variables remotely, using LoRa technology for monitoring the consumption of electricity generated by the machines during production, for this an intelligent measurement module is implemented based on LoRa wireless modules and electronic devices that maintain the same communication protocols for the emission, transmission and reception of data, avoiding errors of interpretation and loss of information. With all the technical parameters established, the measurement system maintains a stable connection which allows to have an efficient database, which are stored in the cloud through the configuration of a web server so that the user can observe the results through an HMI screen or through a mobile application that is available for Android systems, also through the measurement module can analyze the consumption made by each of the machines in order to establish usability parameters to generate energy savings.

To check the operation of the prototype, field tests were established, obtaining as a result 96% of effectiveness according to the values obtained from the transmission and reception of the data, giving a low percentage of error, which indicates that the information transmitted on energy consumption is acceptable.

Key words: LoRa technology, Internet of things, data transmission, web server.



Universidad
Técnica de
Cotopaxi

CENTRO DE IDIOMAS

AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que: La traducción del resumen de la propuesta tecnológica al Idioma Inglés presentado por los estudiantes egresados de la Carrera de **ELECTROMECAÁNICA**, de la **FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS: ABAD BERRU DENIS CRISTOBAL y GANAZHAPA GUAMAN RONALD DAVID**, cuyo título versa el “**DISEÑO DE UN MÓDULO DE MEDICIÓN INTELIGENTE PARA LA LECTURA DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE TECNOLOGÍA LORA EN LA FÁBRICA DE MUEBLES JESSICA**”, lo realizaron bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo a los peticionarios hacer uso del presente certificado de la manera ética que estimaren conveniente.

Latacunga, marzo 2021.

Atentamente,

Mg. Guagchinga Chicaiza Nelson Wilfrido
DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS
C.I. 050324641-5



1. INFORMACIÓN BÁSICA

PROPUESTO POR:

Denis Cristobal Abad Berru

Ronald David Ganazhapa Guaman

TEMA APROBADO:

Diseño de un módulo de medición inteligente para la lectura del consumo de energía eléctrica mediante tecnología LoRa en la fábrica de Muebles Jessica.

CARRERA:

Ingeniería Electromecánica

DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:

Ing. M.Sc. Byron Paúl Corrales Bastidas

EQUIPO DE TRABAJO:

Sr. Denis Cristobal Abad Berru

Sr. Ronald David Ganazhapa Guamán

Ing. M.Sc. Byron Paúl Corrales Bastidas (Tutor)

LUGAR DE EJECUCIÓN:

Provincia de Cotopaxi, Cantón Latacunga, Parroquia Juan Montalvo, Barrio Colatoa

TIEMPO DE DURACIÓN DEL PROYECTO:

6 meses

FECHA DE ENTREGA:

Marzo 2021

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

La presente propuesta tecnológica se acoge a la línea de investigación de Procesos Industriales, estipuladas en el área de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

SUB-LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

SUB-LÍNEA 2: Automatización, control y protecciones de sistemas electromecánicos.

TIPO DE PROPUESTA TECNOLÓGICA:

Su propósito es desarrollar una tecnología innovadora y creativa para satisfacer las necesidades de lo que se considera una microeconomía, y su objetivo principal es transformar los cambios personales enfrentando al mundo y brindando beneficios a la sociedad.

2. DISEÑO INVESTIGATIVO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA

2.1. TÍTULO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA

Diseño de un módulo de medición inteligente para la lectura del consumo de energía eléctrica mediante tecnología LoRa en la Fábrica de Muebles Jessica.

2.2. TIPO DE PROPUESTA ALCANCE

Interdisciplinar: Una forma de investigación de individuos o equipos que integra información, datos, técnicas, herramientas, perspectivas, conceptos y teorías de dos o más disciplinas.

2.3. ÁREA DEL CONOCIMIENTO

Mediante la modalidad de la UNESCO se elaborará en el área del conocimiento teniendo en cuenta los campos amplios, específicos y detallados de:

33 Ciencias tecnológicas

3304 Tecnología de los ordenadores

3304.13 Dispositivos de transmisión de datos

3304.17 Sistemas en tiempo real

3304.18 Dispositivos de almacenamiento

3307 Tecnología electrónica

3307.03 Diseño de circuitos

3311 Tecnología de la instrumentación

3311.01 Tecnología de automatización

2.4. SINOPSIS DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA

Las redes inalámbricas abren una forma de optimizar y administrar procesos de forma remota al eliminar el cableado como ruta de transmisión, lo que ayuda a implementar nuevas tecnologías como la computación en la nube y el concepto de Internet de las cosas (IoT) facilitando cada día acceder, editar y almacenar de forma remota los datos de los dispositivos conectados a la red para poderlos monitorear desde cualquier lugar que posea una conexión a Internet, facilitando así la resolución u optimización de los problemas para los que se implementan estas tecnologías.

El desarrollo de nuevas tecnologías ha generado una alternativa muy tentativa conocida como LoRa, siendo la más apropiada para la transmisión de datos a largas distancia y bajo consumo de energía mejorando las soluciones a los diversos problemas cotidianos que enfrentan las personas. La implementación de un sistema como el propuesto tiene como objetivo innovar y solucionar un problema relacionado con la transmisión de información de corto alcance con tecnologías tradicionales.

A través de una red inteligente el usuario tendrá la capacidad de monitorear el consumo de energía mediante un registro de almacenamiento de datos. De esta forma, el sistema contribuye al posible ahorro de energía jugando un papel clave en los esfuerzos por reducir el impacto ambiental de las fuentes de energía convencionales. Por tales motivos, este proyecto propone el diseño de un sistema para monitorizar diversos parámetros eléctricos mediante la medición y registro de los datos proporcionados por el medidor a través de sensores, lo mismos que serán enviados al módulo central a través del sistema de comunicación inalámbrica LoRa para luego ser procesados, almacenados en una tarjeta SD y en el servidor web en la nube, para posteriormente ser tabulados en diferentes softwares gráficos de acuerdo a los requerimientos del usuario; ayudando a determinar el mayor consumo de energía en la fábrica de muebles Jessica. Para el monitoreo de las variables eléctricas se desarrollará una aplicación para Smartphone, que permitirá la supervisión remota de cada uno de los parámetros.

Es de importancia especificar que este proyecto permitirá una integración entre el recurso humano y los medios tecnológicos.

2.5. OBJETO DE ESTUDIO Y CAMPO DE ACCIÓN

2.5.1. Objeto de estudio

Módulos de transmisión de datos vía comunicación LoRa.

2.5.2. Campo de acción

Dispositivos de transmisión de datos y almacenamiento mediante la aplicación de la electrónica en el diseño de circuitos a través de la tecnología de automatización.

2.6. SITUACIÓN PROBLÉMICA Y PROBLEMA

2.6.1. Descripción del problema

En el panorama actual se están implementando cada vez más proyectos para brindar mayor comodidad en el monitoreo del consumo de energía y la recolección de datos, exigiendo la inclusión de nuevas tecnologías que ayuden a resolver problemas constantes a los que se enfrenta. El Internet de las cosas se presenta como una alternativa para mitigarlos, sin embargo, las implementaciones de esta tecnología se realizan mediante redes de datos tradicionales como Wifi o redes móviles, lo que representa un costo elevado para su implementación.

De las soluciones existentes como, Bluetooth, Zigbee y GSM, en los sistemas de transmisión de datos para el monitoreo a distancia, son tecnologías que están diseñadas para aplicaciones de corto alcance, y los datos celulares consumen relativamente mucha potencia. Además de los diferentes factores a los que estarán expuestos como son las altas interferencias eléctricas (ruido

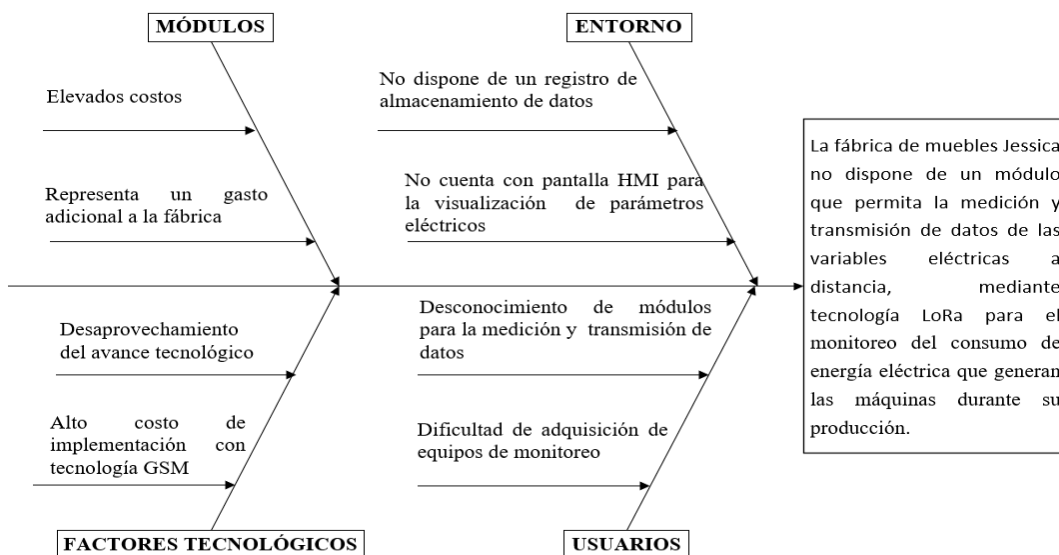
de las maquinas) y obstáculos (paredes) representando problemas en la transmisión de los datos. Razones por las cuales se plantea el uso de la tecnología LoRa como una solución competitiva para la conectividad a largas distancias.

Actualmente, como caso particular en el Cantón Latacunga, Parroquia Juan Montalvo, Barrio Colatoa, la fábrica de muebles Jessica no dispone de un sistema que permita captar los parámetros característicos de energía y transmitirlos mediante tecnología LoRa para conocer el estado y funcionamiento de sus equipos o de un sistema en particular, el mismo que ayude a identificar las principales causales del mayor consumo de energía eléctrica, contribuyendo de alguna manera al ahorro de energía, por lo tanto se ve la necesidad primordial de implementar a primera instancia un monitoreo del consumo de energía a través de la adquisición y transmisión de datos vía comunicación LoRa para corroborar si existe alguna anomalía interna dentro de la fábrica.

2.6.2. Problema

La fábrica de muebles Jessica no dispone de un módulo que permita la medición, transmisión y visualización de datos de las variables eléctricas a distancia, para el monitoreo a detalle del consumo de energía eléctrica que generan las máquinas durante su producción.

2.6.3. Matriz causa – efecto



2.7. HIPÓTESIS O FORMULACIÓN DE PREGUNTA CIENTÍFICA

La implementación de un módulo de medición de energía eléctrica mediante tecnología LoRa permitirá la transmisión y visualización de datos a distancia con la disponibilidad de monitorear diferentes variables eléctricas de manera remota, dando a conocer el consumo de energía a detalle que generan las máquinas durante su producción.

2.8. OBJETIVOS

2.8.1. Objetivo general

Diseñar un módulo de medición inteligente para la lectura del consumo de energía eléctrica mediante tecnología LoRa en la fábrica de muebles Jessica ubicado en el cantón Latacunga.

2.8.2. Objetivos específicos

1. Investigar información sobre dispositivos de medición de energía eléctrica y tecnologías de comunicación inalámbricas mediante bases digitales, tesis, fichas técnicas para el reconocimiento de la estructura física y el software de los diferentes sistemas.
2. Diseñar un módulo de medición de energía eléctrica mediante la incorporación de la tecnología inalámbrica LoRa para la transmisión y monitoreo de datos.
3. Implementar el sistema de comunicación y transmisión de datos entre los módulos de radiofrecuencia mediante la tecnología LoRa para supervisar el consumo de energía eléctrica por medio de teléfonos móviles.
4. Validar el funcionamiento del sistema de medición eléctrico mediante datos comparativos.

2.9. DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES Y TAREAS PROPUESTAS CON LOS OBJETIVOS ESTABLECIDOS

Tabla 2.1. Sistema de tareas por objetivos.

OBJETIVOS	ACTIVIDAD	RESULTADOS	MEDIO DE VERIFICACIÓN
Investigar información sobre dispositivos de medición de energía eléctrica y tecnologías de comunicación inalámbricas mediante bases digitales, tesis, fichas técnicas para el reconocimiento de la estructura física y el software de los diferentes sistemas	1. Análisis de tecnologías de comunicación inalámbricas.	Establecer los protocolos adecuados para la aplicación como LoRaWAN, RS485, UART.	Tesis, documentos pdf, fichas técnicas
	2. Análisis de los tipos de dispositivos de medición de energía.	Características técnicas del módulo de medición de energía	Tesis, documentos pdf, fichas técnicas

Diseñar un módulo de medición de energía eléctrica mediante la incorporación de la tecnología inalámbrica LoRa para la transmisión y monitoreo de datos.	1. Determinar los dispositivos idóneos para la medición de parámetros eléctricos.	Selección de los dispositivos para la medición de parámetros eléctricos.	Adquisición de dispositivos electrónicos.
	2. Determinar los componentes electrónicos necesarios para el monitoreo del consumo de energía.	Selección de microcontroladores, módulos LoRa, módulo wifi, y materiales de construcción.	Adquisición de dispositivos electrónicos.
Implementar el sistema de comunicación y transmisión de datos entre los módulos de radiofrecuencia mediante la tecnología LoRa para supervisar el consumo de energía eléctrica por medio de teléfonos móviles.	1. Algoritmo de programación módulo LoRa emisor, configuración y comunicación con LoRa receptor.	Medición y registro de variables físicas y comunicación a distancia con módulo LoRa receptor.	Visualización de variables medidas.
	2. Algoritmo de programación microcontroladores, módulo LoRa receptor.	Almacenamiento de datos en tarjeta microSD y envío de datos hacia el servidor web.	Visualización en campo.
	3. Desarrollo de aplicación móvil y configuración para la comunicación con el servidor web ThingSpeak	Interacción entre el servidor web y la aplicación móvil.	Interfaz de monitoreo del consumo de energía en App desarrollada.
Validar el funcionamiento del sistema de medición eléctrico mediante datos comparativos con el medidor convencional.	1. Verificación de la eficiencia del dispositivo.	Porcentajes de eficiencia según las pruebas de campo.	Tablas de valores y porcentajes de error.
	2. Pruebas para generar el consumo particular por áreas o maquinarias	Consumo energético de cada maquinaria.	Consumo en Wh de manera teórica y experimental

3. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA

3.1. Análisis de trabajos precedentes

En el año 2017 se realizó un proyecto que consistía en monitorear el voltaje y corriente, así como otros parámetros de iluminación y el reconocimiento de personas. En dicho proyecto propuesto por Moreno Edward y Ordoñez Víctor estudiantes de la Universidad Distrital Francisco de Caldas en la ciudad de Bogotá, implementaron un sistema inteligente para un edificio mediante IoT utilizando el protocolo de comunicación LoRaWAN. Los resultados fueron muy exitosos ya que obtuvieron datos a larga distancia y su interfaz de aplicación en la visualización para el usuario fue muy intuitiva. La respuesta por parte de los sensores fue muy buena ya que la comunicación de LoRaWAN, hacía que los datos tengan una muy buena recepción a larga distancia, dando a conocer que la comunicación LoRaWAN ofrece un rango de transmisión de información bastante amplio y a su vez el consumo de energía bastante bajo, lo cual los hace indispensables en la comunicación de sensores a baja potencia [1].

Un sistema de medición inteligente para la medición de agua potable y la gestión de la energía eléctrica, fue un proyecto que se llevó a cabo en la ciudad de Latacunga en la Universidad de las Fuerzas armadas por Diego Ortiz Villalba, Jacqueline Llanos Proaño, Omayra Jácome Riera, Gabriel León Amores. Proyecto en el que implementaron un medidor híbrido (Smart Meter) que permitía conocer a los usuarios a detalle el consumo de agua potable y energía eléctrica a través de una interfaz amigable. Este medidor inteligente tenía la capacidad de medir dos variables, la una la energía eléctrica y la otra el agua potable, facilitando a los usuarios la visualización de los niveles de consumo a la par, recalcando que el contador presentaba un margen de error para cada variable, siendo para la energía eléctrica el margen de error +9,42% respecto a los datos de los medidores convencionales y para el agua potable +14,42% respecto a los datos de los medidores convencionales de agua potable [2].

La evolución de la industria 4.0 trata de poseer el control de las cosas y tener una vida más cómoda en donde los sistemas remotos toman fuerza para monitorear los diferentes parámetros que hay dentro de los hogares o donde estos requieren ser monitoreados. Por lo cual Marco Calderón Bonilla Enel, en el país de Costa Rica desarrolló un sistema de lectura remota para el consumo de energía en clientes residenciales, mismo que consistía en la automatización de un sistema de lectura remota de los medidores de energía mediante comunicación por radio frecuencia, con el que pretendían tener un mayor control y seguridad en los datos y confiabilidad en la transmisión [3].

El monitoreo de las cosas se ha venido implementando a medida que se necesita conocer diferentes parámetros o variables físicas para la solución de distintos problemas que se presentan en el mundo actual a través de redes inalámbricas con tecnologías que presten un buen servicio y a la vez se adapten más a las necesidades de cada proyecto. En la Escuela Superior Politécnica Del Litoral se realizó el diseño de una red LPWAN basada en tecnología LoRa para el monitoreo de las estaciones hidrometeorológicas, proyecto que se realizó en la ciudad de Guayaquil en el año 2018 por Vera Lourdes y Zavala Byron donde la función principal del sistema era la de establecer las comunicaciones de las 56 estaciones meteorológicas para el Instituto Meteorológico e Hidrológico del Ecuador con la finalidad de realizar un monitoreo y control del mismo, dando como resultado la comunicación entre 16 enlaces de subestaciones, por lo que la comunicación entre las demás subestaciones se dificultó debido a la espesa señal electromagnética de otras señales de radio frecuencia y la distancia en la que estaban ubicadas [4].

El internet de las cosas ha evolucionado a medida que se necesita tener el control de las cosas. Por lo que en el año 2006, Echelon Corporation publicó un artículo titulado Deploying the “Internet of Things” en el cual señala los desafíos que surgen al interactuar con una IoT operativa, incluida la eficiencia energética, el costo y los retrasos en la implementación, los modelos de negocio basados en beneficios de largo plazo, duración de proyectos e implementaciones que deben ser de alrededor de 10 años, resolución de problemas de conexión a la red ya que el IoT aún no es atractivo para los proveedores de servicios de red (ISP), los problemas de seguridad que surgen de la difícil implementación de los protocolos de seguridad actuales en dispositivos embebidos y la interoperabilidad existen para permitir que diferentes dispositivos comprendan y procesen información entre ellos [5].

3.2. Redes de Comunicación

El término redes de comunicación o redes informáticas hace referencia al intercambio de datos entre un conjunto de equipos independientes conectados entre sí, a través de una conexión física (hardware) y la conexión lógica de los sistemas (software). Esta última establecida por medio de protocolos de comunicación, como es el caso de TCP/IP. Concluyendo que dos dispositivos entrelazados entre sí ya vienen a ser considerados como una red.

La finalidad principal por las que se crea una red informática, es con el propósito de compartir recursos como servidores o bases de datos y la de transmitir información a distancia de un sistema a otro. Por lo que, dependiendo del alcance y tamaño de la red informática, se puede distinguir entre diferentes dimensiones de red.

Considerando el tamaño de una red, cada uno de los diferentes tipos están diseñados para áreas de aplicación particulares, basadas en sus propias técnicas, estándares y sus propias ventajas y limitaciones [6].

3.2.1. Redes LPWAN

Es una red baja potencia y área amplia. Como indica su nombre, las LPWANs permiten un consumo bajo de potencia en un área de cobertura de larga distancia. Estas redes nacieron dada la necesidad planteada por IOT (Internet de las Cosas).

Debido a su simplicidad, al momento de comunicarse con algo o con alguien para enviar información, este puede notificar de manera remota sin tener la necesidad de consumir mucha energía. Esto es lo que hace LPWAN, envían y reciben pequeñas tramas de información a intervalos poco frecuentes. Tanto sensores como los mismos dispositivos electrónicos podrán transmitir datos a varios kilómetros de distancia, es decir, en grandes áreas geográficas y pueden durar años con una batería [7].

3.2.2. Red de Área Local Inalámbrica (WLAN)

Una red de área local por radiofrecuencia o WLAN (Wireless LAN) se puede definir como una red de área local que utiliza tecnología de radio electromagnéticas para transmitir y recibir datos entre todos los equipos conectados a la red, en lugar de los cables de cobre o fibra óptica utilizados en redes locales (LAN) cableadas convencionales. Si bien para que exista la comunicación es necesario que las distancias que existe entre los componentes no superen muchos metros entre estas redes se tiene el wifi que no tiene mucho alcance [8].

También se puede definir de la siguiente manera: cuando los medios de unión entre sus terminales no son los cables antes mencionados, sino un medio inalámbrico, como radio, infrarrojos o láser [9].

Este tipo de redes LAN facilitan la posibilidad de integrar terminales en una red doméstica o de oficina siendo compatibles con redes LAN Ethernet.

Las redes WLAN se basan en querer abarcar gran cantidad de conexiones por medio de una sola tecnología de red que incursione en la conectividad universal relacionándose a la filosofía sin discontinuidades, trabajando en el ámbito de forma transparente en la transmisión de datos. Para ser considerada WLAN, la red debe tener una velocidad de transmisión promedio (el mínimo establecido por el IEEE 802.11 es de 1 Mbps, aunque las actuales tienen una velocidad del orden de 2 Mbps), y también funcionan en el entorno de frecuencia de 2,45 GHz [9].

3.2.3. Redes de Área Amplia (WAN)

Las WAN vinculan las LAN, gracias a la posibilidad de acceso a computadoras o servidores de archivos ubicados en otros lugares. En principio, el número de redes locales o terminales individuales que forman parte de la WAN no está limitado. Debido a que las WAN posibilitan comunicaciones instantáneas a larga distancia entre empresas, facilitando la conexión de redes de usuarios en grandes áreas geográficas. Las WAN permiten que las computadoras, impresoras y otros dispositivos en una LAN compartan y sean compartidos por redes en ubicaciones remotas [10].

Las WAN están diseñadas para realizar lo siguiente [9]:

- Operar en áreas geográficas grandes y remotas.
- Posibilidad de comunicación en tiempo real entre navegantes.
- Facilitar recursos a tiempo completo en lugares remotos, conectados a servicios locales.
- Proporcionar servicios de correo electrónico, Word Wide Web, transferencia de archivos y comercio electrónico.

En la mayoría de los casos, las WAN son propiedad privada desarrolladas por organizaciones o empresas que son encargadas de brindar dicho servicio. Los proveedores de servicios de Internet también utilizan este tipo de redes para conectar las redes comerciales locales y los consumidores a Internet [6] .

3.2.4. Red Privada Virtual (VPN)

Una red privada virtual (VPN) es una red de comunicaciones virtuales que utiliza la infraestructura de una red física para conectar lógicamente los sistemas informáticos. En este sentido, puede ser uno de los tipos de red descritos anteriormente. Internet se usa más comúnmente como una forma de transporte porque conecta todas las computadoras del mundo y, a diferencia de las redes privadas MAN o WAN, está disponible de forma gratuita. Como se aprecia en la Figura 3.1 la transmisión de datos tiene lugar en túneles virtuales que se han establecido entre un cliente VPN y un servidor VPN. Cuando la Internet pública se utiliza como medio de transporte, las VPN suelen estar cifradas para garantizar la confidencialidad de los datos. Las VPN se utilizan para conectar redes LAN a Internet o para permitir el acceso remoto a una red o una computadora personal a través de la conexión pública [6].

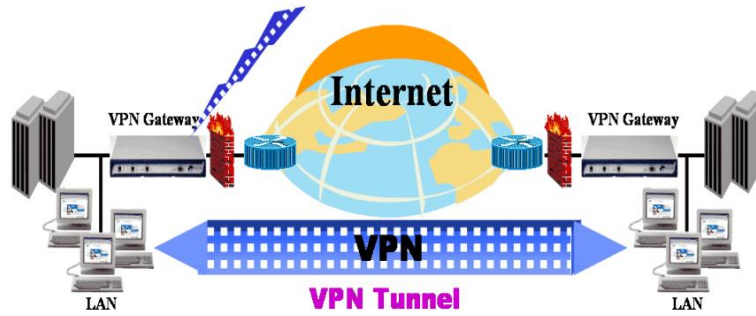


Figura 3.1. Red PrivadaVirtual.

Fuente: [6].

3.2.5. Topologías de red en las comunicaciones

La topología se puede representar mediante el mapa físico o lógico de una red permitiéndole de esta manera el intercambio de datos de acuerdo al tipo de red que se establezca. Dentro de las comunicaciones y sobre todo de los conceptos de redes, podemos encontrar 49 diferentes tipos que se diferencian por presentar características de forma, a lo cual se le denomina topología de la red. Se pueden representar las topologías de red básicas que pueden establecer una funcionalidad en los diferentes procesos que son requeridas para el campo de aplicación [11].

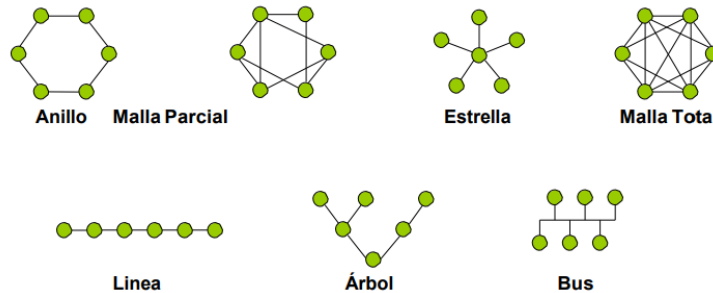


Figura 3.2. Topologías de red básicas.

Fuente: [12].

En la Figura 3.2 se puede observar las diferentes topologías de red para el intercambio de datos estas pueden clasificarse de acuerdo a la posición de sus anillos. La primera topología es la denominada topología de anillo, que consta de elementos cuyo principio de unión comienza en un nodo y termina en el mismo nodo. La topología de malla parcial se invoca considerando las conexiones entre los nodos, pero no entre todos. La topología estelar se caracteriza por tener un nodo central al que se conectan otros nodos, pero los nodos no centrales se pueden conectar solo a un nodo central, no entre sí. La topología de malla general corresponde a varios nodos interconectados diferentes, lo que significa que cualquier nodo de esta red puede conectarse directamente a otro nodo de la misma red. La topología en línea es una topología cuya comunicación o conexión comienza en un nodo y termina en otro nodo, es decir, cada nodo no puede comunicarse directamente con otro nodo a menos que ese otro nodo sea el que está

inmediatamente antes o inmediatamente después. Para que un nodo se comunice con otro nodo remoto, debe haber otro nodo como el enlace anterior. La topología de árbol tiene la propiedad de comunicar nodos para formar ramas, ramas que se pueden definir como primarias, secundarias, terciarias, etc. según su origen. La topología del bus corresponde a la conformación de varios nodos que están conectados a un bus o enlace central. Esta topología se aplica a las redes de cable, no a las inalámbricas [11].

3.2.6. Protocolos de comunicación

Sin protocolos, los equipos a comunicarse no pueden armar o reconstruir el formato original del flujo de bits entrantes desde otro equipo. Un protocolo es una descripción formal de un conjunto de reglas y convenciones que rigen ciertos aspectos de la comunicación entre dispositivos en una red. Los protocolos determinan el formato, el tiempo, la secuencia y el manejo de errores de la comunicación de datos. Sin protocolos, el dispositivo a comunicar no puede reconstruir el formato original de los bits entrantes proveniente de otros dispositivos [10].

3.2.6.1. Protocolo LoRaWAN

LoRaWAN es un protocolo de comunicación MAC (Media Access Control) cuya arquitectura se basa en redes LPWAN. Esta comunicación es completamente bidireccional y permite que gateways (pasarelas) reciban múltiples mensajes simultáneamente en varios canales. Estos constan de un bando de ancha baja la cual permite transmitir varios datos a largas distancias sin que estos sean extraviados ya que cuenta con un cifrado para evitar ser interceptados. Este protocolo de red puede usar modulación LoRa o FSK (Frequency Shift Keying) en la capa física para que los nodos no se comuniquen entre sí [13].

LoRaWAN define tres tipos de dispositivos en sus especificaciones [13]:

Clase A: En esta clase, se establece la comunicación bidireccional, con la restricción de que solo pueden recibir datos siempre que la comunicación se haya iniciado temprano. Después de cada transferencia de datos, se abren dos ventanas de recepción una tras otra. La primera ventana aparece un segundo después de la transferencia y luego se abre la segunda ventana esperando la respuesta.

Clase B: A diferencia de la Clase A, en esta clase puedes recibir mensajes sin necesidad de conexión previa, ya que puedes configurar los horarios de apertura de las ventanas receptoras. Estos dispositivos tienen un mayor consumo de energía debido a la recepción secuencial a través de balizas que envían un mensaje de difusión que permite la sincronización con la puerta de enlace.

Clase C: tiempo de recepción continuo, siempre están disponibles para recibir mensajes, con la particularidad de que las ventanas de recepción están cerradas durante el envío.

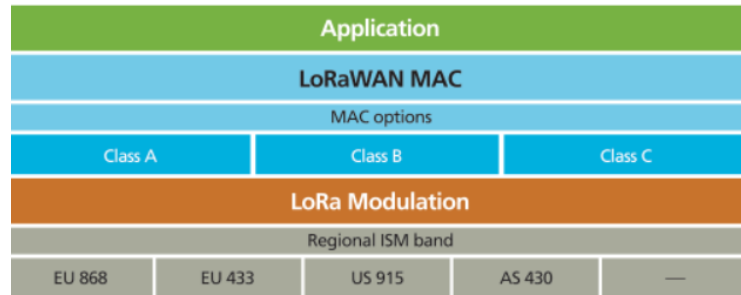


Figura 3.3. Aplicaciones en base al protocolo, modulación, regional y opciones MAC.

Fuente: [13].

El protocolo de comunicación LoRaWAN, es un protocolo de red que utiliza tecnología LoRa, para redes de área amplia y de baja potencia, para comunicarse y administrar estos dispositivos. Está compuesto por dos partes principales que son los gateways y los nodos. Los gateways conocido como antenas son aquellos que reciben y envían información hacia los nodos. Los nodos conocidos como dispositivos son aquellos que envían y reciben información hacia el gateway.

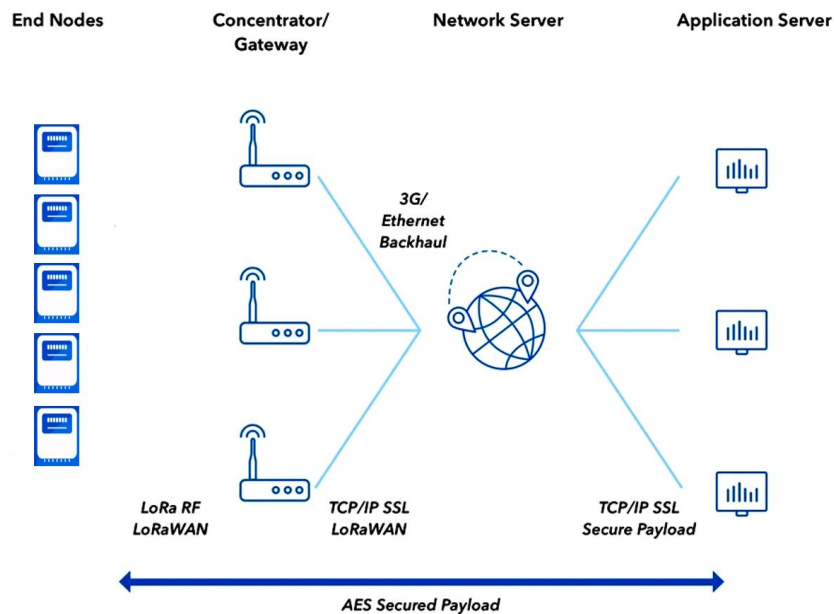


Figura 3.4. Esquema de red LoRaWAN.

Fuente: [13].

En la Figura 3.4 podemos ver claramente la composición de una red LoRaWAN clásica, en la que se conectan una serie de dispositivos a los gateways y estos envían todo a un servidor, que a través de una API entrega los datos a una aplicación final para el usuario.

3.2.6.2. Protocolo OSI/ISO.

El término Interconexión de sistemas abiertos (OSI) este protocolo permite la comunicación de computadoras ya que consta de estándares establecidos que permiten sólo la comunicación entre "computadoras". Para el intercambio de información entre ordenadores, terminales y redes es necesario una directiva estructural [14].

Este modelo de arquitectura de comunicación de siete capas como se muestra en la Figura 3.5, se ha convertido en el modelo principal para las comunicaciones de red. Aunque existen otros modelos que son muy variados y en el campo de aplicación, que están relacionados a los fabricantes de redes que son los encargados de elaborar modelos de protocolos OSI [10].

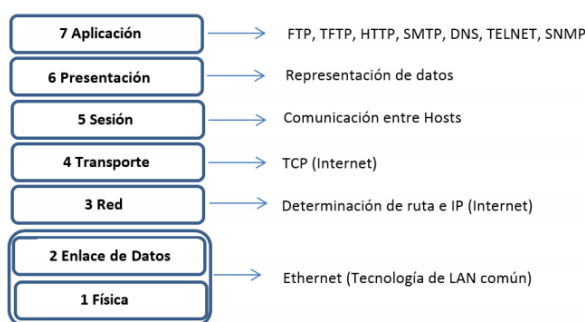


Figura 3.5. Modelo Protocolo OSI/ISO.

Fuente: [15].

A continuación, se resumen los servicios básicos proporcionados para cada capa de la jerarquía:

Capa física

Es el nivel más bajo en la jerarquía y especifica los estándares físicos, eléctricos, funcionales y de procedimiento para acceder a la red de comunicaciones de datos. En este nivel se definen definiciones como valores máximos y mínimos, voltaje admisible e impedancia del circuito, así como cables, conectores [14].

Capa de enlace de datos

Esta capa es responsable de las comunicaciones entre los nodos maestro y esclavo de la red. La etapa de enlace de datos proporciona un medio para habilitar, mantener y deshabilitar el enlace de datos para que haya una comunicación continua o lo que requiera el usuario. También proporciona el marco final del sobre de información, facilita el flujo adecuado de datos entre los nodos y permite la detección y corrección de errores [14].

Capa de red

La capa de red determina qué configuración de red es la más adecuada para la función proporcionada por la red. Además, permitirá definir el mecanismo por el cual los mensajes se

dividen y envían en forma de paquetes de datos, dando lugar a el transporte desde un nodo transmisor a un nodo receptor, dentro de una red de comunicaciones [14].

Capa de transporte

Este nivel comprueba la integridad del mensaje de principio a fin. Esto incluye el enrutamiento, la segmentación y la resolución de problemas del mensaje. El nivel de transporte es 38 el más alto cuando se trata de comunicación. Las capas por encima de la capa de transporte no interfieren con los aspectos tecnológicos de la red. Las tres capas sobre la capa de transporte manejan los aspectos de aplicación de la red, mientras que las tres inferiores manejan la mensajería. La capa de transporte funciona entonces como una interfaz entre la red y las capas de sesión [14].

Capa de sesión

Es responsable de la disponibilidad de la red (es decir, el procesador y la capacidad de almacenamiento). Dichas responsabilidades incluyen los procedimientos tanto de entrada como de salida de la red y la verificación del usuario. En una sesión se le puede conocer como una condición temporal que va a permitir dentro de esta capa la transmisión de datos en tiempo real para en un determinado tiempo y hay que tener en cuenta que en esta capa no va a permitir procedimientos como configurar, preparar o desconectar la llamada [14].

Capa de presentación

Esta capa maneja cualquier conversión de código o sintaxis necesaria para presentar los datos a la red, en un formato común para las comunicaciones. Las responsabilidades incluyen formato, cifrado de archivos de datos, cifrado y descifrado de mensajes, procedimientos de diálogo, compresión de datos, sincronización, interrupción y terminación. Dentro de esta capa la presentación de los datos debe realizar la traducción del código y el juego de caracteres que lo va a establecer para realizar la lectura del código encriptado y luego determinar el mecanismo de presentación del mensaje [14].

Capa de aplicación

Es el más alto de la jerarquía y es análogo al administrador general de la red. La capa de aplicación controla la secuencia de actividades en una aplicación y también la secuencia de eventos entre la aplicación informática y el usuario de otra aplicación. Dentro de esta capa se establece que el programa de aplicación va a adentrarse en la comunicación entre la capa y el usuario.

Los siete niveles que componen el modelo OSI generalmente se agrupan en dos bloques. El primer bloque de transmisión compuesto por el nivel físico, enlace de datos y de red, son niveles

que dependen de la red de conmutación utilizada para la comunicación entre los dos sistemas. El segundo bloque compuesto por los niveles de sesión, presentación y aplicación, están orientados a aplicaciones, así como también a realizar funciones directamente relacionadas con los procesos de aplicación con los que desea comunicarse. El nivel intermedio restante (transporte) oculta los niveles orientados a la aplicación [14] .

3.2.6.3. Protocolo TCP/IP

El aporte del protocolo TCP fue una red de investigación patrocinada por el Departamento de Defensa de Estados Unidos, que dio origen al modelo TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol). A diferencia de las tecnologías de red patentadas, TCP/IP se desarrolló como un estándar abierto para que cualquiera pueda usarlo [14].

El modelo TCP/IP incluye cuatro capas:

Capa de Acceso a la Red

También se conoce como la capa de host a red. Este nivel está relacionado con todos los componentes, tanto físicos como lógicos, necesarios para lograr un enlace físico. Incluye los detalles de la tecnología de red con la cual está configurada para mayor interpretación de los resultados, además posee todos los detalles de las capas físicas que la componen, así como del enlace de datos del modelo OSI [10].

Capa de Internet

Es el eje que mantiene unida toda la arquitectura, su misión es permitir a los nodos inyectar paquetes en cualquier red y hacer que viajen de forma independiente a su destino. Los paquetes también pueden llegar en un orden diferente al que se enviaron. Esta capa define un protocolo oficial y un formato de paquete llamado IP (Protocolo de Internet). En esta capa, tiene lugar la determinación de la mejor ruta y la conmutación de paquetes [14].

Capa de Transporte

La capa de transporte se ocupa de los aspectos de calidad en términos de confiabilidad, control de flujo y corrección de errores. En esta capa su estudio se basa en la distribución de dos protocolos de extremo a extremo. Uno de ellos es TCP (Transmission Control Protocol), un protocolo orientado a la comunicación confiable. Dentro del segundo protocolo de esta capa que es el UDP (User Datagram Protocol), establece que es un protocolo fuera de línea y poco confiable, siendo utilizado para aplicaciones que no requieren asignación secuencial o control de flujo [14].

Es de suma importancia la relación entre IP y TCP para que exista una buena interacción de confiabilidad. Puede pensar en una IP como la que da paso a los paquetes, mientras que TCP proporciona un transporte seguro [10].

La capa de Aplicación

El modelo TCP/IP incluye las capas de sesión y presentación del modelo OSI dentro de la capa de aplicación. Aquí encontramos los protocolos de nivel superior que gestionan aspectos de representación, codificación y control del diálogo [16].

3.2.6.4. Protocolo Modbus

Modbus es un protocolo industrial que está relacionado a un amplio campo de aplicación donde data su origen desarrollado en el año de 1979 que se originó con el objetivo de permitir la comunicación entre dispositivos de automatización en las grandes industrias de entonces. Este protocolo Modbus ha sido implementado utilizando una arquitectura maestro/esclavo, donde la comunicación siempre ocurre en pares; por lo tanto, un dispositivo debe iniciar una solicitud y luego esperar una respuesta. Siendo el dispositivo maestro el responsable de iniciar cada interacción.

Normalmente, el maestro es una interfaz hombre-máquina (HMI) que es el encargado de proporcionar los datos para luego ser enviados y el esclavo va hacer la función de emparejarse con el dispositivo de arranque para recibir las señales de un sensor o de un controlador lógico programable (PLC). El contenido de estas solicitudes, respuestas, y capas de la red a través de las cuales se envían estos mensajes, están definidas por las diferentes capas del protocolo como se muestra en la Figura 3.6 [17].

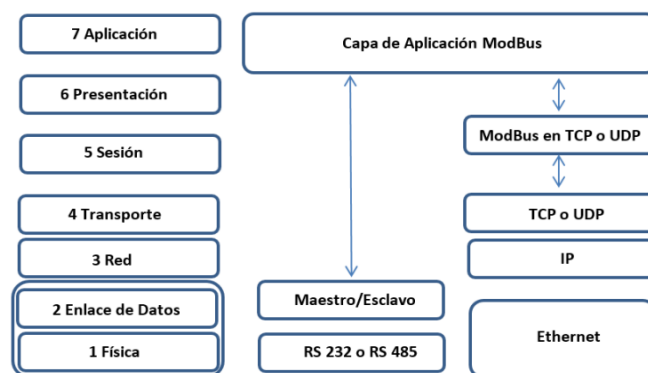


Figura 3.6. Protocolo ModBus.

Fuente: [15].

Modbus es un protocolo de aplicación, lo que significa que se puede implementar en diferentes capas físicas. Por eso podemos encontrar versiones TCP/IP, o también series como RTU (Remote Terminal Unit) y ASCII. RTU y ASCII se usan comúnmente en una línea serial,

mientras que TCP se usa en redes modernas TCP/IP, siempre que los dispositivos con los que interactúa estén listos para ello [18].

3.2.6.5. Protocolo RS-485

RS-485 o también conocido como EIA-485 (Electronics Industries Association), es un protocolo de comunicación de bus que ha sido implementada de forma analógica a la interfaz RS422 para la transmisión de datos a alta velocidad y grandes distancias siendo su principal aplicación es en el sector industrial. Una de las limitantes que presenta el RS422 es que permite la conexión de un máximo de 10 receptores en un transmisor de manera unidireccional, mientras el RS485 permite la conexión de un máximo de 32 receptores en un transmisor de manera bidireccional pudiendo ser instalado tanto en sistemas de 2 hilos como de 4 hilos [19].

Cuando se desea trabajar con transmisores en una línea que tengan en común, tiene que garantizarse con un protocolo que en todo momento se encuentre en estado activo como máximo un transmisor de datos y los otros transmisores deben encontrarse en estado de ultra ohmio.

Para la implementación de proyectos con el protocolo RS485 existe normas con las especificaciones eléctricas que se establecen tanto para receptores y transmisores, esto para los diferentes sistemas de bus digitales. Así mismo la norma ISO 8482 estandariza la topología de cableado con una longitud máxima de 500 metros [19].

3.3. Redes inalámbricas

Las redes inalámbricas son aquellas que permiten la transmisión de datos sin la necesidad de cableado, los cuales se establecen a través de ondas electromagnéticas (radio frecuencia), realizando la transmisión y recepción de información mediante puertos o también conocidos como antenas.

3.3.1. Redes de comunicación inalámbricas para medición inteligente

Se proporciona una base teórica de las tecnologías aplicables a la medición inteligente, teniendo en cuenta los principales estándares que existen para las redes de comunicación inalámbrica. Se está desarrollando el soporte necesario de las tecnologías disponibles en el área residencial urbana, en relación a las aplicaciones AMI (Infraestructura de medición avanzada). También se proporcionarán las arquitecturas y sistemas actuales de las redes de telecomunicaciones que existen en el Ecuador, para que se analicen las tecnologías aplicables a la implementación de la medición inteligente [11].

3.3.2. Redes y tecnología de comunicaciones inalámbricas para zonas urbanas

Las comunicaciones inalámbricas han tenido una historia que ha permitido el desarrollo de muchas aplicaciones; estos no son nuevos, como todos piensan, de hecho recordemos que las tribus humanas en los inicios de la civilización usaban tambores para producir sonido a cierta distancia y así poder advertir diferentes eventos, tal como recordamos los mensajes de humo practicados por tribus norteamericanas, sin embargo, estos sistemas de comunicación inalámbrica tenían sus desventajas, pero también funcionaban y no representaban redes o medios físicos para transferir información.

Con el tiempo se fueron mejorando los sistemas y medios de comunicación, pasando por código Morse y otros misceláneos a la difusión de la radio, donde la voz humana debía ser convertida en una señal eléctrica mediante un dispositivo, a esto se le llamó como comunicación analógica; por ello, el estudio de las ondas sonoras se ha convertido en clave para la comunicación por radio. Gracias a este conocimiento de los principios radioeléctricos, es posible comprender los diferentes sistemas de comunicación inalámbrica y así se dieron los primeros sistemas de telecomunicaciones [20].

