



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

ÁREA TÉCNICA

**TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

Diseño e implementación de un sistema para aprovechamiento hidro-energético en redes de distribución usando microturbinas para la energización de sistemas de telemetría.

TRABAJO DE TITULACIÓN

AUTORES: Jiménez Jiménez, Lenin Patricio
Luna Alvarado, Maria Cecilia

DIRECTOR: Ing. Quiñones Cuenca, Manuel Fernando, Mgr.

LOJA – ECUADOR

2018



Esta versión digital, ha sido acreditada bajo la licencia Creative Commons 4.0, CC BY-NY-SA: Reconocimiento-No comercial-Compartir igual; la cual permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra, mientras se reconozca la autoría original, no se utilice con fines comerciales y se permiten obras derivadas, siempre que mantenga la misma licencia al ser divulgada. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>

2018

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN

Mgtr.

Manuel Fernando Quiñones Cuenca

DOCENTE DE LA TITULACIÓN

De mi consideración:

El presente trabajo de titulación: “Diseño e implementación de un sistema de aprovechamiento hidro-energético en redes de distribución” realizado por Jiménez Jiménez Lenin Patricio y Luna Alvarado Maria Cecilia, ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presentación del mismo.

Loja, noviembre de 2018

f.).....

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

“Nosotros Jiménez Jiménez Lenin Patricio y Luna Alvarado Maria Cecilia declaramos ser autores del presente trabajo de titulación: Diseño e implementación de un sistema de aprovechamiento hidro-energético en redes de distribución, de la Titulación de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones, siendo Manuel Fernando Quiñones Cuenca director del presente trabajo; y eximimos expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de nuestra exclusiva responsabilidad.

Adicionalmente declaramos conocer y aceptar la disposición del Art. 88 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado o trabajos de titulación que se realicen con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”

f.).....

Autor: Jiménez Jiménez Lenin Patricio

Cédula:1150139721

f.).....

Autora: Luna Alvarado Maria Cecilia

Cédula: 1104296684

DEDICATORIA

A Dios.

A mis amados padres y hermanos.

Lenin Patricio Jiménez Jiménez

A Dios.

A mis amados padres y hermana.

Maria Cecilia Luna Alvarado

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primeramente Dios por todas las bendiciones recibidas. A mis padres y hermanos por su apoyo en cada paso de mi vida. A mis abuelos Pompilio y Carlota por el amor que me han brindado y por haberme alimentado durante estos cinco años. A mis amigos Darwin, Juan, José y Johan.

Lenin Patricio Jiménez Jiménez

Agradezco primero a *Dios*. A mis padres por brindarme su apoyo y amor incondicional a lo largo de mi vida. A mi hermana por ser mi compañera en todo momento. A mi familia. A mis amigos.

Maria Cecilia Luna Alvarado

COLABORACIÓN

En el desarrollo del sistema propuesto se logra su implementación mediante el apoyo de Ingenieros y Estudiantes del Departamento de Geología y Minas e Ingeniería Civil de la UTPL. Agradecemos la colaboración de: PhD. Holger Manuel Benavides Muñoz, Sr. Carlos Vivanco y Sr. Esteban Eras.

Agradecemos también al Mgtr. Manuel Fernando Quiñones Cuenca y al Mgtr. Marco Vinicio Morocho Yaguana quienes, a lo largo de nuestra formación académica, nos han brindado su conocimiento y apoyo.

TERMINOLOGÍA

ADC	Analog to Digital Converter
API	Application Programming Interface
CI	Cargador Inteligente
GPRS	General Packet Radio Service
IoT	Internet of Things
ISM	Industrial, Scientific and Medical
LoRa	Long Range
NB IoT	Narrowband IoT
RTC	Real-Time Clock
SDK	Software Development Kit
TI	Tecnologías de la Información
TTL	Transistor-Transistor Logic
UART	Universal Asynchronous Receiver-Transmitter
UG	Unidad de Generación
WiFi	Wireless Fidelity
WLAN	Wireless Local Area Network
WSN	Wireless Sensor Network
WSNs	Wireless Sensor Networks

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA	I
APROBACIÓN DEL DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN.....	II
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS.....	III
DEDICATORIA	IV
AGRADECIMIENTOS.....	V
COLABORACIÓN.....	VI
TERMINOLOGÍA	VII
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
ÍNDICE DE TABLAS.....	XIII
RESUMEN.....	1
ABSTRACT	2
OBJETIVOS	3
DEFINICIÓN DE CONCEPTOS.....	4
INTRODUCCIÓN.....	6
JUSTIFICACIÓN.....	8
CAPÍTULO 1.....	9
ESTADO DEL ARTE.....	9
1.1. Introducción.....	10
1.2. Generadores.....	10
1.2.1. Principio de funcionamiento.....	10
1.3. Turbinas hidráulicas.....	10
1.3.1. Clasificación.....	10
1.3.2. Turbina Pelton.....	11
1.3.3. Picoturbina de Tecnoturbines.....	11
1.3.4. Microturbina de Energy Systems.....	12
1.3.5. Microturbina TRD del Grupo Verne.....	13
1.4. Modelo matemático para la generación de energía eléctrica mediante energía hidráulica.....	14
1.4.1. Análisis de las variables.....	15
1.4.1.1. Altura.....	15
1.4.1.2. Caudal.....	16
1.4.1.3. Eficiencia.....	17
1.4.2. Análisis de la ecuación de potencia de la salida del generador.....	17
1.5. Red de sensores inalámbricos (WSN).....	18

1.5.1.	Estructura del nodo sensor.....	19
1.5.2.	Sensores.....	20
1.5.3.	Unidad de procesamiento.....	20
1.5.4.	Unidad de comunicación.....	20
1.5.5.	Unidad de alimentación.....	20
1.6.	Tecnologías de comunicación.....	21
1.6.1.	Wi-Fi.....	21
1.6.2.	Zigbee.....	22
1.7.	Plataformas de Internet de las cosas.....	23
CAPÍTULO 2.....		26
SISTEMA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....		26
2.1.	Rendimiento energético de las microturbinas TRD.....	27
2.2.	Implementación del sistema de generación de energía.....	31
2.2.1.	Cargador inteligente (CI).....	31
2.2.2.	Disposición e integración de unidades de generación y componentes en el tanque rompe-presión.....	34
2.3.	Resultados de la implementación del sistema de generación.....	36
2.3.1.	Potencia instalada en el sistema.....	38
2.3.2.	Energización del nodo central del proyecto “SMART WATER NETWORK”.....	39
2.3.2.1.	Consumo energético del nodo central.....	39
2.3.2.2.	Dimensionamiento de la batería.....	40
CAPÍTULO 3.....		43
SISTEMA DE ACCIONAMIENTO Y TELEMETRÍA.....		43
3.1.	Introducción.....	44
3.2.	Hardware del sistema.....	45
3.2.1.	Placa de adquisición de datos.....	45
3.2.2.	Multiplexor.....	45
3.2.3.	RS232 – TTL.....	46
3.2.4.	Módulo de comunicación.....	47
3.2.5.	Conexión CI – Waspote.....	48
3.2.6.	Placa de relés.....	48
3.3.	Interconexión del hardware.....	49
3.3.1.	Esquema de conexión de los elementos del sistema.....	49
3.3.2.	Diseño de PBC.....	50
3.4.	Algoritmo del sistema.....	52
3.5.	Resultados.....	54

3.5.1.	Implementación e integración del hardware.....	54
3.5.2.	Implementación del software.	55
3.5.3.	Medición de presión en la transición de UG.....	56
3.5.4.	Visualización de datos en la plataforma IoT.....	57
CONCLUSIONES		62
RECOMENDACIONES.....		63
BIBLIOGRAFÍA.....		64
ANEXOS.....		70
ANEXO A: RESULTADOS OBTENIDOS TRAS LA MEDICIÓN DE PARÁMETROS ELÉCTRICOS E HIDRÁULICOS EN LAS MICROTURBINAS.		71
ANEXO B: CURVAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICAS DE LAS MICROTURBINAS..		76
ANEXO C: ENERGÍA GENERADA POR LAS UNIDADES DE GENERACIÓN DE MANERA INDIVIDUAL Y POR GRUPOS.		79
ANEXO D: CÓDIGO DEL SISTEMA DE ACCIONAMIENTO Y TELEMETRÍA.....		81

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Picoturbina de Tecnoturbines.....	11
Figura 1.2. Watter Buddy a) vista lateral; b) vista inferior y boquillas.	12
Figura 1.3. Microturbina TRD.....	14
Figura 1.4. Gráfica de la potencia obtenida con respecto a la variación de la altura. ..	18
Figura 1.5. Esquema de una red de sensores.....	19
Figura 1.6. Esquema de estructura del nodo sensor.....	19
Figura 1.7. Pila de protocolos en Zigbee.....	23
Figura 1.8. Dispositivos en una red ZigBee.....	23
Figura 2.1. Esquema de disposición de materiales en el banco hidráulico.....	27
Figura 2.2. Instalación del sensor del flujo para medición de caudal.....	28
Figura 2.3. Curvas de rendimiento de las microturbinas.	30
Figura 2.4. Rendimiento o eficiencia promedio de turbinas caracterizadas a) resultados obtenidos; b) fabricante.	31
Figura 2.5. Esquema del sistema de cargas de batería.	32
Figura 2.6. Diagrama de flujo del funcionamiento del CI.....	34
Figura 2.7. Esquema del tanque y medidas a) vista lateral; b) vista superior.	35
Figura 2.8. Disposición de unidades de generación y componentes en el tanque rompedor, a) vista superior; b) vista lateral.....	36
Figura 2.9. Implementación del sistema de generación en el tanque rompe-presión en el Laboratorio de Hidráulica de la UTPL a) vista superior, b) vista lateral.	37
Figura 2.10. Sistema de accionamiento y telemetría y nodo central alimentados por batería.	41
Figura 3.1. Esquema general del prototipo.	44
Figura 3.2. Tarjeta Waspote Pro V1.2.....	45
Figura 3.3. Multiplexor de puerto serie 8:1.....	46
Figura 3.4. Circuito Integrado MAX232.....	46
Figura 3.5. Conexión del MAX232 a los condensadores e interfaces RS-232 y TTL...	47
Figura 3.6. Módulos de comunicación.....	47
Figura 3.7. Conexión de puertos UART entre el CI y Waspote.	48
Figura 3.8. Placa de relés para el control de accionamiento.	49
Figura 3.9. Esquema de conexión del sistema.....	50
Figura 3.10. Diseño de PCB para la interconexión de dispositivos.....	51
Figura 3.11. Detalle de socket UART para la conexión.	52
Figura 3.12. Diagrama de flujo del sistema de accionamiento y telemetría.	53
Figura 3.13. Hardware implementado.	54

Figura 3.14. Sistema de telemetría y accionamiento adherido al tanque rompe presión.	55
Figura 3.15. Inicio de sesión y obtención de parámetros.	56
Figura 3.16. Variación de presión en el proceso de transición de UG.	57
Figura 3.17. Canales para la visualización de datos en ThingSpeak.....	57
Figura 3.18. Datos de la UG 1 en la plataforma ThingSpeak.	58
Figura 3.19. Datos de la UG 2 en la plataforma ThingSpeak.	59
Figura 3.20. Datos de la UG 3 en la plataforma ThingSpeak.	60
Figura 3.21. Datos de la UG 4 en la plataforma ThingSpeak.	61

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Especificaciones eléctricas e hidráulicas de la Picoturbina.	12
Tabla 1.2. Caudal soportado por tamaño de boquilla.	13
Tabla 1.3. Especificaciones eléctricas e hidráulicas Microturbina TRD.	14
Tabla 1.4. Resultados obtenidos del análisis del modelo matemático utilizado.	17
Tabla 1.5. Estándares de IEEE 802.11.	21
Tabla 1.6. Especificaciones de la capa física para 802.15.4.	22
Tabla 2.1. Materiales adquiridos para el proyecto “SMART WATER NETWORK” ..	27
Tabla 2.2. Valores de presión y caudal obtenidos tras la medición.	28
Tabla 2.3. Potencia generada por las microturbinas en función de la presión.	29
Tabla 2.4. Potencia promedio generada por cada unidad de generación.	38
Tabla 2.5. Requerimiento diario de potencia del nodo central.	40
Tabla 2.6. Características de la batería Bosch 12V.	41
Tabla 2.7. Características del inversor Phoenix de Victron Energy.	42

RESUMEN

El presente trabajo de titulación detalla el diseño e implementación de un prototipo para el aprovechamiento hidro-energético en redes de distribución de agua. El prototipo está compuesto de dos sistemas. Por un lado, el sistema de generación, que está encargado de transformar la energía cinética del agua a energía eléctrica haciendo uso de microturbinas, reguladores de carga y baterías. El segundo es el sistema de accionamiento y telemetría que controla el encendido y apagado de las unidades de generación y también permite el monitoreo remoto de parámetros eléctricos tales como potencia, voltaje y corriente de cada unidad. El dispositivo que monitorea las unidades de generación se conecta al regulador de carga mediante una interfaz RS232 y permite obtener los parámetros eléctricos deseados para posteriormente almacenarlos en una plataforma de Internet de las cosas para que puedan ser visualizados a través de Internet.

PALABRAS CLAVE: Energía eléctrica, IoT, Microturbinas, Sistema de accionamiento y telemetría.

ABSTRACT

This degree thesis details the design and implementation of a prototype for hydro-energetic use in water distribution networks. The prototype is composed of two systems. On one hand, the generation system, which is in charge of transforming kinetic energy of water into electrical energy using microturbines, charge regulators and batteries. The second one is the drive and telemetry system. It controls whether the generation units turn on or off as well as allowing remote monitoring of electrical parameters such as power, voltage and current of each unit. The device that monitors the generation units is connected to the charge controller through an RS232 interface and enables acquiring the desired electrical parameters to later store them in an Internet of things platform so that they can be visualize through the Internet.

KEYWORDS: Drive and telemetry system, Electrical energy, IoT, Microturbines.

OBJETIVOS

Objetivo General

- Desarrollar un sistema autónomo que permita energizar un nodo de una red de sensores inalámbricos para el monitoreo de variables de redes de distribución de agua, a partir de la generación de energía proveniente del flujo de agua en instalaciones hidráulicas, utilizando microturbinas TRD.

Objetivos Específicos

- Conocer el funcionamiento de las microturbinas TRD para generación de energía eléctrica.
- Establecer los componentes necesarios para la obtención de energía mediante una microturbina para energizar un nodo de una red de sensores inalámbricos (WSN).
- Diseñar un sistema de telemetría para el monitoreo del estado de la microturbina en tiempo real.
- Almacenar los datos provenientes del estado de la microturbina y enviarlos a una plataforma de Internet de las cosas (IoT) para visualización remota de los mismos.

DEFINICIÓN DE CONCEPTOS

Altura neta: Es la altura real que puede aprovecharse para la generación de una planta hidroeléctrica [1].

Caudal: Se refiere al volumen de fluido que pasa por una sección de un conducto por unidad de tiempo [2].

Central hidroeléctrica: Es una instalación en la cual se consigue aprovechar la energía contenida en una masa de agua situada a una cierta altura, transformándola en energía eléctrica [3].

Energía hidráulica: Se entiende como aquella energía que se obtiene a partir de la fuerza del agua [4]. Mientras que en [5] la consideran como la conversión de energía cinética y potencial de una masa de agua en energía eléctrica.

Harvesting de energía: Para [6] es una tecnología que se beneficia de fuentes de energía naturales o del ambiente tales como luz, calor, y movimiento; que se extienden lo largo del planeta y cuya explotación es limitada. En cambio [7] consideran que es una técnica que captura energía no aprovechada del ambiente y la convierte en energía eléctrica utilizable.

Internet de las cosas: El término Internet de las cosas (IoT) se usa para describir dispositivos embebidos con conectividad a Internet. Este nivel de conectividad mejora el acceso a la información de manera confiable y eficiente mediante sistemas de monitoreo [8].

Microturbina TRD: Es una turbina hidráulica diseñada para mantener la carga de una batería utilizando líneas de agua presurizadas concebida para minimizar el consumo de agua [9].

Nodo: Sistema que combina sensando, procesamiento y comunicación dentro de un solo dispositivo [10].

Pico Hidrogeneración: En Ecuador este término está asociado a instalaciones hidroeléctricas con niveles de generación eléctrica menores a 5 kW [11].

Presión: Se define como la cantidad de fuerza que se ejerce sobre una unidad de área de alguna sustancia. En el Sistema Internacional de Unidades se mide en una unidad denominada pascal (Pa) [2].

Red de sensores inalámbricos: Para [12] consiste en un gran número de nodos de sensores independientes conectados entre sí para formar una red donde cada uno de los nodos posee la capacidad de sensor y procesar información.

INTRODUCCIÓN

Actualmente las redes inalámbricas con un gran número de nodos de sensores permiten la interacción con el mundo físico por lo cual son ampliamente utilizadas en aplicaciones industriales y en el monitoreo de variables físicas y ambientales [13]. Al igual que muchos avances tecnológicos, las WSNs tuvieron su origen en aplicaciones militares. El Sistema de Vigilancia por Sonido (SOSUS) fue la primera aplicación de WSN desarrollada por la Milicia de Estados Unidos en 1950 con el fin de detectar y rastrear submarinos Soviéticos [14]. A pesar de que las redes inalámbricas de sensores en un principio fueron pensadas con fines militares, hoy en día son utilizadas en aplicaciones civiles principalmente en monitoreo de variables ambientales. Los nodos sensores en las WSNs se encargan de capturar datos y transmitirlos a través de la red. La gran cantidad de datos capturados y el proceso de transmisión de los mismos implica una operación continua de cada uno de los sensores [15]. Estos son alimentados por baterías que difícilmente proporcionan su operación a largo plazo y necesitan ser reemplazadas periódicamente haciendo necesario un constante mantenimiento de los nodos de la red [16]. Investigadores han explorado múltiples formas alternativas de adquisición de energía para alimentar redes de sensores inalámbricos tales como paneles solares, radiación electromagnética, flujos de agua o viento [17]. Es por esto que el harvesting de energía ha surgido como una técnica que permite extender el tiempo de vida de los sensores aprovechando la energía disponible del ambiente para mantener a los nodos en constante operación dentro de la red [13]. Entre muchas fuentes de energía el flujo de agua ha sido utilizado para alimentar nodos de WSNs [18] haciendo uso de pequeños hidro generadores colocados en sistemas de irrigación o tuberías de agua [19] [20].

Para el aprovechamiento de energía del flujo de agua se ha propuesto la utilización de una microturbina TRD cuyo funcionamiento está a cargo de un sistema de control. La cantidad de energía que pueda aportar la microturbina está directamente relacionada con la presión del agua que circule [21]. Un modelamiento matemático de su funcionamiento es necesario para diseñar y desarrollar el prototipo de un sistema de tuberías que acoplado a la microturbina permita la generación de energía.

Como en todo sistema de generación de energía existen componentes indispensables para generar energía a partir del flujo de agua. Estos dependen de la escala de la central hidroeléctrica [22]. En centrales de pico hidrogeneración componentes como: reservorio, tuberías de presión, turbinas y generadores, son necesarios para que el sistema cumpla con su funcionamiento [23].

El sistema de control asociado a la microturbina permite monitorear el estado de esta, siendo esto de gran importancia para determinar si está suministrando energía de forma adecuada y si su funcionamiento es el óptimo. Esto hace que sea conveniente almacenar esta información en plataformas de IoT para monitorear remotamente el sistema.

En este contexto se diseña e implementa un sistema que permita generar energía a partir del flujo de agua utilizando una microturbina para alimentación de sistemas de telemetría, así como también un sistema de monitoreo remoto del estado de la misma.

JUSTIFICACIÓN

Las redes de sensores inalámbricos forman parte de grandes sistemas de monitoreo debido a su amplia implementación en el Internet de las cosas y otras áreas emergentes. Sin embargo, un sensor en ausencia de energía es inútil y no contribuye a la red. Para superar esta gran limitación, el diseño y desarrollo de sistemas de recolección (harvesting) de energía eficientes son constantemente explorados [24].

El harvesting de energía se propone como una solución a los problemas de disponibilidad de energía que tienen las WSN desplegadas en el campo. Un sistema eficiente de harvesting de energía puede ofrecer una red autosostenible y en constante operación, eliminando la frecuente necesidad de reemplazar fuentes de energía [25].

Muchos conceptos de aprovechamiento de energía solar, termal o radiación de radiofrecuencia se han propuesto pero, debido a la gran cantidad de energía cinética que proporciona el flujo de agua la importancia de aprovechar dicha energía es evidente [26].

CAPÍTULO 1
ESTADO DEL ARTE

1.1. Introducción.

Este capítulo tiene como objetivo realizar una breve revisión bibliográfica con el fin de recopilar información relevante sobre temas considerados fundamentales para el desarrollo del presente trabajo de titulación.

1.2. Generadores.

Un generador es una máquina eléctrica que transforma energía mecánica en energía eléctrica. Está compuesto básicamente por dos elementos principales que son el rotor y el estator. El rotor, como su nombre lo indica, es la parte móvil del generador; por otro lado, el estator es el que se mantiene fijo. Cuando un generador eléctrico está en funcionamiento, una de las dos partes genera un flujo magnético, es decir actúa como inductor para que el otro lo transforme en electricidad [27].

1.2.1. Principio de funcionamiento

El principio de funcionamiento de un generador se basa en la inducción electromagnética, fenómeno que está modelado matemáticamente por la ley de Faraday-Lenz. Esta ley establece que, si un conductor atraviesa un flujo magnético variable en el tiempo se produce una fuerza electromotriz (f.e.m) [28].

Por otro lado, se sabe que si dentro de un campo magnético se tiene una espira por donde circula una corriente eléctrica aparece una fuerza que provoca que la espira gire alrededor de su eje. De esta misma manera, si dentro de un campo magnético se introduce una espira la cual empiece a girar se provocará una corriente inducida. Esta corriente inducida es la responsable de la f.e.m y será variable en función de la posición de la espira y el campo magnético [29].

Ante esto se tiene que los generadores eléctricos se pueden clasificar según el tipo de corriente que producen. Dentro de esta clasificación existen dos tipos de generadores que son: Generadores de corriente alterna o también conocidos como alternadores y generadores de corriente continua, también llamados dínamos.

1.3. Turbinas hidráulicas.

Una turbina hidráulica puede definirse como una máquina que transforma energía cinética del movimiento del agua en energía mecánica de rotación y cuya función principal es alimentar un generador eléctrico [30].

1.3.1. Clasificación.

Las turbinas pueden ser clasificadas de diversas formas dependiendo de sus características, sin embargo, se considera que la clasificación más importante de estas

es de acuerdo con su funcionamiento. Se clasifican por lo tanto en turbinas de acción y de reacción [31].

1.3.2. Turbina Pelton.

Están constituidas principalmente por la tubería forzada, el distribuidor y el rodete. Ya que son turbinas diseñadas para operar con grandes valores de altura, la tubería forzada debe diseñarse con el diámetro suficiente para que no se produzcan excesivas pérdidas de carga del fluido entre el embalse y el distribuidor [32].

El distribuidor es una tobera o inyección que disminuye la sección de paso para así maximizar la energía de fluido aprovechada en la turbina ya que en el rodete de este tipo de turbinas sólo se intercambia energía cinética [32].

El rodete es una rueda con álabes en forma de cucharas situadas en su perímetro exterior. Sobre las cucharas incide el chorro proveniente del inyector. El choque se produce en dirección tangencial al rodete maximizando su potencia de propulsión [32].

1.3.3. Picoturbina de Tecnoturbines.

Turbina diseñada para cargar baterías y suministrar energía a sistemas de telemetría, registro de datos (dataloggers) y sensores. Cuenta con un regulador de carga inteligente que envía datos en tiempo real a un centro de control además de controlar la carga de la batería. Se puede instalar en paralelo a válvulas reductoras de presión [33], ver Figura 1.1.