3.4. Tecnologías Inalámbricas

Esta es una de las partes más importantes de todo sistema inteligente. Es la parte encargada de poner en contacto todos los elementos de la red, permitiendo que la información fluya en ambas direcciones (bidireccional) entre dispositivos.

Elegir la tecnología adecuada para cada instalación es fundamental. La frecuencia, el rango de cobertura, la velocidad de transmisión, el ancho de banda son características de cada protocolo de comunicación.

3.4.1. Tecnología LoRa

LoRa define la especificación tecnología de capa física (LoRaMAC), el cual establece un protocolo capaz de enviar a largas distancias pequeños paquetes de datos con el más mínimo consumo de energía (LPWAN), lo que influye en gran medida en el desarrollo de aplicaciones IoT [13].

En resumen, entre todas las características de LoRaWAN, las principales y más notables para nuestros fines investigativos, y según [13], son las siguientes:

- Topología estrella.
- El alcance de la red es de 15 a 20 km en línea de vista.
- Capacidad hasta un millón de nodos.
- Tasa de datos de 50 Kbps.

- Sensibilidad -168 dBm.
- Tolerancia alta a interferencias.
- Bajo consumo de energía (duración de baterías hasta 10 años).

La capa física de LoRa se basa en una modulación de espectro ensanchado (SSM), con el cual se puede transmitir una señal en una banda de frecuencia más ancha que la mínima requerida para la transmisión de información. LoRa utiliza en su esquema una variante del espectro ensanchado llamado frecuencia, mediante saltos modulados o chirping, que se define mediante un pulso llamado chirp, que debe barrer todas las frecuencias al inicio de la transmisión para aumentar el ancho del espectro, de este modo evita que toda la energía se concentre en la banda estrecha original [13].

Esta técnica consiste en multiplicar la señal de entrada por una secuencia de código mucho más rápida que distribuye la señal base en un ancho de banda más amplio.

LoRaWan puede transmitir en cualquier canal dentro de la banda ISM (industrial, científico y médico). Esta tecnología ya se ha implementado en dos regiones: en Europa, donde las bandas predominantes son 868 MHz y 433 MHz, y en Norteamérica, donde se utiliza la banda de 915 MHz.

Los nodos están limitados por el ciclo de trabajo, que es la relación que existe entre el tiempo de activación de la señal y su período, que está relacionado con el uso de cada sub-banda en la modulación del espectro ensanchado, este factor se utiliza para determinar el tiempo de emisión de cada sub-banda que no se puede reutilizar durante un intervalo de tiempo, haciendo que el sistema de comunicación sea menos susceptible a interferencias [13].

3.4.1.1. Pros de LoRa

- Se puede configurar y administrar su propia red.
- Comunicación bidireccional, gracias a la conexión simétrica permite la funcionalidad de control y monitoreo.
- Los dispositivos LoRa funcionan muy bien cuando están en movimiento, lo que los hace útiles para rastrear activos en movimiento.
- Presenta mayor duración de una batería.

3.4.1.2. Contras de LoRa

- Presentan bajas velocidades de datos, es decir que se utiliza para enviar paquetes pequeños de datos cada cierto tiempo.
- Requiere una puerta de entrada (que también es, en muchos casos, una ventaja).

3.4.2. Tecnología WiFi

El estándar WiFi más habitual utilizado en los hogares y empresas es el 802.11n, que ofrece una tasa de transferencia significativa en el rango de cientos de Mbits por segundo, muy adecuado para la transferencia de archivos, pero también tiene un alto consumo de energía para aplicaciones inalámbricas. IoT. En el año 2016, Wifi Alliance anunció el último estándar Wifi, 802.11ah, y lo llamó HaLow, el cual opera en la banda de 900 MHz, específicamente para el soporte de aplicaciones IoT, permitiendo la comunicación de baja potencia, ya sea a través de sensores o de dispositivos electrónicos incorporados a la vestimenta (wearables) [13].

La principal ventaja de esta tecnología es el hecho de que se conecta directamente a Internet, además de tener un largo alcance de conexión, llegando hasta 1 km de distancia. En la mayoría de las otras soluciones de hardware de RF de baja potencia ofrecen solo un alcance de 100 metros o menos en comparación con otras tecnologías. Gracias a su funcionamiento en baja frecuencia, le permite atravesar fácilmente grandes muros de hormigón que bloquean la señal WiFi actual [13].

El uso de WiFi en el IoT tiene claras ventajas, como su capacidad para conectarse directamente con un intercambio de claves seguro reconocido y sin la necesidad de puentes adicionales de protocolo de capa física y hardware de puerta de enlace, reduciendo el costo y la complejidad de la arquitectura de red [13].

Algunas características son:

- Estándar: Basado en 802.11n
- Frecuencia: 2,4GHz y 5GHz
- Alcance: Aproximadamente 50m
- Velocidad de transferencia: hasta 600 Mbps, pero lo habitual es 150-200Mbps, en función del canal de frecuencia utilizado y del número de antenas (el standard 802.11n ofrece desde 500Mbps hasta 1Gbps)

3.5. Internet De Las Cosas (IoT)

El Internet de las cosas es un concepto que se refiere a la interconexión de objetos cotidianos en una red. Los objetos adquieren su propia identidad, reconocen el entorno en el que se encuentran e intercambian información. Los dispositivos y las personas están interconectados y pueden comunicarse entre sí en lo que se denomina un entorno ubicuo. Puede definirse como una infraestructura de red global dinámica con funciones auto configurables basadas en estándares y protocolos de comunicación con los que se asigna una identidad a objetos físicos

y virtuales, así como atributos físicos y personalidades virtuales perfectamente integrados en la red de información.

La forma de describir dos esquemas estrechamente relacionados a una IoT es:

Uno es el "Internet de la información de productos" que se enfoca en el fácil acceso a través de la web de información útil sobre un producto (fecha de fabricación, fecha de vencimiento, detalles técnicos de producción, distribución al consumidor, etc.). En este caso los objetos se comportan como una fuente de información cuyo contenido no depende directamente de ellos ya que los datos son manipulados y permanecen en la web [21].

El otro esquema es el "Internet de sensores y actuadores" en el que se busca tener no solo la posibilidad de conocer información sobre un entorno, sino la capacidad de interactuar con él tanto de forma local como remota mediante el uso de redes. En este caso la información proviene de las cosas mismas y se utilizan diferentes recursos tecnológicos para lograr la comunicación y la interacción.

Por tanto, en general se podría hablar de la Internet de las cosas como la "Internet de la información sobre los objetos", que es un esquema de cómo funciona ya sean artículos de consumo o redes de sensores-actuadores como las que se encuentran en los entornos domóticos actuales. En la Figura 3.7 se muestra el esquema básico de una IOT.

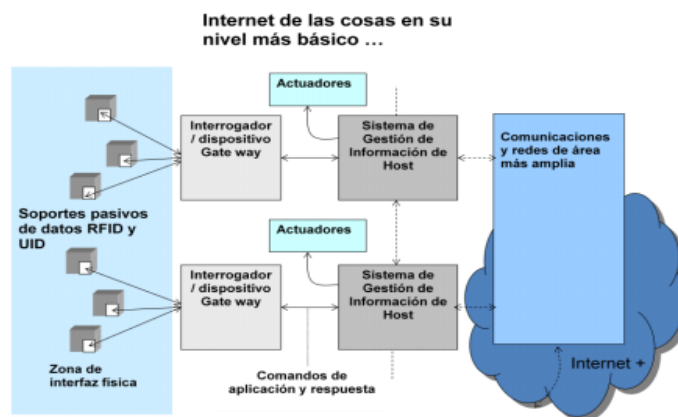


Figura 3.7. Esquema básico de un Internet de las cosas.

Fuente: [10].

3.5.1. Componentes de una IoT

Los Sistemas IoT son un nuevo sistema que permite establecer la comunicación remota con un medidor, con el objetivo principal de capturar la información que registra. Este sistema constituye un conjunto de medios y elementos de comunicación que permiten el envío y recepción de información, bidireccional o unidireccional entre el equipo de medición y el centro

de control donde se almacena y gestiona toda la información. Además, lo constituye los transductores y el canal a través del cual se transmite la información.

El esquema general del internet de las cosas consiste en un conjunto que posee los siguientes componentes [10]:

- Emisor: Constituye el elemento terminal de la comunicación, que se encarga de proporcionar la información registrada.
- Receptor: Es el elemento terminal encargado de recibir la información proporcionada por el elemento emisor. Cada emisor es inseparable de su receptor, aunque puede haber múltiples emisores para múltiples receptores.
- Transductor: Son los dispositivos encargados de transformar la naturaleza de la señal emitida por el transmisor para que pueda ser transportada por un canal y finalmente llegar al elemento receptor.
- Canal: Es el elemento que se encarga de transportar la señal a través de la cual viaja la información entre emisor y receptor. Cada canal de transmisión es adecuado para algunas señales. Un canal se define por sus propiedades físicas, que son: la naturaleza de la señal que puede transmitir, la velocidad de transmisión, el ancho de banda, el nivel de ruido (interferencia), la longitud y la forma de inserción de los transmisores y receptores en el canal. Podemos mencionar para estos casos la comunicación por PLC, Radiofrecuencia, Fibra Óptica, GPRS entre otros. Además de estos elementos, hay que considerar este otro grupo de elementos:
- Moduladores y codificadores: Aunque el tipo de señal es adecuado para un canal, a veces es necesario un tipo diferente de transformación para que el canal se utilice de manera óptima. Los moduladores y codificadores son responsables de estas transformaciones. El modulador se encarga de realizar las transformaciones necesarias para que la señal envíe información sobre esa señal de manera eficiente, además de adaptarse al canal; los moduladores convierten las señales analógicas en digitales y viceversa (módem).
- En el caso del codificador, la señal puede enviar información, pero esta información requiere una transformación a un formato comprensible para el emisor y el receptor, así como ciertos mecanismos contra posibles errores. En resumen, los codificadores (codee) son responsables de codificar y decodificar señales.
- Repetidores: Tienen como misión regenerar las señales digitales. No necesariamente de una amplificación, sino de la reconstrucción de la señal de forma similar a la original.

La principal opción de utilizar los repetidores es el bajo costo de ubicación, siendo una forma económica de extender una red Ethernet, estableciendo además enlaces en los cambios de cableado y haciendo conexiones entre ellos.

- Distribuidores y concentradores: Son los encargados de distribuir y agrupar las señales eléctricas entre distintos emisores y receptores.
- Conmutadores: Son los dispositivos encargados de establecer un canal de comunicación adecuado
- Antenas: Son dispositivos que permiten que una señal eléctrica se propague a través de un canal inalámbrico y a la inversa. Existe una amplia variedad de tipos de antenas. En algunos casos, deben expandir la potencia radiada tanto como sea posible, es decir, no deben ser directivas.

Otras veces, deben serlo, para canalizar la potencia en una dirección y no interferir con otros servicios.

3.6. Medidores de consumo de energía eléctrica

Para la definición de los diferentes sistemas de medida, el contador de energía, comúnmente conocido medidor de luz, debe considerarse como un elemento importante, cuyas mediciones serán la base en el cálculo del consumo eléctrico.

Por este motivo, es importante detallar los tipos de equipos de medida que existen en el mercado eléctrico y su evolución de cara a la medición inteligente [15].

3.6.1. Tipos de contadores de energía

Un medidor de energía eléctrica o contador eléctrico es el conjunto de elementos electromecánicos o electrónicos que se utilizan para medir el consumo de energía, tanto activa como reactiva y en algunos casos su demanda máxima.

A continuación, daremos a conocer los tipos de medidores de energía existentes, así como su principio de funcionamiento.

3.6.1.1. Medidores electromecánicos ciclométricos

También conocidos como medidores de inducción, son los medidores más tradicionales los cuales usan un proceso físico denominado inducción electromagnética para determinar la cantidad de energía eléctrica que fluye a través del medidor y mostrarlo a través de un registrador ciclométrico tipo reloj. En la Figura 3.8 se puede ver el esquema de un medidor electromecánico el cual fue precursor de la medición del consumo eléctrico, surgido a finales del siglo XIX.

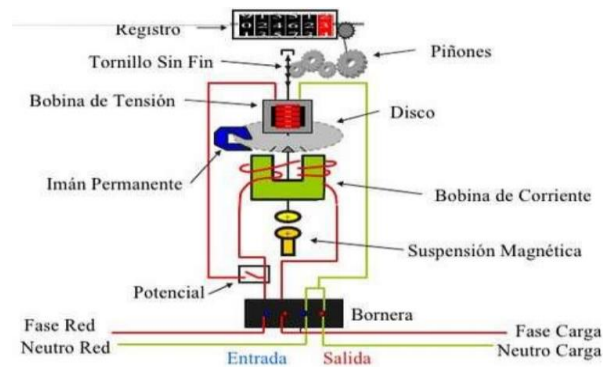


Figura 3.8. Esquema de funcionamiento de medidor electromecánico.

Fuente: [22].

Su principio de funcionamiento se basa en la relación de la corriente eléctrica con los campos magnéticos (par de motor). En el que, si la bobina de corriente es atravesada por corriente y la bobina de voltaje es alimentada por voltaje, se crea un campo magnético. En esta zona hay un disco con un eje apoyado por cojinetes o joyas; la velocidad del disco varía según la amplitud de la carga conectada. El eje tiene un sinfín que entra en contacto con un piñón y este último, a su vez, se conecta con otros hasta llegar al numerador o registro, es decir, es un sistema de transmisión mecánica. El numerador generalmente tiene 5 dígitos y algunos un dígito adicional que corresponde a los decimales; la integración depende del fabricante, quien dice en la constante, cuántas revoluciones se necesitan para integrar un kWh. La constante puede ser kh, que se expresa en Wh por revolución y kd revoluciones por kW [22].



Figura 3.9. Medidor electromecánico con contador ciclométrico.

Fuente: [22].

Estos contadores de energía son construidos de acuerdo a las necesidades de cada cliente, es decir, de modo que se puedan aplicar tanto a sistemas monofásicos como trifásicos como se muestra en la figura 3.9. Una de las principales ventajas que presentan estos medidores son su costo y tiempo de operación, los cuales son relativamente muy bajos, sin embargo, con el tiempo tienden a perder precisión debido al desgaste de sus partes móviles. Es por ello que los

medidores electrónicos comenzaron a construirse como parte del avance de la tecnología electrónica.

3.6.1.2. Medidores electrónicos ciclométricos

Aunque su aplicación no duró mucho tiempo, este instrumento representa un gran paso entre los medidores electromecánicos y los de estado sólido. Estos equipos se caracterizan por estar compuestos por una placa electrónica y una pantalla ciclométrica que funciona en conjunto con un motor tipo contador de pasos.



Figura 3.10. Medidor Electrónico con contador ciclométrico.

Fuente: [15].

El principio de funcionamiento de estos contadores está basado principalmente en un circuito integrado capaz de calcular su consumo. El chip incluido en el circuito electrónico para el cálculo del consumo controla directamente un contador con motor paso a paso electrónico que produce la lectura [22]. Existen diferentes tipos de circuitos integrados, algunos de ellos permiten programar según las necesidades del usuario.

3.6.1.3. Medidores electrónicos con display

Este tipo de medidores, también conocidos como medidores de estado sólido, han sido un gran avance en cuanto a los equipos de medición eléctrica, ya que además de tener la propiedad de ser programados, pueden almacenar datos en su memoria interna. En la Figura 3.11 se muestra dichos medidores que poseen la capacidad de registrar energía activa e incluso energía reactiva, valores de instrumentación, perfil de carga, monitoreo de calidad de energía y realizar cálculos de demanda máxima, entre otros.



Figura 3.11. Medidor Monofásico Electrónico

Fuente: [15].

Los medidores electrónicos más avanzados incluyen puertos ópticos para lectura y programación como se muestra en la Figura 3.13. Sin embargo, con el avance de la tecnología de telecomunicaciones, se han incorporado varios puertos de conexión (interfaces de comunicación), logrando una conexión remota desde un servidor al almacenamiento masivo del medidor a través de tarjetas Ethernet y módems GPRS [15].

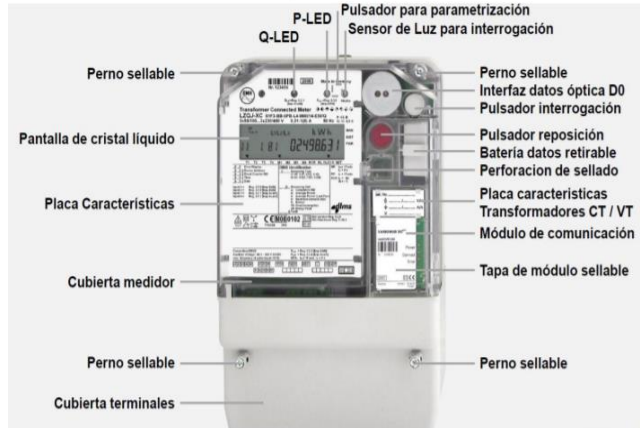


Figura 3.12. Medidor multifunción con módulo de comunicación.

Fuente: [15].

3.6.1.4. Equipos modulares con comunicación PLC

Estos equipos de medida están desarrollados en base a un medidor electrónico más una unidad inteligente que permite el procesamiento de los comandos recibidos desde un servidor a través de una interfaz de comunicación. Este equipo cumple con la norma de fabricación IEC 62053-21 como se muestra en la figura 3.14 [15].



Figura 3.13. Medidores monofásico y trifásico con PLC.

Fuente: [15].

Estos equipos de medición fueron diseñados con el objetivo de optimizar espacios, reemplazando la configuración tradicional de los Bancos de Medidores, que requieren grandes espacios. Además, se pueden instalar en el interior de las cabinas, por sus características de comunicación remota. Su principio de funcionamiento es similar al de un contador electrónico,

con la diferencia del display. Por ello, adicionalmente se instala un módulo de visualización colectiva, en el que se presentan cíclicamente las lecturas de cada cliente.

Estos contadores tienen entre sus principales características la gestión de cortes y reconexiones de forma remota mediante PLC. Este equipo representa una muestra inicial de medición inteligente, debido a la comunicación bidireccional; sin embargo, la aplicación de la medición de energía distribuida aún está pendiente en su desarrollo, la cual es una herramienta potencial en los contadores inteligentes [15].

3.6.1.5. Medidores inteligentes

Estos medidores inteligentes poseen la capacidad de determinar con más detalle sobre cómo y cuándo se hace uso de la energía en comparación con los medidores tradicionales. Se caracterizan por permitir la comunicación de información a otros medidores, concentradores o centros de control a través de una red disponible. Además, permite la monitorización por parte de los usuarios y la conexión y desconexión remota.



Figura 3.14. Medidor inteligente multifunción.

Fuente: [15].

3.7. Clasificación de los medidores de acuerdo a la conexión a la red

La medición de energía eléctrica es la técnica utilizada para determinar el consumo de energía eléctrica en un circuito o un servicio mediante medidores de energía. Existen diferentes tipos de medidores los cuales van desde monofásicos utilizados en el ámbito residencial, hasta trifásicos, usados en el ámbito comercial e industrial.

A continuación, se detalla según [23] la clasificación de los medidores de acuerdo a la conexión a la red:

3.7.1. Monofásico bifilar

Este es un medidor que consta de ciertas limitaciones como están diseñados para realizar mediciones de 15 y 60 A ya que consta de una línea viva a 110 V y un cable neutro, su principal aplicación se lo hace en instalaciones residenciales.

3.7.2. Monofásico trifilar

Estos constan de tres hilos dos líneas vivas y una inactiva o neutro están diseñados para medir 110/220 V, también constan de una pantalla LCD para la visualización del consumo y pueden soportar corrientes de 5 hasta 80 A se utiliza para instalaciones residenciales.

3.7.3. Medidor bifásico trifilar

Este medidor consta de tres hilos dos líneas vivas y un neutro se utiliza para alimentar a máquinas que requieren trabajar a 220 V y también a 110V soporta corrientes desde 10 hasta 100 A consta también de una pantalla LCD para la visualización del consumo.

3.7.4. Medidor trifásico trifilar

El medidor trifásico consta de tres fases activas son utilizados en las empresas donde se requiere trabajar con máquinas de más de 10HP, sus fases son RST cada cual consta de un desfase de 120 grados, estos conducen por sus líneas 220 V.

3.7.5. Medidor trifásico tetrafililar

Consta de cuatro cables los cuales están distribuidos de la siguiente manera tres líneas activas o vivas y un neutro cada línea conduce 220 V.

3.8. Servidor en la nube

La función principal de un servidor web es almacenar los archivos de un sitio y distribuirlos a través de Internet para que los usuarios puedan visualizarlos. En cuanto a hardware básicamente, un servidor web es una gran computadora que almacena y transmite datos a través del sistema de red llamado Internet. Cuando un usuario ingresa a una página web, su navegador se comunica con el servidor enviando y recibiendo datos que determinan lo que ve en la pantalla. Por lo tanto, decimos que los servidores web deben almacenar y transmitir los datos de un sitio a una solicitud del navegador de un visitante.

3.8.1. Protocolo HTTP

El protocolo usado en cada transacción de la Web (WWW) es a través del protocolo de transferencia de hipertexto HTTP.

Cuando se ingresa una URL, por ejemplo, como ésta "http://www.prucba.com/index.html", el navegador interpreta tres partes:

- HTTP (protocolo).
- www.prueba.com (nombre del servidor).
- index.html (nombre del archivo especificado).

Tan pronto como se hayan analizado estas partes, el navegador se comunica con un servidor de nombres (DNS) y establece una conexión con el servidor.

Comenzaremos con el hecho de que HTTP significa "Protocolo de transferencia de hipertexto", que pertenece al grupo TCP/IP y fue creado principalmente para publicar páginas HTML siendo uno de los protocolos más utilizados en la actualidad [10].

Su funcionamiento se establece básicamente en que un navegador envía una solicitud GET al servidor solicitando un archivo para posteriormente enviar el código de este archivo al navegador, mediante el descifrado de dicha petición por el navegador.

De acuerdo a [10] HTTP utiliza tres tipos de mensajes para enviar y recibir información desde el navegador.

- GET
- POST
- PUT

GET: este es un mensaje con una solicitud de datos del cliente, es decir, un navegador envía el mensaje GET para solicitar páginas del servidor.

POST y PUT: el servidor utiliza estos dos tipos de mensajes para enviar información al navegador web, en otras palabras, "Post" es aquel que incluye la información del mensaje enviado hacia el servidor y "Put" aquel que carga el contenido en el servidor.

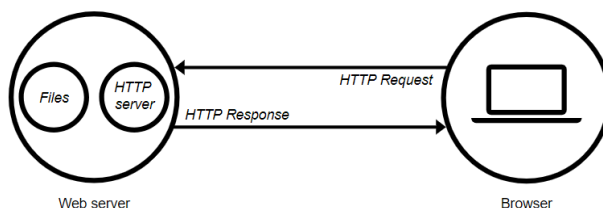


Figura 3.15. Servidor en la nube.

Fuente: [10].

Mediante un servicio de almacenamiento en la nube, los datos del módulo medidor de energía PZM-016 serán almacenados y analizados para tener un uso estimado del consumo de energía en un determinado período de tiempo con el fin de tomar las precauciones para una adecuada gestión de energía. Va ayudar a almacenar gran cantidad de datos que van a estar disponibles ya que posee las mismas capacidades de un servidor local.

3.9. Aplicación para Smartphone

Se diseñará una aplicación para Smartphone para la interacción con el usuario, esta aplicación se conectará directamente al servidor en la nube donde se encuentran los datos almacenados.

La arquitectura a utilizar será cliente-servidor donde el cliente ejecutará la petición al servidor y éste a su vez le dará la respuesta. En este caso el sistema cuenta con un servidor de base de

datos donde se almacenarán los registros, pedidos del cliente ya su vez recibir información actualizada, para esto el cliente debe tener acceso a internet.

Usando estos datos, la aplicación permitirá la visualización de parámetros eléctricos como voltaje, corriente, potencia, energía, frecuencia y factor de potencia, dando a conocer el consumo de energía durante un período de tiempo.



Figura 3.16. Aplicación inteligente para Smartphone.

Fuente: [10].

3.10. Dispositivos de medición de energía

En el mundo actual existen una serie de equipos que permiten conocer las diferentes magnitudes eléctricas, como voltaje, corriente, potencia, factor de potencia, consumo de energía, entre otros, lo cual permite a los usuarios a verificar, obtener y administrar parámetros eléctricos, ayudando a localizar las causas de una operación defectuosa en diferentes aparatos eléctricos, facilitando la visualización de su funcionamiento mediante aparatos que estén diseñados para este tipo de trabajo.

3.10.1. Módulo PZEM-004(V3.0)

Es un módulo integrado de comunicación y seguimiento eléctrica que permite realizar medidas de parámetros como tensión, corriente, potencia y energía. Contienen una función de alarma de sobrecarga en caso de superarse el valor de energía preestablecido mediante la emisión de señales acústicas y visuales. Permite almacenar la energía medida antes de apagar el sistema sin restaurar los datos cuando se reinicia. Además, se puede conectar un LCD/LED para ver datos y comunicarse con varios dispositivos a través de la interfaz en serie TTL.

De acuerdo al fabricante, este módulo está diseñado para ambientes interiores donde no está expuesto a factores físicos del medio ambiente, por lo tanto, se recomienda no utilizarlo en exteriores, ni en tensiones fuera de las especificadas por su fabricante y para la instalación debe respetarse el orden del cableado para no alterar o dañar el equipo [24].

Especificaciones técnicas:

- Voltaje: 80 - 260 V AC.
- Corriente: 0 - 100 A
- Potencia: 0 – 22 kW

- Frecuencia: 45 - 65 Hz
- Precisión de la medición: 1%

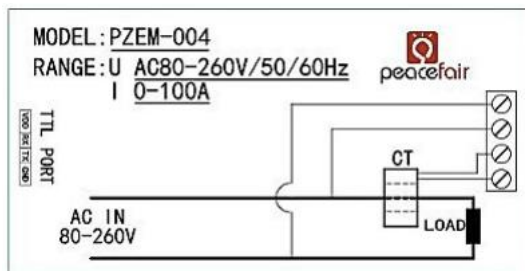


Figura 3.17. Conexión de módulo PZEM-004.

Fuente: [24].

3.10.2. Módulo KPM75

Este dispositivo de medición de voltaje y corriente, está dotado para analizar la calidad de energía bajo estándares internacionales, permitiendo monitorear parámetros de calidad como interrupciones breves de voltaje registrado y armónicos, así como también alarmas de control para interrumpir cualquier parámetro que haya sido alterado bajo el estándar de configuración. Para la visualización de los datos se muestran mediante una pantalla LCD gráfica siendo un módulo de función conectable y es utilizado ampliamente en aplicaciones para monitorear el proceso de control de parámetros de calidad de energía para la distribución.

Este módulo está diseñado para medir la tasa de desequilibrio de voltaje, la desviación de voltaje, la frecuencia, dando un registro de todos los parámetros para el análisis de la calidad de la energía que se va a distribuir. Además, está adaptado para soportar interrupción a corto plazo de voltaje, sobretensión, caída repentina de energía, siendo los tipos de alteraciones que pueden dañar la calidad que suministra una central, por lo tanto, este módulo permite realizar un análisis de la demanda de energía que va a distribuir [25].

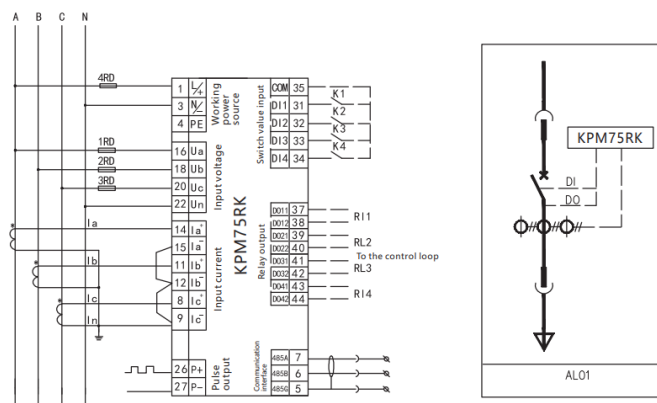


Figura 3.18. Conexión trifásica de cuatro hilos de bajo voltaje del KPM75.

Fuente: [25].

3.10.3. Módulo AEW 100

El módulo de medición inalámbrico AEW 100 se utiliza principalmente para medir energía activa trifásica en red de baja tensión a través de la comunicación RS485 a una frecuencia de 470 MHz, lo cual permite a los usuarios verificar, obtener y administrar el valor del consumo de la energía. Estos dispositivos permiten una instalación más compacta y sencilla, además de adaptarse de forma flexible en la caja de distribución, pudiendo realizarse la medición de estadísticas de demanda y distribución en diferentes cargas y áreas [26].

Especificaciones técnicas:

- Voltaje: 220 - 380 V
- Corriente: 100 - 400 A
- Frecuencia: 45 - 65 Hz
- Precisión de la medición: 0.5%

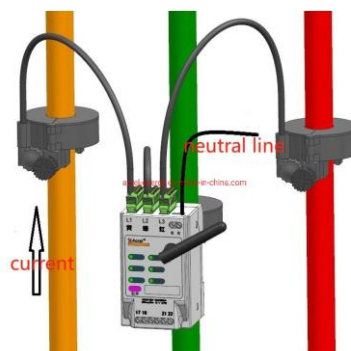


Figura 3.19. Módulo AEW 100.

Fuente: [26].

3.10.4. Módulo PZEM-016

PZEM-016 son dispositivos de adquisición de energía CA que miden voltaje, corriente, potencia, energía, frecuencia y factor de potencia. Dicho dispositivo puede leer los datos a través del software de comunicación RS485.

Tabla 3.1. Características eléctricas del módulo de medición de energía.

CARACTERÍSTICAS DEL MEDIDOR DE ENERGÍA PZEM-016		
Tensión	Rango de medición:	80 ~ 260V
	Resolución:	0,1 V
	Precisión de la medición:	0,5%
Corriente	Rango de medición:	0 ~ 100A
	Corriente de medida inicial:	0.02A
	Resolución:	0.001A

	Precisión de la medición:	0,5%
Potencia activa	Rango de medición:	0 ~ 23kW
	Potencia de medida inicial:	0,4 W
	Resolución:	0,1 W
	Formato de visualización:	< 1000W, muestra un decimal, como: 999.9W
		≥1000W, muestra solo un número entero, como: 1000W
Precisión de la medición:	0,5%	
Factor de potencia	Rango de medición:	0,00 ~ 1,00
	Resolución:	0.01
	Precisión de la medición:	1%
Frecuencia	Rango de medición:	45Hz ~ 65Hz
	Resolución:	0,1 Hz
	Precisión de la medición:	0,50%
Energía activa	Rango de medición:	0 ~ 9999.99kWh
	Resolución:	1 Wh
	Precisión de la medición:	0,5%
Formato de visualización:	< 10kWh, la unidad de visualización es Wh (1kWh = 1000Wh), como: 9999Wh ≥10kWh, la unidad de visualización es kWh, como: 9999,99kWh	
Restablecer energía: use el software para restablecer.		
Alarma de sobrecarga		

3.10.4.1. Protocolo de comunicación

Protocolo de capa física

La capa física utiliza la interfaz de comunicación UART a RS485.

La velocidad en baudios de 9600, 8 bits de datos, 1 bit de parada, sin paridad.

Protocolo de la capa de aplicación

La capa de aplicación utiliza el protocolo Modbus-RTU para comunicarse. En la actualidad, solo admite códigos de función como 0x03 (registro de retención de lectura), 0x04 (registro de entrada de lectura), 0x06 (Escribir registro único), 0x41 (Calibración), 0x42 (Reiniciar energía). etc.

El código de función 0x41 es solo para uso interno (la dirección solo puede ser 0xF8), se usa para fábrica Calibración y regreso a ocasiones de mantenimiento de fábrica, después del código de función para aumentar 16 bits contraseña, la contraseña predeterminada es 0x3721 [27].



Figura 3.20. Módulo de medición de energía PZEM-016.

Fuente: [27].

4. METODOLOGÍA Y DISEÑO EXPERIMENTAL

En este capítulo se detallan los métodos empleados los cuales facilitarán el trabajo de campo para dar cumplimiento a los objetivos planteados.

4.1. Tipo de investigación utilizada

10.1.1. Investigación Bibliográfica-documental

Esta investigación se basa en la búsqueda de información por medio de fuentes bibliográficas como: trabajos de grado, artículos científicos, investigaciones relacionadas y fuentes certificadas, con la finalidad de obtener información destacada y probada por diversos investigadores que han realizado investigaciones sobre transmisión y recepción de datos de parámetros eléctricos a distancia.

4.1.1. Investigación Exploratoria

Trata sobre el estudio de explorar un entorno, una problemática, un servicio o la probabilidad de crear un producto partiendo desde un conocimiento casi nulo del tema. Son las primeras aproximaciones que se van a dar entorno transmisión y recepción de datos en fábrica de muebles Jessica, los parámetros o variables que se puede obtener para realizar un diagnóstico del consumo de energía eléctrica de las máquinas que generan durante su producción.

4.1.2. Investigación descriptiva

El objetivo de esta investigación es describir la población, situación o el fenómeno sobre un caso de estudio, para el desarrollo de esta propuesta tiene el fin de la medición y transmisión de datos de las variables eléctricas que permitan generar un diagnóstico del consumo energético de las maquinas durante un cierto periodo de tiempo en la empresa de muebles Jessica.

4.2. Métodos de investigación

Para realizar el presente proyecto de investigación se aplican los siguientes métodos investigativos: deductivo, inductivo. Para valorar cada uno de los aspectos para el módulo de medición inteligente para lecturas de consumo eléctrico.

4.2.1. Método inductivo

Método inductivo, contiene una secuencia de pasos para lograr llegar a conclusiones generales, es decir es un sistema flexible, este inicia con la observación de determinadas actividades en este caso en particular se enfoca en la medición y transmisión de datos de las variables eléctricas que permitan generar un diagnóstico del consumo energético de las máquinas para obtener una idea inicial en el diseño del módulo inteligente, esta información se registra, y finalmente se puede contrastar para elaborar una tabla de análisis técnico.

4.3. Requerimientos del sistema

Para la implementación del módulo, se debe tener en cuenta una serie de pasos a realizar, el mismo que consta de partes eléctricas y electrónicas, se debe agrupar e identificar cada una de sus componentes para el sistema en conjunto. Para esto se deberá conocer cuáles son los requerimientos mínimos que se necesitan, y, de esta forma continuar con los procesos ya mencionados.

Para cumplir con la implementación del módulo se detalla a continuación una serie de requerimientos a cumplir por el prototipo:






- Transmitir los datos del consumo de energía de la fábrica hacia la oficina donde van a ser analizados por el usuario y mediante un aplicativo móvil que permita su monitoreo de forma continua.
- Visualizar los datos del consumo mediante una pantalla HMI de cada una de las líneas del equipo que esté consumiendo ya sea monofásico, bifásico o trifásico, a excepción de los medidores trifásicos trifilares.
- Configurar una base de datos, con el objetivo de almacenar la información concerniente al consumo diario para luego ser analizados y tabulados de acuerdo a las necesidades del usuario.

Partiendo de los principales requerimientos mencionados anteriormente se llevará a cabo el desarrollo del proyecto.

4.4. Dispositivo medidor de energía

Para la designación del módulo se toma en cuenta los parámetros a dentro del consumo de la fábrica los cuales están establecidos según el funcionamiento de cada uno de los módulos como se muestra las principales características dentro de la Tabla 4.1.

Tabla 4.1. Características eléctricas de los módulos de medición energía.

Medidor de energía corriente alterna						
	Nombre	Voltaje [V]	Corriente [A]	Potencia activa [KW]	Frecuencia [Hz]	Factor de potencia
	PZEM-004(V3.0)	80-260	0-100	1-22	45-65	0-1
	KPM75	85-265	0-100	0-20	45-60	0-1
	PZEM-016	80-260	0-100	0-23	45-65	0-1
	PZEM-014	80-260	0-10	0-2.3	45-65	0-1
	AEW100-D36X	100-380	0-600	1-22	45-65	0-1

PZEM-014 y PZEM-016 son los dispositivos de adquisición de energía de corriente alterna (CA) que miden voltaje, corriente, potencia, energía, frecuencia y factor de potencia. Estos dispositivos utilizan una comunicación RS485 a través del protocolo ModBus-RTU, lo que significa que pueden leer los datos a través del software RS485.

La versión PZEM-016 presenta mejoras en cuanto a los parámetros eléctricos. La principal mejora es el rango de medición de la corriente como se puede observar en la Tabla 4.1.

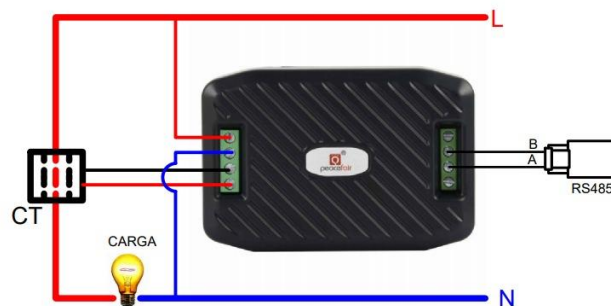


Figura 4.1. Diagrama de conexión PZEM-016.

4.5. Selección del módulo de comunicación inalámbrico

La tecnología de comunicación LoRa son ideales para aplicaciones IoT, ya que proporcionan una nueva solución para la transmisión de datos del sistema de lectura de contadores inteligentes, especialmente en zonas donde no dispone de una conexión a internet como en áreas rurales.

El modelo SX1276 es un transceptor RF que contienen un emisor y receptor con la capacidad de comunicarse con la tipología M2M (máquina a máquina), de tal manera que se pueden crear complejas redes de comunicación de larga distancia con la capacidad de conectar millones de dispositivos aumentando la vida útil de la batería de sistemas embebidos, optimizando el consumo de energía, brindando aplicaciones como la automatización, seguridad, rastreo y meteorología. El módulo de la versión SX1276 presenta mejoras a nivel de la arquitectura respecto al SX1272. La principal mejora es la incorporación de multiplexores y demultiplexores para manejar altas y bajas frecuencias. Como se puede observar en la Tabla 4.2, para el chip radio SX1276, las bajas frecuencias (LF) corresponden a frecuencias por debajo de 525 MHz y las altas frecuencias (HF) se encuentran por encima de 779 MHz [28].

Tabla 4.2. Relación de frecuencias de trabajo para el SX1272 y SX1276.

Dispositivo	Frecuencia mínima (MHz)	Frecuencia máxima (MHz)
SX1272	860	1020
SX1276	137	525

Fuente: [28].

Algunas características importantes de los dispositivos LoRa se presentan en la Tabla 4.3.

Tabla 4.3. Principales características del dispositivo LoRa seleccionado.

Radio SX	Frecuencia seleccionada MHz	Factor de alcance SF	Parámetros importantes del LoRa		
			Ancho de banda/ canal (kHz)	Tasa efectiva de bits (kbps)	Sensibilidad (dBm)
1272	869.525	6 a 12	125 a 500	0.24 a 37.5	-117 a -137
1276	433.800	6 a 12	7.8 a 500	0.018 a 37.5	-111 a -148

Fuente: [28].

La sensibilidad del receptor identifica el valor mínimo de potencia que un receptor necesita para poder decodificar o extraer datos para alcanzar una determinada tasa de bits o de velocidad. Comúnmente se expresan en dBm e indican que cuanto menor sea su valor, mejor será la

sensibilidad del receptor; Por tanto, se concluye que el dispositivo SX1276 tiene la ventaja de tener una mejor sensibilidad a la hora de recibir datos [28].

Otra diferencia importante a favor del dispositivo SX1276 es que tiene canales más pequeños hasta 7.8kHz como valor mínimo. Sin embargo, lo anterior implica la transmisión y recepción de datos con tasas de datos efectivas significativamente más bajas, lo que da lugar a pérdidas de datos o tiempos excesivos de transmisión o recepción de datos [28].

Tabla 4.4. Principales características eléctricas del dispositivo LoRa seleccionado.

Radio SX	Voltaje (V)			Rango de temperatura (°C)			Corriente RX (mA)	Corriente TX (mA) Configurable		
	Min	Estándar	Max	Min	Estándar	Max		Min	Estándar	Max
1276	1.8	3.3	3.9	-40	25	85	<12	10	100	240

Fuente: [28].

Existen parámetros eléctricos configurables como la máxima corriente cuando el dispositivo transmite voltaje, corriente y temperatura como se muestra en la Tabla 4.4.

A continuación, en la Figura 4.2 se muestra los pines de conexión del módulo LoRa SX1276.

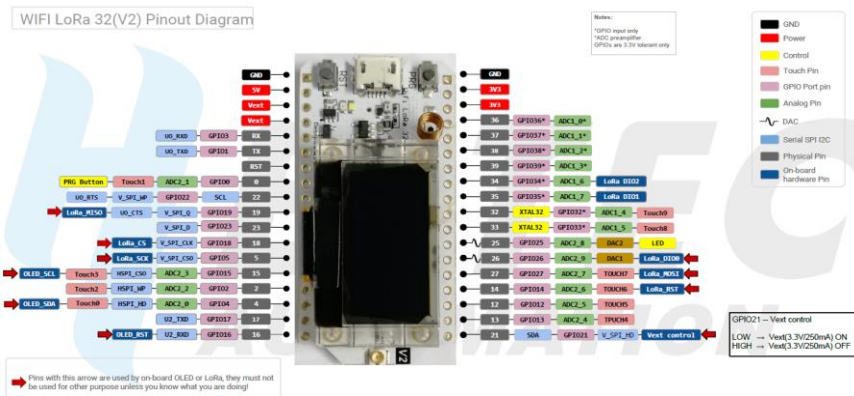


Figura 4.2. Pines del módulo LoRa SX1276.

Fuente: [28].

4.6. Microcontrolador ATmega328p

Es un microcontrolador de arquitectura RISC avanzado AVR (Grupo reducido de instrucciones para computadoras) de Atmel, de alto desempeño, bajo consumo y optimizado para compiladores, dicho microcontrolador fue seleccionado por cumplir con los requerimientos del proyecto además de ser económicos. [29].

- Instrucciones potentes, la mayoría ejecutadas en un solo ciclo de reloj.
- Hasta 20 MIPS (Millones de instrucciones por segundo) a 20 MHz.

- Memoria de programa FLASH de 32 KBytes, programable dentro del sistema.
- Memoria SRAM interna de 2 KBytes.
- Memoria EEPROM de 1 KByte.
- Timers/Contadores de 8 bits.
- Timer/Contador de 16 bits.
- Canales PWM.
- Canales analógicos para el ADC.
- Puerto serial USART.
- Interface serial SPI.
- Interface serial 2-Wire, compatible con I2C.
- Un comparador analógico on-chip.
- Varios modos de bajo consumo

Los distintos ATmega difieren solo en la memoria tamaños, compatibilidad con el cargador de arranque y tamaños de vectores de interrupción. La Tabla 4.5 resume los diferentes tamaños de vector de interrupción y memoria para los dispositivos microcontroladores.

Tabla 4.5. Características principales de diferentes ATmega328p.

Dispositivo	Flash	EEPROM	RAM	Interrupt Vector Size
ATmega48PA	4K Bytes	256 Bytes	512 Bytes	1 instruction word/vector
ATmega88PA	8K Bytes	512 Bytes	1K Bytes	1 instruction word/vector
ATmega168PA	16K Bytes	512 Bytes	1K Bytes	2 instruction words/vector
ATmega328P	32K Bytes	1K Bytes	2K Bytes	2 instruction words/vector

Fuente: [29].

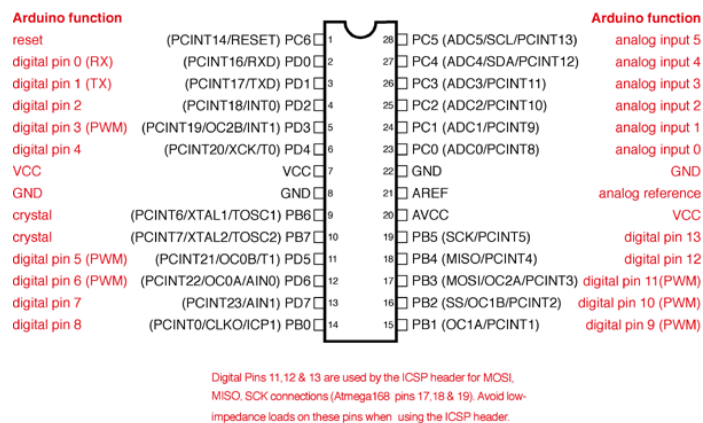


Figura 4.3. Pines del microcontrolador ATmega328p.

Fuente: [29].