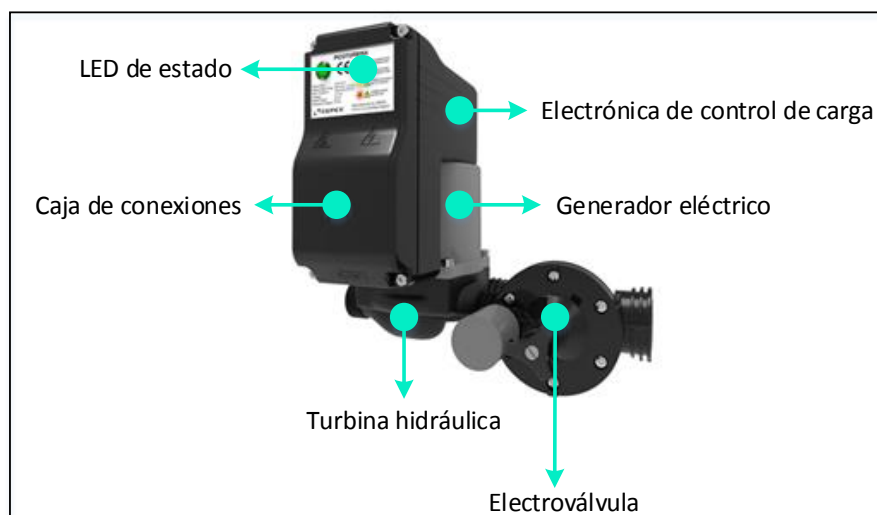


Figura 1.1. Picoturbina de Tecnoturbines.

Fuente: [33].

Elaborado por: Los Autores.

Como se puede observar en la Figura 1.1 la picoturbina tiene integrado: un LED de estado, una caja de conexiones, un generador de corriente, una turbina hidráulica, un

generador de corriente continua y una electroválvula. En la Tabla 1.1 se muestran algunas de las especificaciones que proporciona el fabricante.

Tabla 1.1. Especificaciones eléctricas e hidráulicas de la Picoturbina.

Especificaciones Eléctricas	
Tensión de salida nominal	12 V
Corriente máxima de salida	2 A
Potencia máxima de salida	25 W
Tipo de baterías permitidas	Selladas de plomo-ácido
Especificaciones Hidráulicas	
Presión Nominal	10 bar
Δ Presión mínima funcionamiento (In-Out)	0.45 bar
Δ Presión máxima de trabajo (In-Out)	1.8 bar
Caudal mínimo de funcionamiento	0.5 l/s
Caudal máximo de trabajo	0.95 l/s

Fuente: [33].

Elaborado por: Los Autores.

1.3.4. Microturbina de Energy Systems.

La microturbina “Watter Buddy” fabricada por Energy Systems está diseñada para operar en un amplio rango de presiones y caudales gracias a las diferentes boquillas que se incluyen con el dispositivo. Además, cuenta con un generador de corriente continua permitiéndole cargar baterías de 12 V, 24 V, 48 V y 120 V [34], ver Figura 1.2.

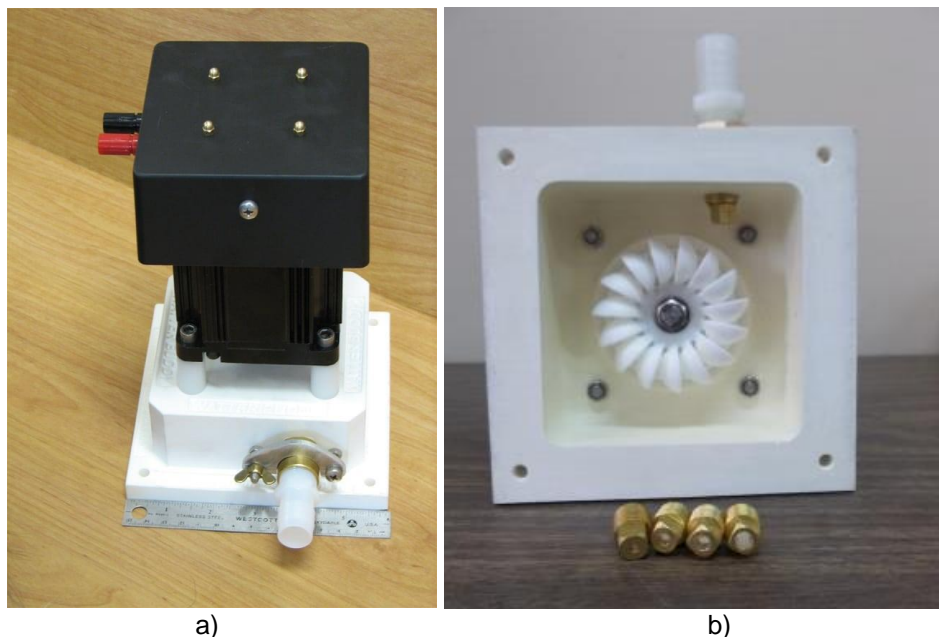


Figura 1.2. Microturbina Watter Buddy a) vista lateral; b) vista inferior y boquillas.

Fuente: [34].

Elaborado por: [34].

De acuerdo con el fabricante, Watter Buddy soporta un rango de presiones que va desde 10 psi hasta 90 psi. Como se mencionó anteriormente cada dispositivo cuenta con diferentes boquillas (de 3 mm a 7 mm) que son utilizadas dependiendo del caudal existente en el sistema hidráulico [34]. En la Tabla 1.2 se muestran los diferentes valores de caudales que soportan cada una de las boquillas.

Tabla 1.2. Caudal soportado por tamaño de boquilla.

Presión (PSI)	Caudal soportado según tamaño de boquilla				
	3 mm	4 mm	5 mm	6 mm	7 mm
10	0.08 l/s	0.15 l/s	0.23 l/s	0.33 l/s	0.45 l/s
20	0.12 l/s	0.21 l/s	0.32 l/s	0.46 l/s	0.63 l/s
30	0.14 l/s	0.25 l/s	0.40 l/s	0.57 l/s	0.78 l/s
40	0.16 l/s	0.29 l/s	0.46 l/s	0.66 l/s	0.9 l/s
50	0.18 l/s	0.33 l/s	0.51 l/s	0.73 l/s	1 l/s
60	0.2 l/s	0.36 l/s	0.56 l/s	0.8 l/s	1.1 l/s
70	0.22 l/s	0.39 l/s	0.6 l/s	0.86 l/s	1.2 l/s
80	0.23 l/s	0.41 l/s	0.64 l/s	0.93 l/s	1.30 l/s
90	0.25 l/s	0.44 l/s	0.68 l/s	1 l/s	1.34 l/s

Fuente: [34].

Elaborado por: Los Autores.

La potencia de salida de la microturbina va desde 3 W hasta 200 W dependiendo de la presión y caudal del sistema hidráulico al que esté conectada. En el manual de usuario [34] el fabricante proporciona a detalle estos parámetros.

1.3.5. Microturbina TRD del Grupo Verne.

Esta microturbina está diseñada para cargar baterías utilizando la energía presente en las redes de distribución de agua. El sistema diseñado por Grupo Verne consta de una turbina, una electroválvula, una batería y un cargador inteligente.

La microturbina TRD transforma energía hidráulica en eléctrica a través de una turbina Pelton. Está compuesta por un rodete, inyector y un generador de corriente continua. De acuerdo con el fabricante la potencia suministrada por la turbina está entre 12 W a 15 W aproximadamente. El material del que está hecha es mayormente de plástico y sus dimensiones son de 13,4 cm x 38 cm. Cuenta con una embocadura de 1.27 cm (1/2”), además de un orificio de desagüe, ver Figura 1.3.



Figura 1.3. Microturbina TRD.
Fuente: [9].
Elaborado por: Los Autores.

Para especificaciones tanto eléctricas como hidráulicas más detalladas referirse al manual de usuario de la Microturbina TRD [9]. A continuación, en la Tabla 1.3, se muestran algunas de ellas.

Tabla 1.3. Especificaciones eléctricas e hidráulicas Microturbina TRD.

Especificaciones Eléctricas	
Voltaje máximo de salida	15 V
Corriente máxima de salida	0.99 A
Potencia máxima de salida	14.85 W
Especificaciones Hidráulicas	
Rango de presiones de trabajo	10 mca – 50 mca
Rango de caudales	3.9 l/min – 15.10 l/min

Fuente: [9].

Elaborado por: Autores.

1.4. Modelo matemático para la generación de energía eléctrica mediante energía hidráulica.

La generación de energía eléctrica mediante el aprovechamiento de la energía cinética del movimiento de masas de agua implica la realización de un análisis matemático de la energía hidráulica. Este apartado tiene como objetivo el análisis del efecto de parámetros físicos tales como la altura y el caudal para la generación de energía

eléctrica. Para dicho análisis se establece un modelo matemático general que permite analizar la cantidad potencia eléctrica obtenida con relación a la altura y el caudal de una central hidroeléctrica.

Los sistemas de generación hidroeléctricos se rigen bajo las ecuaciones generales de potencia de entrada y salida [35]. Dichas ecuaciones se muestran a continuación:

$$P_{in} = H \times Q \times g \quad (1)$$

$$P_{out} = H \times Q \times g \times \eta \quad (2)$$

Donde: P_{in} Potencia de entrada (Potencia hidráulica).

P_{out} Potencia de salida del generador.

H Altura neta (m).

Q Caudal (l/s).

g Gravedad (9.81 m/s²)

η Eficiencia.

De las ecuaciones (1) y (2) se puede decir que tanto la potencia hidráulica como la potencia eléctrica dependen directamente del caudal y la altura neta ya que tanto la gravedad como la eficiencia son constantes.

1.4.1. Análisis de las variables.

Como se observa en las ecuaciones (1) y (2), para cuantificar el valor de potencia eléctrica generada por una central hidroeléctrica se maneja cuatro variables que son: altura, caudal, gravedad y eficiencia. Algunas consideraciones y métodos para obtener dichas variables se muestran a continuación.

1.4.1.1. Altura.

La altura, medida en metros (m), es la diferencia de altura que tiene el recorrido de agua desde el punto de inicio de la tubería de presión hasta el punto de descarga de la misma. Cuanto mayor sea esta caída, mayor será la potencia y mayor será la velocidad de la turbina.

En la actualidad se tienen varios métodos para la medición de este valor. Según [36] unos de los principales métodos son: Método del GPS, método del altímetro, método del mapa con curvas de nivel y método de la manguera y manómetro. El método más

simple y práctico para la medición de la altura es el de la manguera y manómetro calibrado. A través de este método, la lectura del manómetro en psi se puede convertir a la altura en metros usando la siguiente ecuación de conversión de presión a altura [37]:

$$H = 0.704 \times P \quad (3)$$

Donde: H Altura (m)

P Presión (psi)

Al determinar la altura, se debe considerar la altura bruta o "estática" y la altura neta o "dinámica". La altura bruta es la distancia vertical entre la parte superior donde comienza la tubería y el punto donde el agua golpea la turbina. La altura neta es la altura bruta menos las pérdidas de carga debido a la fricción y la turbulencia en la tubería. Las pérdidas de carga dependen del tipo, diámetro y longitud de la tubería además del número de curvas o codos instalados en el sistema de caída de agua. Mediante la ecuación (3) se puede calcular la altura neta. La altura bruta se puede usar para estimar la disponibilidad de potencia y determinar la viabilidad general, pero la altura neta se usa para calcular la potencia real disponible [38].

1.4.1.2. **Caudal.**

El caudal se define como la cantidad de agua que pasa por un lugar por unidad de tiempo. Igualmente existen varios métodos para la medición de esta variable, entre los principales tenemos: Método del depósito, método del vertedero, método del flotador, método de disolución de soluto [38]. El método del depósito y del flotador se describen a continuación.

El método del depósito puede ser usado en vertientes de pequeños y medianos caudales, hasta unos 20 l/s [39]. Consiste en verter el agua en un depósito del cual se conoce su capacidad, por ejemplo, un balde de agua, y se toma el tiempo que se demora en llenarse el recipiente. El caudal resultante estará definido por:

$$Q \left[\frac{\text{litros}}{s} \right] = \frac{\text{Volumen del depósito}}{\text{Tiempo de llenado}} \quad (4)$$

Por otro lado el método del flotador está orientado para acequias canalizadas o corrientes de baja velocidad con caudales medios y altos [40]. Se basa en la medición tanto del tiempo que demora en atravesar el flotador cierta distancia y la sección media de la vertiente.

Mediante la sección que estará en m² y la velocidad del flotador en m/s. Se obtendrá el valor del caudal en m³/s. La expresión para este método está dada por:

$$Q \left[\frac{m^3}{s} \right] = 0.75 \times A \times v \quad (5)$$

La fórmula lleva un valor de corrección debido a la variación de velocidad del agua entre las orillas, el fondo y el centro de la vertiente.

1.4.1.3. **Eficiencia.**

Eficiencia es el término utilizado para describir qué tanto de potencia se convierte de una forma a otra. Una turbina que tenga una eficiencia del 70% convertirá el 70% de la potencia hidráulica en potencia mecánica (se perderá un 30%). La eficiencia del sistema es la eficiencia combinada de todos los procesos en conjunto. La eficiencia del sistema para la generación de electricidad a baja escala, pico o mini centrales, es típicamente entre 40% y 50% [39].

1.4.2. **Análisis de la ecuación de potencia de la salida del generador.**

Ya que se trata de un sistema de pico-hidrogenación se plantea las siguientes consideraciones para el respectivo análisis de la ecuación (2):

- El rango altura será de 1 m a 20 m.
- El caudal estará dentro de un rango de 0.05 l/s a 15 l/s.
- Se tomará como valor de eficiencia el valor medio del rango recomendado por [39], es decir 45%.

Tabla 1.4. Resultados obtenidos del análisis del modelo matemático utilizado.

Altura (m)	Caudal (l/s)	Potencia de salida (W)
1	0.05	0.221
2.53	1.25	13.947
4.06	2.45	43.866
5.59	3.65	89.979
7.12	4.85	152.286
8.65	6.05	230.786
10.18	7.25	325.480
11.71	8.45	436.367
13.24	9.65	563.448
14.77	10.85	706.722
16.3	12.05	866.190
17.83	13.25	1041.851
19.36	14.45	1233.706

Fuente: Los Autores.

Elaborado por: Los Autores.

De la Tabla 1.4 se puede concluir que mientras mayor sea la altura o caudal en el sistema la potencia de salida incrementará. Cualquiera de estos dos parámetros se los puede manipular para conseguir una mayor potencia a la salida.

La Figura 1.4 demuestra lo antes mencionado, es decir que para valores fijos de caudal y teniendo como variable la altura se observa que la potencia obtenida incrementa.

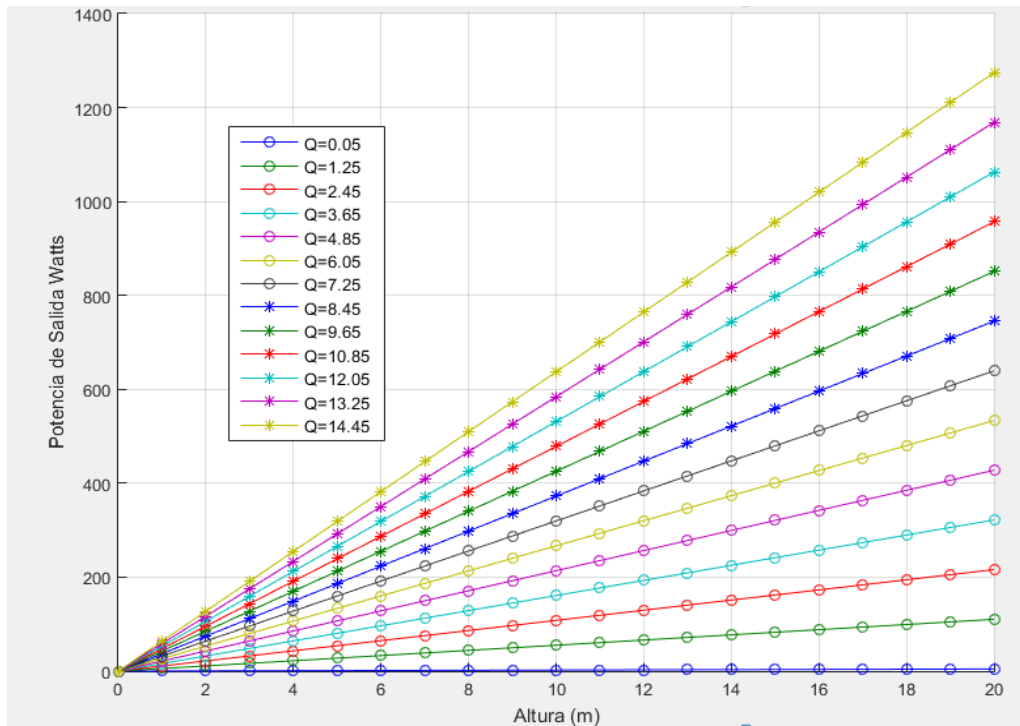


Figura 1.4. Gráfica de la potencia obtenida con respecto a la variación de la altura.
Fuente: Los Autores.
Elaborado por: Los Autores.

1.5. Red de sensores inalámbricos (WSN).

Una red inalámbrica de sensores consiste en un gran número de nodos sensores de bajo costo y consumo energético desplegados en una determinada área geográfica. Estos nodos están equipados con sensores, microprocesadores embebidos y módulos de radio, por lo tanto, no sólo adquieren información de variables físicas o condiciones medioambientales en tiempo real, sino que también tienen capacidades de procesamiento de datos y comunicación, ver Figura 1.5 [41].

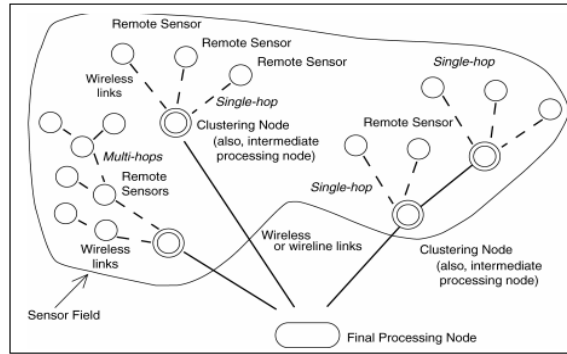


Figura 1.5. Esquema de una red de sensores.
Fuente: [42].
Elaborado por: [42].

Actualmente existen un sin número de aplicaciones para las WSN en diferentes ámbitos como son [42]:

- Militares
- Medioambientales
- Industriales
- Salud
- Automatización del hogar
- Comerciales

1.5.1. Estructura del nodo sensor.

Generalmente consiste en cuatro componentes básicos: sensores, unidad de procesamiento, unidad de comunicación y unidad de alimentación [41] como se observa en la Figura 1.6.

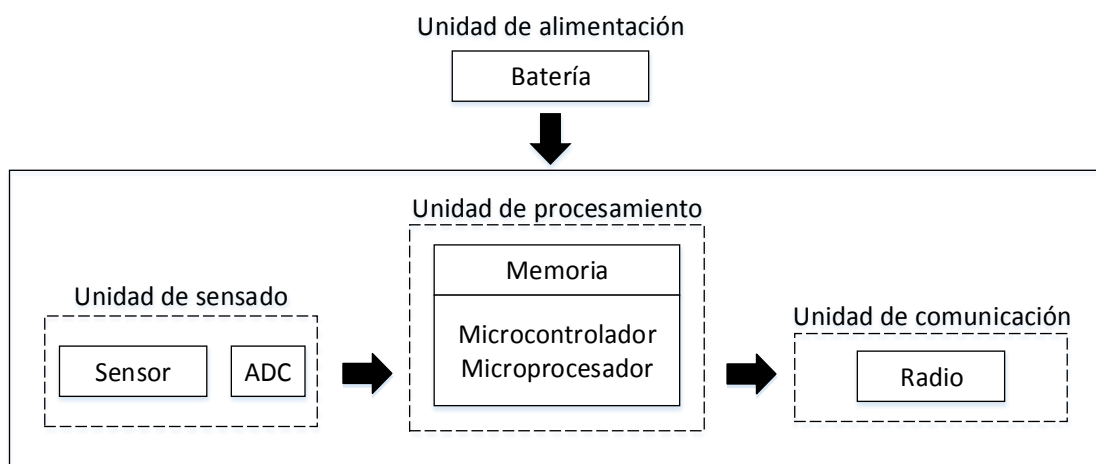


Figura 1.6. Esquema de estructura del nodo sensor.
Fuente: [41].
Elaborado por: Los Autores.

1.5.2. Sensores.

Son transductores que convierten una cantidad o parámetro físico en una señal con información equivalente. Dependiendo de la cantidad medida los sensores pueden clasificarse en: mecánicos, termales, electrostáticos, magnéticos, de radiación, químicos y biológicos. En las WSNs los sensores más comúnmente usados son [43]:

- Acelerómetros
- Fotodiodos
- De gas
- Presión
- Acústicos

1.5.3. Unidad de procesamiento.

Consiste en un microprocesador o microcontrolador con memoria. La elección de estos depende de la aplicación así como también de la fuente de alimentación disponible ya que de ella va a depender el tiempo de vida de los nodos sensores dentro de una WSN [43].

Un microcontrolador es un circuito integrado programable, considerado como un pequeño ordenador, que en su interior contiene una unidad central de procesamiento, unidades de memoria y periféricos de entrada y salida [44].

En una WSN, el microcontrolador es considerado el núcleo del nodo sensor ya que este es el encargado de recoger los datos de los sensores, procesar la información, enviarla y tomar decisiones sobre el comportamiento de los actuadores [45].

Actualmente existe una variedad de plataformas de hardware libre disponibles para aplicaciones de WSN, entre esas plataformas encontramos waspmote de Libelium [46].

1.5.4. Unidad de comunicación.

Es generalmente un módulo de radio que permite la comunicación (transmisión y recepción de información) entre los nodos sensores y la puerta de enlace (gateway). También representa un papel importante en el consumo de energía dentro del nodo sensor [43].

1.5.5. Unidad de alimentación.

Es el suministro de energía, típicamente una batería, que alimenta todos los componentes del sistema [43].

1.6. Tecnologías de comunicación.

Una tecnología de comunicación es la herramienta que permite el intercambio de información entre dos o más dispositivos que se encuentren conectados. Se puede dividir en dos tipos de tecnologías según el medio de comunicación: cableadas e inalámbricas. Dentro de las tecnologías cableadas se tiene redes ethernet y actualmente la incursión de redes ópticas pasivas (pon) mediante fibra óptica.

En lo que concierne a tecnologías inalámbricas existe una gran variedad. Para aplicaciones en redes de sensores e IoT las tecnologías más sobresalientes son: ZigBee, Digimesh, Bluetooth, WiFi, GPRS, NBIoT, Lora, Sigfox. El presente trabajo estará enfocado en la utilización de Wifi para el envío de información hacia la plataforma de IoT.

1.6.1. Wi-Fi.

WiFi está basado en el estándar IEEE 802.11, el cual ha sido desarrollado desde 1991. WiFi Alliance es una asociación de compañías sin fines de lucro creadas para promover el estándar 802.11 y certificar equipos con el fin de asegurar la interoperabilidad entre diferentes fabricantes. Al igual que otros estándares IEEE 802.11 especifica los protocolos para las capas de control de acceso al medio (MAC) y física. Los protocolos de capas superiores, originalmente desarrollados para redes cableadas pueden trabajar sobre la capa MAC de 802.11 ya que fue desarrollado para proveer servicios de manera similar a Ethernet IEEE 802.3 [47].

IEEE 802.11 WLAN o WiFi es una de las tecnologías inalámbricas de banda ancha más aceptadas debido a que provee altas tasas de transmisión. Opera en las bandas de radio industriales, científicas y médicas (ISM) en 2.4 GHz y 5 GHz [47]. Existen varios estándares para las tecnologías de WLAN en IEEE 802.11 los cuales se muestran en la Tabla 1.5.

Tabla 1.5. Estándares de IEEE 802.11.

Estándar	Bandas de frecuencia	Velocidad de datos
802.11 Legacy	2.4 GHz	2 Mbps
802.11b	2.4 GHz	11 Mbps
802.11a	5 GHz	54 Mbps
802.11g	2.4 GHz	54 Mbps
802.11n	2.4 GHz, 5 GHz	450 Mbps
802.11ac	5 GHz	1300 Mbps

Fuente: [48].

Elaborado por: Los Autores.

1.6.2. Zigbee.

ZigBee Alliance es una asociación de compañías que trabajan juntas para desarrollar estándares y productos para redes inalámbricas confiables, rentables y de baja potencia. ZigBee se basa en el estándar IEEE 802.15.4 que define las capas física y MAC para redes de área personal de bajo costo y bajas tasas de transmisión. ZigBee define las especificaciones de capa de red para topologías de red estrella, árbol y punto a punto y proporciona un marco para la programación de aplicaciones en la capa de aplicación [49].

ZigBee opera en las bandas ISM: 868 MHz en Europa, 915 MHz en América y 2.4 GHz en casi todo el mundo [50]. En la Tabla 1.6 se muestra en resumen datos importantes para cada frecuencia de operación.

Tabla 1.6. Especificaciones de la capa física para 802.15.4.