4.7. Microcontrolador ATmega2560

El ATmega2560 es un microcontrolador de 8 bits de bajo consumo basado en la arquitectura RISC (Grupo reducido de instrucciones para computadoras). Al ejecutar poderosas instrucciones en un solo ciclo de reloj, el ATmega2560 logra rendimientos cercanos a 1 MIPS por MHz permitiendo optimizar el consumo de energía frente a la velocidad de procesamiento.

Tabla 4.6. Características principales del ATmega2560.

Device	Flash	EEPROM	RAM	General Purpose I/O pins	16 bits resolution PWM channels	Serial USARTs	ADC Channels
ATmega640	64KB	4KB	8KB	86	12	4	16
ATmega1280	128KB	4KB	8KB	86	12	4	16
ATmega1281	128KB	4KB	8KB	54	6	2	8
ATmega2560	256KB	4KB	8KB	86	12	4	16
ATmega2561	256KB	4KB	8KB	54	6	2	8

Fuente: [29].

En la Figura 4.4 se muestra la configuración de los pines del ATmega2560.

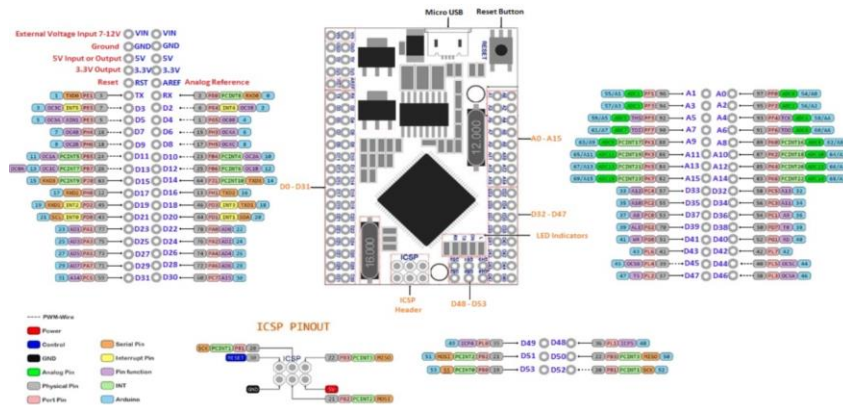


Figura 4.4. Pines del microcontrolador ATmega2560.

Fuente: [29].

4.8. Módulo Wifi ESP8266

Este módulo ha sido diseñado para aplicaciones móviles, de electrónica portátil y de internet de las cosas con el objetivo de lograr el menor consumo de energía. Por tales motivos dicho dispositivo ha sido seleccionado por cumplir con los requerimientos necesarios para enviar los datos de los parámetros eléctricos medidos hacia el servidor web. En la Figura 4.5 se muestra los pines del módulo ESP8266.

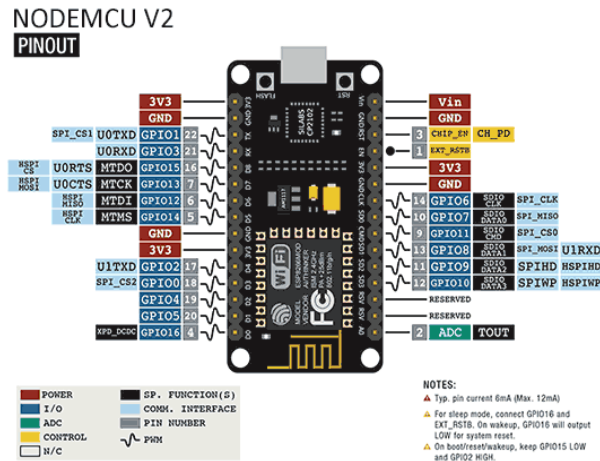


Figura 4.5. Pines del módulo Wifi ESP8266.

Fuente: [29].

4.9. Pantalla Nextion HMI

El editor de Nextion se utiliza para crear rápidamente una interfaz hombre-máquina para dispositivos HMI de Nextion. Como tal, será el encargado captar y mostrar la información recabada por los sensores para posteriormente enviarla inalámbricamente. Las alternativas son mencionadas en la Tabla 4.7 en la que se muestra las características principales de la pantalla Nextion.

Tabla 4.7. Características principales de la pantalla Nextion.

Modelo	NX4832T035	NX4827T043	NX8048T050	NX8048T070
Tamaño	3,5"	4,3"	5,0"	7,0"
Resolución	480x320	880x272	800x480	800x480
Flash	16 MB	16 MB	16 MB	16 MB
RAM	3584 bytes	3584 bytes	3584 bytes	3584 bytes
MCU	48 MHz	48 MHz	48 MHz	48 MHz
Precio	\$ 66.70	\$ 103.08	\$ 100.65	\$ 107.95

Las mejoras, que se basan sobre todo en la potencia del microcontrolador, la memoria flash y la memoria RAM.

La pantalla NX8048T070 dispone solamente de 4 pines. Dos de ellos son de alimentación (cable rojo y negro) y los otros dos son de recepción (RX) y transmisión (TX) de datos a través de su puerto serie, como se muestra en la Figura 4.6.

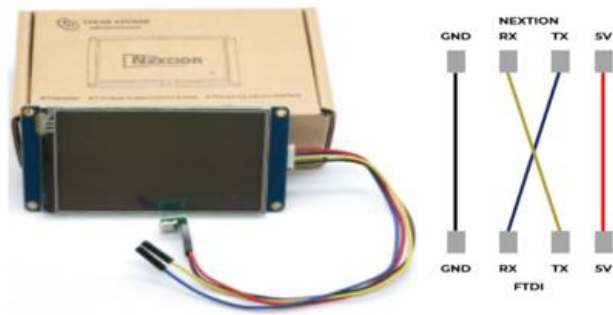


Figura 4.6. Pines del módulo Wifi ESP8266.

4.10. Aplicación Android en App Inventor

App Inventor es un software que sirve como herramienta para diseñar y crear aplicaciones destinadas a dispositivos Android. A diferencia de Android Studio, programa oficial para diseño de aplicaciones Android, este software ofrece un entorno de diseño y de programación visual.

Al crear la interfaz de usuario se puede elegir entre opciones como: insertar imágenes, botones, crear listado, notificadores, cajas de textos, visor de web, entre otras; también se puede crear el diseño de las pantallas de la aplicación, insertar contenido, mapas, conectar con servidores, y muchas otras opciones como se puede observar en la Figura 4.7 [30].

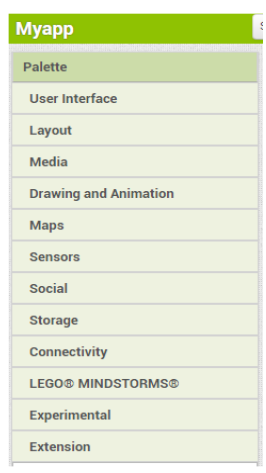


Figura 4.7. Panel de diseño de la aplicación en App Inventor.

Fuente: [30].

La tarea que realizará la aplicación en el sistema de monitoreo y control del consumo de energía será mostrar los parámetros eléctricos como voltaje, corriente, potencia, energía y factor de potencia en los dispositivos móviles de los usuarios con el sistema operativo Android, obtenidos del servidor online configurado.

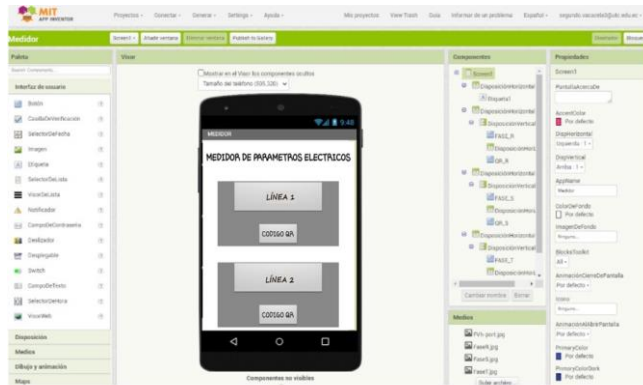


Figura 4.8. Interfaz desarrollado en App Inventor.

4.11. Base de datos online ThingSpeak

ThingSpeak es una plataforma de código abierto que permite agregar, visualizar y analizar flujos en tiempo real con datos que se encuentran en la nube e interactuar con los dispositivos móviles [30].

Algunas de las características principales de esta plataforma son las configuraciones simples que realiza con los dispositivos, usando protocolos populares de IoT como LoRa, Raspberry, entre otros para enviar la información hacia el servidor web, así como la capacidad de visualización de los datos obtenidos por sensores en tiempo real mediante gráficos actualizados en cada instante o para generar informes según una configuración previa con los datos que sean relevantes [30].

ThingSpeak también cuenta con una aplicación para teléfonos móviles donde se puede visualizar los datos que se manejan en la interfaz de un computador, la cual permite sólo visualización de los datos de la nube como se muestra en la Figura 4.9 y el programa diseñado no se puede editar desde el mismo teléfono, sino que se podrá cambiar desde una computadora.

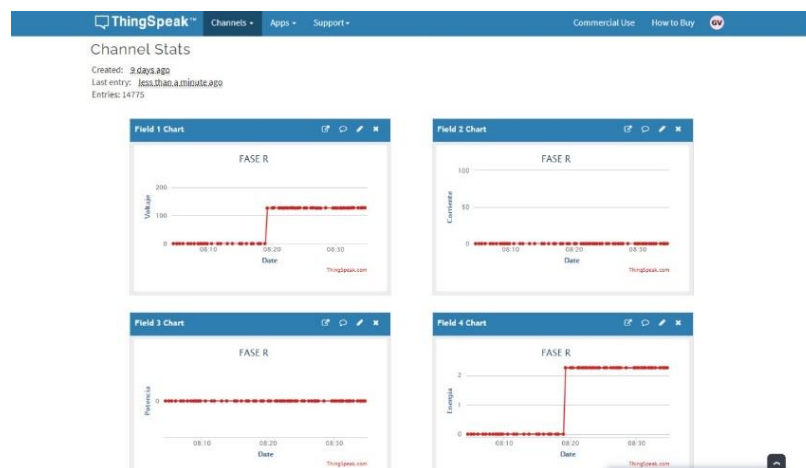


Figura 4.9. Panel de diseño del servidor web.

4.12. Diseño para la implementación

Una vez seleccionados los distintos dispositivos se procede a la parte del diseño donde es necesario desarrollar cada etapa por separado, permitiendo verificar el correcto funcionamiento de cada una, para luego unir las y comprobar su funcionamiento en conjunto.

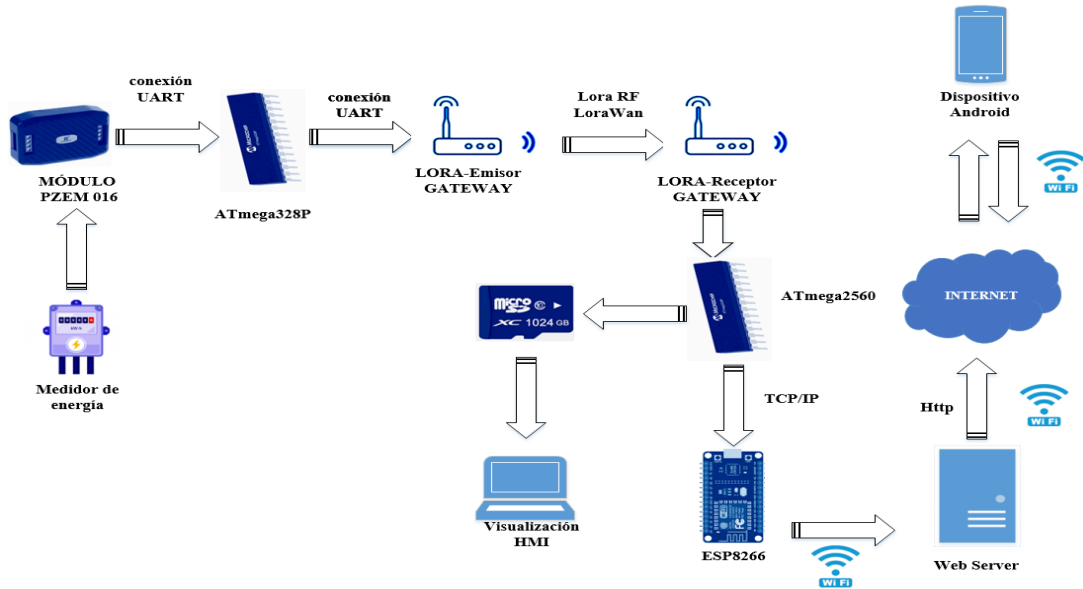


Figura 4.10. Diagrama de bloques de la propuesta.

4.13. Diagrama de flujo del módulo de transmisión

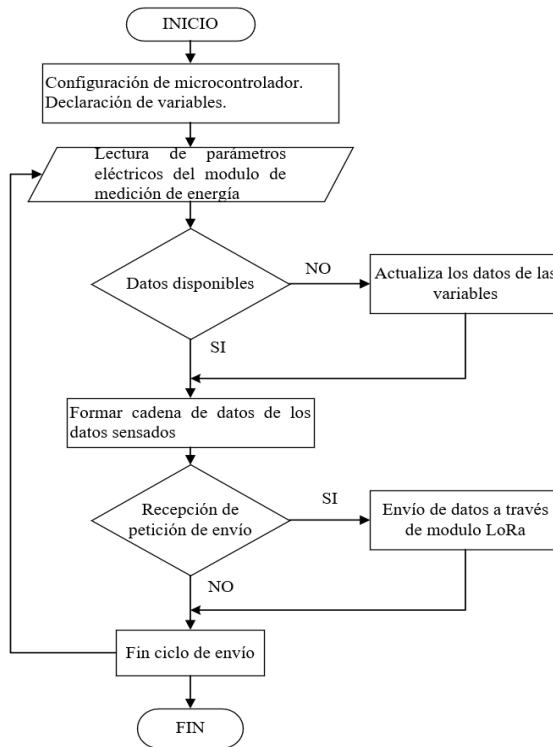


Figura 4.11. Diagrama del flujo del módulo medidor.

4.14. Diagrama de flujo del módulo recepción

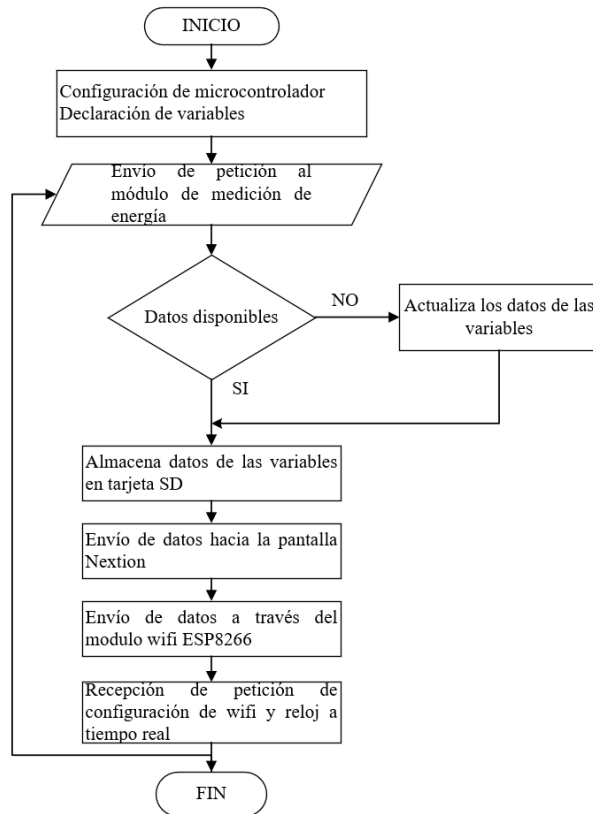


Figura 4.12. Diagrama del flujo del módulo maestro.

5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Para la ejecución del análisis se establece un conjunto de etapas debido a que el módulo consta de diferentes fases de comunicación y la base de datos para lo cual se muestra en la siguiente sección.

5.1. Resultado desarrollo de circuito

5.1.1. Módulo emisor

Para la conexión y lectura del conjunto de sensores, se diseña la placa de expansión compatible con el microcontrolador ATmega328P como se muestra en la Figura 5.1. puesto que, los dispositivos de medición de energía poseen dos terminales, se crea una interfaz formada por conectores de dos entradas que se ajustan perfectamente a dichos dispositivos, de esta manera se garantiza una fácil conexión entre los sensores y la placa de expansión. Dicho circuito se encarga de recibir las señales sensadas del módulo de medición de energía a través de la comunicación RS485 para luego ser enviados al módulo receptor por medio de redes inalámbricas utilizado módulos LoRa. Ver circuito completo en el Anexo 1.

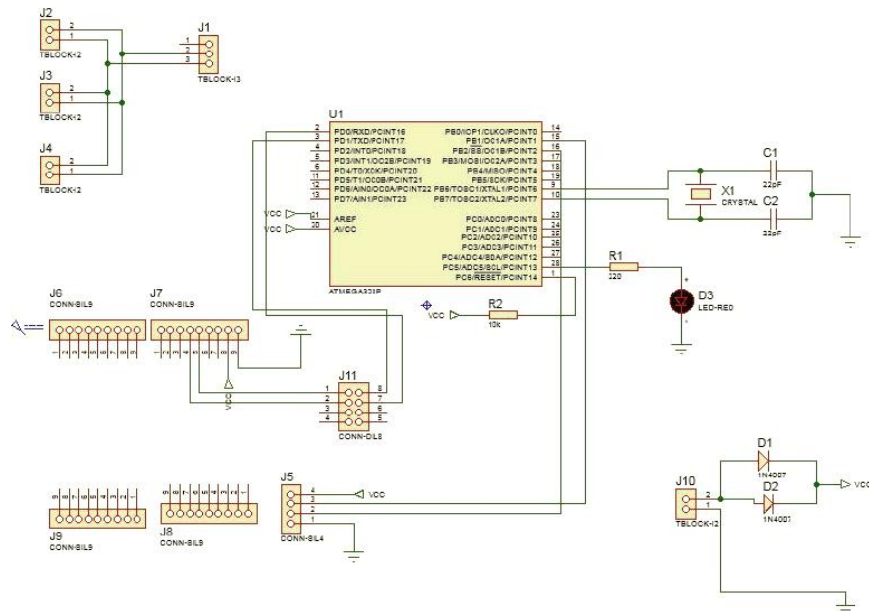


Figura 5.1. Circuito de conexión módulo emisor.

En la alimentación del circuito, se utilizó una fuente externa para evitar el ruido proveniente del voltaje alterno de la red de energía eléctrica con el fin de evitar el mal funcionamiento del sistema.

En la figura 5.2 se muestra el esquema PCB desarrollado del módulo emisor, en el cual se puede apreciar el acondicionamiento de los diferentes componentes electrónicos en conjunto, además de sus respectivos terminales de conexión para los dispositivos de medición de energía, así como también todos los parámetros que se puede requerir para un óptimo funcionamiento

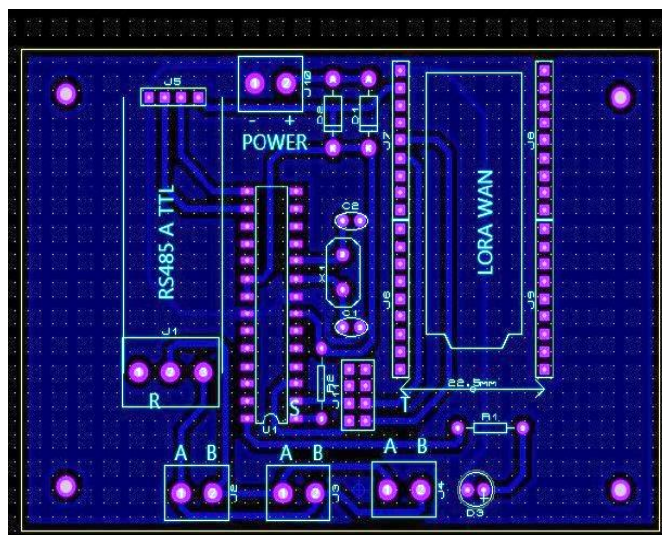


Figura 5.2. Esquema PCB módulo emisor.

De la misma manera, se presenta la placa de expansión ya terminada con todos sus elementos, como se muestra en la Figura 5.3.

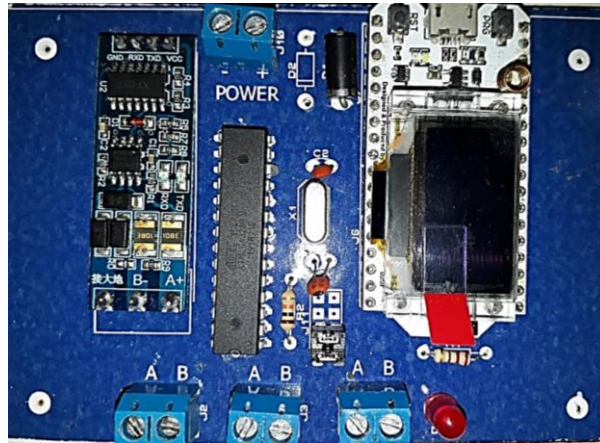


Figura 5.3. Tarjeta de expansión para módulo emisor.

5.1.2. Módulo receptor

Este circuito es controlado por el Microcontrolador ATmega2560 como se muestra en la Figura 5.4 el cual se encarga de recibir las señales del módulo emisor mediante radiofrecuencia de los módulos LoRa. Este circuito se encarga de almacenar los parámetros eléctricos sensados por el dispositivo de medición de energía en una base de datos utilizando una tarjeta Micro SD, así como de la visualización mediante una pantalla HMI, además enviar los datos en tiempo real a un servidor web (ThinsSpeak) donde el usuario puede monitorear el consumo de energía desde cualquier lugar del a través de la aplicación Android desarrollada. Ver circuito completo en Anexo 2.

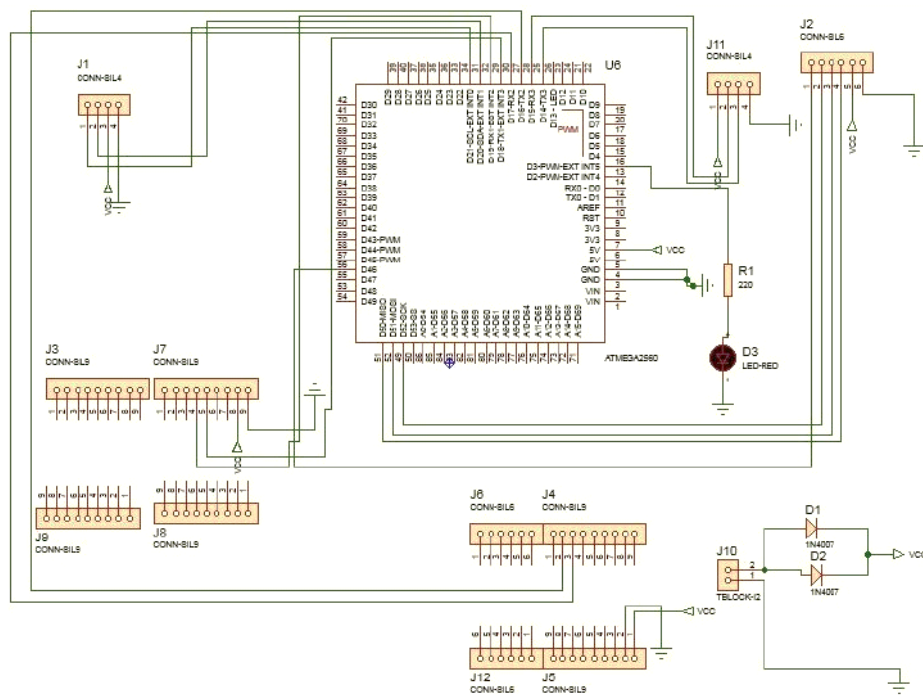


Figura 5.4. Circuito de conexión módulo receptor.

De la misma manera en la figura 5.5 se muestra el esquema PCB desarrollado del módulo receptor, el cual permitirá la visualización de datos en una pantalla HMI mediante el acondicionamiento de los diferentes componentes electrónicos en conjunto, además de sus respectivos terminales de conexión para la alimentación del circuito para su óptimo funcionamiento.

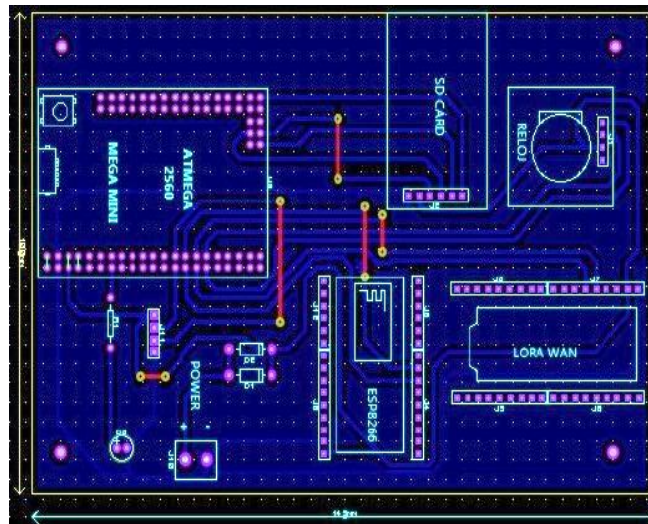


Figura 5.5. Esquema PCB módulo receptor.

De la misma manera, se presenta la placa de expansión ya terminada con todos sus elementos, como se muestra en la Figura 5.6.

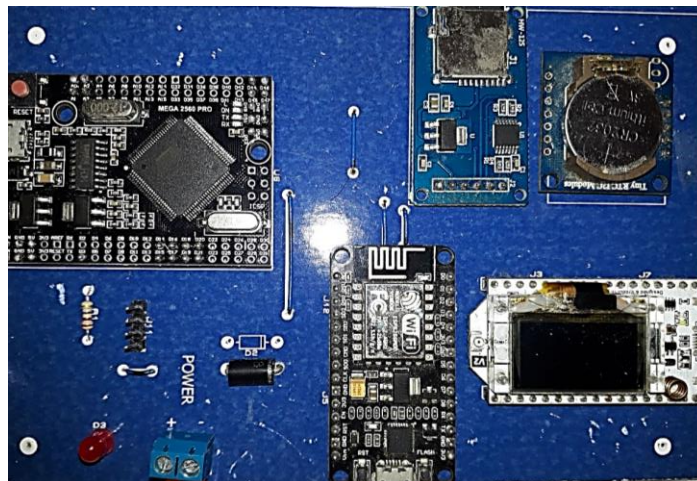


Figura 5.6. Tarjeta de expansión para módulo receptor.

5.2. Resultados de programación

5.2.1. Resultados del HMI

El diseño del HMI consta de una ventana de inicio, en la cual se encuentra las variables principales del sistema en base a las Líneas 1 y 2, siendo estas el voltaje, la corriente, la potencia, energía, factor de potencia y frecuencia respectivamente en sus secciones asignadas,

además de contar con un botón de reset del consumo de energía para cada una de las líneas. Cabe mencionar que el HMI está desarrollado en las pantallas Nextion la misma que se basa en la comunicación mediante un protocolo de comunicación serial. En la Figura 5.7 se puede apreciar las diferentes variables eléctricas designadas en tres columnas, las mismas que representan a las líneas del medidor bifásico.



Figura 5.7. Interfaz HMI desarrollada.

En la Figura 5.8 se puede apreciar la interfaz de conexión a internet en la que se muestran dos recuadros en donde en uno de ellos ingresa el nombre de la red, mientras que el otro recuadro se ingresa la contraseña. Finalmente se encuentra un botón en la parte inferior para empezar la conexión.

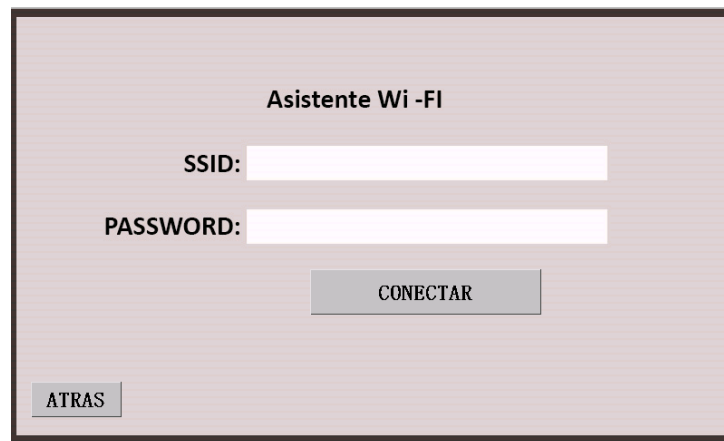


Figura 5.8. Interfaz conexión Wifi.

En la Figura 5.9 se muestra el diagrama de flujo del proceso para desarrollar la programación en la pantalla. Es importante la declaración de variables independientes para cada una de las variables a medir debido a que puede existir un conflicto en los datos y visualizar errores.

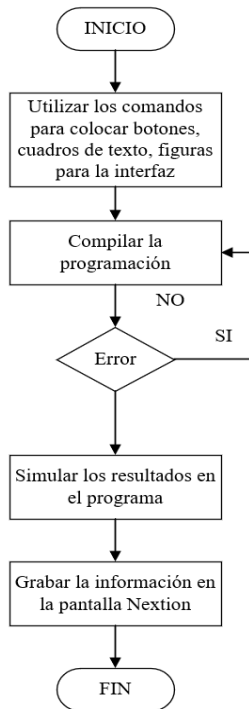


Figura 5.9. Diagrama de flujo del proceso para la programación en la pantalla

5.2.2. Resultados de la App

La aplicación fue desarrollada para dispositivos con sistema Android donde se pueden visualizar los datos del consumo en tiempo real de cada una de las variables con solo acceder a ella y tener wifi o datos, aquí también se pueden extraer los datos del consumo para ser tabulados en diferentes softwares gráficos de acuerdo a los requerimientos del usuario.

La interfaz de la aplicación desarrollada consta de una ventana de inicio, en la misma se encuentran los botones de la Línea 1 y Línea 2 como se muestra en la Figura 5.10. La aplicación muestra los parámetros eléctricos por cada una de las líneas que representa el medidor de energía mediante gráficos en tiempo real, facilitando al usuario la visualización de su comportamiento durante el transcurso del tiempo



Figura 5.10. Interfaz desarrollado en App Inventor.

La aplicación permite visualizar la gráfica de cada variable por cada línea, además muestra información adicional en un recuadro en el que especifica el dato y la hora exacta de la medición como se observa en la Figura 5.11.

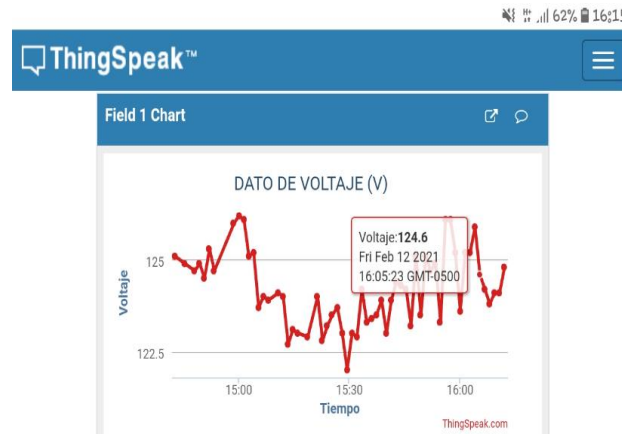


Figura 5.11. Visualización de parámetros eléctricos.

Además, dicha aplicación cuenta con la opción de descargar los datos almacenados en el servidor web en formato (CSV) como se muestra en la Figura 5.12, para posteriormente ser tabulados en diferentes softwares gráficos de acuerdo a los requerimientos del usuario.

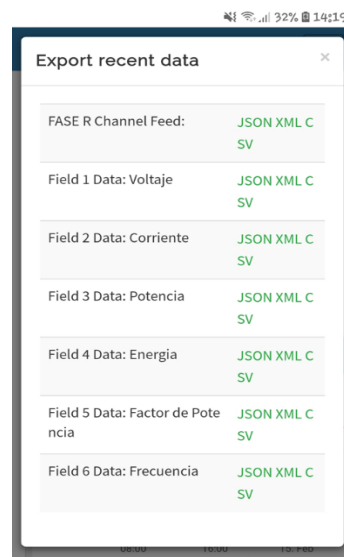


Figura 5.12. Exportación de datos en formato CSV.

5.2.3. Resultados obtenidos del emisor y receptor

Se analiza los valores que envía el emisor hacia el receptor verificando que no exista pérdida de datos durante la transmisión además para proceder a la interpretación de los mismo en cada uno de los controladores.



Figura 5.13. Transmisión de datos con LoRa.

Uno de los parámetros importantes para analizar es el factor de dispersión del ancho de banda de la señal que consta de un valor mínimo de 7 y un valor máximo de 12, esto quiere decir que, los nodos LoRa que se encuentran a grandes distancias deben usar un factor de dispersión (SF) superiores, por tanto, tienen una velocidad de datos menor, que van a tardar en obtener la señal con un mayor tiempo en aire, siendo la señal más sólida frente a interferencias y su sensibilidad va a ir descendiendo en números negativos.

Tabla 5.1. Resultados obtenidos de las distancias de comunicación.

Distancia (m)	Factor de dispersión (SF)	Indicador de intensidad de señal recibida (RSSI)
100	7	-91
200	7	-112
300	8	-120
400	8	-126
500	9	-134

El módulo emisor conectado con el sensor PZM-016 se dejó en un punto fijo como se puede observar en la Figura 5.14. La posición del módulo receptor se fue modificando para realizar diferentes mediciones, intentando mantener la conexión LoRa por medio de las antenas de los módulos.



Figura 5.14. Ambiente de experimentación.

En la Tabla 5.2 y Tabla 5.3 se muestran las diferentes distancias a las se encontraba el módulo receptor, mediante la cual se puede verificar que los módulos LoRa SX1276 presentan una buena conectividad hasta 390 metros en campo abierto, lo que significa que los datos no presentan mayor variación. Cabe recalcar que la variación de los resultados depende de los obstáculos que se presenten dentro del medio. A medida que aumenta la distancia del módulo receptor la pérdida de transmisión de los datos va disminuyendo lo que hace que llegue un menor dato al captado por el emisor. La distancia máxima de comunicación a la que fue probada de 400 metros a línea de vista, es decir, a campo abierto.

Tabla 5.2. Resultados emisor y receptor de la Línea 1.

LÍNEA 1						
	EMISOR		RECEPTOR		RESULTADOS	
DISTANCIA	Tensión	Corriente	Tensión	Corriente	Diferencia Tensión	Diferencia Corriente
60	123,37	15,37	123,36	15,36	0,01	0,01
100	124,14	18,32	124,13	18,24	0,01	0,08
150	123,71	15,29	123,7	15,19	0,01	0,1
180	122,82	17,82	122,63	17,72	0,19	0,1
220	123,39	14,88	123,03	14,65	0,36	0,23
260	123,65	18,48	123,28	18,18	0,37	0,3
290	122,85	14,66	122,35	14,26	0,5	0,4
320	123,64	14,59	123,16	14,11	0,48	0,48
340	123,57	14,76	123	14,26	0,57	0,5
390	122,4	15,81	121,8	15,1	0,6	0,71
430	122,83	15,65	122,04	14,85	0,79	0,8
460	122,89	15,35	121,94	14,39	0,95	0,96
500	123,3	15,33	122,32	14,34	0,98	0,99

Tabla 5.3. Resultados emisor y receptor de la Línea 2.

LÍNEA 2						
	EMISOR		RECEPTOR		RESULTADOS	
DISTANCIA	Tensión	Corriente	Tensión	Corriente	Tensión	Corriente
60	125,22	14,62	125,2	14,61	0,02	0,01
100	123,34	15,26	123,3	15,23	0,04	0,03
150	122,81	16,62	122,73	16,58	0,08	0,04
180	123,23	16,61	123,12	16,51	0,11	0,1
220	122,84	15,43	122,6	15,23	0,24	0,2
260	123,43	15,42	123,14	15,21	0,29	0,21
290	122,78	15,36	122,44	15,06	0,34	0,3
320	123,18	15,37	122,73	15,03	0,45	0,34
340	123,59	15,53	123,03	15,13	0,56	0,4

390	123,35	15,64	122,68	15,14	0,67	0,5
430	124,3	15,6	123,49	14,89	0,81	0,71
460	122,9	15,6	122,01	14,79	0,89	0,81
500	123,33	15,23	122,37	14,31	0,96	0,92

5.2.4. Pruebas de transmisión

Las pruebas realizadas en el proyecto fueron exitosas, logrando transmitir de forma ideal el consumo eléctrico de cada maquinaria de la fábrica, se logró transmitir con la ayuda de los dispositivos LoRa, por medio de comunicación inalámbrica como se puede observar en la Figura 5.15, el módulo emisor se encuentra colocado en la caja de distribución, mientras el módulo receptor se halla situado dentro de la residencia, a una distancia de 25 metros aproximadamente.

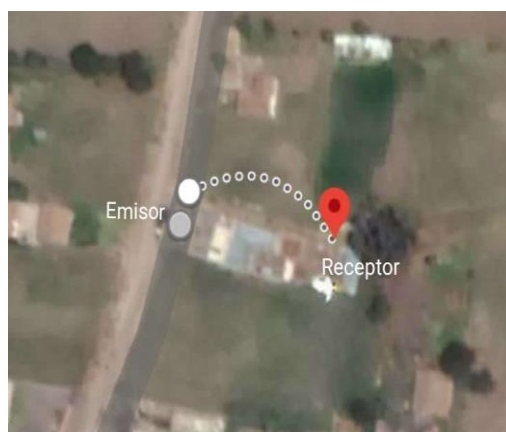


Figura 5.15. Distancia de funcionamiento de los módulos.

Para la comprobación del alcance del prototipo desarrollado se procedió a realizar una prueba con obstáculos con una frecuencia de 433 MHz que obtuvo un máximo alcance de 25 metros, atravesando paredes de concreto de 15 centímetros, y exposición a ruido donde se obtuvieron los valores que se muestran en la Tabla 5.4.

Tabla 5.4. Error de medición de voltaje y corriente para diferentes distancias.

DATOS TOMADOS CON OBSTÁCULOS						
DISTANCIA	EMISOR		RECEPTOR		RESULTADOS	
	Voltaje	Corriente	Voltaje	Corriente	Voltaje	Corriente
5	122,22	14,62	122,2	14,61	0,02	0,01
10	123,34	15,26	123,3	15,23	0,04	0,03
15	123,81	14,62	122,73	13,58	1,08	1,04
20	123,23	16,61	123,12	15,51	0,11	1,1
25	124,84	15,43	122,6	14,03	2,24	1,4

5.2.5. Resultados obtenidos en la nube

La principal función de la base de datos es garantizar la información, la misma debe ser robusta y segura, para poder administrar o crear cuentas de usuarios con sus respectivas contraseñas, así se podrá asegurar que solo accedan a la información los usuarios que cuenten con los permisos respectivos.

El sistema permite almacenar los datos mediante una nube en tiempo real, las cuales se pueden mostrar a través de una representación gráfica para visualizar el comportamiento. En la Figura 5.16 se puede observar las curvas de los parámetros eléctricos del voltaje, corriente, potencia, energía, factor de potencia y frecuencia de la línea 1 proporcionados por el servidor web ThingSpeak.

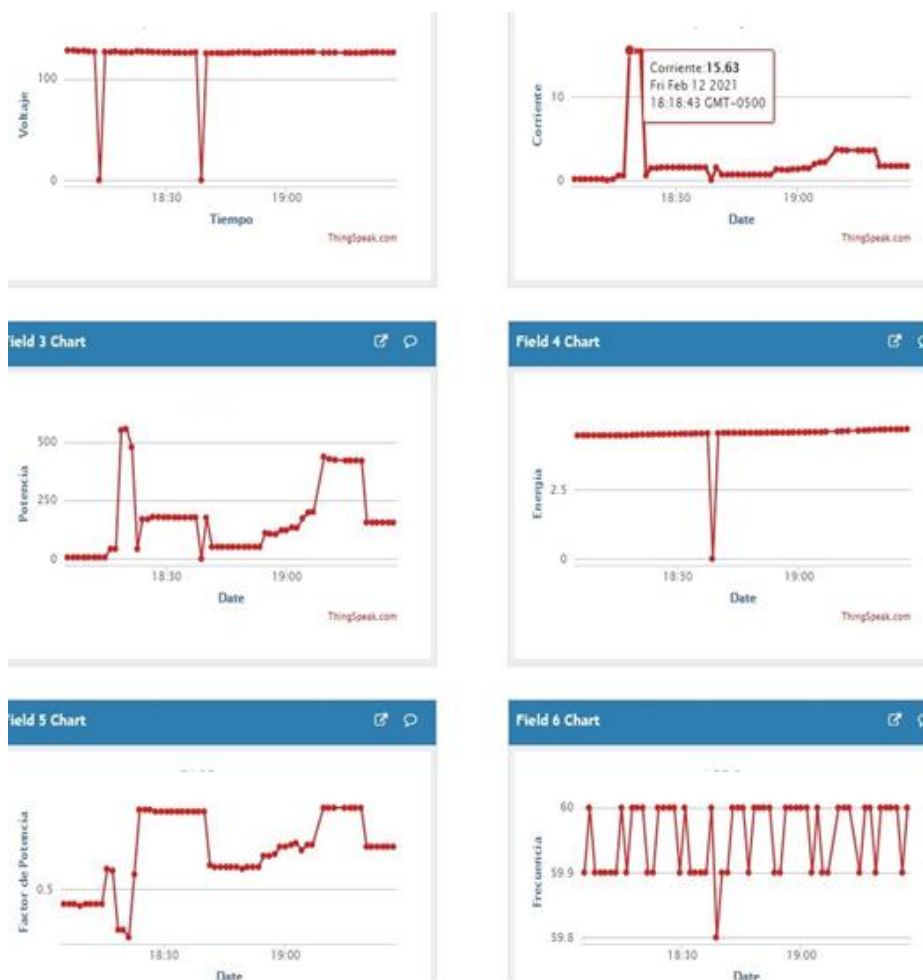


Figura 5.16. Visualización de pparámetros eléctricos en ThingSpeak (Línea 1).

De la misma manera en la Figura 5.17 se puede observar las curvas de los parámetros eléctricos del voltaje, corriente, potencia, energía, factor de potencia y frecuencia de la Línea 2 proporcionados por el servidor web ThingSpeak.



Figura 5.17. Visualización de parámetros eléctricos en ThingSpeak (Línea 2).

5.2.6. Funcionamiento del dispositivo final

Mediante la transmisión y recepción de datos de las variables eléctricas se logró la validación del dispositivo final de medición, estableciendo una relación entre el instrumento estándar de medición (FLUKE) y el prototipo realizado. Se tomaron diferentes lecturas de voltaje y corriente para su comparación. En efecto, los resultados fueron muy acertados, de esta forma se determinó el grado de exactitud y efectividad.

En la Figura 5.18 y la Figura 5.19 se muestra la comparación entre el dispositivo de medición desarrollado y el instrumento de medición validado.



Figura 5.18. Corriente obtenida por los sensores y la pinza amperimétrica (Línea 1).

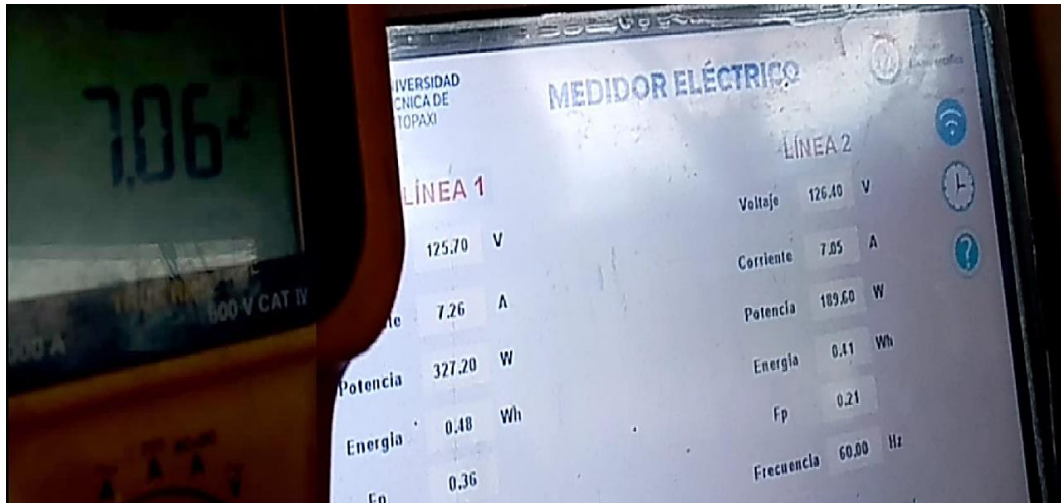


Figura 5.19. Corriente obtenida por los sensores y la pinza amperimétrica (Línea 2).