	2450 MHz	915 MHz	868 MHz
Tasa de datos	250 Kbps	40 Kbps	20 Kbps
Nº de canal	16	10	
Modulación	O-QPSK	BPSK	BPSK
Bit por símbolo	4	1	1
Periodo de símbolo	16 μ s	24 μ s	49 μ s

Fuente: [49].

Elaborado por: Los Autores.

ZigBee estandariza las capas superiores de la pila de protocolos. La capa de red se encarga de organizar y proporcionar el enrutamiento a través de una red multisalto construida sobre las funcionalidades IEEE 802.15.4, mientras que la capa de aplicación pretende proporcionar una estructura para el desarrollo y la comunicación de aplicaciones distribuidas.

La capa de aplicación comprende la estructura de aplicación, los objetos de dispositivo ZigBee y la subcapa de aplicación. La estructura de aplicación puede tener hasta 240 objetos de aplicación, es decir, módulos de aplicación definidos por el usuario que son parte de una aplicación ZigBee. Los objetos de dispositivo ZigBee proporcionan servicios que permiten a los objetos de aplicación descubrirse entre sí y organizarse en una aplicación distribuida. La subcapa de aplicación ofrece una interfaz para servicios de datos y seguridad para los objetos de aplicación y de los objetos de los dispositivos ZigBee. En la Figura 1.7 se muestra una descripción general de la pila de protocolos de ZigBee.

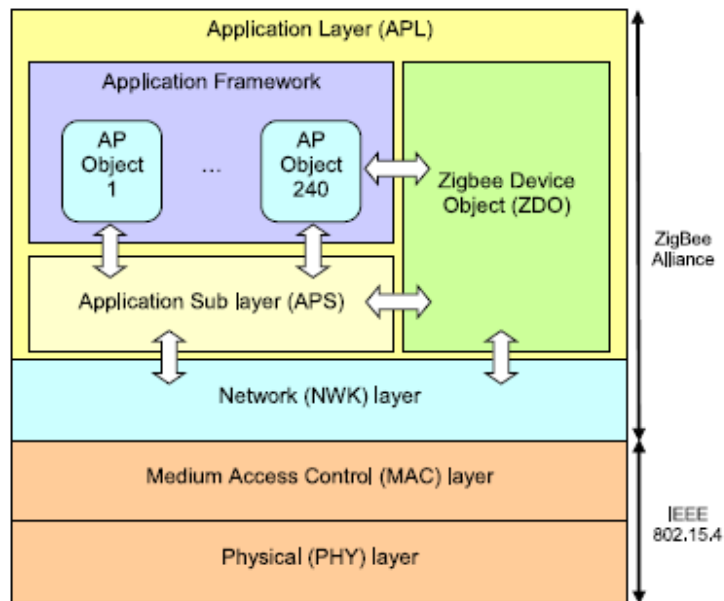


Figura 1.7. Pila de protocolos en Zigbee.

Fuente: [49].

Elaborado por: [49].

ZigBee identifica tres tipos de dispositivos, ver Figura 1.8. Un dispositivo final ZigBee, actúa como un dispositivo simple con bajo consumo de potencia. Un enrutador ZigBee es un dispositivo con capacidades de enrutamiento. El coordinador de ZigBee, es un dispositivo único en la red que administra la misma [49].

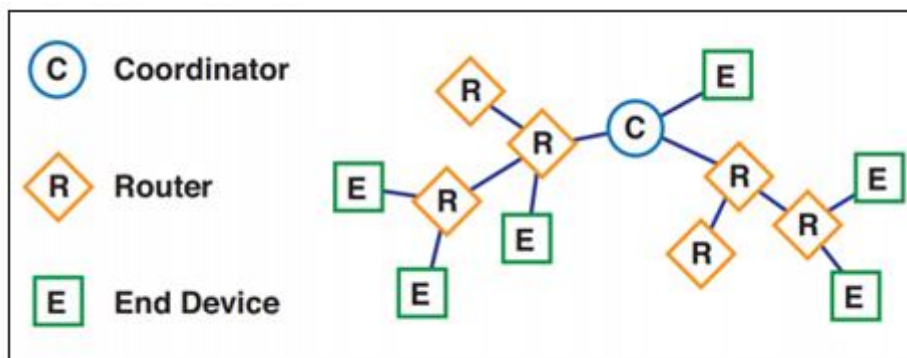


Figura 1.8. Dispositivos en una red ZigBee.

Fuente: [51].

Elaborador por: [51].

1.7. Plataformas de Internet de las cosas.

Una plataforma de IoT es aquella que permite que los dispositivos estén interconectados, es decir es el software que conecta el hardware, puntos de acceso y redes de datos. Las plataformas de IoT constan de ocho bloques importantes [52]:

- Conectividad y normalización: garantiza la interacción con todos los dispositivos.
- La gestión de dispositivos: se asegura de que todos los equipos conectados funcionan correctamente.

- Bases de datos: almacenamiento de datos del dispositivo en la nube.
- Procesamiento y gestión de la acción: reglas de acción evento-disparadores basados en datos específicos del sensor
- Analítica: análisis complejo de la agrupación de datos y de aprendizaje automático
- Visualización: permite a los usuarios observar las tendencias de los datos representados generalmente mediante gráficas.
- Herramientas adicionales: permiten a los desarrolladores visualizar, gestionar, probar y controlar los dispositivos conectados.
- Interfaces externas: se integran con las tecnologías de información (TI) a través de interfaces de programación de aplicaciones (API), kits de desarrollo de software (SDK) y puertas de enlace.

Existe una gran variedad de plataformas de IoT en el mercado. Algunas de estas plataformas son de código abierto y otras propietarias. Entre ellas tenemos:

- ThingSpeak [53].
- Carriots [54].
- Electric Imp [55].
- DataSparkfun [56].
- Ubidots [57].
- Thinking Things [58].
- Blaulabs [59].

ThingSpeak es una plataforma de IoT que permite recopilar y almacenar datos de sensores en la nube, así como también desarrollar aplicaciones de IoT. Ofrece aplicaciones que permiten analizar y visualizar datos en Matlab para luego actuar sobre ellos [53].

El elemento principal de la actividad de ThingSpeak es el canal. Este contiene los campos de datos, campos de ubicación y un campo de estado. Una vez creado el canal es posible reaccionar a los datos mediante las alertas disponibles dentro de la aplicación [53].

Mediante el uso de llamadas API REST como: GET, POST, PUT, DELETE; se puede crear y actualizar canales y tablas, así como también borrar un canal de información. También se puede utilizar el método de publicación MQTT para actualizar los canales [53].

ThingSpeak ofrece licencias para estudiantes, hogar, académicas y estándar, además de licencias gratuitas. Cada opción de licencia determina características de las diferentes funciones que tiene la plataforma como son: cantidad de mensajes y la tasa de actualizaciones [53].

La plataforma permite enviar alertas y mensajes, controlar dispositivos, programar acciones repetitivas y reaccionar a los datos en los canales. A continuación, se mencionan algunas de estas aplicaciones [53]:

- ThingTweet App
- TweetControl App
- TimeControl App
- React App
- TalkBack App

CAPÍTULO 2
SISTEMA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

2.1. Rendimiento energético de las microturbinas TRD.

En este capítulo se caracteriza el rendimiento energético de las microturbinas TRD. Los materiales que se utilizan en el presente trabajo de titulación fueron adquiridos por el departamento de Geología y Minas e Ingeniería Civil como parte del proyecto “SMART WATER NETWORK: Conformación de Nodos de Monitoreo Remoto de la Red de Distribución de Agua Potable para El Campus UTPL” del cual también forma parte el departamento de Ciencias de la Computación y Electrónica. El detalle de los materiales adquiridos se muestra en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1. Materiales adquiridos para el proyecto “SMART WATER NETWORK”.

Detalle	Cantidad
Microturbina TRD	5
Cargador Inteligente	5
Electroválvula	5
Inversor Phoenix	5
Batería Bosch 12 V	5

Fuente: Los Autores.

Elaborado por: Los Autores.

Para realizar la caracterización de las microturbinas fue necesaria la utilización de un banco hidráulico. Su diseño y construcción estuvo a cargo de los señores Esteban Eras y Carlos Vivanco egresados de la Titulación de Ingeniería Civil. El banco hidráulico se construyó en el Laboratorio de Hidráulica de la UTPL. En la Figura 2.1 se muestra un esquema de la disposición de los materiales utilizados para la caracterización dentro del banco hidráulico.

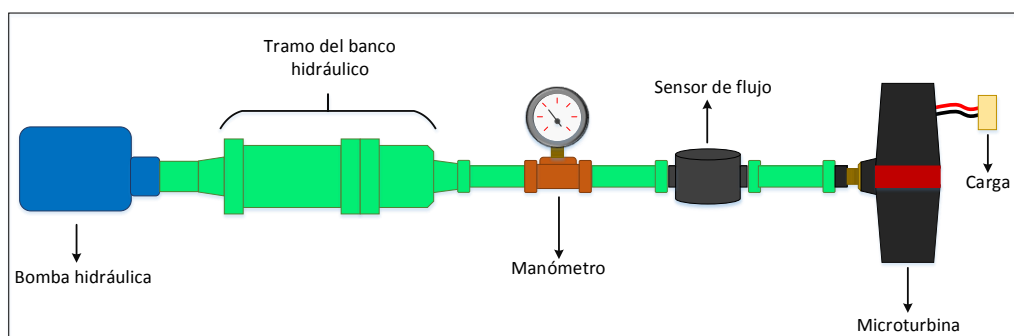


Figura 2.1. Esquema de disposición de materiales en el banco hidráulico.

Fuente: Los Autores.

Elaborado por: Los Autores.

En la Figura 2.1 se identifican dos instrumentos de medición de parámetros hidráulicos: sensor de flujo y manómetro, que son utilizados con el fin de conocer tanto la presión como el caudal que llega hacia la turbina. El sensor de flujo utilizado es el YF-S201 que tiene integrado un sensor de efecto de Hall [60] y el manómetro es del fabricante Plastro.

También se identifica una bomba que se encarga de succionar el agua situada en un tanque para empujarla hacia el circuito hidráulico. Adicional a esto, se observa una carga conectada a la salida del generador de la turbina.

La instalación del sensor de flujo debe realizarse con 10 diámetros de tubería recta aguas arriba y 5 aguas abajo. Dado a que el sensor es de 1/2", la longitud de la tubería en la que se lo instala es de 12.7 cm y 6.35 cm aguas arriba y aguas abajo respectivamente. Adicionalmente, la tubería tiene que estar sifonada [61], ver Figura 2.2.

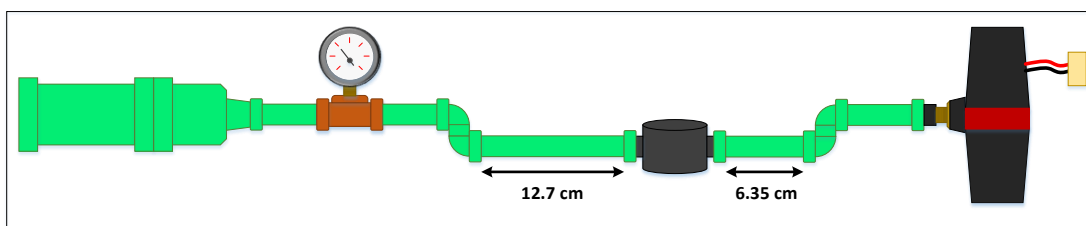


Figura 2.2. Instalación del sensor del flujo para medición de caudal.
Fuente: [61].
Elaborado por: Autores.

Considerando la caracterización que realiza el fabricante de las microturbinas, para medir su rendimiento energético se toman como referencia determinados valores de presión. A partir de ello se mide el voltaje, la corriente y el caudal que circula en ese momento. En la Tabla 2.2 se muestran los resultados obtenidos en cuanto a las variables de presión y caudal, a partir de las cuales se obtiene la potencia hidráulica del sistema [62]. Esta se encuentra expresada en W ya que es necesario que tenga las mismas unidades que la potencia eléctrica para posteriormente efectuar cálculos de eficiencia en las turbinas. Cabe mencionar que no se hace uso de la electroválvula ni del cargador inteligente ya que no son necesarios. La configuración que se observa en la Figura 2.1 se utilizó para caracterizar cada una de las microturbinas.

Tabla 2.2. Valores de presión y caudal obtenidos tras la medición.

Presión (bar)	Caudal (l/min)	Potencia Hidráulica (W)
1	6.98	11.63
1.5	8.23	20.49
2	9.30	30.88
2.5	10.26	42.58
3	11.11	55.33
3.5	12.00	69.72
4	12.72	84.46
4.5	13.38	99.95
5	14.08	116.86

Fuente: Los Autores.
Elaborado por: Los Autores.

De las especificaciones proporcionadas por el fabricante de la microturbina se puede señalar que la relación existente entre la tensión y la corriente generadas por la microturbina es en promedio 15.5Ω . Por lo tanto, para medir las variables de voltaje y corriente, se considera utilizar una carga aproximada de 20Ω y $20 W$ que está disponible en el mercado local. El instrumento de medición que se emplea es un multímetro Keysight. En la Tabla 2.3 se muestran los resultados de las mediciones obtenidas. Estos están en función de la presión y de la potencia generada por cada una de las turbinas. Para observar los resultados más detallados referirse al Anexo A.

Tabla 2.3. Potencia generada por las microturbinas en función de la presión.

Presión (bar)	Potencia Eléctrica (W)				
	Turbina 1	Turbina 2	Turbina 3	Turbina 4	Turbina 5
1	1.05	1.13	1.43	1.35	1.18
1.5	2.63	2.38	2.93	3.20	2.66
2	4.42	4.18	5.05	5.30	4.51
2.5	5.64	6.44	7.02	7.93	6.61
3	8.04	8.91	9.32	9.98	8.77
3.5	9.97	10.95	11.70	12.87	11.54
4	12.12	13.61	14.88	15.31	14.02
4.5	14.40	15.57	17.30	17.76	16.37
5	18.03	17.95	17.86	19.89	18.72

Fuente: Los Autores.

Elaborador por: Los Autores.

A partir de los resultados obtenidos de la caracterización de las turbinas se procede a determinar la curva de rendimiento de cada una de ellas. Esto con el fin de contrastar con lo especificado por el fabricante. En la Figura 2.3 se muestran las curvas de características de las cinco turbinas y la del fabricante.

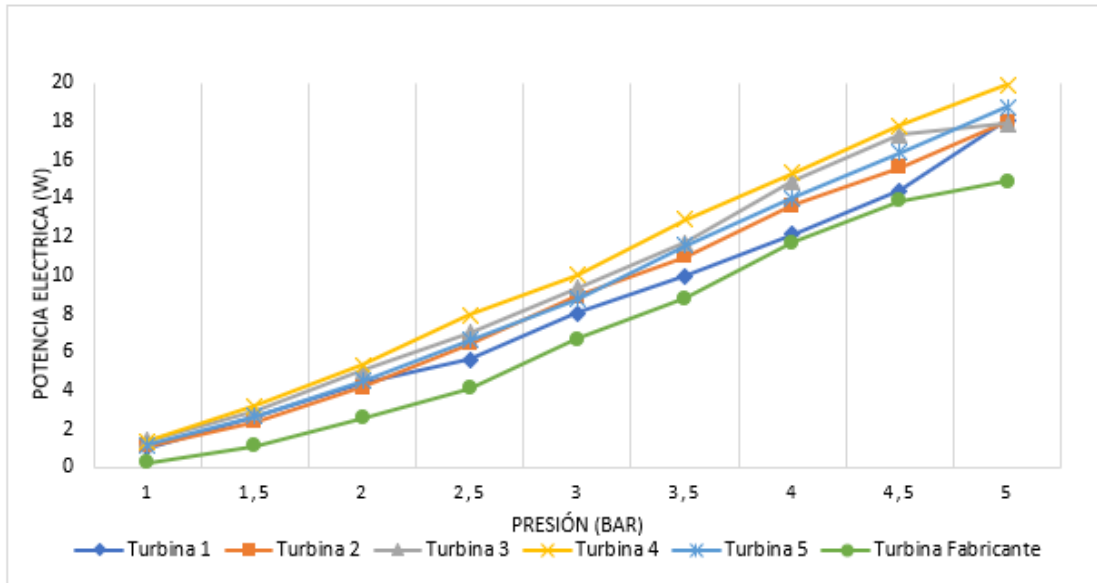
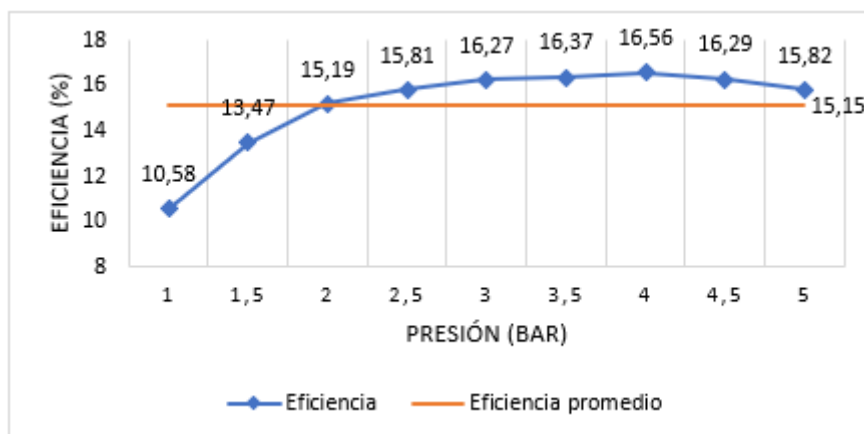


Figura 2.3. Curvas de rendimiento de las microturbinas.

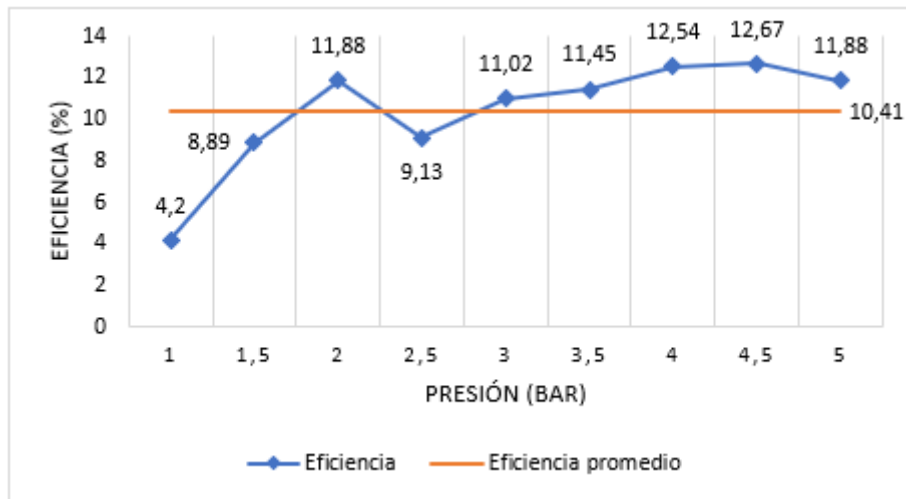
Fuente: Los Autores.

Elaborado por: Los Autores.

En la sección 1.4, se señala que el rendimiento o eficiencia de una turbina está definido por la relación que existe entre la potencia de entrada (P_{in}) y la potencia de salida (P_{out}). Para este caso en particular son potencia hidráulica (P_{in}) y potencia eléctrica (P_{out}). Conociendo estos valores de los resultados obtenidos en las Tablas 2.2 y 2.3, tenemos que la eficiencia de las turbinas es en promedio 15.15% que, si bien supera a lo especificado por el fabricante que es 10.41%, aún es bajo considerando que la eficiencia de un generador de corriente continua está entre 45 y 50%, ver Figura 2.4. Para conocer el rendimiento de cada una de las turbinas referirse al Anexo B.



a)



b)

Figura 2.4. Rendimiento o eficiencia promedio de turbinas caracterizadas a) resultados obtenidos; b) fabricante.

Fuente: Los Autores.

Elaborado por: Los Autores.

2.2. Implementación del sistema de generación de energía.

En este apartado se describe la implementación del sistema, es decir, se instala cada unidad de generación (microturbinas), dentro de un tanque rompe presión diseñado y construido por el señor Carlos Vivanco. Este tanque, al igual que el banco hidráulico está ubicado en la Laboratorio de Hidráulica de la UTPL. Para la implementación se utilizan los materiales mencionados en la sección 2.1.

2.2.1. Cargador inteligente (CI).

Está diseñado específicamente para cargar baterías de diferentes tensiones (6 V, 12 V y 24 V) de plomo-ácido, Níquel-Cadmio, plomo-gel, Metal-Hidruro y Litio. Cuenta con indicadores visuales que permiten realizar ajuste de carga. También tiene un sistema de control para realizar la apertura y cierre de la electroválvula. Al detectar que el nivel de batería ha alcanzado un punto mínimo permite el paso del flujo de agua para iniciar el proceso de carga. Cuenta con una interfaz comunicación RS-232 y RS-485, que permite establecer una conexión con un PC para visualizar el estado y rendimiento de la turbina, además de otros parámetros previamente configurados por el fabricante. Adicionalmente se puede monitorear la temperatura de carga de la batería [9]. En la Figura 2.5 se muestra el cargador inteligente y su vinculación con los diferentes elementos del sistema.

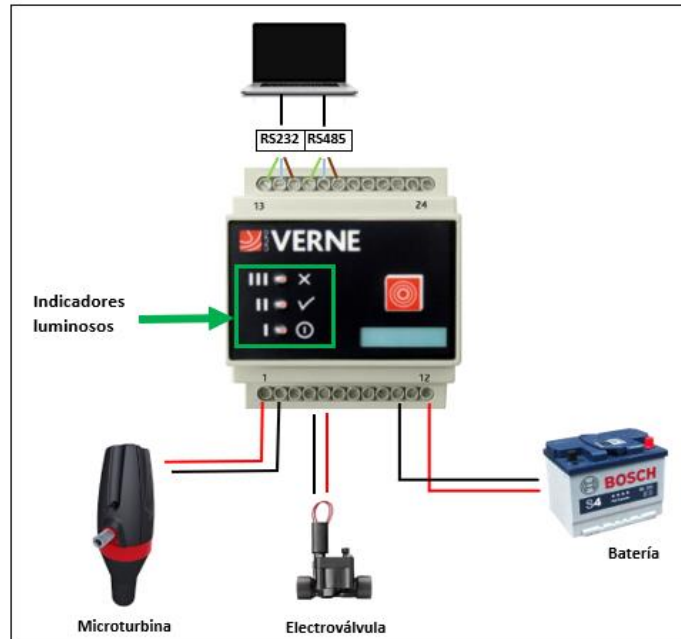


Figura 2.5. Esquema del sistema de cargas de batería.
 Fuente: [9].
 Elaborado por: Los Autores.

A partir de la experiencia obtenida tras el manejo de cada uno de los elementos del sistema se tiene una idea bastante aproximada sobre el funcionamiento del CI cuyo diagrama de flujo se presenta en la Figura 2.6. Al encender el CI este automáticamente envía una señal de apertura a la electroválvula. Como se puede observar el cargador está diseñado para trabajar en un rango de presiones específico que va desde 3.0 bares hasta 3.6 bares. Cuando la presión se encuentra por debajo de este rango los indicadores luminosos del CI muestran un aviso de defecto de presión. Para el caso contrario, cuando la presión excede el rango definido, los indicadores visuales muestran el aviso por exceso de presión. En ambos casos el CI cierra la electroválvula.

Cuando existe defecto de presión, a partir del cierre existe un periodo de 10 minutos en el que se impide el paso del agua a través de la turbina. Cumplido este tiempo, el sistema de control abre nuevamente la electroválvula. La presión que llega hacia la turbina debe ser regulada manualmente dentro del sistema hidráulico, de lo contrario este proceso se repetirá. Para el caso en que existe exceso de presión, el sistema de control cierra indefinidamente la electroválvula y es necesario regular la presión y reiniciar el CI.

Sí la presión se mantiene dentro de los márgenes de presión mencionados anteriormente el CI procede a sensor el nivel de voltaje de la batería. Aquí existen tres posibles casos: batería totalmente cargada, batería descargada, batería con descarga profunda. Para el primer caso el CI mantiene la electroválvula abierta y la turbina continúa generando energía sin embargo el CI detiene la carga de la batería. En el segundo caso, como el CI está constantemente obteniendo información de la carga de

la batería y al detectar que esta se encuentra por debajo del umbral configurado por el fabricante el CI inicia el proceso de carga. Finalmente, cuando el nivel de descarga de la batería excede el 15% (está por debajo de 10 V), al igual que en todos los casos el CI abre la electroválvula para permitir el paso del agua sin embargo al cabo de unos segundos la cierra y permanece en ese estado. Por lo tanto, el CI no carga baterías por debajo de un determinado límite. Adicional a esto en los indicadores luminosos el CI presenta el aviso de defecto de presión.

Una vez que el proceso de carga de la batería comienza el sistema tiene un tiempo de funcionamiento de 60 minutos. Pasado este tiempo el CI cierra la electroválvula obstaculizando el paso del agua y deteniendo la generación de energía durante un periodo de 20 minutos. Una vez finalizado este periodo el sistema de control envía la señal de apertura a la electroválvula para continuar con la carga de baterías. Este proceso se repite indefinidamente tomando en cuenta que las condiciones de presión a la entrada de la turbina coincidan con las del rango de trabajo del CI.

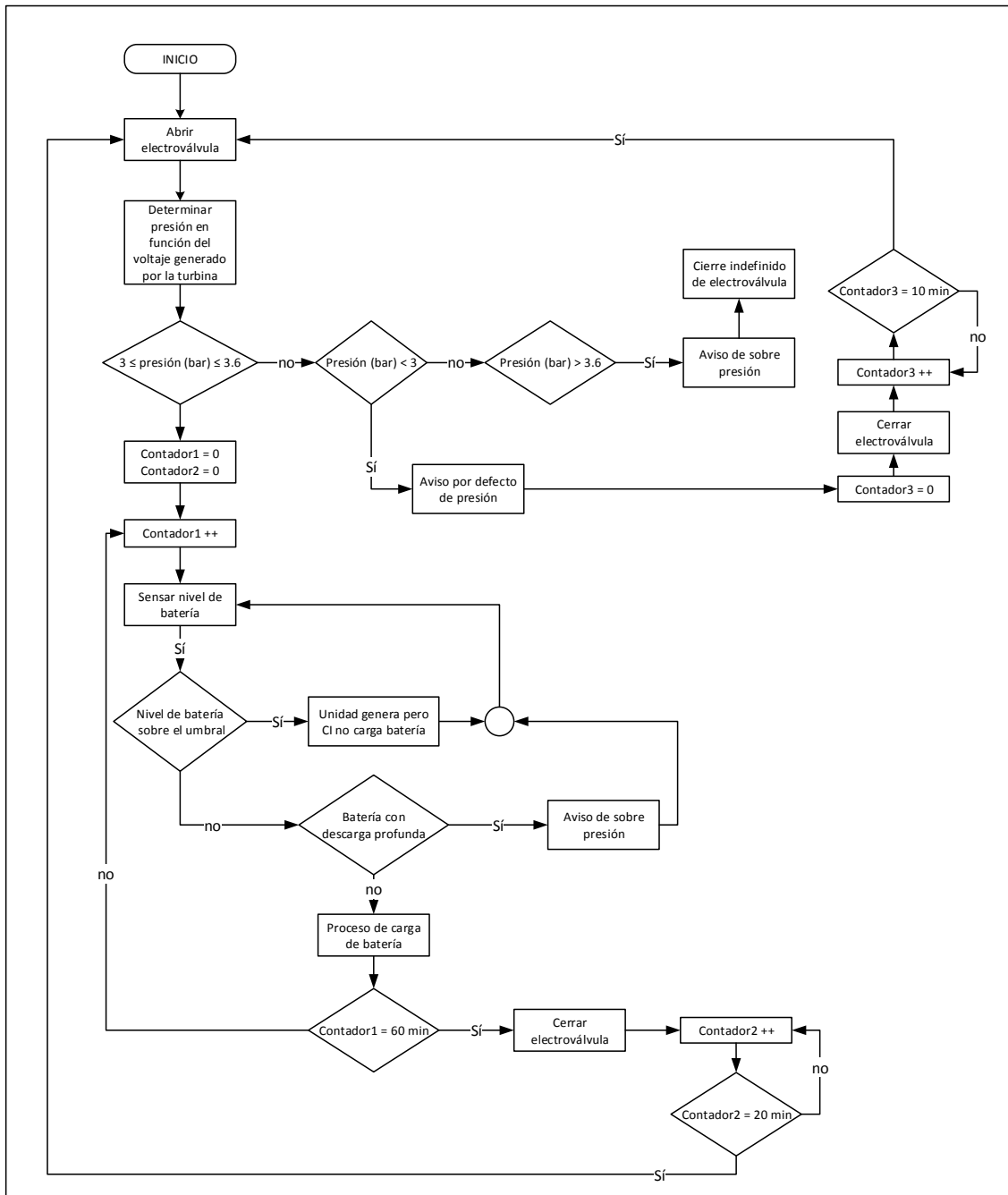


Figura 2.6. Diagrama de flujo del funcionamiento del CI.

Fuente: Los Autores.

Elaboración: Los Autores.

2.2.2. Disposición e integración de unidades de generación y componentes en el tanque rompe-presión.

El tanque está construido con planchas de hierro galvanizado de 0.9 mm de espesor. Tiene una capa de pintura anticorrosiva que contribuye a que no se oxide y permanezca en buenas condiciones. El tanque rompe-presión tiene por objeto disipar la energía y disminuir la presión hidrostática [63]. En la Figura 2.7 se muestra el esquema del tanque y sus dimensiones.

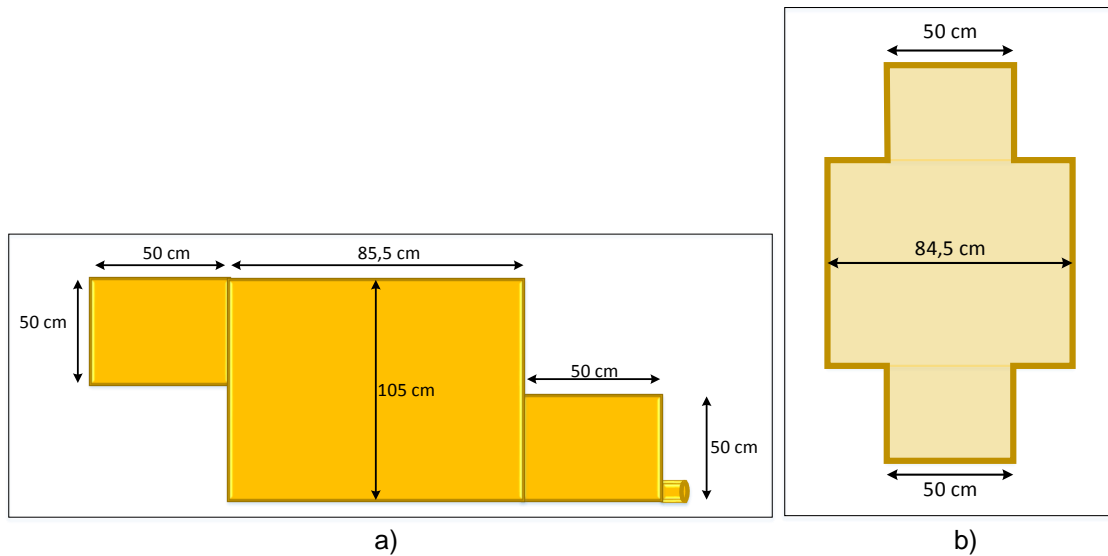


Figura 2.7. Esquema del tanque y medidas a) vista lateral; b) vista superior.

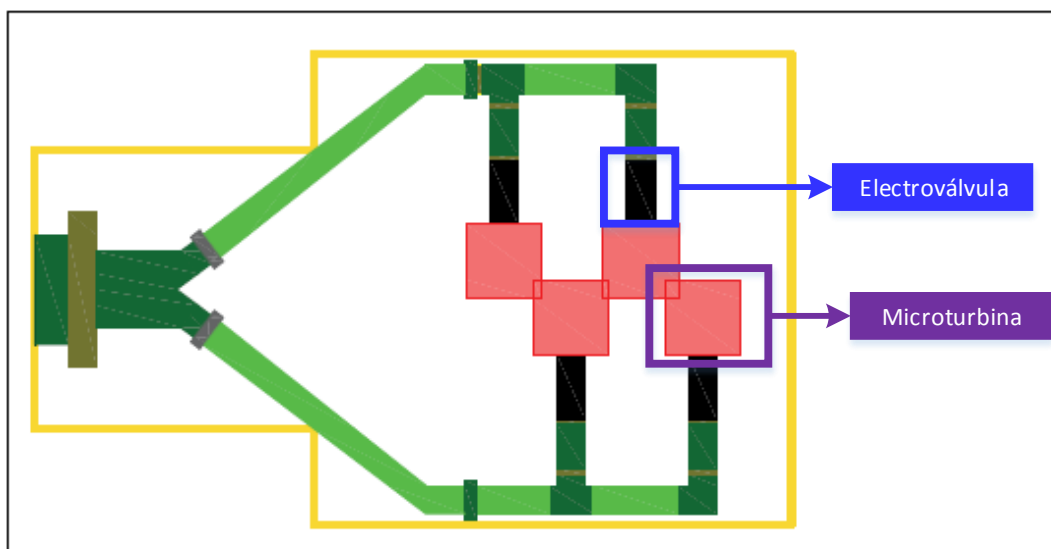
Fuente: Los Autores.

Elaborado por: Los Autores.

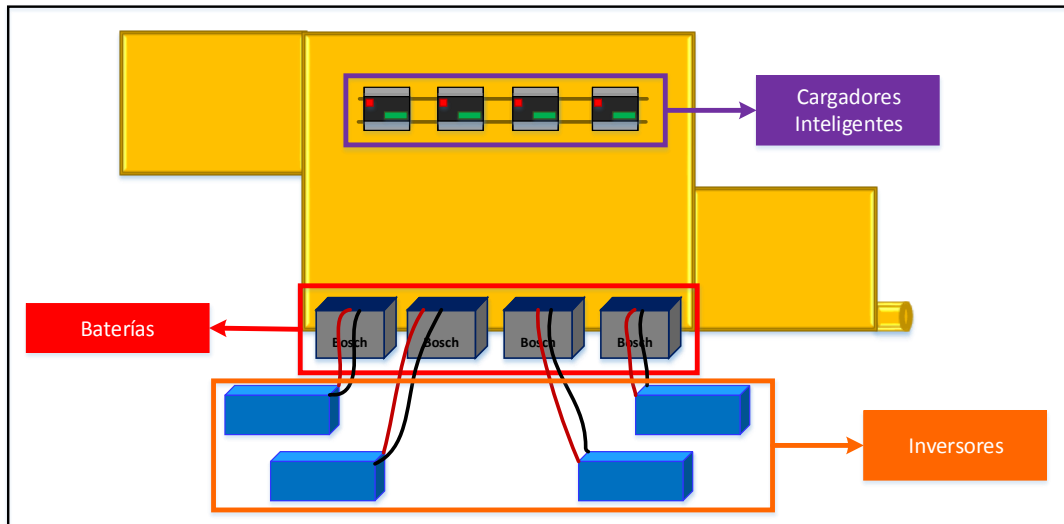
El sistema de generación de energía consta de (ver Figura 2.8):

- 4 microturbinas,
- 4 electroválvulas,
- 4 CI,
- 4 baterías y,
- 4 inversores

Los CIs se ubican en un carril DIN que está adherido a la parte lateral del tanque. Las baterías se encuentran al pie de este. Cada batería tiene conectada a ella un inversor. Adicionalmente, el tanque posee ganchos de hierro soldados en su interior para soportar el peso de las turbinas y mantener las tuberías fijas.



a)



b)

Figura 2.8. Disposición de unidades de generación y componentes en el tanque rompepresión, a) vista superior; b) vista lateral.

Fuente: Los Autores.

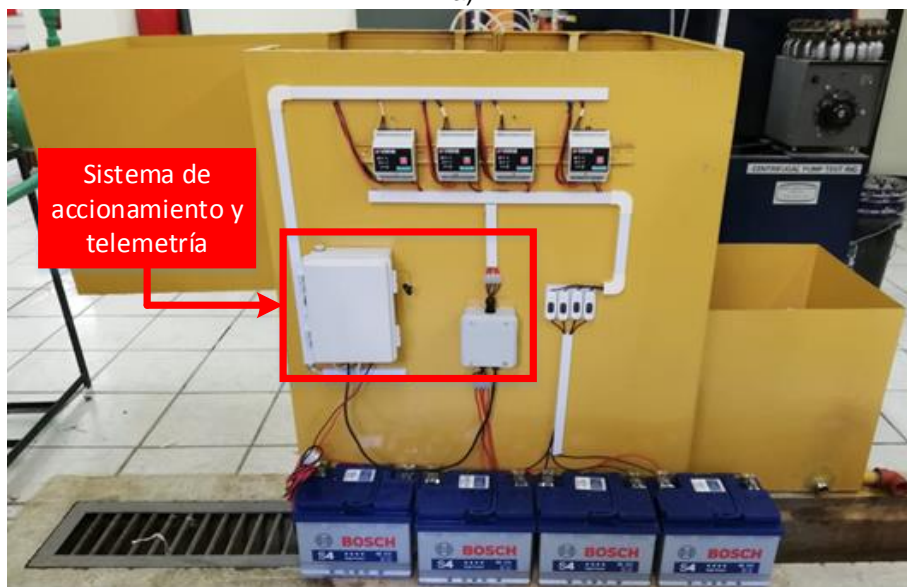
Elaborado por: Los Autores.

2.3. Resultados de la implementación del sistema de generación.

Una vez colocadas las unidades de generación junto con sus componentes en el tanque se realiza el cableado, basado en el manual de usuario proporcionado por el fabricante [9], para conectar las turbinas con el CI y a su vez el CI con la batería y esta con el inversor. Como se puede observar en la Figura 2.9 las microturbinas están dispuestas en el interior del tanque. Se usa canaletas con el fin de organizar adecuadamente el cableado y mejorar la estética. También se utilizan interruptores para controlar el encendido y apagado de los CI. Adicional a esto, se observa que, al tanque, está adherido el sistema de accionamiento y telemetría explicado en el capítulo 3.



a)



b)

Figura 2.9. Implementación del sistema de generación en el tanque rompe-presión en el Laboratorio de Hidráulica de la UTPL a) vista superior, b) vista lateral.
Fuente: Los Autores.
Elaborado por: Los Autores.

2.3.1. Potencia instalada en el sistema

Conociendo la capacidad de las baterías con las que se cuenta se puede hacer un análisis en función de cuantas cargas pueden conectarse a ellas para tener una idea más clara de la capacidad de generación de energía del sistema. Teniendo como carga una bombilla CREE cuyo consumo es de 3W [64] que está encendida 7 horas al día y considerando un día de autonomía, la capacidad de batería que se requiere es:

$$E_d = 3W \times 7 \text{ h/día}$$

$$E_d = 21 \text{ Wh/día}$$

$$C_n = \frac{1.15 \times 21 \frac{\text{Wh}}{\text{día}} \times 1 \text{ día}}{12V \times 0.15}$$

$$C_n = 10.06 \text{ Ah}$$

Por lo tanto, como la batería tiene una capacidad de 55 Ah se pueden conectar un total de cinco bombillas. Como el sistema en su totalidad tiene cuatro baterías se pueden alimentar hasta veinte bombillas.

Es importante conocer la potencia instalada del sistema, por lo tanto, se realiza este análisis tomando en cuenta los datos de potencia generada por cada una de las turbinas de la sección 2.1. Cabe mencionar que los datos que se toman en consideración son los que corresponden a 3.0 bares y 3.6 bares de presión dado a que en ese rango trabaja el CI. En la Tabla 2.4 se muestra la potencia promedio generada por las turbinas que forman parte del sistema de generación.

Tabla 2.4. Potencia promedio generada por cada unidad de generación.

Detalle	Potencia (W)
Unidad de Generación 1	10.15
Unidad de Generación 2	10.51
Unidad de Generación 3	10.43
Unidad de Generación 4	11.42

Fuente: Los Autores.

Elaborado por: Los Autores.

La potencia instalada del sistema se obtiene sumando la potencia generada por cada una de las turbinas, por lo tanto, se obtiene como resultado una potencia instalada de 42.51 W. Cada una de las unidades de generación funcionan 12 horas al día y en grupos de dos como se explica en el capítulo 3, por lo tanto, el sistema en su totalidad trabaja 24 horas al día. Para cálculos más detallados sobre la energía generada tanto

individualmente como por grupos referirse al Anexo C. A continuación, se presenta la energía generada por todo el sistema.

$$E = P \times t$$

Donde: E Energía generada (Wh/día).

P Potencia generada (W).

t Tiempo de funcionamiento (h/día).

$$E = 42.51 W \times 12 h/día$$

$$E = 510.12 Wh/día$$

2.3.2. Energización del nodo central del proyecto “SMART WATER NETWORK”.

En el capítulo 1 se menciona que la microtubina del Grupo Verne está específicamente diseñada para cargar baterías, por lo tanto, se puede pensar en múltiples aplicaciones que surgen a partir de ello. Para este caso en particular es energizar el nodo central del proyecto “SMART WATER NETWORK”. A diferencia de los nodos sensores, el nodo central demanda mayores recursos energéticos debido a que no puede entrar en modo *sleep*. Está activo constantemente (24 horas/día) en espera de datos provenientes de los nodos recolectores. Por lo tanto, en este apartado se calcula el consumo energético del nodo central y se realiza el dimensionamiento de la batería.

2.3.2.1. Consumo energético del nodo central.

Para medir el consumo energético del nodo central se usa el multímetro digital Keysight 3446 junto con el software propietario BenchVue Keysight. Luego de realizar las mediciones para cada uno de los procesos que lleva a cabo, la energía total consumida se calculó con la ecuación (6) [65]. En la Tabla 2.5 se presentan los resultados obtenidos.

$$E_T = \sum (P_A \times T_A) + \sum (P_{Tx} \times T_{Tx}) + \sum (P_{Rx} \times T_{Rx}) \quad (6)$$

Donde: E_T Energía total consumida en el día.

P_A Potencia cuando el nodo está activo.

T_A Tiempo que está activo el nodo (h).

P_{Tx} Potencia cuando el nodo está transmitiendo datos.

T_{Tx} Tiempo de transmisión (h).

P_{Rx} Potencia cuando el nodo está recibiendo datos.

T_{Rx} Tiempo de recepción (h).

Tabla 2.5. Requerimiento diario de potencia del nodo central.

Nodo	Proceso	Corriente (mA)	Tiempo (s)	Potencia (Wh)	Potencia diaria (Wh/día)
Central	Activo	93.500	3600	0.467	11.220
	Recepción	119.038	1.086	0.002	0.0480
	Transmisión	121.474	1.035	0.001	0.025
Total					11.3

Fuente: Los Autores.

Elaborado por: Los Autores.

A partir de los cálculos realizados y asumiendo una eficiencia del 95% en el regulador de la placa Dragino empleada en el nodo central, el consumo diario de potencia del nodo se calcula con la ecuación (7).

$$E_d = \frac{P_d}{\eta_{reg}} \quad (7)$$

Donde: E_d Consumo diario de potencia (Wh/día).

P_d Requerimiento diario de potencia del dispositivo a alimentar (Wh/día).

η_{inv} Eficiencia del regulador (%).

$$E_d = \frac{11.3 \text{ Wh/día}}{0.95}$$

$$E_d = 11.9 \text{ Wh/día}$$

2.3.2.2. Dimensionamiento de la batería.

Para realizar los cálculos sobre la capacidad de batería necesaria para energizar el nodo central se utiliza la ecuación (8). Se considera un día de autonomía para el sistema, y una profundidad máxima de descarga de la batería del 15% tomando en cuenta lo explicado en la sección 2.2. El valor de voltaje en la ecuación (8) se lo toma de la batería especificada en el apartado 2.1.

$$C_n = \frac{1.15 \times E_d \times A}{V \times PD_{m\acute{a}x}} \quad (8)$$

Donde: C_n Capacidad de la batería (Ah).

E_d Consumo diario de potencia (Wh/día).

$PD_{m\acute{a}x}$ Profundidad máxima de descarga de la batería (%).

V Voltaje de operación de la batería.

$$C_n = \frac{1.15 \times 11.9 \text{ Wh/día} \times 1}{12V \times 0.15}$$

$$C_n = 7.6 \text{ Ah}$$

A partir de los cculos realizados se determina que la batería a utilizar cumple con los requerimientos energéticos que demanda el nodo central ya que tiene una capacidad de 55 Ah, ver Tabla 2.6.

Tabla 2.6. Características de la batería Bosch 12V.

Detalle	Especificación
Capacidad	55 Ah
Potencia de arranque	660 A
Reserva	100 min

Fuente: [66].

Elaborado por: Los Autores.

Cabe mencionar que la batería también alimenta el sistema de accionamiento y telemetría además de cargar la batería de la placa waspmote, mencionados en el capítulo 3 del presente trabajo, ver Figura 2.10.

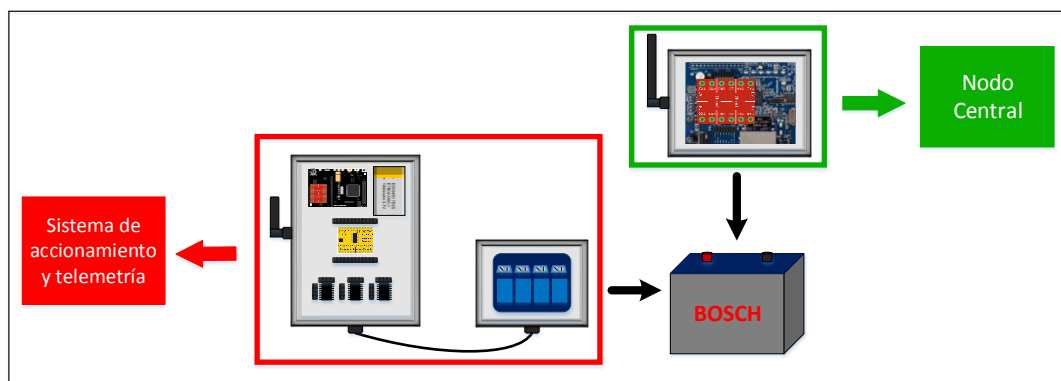


Figura 2.10. Sistema de accionamiento y telemetría y nodo central alimentados por batería.

Fuente: Los Autores.

Elaborado por: Los Autores.

Para conectar el nodo central o cualquier otro dispositivo a las baterías se hace uso de un inversor del fabricante Victron Energy cuya función es transformar la tensión de corriente continua que brinda la batería a un voltaje de corriente alterna. Las características de este se muestran en la Tabla 2.7.

Tabla 2.7. Características del inversor Phoenix de Victron Energy.

Detalle	Especificación
Potencia de salida	175 W
Tensión / frecuencia de salida	110 VAC 60 Hz
Rango de tensión de entrada	10,5 – 15,5 V DC
Eficiencia máxima	87 %

Fuente: [67].

Elaborado por: Los Autores.

CAPÍTULO 3

SISTEMA DE ACCIONAMIENTO Y TELEMETRÍA

3.1. Introducción.

En el presente capítulo se muestra el diseño e implementación del sistema de telemetría y accionamiento de las unidades de generación (UG). Este sistema debe cumplir dos objetivos. El primero es la obtención automática de parámetros eléctricos tales como voltaje, corriente y potencia de cada una de las UG y el envío de estos datos a una plataforma de IoT, para realizar el respectivo monitoreo del sistema. Como segundo objetivo se tiene el accionamiento automático, de dos en dos, de las UG con el fin de tener un sistema de generación funcional las 24 horas que a la vez brinde el margen de tiempo de descanso requerido por el fabricante.

Para la obtención de parámetros eléctricos se utiliza la interfaz de comunicación RS-232 disponible en el CI de la microturbina TRD. Mediante la interfaz y un inicio de sesión en cada uno de los cargadores se establece la comunicación con el cargador, para obtener los parámetros de cada UG. Para el accionamiento se utiliza una placa de relés que mediante un microcontrolador activa y desactiva las UG. En la Figura 3.1 se muestra un esquema general del prototipo donde se observa tanto el sistema de generación de energía eléctrica y el sistema de accionamiento y telemetría.