5.2.7. Contratación del equipo de medición

La contratación entre el módulo desarrollado con respecto al instrumento de medición dio como resultado un error de medición bastante aceptable con: $\pm 1,10\%$ para cargas menores a los 7 amperios y con cargas superiores a este valor se obtuvo un rango de error del $\pm 3,04\%$ de acuerdo como se muestra en la Tabla 5.5.

Para poder calcular el error de medición se necesita un valor patrón, el cual se obtiene del instrumento (FLUKE) y un valor medido que se obtiene del sistema desarrollado. Utilizando la siguiente formula:

$$Error \% = \left(\frac{\text{valor medido} - \text{Valor patrón}}{\text{Valor patrón}} \right) \quad (5.1)$$

Tabla 5.5. Error de medición de voltaje y corriente para diferentes muestras.

FLUKE		MÓDULO IMPLEMENTADO		RESULTADOS	
Tensión	Corriente	Tensión	Corriente	% de error (Tensión)	% de error (Corriente)
125,22	1,13	126,21	1,12	0,791	-0,885
125,34	1,03	126,46	1,02	0,894	-0,971
122,81	7,37	123,18	7,28	0,301	-1,221
123,23	7,82	123,12	7,71	-0,089	-1,407
122,84	15,73	122,6	15,4	-0,195	-2,098
123,43	15,47	122,14	15,11	-1,045	-2,327
122,78	15,46	122,44	15,06	-0,277	-2,587
123,18	15,61	122,73	15,03	-0,365	-3,716
123,59	15,73	124,83	15,21	1,003	-3,306
123,15	16,94	124,98	16,22	1,486	-4,250

Para poder determinar la efectividad se obtiene utilizando la siguiente formula:

$$Efectividad = \left(\frac{\text{valor medido}}{\text{Valor patrón}} \right) * 100 \quad (5.2)$$

$$Efectividad = \left(\frac{10,916}{11,229} \right) * 100 = 96 \%$$


5.3. Diagnóstico del consumo de energía por medio de la recolección y transmisión de parámetros eléctricos

Se desarrolla un análisis por área o en este caso por maquinaria para establecer un diagnóstico del mayor consumo de energía a través de la medición y transmisión de datos obtenidos del módulo inteligente, con la finalidad de brindar un criterio de anomalías que pueden ocasionar el aumento de consumo energético y que deben ser tomados en cuenta para establecer un ahorro de energía eléctrica. En la Tabla 5.5 se muestra la distribución de las áreas de trabajo de la fábrica de muebles Jessica.

Tabla 5.6. Distribución de las áreas de trabajo de la fábrica de muebles Jessica.

FÁBRICA DE MUEBLES JESSICA	
PLANTA	FB01
ÁREA O SECCIÓN	
CUARTO DE MÁQUINAS	FB01CM01
EQUIPO O MÁQUINA	
CANTEADORA	FB01CM01-CT01
SIERRA	FB01CM01-SR01
CEPILLADORA	FB01CM01-CP01
SIERRA DE CINTA	FB01CM01-SC01
TUPI DE BANCO	FB01CM01-TB01
COMPRESOR	FB01CM01-CS01

Tabla 5.7. Parámetros eléctricos del consumo de energía de la máquina canteadora.

FÁBRICA(FB)	CONSUMO DE MÁQUINAS (20 MINUTOS)		MÁQUINA
			CANTEADORA
			CÓDIGO
			FB01CM01-CT01
CONSUMO DE ENERGÍA			
PÁRAMETROS ELÉCTRICOS	(LÍNEA 1)	(LÍNEA 2)	
Voltaje (V)	124,4	124,3	
Corriente (A)	15,83	15,68	
Potencia (W)	610,9	540,9	
Energía (Wh)	203,63	180,30	
Factor de potencia	0,31	0,28	

Frecuencia (Hz)	60	60	
Consumo Total			383,93Wh

Tabla 5.8. Parámetros eléctricos del consumo de energía de la máquina sierra.


FÁBRICA(FB)	CONSUMO DE MÁQUINAS (20 MINUTOS)		MÁQUINA
			SIERRA
			CÓDIGO
			FB01CM01-SR01
CONSUMO DE ENERGÍA		Foto del equipo	
PÁRAMETROS ELÉCTRICOS	(LÍNEA 1)	(LÍNEA 2)	
Voltaje (V)	125,2	125,3	
Corriente (A)	15,18	15,16	
Potencia (W)	424,4	361,5	
Energía (Wh)	141,46	120,50	
Factor de potencia	0,22	0,19	
Frecuencia (Hz)	60	60	
Consumo Total			

Tabla 5.9. Parámetros eléctricos del consumo de energía de la máquina cepilladora.


FÁBRICA(FB)	CONSUMO DE MÁQUINAS (20 MINUTOS)		MÁQUINA
			CEPILLADORA
			CÓDIGO
			FB01CM02-CP01
CONSUMO DE ENERGÍA		Foto del equipo	
PÁRAMETROS ELÉCTRICOS	(LÍNEA 1)	(LÍNEA 2)	
Voltaje (V)	125,7	126,1	
Corriente (A)	15,75	15,73	
Potencia (W)	711,8	662,4	
Energía (Wh)	239,60	220,80	
Factor de potencia	0,36	0,33	
Frecuencia (Hz)	59,9	60	
Consumo Total			

Tabla 5.10. Parámetros eléctricos del consumo de energía de la máquina sierra de cinta.

FÁBRICA(FB)	CONSUMO DE MÁQUINAS (20 MINUTOS)		MÁQUINA
			SIERRA DE CINTA
			CÓDIGO
			FB01CM03-SC01
CONSUMO DE ENERGÍA		Foto del equipo	
PÁRAMETROS ELÉCTRICOS	(LÍNEA 1)	(LÍNEA 2)	


Voltaje (V)	125,1	126,4	
Corriente (A)	6,9	7,08	
Potencia (W)	247,7	192,1	
Energía (Wh)	82,56	64,03	
Factor de potencia	0,29	0,21	
Frecuencia (Hz)	60	60	
Consumo Total			146,59 Wh

Tabla 5.11. Parámetros eléctricos del consumo de energía de la máquina tupi de banco.



FÁBRICA(FB)	CONSUMO DE MÁQUINAS (20 MINUTOS)		MÁQUINA
			TUPI DE BANCO
			CÓDIGO
			FB01CM04-TB01
CONSUMO DE ENERGÍA			Foto del equipo
PÁRAMETROS ELÉCTRICOS	(LÍNEA 1)	(LÍNEA 2)	
Voltaje (V)	124,8	125,1	
Corriente (A)	10,02	9,9	
Potencia (W)	466,5	382,9	
Energía (Wh)	155,49	127,63	
Factor de potencia	0,37	0,31	
Frecuencia (Hz)	60	60	
Consumo Total			

Tabla 5.12. Parámetros eléctricos del consumo de energía del compresor.

FÁBRICA(FB)	CONSUMO DE MÁQUINAS (20 MINUTOS)		MÁQUINA
			COMPRESOR
			CÓDIGO
			FB01CM05-CM01
CONSUMO DE ENERGÍA			Foto del equipo
PÁRAMETROS ELÉCTRICOS	(LÍNEA 1)	(LÍNEA 2)	
Voltaje (V)	123,4	123,5	
Corriente (A)	14,48	13,15	
Potencia (W)	1626,7	1457,2	
Energía (Wh)	542,23	485,73	
Factor de potencia	0,90	0,91	
Frecuencia (Hz)	60	60	
Consumo Total			1027,96 Wh

Con esto se logró determinar a través de un diagnóstico del consumo de los diferentes tipos de máquinas, gracias al óptimo funcionamiento del módulo que permitió la medición y transmisión

de datos de manera efectiva, determinando que las máquinas que presentan mayor consumo son la canteadora, cepilladora y el compresor.

6. PRESUPUESTO Y ANÁLISIS DE IMPACTOS

6.1. Presupuesto

Consiste en implementar los gastos que intervinieron en la ejecución del proyecto, en las tablas que se presentan a continuación se fijan los precios de los materiales a utilizar en el proyecto.

6.1.1. Materiales electrónicos

Los materiales empleados para el módulo de medición inteligente son:

Tabla 6.1. Materiales Electrónicos.

DETALLE	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Módulo de Energía	PZM 016	3	\$60,00	\$180,00
Módulo conversor	TTL RS485 UART	3	\$ 7,00	\$ 21,00
Módulo LoRa	LoRa ESP32 433MHz	2	\$70,0	\$140,00
Antena	LoRa 433 MHz	2	\$10,00	\$25,00
Módulo pantalla Nextion	Pantalla Nextion 7 Serial	1	\$135,00	\$135,00
Microcontrolador	ATMEGA328P	2	\$ 5,00	\$ 10,00
Módulo Lector de tarjetas	Micro SD	1	\$ 5,75	\$ 5,75
			TOTAL	\$ 516,75

6.1.2. Gastos de estructura y diseño de ingeniería del módulo

La estructura del módulo de medición inteligente fue diseñada por una impresora 3D.

Tabla 6.2. Estructura y diseño de ingeniería.

DETALLE	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Estructura de caja	Dimensiones	2	\$20.00	\$40,00
Programación	Código de programación	1	\$20.00	\$20,00
			TOTAL	\$60,00

6.1.3. Gastos varios

Los gastos varios realizados durante el proceso del desarrollo del módulo de medición inteligente.

Tabla 6.3. Gastos varios.

DETALLE	DESCRIPCIÓN	VALOR TOTAL
Transporte	Transporte	\$15.00
		TOTAL
		\$15.00

6.1.4. Gastos directos totales

Tabla 6.4. Gastos directos totales.

GASTOS DIRECTOS	COSTOS
Materiales electrónicos	\$516,75
Estructura del dispositivo y diseño de ingeniería	\$60,00
TOTAL	\$576,75

6.1.5. Gastos indirectos totales

Tabla 6.5. Gastos indirectos totales.

GASTOS INDIRECTOS	COSTOS
Transporte	\$ 15.00
TOTAL	\$ 15.00

6.1.6. Gastos totales del módulo

Tabla 6.6. Gastos totales.

Gastos directos totales	\$576,75
Gastos indirectos totales	\$15.00
TOTAL	\$591,75

6.2. Análisis de impactos

6.2.1. Impacto tecnológico

Las nuevas tendencias tecnológicas del mundo actual en las que es necesario conectar de forma remota los objetos cotidianos a internet, con el fin de resolver las necesidades básicas de los propios habitantes, empresas e instituciones, tanto en términos operativos, económicos, sociales y ambientales.

La tecnología de comunicación LoRa son ideales para aplicaciones IoT, ya que ofrece una nueva solución para la transmisión de datos a través de la comunicación inalámbrica de largo alcance, especialmente en áreas donde no existe una conexión a internet como en zonas rurales.

Esta investigación utilizará tecnología electrónica de lógica programada para la recolección y procesamiento de los valores de consumo de energía eléctrica; utilizando el protocolo inalámbrico LoRaWan para la comunicación entre una estación central (casa) y el módulo medidor de energía para la transmisión de datos a larga distancia de manera inalámbrica utilizando la menor potencia posible sin la intervención humana.

6.2.2. Impacto ambiental

Este módulo permitirá monitorear el consumo de energía y otros parámetros eléctricos, con el fin de ayudar a reducir el consumo descontrolado de la electricidad, contribuyendo al ahorro de energía, siendo papel clave en los esfuerzos por reducir el impacto ambiental de las fuentes de energía convencionales.

6.2.3. Impacto económico

Económicamente para la fábrica de muebles Jessica la implementación de este módulo de medición de parámetros eléctricos significa un ahorro de recursos económicos muy significativos y tomando en cuenta que se tendrá la información actualizada pues permite realizar un diagnóstico del consumo de energía generado por las maquinas durante su producción evitando la adquisición de equipos de costos elevados para tales fines los cuales representan un gasto adicional.

Además, los elementos empleados en este prototipo son de bajo costo y los dispositivos de potencia baja, lo que disminuye significativamente los costos en comparación con los precios elevados de comprar e instalar dispositivos usando otras tecnologías convencionales existentes en el mercado.

6.3. Beneficiarios del proyecto

6.3.1. Beneficiarios directos

Los principales beneficiarios del presente proyecto son: el propietario de la mueblería y los postulantes.

6.3.2. Beneficiarios Indirectos

Los beneficiarios indirectos son los usuarios finales que se vean interesados en la utilización del módulo.

7. CONCLUSIONES

- Mediante un conjunto de investigaciones bibliográficas se logró reconocer y establecer los diferentes dispositivos que permiten la transferencia de datos de manera inalámbrica con tecnología LoRa, la cual contiene varios beneficios como; alta tolerancia a las interferencias y sensibilidad para recibir datos, bajo consumo energético y largo alcance entre el emisor y receptor, en este caso en particular se determinó un alcance máximo de 25 metros según las pruebas desarrolladas durante la aplicación.
- Se estableció un conjunto de dispositivos electrónicos para una comunicación y transmisión de variables eléctricas de forma inalámbrica, es decir desde la adquisición de datos de un medidor electrónico hasta la recepción para ser almacenados y

visualizados mediante una pantalla HMI o a través de una aplicación móvil con sistema Android por medio de un servidor web. Además, gracias a las características técnicas que presenta el dispositivo de medición de energía PZEM-016 para la adquisición de parámetros eléctricos en corriente alterna (CA) como voltaje, corriente, potencia, energía, frecuencia y factor de potencia, ha permitido reducir la pérdida de información debido a interferencias logrando estabilidad en la comunicación.

- Se establece una conexión de radiofrecuencia óptima debido a que los componentes como el dispositivo de medición de energía, los microcontroladores ATmega y los dispositivos de emisor-receptor LoRa mantiene un lenguaje de comunicación similar, lo que ayuda a interpretar correctamente los datos que se envía y se recibe en cada dispositivo evitando perder información, siendo un aspecto importante para el monitoreo de las variables de estudio en tiempo real y de manera remota por medio de una aplicación móvil generada para sistemas Android, esta aplicación entra en funcionamiento debido a la configuración de un servidor web para el almacenamiento y visualización de los datos.
- El análisis de efectividad del módulo de medición se obtuvo al realizar varias pruebas para obtener datos y comprobarlos con el instrumento patrón, en este caso el multímetro FLUKE, presentando un error en las mediciones de un 4,15 % dando como resultado una efectividad del 96 %. El sistema de medición además permitirá generar un ahorro energético mediante un estudio particular de áreas de trabajo o en este caso por maquinaria ya que se puede diagnosticar el consumo de cada equipo en funcionamiento.
- Los módulos de comunicación LoRaWAN ofrecen un gran rango de comunicación de acuerdo a los diferentes tipos existentes en el mercado, sin embargo, se debe tener en cuenta el tipo de entorno al que serán expuestos ya que esto puede potenciarlos o afectar de manera negativa su funcionamiento, para este caso el prototipo fue probado en un área rural lo que no limita su rango de transmisión y cumple a la perfección con los límites establecidos para la implementación del prototipo.
- El uso de elementos electrónicos al ser económicos, no son un limitante para la construcción y posterior funcionamiento del módulo, debido a que cada uno de los dispositivos utilizados poseen características propias de funcionamiento capaces de operar en aplicaciones domiciliarias.

8. RECOMENDACIONES

- Desarrollar más nodos que funcionen en paralelo con el ya diseñado para generar una plataforma más robusta que pueda ser implementada en zonas urbanas y rurales más amplias como pueblos, veredas o incluso ciudades.
- Implementación de sensores más sofisticados a fin de efectuar mediciones más precisas según las necesidades de los usuario o empresas.
- Aprovechar la cobertura LoRa, para la implementación de una red más amplia de sensores que controlen y monitoreen remotamente los parámetros eléctricos en beneficio a los distintos sectores de la población.
- Obtener un dominio propio de pago en la nube que permita gestionar la información sin ningún tipo de limitación.

9. REFERENCIAS

- [1] E. S. Rodríguez Moreno y V. F. López Ordoñez , «Repositorio Institucional Universidad Distrital - RIUD Diseño E Implementación De Un Sistema Inteligente Para Un Edificio Mediante Iot Utilizando El Protocolo De Comunicación Lorawan,» 2017. [En línea]. Available: <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/7394/RodriguezMorenoEdwardStiven2017.pdf;jsessionid=119B99E1CE533E4B9049D6C4A82C81DA;jsessionid=119B99E1CE533E4B9049D6C4A82C81DA?sequence=1>. [Último acceso: 07 Enero 2021].
- [2] D. Ortiz, J. LLanos, O. Jácome y G. León, «Sistema De Medición Inteligente Para La Gestión De La Energía Eléctrica Y Medición De Agua Potable En Los Hogares,» Latacunga, 2014.
- [3] M. C. Bonilla, «Sistema de lectura remota para el consumo de energía en clientes residenciales,» Cartago, 2012.
- [4] L. A. Vera Medina y B. E. Zavala Soledispa, «Repositorio de Espol, “Diseño de una red LPWAN basada en tecnología LoRa para las estaciones hidrometeorológicas”,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/132258/DCD106675.pdf>. [Último acceso: 07 Enero 2021].
- [5] G. Guacaneme y D. Pardo, «Diseño E Implementación De Un Sistema De Medición De Consumo De Energía Eléctrica Y Agua Potable Remoto Con Interacción Al Usuario Basado En El Concepto “Internet De las cosas,» 2016. [En línea]. Available: <https://dokumen.tips/documents/disenio-e-implementacion-de-un-sistema-de-medicion-de-consumo-de-57-ensamble.html>. [Último acceso: 14 12 2020].

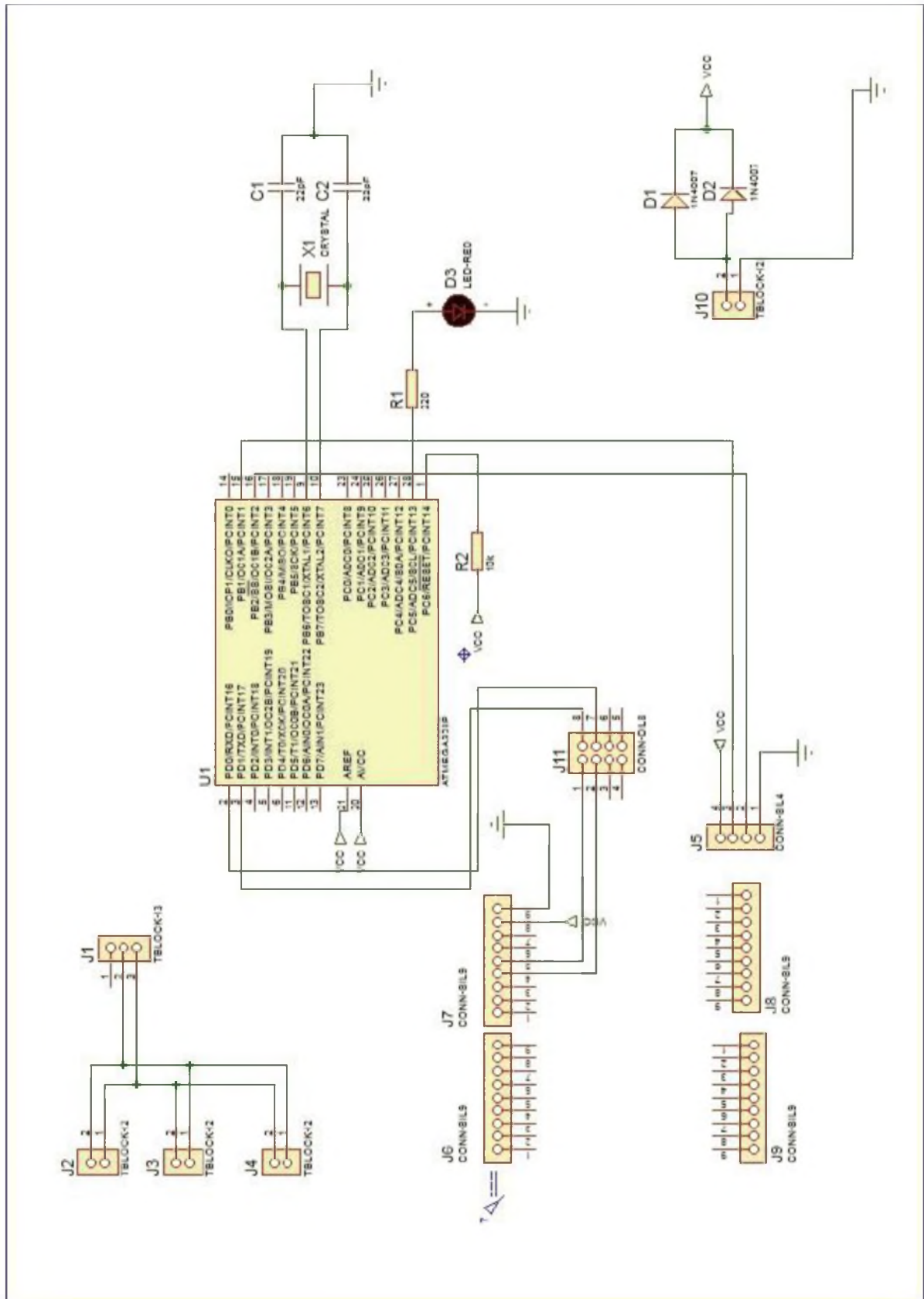
- [6] Digital Ionos, «Tipos de red más conocidos,» 18 07 2019. [En línea]. Available: <https://www.1and1.es/digitalguide/servidores/known-how/los-tipos-de-redes-mas-conocidos/>. [Último acceso: 05 07 2020].
- [7] W. F. Valarezo Troya y A. F. Criollo Jaramillo, «Diseño y estudio del uso de una red LPWAN (Low Power Wide Área Network) para la optimización de la medición, comunicación y corrección de errores, en el consumo de agua potable: Caso de estudio en urbanizaciones ubicadas en la periferia de la ciudad de Gu,» Escuela Superior Politécnica Del Litoral, 2017. [En línea]. Available: <https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/129139/D-CD106475.pdf>. [Último acceso: 03 Enero 2021].
- [8] Internet Paso a Paso, «Red WLAN ¿Qué es, tipos y para qué se utilizan estas redes de área local inalámbrica?,» [En línea]. Available: <https://internetpasoapaso.com/red-wlan/>. [Último acceso: 03 Enero 2021].
- [9] J. Bustamante Ruíz y C. Llenque Bustíos , «Redes de Área,» Abril 2013. [En línea]. Available: <https://www.monografias.com/trabajos30/redes-de-datos/redes-de-datos.shtml>. [Último acceso: 11 07 2020].
- [10] . J. . E. Cuji Rodríguez y A. P. Araujo Reyes, «Diseño de un Sistema de Telemedición de la Energía Eléctrica de la Red Subterránea para Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A,» 2008. [En línea]. Available: <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/324>. [Último acceso: 11 07 2020].
- [11] C. G. S. Pozo, «MODELAMIENTO Y SIMULACIÓN DE REDES DE TELECOMUNICACIÓN PARA MEDICIÓN INTELIGENTE DE ENERGÍA ELÉCTRICA RESIDENCIAL EN ZONAS URBANAS,» Enero 2015. [En línea]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7475/7/UPS%20-%20KT00880.pdf>. [Último acceso: 08 07 2020].
- [12] S. Buettrich y A. Escudero Pascual, «“Basic Wireless Infrastructure and Topologies,” Wireless Networking,» 2006. [En línea]. Available: http://www.itrainonline.org/itrainonline/mmtk/wireless_en/04_Infrastructure_T. [Último acceso: 06 07 2020].
- [13] L. A. Vera y B. E. Zavala Soledispa, «“Diseño de una red LPWAN basada en tecnología LoRa para las estaciones hidrometeorológicas,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/132258/D-CD106675.pdf>. [Último acceso: 02 Julio 2020].
- [14] A. Coto, «Protocolos de Comunicación, Capitulo 3,» [En línea]. Available: http://www.ie.tec.ac.cr/acotoc/CISCO/R&S%20CCNA1/R&S_CCNA1_ITN_Chapter3_Protocolos%20y%C2%A0comunicaciones%20de%20red.pdf. [Último acceso: 11 07 2020].
- [15] C. J. Junior Condori , «Implementación Del Sistema De Medición Centralizada Para La Adquisición De Consumos De Energía Eléctrica En Tiempo Real En Clientes

- Residenciales De Empresa Concesionaria De Distribución Mediante Tecnología,» 2018. [En línea]. Available: <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/8446/ELcocajj1.pdf?sequence=3&isAllowed=y>. [Último acceso: 06 07 2020].
- [16] S. . B. Luna, «Sector de telecomunicaciones de internet,» febrero 2014. [En línea]. Available: <https://prezi.com/uv8ve5dx7611/tambien-denominada-capade-host-de-red-esta-es-la-capaque/>. [Último acceso: 08 07 2020].
- [17] ni Ingeniería Extraordinaria, «Información Detallada sobre el Protocolo Modbus,» 17 Septiembre 2019. [En línea]. Available: <http://www.ni.com/white-paper/52134/es/>. [Último acceso: 06 07 2020].
- [18] Opironelectronics, «Modbus,» [En línea]. Available: <https://www.opiron.com/2017/06/29/que-es-modbus/>. [Último acceso: 11 07 2020].
- [19] E. López Pérez, «Ingenieria En Microcontroladores,» [En línea]. Available: <http://www.electronica60norte.com/mwfls/pdf/rs-485.pdf>. [Último acceso: 03 Enero 2020].
- [20] R. J. Bates, Comunicaciones inalámbricas de banda ancha., McGraw-Hill Profesional p.345, 2003.
- [21] G. L. Yinghui Huang, «A Semantic Analysis for Internet of Things" Intelligent Computation Technology and Automation (ICICTA),» de *International Conference*, pp 336-339, 2010. *IEEE Conference publications.*, 2010.
- [22] S. Ríos Villegas, «Guía para la detección de fraudes en suministros de energía eléctrica en medición directa,» 2013. [En línea]. Available: <http://hdl.handle.net/11059/3743>. [Último acceso: 06 07 2020].
- [23] J. Ruiz, «Slideshare,» 22 Noviembre 2015. [En línea]. Available: <https://es.slideshare.net/JaimeDavidRuizRomero/medidores-y-acometidas>. [Último acceso: 10 Diciembre 2020].
- [24] PZEM-004(V3.0) datasheet, «AC digital display Multifunction Meter,» Ullis Roboter Seite, [En línea]. Available: <https://ullisroboterseite.de/eps8266-energy-meter/200127%20PZEM-004-1.pdf>. [Último acceso: 22 Febrero 2021].
- [25] KPM75 Datasheet, «KPM75 Power quality analyser,» Henan Compere Smart Technology Co., Ltd., [En línea]. Available: https://v4-upload.goalsites.com/267/file_1561012052_KPM75-specification.pdf. [Último acceso: 22 Febrero 2021].
- [26] ADL100 Acrel datasheet, «AEW100 wireless measurement meter,» Jiangsu ACREL Electric MFG. Co., Ltd., [En línea]. Available: <http://net1.acrel.cn/download/common/upload/2019/07/09/10424643.pdf>. [Último acceso: 22 Febrero 2021].

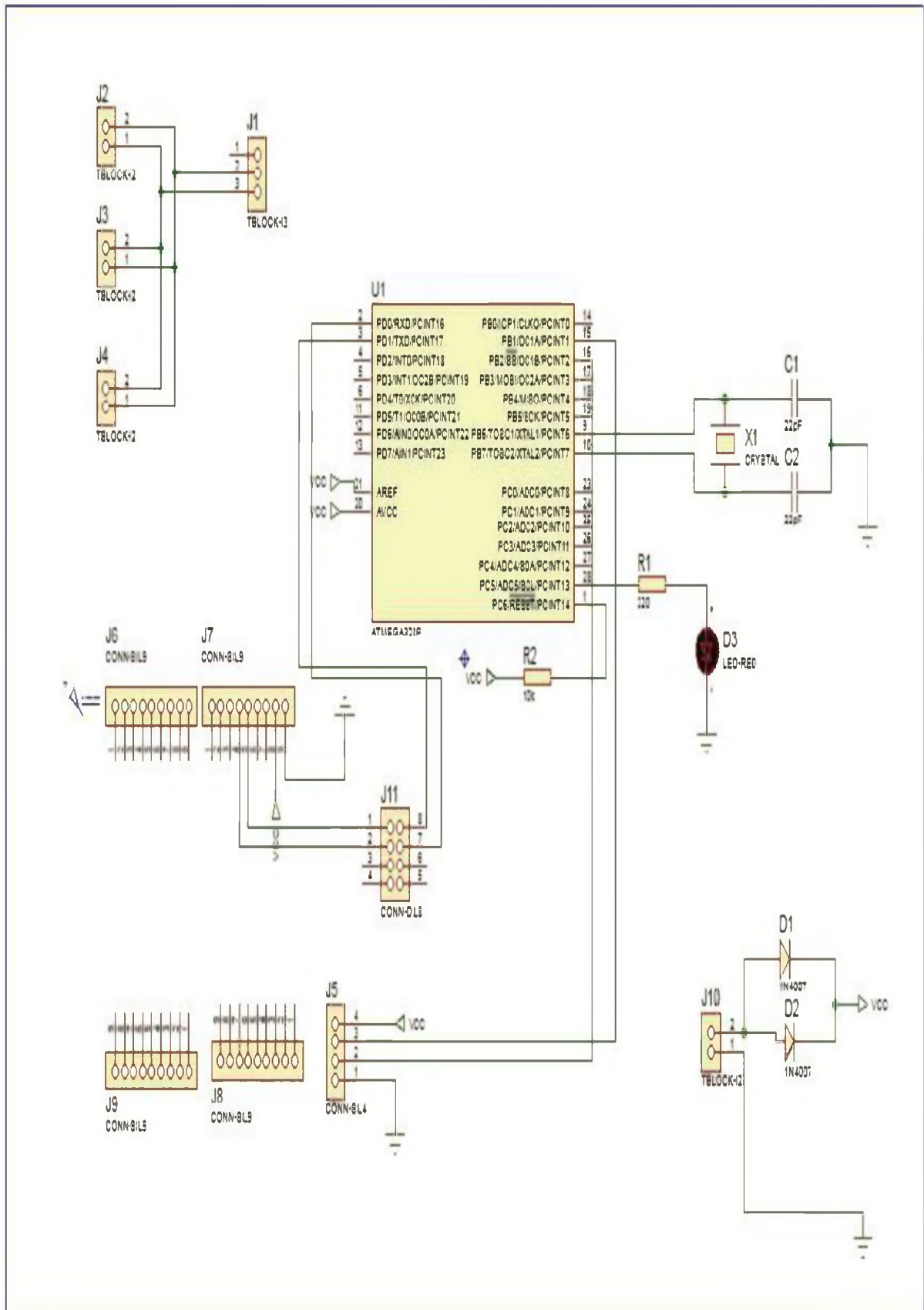
- [27] ElectronicaPTY, «Modulo Medidor de Corriente Digital PZEM-016,» [En línea]. Available: <http://91.205.175.176/modulo-medidor-de-corriente-digital-pzem-016-detail?tmpl=component&format=pdf>. [Último acceso: 03 Enero 2021].
- [28] M. Sierra, «Dispositivo LoRa de comunicación a largo alcance y bajo consumo energético para aplicaciones del ámbito del desarrollo.,» Madrid, 2016.
- [29] NCB institute, «Conociendo El Microcontrolador Núcleo (Core) Atmega328p De Arduino Uno. (MIC019S),» [En línea]. Available: <http://www.incb.com.mx/index.php/articulos/78-microcontroladores-y-dsps/2546-conociendo-el-microcontrolador-nucleo-core-atmega328p-de-arduino-uno-mic019s>. [Último acceso: 03 Enero 2021].
- [30] K. B. P. Canales, «Desarrollo de un sistema de Telemetría para el control y supervisión del consumo de agua en hogares residenciales.,» Guayaquil, 2018.
- [31] M. d. e. y. r. n. n. revovables, « Ministerio de energía y recursos naturales no revovables,» Boletin de prensa, Quito, 2020.

ANEXOS

Anexo 1. Circuito del módulo emisor.

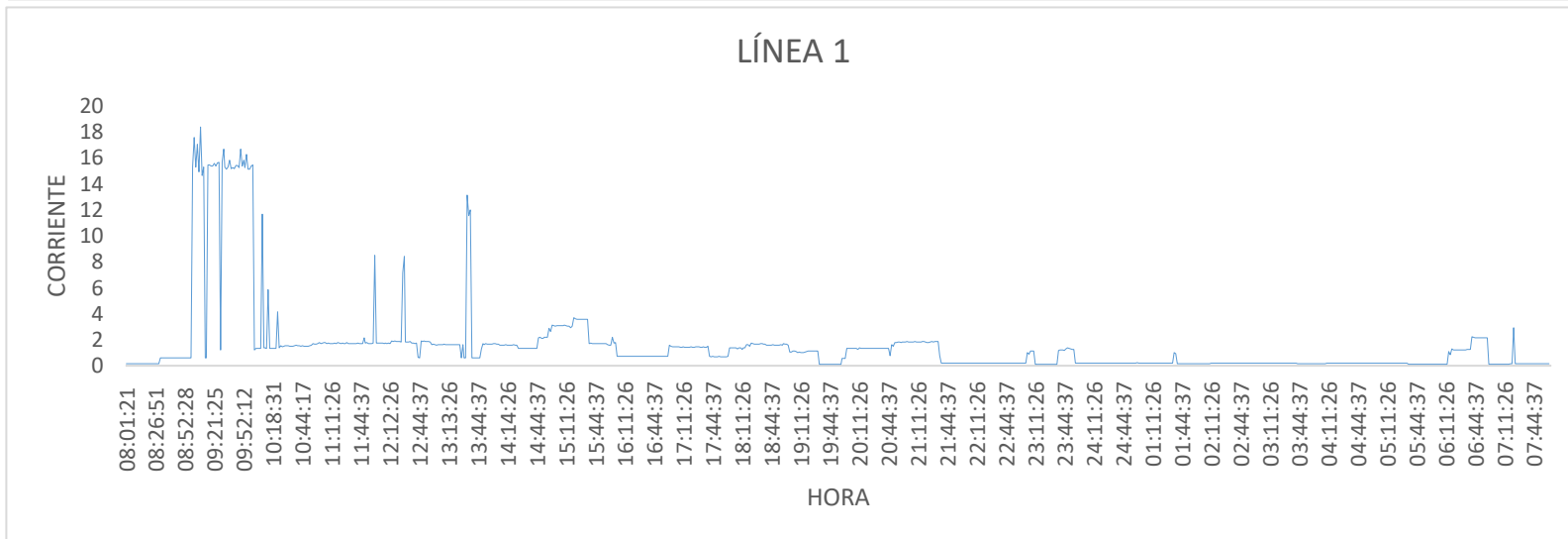
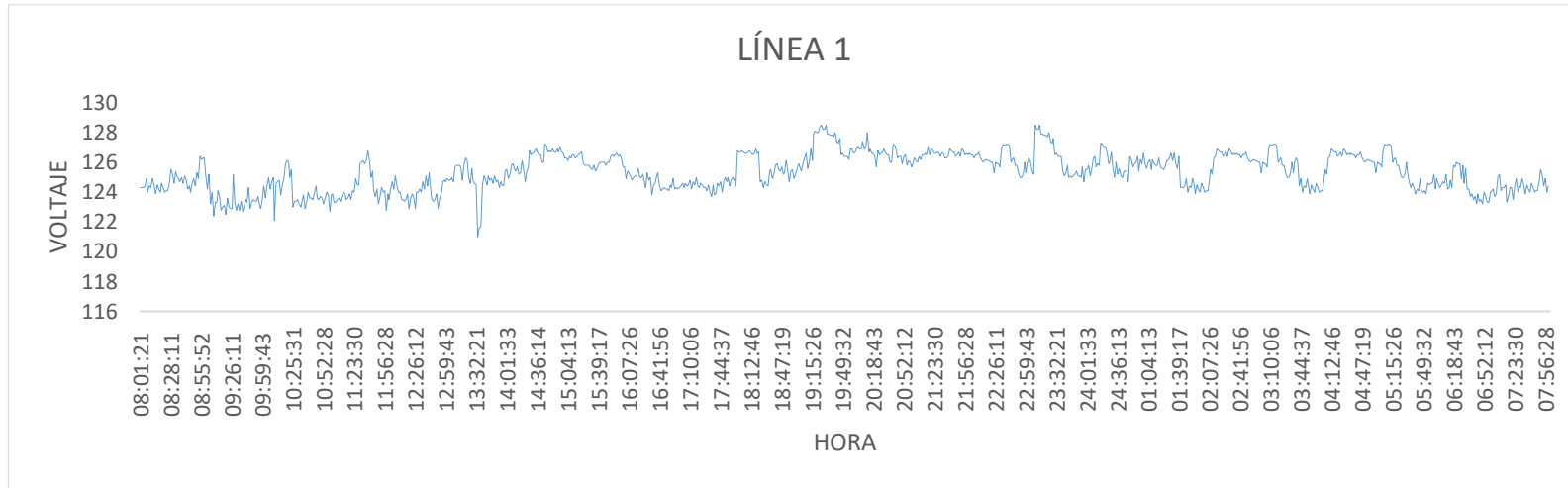


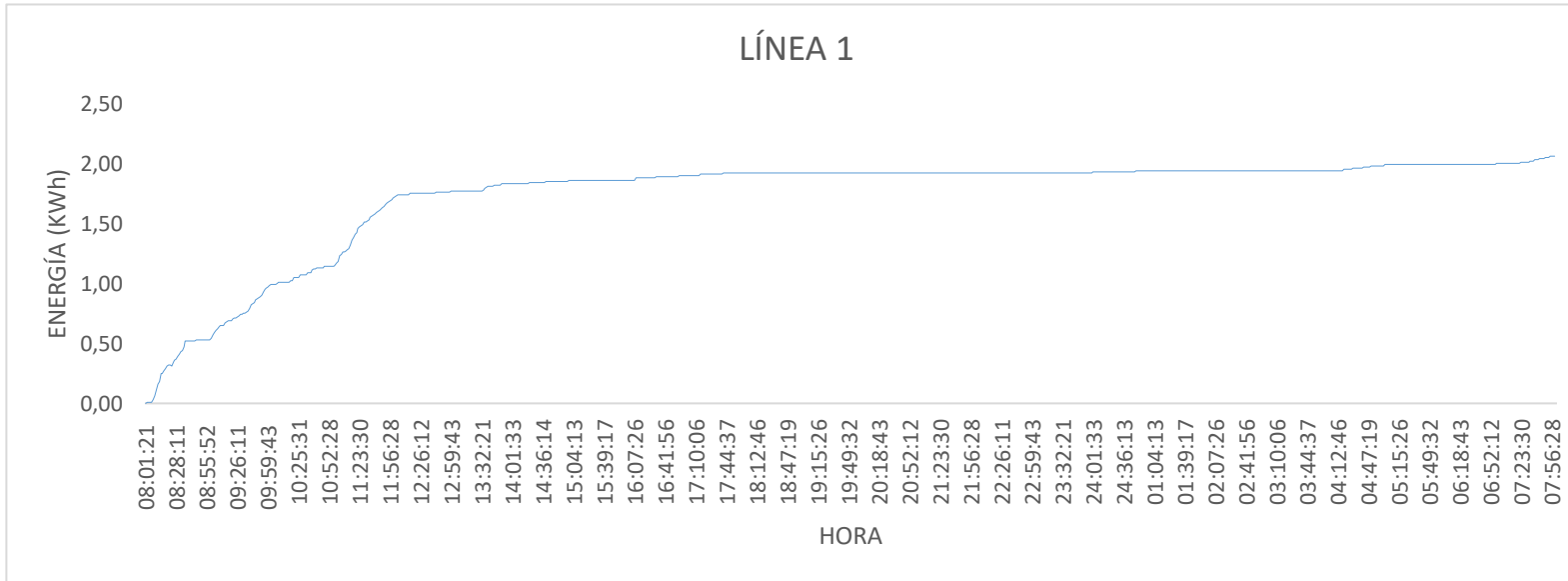
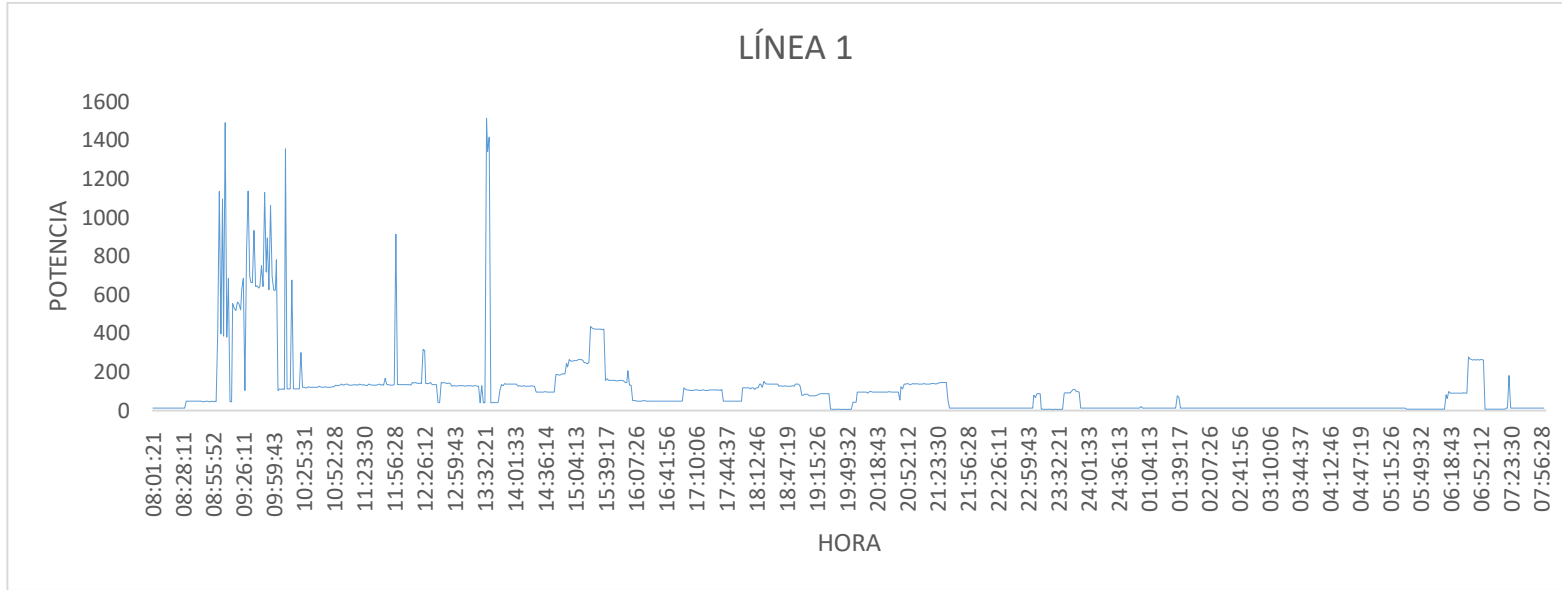
Anexo 2. Circuito del módulo receptor.