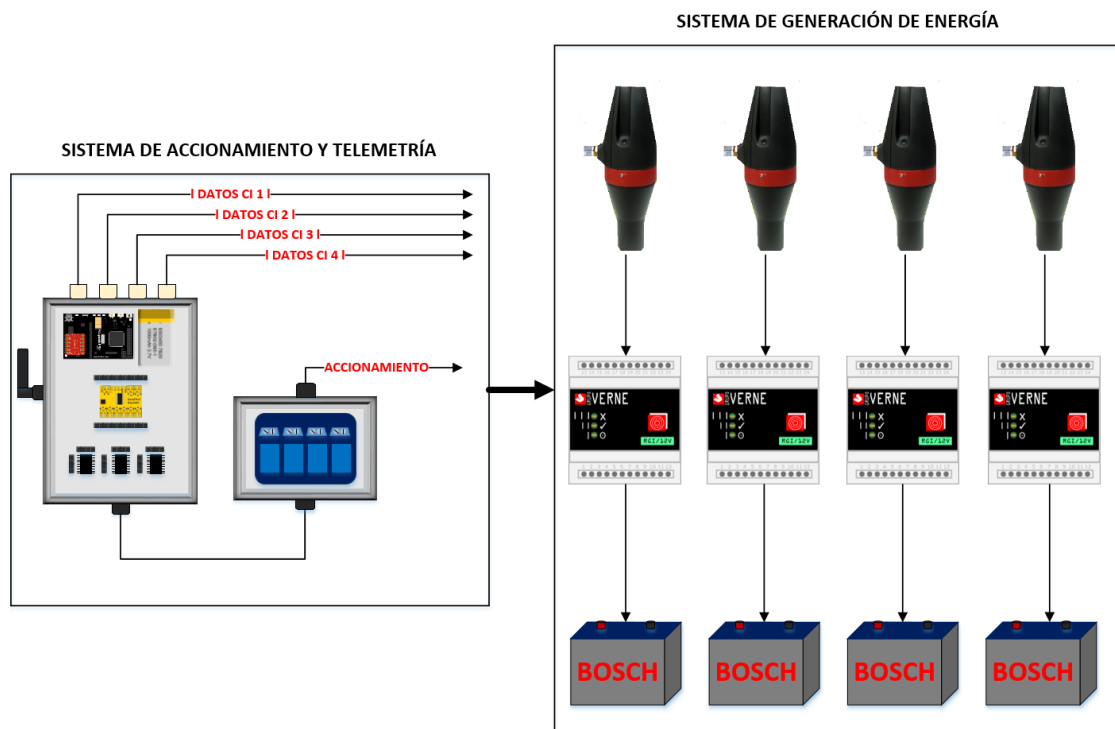


Figura 3.1. Esquema general del prototipo.

Fuente: Los Autores.

Elaborado por: Los Autores.

A continuación, en el presente capítulo se muestra los componentes de hardware y el respectivo algoritmo que permiten el correcto funcionamiento del sistema.

3.2. Hardware del sistema.

El sistema de telemetría y accionamiento se compone físicamente por los siguientes dispositivos: una placa de adquisición de datos waspmote pro V1.2, un multiplexor de puerto UART Atlas Scientific 8:1, un circuito conversor de RS-232 a TTL, un módulo de comunicación, conectores RJ11 y una placa de cuatro relés. La función de cada uno y detalles acerca de cada dispositivo se muestra a continuación.

3.2.1. Placa de adquisición de datos.

La placa a utilizar en el presente sistema es la Waspote Pro V1.2, ver Figura 3.2. Además de las cualidades de la tarjeta que se muestran en [68], esta tarjeta posee componentes tales como RTC y socket de comunicación en formato Xbee que son necesarios dentro del sistema. La robustez y disponibilidad de la tarjeta en el laboratorio también son factores importantes para su elección.

La placa de adquisición de datos cumple cuatro funciones dentro del sistema de accionamiento y telemetría. Primeramente, realiza el encendido y apagado de las UG. Como segunda función ejecuta el inicio de sesión en cada uno de los cargadores para poder establecer una comunicación. A continuación, envía la solicitud de los parámetros eléctricos en cada una de las UG. Finalmente, una vez obtenida la información, procesa todos los parámetros, los agrupa dentro de una trama y los envía hacia Internet mediante el módulo de comunicación para que puedan estar disponibles para su monitoreo.



Figura 3.2. Tarjeta Waspote Pro V1.2.
Fuente: [68].
Elaborado por: [68].

3.2.2. Multiplexor.

El multiplexor a utilizar en el presente sistema es el Serial Port Expander 8:1 del fabricante Atlas Scientific, ver Figura 3.3. Este dispositivo tiene la capacidad de incrementar a ocho puertos seriales un puerto serial de la placa de adquisición de datos mediante multiplexación, para mayor detalle ver [69]. Al ser este un requerimiento del

sistema; pues se necesita de al menos cuatro puertos UART, uno para cada cargador, este dispositivo cumple dicho requerimiento y se lo incorpora al sistema.



Figura 3.3. Multiplexor de puerto serie 8:1.
Fuente: [69].
Elaborado por: [69].

La principal función del multiplexor es establecer el canal físico de comunicación entre el puerto UART de la tarjeta WaspMote Pro y cada uno de los CI's. Para poder establecer dicho canal se realiza la selección previa del cargador con el que se quiere comunicar a través de las salidas digitales del WaspMote Pro que se conectan a las entradas de selección S1, S2, S3 del multiplexor. Una vez seleccionado el cargador con el que se va a comunicar se puede realizar el inicio de sesión y la solicitud de los datos al CI por parte de la tarjeta WaspMote.

3.2.3. RS232 – TTL.

Para conseguir que la tarjeta WaspMote y los cargadores se puedan comunicar es necesario un circuito integrado que realice la conversión de niveles de voltaje RS-232 a TTL y viceversa. El estándar RS232 determina niveles de voltajes entre 3 V y 15 V para un 0 lógico y entre -3 V y -15 V para un 1 lógico, por otro lado los niveles ideales para TTL consisten en 0 V para un 0 lógico y 5 V para un 1 lógico [70]. Al tener por un lado un dispositivo que maneja el estándar TTL como lo es la tarjeta WaspMote Pro y por otro el CI con una interfaz de comunicación de tipo RS-232 es indispensable incorporar un dispositivo que realice la conversión. Ante esto se añade al sistema el circuito integrado MAX232 el cual resuelve el problema, ver Figura 3.4.



Figura 3.4. Circuito Integrado MAX232.
Fuente: [71].
Elaborado por: [71].

El circuito integrado MAX232 se complementa con un arreglo de capacitores para que pueda realizar la respectiva conversión de voltajes. Cada MAX232 lleva integrado dos

convertidores de nivel de TTL a RS232 y otros dos de RS232 a TTL por lo tanto se puede manejar cuatro señales de tipo UART de un microcontrolador, en otras palabras, un MAX232 puede atender a dos CI's, ver Figura 3.5.

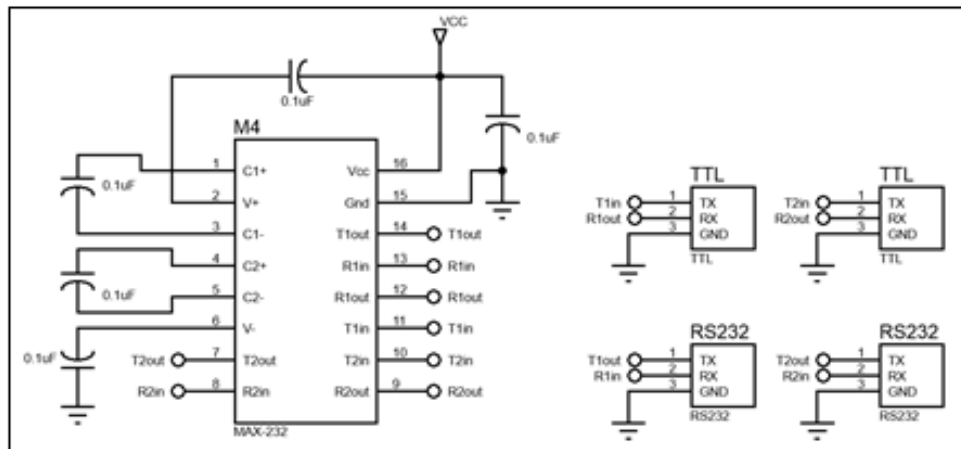


Figura 3.5. Conexión del MAX232 a los condensadores e interfaces RS-232 y TTL.

Fuente: [72]

Elaborador por: Los Autores.

3.2.4. Módulo de comunicación.

Para disponer de los parámetros eléctricos de cada unidad de generación en la nube es necesario hacer uso de un módulo que establezca una conexión hacia Internet. En el presente diseño se propone dos alternativas de módulos de comunicación. El primero es un módulo Xbee 900 Pro el cual mediante un gateway establece una conexión con Internet. El segundo dispositivo es un módulo WIFI RN-171 el cual se conecta con un punto de acceso inalámbrico de Internet directamente. Se utiliza los dispositivos antes mencionados por sus buenas características técnicas disponibles en [73] [74], la infraestructura existente desplegada para las dos tecnologías, el uso de bandas no licenciadas y su disponibilidad en el laboratorio. Es importante recalcar que la compatibilidad física con el formato de conexión XBee por parte del módulo WIFI facilita de gran manera el manejo e incorporación de dicho módulo. En la Figura 3.6 se muestra los módulos de comunicación a utilizar.



Figura 3.6. Módulos de comunicación.

Fuente: [73] [74].

Elaborado por: [73], [74].

3.2.5. Conexión CI – Waspnote.

Para la conexión de los CI con la placa de adquisición de datos se utiliza conectores RJ11 de cuatro pines hembra y macho. Para la parte del CI se utiliza un cable de teléfono en el cual un extremo posee el conector RJ11 y en el otro extremo se tiene tres hilos que se conectarán a Rx Tx y Gnd del CI. Los tres hilos a utilizar, de los cuatro disponibles en el cable de teléfono, son el verde, amarillo y negro, ver Figura 3.7 (a). En la parte de la tarjeta de adquisición se utilizan conectores RJ11 doble hembra a los cuales se los adecua en la caja en la que van colocados todos los elementos de hardware antes descritos, ver Figura 3.7 (b). El uso de conectores RJ11 se debe su tamaño y el número de hilos disponibles. El cable y conectores tienen como función única establecer el enlace físico de comunicación por donde viaja la información de los parámetros eléctricos de cada unidad de generación.

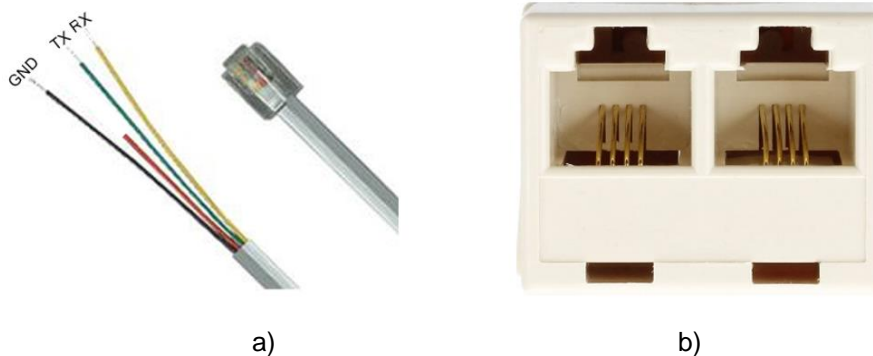


Figura 3.7. Conexión de puertos UART entre el CI y Waspnote.
Fuente: Los Autores.
Elaborado por: Los Autores.

3.2.6. Placa de relés.

Una placa de relés es una tarjeta que agrupa una cierta cantidad de estos dispositivos. Un relé es un conmutador accionado por una señal eléctrica mediante el cual se activa o desactiva circuitos independientes. En el presente sistema se utiliza un arreglo de cuatro relés, uno para cada unidad de generación, los cuales conmutan la alimentación del CI permitiendo controlar el encendido y apagado de dichas unidades. En la Figura 3.8 se muestra la placa de relés a utilizar, en la parte inferior derecha de la misma se observan seis pines de los cuales dos son de alimentación y los cuatro restantes son de control, uno para cada relé. El control de los relés lo realiza la placa waspmote a través de cuatro salidas digitales.



Figura 3.8. Placa de relés para el control de accionamiento.
Fuente: Los Autores.
Elaborado por: Los Autores.

3.3. Interconexión del hardware.

Una vez descritos todos los elementos que participan en el sistema de telemetría y accionamiento se procede a la interconexión de los mismos. En este apartado se muestra un esquema de conexión de todo el sistema además del diseño del PCB realizado para la conexión entre los MAX232 el multiplexor y la tarjeta Waspnote Pro.

3.3.1. Esquema de conexión de los elementos del sistema.

El esquema de conexión que se observa en la Figura 3.9 engloba los dispositivos que conforman el sistema de accionamiento y telemetría conjuntamente con elementos tales como el CI y las baterías pertenecientes al sistema de generación. El esquema propuesto muestra en detalle, pin por pin, como se deben interconectar los dispositivos. Como se puede observar en el esquema el sistema en total consta de dieciocho dispositivos, sin tomar en cuenta condensadores y resistores. Con el objetivo de agrupar ciertos dispositivos y para facilitar la conexión física de los mismos se realiza el diseño de un PCB. En el siguiente subtema se habla a detalle el diseño del PCB.

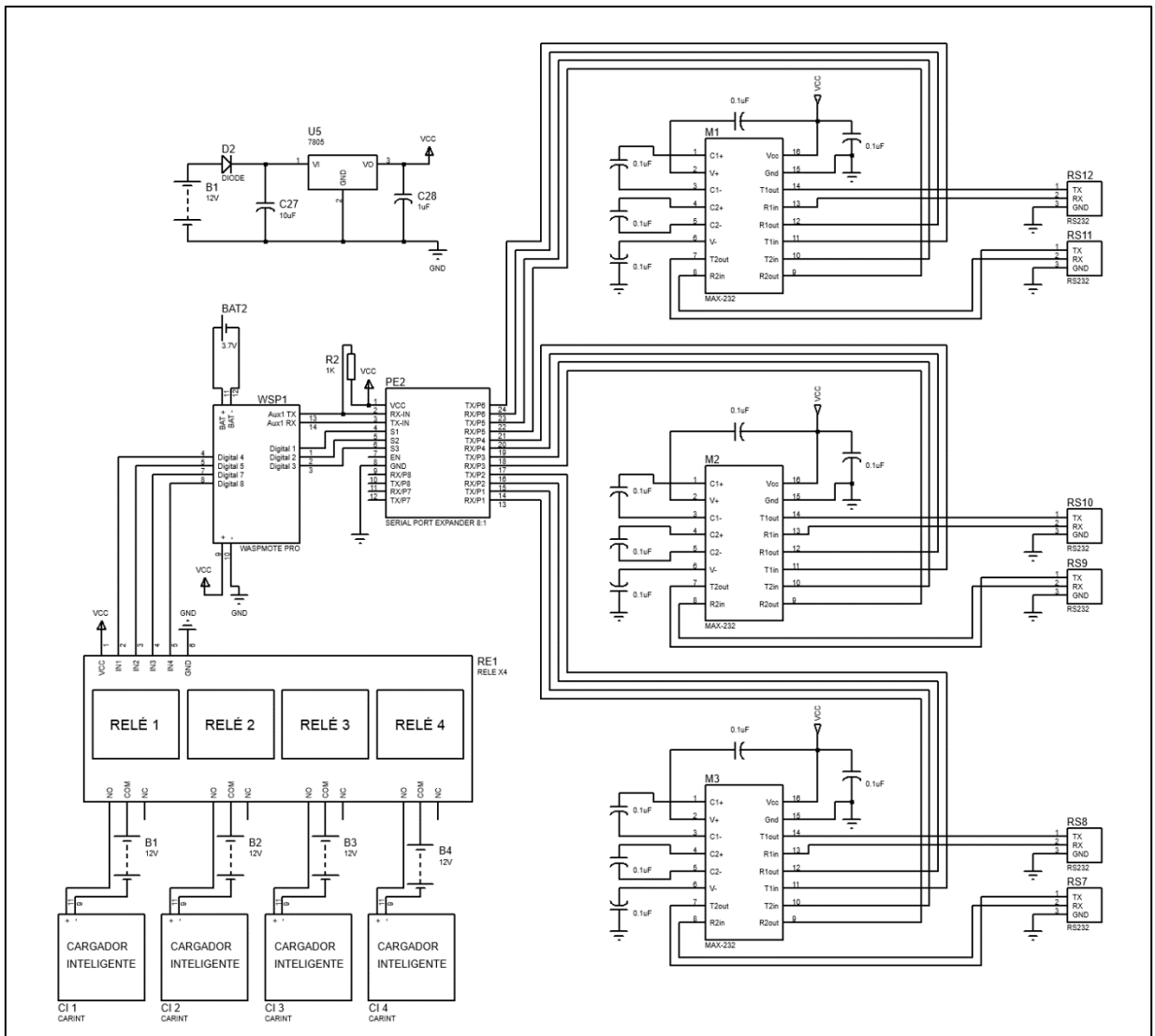


Figura 3.9. Esquema de conexión del sistema.
 Fuente: Los Autores.
 Elaborado por: Los Autores.

3.3.2. Diseño de PBC.

Como se menciona en el apartado anterior el diseño está enfocado a agrupar dispositivos y facilitar de la conexión de los mismos. Entre las principales características del diseño se tiene que: agrupa tres circuitos integrados MAX-232 con sus respectivos condensadores, incorpora una fuente de regulación de 5 V, añade sockets para la conexión entre los MAX-232 y el multiplexor y sockets para la conexión entre la tarjeta waspmote y el multiplexor, ver Figura 3.10.

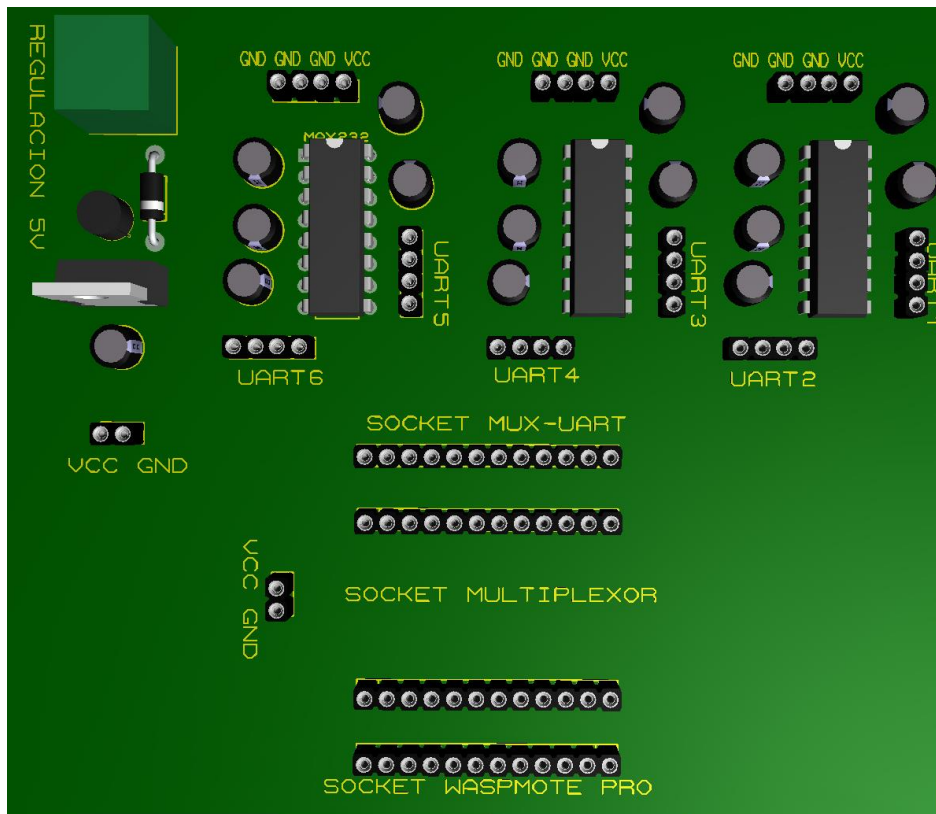


Figura 3.10. Diseño de PCB para la interconexión de dispositivos.
 Fuente: Los Autores.
 Elaborado por: Los Autores.

Se incorpora tres circuitos MAX-232 para tener una capacidad de manejar hasta seis CI. Si bien el sistema consta de cuatro CI's, en caso de que incremente dicho número a seis el presente diseño respondería correctamente. Las capacitancias de los condensadores son las que se muestran en el apartado 3.2.3. La fuente de regulación de 5 V permite hacer uso de la energía almacenada en las baterías de 12 V para alimentar todos los dispositivos del sistema de telemetría y accionamiento y a la vez recarga la batería externa que posee el waspmote. Los sockets UART que se observan en la Figura 3.10 constan de cuatro pines para comunicación. Dos de estos pines corresponden a Rx y Tx para el CI y los otros dos restantes para el multiplexor. En la Figura 3.11 se detalla lo antes mencionado donde TxC y RxC corresponden los pines de conexión para el CI y TxM y RxM son los pines de conexión para el multiplexor.

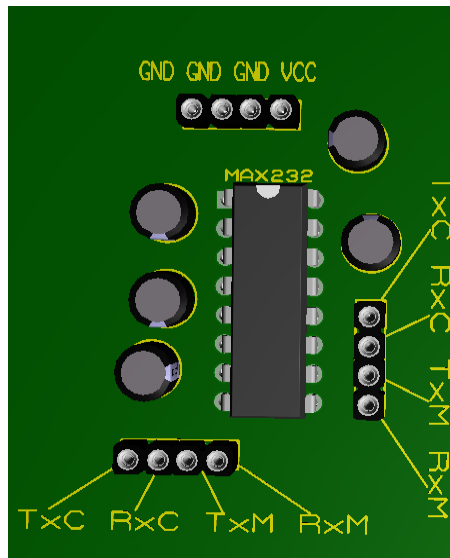


Figura 3.11. Detalle de socket UART para la conexión.

Fuente: Los Autores.

Elaborado por: Los Autores.

3.4. Algoritmo del sistema.

Una vez establecidos los componentes, mencionados en el apartado 3.2, se realiza un algoritmo que haga uso de dicho hardware para que al interactuar estas dos partes se tenga como resultado el cumplimiento de los requisitos del sistema que son el monitoreo y el accionamiento de las UG. El algoritmo propuesto en la Figura 3.12 muestra el accionamiento de las UG de dos en dos, el inicio de sesión en cada CI, la solicitud de parámetros eléctricos y el envío de dichos parámetros a la nube.

Para el encendido y apagado de las unidades se considera un retardo de 15 segundos el cual es fundamental desde el punto de vista hidráulico. Es importante porque garantiza que en todo momento al menos dos unidades se encuentran en funcionamiento lo cual conlleva a tener un nivel de presión casi constante. Esto significa que el sistema hidráulico no sufrirá transitorios de presión que en algún punto puedan llevar al colapso del mismo.

El tiempo de funcionamiento de 30 minutos de cada UG da un margen mayor de descanso del requerido por el CI con el objetivo de no trabajar al límite de sus capacidades. El reinicio del módulo de comunicación se lo realiza con en el módulo WIFI para eliminar datos de configuración que se acumulan dentro de la memoria del dispositivo. Finalmente se ha considerado un tiempo de 5 minutos como descanso del sistema e intervalo de solicitud de parámetros eléctricos.

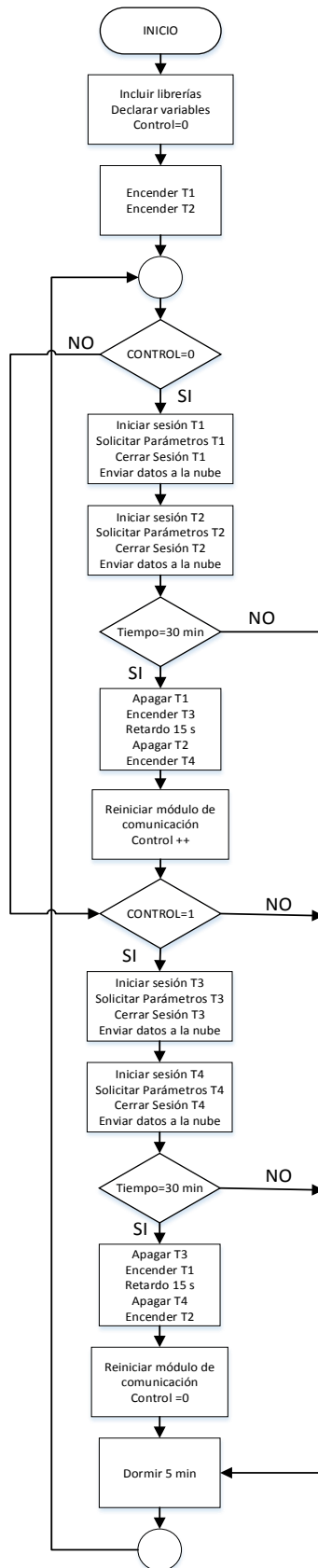


Figura 3.12. Diagrama de flujo del sistema de accionamiento y telemetría.

Fuente: Los Autores.

Elaborado por: Los Autores.

3.5. Resultados.

Una vez realizado el diseño del software y el hardware se procede a la implementación del sistema.

3.5.1. Implementación e integración del hardware.

En la Figura 3.13 se muestra el PCB diseñado, el multiplexor y la tarjeta waspmote junto con su batería. Estos dispositivos se los agrupo dentro de una placa de plástico para dejarlos fijos y posteriormente introducirlos dentro de una caja hermética y puedan estar protegidos de agua y polvo.



Figura 3.13. Hardware implementado.

Fuente: Los Autores.

Elaborado por: Los Autores.

El ensamble del sistema de accionamiento y telemetría se lo realizó en la parte lateral del tanque rompe presión. En la Figura 3.14 se muestra los diferentes elementos adheridos al tanque, donde los números mostrados representan:

1. Cargadores Inteligentes.
2. Placa de procesamiento de datos y control del sistema de telemetría y accionamiento.
3. Placa de relés.
4. Interruptores manuales.
5. Banco de baterías.

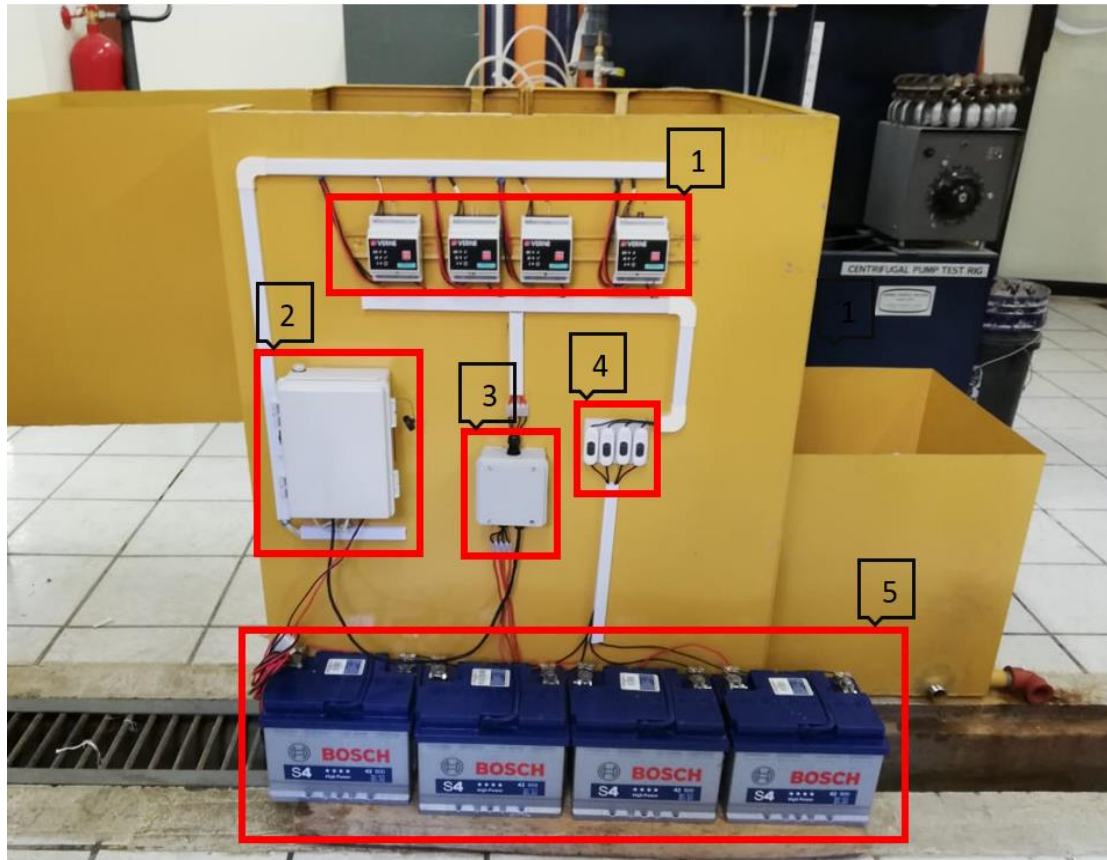


Figura 3.14. Sistema de telemetría y accionamiento adherido al tanque rompe presión.
 Fuente: Los Autores.
 Elaborado por: Los Autores.

3.5.2. Implementación del software.

El algoritmo diseñado se lo implementó a través del IDE de waspmote versión 06.04. Consta de varias funciones las cuales permiten cumplir con todo lo planteado previamente en el algoritmo. En el anexo C se puede observar el código desarrollado para el sistema. Cada línea de código ha sido comentada con el objetivo de que sirva de guía para futuros desarrollos similares, además se adjuntan algunas capturas de pantalla de los resultados obtenidos con la implementación de dicho algoritmo.

En la Figura 3.15 se muestra el principal resultado del código implementado. Se puede observar el inicio de sesión y la obtención de los parámetros eléctricos que son la base

fundamental para realizar el accionamiento y monitoreo del sistema. Los valores de voltaje, corriente, potencia, tiempo de uso y estado corresponden a Vols, Current, Poewr, Time y Status respectivamente. Todos los datos obtenidos son almacenados dentro de una matriz y es mediante las posiciones que ocupan dichos valores en la matriz que se puede obtener únicamente el valor de cada parámetro. Para mayor detalle se recomienda leer los comentarios del código en el Anexo D.

```
[2J

System Verne V1.0

Login: root
Password: ****

Command$
staus
Time:          00:23:56
Temp:          24,016 C
Vols:          12,628 V
Current:       0,914 A
Poewr:         11,5 W
Duty:          0,0 PWM
DutyPower:     0,0 W
Status: Run_Regulator_Current
Command$
```

Figura 3.15. Inicio de sesión y obtención de parámetros.
Fuente: Los Autores.
Elaborado por: Los Autores.

3.5.3. Medición de presión en la transición de UG.

Como se explica en el apartado 3.4 el sistema de generación consta de cuatro UG las cuales trabajan de dos en dos. Es decir, una vez que se ha llegado a los 30 minutos de funcionamiento las dos unidades que se encuentran trabajando se apagan para dar paso a las otras dos UG que se encuentran disponibles. Al realizar el proceso de encendido y apagado de las UG se produce un transitorio de presión en el sistema hidráulico. Para evitar cualquier daño en el sistema la variación de presión en el proceso de encendido y apagado debe ser lo más pequeña posible.

Para cuantificar la variación de la presión que se tiene al momento de la transición de las UG se procedió a monitorear el sistema con un sensor de presión MLH de la marca Honeywell ubicado en la tubería principal a la entrada del tanque rompe presión. El experimento consistió en medir cada 5 segundos la presión instantánea del sistema y realizar la transición de UG para poder obtener los datos. Como resultado se obtuvo la gráfica de la Figura 3.16.

En la gráfica se observa que la presión del sistema oscila 3.0 bares y 3.6 bares, teniendo una presión promedio de 3.3 bares lo cual está dentro del rango permitido por el CI. El momento de la transición de las UG se da en t1 y t2. Se puede observar que gracias al algoritmo implementado el valor de presión disminuye a 2.73 bares y 2.69 bares respectivamente, teniendo como resultado una variación de 0.57 bares y 0.61 bares con respecto a la presión promedio del sistema.

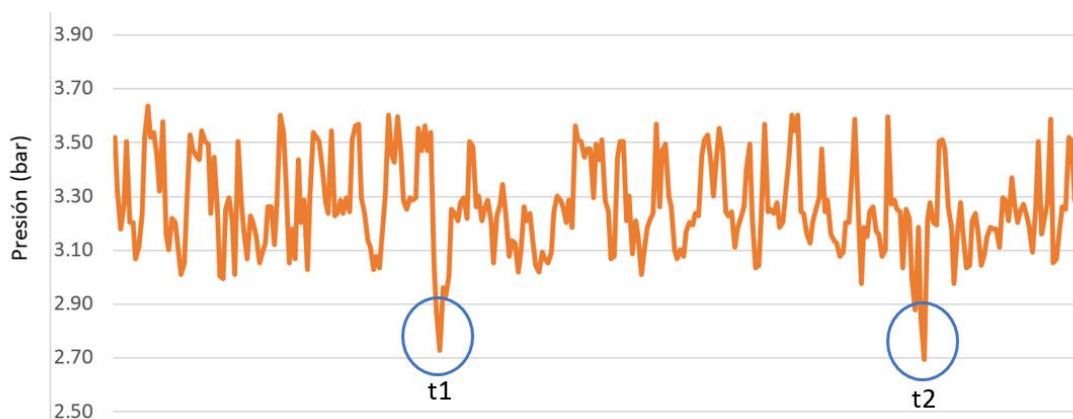


Figura 3.16. Variación de presión en el proceso de transición de UG.
Fuente: Los Autores.
Elaborado por: Los Autores.

3.5.4. Visualización de datos en la plataforma IoT.

Luego de comprobar que la obtención de parámetros se la realiza correctamente se procede a crear cuatro canales de almacenamiento para dichos parámetros dentro de la plataforma ThingSpeak, lo cual permite que el sistema pueda ser monitoreado a través de Internet. En la Figura 3.17 se muestra los cuatro canales, uno por cada UG.

ThingSpeak™		Channels	Apps	Community	Support	Commercial Use	How to Buy	Account	Sign Out
🔒	Unidad de Generación 1	2017-02-16	2018-07-11 16:51	Private	Public	Settings	Sharing	API Keys	Data Import / Export
🔒	Unidad de Generación 2	2017-02-16	2018-07-11 16:52	Private	Public	Settings	Sharing	API Keys	Data Import / Export
🔒	Unidad de Generación 3	2017-02-16	2018-07-11 16:48	Private	Public	Settings	Sharing	API Keys	Data Import / Export
🔒	Unidad de Generación 4	2017-05-03	2018-07-11 16:49	Private	Public	Settings	Sharing	API Keys	Data Import / Export

Figura 3.17. Canales para la visualización de datos en ThingSpeak.
Fuente: Los Autores.
Elaborado por: Los Autores.

Una vez listos los canales para almacenar la información se procede a tomar las APIKEYS de escritura de cada canal y agregarlos al código principal para que la placa de procesamiento conozca el lugar al cual se deben enviar los datos de cada UG. Luego de tener ya la información necesaria se pone en marcha todos los sistemas teniendo como resultado los parámetros de voltaje, corriente, potencia, tiempo y estado de las

cuatro UG disponibles en la plataforma de Internet. En las Figuras 3.18 a 3.21 se muestra lo antes mencionado.

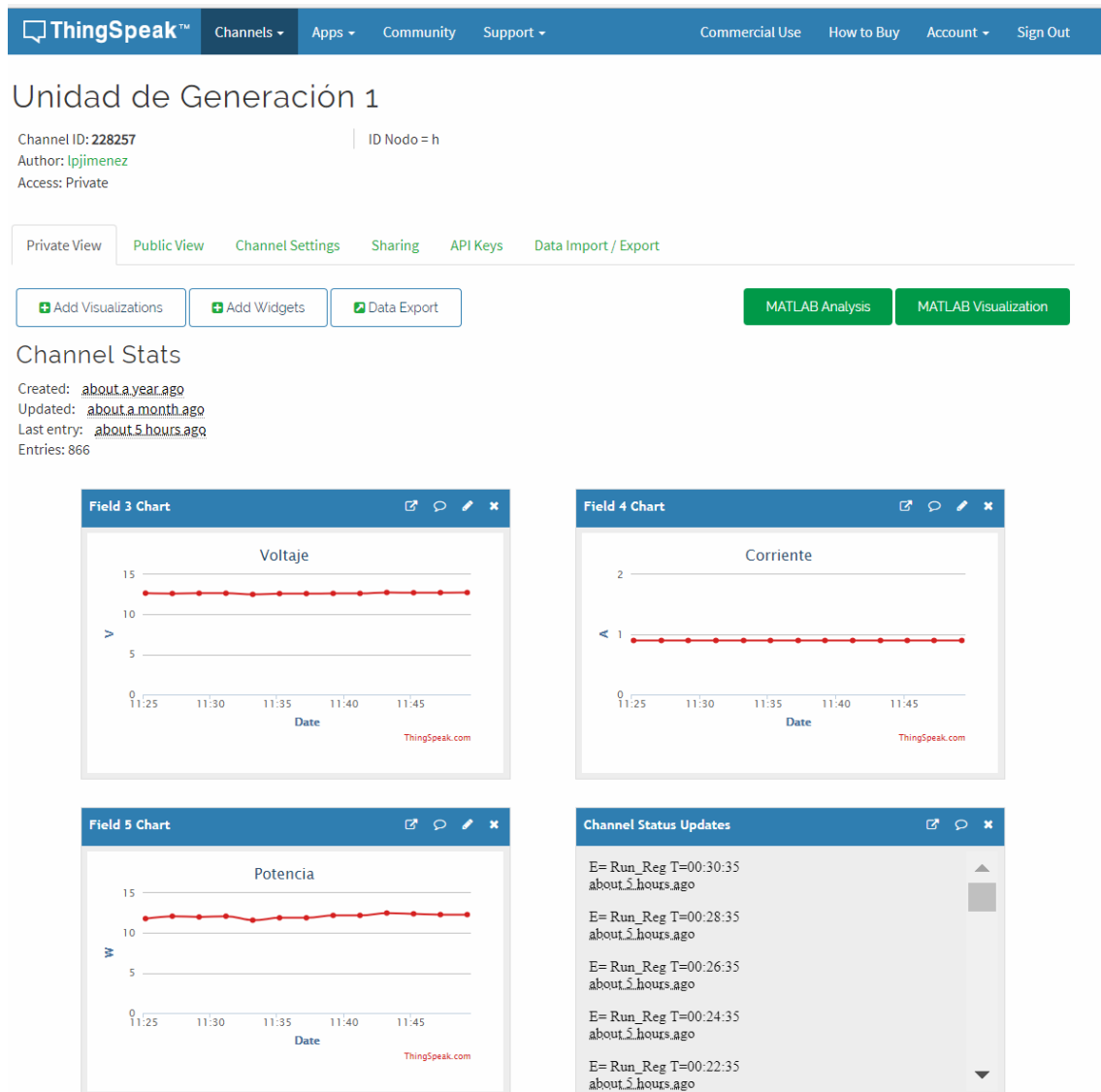


Figura 3.18. Datos de la UG 1 en la plataforma ThingSpeak.

Fuente: Los Autores.

Elaborado por: Los Autores.

Unidad de Generación 2

Channel ID: 228260 | ID Nodo = j
 Author: lpjimenez
 Access: Private

Private View Public View Channel Settings Sharing API Keys Data Import / Export

Add Visualizations Add Widgets Data Export MATLAB Analysis MATLAB Visualization

Channel Stats

Created: [about a year ago](#)
 Updated: [about a month ago](#)
 Last entry: [about 5 hours ago](#)
 Entries: 1009

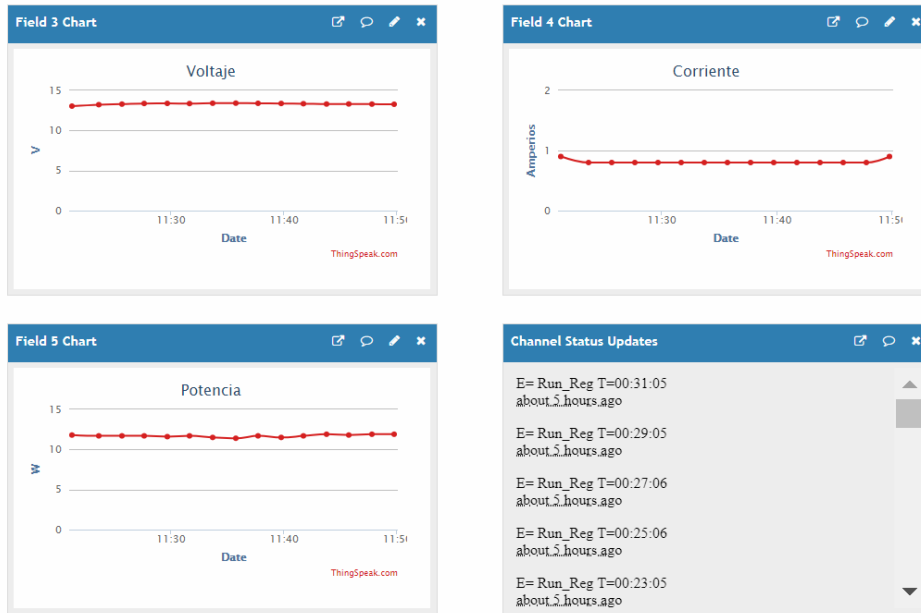


Figura 3.19. Datos de la UG 2 en la plataforma ThingSpeak.

Fuente: Los Autores.

Elaborado por: Los Autores.

Unidad de Generación 3

Channel ID: 228380 | Nodo ID= "k"
 Author: lpjimenez
 Access: Private

Private View Public View Channel Settings Sharing API Keys Data Import / Export

Add Visualizations Add Widgets Data Export MATLAB Analysis MATLAB Visualization

Channel Stats

Created: [about a year ago](#)
 Updated: [about a month ago](#)
 Last entry: [about 5 hours ago](#)
 Entries: 917

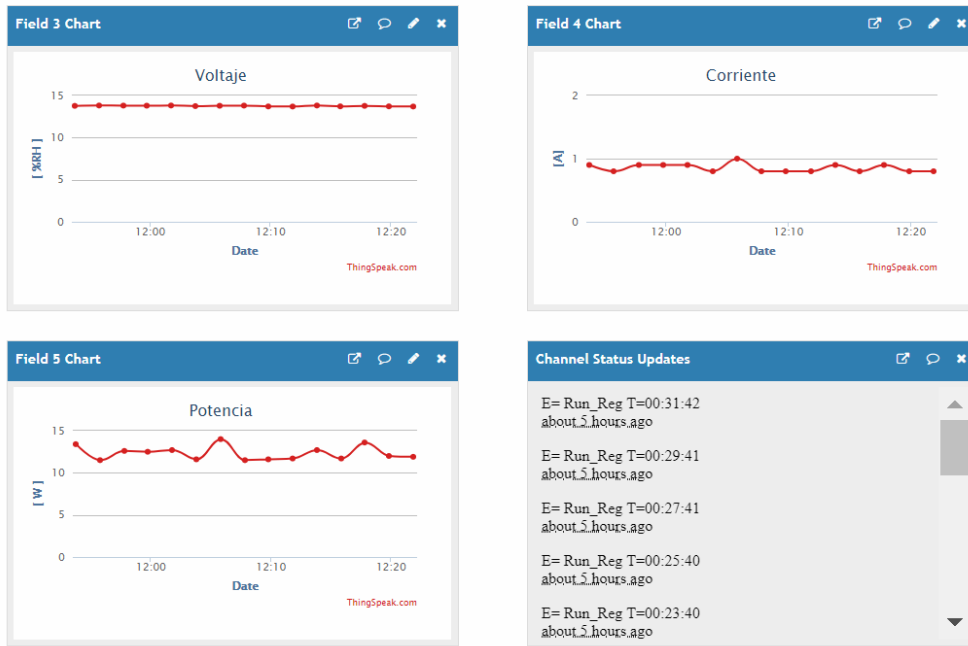


Figura 3.20. Datos de la UG 3 en la plataforma ThingSpeak.
 Fuente: Los Autores.
 Elaborado por: Los Autores.

Unidad de Generación 4

Channel ID: 267317 | Nodo ID= "g"
 Author: lpjimenez
 Access: Private

Private View Public View Channel Settings Sharing API Keys Data Import / Export

[+ Add Visualizations](#)
[+ Add Widgets](#)
[Data Export](#)
[MATLAB Analysis](#)
[MATLAB Visualization](#)

Channel Stats

Created: [about a year ago](#)
 Updated: [about a month ago](#)
 Last entry: [about 5 hours ago](#)
 Entries: 437

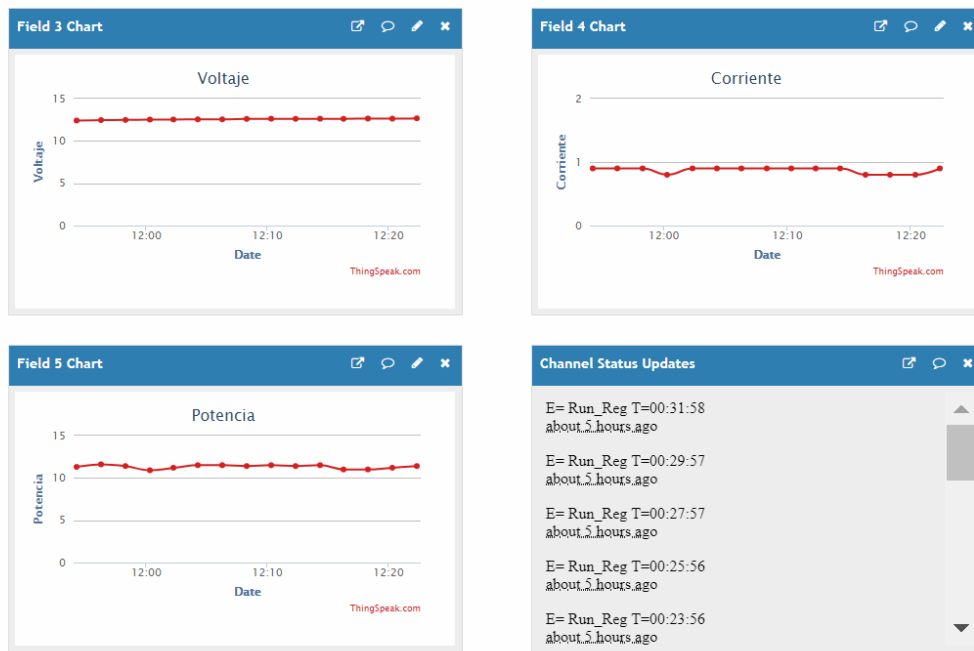


Figura 3.21. Datos de la UG 4 en la plataforma ThingSpeak.
 Fuente: Los Autores.
 Elaborado por: Los Autores.

CONCLUSIONES

- De lo desarrollado en el presente trabajo de titulación se concluye que se ha diseñado e implementado un sistema que sustituye a las tradicionales cámaras rompe presión de concreto por un sistema innovador que transforma la energía del flujo de agua en energía eléctrica a través de un arreglo de microturbinas. Esto permite tener energía eléctrica limpia y disponible para el consumo del ser humano y a la vez disminuye la presión en los sistemas hidráulicos.
- La potencia instalada del sistema, que funciona 24 horas al día, es de 510.12 Wh/día. Además, gracias al sistema de accionamiento y telemetría se monitorea en tiempo real el estado de la microturbina y se envía la información a una plataforma de IoT para su visualización remota.
- En términos de potencia eléctrica se tiene que las turbinas caracterizadas generan de 10.0 W a 11.5 W en los rangos de presión en los que trabaja el CI. A pesar de que superan los parámetros de generación que establece el fabricante la eficiencia energética de estas, que es del 15.15%, es baja en comparación con otras turbinas disponibles en el mercado y mencionadas en el estado del arte del presente trabajo de titulación.
- El sistema de accionamiento y telemetría implementado permite tener un sistema de generación funcional las 24 horas. Además, gracias a este sistema, el encendido y apagado de las UG no produce grandes variaciones de presión brindando así protección al sistema hidráulico.
- El uso de otro tipo de energías en redes de sensores y aplicaciones de IoT, aparte de la solar, vuelve a estos sistemas más robustos e independientes. Para el caso específico del nodo coordinador, el cual no puede hacer uso de funciones de descanso por el rol que cumple dentro de la red, es importante garantizar su autonomía energética mediante el uso de otro tipo de sistemas de aprovechamiento energético como el desarrollado en el presente trabajo de titulación.