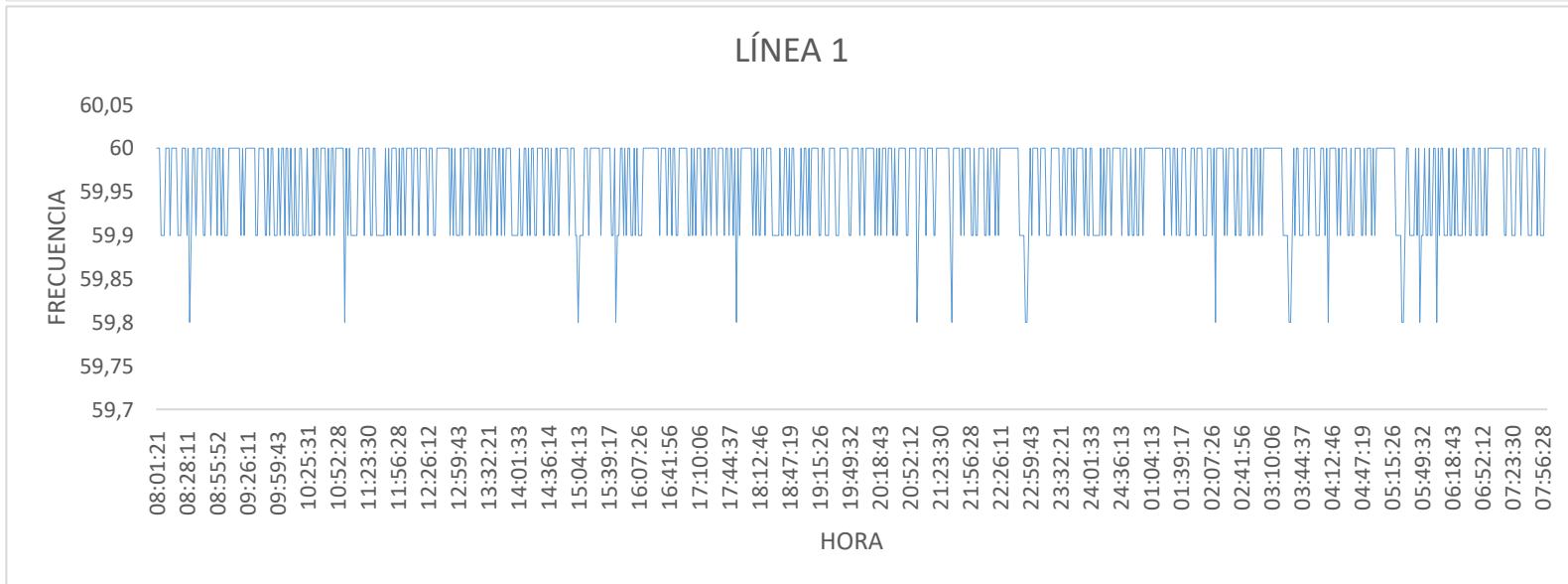
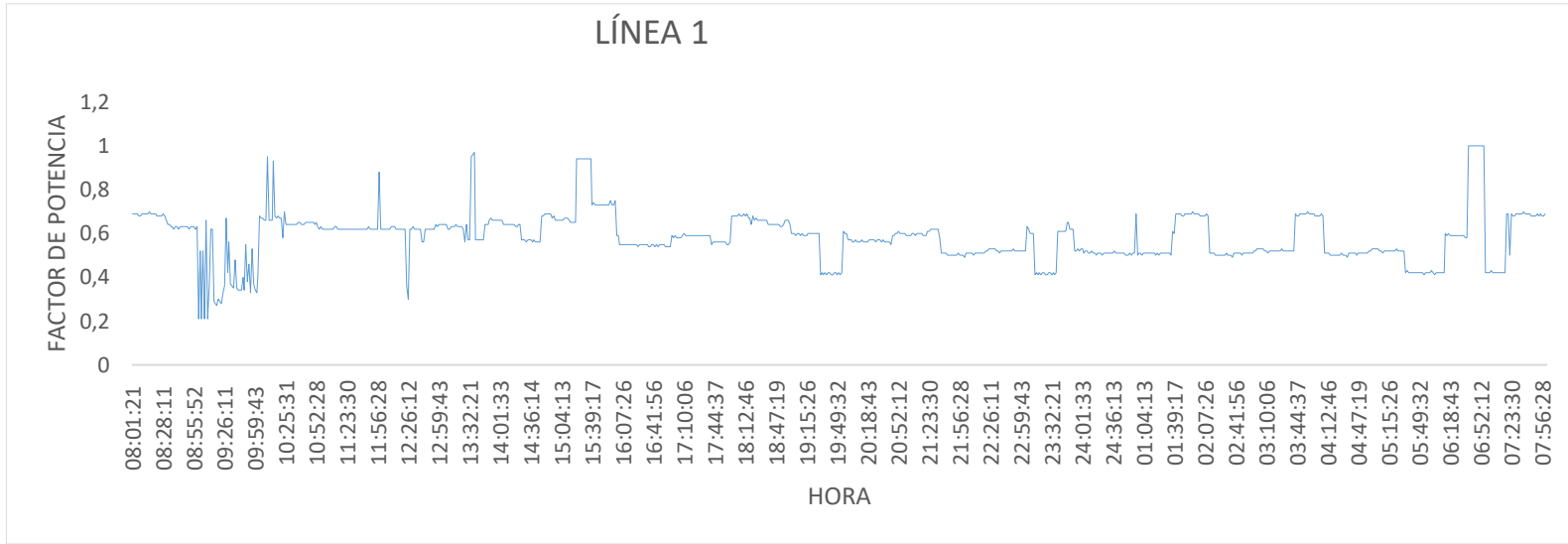


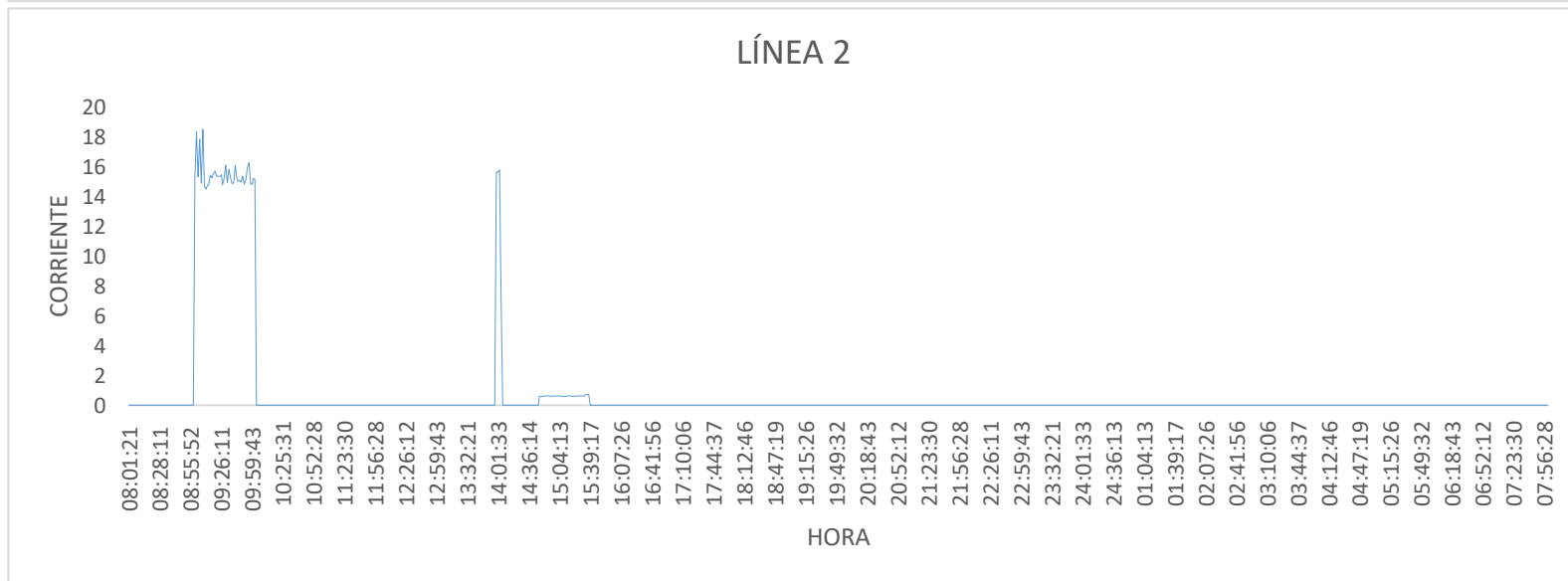
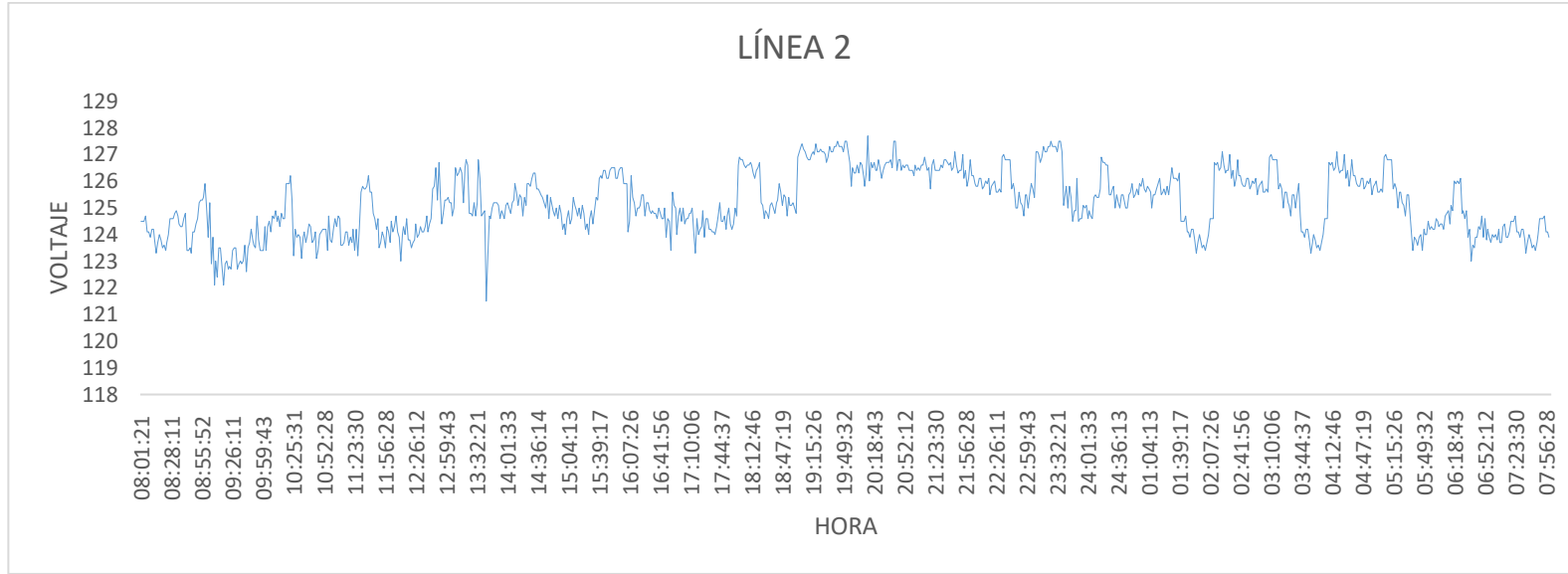
Anexo 3. Visualización gráfica del consumo de energía de las máquinas en la fábrica de muebles Jessica.

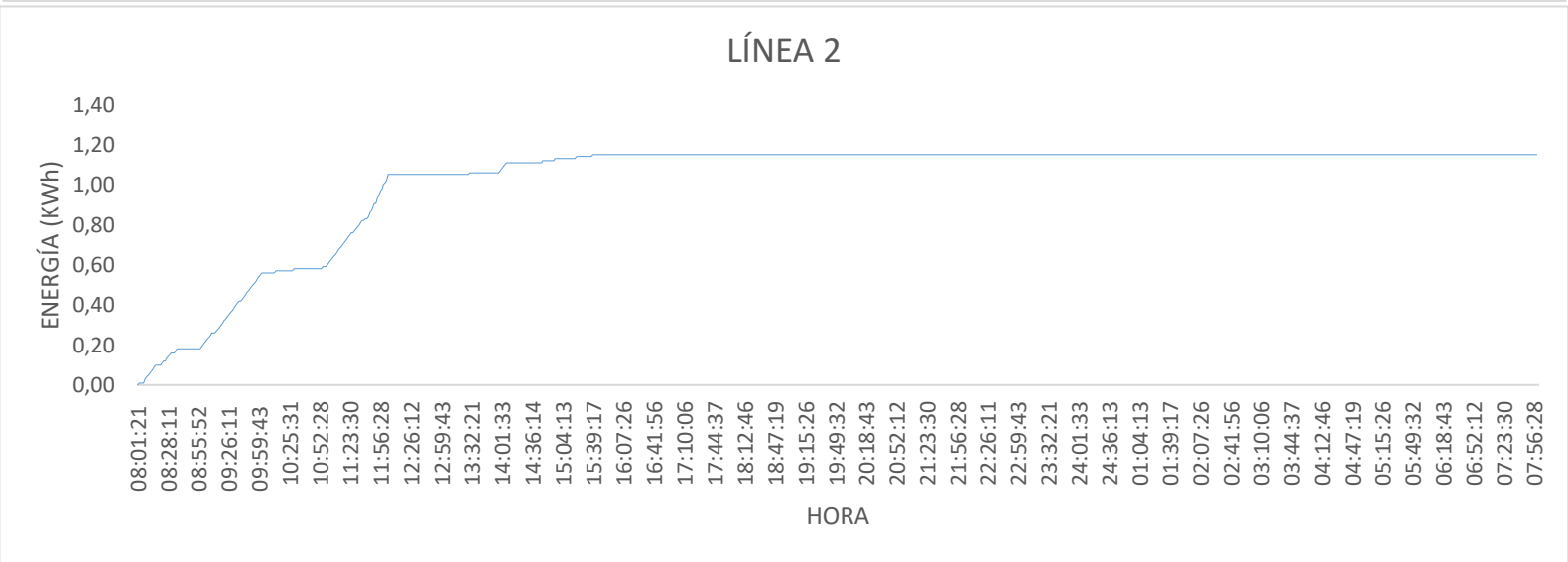
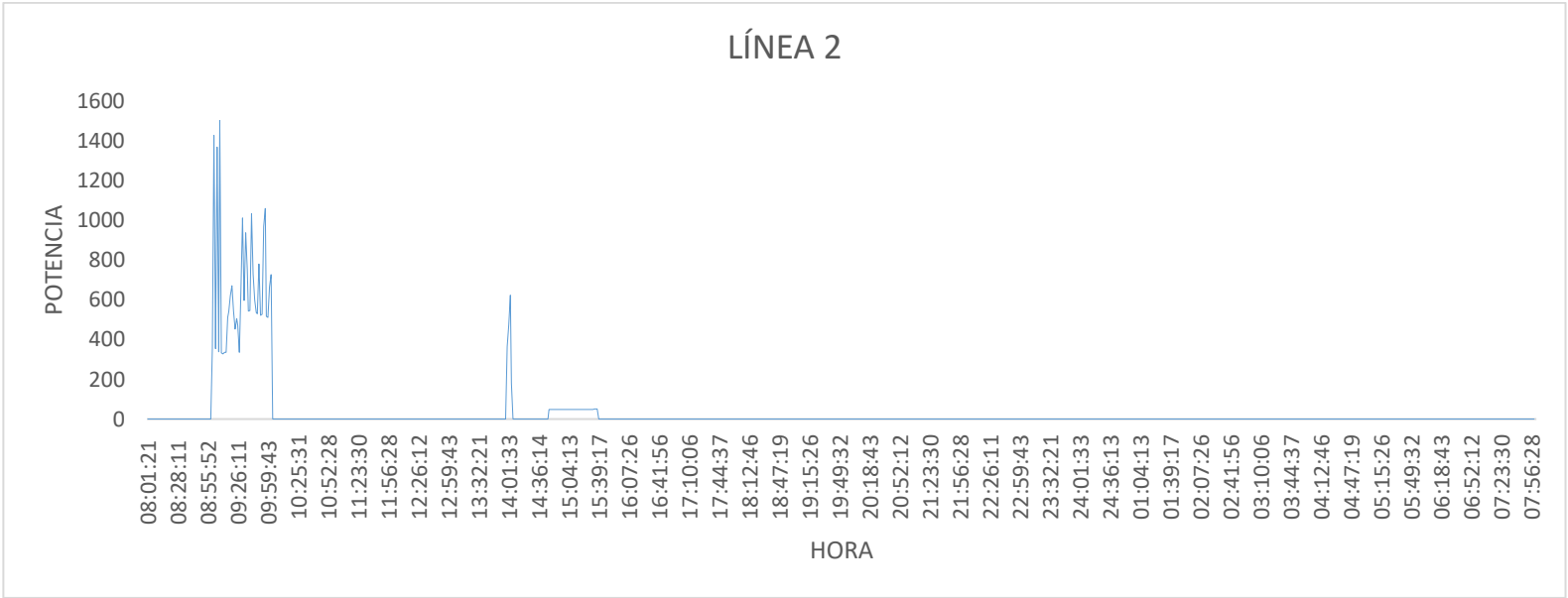
DÍA 1: LUNES 08/02/2021

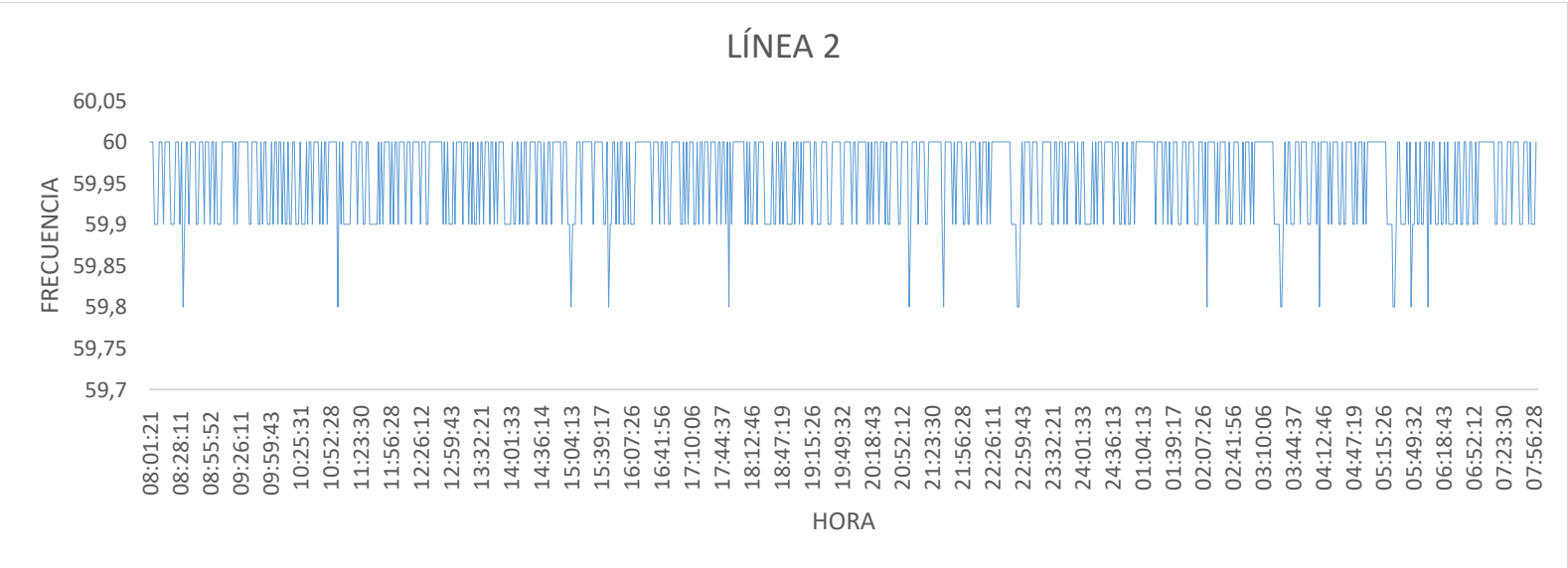
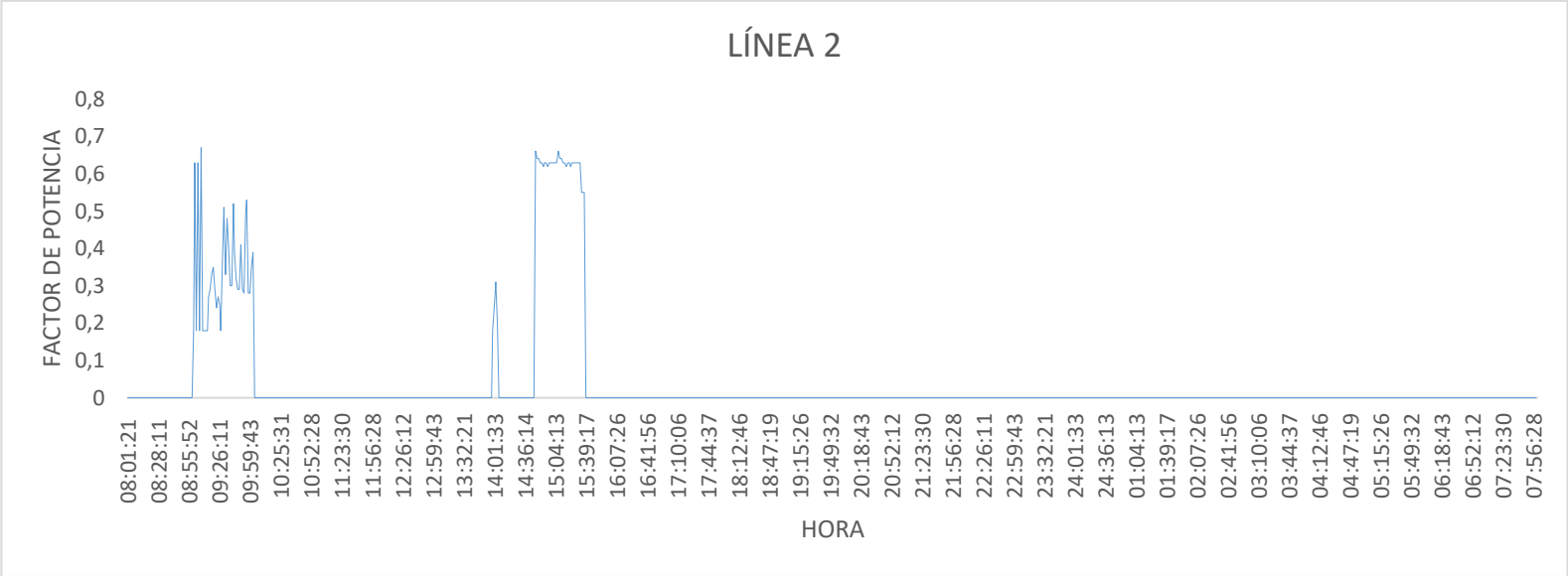




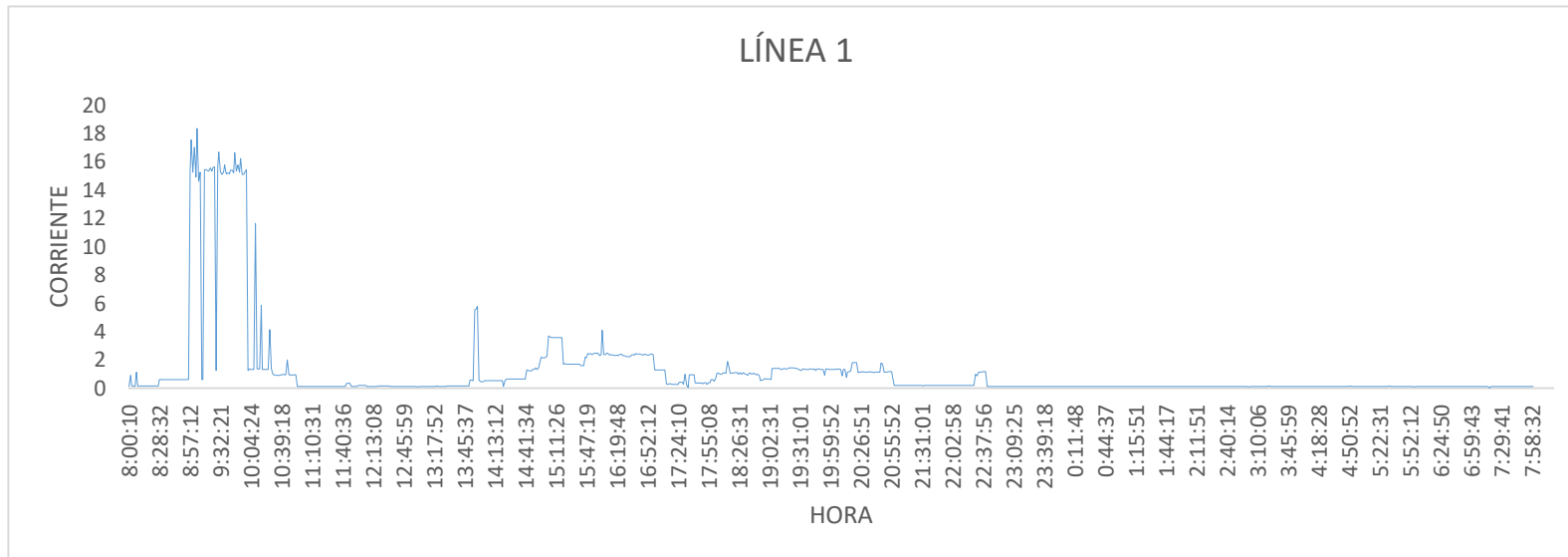
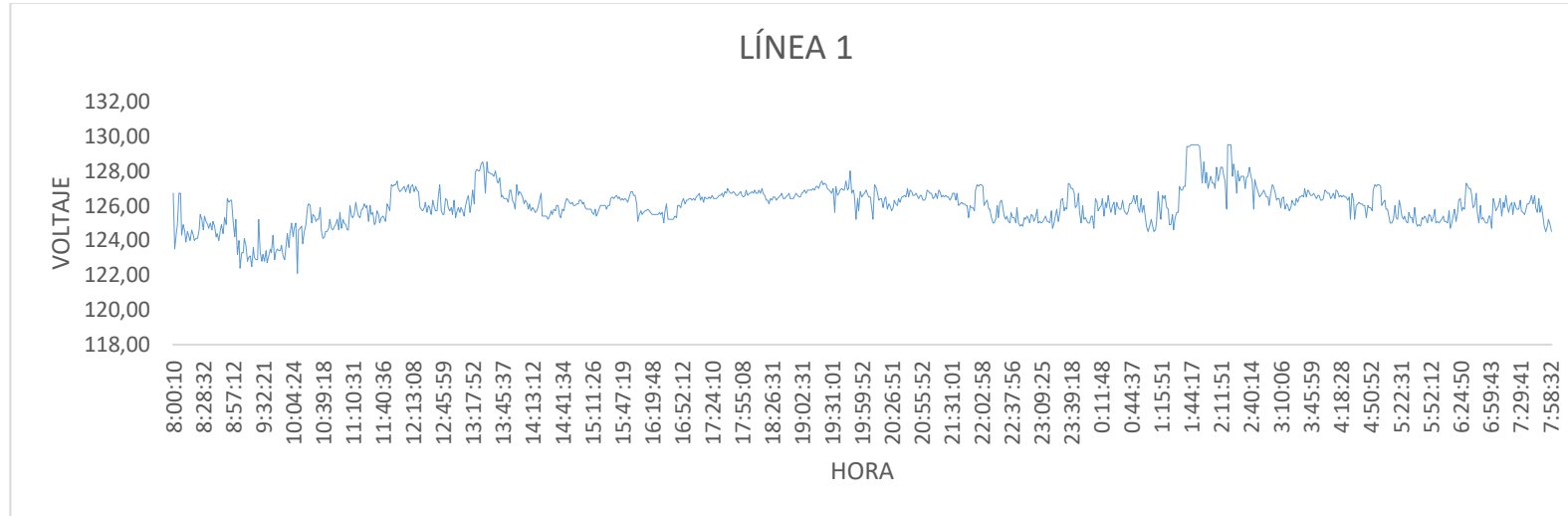


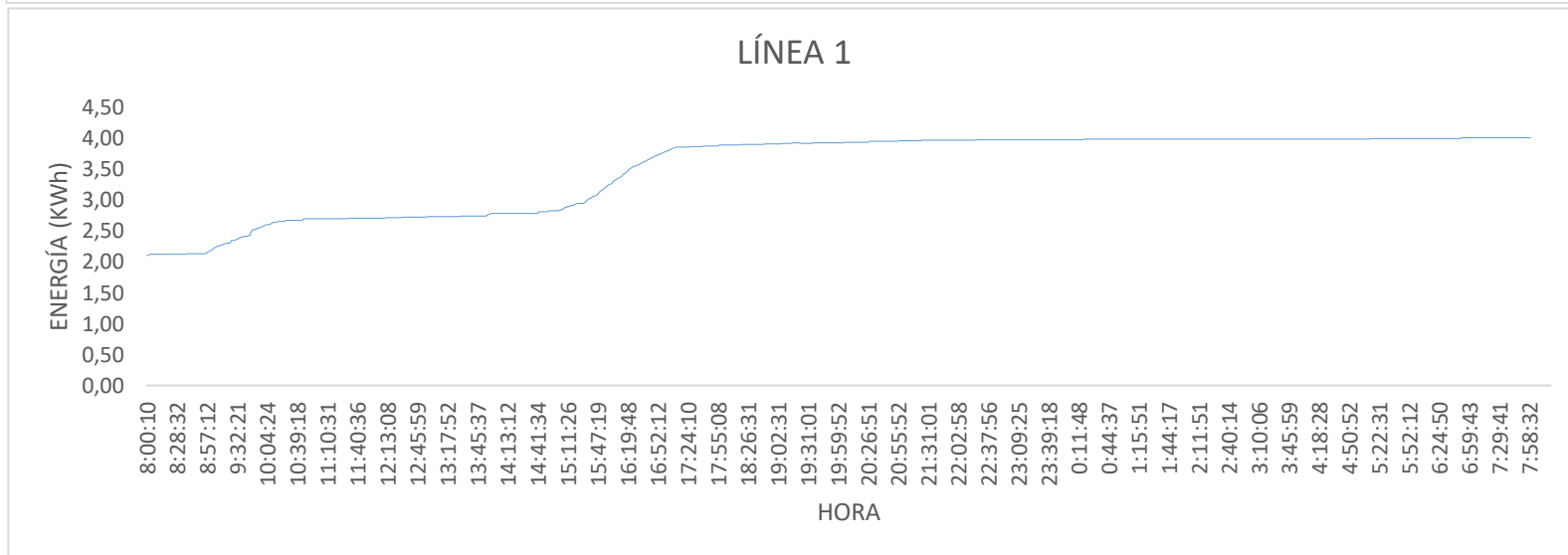
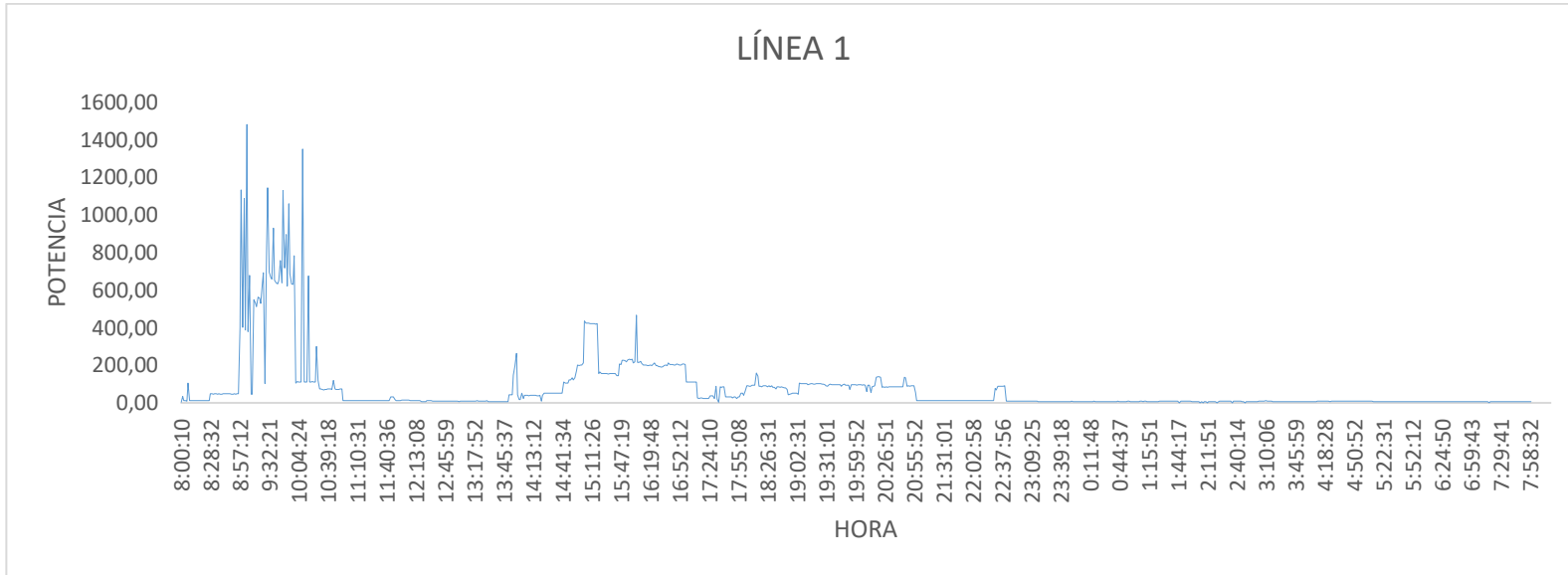


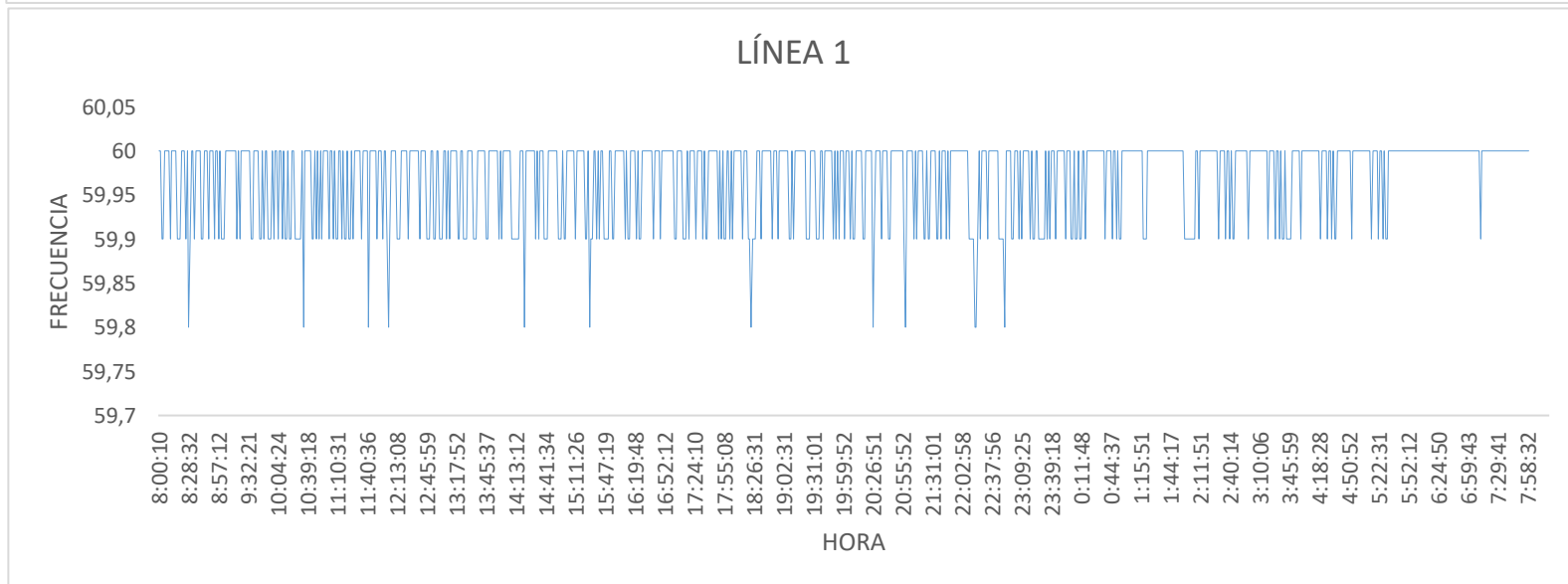
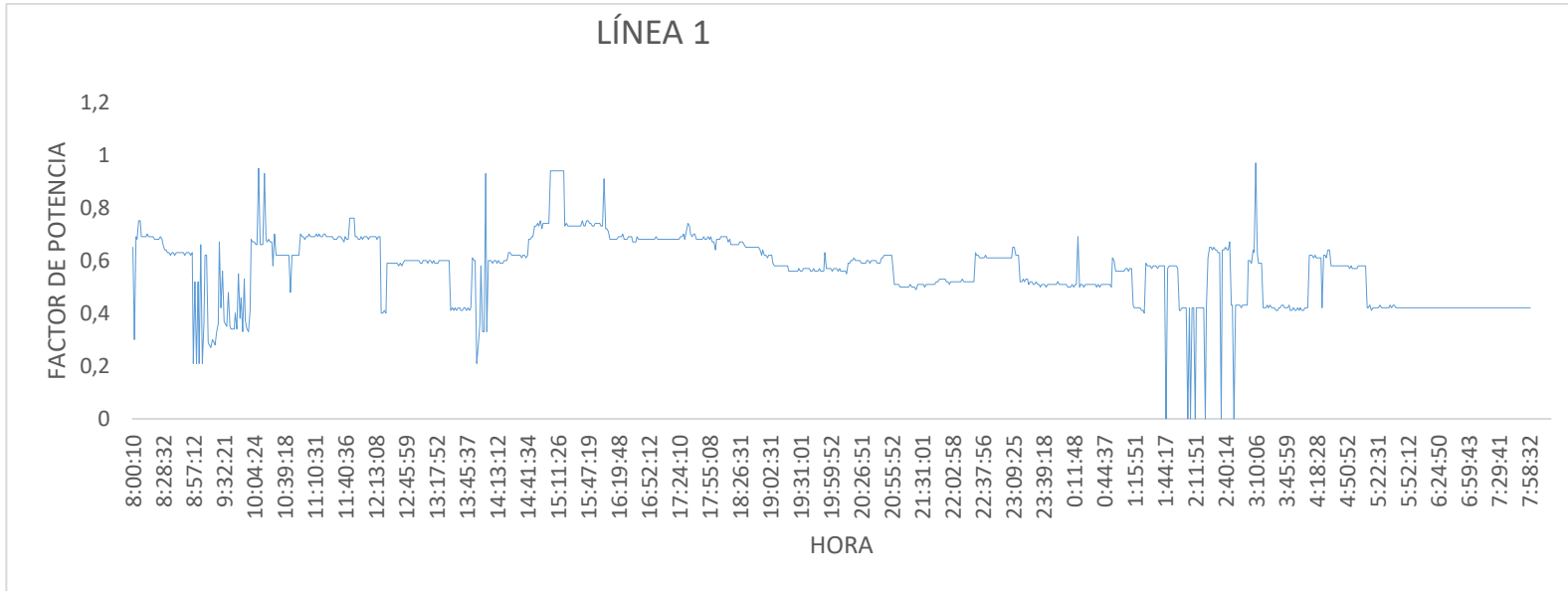


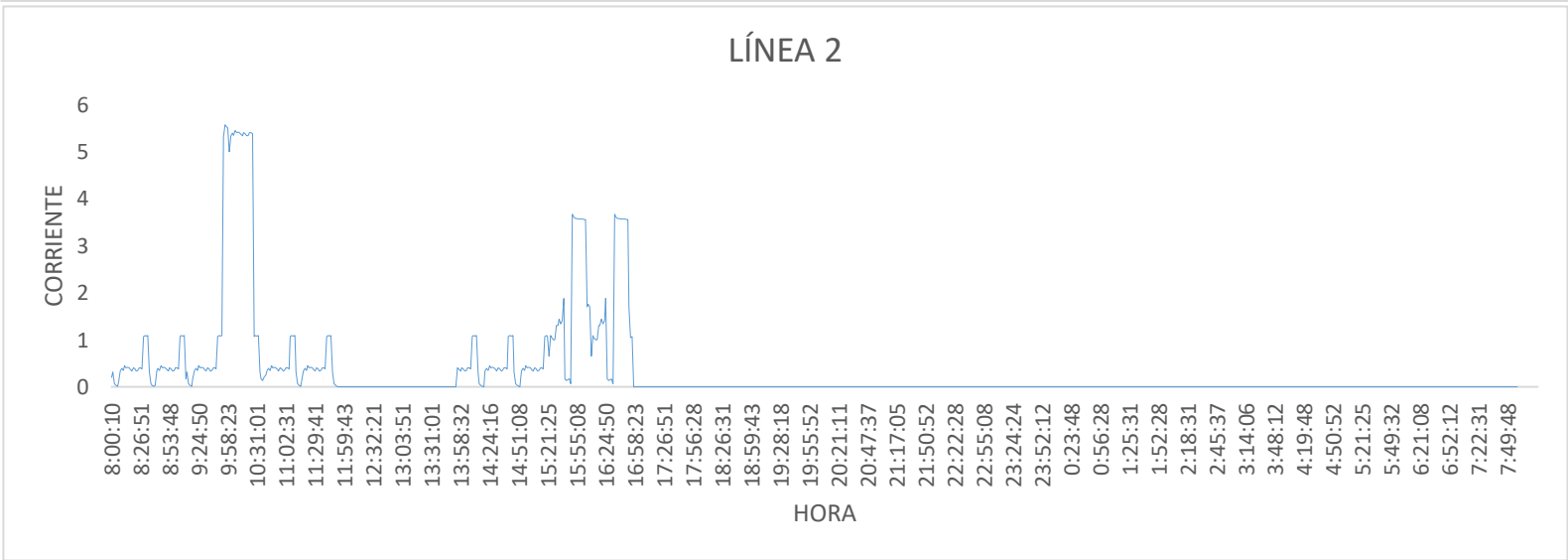
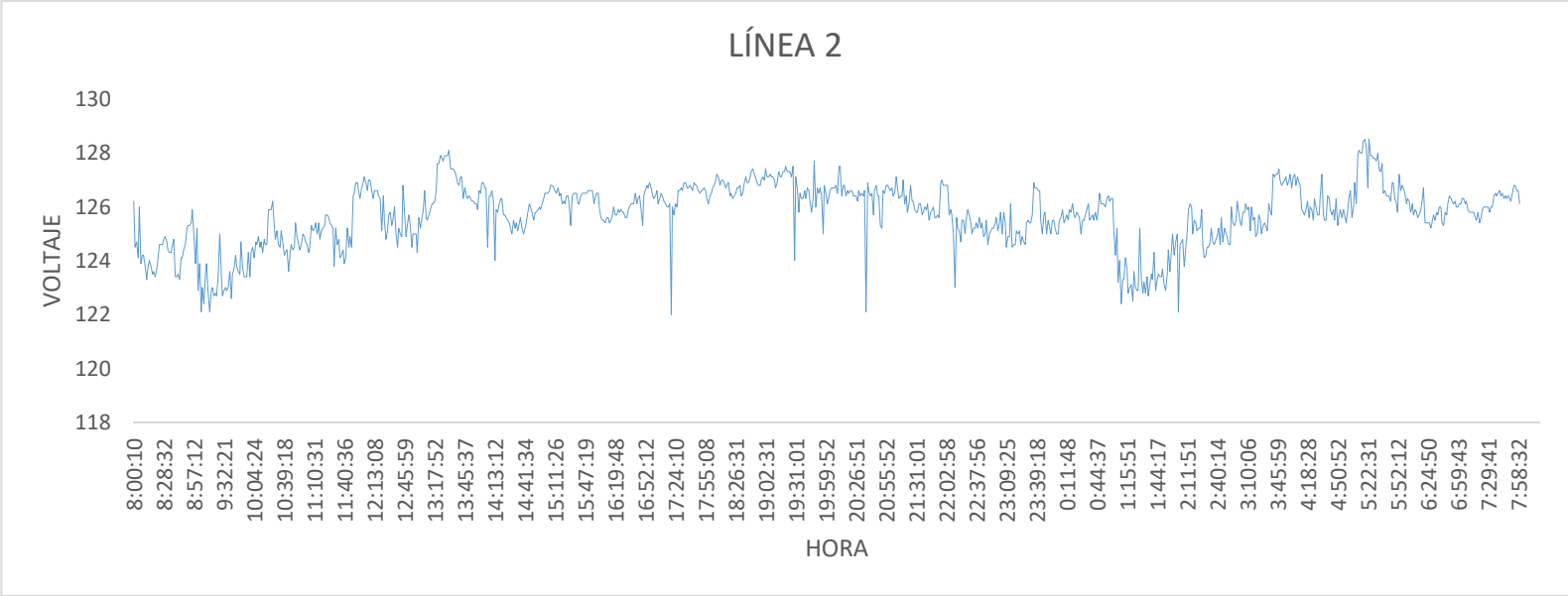


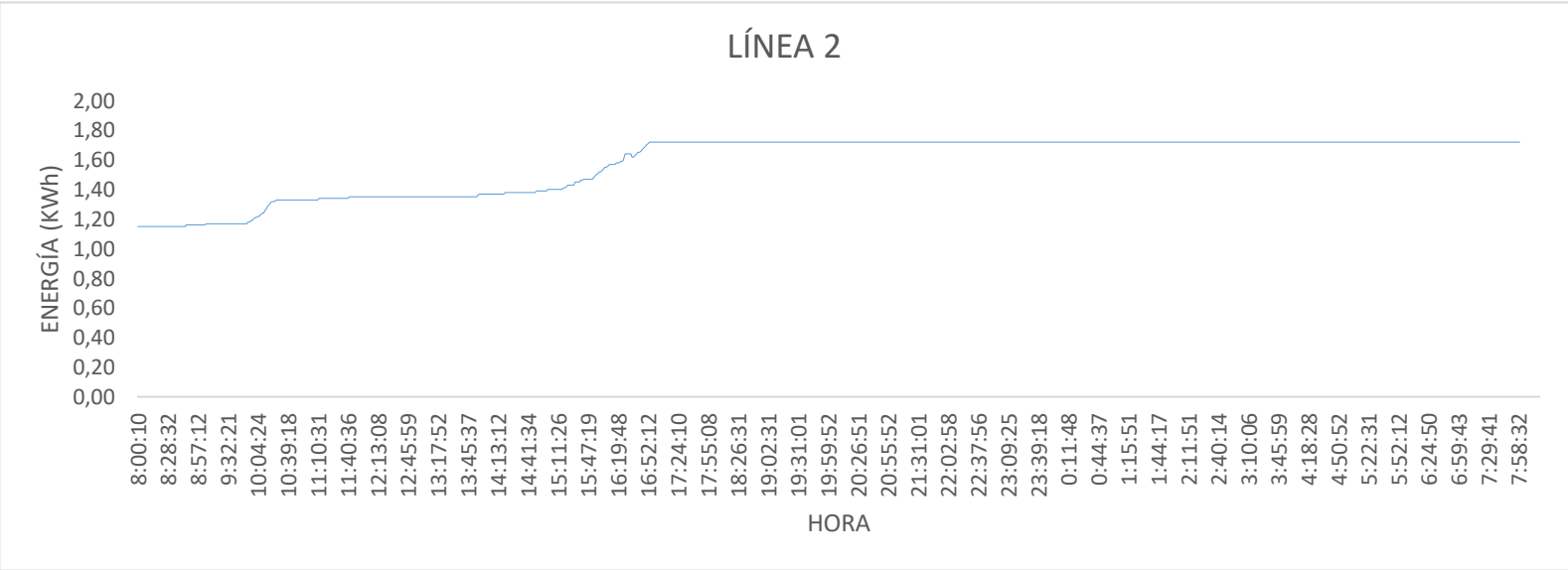
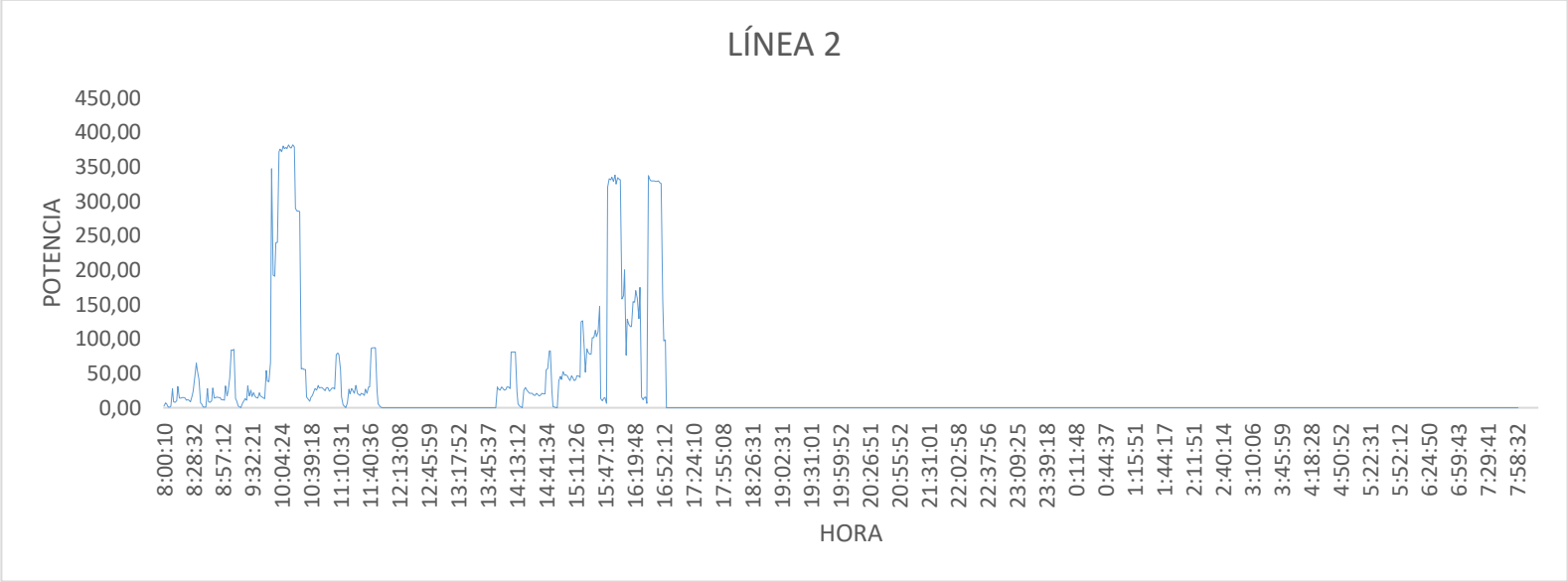
DÍA 2: MARTES 09/02/2021

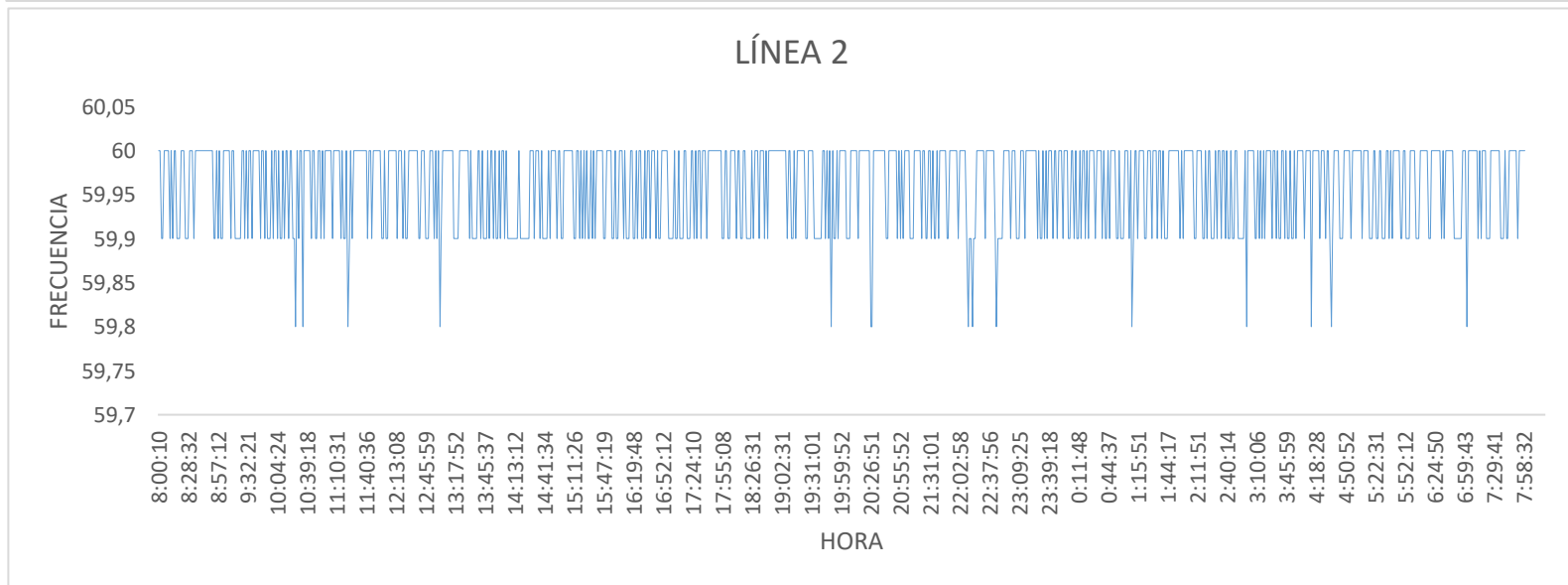
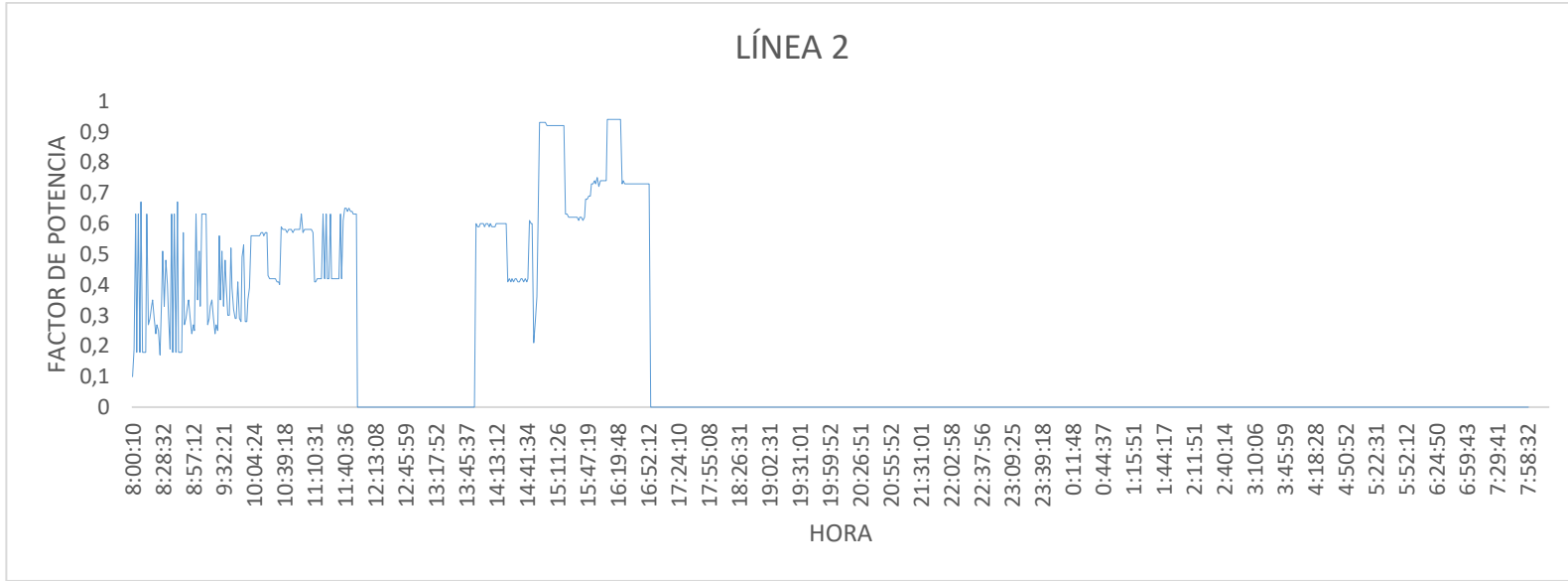




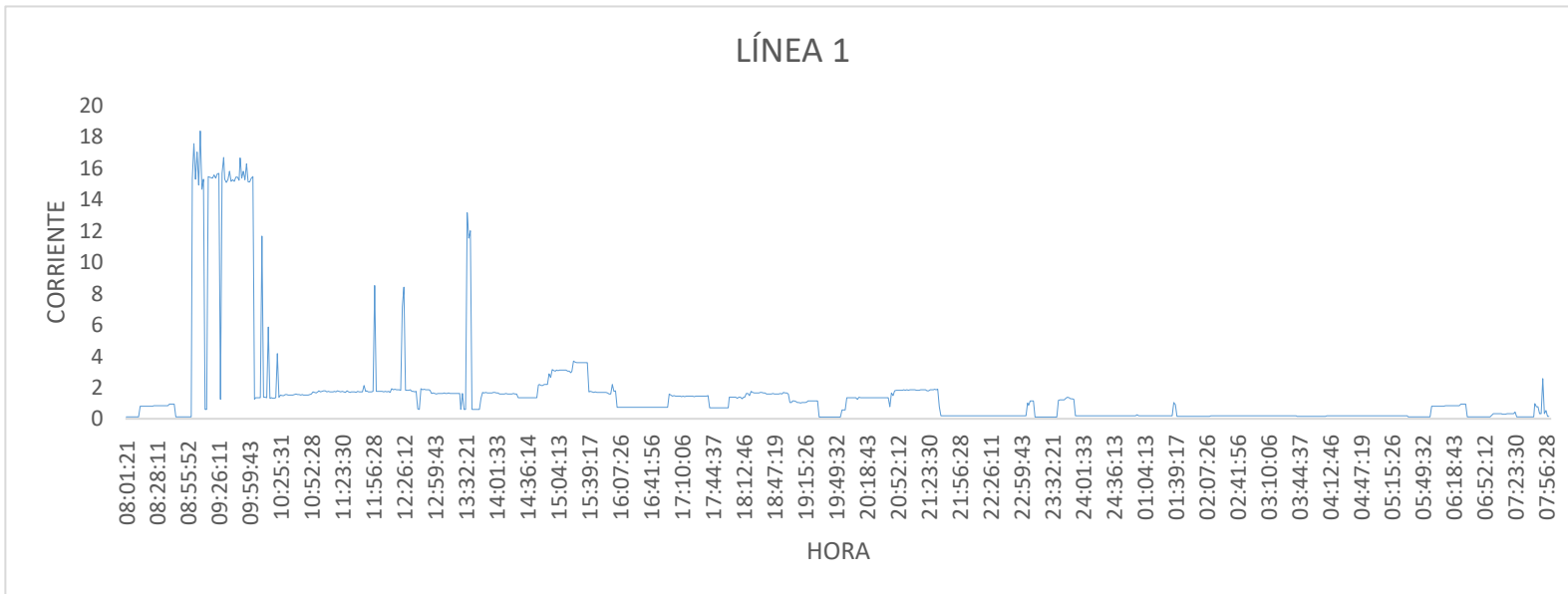
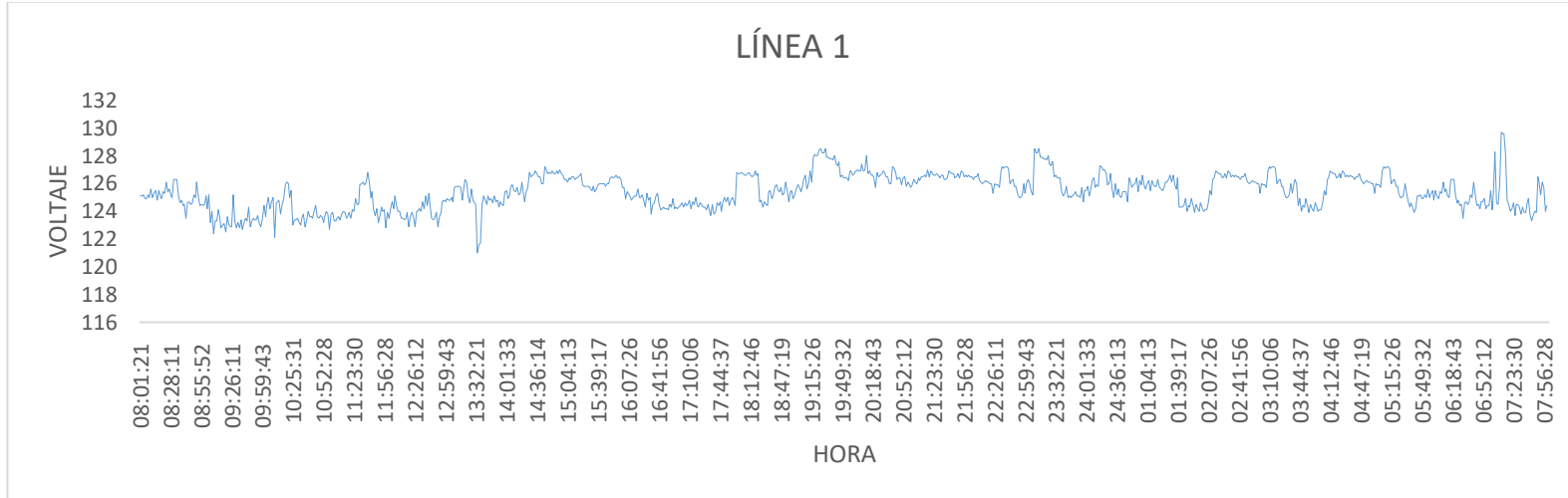


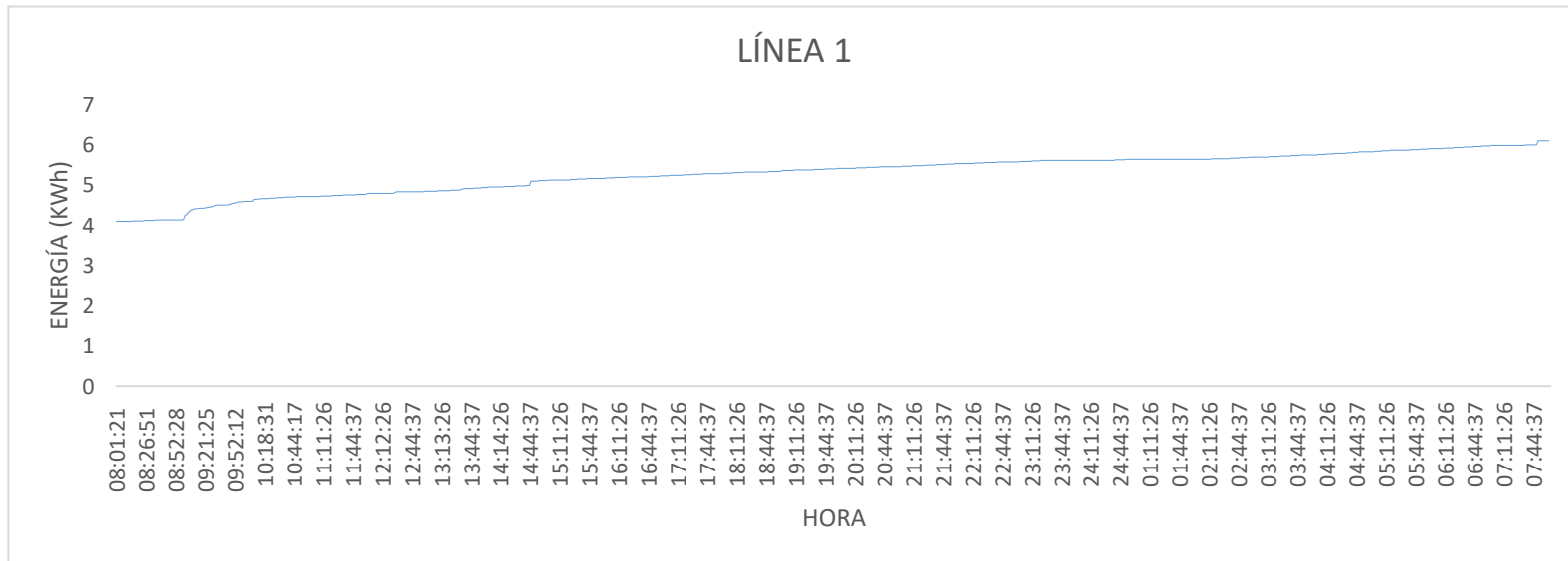
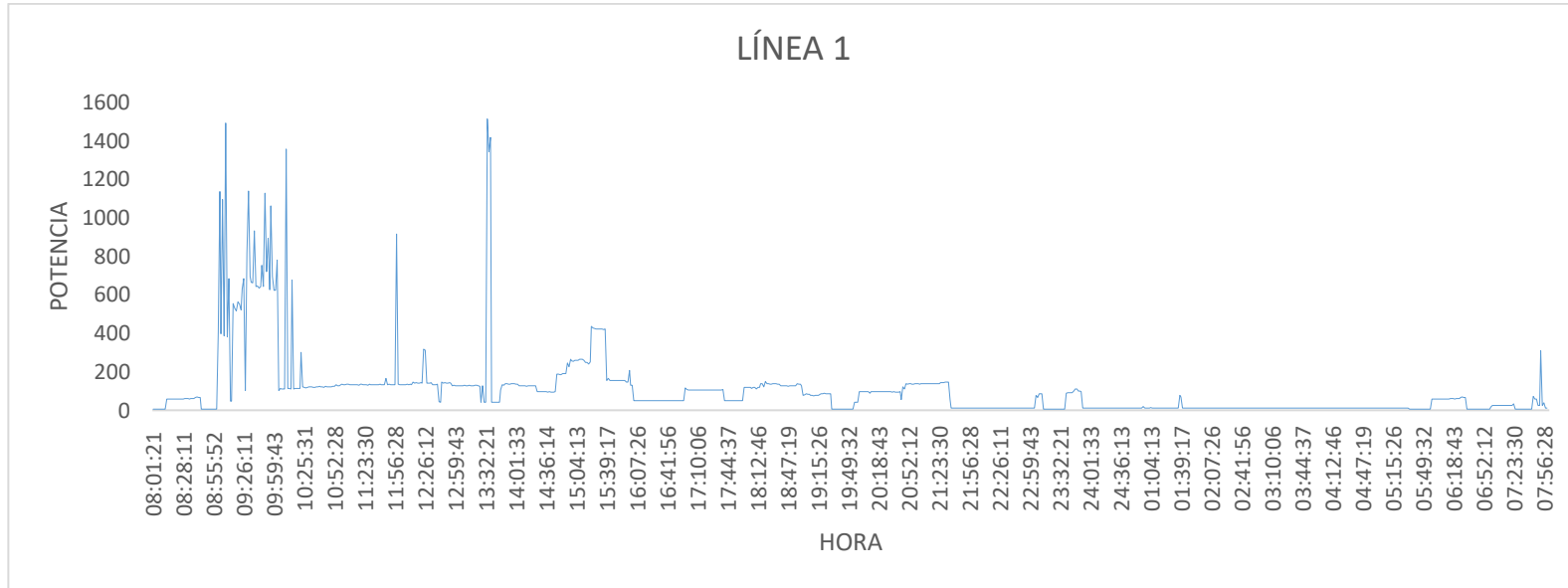


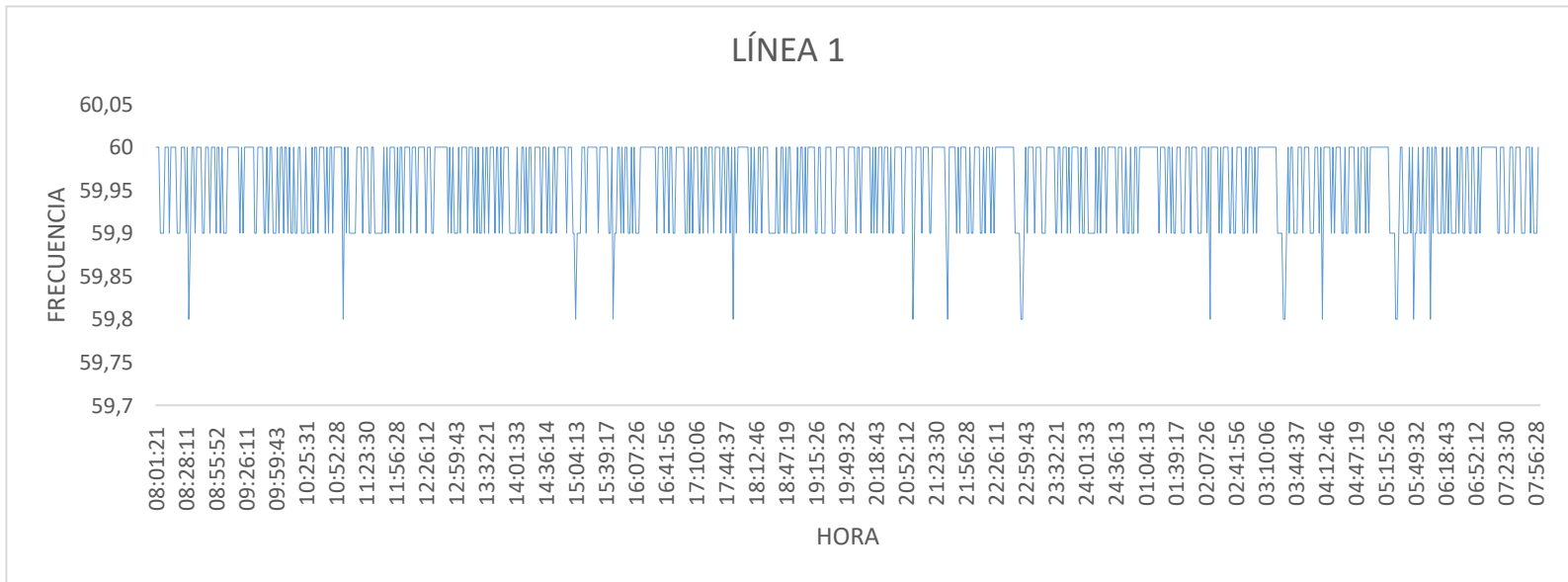
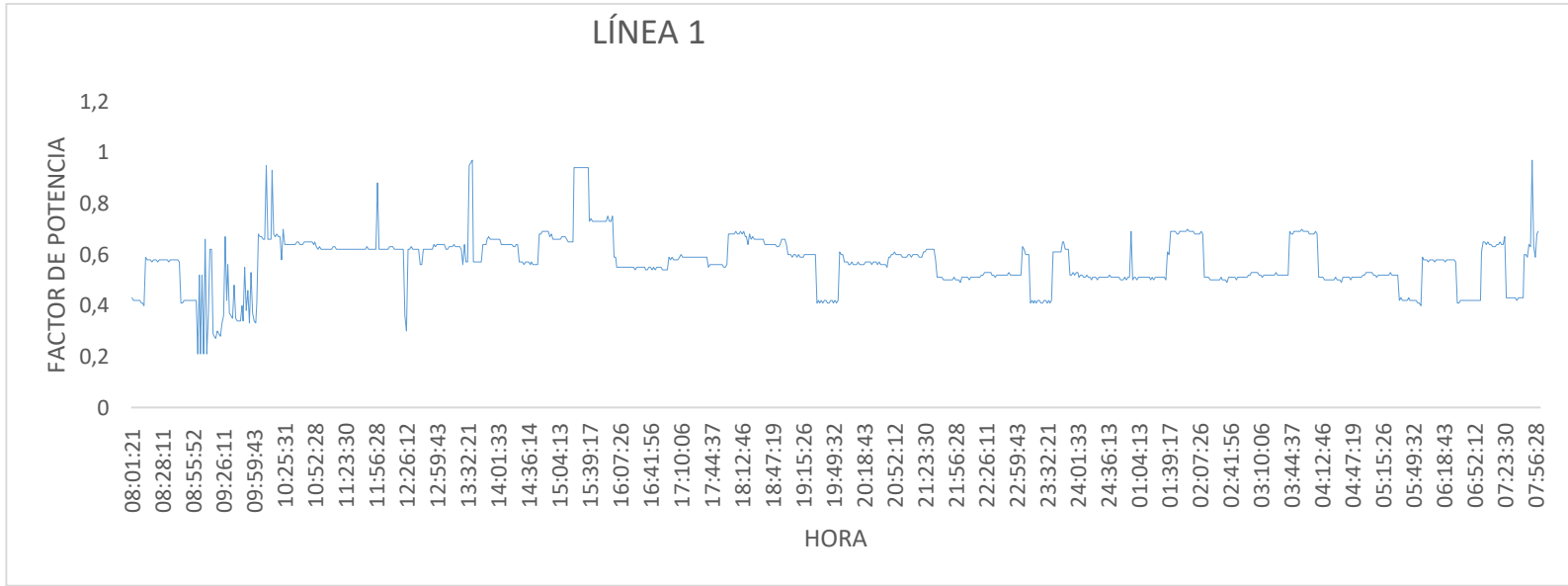


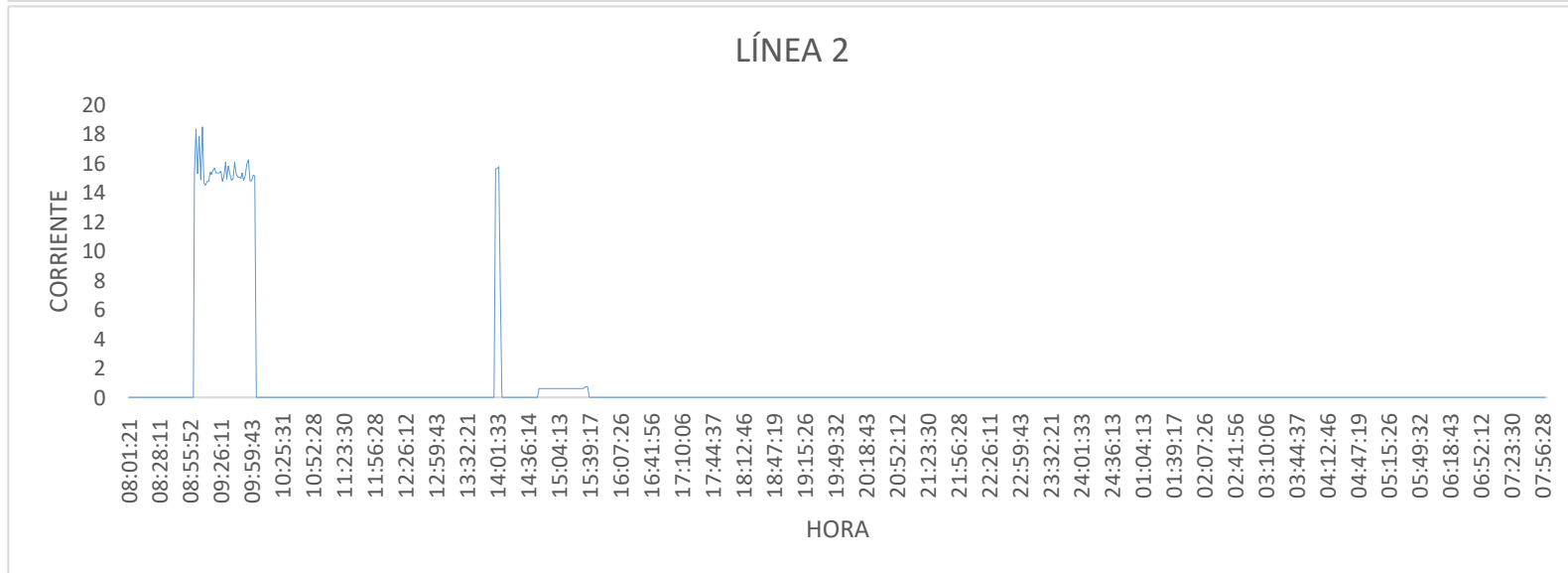
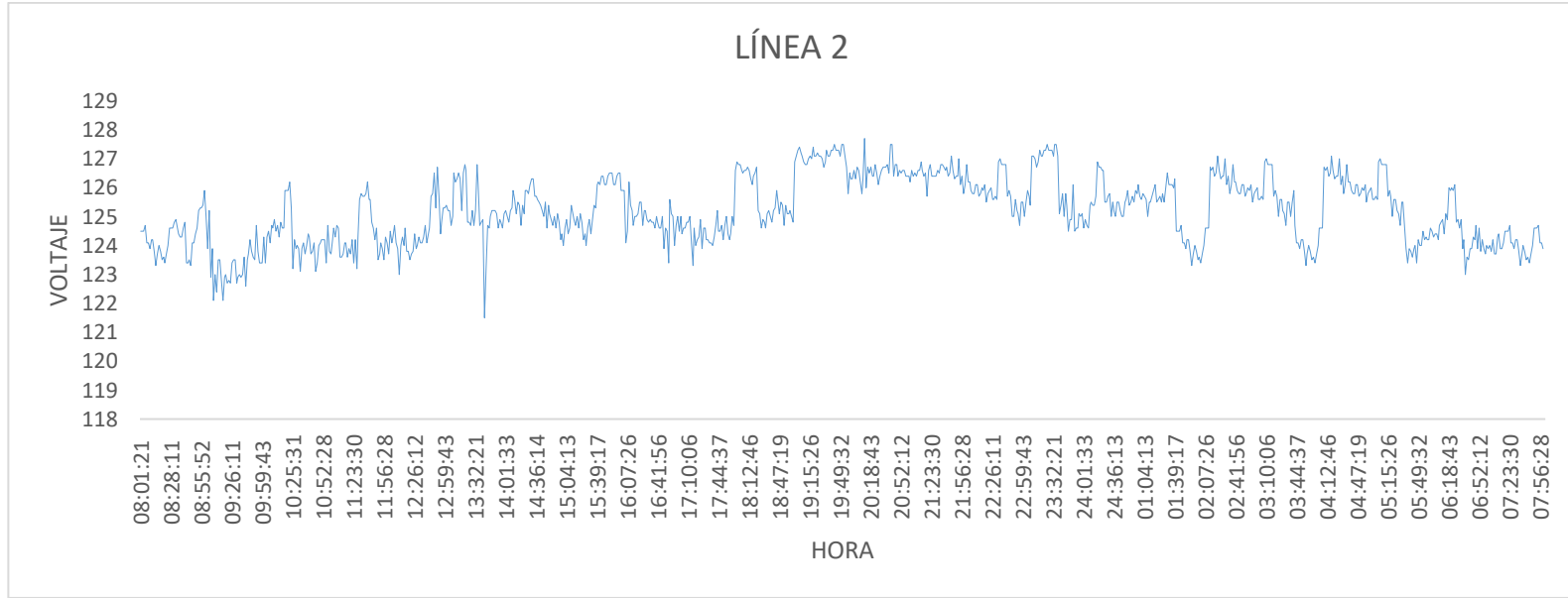


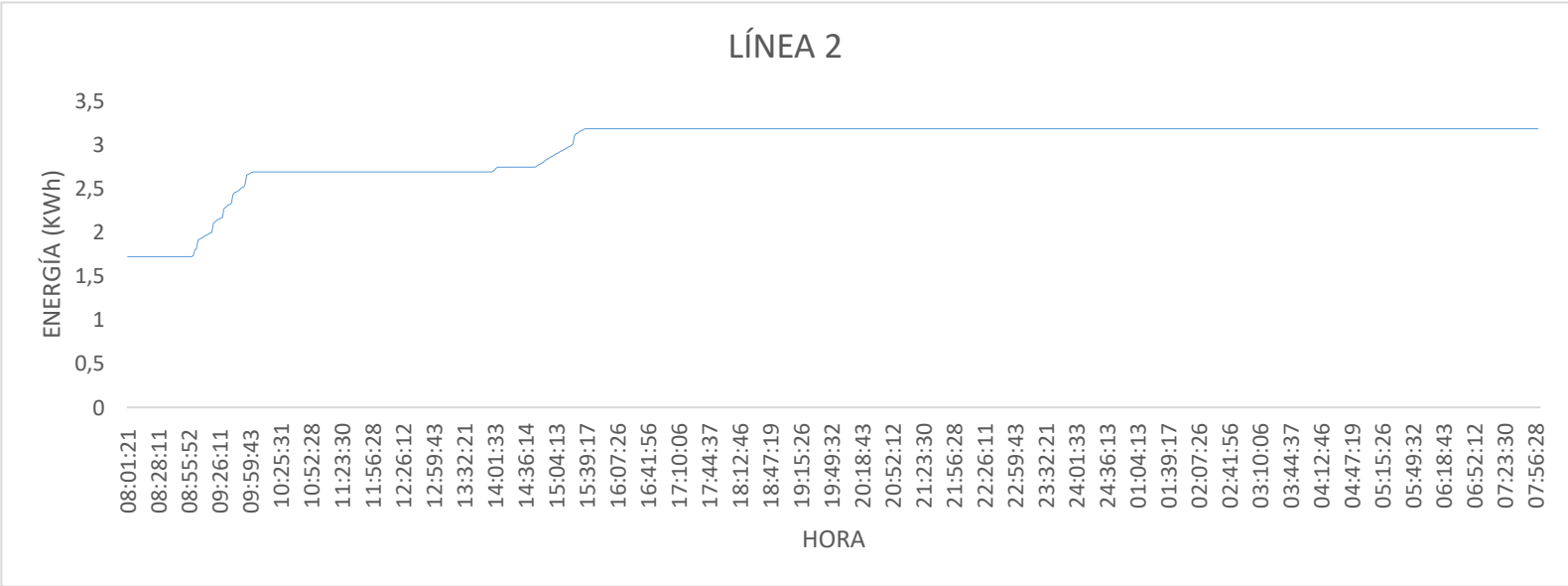
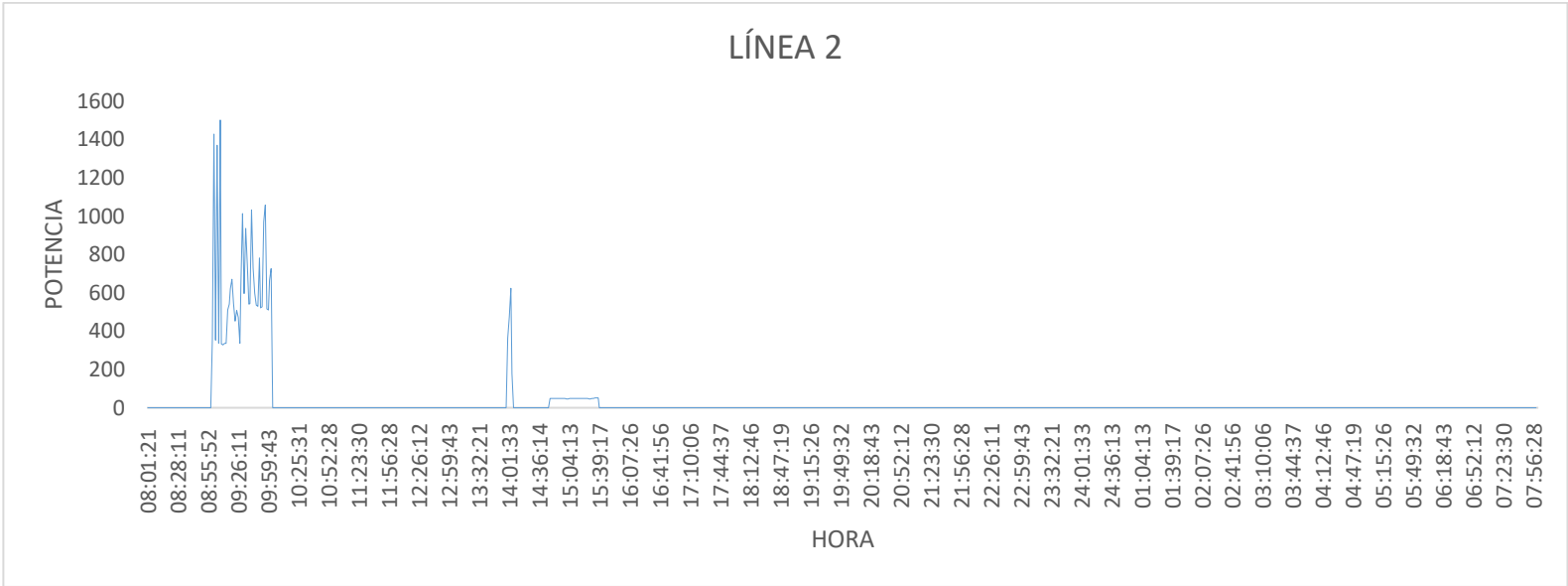
DÍA 3: MIÉRCOLES 10/02/2021

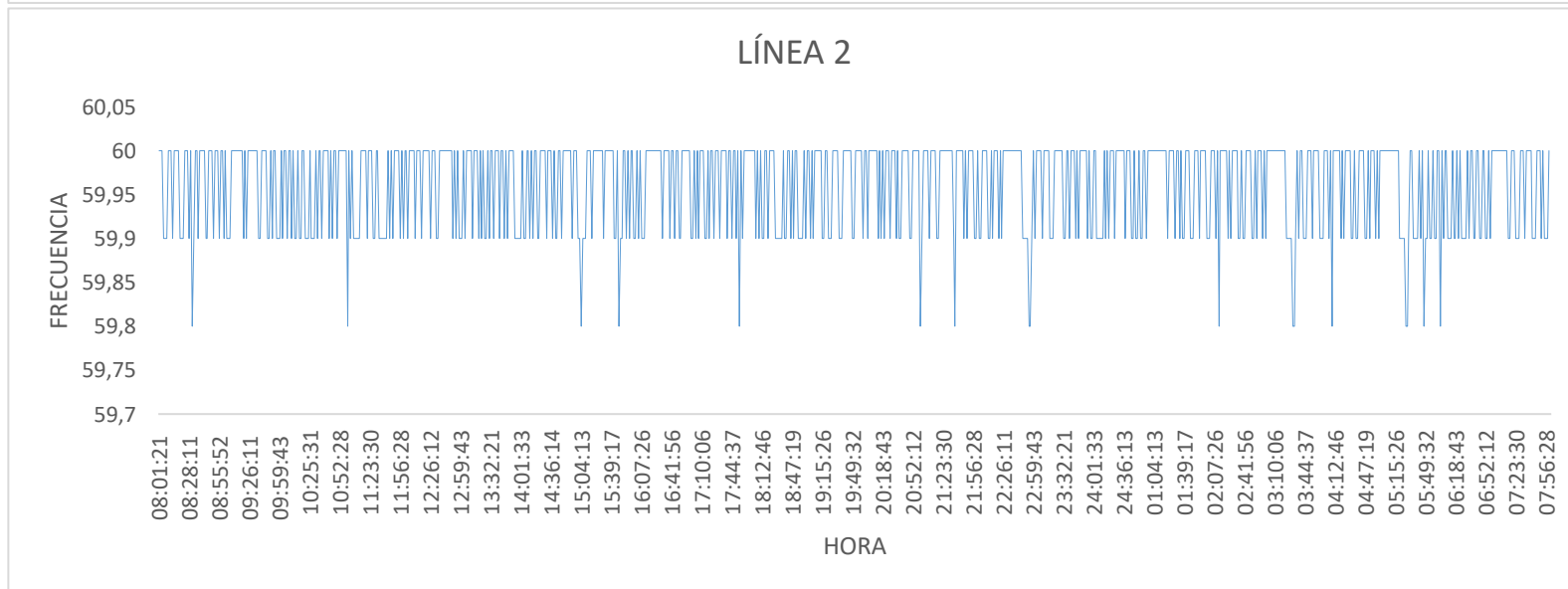
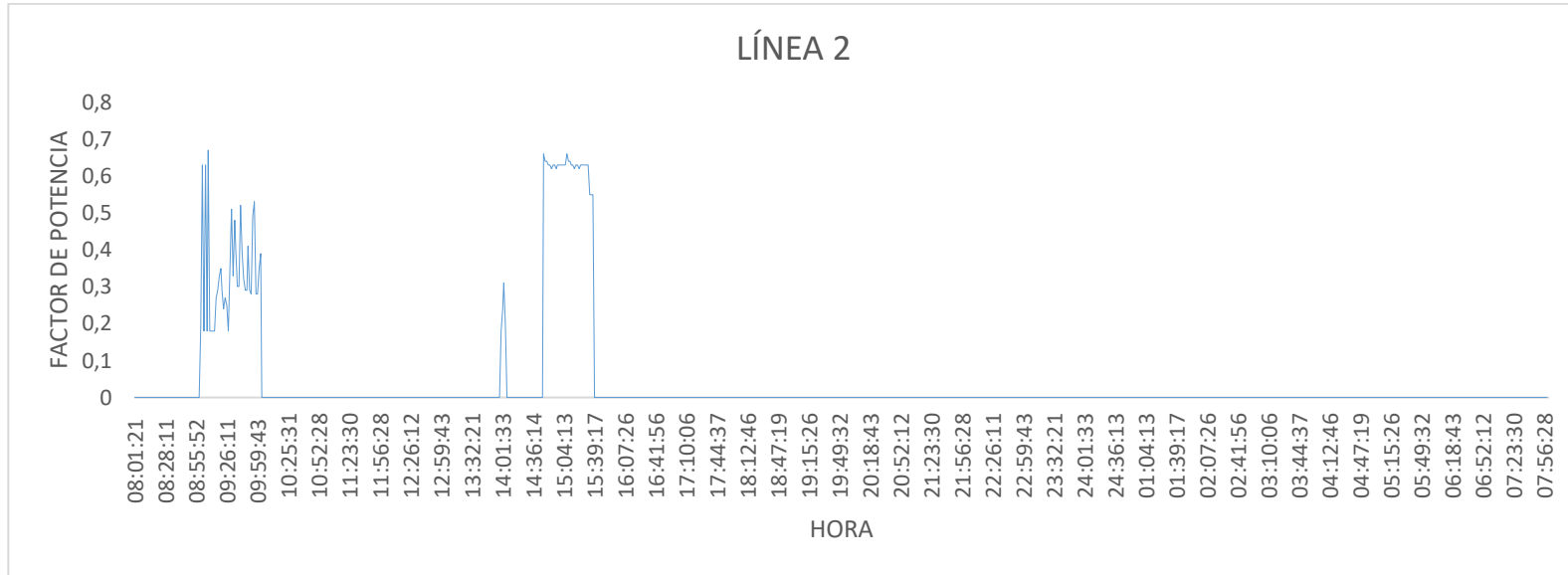