RECOMENDACIONES

- La empresa VERNE, fabricante de las microturbinas y cargadores inteligentes utilizados en el presente trabajo de titulación, en la actualidad no se encuentra operando por lo que existe poca disponibilidad de información acerca de los dispositivos. Se recomienda que para desarrollos similares se considere fabricantes operativos en el mercado con los que se pueda contar en caso de requerir información a detalle acerca de los dispositivos.
- Con respecto al sistema de generación de energía se recomienda la colocación de una llave de desfogue de mayor diámetro a la entrada del sistema. Si bien esta llave ayuda a limitar la presión de entrada al sistema para un correcto funcionamiento de este, en caso de necesitar realizar mantenimiento a los dispositivos electrónicos desplegados será esta llave la que permita que el flujo de agua no sea obstruido.
- La presión de entrada al sistema debe permanecer dentro de un rango establecido. En un ambiente de laboratorio es sencillo monitorear y regular ese parámetro. Sin embargo, en caso de ser desplegado, se recomienda que exista un sistema de control adicional encargado de medir constantemente la presión de entrada al sistema para que la regule en caso de ser necesario. La información obtenida también puede estar disponible en una plataforma de IoT.
- Previo a la construcción del tanque rompe-presión, el diseño debe contemplar las medidas de todos los elementos necesarios para la implementación del sistema de generación de energía. Estos incluyen microturbinas, electroválvulas, tuberías, codos, uniones, entre otros. De lo contrario, el espacio donde se ubican las unidades de generación se verá limitado resultando en adecuaciones adicionales al tanque.
- En el caso de desplegar el sistema se debe considerar la respectiva protección de las baterías y los cargadores inteligentes. Las baterías se deben almacenar en un lugar donde se encuentren protegidas a cambios bruscos de temperatura para cuidar su vida útil. Además, dicho lugar deberá contar con ventilación para que no se almacenen los gases tóxicos. En cuanto a los cargadores deberán estar protegidos de la lluvia como lo recomienda el fabricante.
- En caso de que el sistema sea desplegado y de que en el sitio de despliegue exista cobertura, se recomienda hacer uso de la red móvil para el envío de datos a la plataforma IoT. Además, en lugar de HTTP, utilizar el protocolo MQTT con el fin de abaratar costos.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. D. Juárez C., *Centrales hidroelectricas*. Universidad Autonoma Metropolitana, 1992.
- [2] R. L. Mott, *Mecánica de fluidos*. Prentice-Hall, 2006.
- [3] X. Criollo and C. Quezada, “Diseño de una mini central de energia hidroelectrica en la plata de tratamiento de aguas residuales en la ciudad de Cuenca,” 2011.
- [4] J. Roldán Viloría and J. C. Toledano, *Energías renovables : lo que hay que saber*. Paraninfo, 2012.
- [5] X. Elías Castells and S. Bordas Alsina, *Energía, agua, medioambiente, territorialidad y sostenibilidad*. 2012.
- [6] C. DeFeo, “Chapter 9 – Energy Harvesting and the Internet of Things,” in *Green Information Technology*, 2015, pp. 151–160.
- [7] Z. Mihajlovic, A. Joza, V. Milosavljevic, V. Rajs, and M. Zivanov, “Energy harvesting wireless sensor node for monitoring of surface water,” in *2015 21st International Conference on Automation and Computing (ICAC)*, 2015, pp. 1–6.
- [8] M. a. Song, Zhenyu; Lazarescu, Mihai T.; Tomasi, Riccardo; Lavagno, Luciano; Spirito, *Internet of Things Applications: Challenges and Opportunities*. 2014.
- [9] Grupo Verne, “Microturbina TRD. Manual de Usuario.,” 2015.
- [10] A. Omairi, Z. H. Ismail, K. A. Danapalasingam, and M. I. Shapiai, “Power Harvesting in Wireless Sensor Networks and Its Adaptation with Maximum Power Point Tracking: Current Technology and Future Directions,” *IEEE Internet Things J.*, vol. 4662, no. c, pp. 1–1, 2017.
- [11] F. J. Landa Q. and L. E. Llanganate Q., “Diseño y construcción de una pico central hidroeléctrica utilizando una turbina Michell Banki para generación eléctrica en el sector de las Carmelitas del Cantón,” 2009.
- [12] T. Muhammed and R. A. Shaikh, “An analysis of fault detection strategies in wireless sensor networks,” *Journal of Network and Computer Applications*. 2017.
- [13] S. M. Kamruzzaman, X. Fernando, and M. Jaseemuddin, “Energy Harvesting Wireless Sensors for Smart Cities,” pp. 218–222, 2017.
- [14] Silicon Labs, “The Evolution of Wireless Sensor Networks,” 2013.
- [15] K. Z. Panatik *et al.*, “Energy Harvesting in Wireless Sensor Networks : A Survey,”

pp. 28–30, 2016.

- [16] J. A. R. Azevedo and F. E. S. Santos, “Energy harvesting from wind and water for autonomous wireless sensor nodes,” *IET Circuits, Devices Syst.*, vol. 6, no. 6, pp. 413–420, Nov. 2012.
- [17] B. S. Chaudhry, “Energy consumption and harvesting in WSNs: Challenges and solutions,” in *2017 International Conference on Innovations in Electrical Engineering and Computational Technologies (ICIEECT)*, 2017, pp. 1–2.
- [18] A. Mecocci, G. Peruzzi, A. Pozzebon, and P. Vaccarella, “Architecture of a hydroelectrically powered wireless sensor node for underground environmental monitoring,” *IET Wirel. Sens. Syst.*, vol. 7, no. 5, pp. 123–129, Oct. 2017.
- [19] R. Morais *et al.*, “Sun, wind and water flow as energy supply for small stationary data acquisition platforms,” *Comput. Electron. Agric.*, vol. 64, no. 2, pp. 120–132, Dec. 2008.
- [20] M. I. Mohamed, W. Y. Wu, and M. Moniri, “Power harvesting for smart sensor networks in monitoring water distribution system,” in *2011 International Conference on Networking, Sensing and Control*, 2011, pp. 393–398.
- [21] Grupo Verne, “Microturbina TRD,” 2015. [Online]. Available: <http://grupoverne.com/productos/microturbina-trd>. [Accessed: 01-Feb-2017].
- [22] M. Kaltschmitt, W. Streicher, and A. Wiese, *Renewable Energy - Technology, Economics and Environment*. 2007.
- [23] D. Alajo and E. Anchatuña, “Diseño Y Construcción De Una Pico Central Hidroeléctrica En La Hostería ‘Los Llanganates’ Ubicada En El Sector Las Carmelitas En El Kilómetro 65 De La Carretera Salcedo - Tena Para Generar Energía Eléctrica Limpia,” p. 147, 2013.
- [24] F. K. Shaikh and S. Zeadally, “Energy harvesting in wireless sensor networks: A comprehensive review,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 55, pp. 1041–1054, 2016.
- [25] T. D. Nguyen, J. Y. Khan, and D. T. Ngo, “An effective energy-harvesting-aware routing algorithm for WSN-based IoT applications,” *IEEE Int. Conf. Commun.*, 2017.
- [26] M. Y. Al-Haik, M. Y. Zakaria, M. R. Hajj, and Y. Haik, “Storage of energy harvested from a miniature turbine in a novel organic capacitor,” *J. Energy Storage*, vol. 6,

pp. 232–238, 2016.

- [27] United States Department of Energy and Washington, “AC Theory , Circuits , Generators & Motors,” pp. 3–92, 1992.
- [28] J. F. Mora, “Maquinas Electricas.” Mc Graw Hill, p. 769, 2003.
- [29] “¿Qué es un generador eléctrico?” [Online]. Available: <http://www.rinconeducativo.org/es/recursos-educativos/que-es-un-generador-electrico>. [Accessed: 08-Feb-2018].
- [30] Q. H. Nagpurwala, “Hydraulic Turbines.” .
- [31] U. Sánchez Domínguez, *Máquinas hidráulicas*. .
- [32] M. González, “Máquinas de Fluido - Turbinas Pelton,” 2009.
- [33] TECNOTURBINES, “Micro-turbinas hidráulicas para carga de batería - Picoturbina.” [Online]. Available: <https://tecnoturbines.com/turbinas-cargade-bateria/picoturbina>. [Accessed: 06-Aug-2018].
- [34] Energy Systems and Design Ltd., “Watter Buddy.” [Online]. Available: <https://microhydropower.com/our-products/watter-buddy/>. [Accessed: 06-Aug-2018].
- [35] A. Desai, I. Mukhopadhyay, and A. Ray, “Theoretical analysis of a Pico-hydro power system for energy generation in rural or isolated area,” in *2014 IEEE PES Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (APPEEC)*, 2014, pp. 1–4.
- [36] V. R. Vásquez Huiracocha, “Estudio y diseño de un sistema micro-hidroeléctrico para generación y abastecimiento de energía eléctrica mediante energía renovable para una vivienda típica del sector de Sinincay perteneciente al Cantón,” p. 154, 2015.
- [37] A. Harvey, *Micro-hydro design manual: a guide to small-scale water power schemes*. Intermediate Technology Publications, 1993.
- [38] A. A. Nimje and G. Dhanjode, “Pico-Hydro-Plant for Small Scale Power Generation in Remote Villages,” *IOSR J. Environ. Sci. Ver. III*, vol. 9, no. 1, pp. 2319–2399, 2015.
- [39] P. Maher and N. Smith, “PICO HYDRO FOR VILLAGE POWER A Practical Manual for Schemes up to 5 kW in Hilly Areas,” *Development*, no. May, 2001.

- [40] J. F. Sanz Osorio and C. Almécija, *Energía hidroeléctrica*. Prensas Universitarias de Zaragoza, 2016.
- [41] J. Zheng and A. Jamalipour, *Wireless sensor networks : a networking perspective*. IEEE, 2009.
- [42] K. Sohraby, D. Minoli, and T. Znati, *Wireless Sensor Networks*. 2007.
- [43] R. Semic, V. Phoha, and A. Serwadda, *Wireless Sensor Networks: Security, Coverage, and Localization*, vol. 65, no. 7. 2016.
- [44] N. Velasco, "Microcontroladores." .
- [45] R. Martínez, "Análisis y diseño de una red inalámbrica de sensores para un proyecto agrario," 2014.
- [46] Libelium, "Waspote - Wireless Sensor Networks Open Source Platform." [Online]. Available: <https://www.cooking-hacks.com/documentation/tutorials/waspote/>. [Accessed: 12-Feb-2018].
- [47] B. G. Lee and C. Sunghyun, *Broadband Wireless Access And Local Networks: Mobile WiMAX and WIFI*. 2008.
- [48] J. Kurose and K. Ross, *Computer Networking A top-down approach*, 7ma ed. 2016.
- [49] P. Baronti, P. Pillai, V. W. C. Chook, S. Chessa, A. Gotta, and Y. F. Hu, "Wireless sensor networks: A survey on the state of the art and the 802.15.4 and ZigBee standards," *Comput. Commun.*, vol. 30, no. 7, pp. 1655–1695, 2007.
- [50] L. Šastný, L. Franek, and P. Fiedler, "Wireless communications in smart metering," *IFAC Proc. Vol.*, vol. 46, no. 28, pp. 330–335, Jan. 2013.
- [51] "Wireless Mesh Networking."
- [52] A. Cárdenas, "¿Qué es una plataforma IoT? - Secmotic," 2016. [Online]. Available: <https://secmotic.com/blog/plataforma-iot/>. [Accessed: 12-Feb-2018].
- [53] "IoT Analytics - ThingSpeak Internet of Things." [Online]. Available: <https://thingspeak.com/>. [Accessed: 12-Feb-2018].
- [54] Altar, "Carriots - Internet of Things Platform | Home." [Online]. Available: <https://www.carriots.com/>. [Accessed: 12-Feb-2018].
- [55] "Electric Imp - the industry leading Internet of Things (IoT) platform delivering

- connectivity that transforms.” [Online]. Available: <https://electricimp.com/>. [Accessed: 12-Feb-2018].
- [56] “Pushing Data to Data.SparkFun.com - learn.sparkfun.com.” [Online]. Available: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/pushing-data-to-datasparkfuncom>. [Accessed: 12-Feb-2018].
- [57] “IoT platform | Internet of Things | Ubidots.” [Online]. Available: <https://ubidots.com/>. [Accessed: 12-Feb-2018].
- [58] “Thinking Things | Welcome to The IoT World of Telefónica.” .
- [59] “blauLabs - Gestión energética y soluciones IoT.” [Online]. Available: <http://www.blaulabs.com/es/>. [Accessed: 12-Feb-2018].
- [60] “YF-S201 Hall Effect Water Flow Meter / Sensor |.” [Online]. Available: <http://www.hobbytronics.co.uk/yf-s201-water-flow-meter>. [Accessed: 03-Sep-2018].
- [61] Seametrics, “INLINE TURBINE METER WT-SERIES INLINE TURBINE METER INSTRUCTIONS.” .
- [62] “Ecuaciones para bombas y motores.”
- [63] C. Vivanco, “Comunicación oral: Tanque rompe-presión.” 2018.
- [64] S. 21, “Synergy|Leds & more 2 / 2011,” 2011.
- [65] G. Enríquez Harper, *El abc de las instalaciones electricas residenciales*. Editorial Limusa, 2005.
- [66] “Baterías Bosch | Bosch.” [Online]. Available: <http://boschecuador.com/baterias/42-hp-0>. [Accessed: 08-Aug-2018].
- [67] Victron Energy, “Datasheet-Phoenix-Inverter-180VA-1200VA-EN.” .
- [68] Libelium, “Guía Técnica Waspote.” [Online]. Available: http://www.libelium.com/downloads/documentation/waspote_technical_guide.pdf. [Accessed: 04-Sep-2018].
- [69] “8:1 Serial Port Expander | Atlas Scientific.” [Online]. Available: https://www.atlas-scientific.com/product_pages/components/port_expander.html. [Accessed: 01-Aug-2018].
- [70] Dallas Semiconductor, “Fundamentals of RS-232 Serial Communications,”

Dallas, p. 9, Sep-1998.

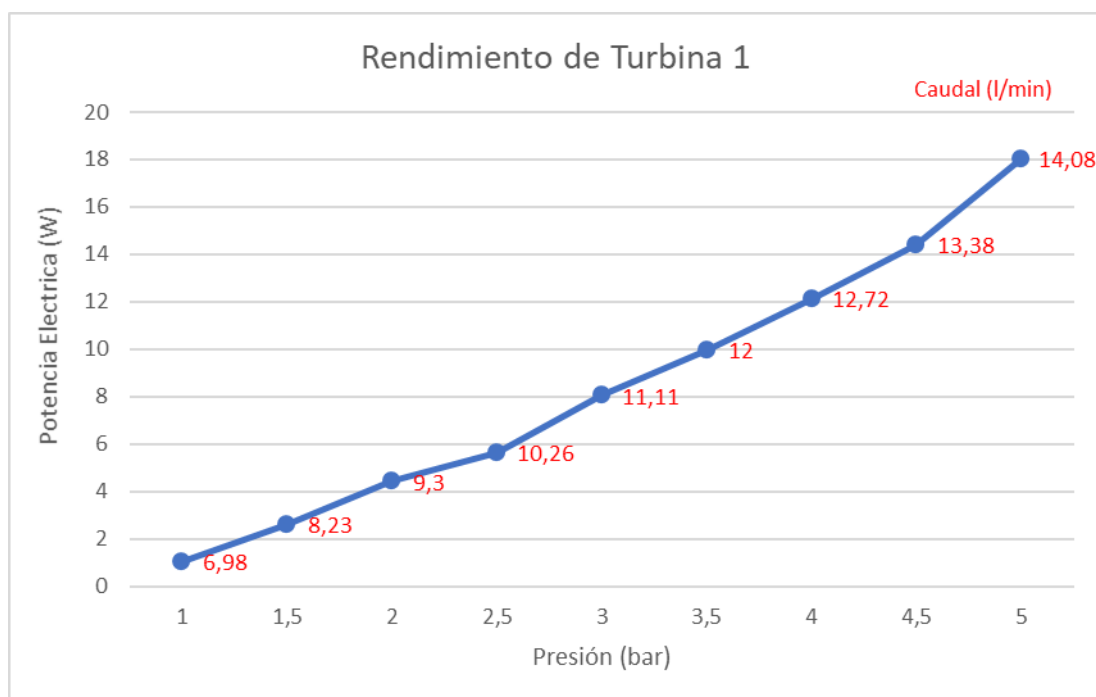
- [71] "MAX232 Serial Level Converter | Makers Electronics." [Online]. Available: <https://makerselectronics.com/product/max232-serial-level-converter>. [Accessed: 01-Aug-2018].
- [72] "MAX220-MAX249 +5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers General Description."
- [73] DIGI, "XBee-PRO 900." [Online]. Available: <https://www.digi.com/products/xbee-rf-solutions/sub-1-ghz-modules/xbee-pro-900hp#specifications>. [Accessed: 07-Aug-2018].
- [74] Microchip, "RN171." [Online]. Available: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/70005171B.pdf>. [Accessed: 07-Aug-2018].

ANEXOS

ANEXO A: RESULTADOS OBTENIDOS TRAS LA MEDICIÓN DE PARÁMETROS ELÉCTRICOS E HIDRÁULICOS EN LAS MICROTURBINAS.

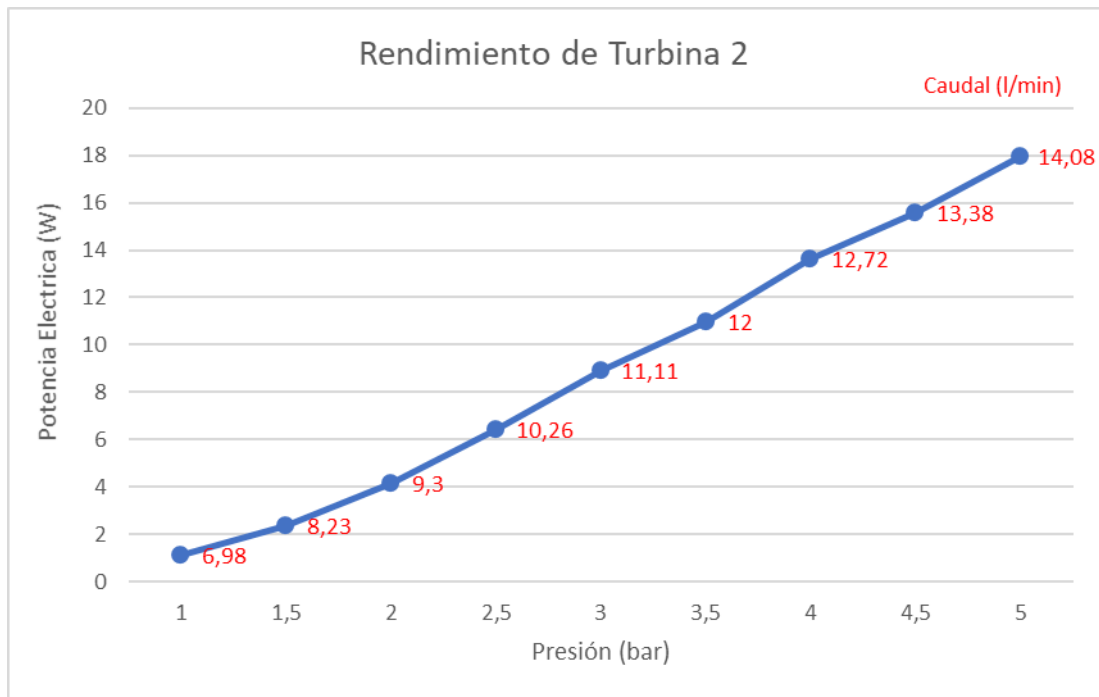
Turbina 1

Presión (bar)	Caudal (l/min)	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia Hidráulica (W)	Potencia Eléctrica (W)	Eficiencia
1	6,98	5	0,21	11,55	1,05	9,09
1,5	8,23	7,5	0,35	20,65	2,63	12,71
2	9,3	9,6	0,46	31,1	4,42	14,2
2,5	10,26	11,5	0,49	42,75	5,64	13,18
3	11,11	13,4	0,6	55,3	8,04	14,54
3,5	12	15,1	0,66	70	9,97	14,24
4	12,72	16,6	0,73	85,33	12,12	14,2
4,5	13,38	18	0,8	99,98	14,40	14,4
5	14,08	19,6	0,92	116,67	18,03	15,46



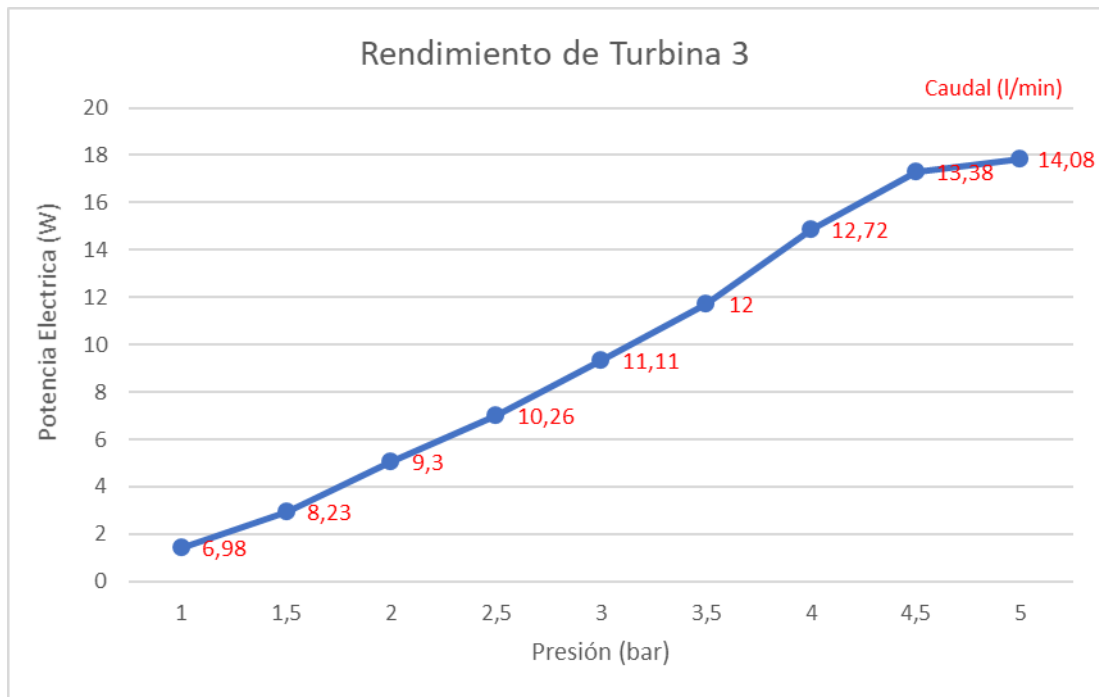
Turbina 2

Presión (bar)	Caudal (l/min)	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia Hidráulica (W)	Potencia Eléctrica (W)	Eficiencia
1	6,98	4,5	0,25	11,98	1,13	9,39
1,5	8,23	6,6	0,36	20,98	2,38	11,33
2	9,3	8,7	0,48	31,53	4,18	13,24
2,5	10,26	11,3	0,57	43,29	6,44	14,88
3	11,11	13,3	0,67	55,95	8,91	15,93
3,5	12	14,8	0,74	70,76	10,95	15,48
4	12,72	16,6	0,82	86,2	13,61	15,79
4,5	13,38	17,9	0,87	100,95	15,57	15,43
5	14,08	19,1	0,94	119,92	17,95	14,97



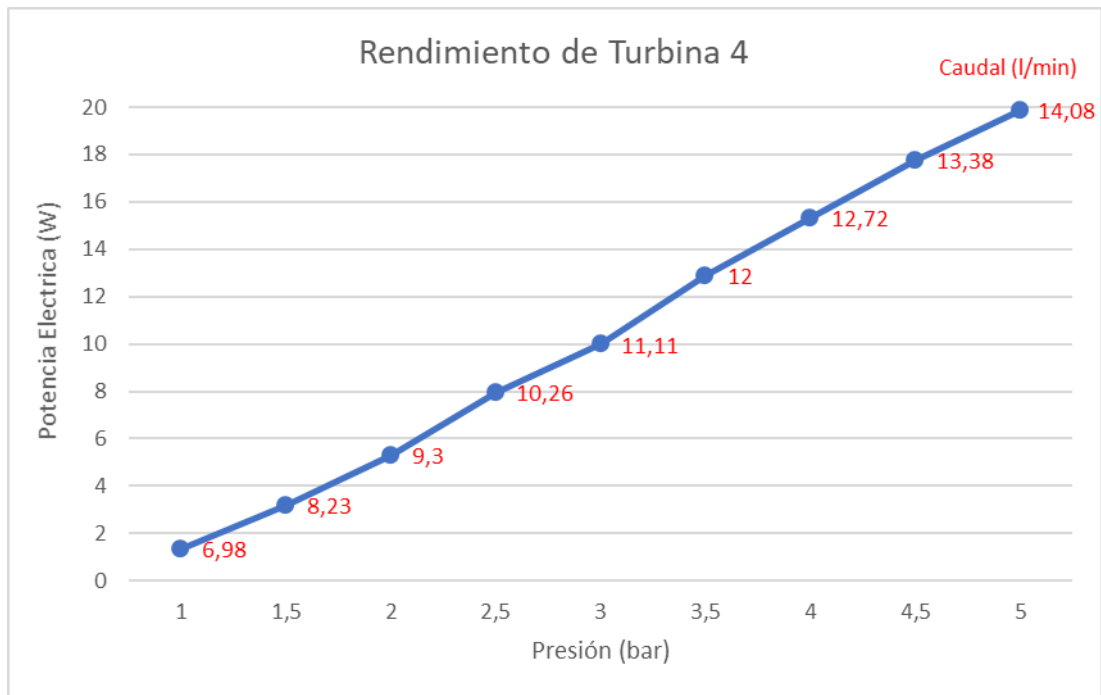
Turbina 3

Presión (bar)	Caudal (l/min)	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia Hidráulica (W)	Potencia Eléctrica (W)	Eficiencia
1	6,98	5,5	0,26	11,55	1,43	12,38
1,5	8,23	7,5	0,39	20,33	2,93	14,39
2	9,3	9,9	0,51	30,63	5,05	16,48
2,5	10,26	11,9	0,59	42,21	7,02	16,63
3	11,11	13,7	0,68	55,3	9,32	16,85
3,5	12	15,4	0,76	69,18	11,70	16,92
4	12,72	17,5	0,85	83,53	14,88	17,81
4,5	13,38	18,8	0,92	99,98	17,30	17,3
5	14,08	19,2	0,93	116,67	17,86	15,3