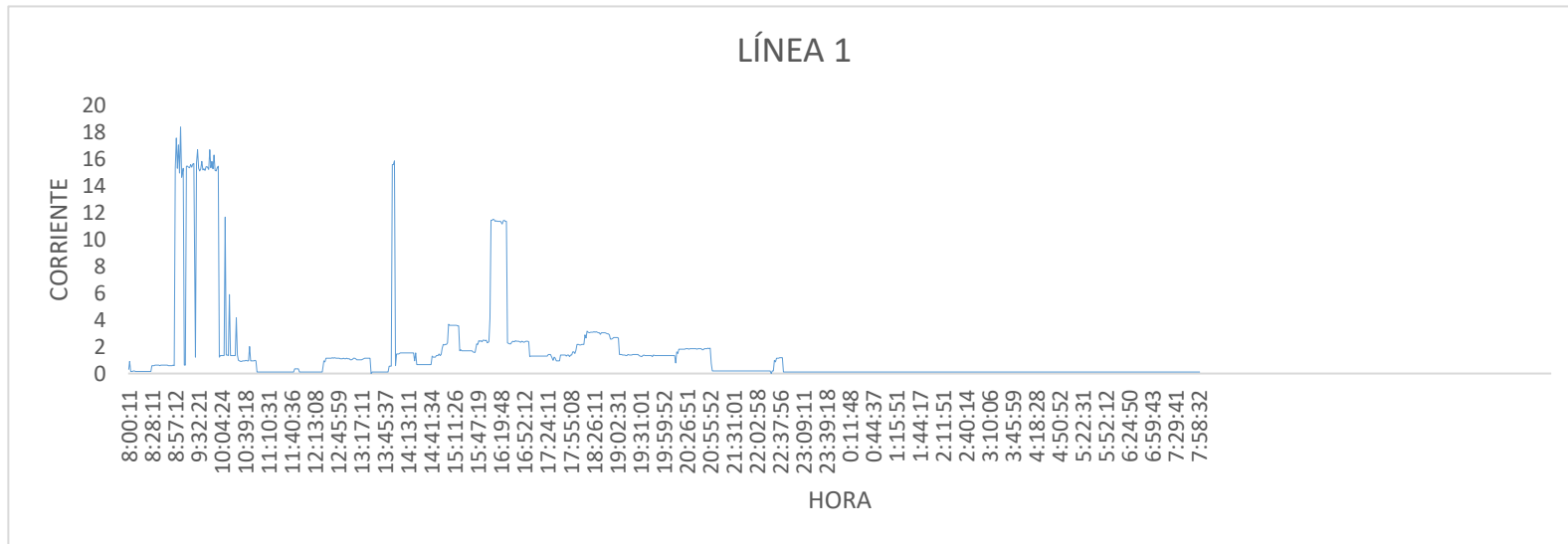
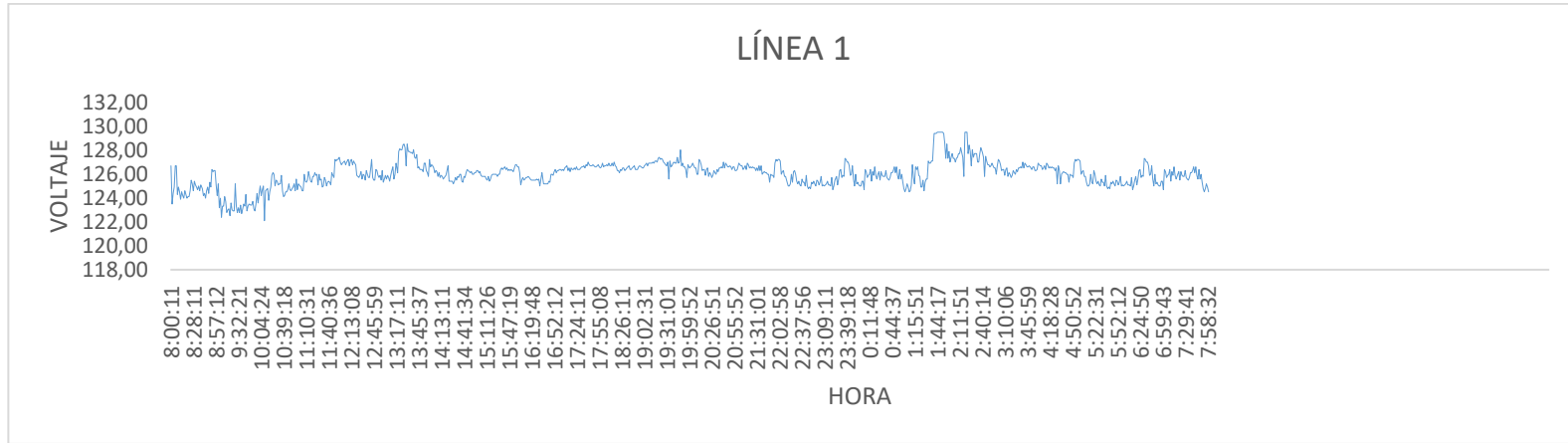


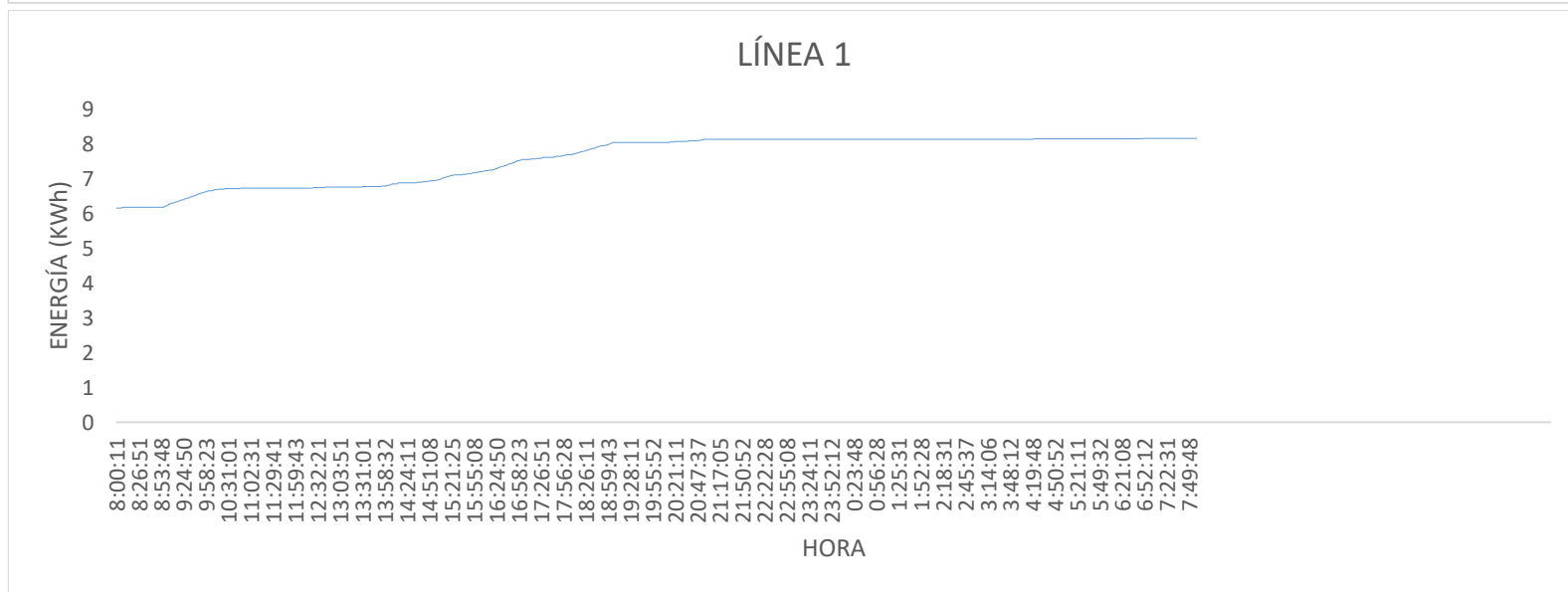
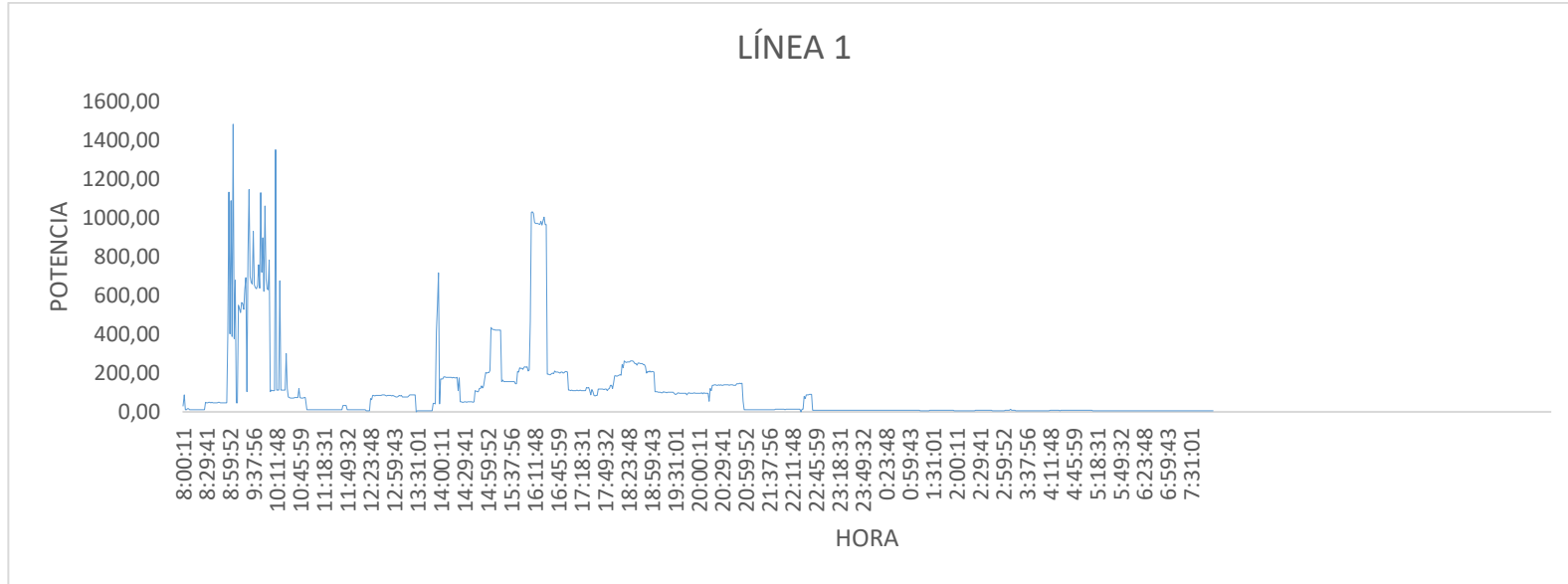


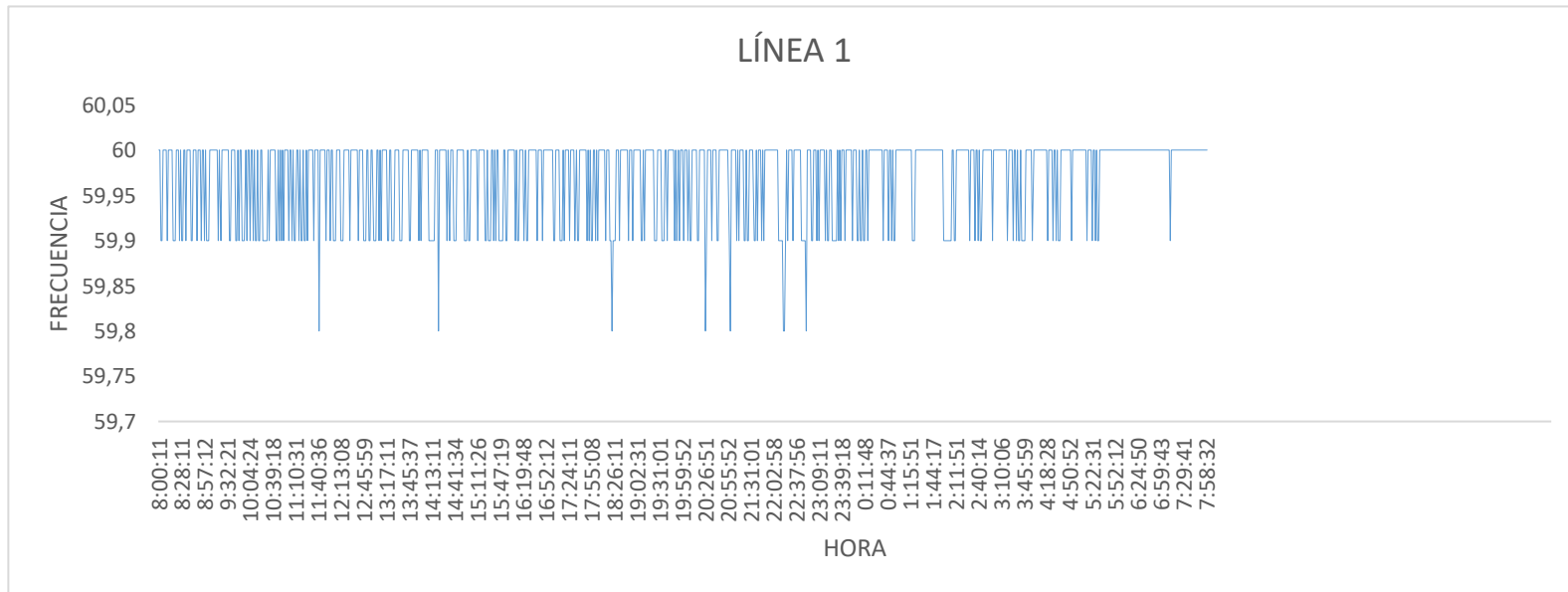
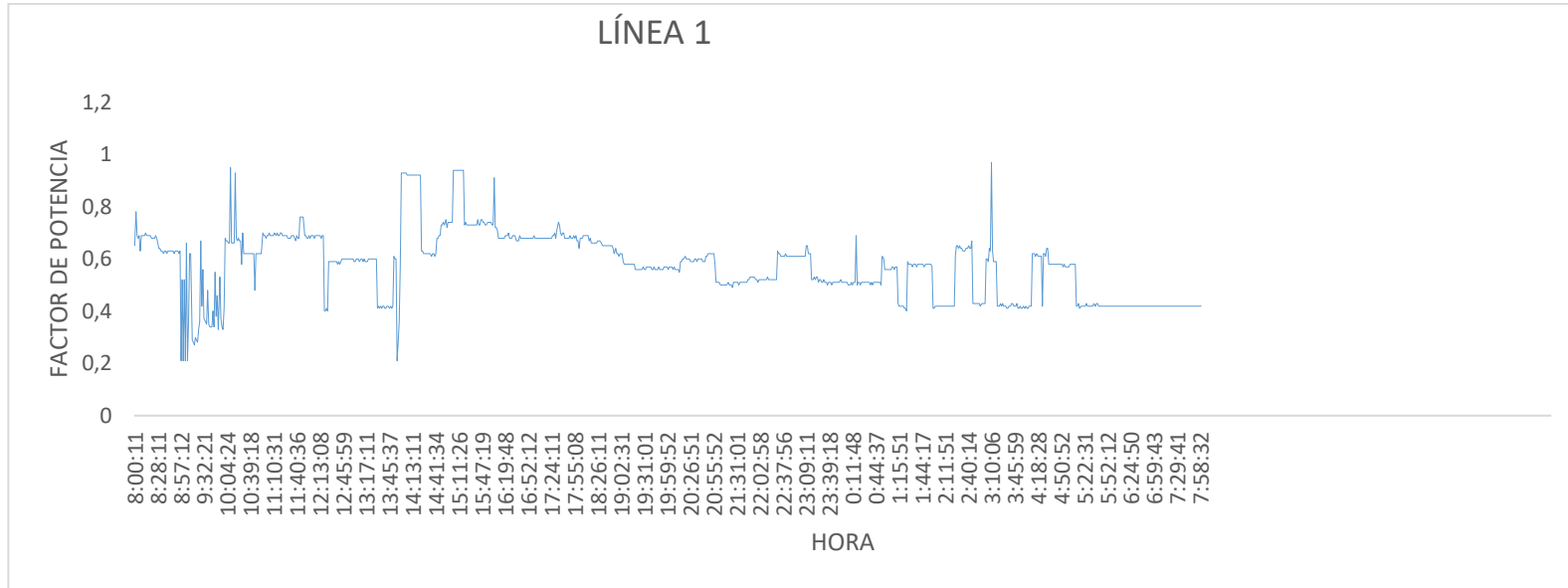


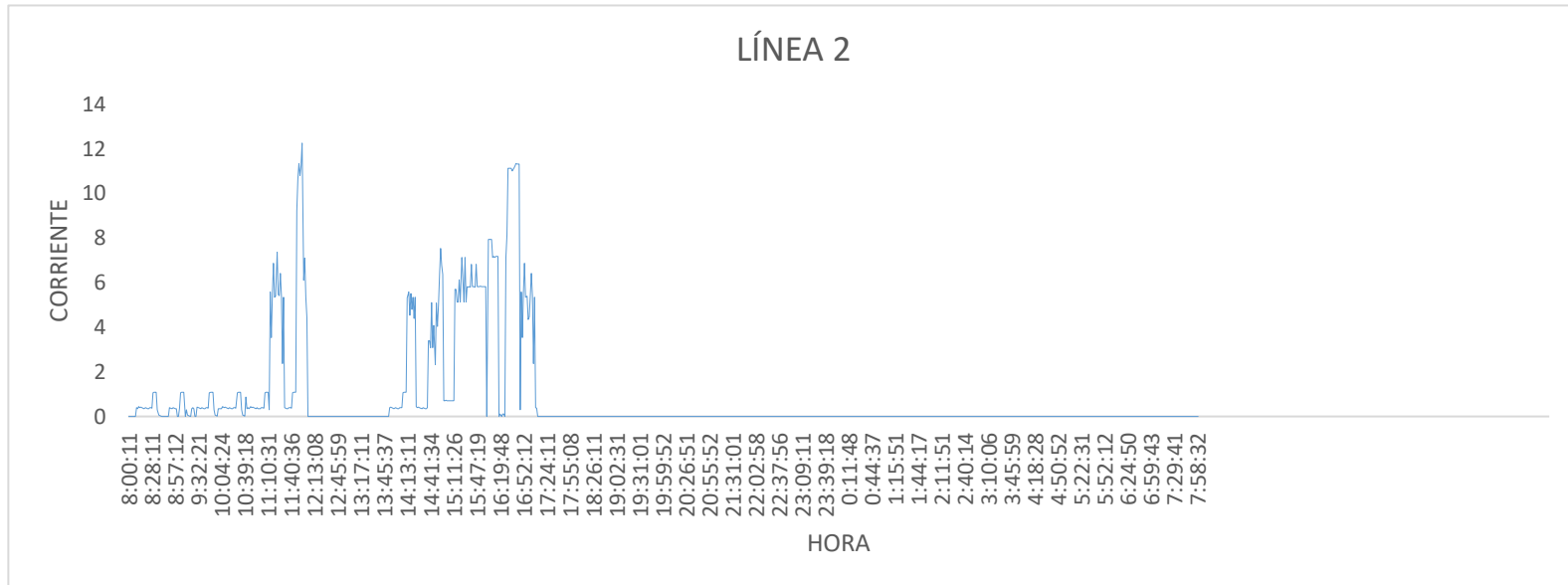
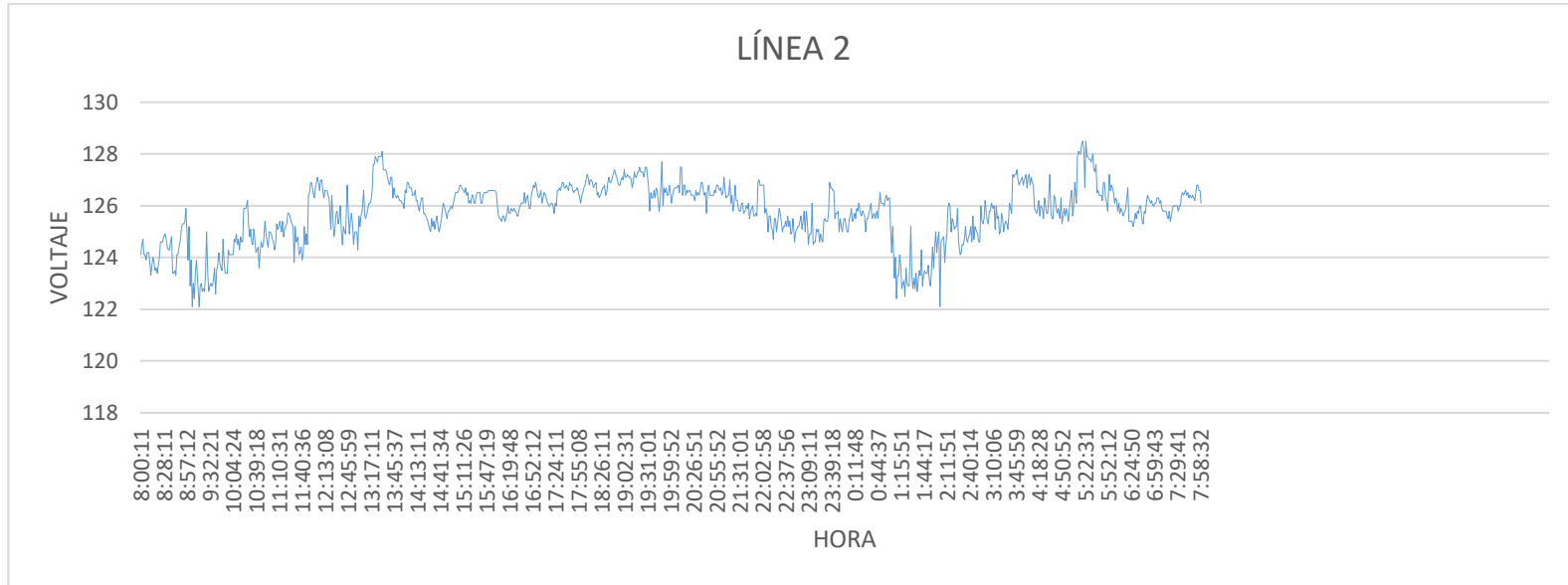


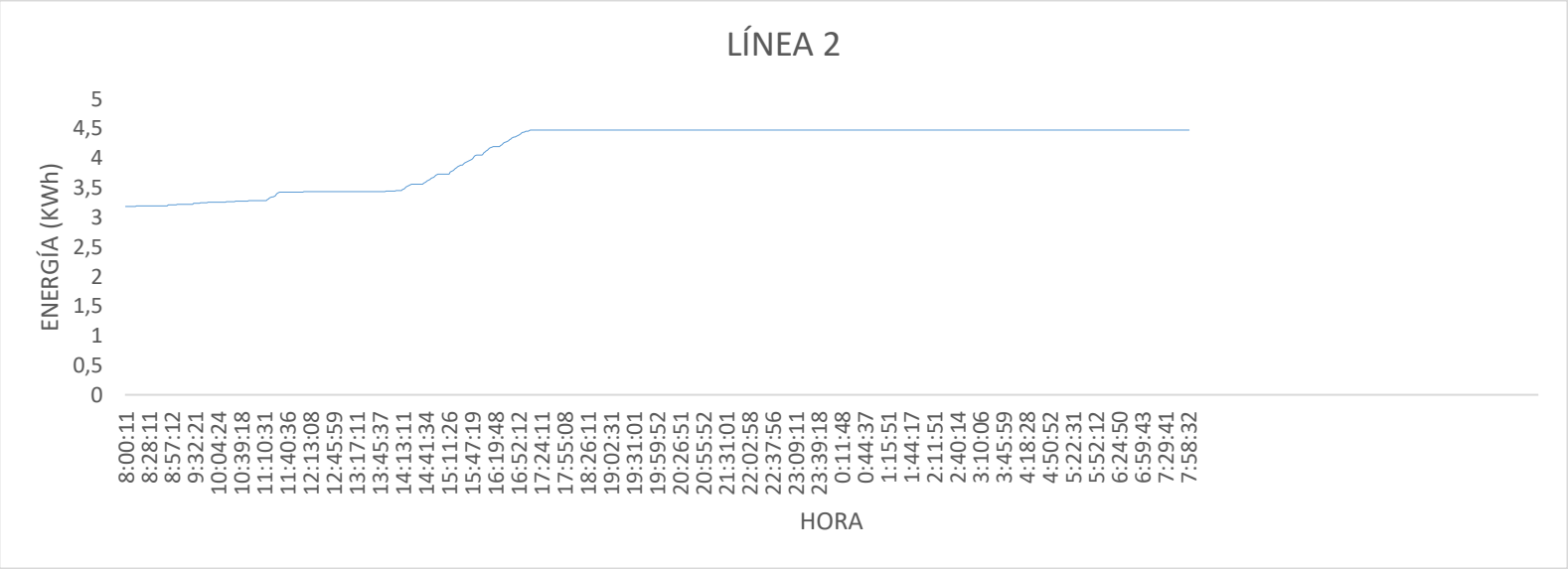
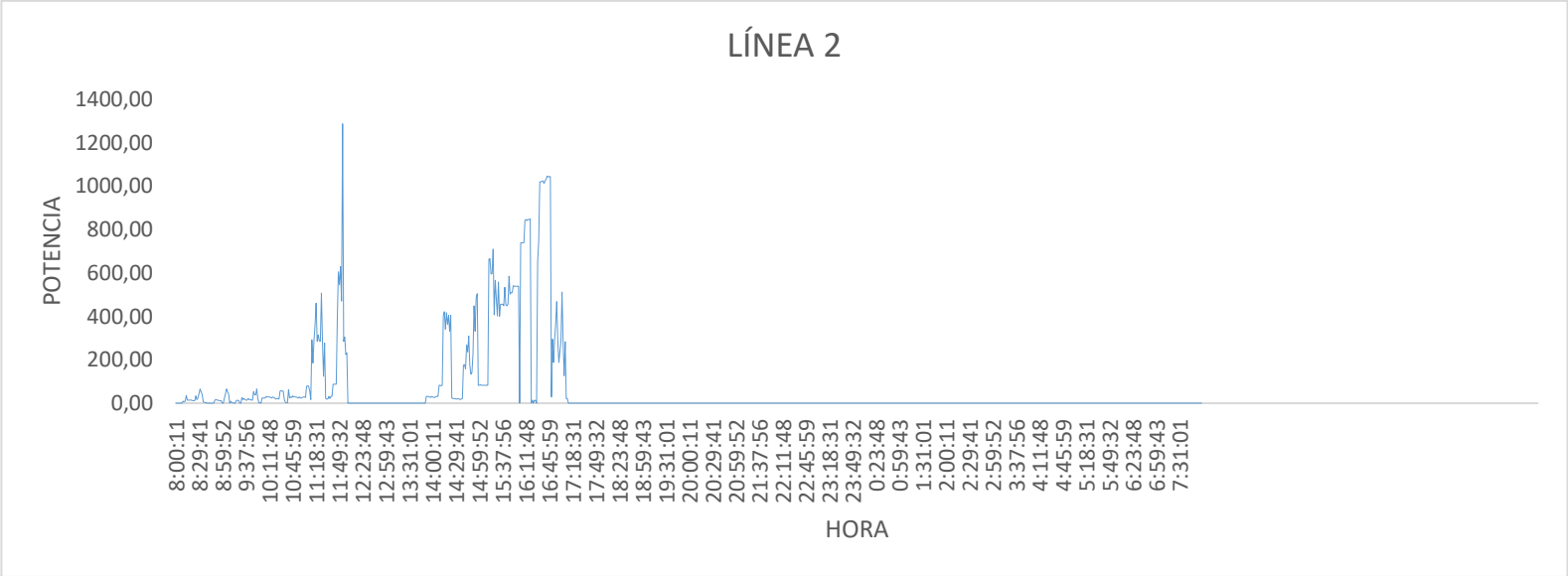
DÍA 4: JUEVES 11/02/2021

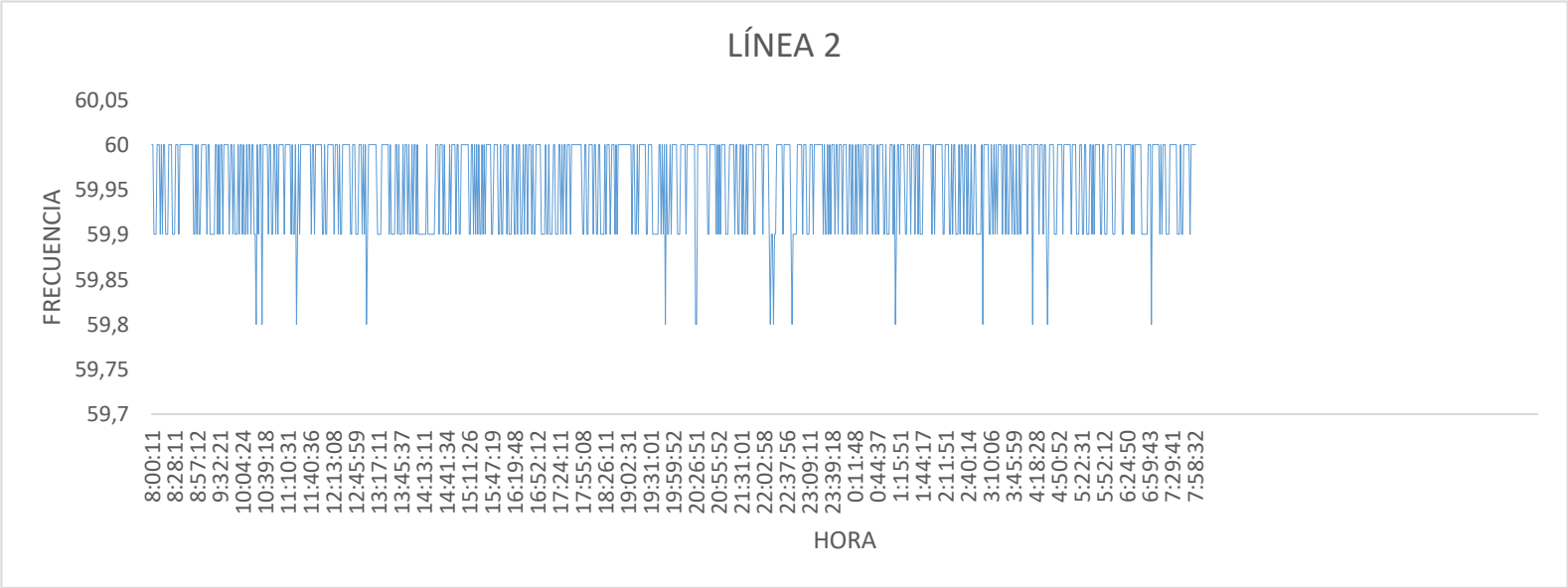
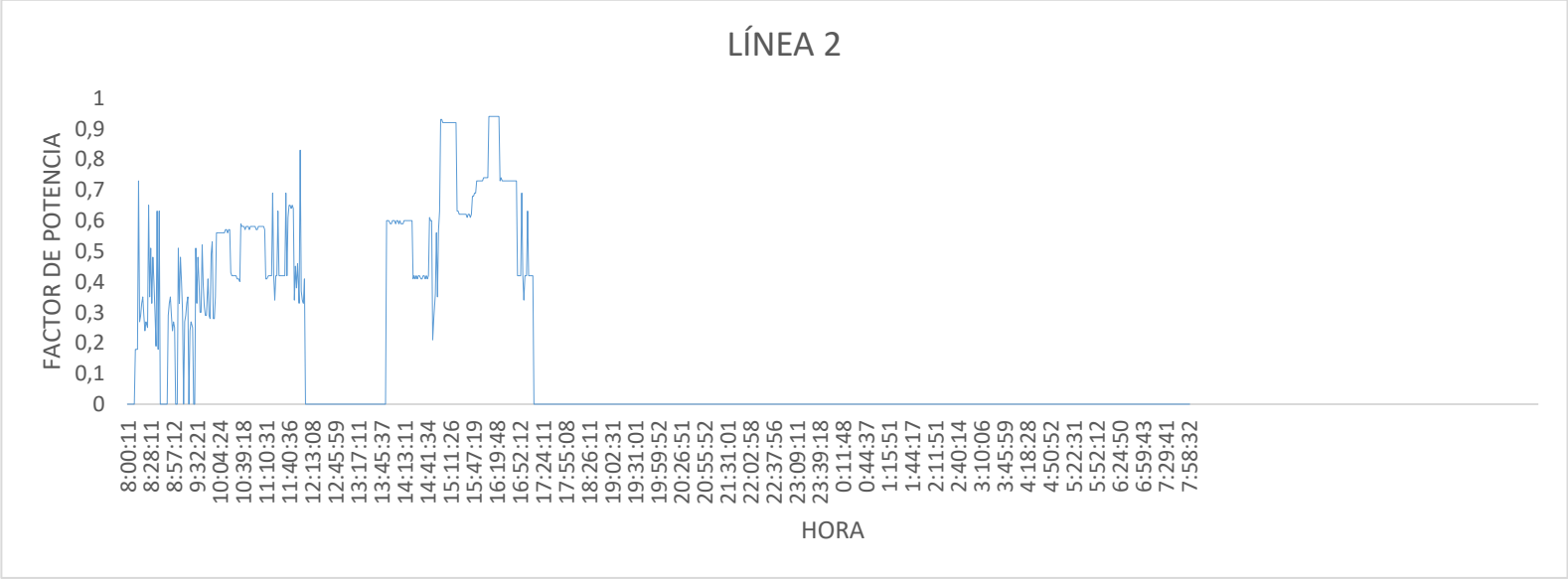




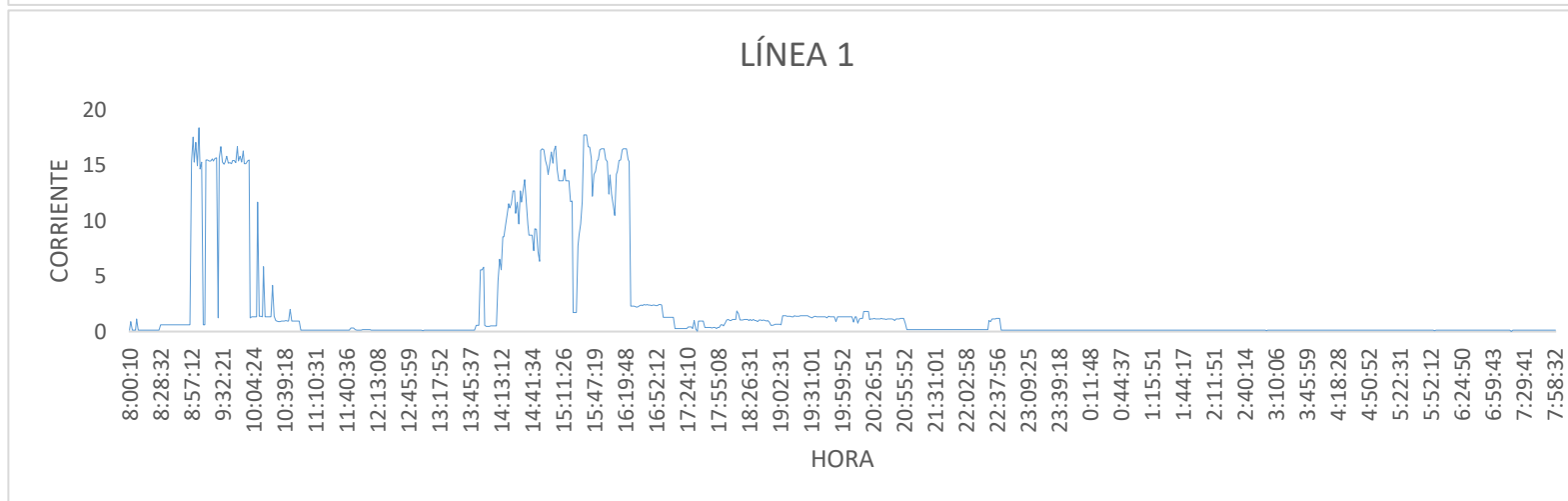
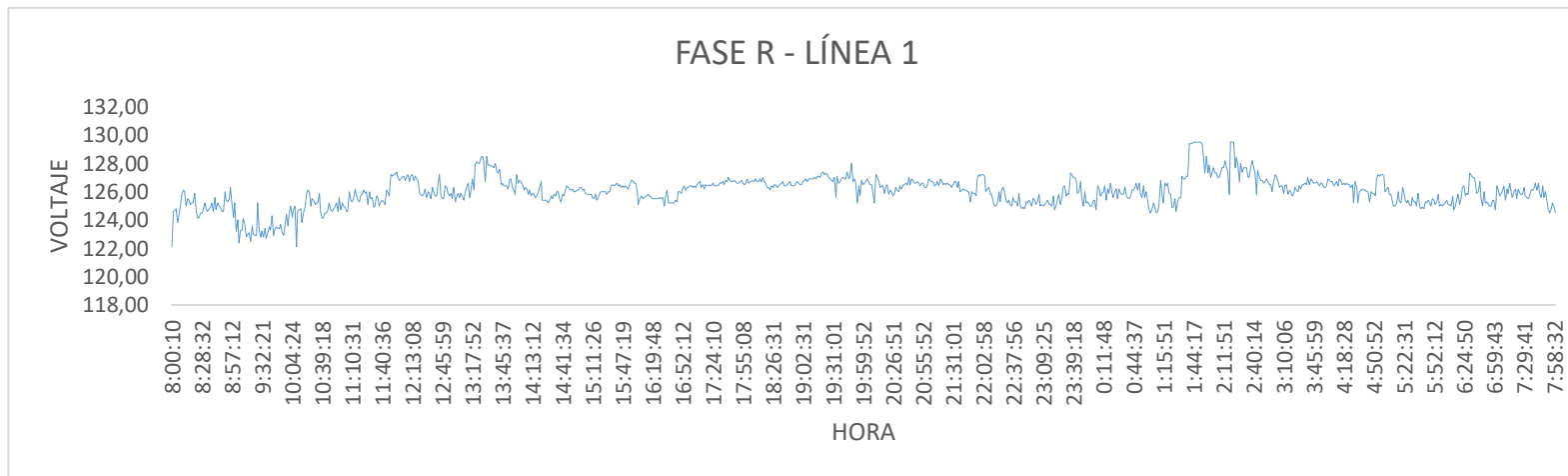


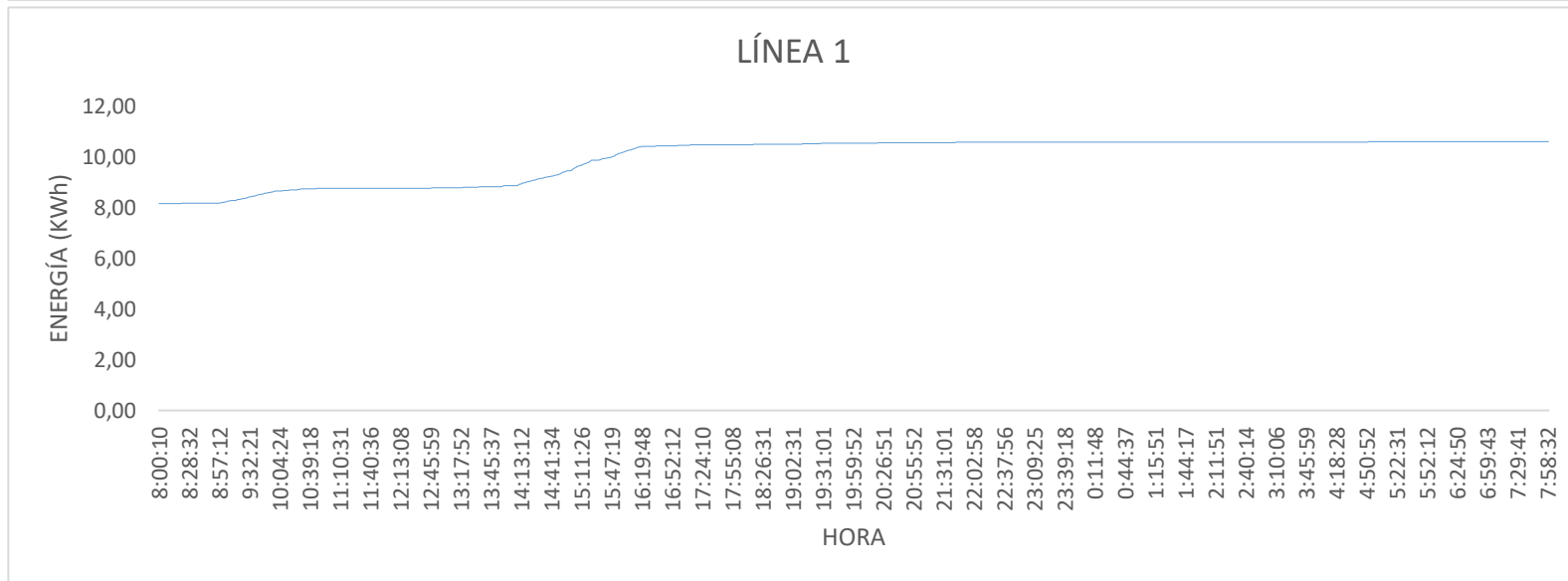
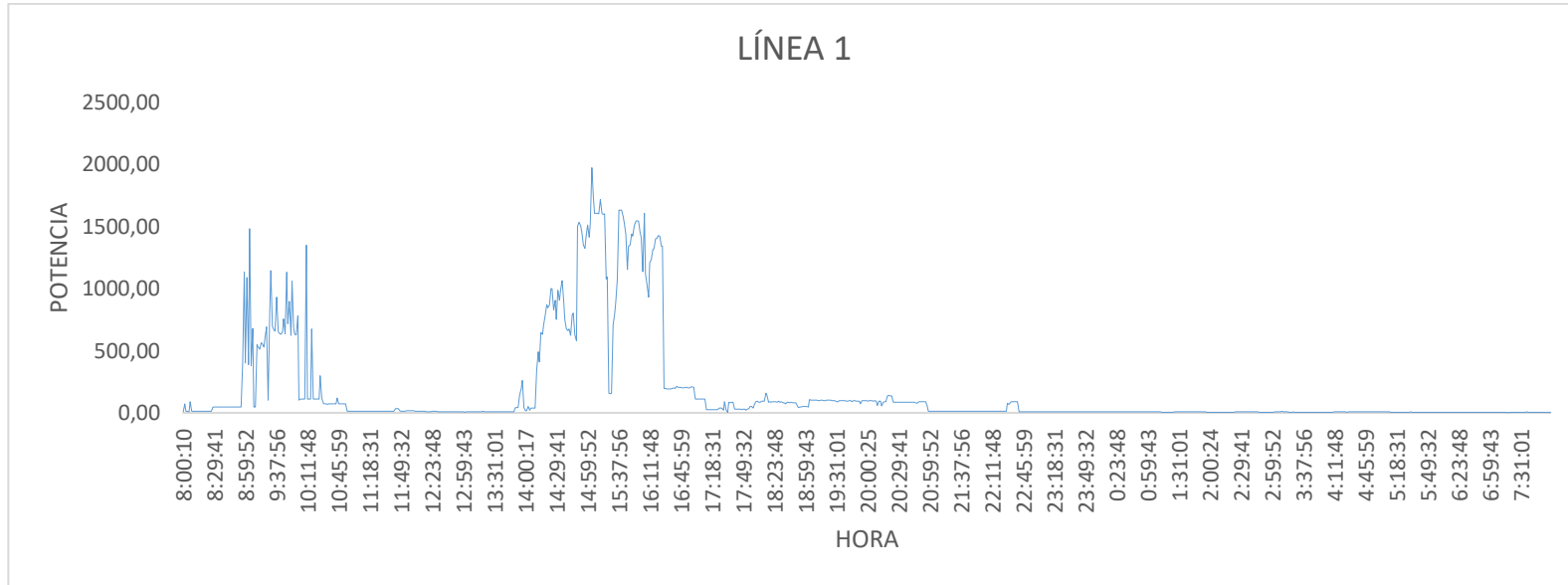


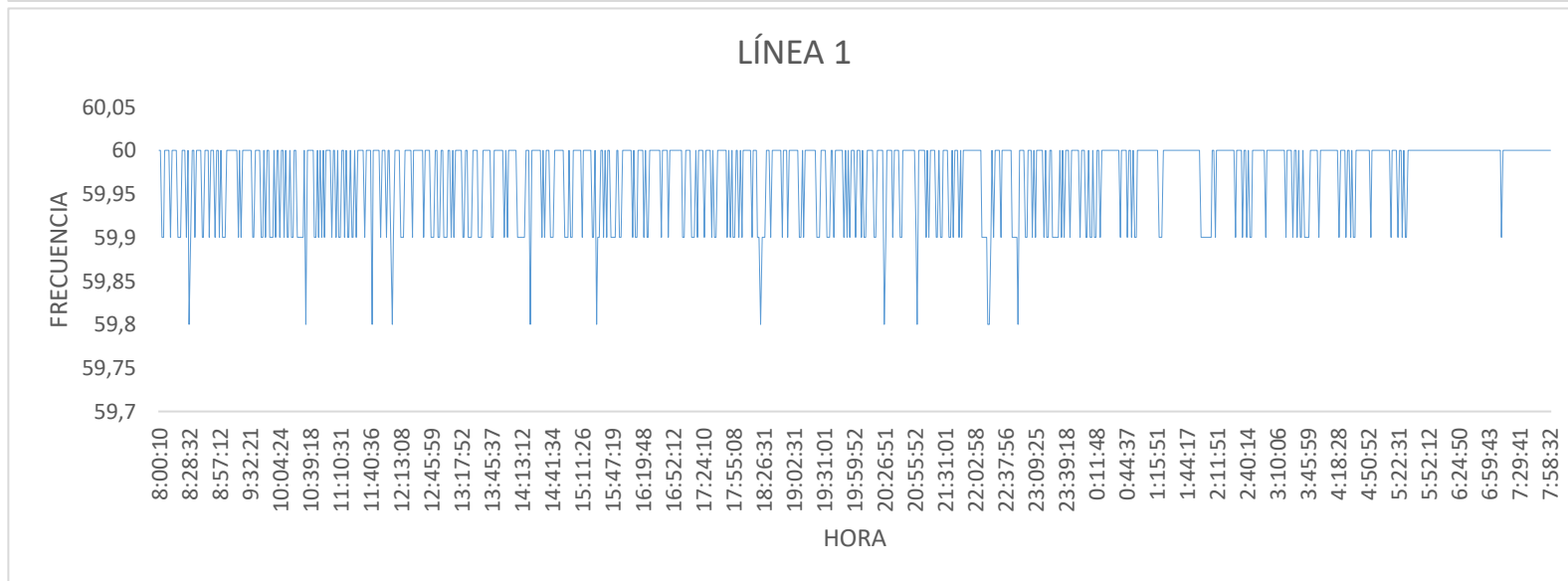
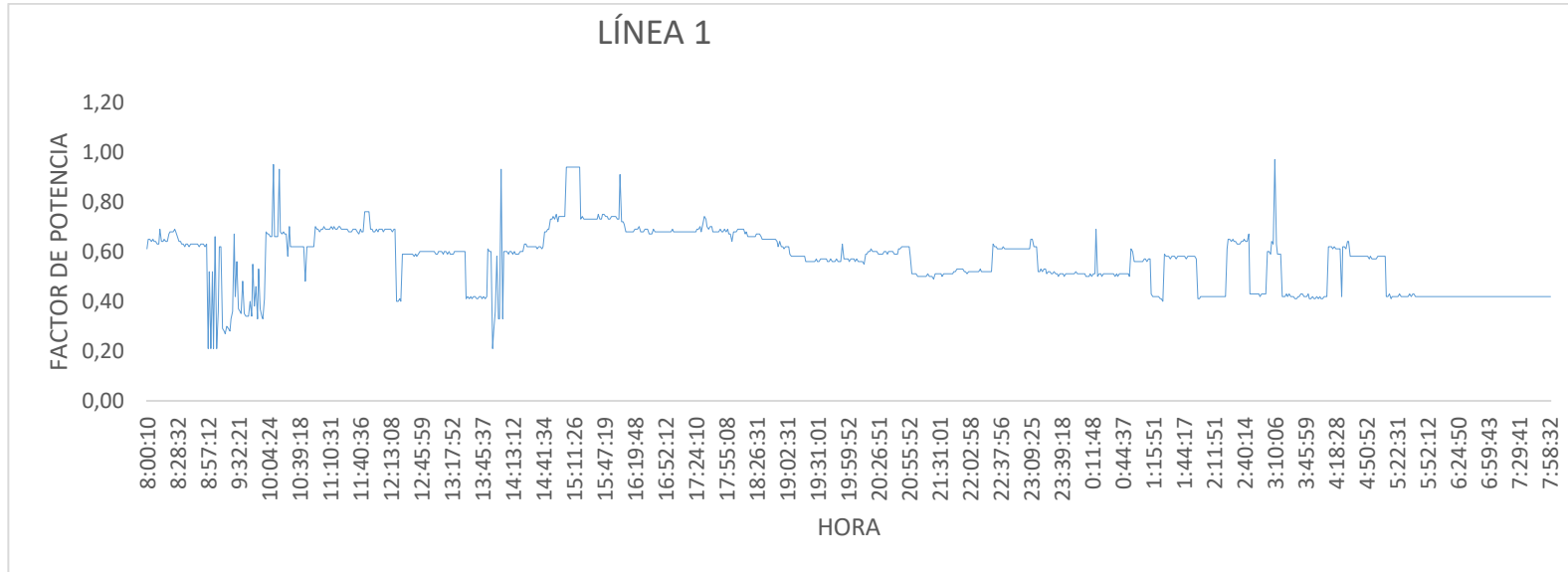


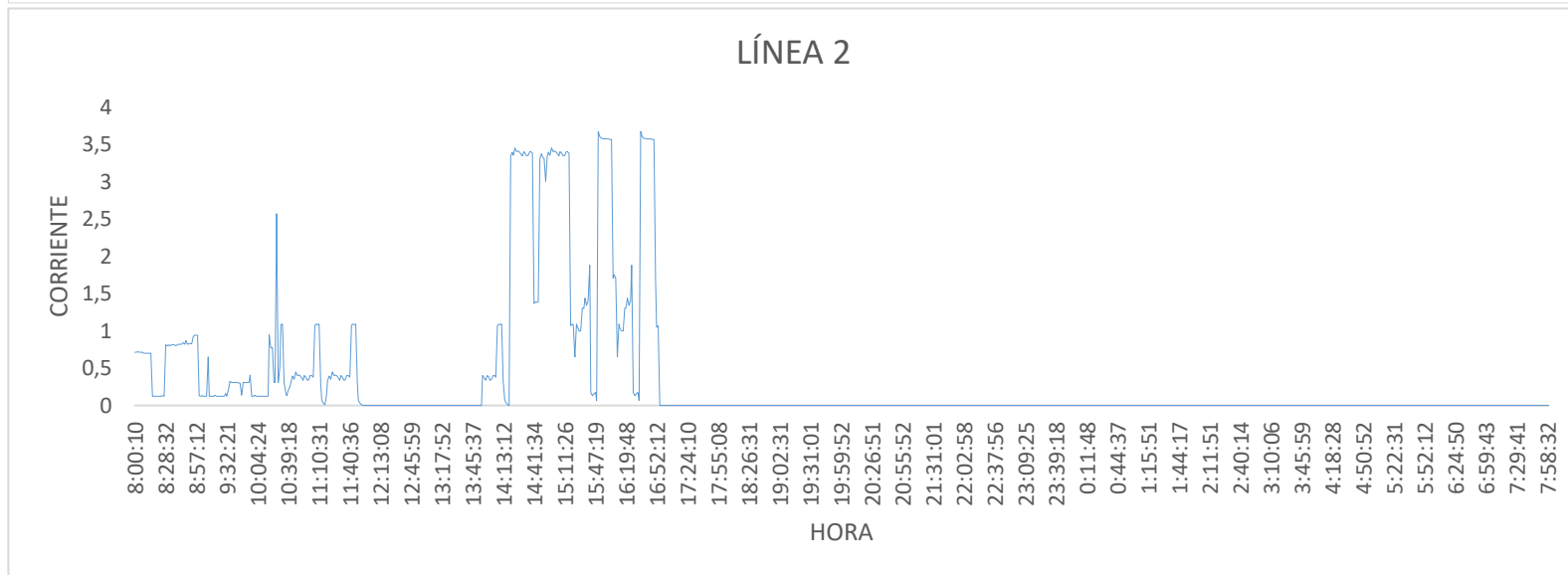
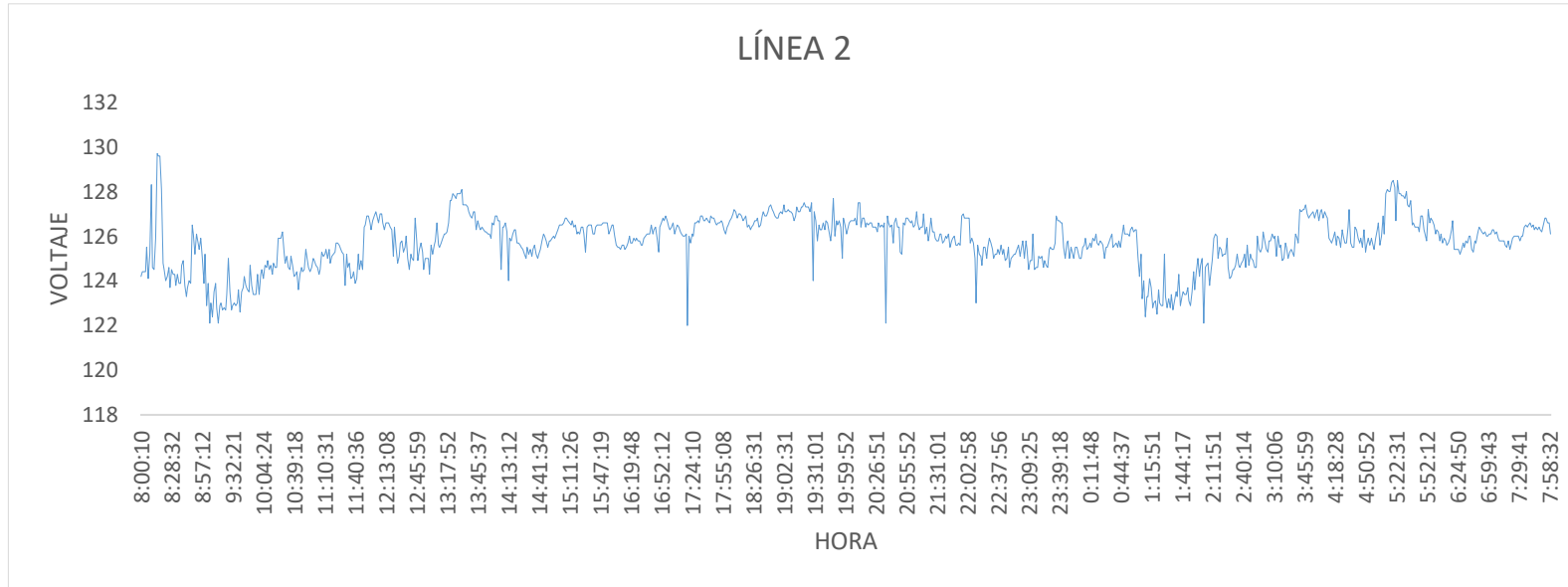


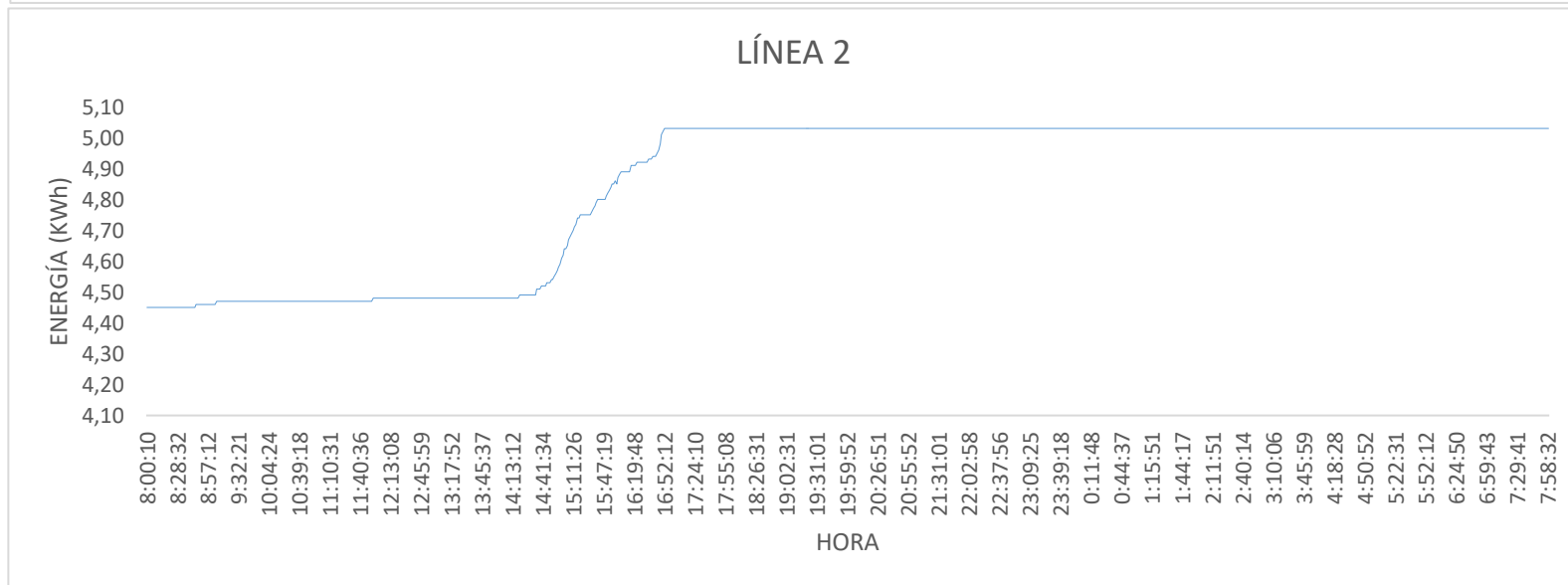
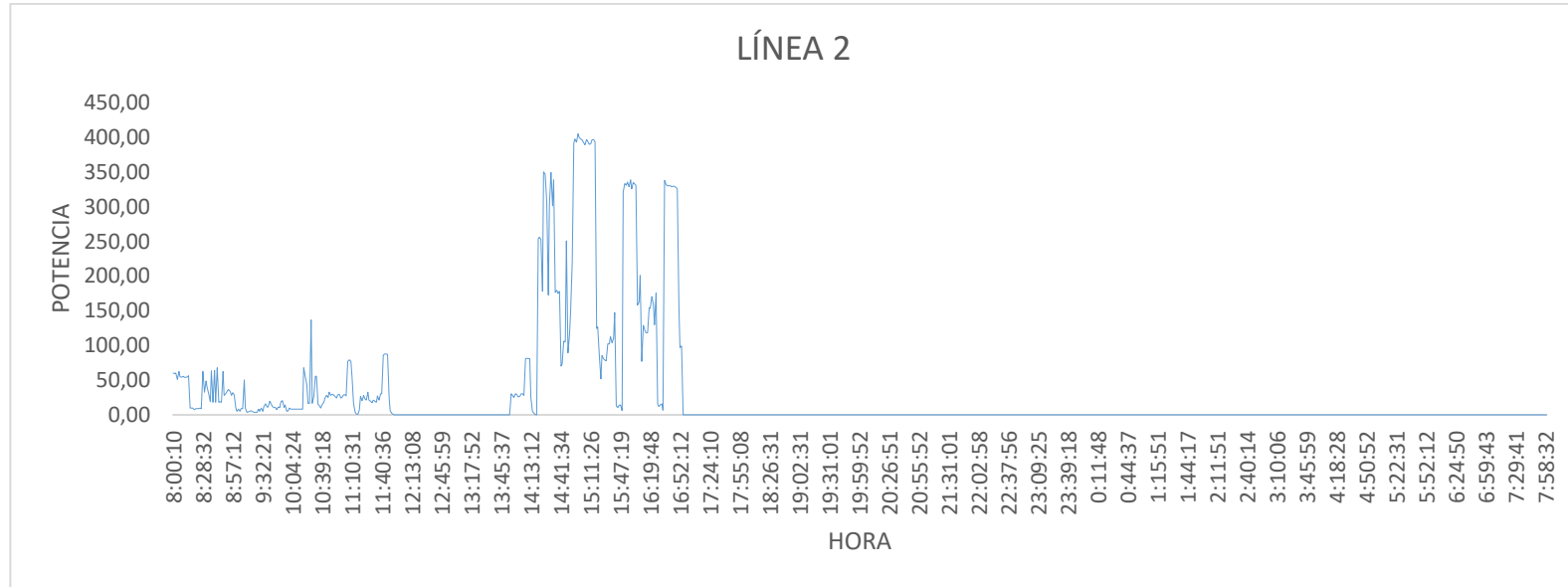
VIERNES 12/02/2021

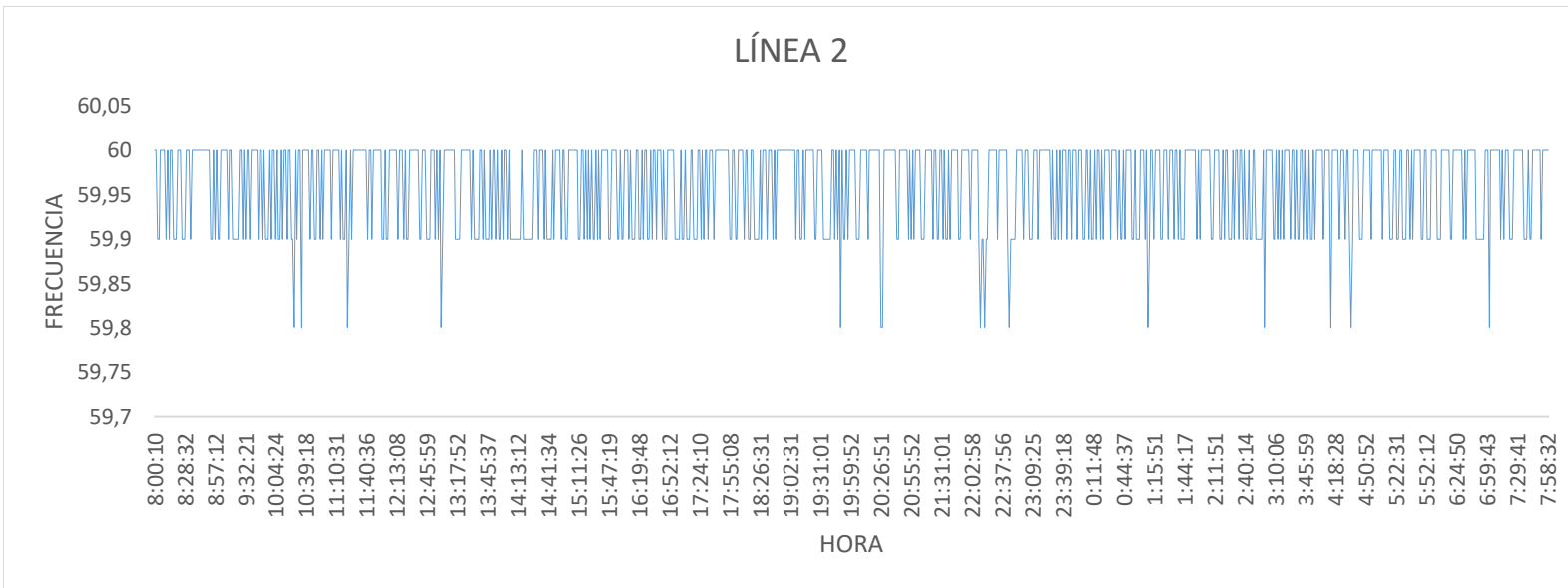
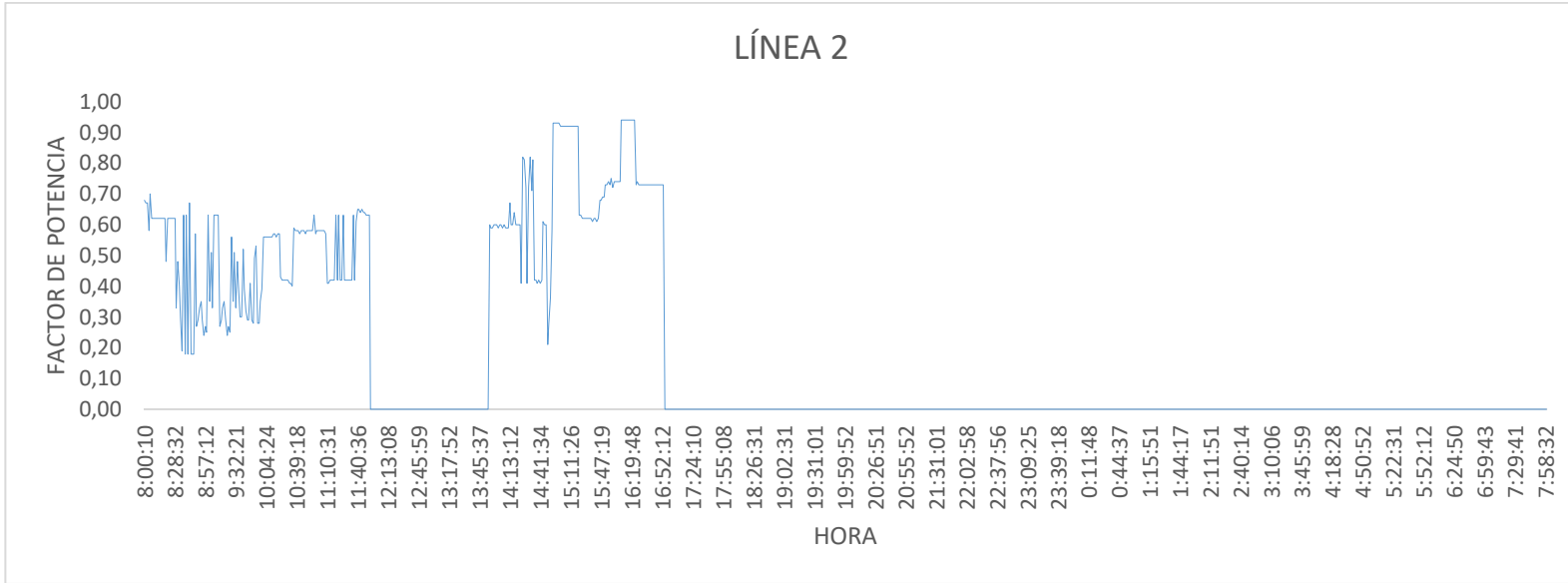


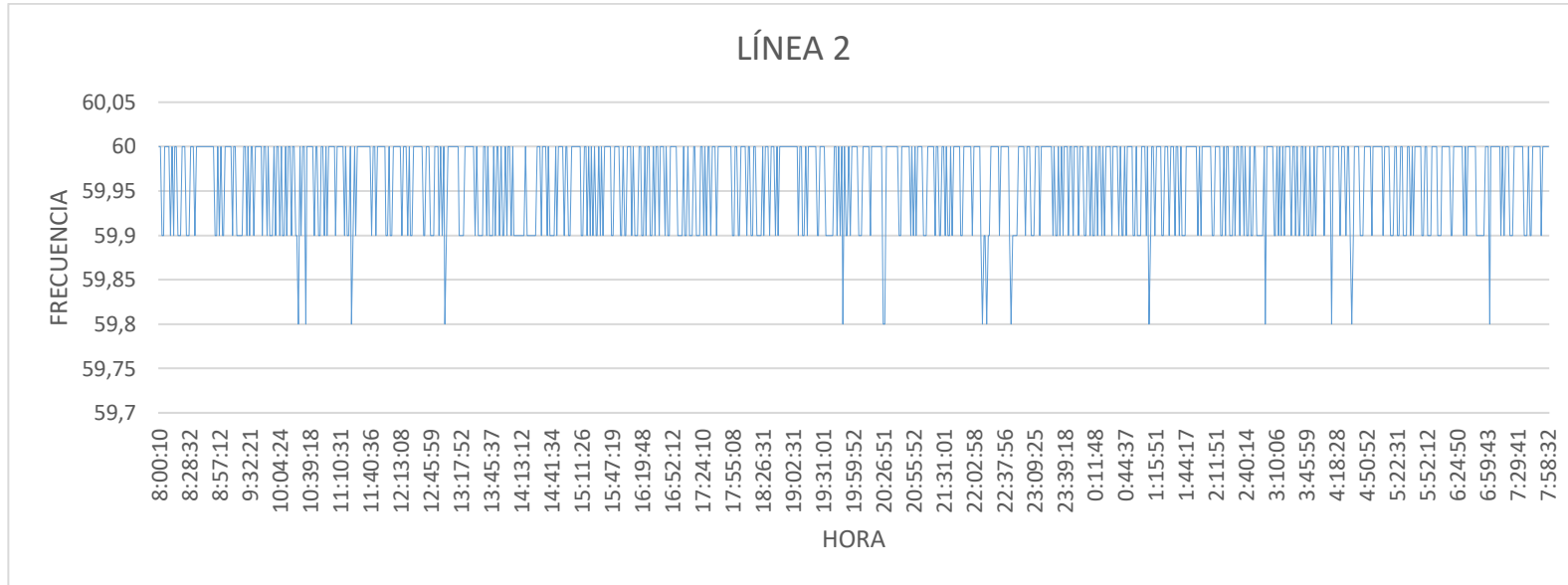












ANEXO 4. Código comunicación de módulos PZM 016

```
#include <SoftwareSerial.h>
#include "PZEM004Tv30.h"

double Rt, Ri, Rp, Re, Rfp, Rhz;
double St, Si, Sp, Se, Sfp, Shz;
double Tt, Ti, Tp, Te, Tfp, Thz;

PZEM004Tv30 pzem_004t_v301(3, 2, 1);
PZEM004Tv30 pzem_004t_v302(3, 2, 2);
PZEM004Tv30 pzem_004t_v303(3, 2, 3);

unsigned long tiempoUno = 0;
unsigned long t1 = 0, t2, t3;
int br1 = 0, br2 = 0, br3 = 0, br4 = 0;

void setup()
{
  Serial.begin(115200); Serial.flush(); while (Serial.available() >
0) Serial.read();
}
String Data1 = "";
bool stringComplete = false;
int ConteoPMC = 0;
void loop()
{

  if (Serial.available() > 0) {
    char inChar = (char)Serial.read();
    if ((inChar == '\r') || (inChar == '\n')) {
      stringComplete = true;
    } else {
      Data1 += inChar;
    }
  }
  if (stringComplete) {
    if (Data1 == "nGR") {
      Serial.print(Rt); Serial.print(","); Serial.print(Ri);
      Serial.print(",");
      Serial.print(Rp); Serial.print(","); Serial.print(Re);
      Serial.print(",");
      Serial.print(Rfp); Serial.print(","); Serial.print(Rhz);
      Serial.println();
    }
    if (Data1 == "nGRcl") {
      pzem_004t_v301.resetEnergy();
    }
    if (Data1 == "nGS") {
      Serial.print(St); Serial.print(","); Serial.print(Si);
      Serial.print(",");
      Serial.print(Sp); Serial.print(","); Serial.print(Se);
      Serial.print(",");
      Serial.print(Sfp); Serial.print(","); Serial.print(Shz);
      Serial.println();
    }
    if (Data1 == "nGScl") {
```

```

    pzem_004t_v302.resetEnergy();
}
if (Data1 == "nGT") {
    Serial.print(Tt); Serial.print(","); Serial.print(Ti);
Serial.print(",");
    Serial.print(Tp); Serial.print(","); Serial.print(Te);
Serial.print(",");
    Serial.print(Tfp); Serial.print(","); Serial.print(Thz);
Serial.println();
}
if (Data1 == "nGTcl") {
    pzem_004t_v303.resetEnergy();
}

Data1 = "";
stringComplete = false;
}
if ((millis() - t1) >= 500) {
    t1 = millis();
    ConteoPMC += 1;
}
if (ConteoPMC > 3) {
    ConteoPMC = 0;
    br1 = 0;
    br2 = 0;
    br3 = 0;
}
if (ConteoPMC == 1) {
    if (br1 == 0) {
        Rt = pzem_004t_v301.voltage();
        Ri = pzem_004t_v301.current();
        Rp = pzem_004t_v301.power();
        Re = pzem_004t_v301.energy();
        Rfp = pzem_004t_v301.pf();
        Rhz = pzem_004t_v301.frequency();
        br1 = 1;
    }
}
if (ConteoPMC == 2) {
    if (br2 == 0) {
        St = pzem_004t_v302.voltage();
        Si = pzem_004t_v302.current();
        Sp = pzem_004t_v302.power();
        Se = pzem_004t_v302.energy();
        Sfp = pzem_004t_v302.pf();
        Shz = pzem_004t_v302.frequency();
        br2 = 1;
    }
}
if (ConteoPMC == 3) {
    if (br3 == 0) {
        Tt = pzem_004t_v303.voltage();
        Ti = pzem_004t_v303.current();
        Tp = pzem_004t_v303.power();
        Te = pzem_004t_v303.energy();
        Tfp = pzem_004t_v303.pf();
        Thz = pzem_004t_v303.frequency();
        br3 = 1;
    }
}
}

```

```

if (isnan(Rt)) {
    Rt = 0;
}
if (isnan(Ri)) {
    Ri = 0;
}
if (isnan(Rp)) {
    Rp = 0;
}
if (isnan(Re)) {
    Re = 0;
}
if (isnan(Rfp)) {
    Rfp = 0;
}
if (isnan(Rhz)) {
    Rhz = 0;
}

if (isnan(St)) {
    St = 0;
}
if (isnan(Si)) {
    Si = 0;
}
if (isnan(Sp)) {
    Sp = 0;
}
if (isnan(Se)) {
    Se = 0;
}
if (isnan(Sfp)) {
    Sfp = 0;
}
if (isnan(Shz)) {
    Shz = 0;
}

if (isnan(Tt)) {
    Tt = 0;
}
if (isnan(Ti)) {
    Ti = 0;
}
if (isnan(Tp)) {
    Tp = 0;
}
if (isnan(Te)) {
    Te = 0;
}
if (isnan(Tfp)) {
    Tfp = 0;
}
if (isnan(Thz)) {
    Thz = 0;
}
}

```

Anexo 5. Código comunicación de módulo LoRa emisor

```
#include "heltec.h"

#define BAND    433E6 //configuracion de Banda de comunicacion de 868E6
hasta 915E6

unsigned int counter = 0;
String rssi = "RSSI --";
String packSize = "--";
String packet ;

String data2 = "";
bool stringCompleter1 = false;

void cbk(int packetSize) {
    packet = "";
    packSize = String(packetSize, DEC);
    for (int i = 0; i < packetSize; i++) {
        packet += (char) LoRa.read();
    }
    rssi = "RSSI " + String(LoRa.packetRssi(), DEC) ;
    Serial2.println(packet);
    Serial.println(packet);
}

void setup()
{
    Serial.begin(115200);
    Heltec.begin(true /*DisplayEnable Enable*/, true
/*Heltec.Heltec.Heltec.LoRa Disable*/, true /*Serial Enable*/, true
/*PABOOST Enable*/, BAND /*long BAND*/);
    LoRa.receive();
    Serial2.begin(9600, SERIAL_8N1, 22, 23);
    delay(1500);
    Heltec.display->clear();
}

long t1 = 0, t2 = 0, t3 = 0;
void loop()
{
    t1 += 1;
    int packetSize = LoRa.parsePacket();
    if (packetSize) {
        cbk(packetSize);
    }

    if (Serial2.available() > 0) {
        char inChar1 = (char)Serial2.read();
        if (inChar1 == '\n' ) {
            stringCompleter1 = true;
        } else if (inChar1 != '\r') {
            data2 += inChar1;
        }
    }

    if (stringCompleter1) {
        Serial.println(data2);
    }
}
```

```

        if ((data2 == "nGR") || (data2 == "nGS") || (data2 == "nGT") || (data2
== "nGRcl") || (data2 == "nGScl") || (data2 == "nGTcl")) {
            LoRa.beginPacket();
            LoRa.setTxPower(14, RF_PACONFIG_PASELECT_PABOOST);
            LoRa.print(data2);
            LoRa.endPacket();
        }

        data2 = "";
        stringComplete1 = false;
    }
}

```

Anexo 6. Código comunicación de módulo LoRa receptor

```

#include "heltec.h"
#include "images.h"

#define BAND      890E6 //you can set band here directly,e.g. 868E6,915E6
String rssi = "RSSI --";
String packSize = "--";
String packet ;

void logo() {
    Heltec.display->clear();
    Heltec.display->drawXbm(0, 5, logo_width, logo_height, logo_bits);
    Heltec.display->display();
}

void LoRaData() {
    Heltec.display->clear();
    Heltec.display->setTextAlignment(TEXT_ALIGN_LEFT);
    Heltec.display->setFont(ArialMT_Plain_16);
    // Heltec.display->drawString(0 , 15 , "Received "+ packSize + " bytes");
    Heltec.display->drawStringMaxWidth(0 , 32 , 128, packet);
    //Heltec.display->drawString(0, 0, rssi);
    Heltec.display->display();
}

void cbk(int packetSize) {
    packet = "";
    packSize = String(packetSize, DEC);
    for (int i = 0; i < packetSize; i++) {
        packet += (char) LoRa.read();
    }
    rssi = "RSSI " + String(LoRa.packetRssi(), DEC) ;
    LoRaData();
}

void setup() {
    //WIFI Kit series V1 not support Vext control
    Heltec.begin(true /*DisplayEnable Enable*/, true
/*Heltec.Heltec.Heltec.LoRa Disable*/, true /*Serial Enable*/, true
/*PABOOST Enable*/, BAND /*long BAND*/);

    Heltec.display->init();
    Heltec.display->flipScreenVertically();
}

```

```

Heltec.display->setFont(ArialMT_Plain_10);
logo();
delay(1500);
Heltec.display->clear();

Heltec.display->drawString(0, 0, "Heltec.LoRa Initial success!");
Heltec.display->drawString(0, 10, "Wait for incoming data...");
Heltec.display->display();
delay(1000);
//LoRa.onReceive(cbk);
LoRa.receive();
}

void loop() {
  int packetSize = LoRa.parsePacket();
  if (packetSize) {
    cbk(packetSize);
  }
  delay(10);
}

```

Anexo 7. Código almacenamiento tarjeta SD

```

void SDArchivo() {
  t1SD += 1;
  if (t1SD > 2200) {
    t1SD = 2200;
  }

  if (t1SD > 2000) {
    if (brSD0 == 0) {
      nomData = (String(dataDia) + "-" + String (dataMes) + "-" + String
(dataYear - 2000) + String(".txt"));
      SDminutoAnt = dataMinuto;
      brSD0 = 1;
      //Serial.println(nomData);
    }

    if (brSD0 == 1) {
      if (dataMinuto != SDminutoAnt) {
        nomData = (String(dataDia) + "-" + String (dataMes) + "-" + String
(dataYear - 2000) + String(".txt"));

        miArchivo = SD.open(String(nomData), FILE_WRITE);
        if (miArchivo) {
          // datos de tiempo (hora y minuto)
          miArchivo.print(dataHora)      ; miArchivo.print(",");
          miArchivo.print(dataMinuto)    ; miArchivo.print(",");
          miArchivo.print(Vr)           ; miArchivo.print(",");
          miArchivo.print(Hzr)          ; miArchivo.print(",");
          miArchivo.print(Ar)           ; miArchivo.print(",");
          miArchivo.print(Pr)           ; miArchivo.print(",");
          miArchivo.print(Fpr)          ; miArchivo.print(",");
          miArchivo.print(Er);
          miArchivo.println();
          miArchivo.close();
        } else {}
        SDminutoAnt = dataMinuto;
      }
    }
  }
}

```

Anexo 8. Código comunicación ESP8266 Wifi

```
#include <ESP8266WiFi.h> // libreria de modulo ESP8366

//String apiKey = "8JS5ISN30PMJKS40";
String apiKeyR = "0K746LJTFUXBMOQS";
String apiKeyS = "T3O6A13605H6SFJN";
String apiKeyT = "CPALI95PNWE2ZZQ4";
const char* ssid = "COFRE.MARCO.ATV"; // NOMBRE
DE RED WIFI
const char* password = "cofre72125."; //
CONTRASEÑA DE WIFI
const char* server = "api.thingspeak.com";

WiFiClient client;

String data2a = "";
bool stringCompleta = false;

float Vr = 0, Ar = 0, Fpr = 0, Er = 0, Hvr = 0, Pr = 0;
float Vs = 0, As = 0, Fps = 0, Es = 0, Hvs = 0, Ps = 0;
float Vt = 0, At = 0, Fpt = 0, Et = 0, Hvt = 0, Pt = 0;
const char separator = ',';
const int dataLength = 6;
float dataA[] = {0, 0, 0, 0, 0, 0};

// On ESP8266:
// At 80MHz runs up 57600ps, and at 160MHz CPU frequency up to 115200bps
// with only negligible errors.
// Connect pin 12 to 14.

#include <SoftwareSerial.h>

#ifdef D5
#define D5 (14)
#define D6 (12)
#define D7 (13)
#define D8 (15)
#define TX (1)
#elif defined(ESP32)
#define D5 (18)
#define D6 (19)
#define D7 (23)
#define D8 (5)
#define TX (1)
#endif
#endif

#ifdef ESP32
#define BAUD_RATE 9600
#else
#define BAUD_RATE 9600
#endif
#endif
```

```

SoftwareSerial swSer;

void setup() {
  Serial.begin(9600);

  swSer.begin(BAUD_RATE, SWSERIAL_8N1, D5, D6, false, 95, 11);
  for (char ch = ' '; ch <= 'z'; ch++) {
    swSer.write(ch);
  }
  swSer.println("");

  WiFi.begin(ssid, password);
  Serial.println();
  Serial.println();
  Serial.print("Connecting to ");
  Serial.println(ssid);
  WiFi.begin(ssid, password);

  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(500);
    Serial.print(".");
  }
  Serial.println("");
  Serial.println("WiFi connected");
}

int segundo = 0;
int temperatura = 0;
int humedad = 0;
int acol = 0;
int voltaje = 0;
int corriente = 0;
long t1 = 0, t2 = 0, t3 = 0, t4 = 0, t7 = 0, t6 = 0;
int br0 = 0, br1 = 0, br2 = 0;

int tiempo = 0, data1 = 0;
int esAnt = 0;
int segt2 = 0;
long p1 = 0, p2 = 0;
int Emi0 = 0, Emi1 = 0, Emi2 = 0, Emi3 = 0, Emi4 = 0, Emi5 = 0, Emi6 = 0;
int EmiCont = 0;
String direcAmacemaniento = "";

void loop() {

  // Serial.println(t1);

  if (t1 > (t4 + 3000)) {
    //loraSerial.println("nGR");
    EmiCont += 1;

    t4 = t1;
  }
  if (EmiCont > 3) {
    EmiCont = 0;
    Emi0 = 0;
    Emi1 = 0;
    Emi2 = 0;
  }
}

```

```

if (EmiCont == 1) {
  if (Emi0 == 0) {

    swSer.write("nGR");
    //swSer.println("nGR");

    Serial.println("nGR");
    yield();
    direcAmacemaniento = "nGR";
    Emi0 = 1;
  }
}
if (EmiCont == 2) {
  if (Emi1 == 0) {
    //swSer.println("nGS");
    swSer.write("nGS");
    Serial.println("nGS");
    yield();
    direcAmacemaniento = "nGS";
    Emi1 = 1;
  }
}
if (EmiCont == 3) {
  if (Emi2 == 0) {
    //swSer.println("nGT");
    swSer.write("nGT");
    Serial.println("nGT");
    yield();
    direcAmacemaniento = "nGT";
    Emi2 = 1;
  }
}

if (swSer.available() > 0) {
  char inChar1 = (char)swSer.read();
  yield();
  Serial.println(data2a);
  if ((inChar1 == '\r' ) || (inChar1 == '\n' )) {
    stringCompleta1 = true;
  } else if (inChar1 != '\r') {
    data2a += inChar1;
  }
}

if (stringCompleta1 == true) {

  yield();
  for (int i = 0; i < dataLength; i++) {
    int index = data2a.indexOf(separator);
    dataA[i] = data2a.substring(0, index).toFloat();
    data2a = data2a.substring(index + 1 );
  }

  if (data2a.length() == 5) {

    if (direcAmacemaniento == "nGR") {
      Vr    = dataA[0];
      Ar    = dataA[1];
      Pr    = dataA[2];
    }
  }
}

```

```

    Er    = dataA[3];
    Fpr   = dataA[4];
    Hzr   = dataA[5];
    t4 = t1;
    //Serial.println("Guardado fase R");
}
if (direcAmacemaniento == "nGS") {
    Vs    = dataA[0];
    As    = dataA[1];
    Ps    = dataA[2];
    Es    = dataA[3];
    Fps   = dataA[4];
    Hzs   = dataA[5];
    t6 = t1;
    // Serial.println("Guardado fase S");
}
if (direcAmacemaniento == "nGT") {
    Vt    = dataA[0];
    At    = dataA[1];
    Pt    = dataA[2];
    Et    = dataA[3];
    Fpt   = dataA[4];
    HzT   = dataA[5];
    t7 = t1;
    // Serial.println("Guardado fase T");
}
direcAmacemaniento = "";
}

data2a = "";
stringCompleta = false;
}
t1 = millis();
if (t1 > (t2 + 1000)) {
    t3 += 1;
    t2 = t1;
}

if (t3 == 1) {
    if (br0 == 0) {
        if (client.connect(server, 80)) {
            String postStr = apiKeyR;
            postStr += "&field1=";
            postStr += String(Vr);
            postStr += "&field2=";
            postStr += String(Ar);
            postStr += "&field3=";
            postStr += String(Pr);
            postStr += "&field4=";
            postStr += String(Er);
            postStr += "&field5=";
            postStr += String(Fpr);
            postStr += "&field6=";
            postStr += String(Hzr);
            postStr += "\r\n\r\n";
            client.print("POST /update HTTP/1.1\n");
            client.print("Host: api.thingspeak.com\n");
            client.print("Connection: close\n");
            client.print("X-THINGSPEAKAPIKEY: " + apiKeyR + "\n");
            client.print("Content-Type: application/x-www-form-urlencoded\n");

```

```

        client.print("Content-Length: ");
        client.print(postStr.length());
        client.print("\n\n");
        client.print(postStr);
        Serial.println("% send to Thingspeak");
    }
    client.stop();
    br0 = 1;
}
}

if (t3 == 2) {
    if (br1 == 0) {
        if (client.connect(server, 80)) {
            String postStr = apiKeyS;
            postStr += "&field1=";
            postStr += String(Vs);
            postStr += "&field2=";
            postStr += String(As);
            postStr += "&field3=";
            postStr += String(Ps);
            postStr += "&field4=";
            postStr += String(Es);
            postStr += "&field5=";
            postStr += String(Fps);
            postStr += "&field6=";
            postStr += String(Hzs);
            postStr += "\r\n\r\n";
            client.print("POST /update HTTP/1.1\n");
            client.print("Host: api.thingspeak.com\n");
            client.print("Connection: close\n");
            client.print("X-THINGSPEAKAPIKEY: " + apiKeyS + "\n");
            client.print("Content-Type: application/x-www-form-urlencoded\n");
            client.print("Content-Length: ");
            client.print(postStr.length());
            client.print("\n\n");
            client.print(postStr);
            Serial.println("% send to Thingspeak");
        }
        client.stop();
        br1 = 1;
    }
}

if (t3 == 3) {
    if (br2 == 0) {
        if (client.connect(server, 80)) {
            String postStr = apiKeyT;
            postStr += "&field1=";
            postStr += String(Vt);
            postStr += "&field2=";
            postStr += String(At);
            postStr += "&field3=";
            postStr += String(Pt);
            postStr += "&field4=";
            postStr += String(Et);
            postStr += "&field5=";
            postStr += String(Fpt);
            postStr += "&field6=";
            postStr += String(Hzt);

```

```

postStr += "\r\n\r\n";
client.print("POST /update HTTP/1.1\n");
client.print("Host: api.thingspeak.com\n");
client.print("Connection: close\n");
client.print("X-THINGSPEAKAPIKEY: " + apiKeyT + "\n");
client.print("Content-Type: application/x-www-form-urlencoded\n");
client.print("Content-Length: ");
client.print(postStr.length());
client.print("\n\n");
client.print(postStr);
Serial.println("% send to Thingspeak");
}
client.stop();
br2 = 1;
}
}
if (t3 >= 4) {
  t3 = 0;
  br0 = 0;
  br1 = 0;
  br2 = 0;
}
}
}

```