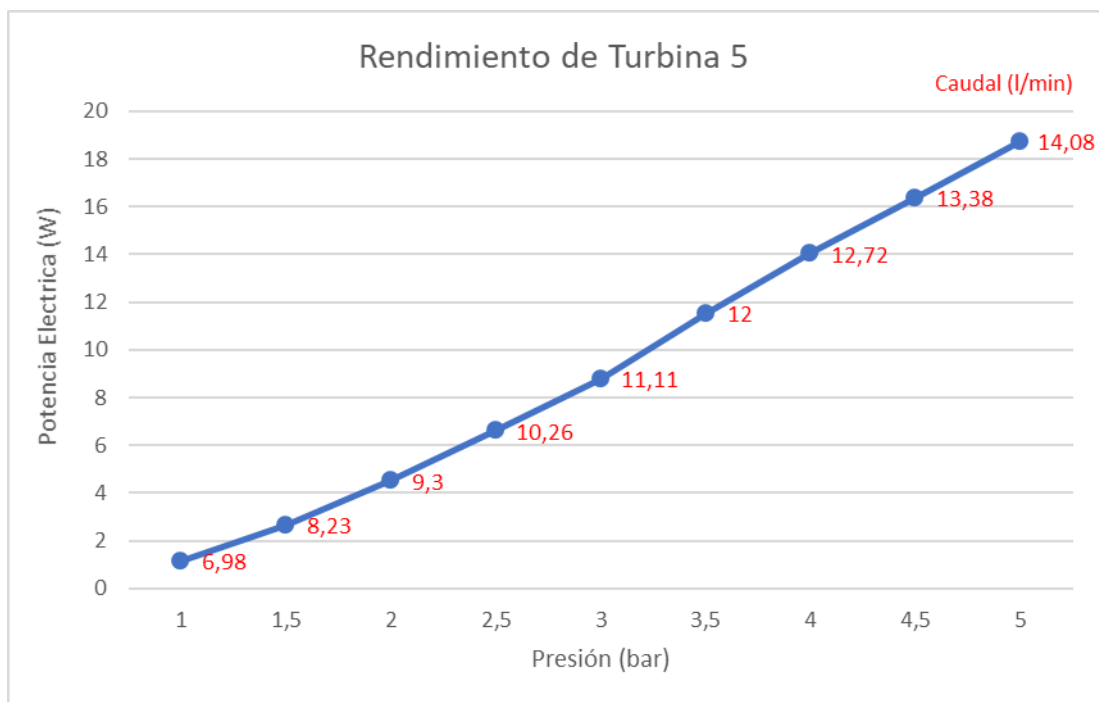
Turbina 4

Presión (bar)	Caudal (l/min)	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia Hidráulica (W)	Potencia Eléctrica (W)	Eficiencia
1	6,98	5,2	0,26	11,33	1,35	11,93
1,5	8,23	8	0,4	20,33	3,20	15,74
2	9,3	10,6	0,5	30,63	5,30	17,30
2,5	10,26	13	0,61	42,75	7,93	18,55
3	11,11	14,06	0,71	55,3	9,98	18,05
3,5	12	16,5	0,78	70	12,87	18,39
4	12,72	17,8	0,86	83,53	15,31	18,33
4,5	13,38	19,3	0,92	99,98	17,76	17,76
5	14,08	20,5	0,97	116,67	19,89	17,04



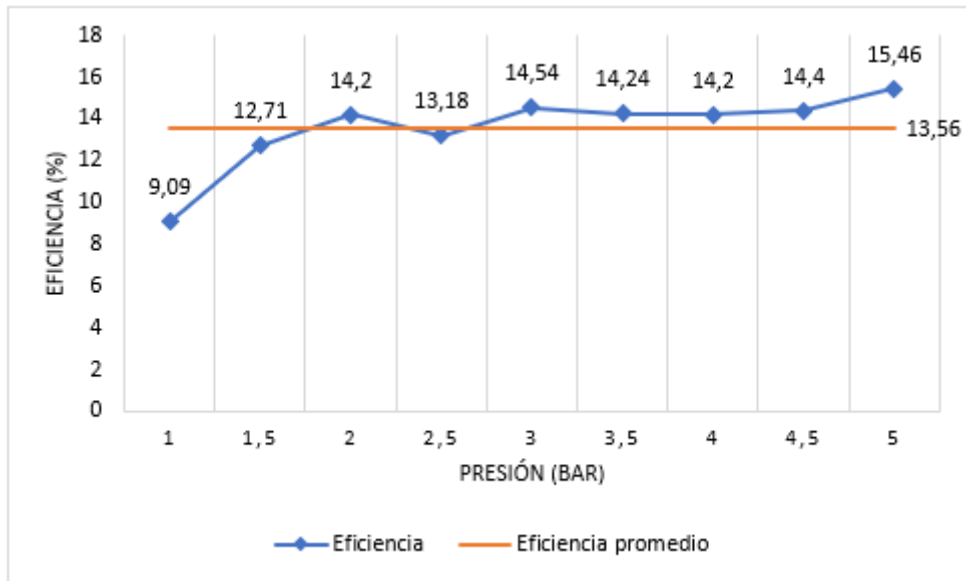
Turbina 5

Presión (bar)	Caudal (l/min)	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia Hidráulica (W)	Potencia Eléctrica (W)	Eficiencia
1	6,98	4,9	0,24	11,77	1,18	9,99
1,5	8,23	7,2	0,37	20,65	2,66	12,9
2	9,3	9,6	0,47	31,1	4,51	14,51
2,5	10,26	11,8	0,56	42,75	6,61	15,46
3	11,11	13,7	0,64	55,95	8,77	15,67
3,5	12	15,6	0,74	70	11,54	16,49
4	12,72	17,1	0,82	85,33	14,02	16,43
4,5	13,38	18,6	0,88	100,95	16,37	16,21
5	14,08	19,7	0,95	116,67	18,72	16,04

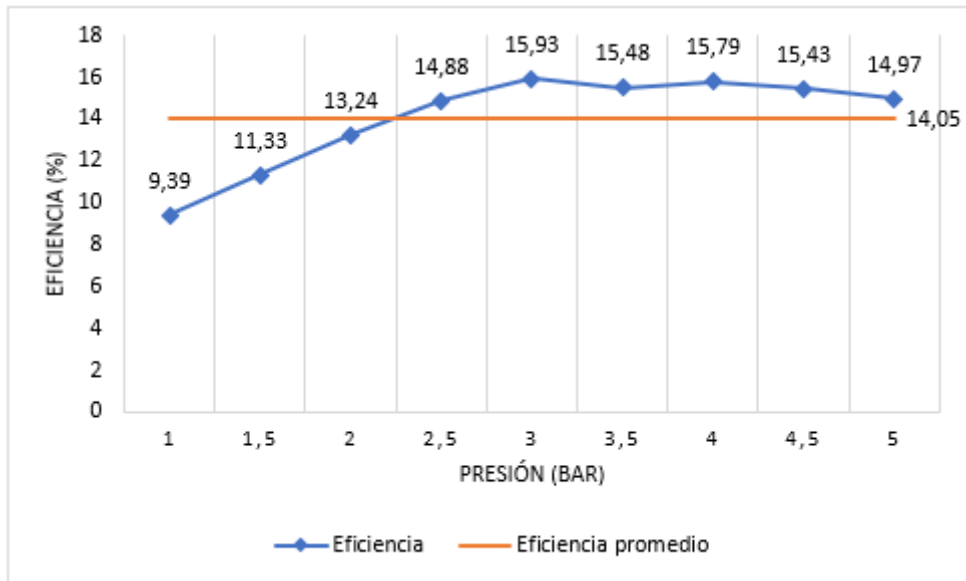


ANEXO B: CURVAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICAS DE LAS MICROTURBINAS.

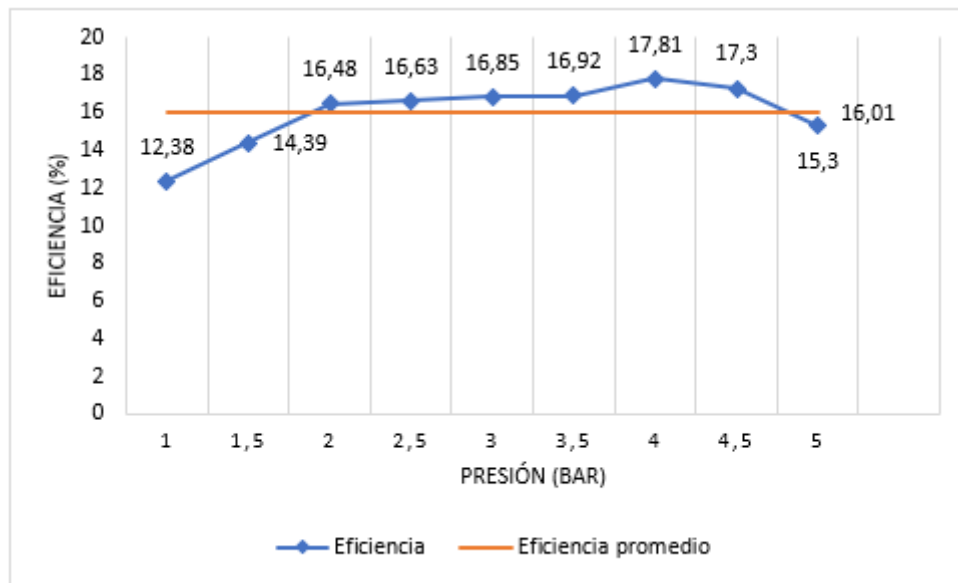
Turbina 1



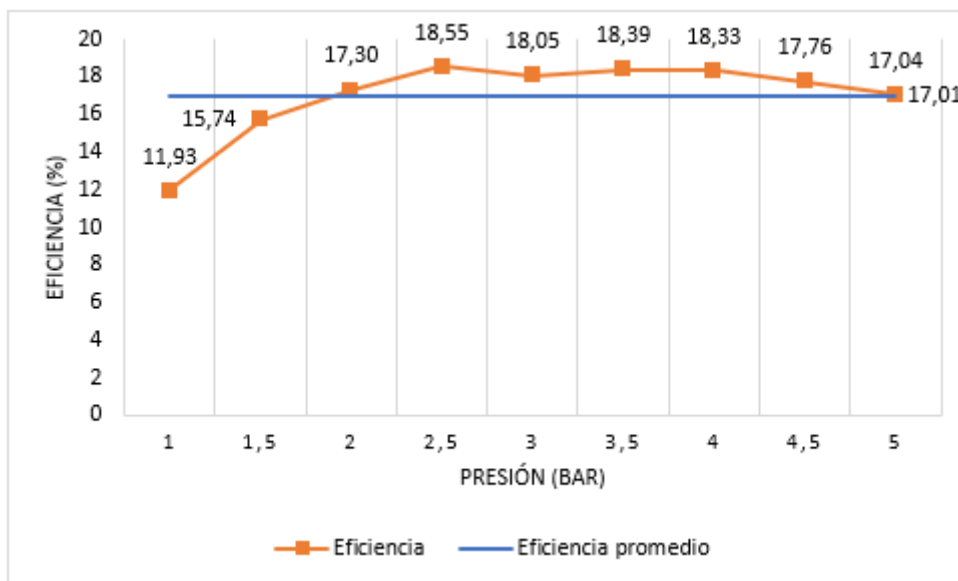
Turbina 2



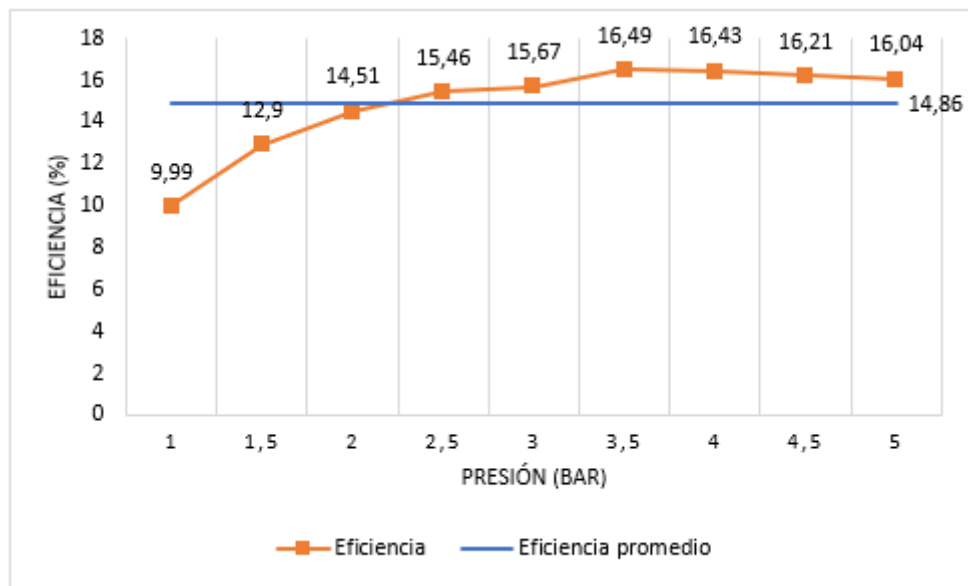
Turbina 3



Turbina 4



Turbina 5



ANEXO C: ENERGÍA GENERADA POR LAS UNIDADES DE GENERACIÓN DE MANERA INDIVIDUAL Y POR GRUPOS.

Unidad de Generación 1

$$E = P \times t$$

$$E = 10.15 \text{ W} \times 12 \text{ h/día}$$

$$E = 121.8 \text{ Wh/día}$$

Unidad de Generación 2

$$E = P \times t$$

$$E = 10.51 \text{ W} \times 12 \text{ h/día}$$

$$E = 126.12 \text{ Wh/día}$$

Unidad de Generación 3

$$E = P \times t$$

$$E = 10.43 \text{ W} \times 12 \text{ h/día}$$

$$E = 125.16 \text{ Wh/día}$$

Unidad de Generación 4

$$E = P \times t$$

$$E = 11.42 \text{ W} \times 12 \text{ h/día}$$

$$E = 137.04 \text{ Wh/día}$$

Grupo 1: Unidad de Generación 1 y 2

$$E = P \times t$$

$$E = (10.15 + 10.51) \text{ W} \times 12 \text{ h/día}$$

$$E = 247.92 \text{ Wh/día}$$

Grupo 2: Unidad de Generación 3 y 4

$$E = P \times t$$

$$E = (10.43 + 11.42) \text{ W} \times 12 \text{ h/día}$$

$$E = 262.2 \text{ Wh/día}$$

ANEXO D: CÓDIGO DEL SISTEMA DE ACCIONAMIENTO Y TELEMETRÍA.

```
#include <WaspBody.h>
#include <WaspWIFI.h>
#include <String.h>
#include <WaspFrame.h>
////////////////////variables////////////////////////////////////
uint8_t error;
char* ch;
uint8_t i, j, mini, maxi, c, control = 0; //Variables para las
funciones desentramar y remplazar.
uint8_t data [200]; // variable de almacenamiento.
char inchar;// variable de almacenamiento.
char des[10];// variable de almacenamiento.
char tim[10];// variable de almacenamiento.
char temp[10];// variable de almacenamiento.
char v[10];// variable de almacenamiento.
char co[10];// variable de almacenamiento.
char po[10];// variable de almacenamiento.
//char d[10];
//char dp [10];
char e[10];// variable de almacenamiento.
char st[40];// variable de almacenamiento.

////////////////////Variables Multiplexor y
Activación////////////////////////////////////
uint8_t s1 = DIGITAL1; // Las variables s1 s2 s3 son para control del
multiplexor.
uint8_t s2 = DIGITAL2;
uint8_t s3 = DIGITAL3;
uint8_t t1 = DIGITAL4; // Las variables t1 t2 t3 t4 son para control
uint8_t t2 = DIGITAL5; //de activación, es decir los relés.
uint8_t t3 = DIGITAL7;
uint8_t t4 = DIGITAL8;
////////////////////wifi////////////////////////////////////
uint8_t socket = SOCKET0;
char ESSID[] = "LABTEL"; // La red a la que se va a conectar
char AUTHKEY[] = "redcivilutpl2017"; // La contraseña de la red.
uint8_t status = 1; // Variable auxiliar

////////////////////API THINGSPEAK////////////////////////////////////
char APIKEY[17];
char APIKEY1[] = "K8WDWMZ7DB8EHPDU"; // API para UG1
char APIKEY2[] = "04W1E9H5KIS63EZ5"; // API para UG2
char APIKEY3[] = "Q4G96FM2JTDKEUSL"; // API para UG3
char APIKEY4[] = "RQ0NBK5EJ555HB7Y"; // API para UG4

void setup()
{
  pinMode(s1, OUTPUT); // Se dispone como salidas a los pines antes
  pinMode(s2, OUTPUT); // seleccionados
  pinMode(s3, OUTPUT);
  pinMode(t1, OUTPUT);
  pinMode(t2, OUTPUT);
  pinMode(t3, OUTPUT);
  pinMode(t4, OUTPUT);
  digitalWrite(t1, HIGH); // Se les da un nivel de voltaje a las
  digitalWrite(t2, HIGH); // variables de activación, se empieza con
  digitalWrite(t3, HIGH); // las 4 unidades apagadas para
  digitalWrite(t4, HIGH); // posteriormente encenderlas .
  delay(5000);
}
```

```

}
void loop()
{
  PWR.deepSleep("00:00:00:10", RTC_OFFSET, RTC_ALM1_MODE1, ALL_ON);
  // Se da un tiempo inicial de establecimiento.
  USB.ON();// Enciende puerto serial
  RTC.ON();//Enciende RTC
  Utils.setMuxAux1();// Seleccionamos el puerto UART1 de la placa
  //Waspmote para comunicarnos mediante este puerto con los
  //cargadores.
  beginSerial(9600, 1);// Establecemos la velocidad de 9600 para que
  //se encuentre a la misma de los cargadores.

  if (control == 1) {
    control++;
  }

  if (control == 0) {
    digitalWrite(t1, LOW);
    digitalWrite(t2, LOW);
    delay(5000);

    USB.println("-----UNIDAD DE GENERACION I-----");
    digitalWrite(s1, LOW);// Mediante estas salidas digitales
    digitalWrite(s2, LOW);// seteamos el cargador que queremos
    digitalWrite(s3, LOW); //leer, ya sea 1,2,3,4, en este caso 1.
    delay(2000);
    configuracion();//Llamamos a la función configuración que nos
    //permite logiarnos en los cargadores.
    estado();//Se llama a la función estado la cual nos permite
    //obtener los parámetros eléctricos de cada unidad de
    //generación.
    iniciowifi();//Se inicia el módulo de comunicación, en este
    //caso WIFI con las respectivas configuraciones de red.
    memcpy(APIKEY, APIKEY1, strlen(APIKEY1));// Seleccionamos el
    //canal que vamos a utilizar en la plataforma ThingSpeak para
    //UG1 en este caso.
    enviar_datos();//Se coloca los datos que se obtuvo con la
    //función estado en una trama que pueda ser entendida por la }
    //plataforma de Internet Thingspeak y se los envía hacia dicha
    //plataforma.
    salir();//Llamamos a la función salir para cerrar sesión en
    //los cargadores.
    USB.flush();//Limpiamos el Puerto serial.
    delay(5000);// Damos un delay de 5 segundos para luego iniciar
    //con el mismo proceso pero para la unidad de generación 2 y
    //así sucesivamente se repite el proceso con
    //las unidades de generación 3 y 4.
    USB.println("-----UNIDAD DE GENERACION II-----");
    digitalWrite(s1, HIGH);
    digitalWrite(s2, LOW);
    digitalWrite(s3, LOW);
    delay(2000);
    configuracion();
    estado();
    iniciowifi();
    memcpy(APIKEY, APIKEY2, strlen(APIKEY2));
    enviar_datos();
    salir();
    USB.println(TIM[3]);
    if (TIM[3] == '3') {

```



```

digitalWrite(t1, HIGH); // En la variable tim almacenamos el
digitalWrite(t3, LOW); //tiempo de funcionamiento del cargador
delay(15000); //por lo tanto para controlar el encendido y
digitalWrite(t2, HIGH); //apagado comparamos el carácter 3 de
digitalWrite(t4, LOW); // la variable tim donde se ubica la
//decena del tiempo transcurrido, en caso de que sea 3 el
// tiempo transcurrido será 30 o mas y se procede a apagar y
// encender ordenadamente las demás unidades de generación.

    control++;
    USB.println(F("Resetting to WIFI Default values..."));
    WIFI.resetValues ();
}
USB.flush();
delay(5000);
//}
//}
}

if (control == 2) {
    USB.println("-----UNIDAD DE GENERACION III-----");
    digitalWrite(s1, LOW);
    digitalWrite(s2, HIGH);
    digitalWrite(s3, LOW);
    delay(2000);
    configuracion ();
    estado ();
    iniciowifi ();
    memcpy(APIKEY, APIKEY3, strlen(APIKEY3));
    enviar_datos ();
    salir ();
    USB.flush ();
    delay(5000);

    USB.println("-----UNIDAD DE GENERACION IV-----");
    digitalWrite(s1, HIGH);
    digitalWrite(s2, HIGH);
    digitalWrite(s3, LOW);
    delay(2000);
    configuracion ();
    estado ();
    iniciowifi ();
    memcpy(APIKEY, APIKEY4, strlen(APIKEY4));
    enviar_datos ();
    salir ();
    USB.flush ();
    delay(5000);
    if (tim[3] == '3') {
        USB.println("entro");
        digitalWrite(t3, HIGH);
        digitalWrite(t1, LOW);
        delay(15000);
        digitalWrite(t4, HIGH);
        digitalWrite(t2, LOW);
        control = 1;
        USB.println(F("Resetting to WIFI Default values..."));
        WIFI.resetValues ();
    }
    USB.flush ();
    delay(5000);
}
}

```

```

PWR.deepSleep("00:00:00:45", RTC_OFFSET, RTC_ALM1_MODE1, ALL_OFF);
}

void configuracion() {
  USB.println("--Iniciando Sesion--"); // La función configuración
  envía la información necesaria para realizar un correcto inicio de
  sesión en el cargador.
  delay(300);
  serialWrite('\r', 1); // Se envía dos palabras (root y toor) cada
  palabra se la envía caracter por caracter ya que necesita de una pausa
  porque si se envía toda la palabra en
  delay(200); // un solo envío el cargador no logra entender,
  lo que causa errores y un mal funcionamiento del mismo.
  serialWrite('r', 1); // Los delays de 200 ms son clave para un
  correcto funcionamiento de la comunicación entre el WASPMOTE y los
  cargadores Inteligentes, por lo antes mencionado.
  delay(200);
  serialWrite('o', 1);
  delay(200);
  serialWrite('o', 1);
  delay(200);
  serialWrite('t', 1);
  delay(200);
  serialWrite('\r', 1);
  delay(200);
  serialWrite('t', 1);
  delay(200);
  serialWrite('o', 1);
  delay(200);
  serialWrite('o', 1);
  delay(200);
  serialWrite('r', 1);
  delay(200);
  serialWrite('\r', 1);
  delay(200);
  int i = 0;
  while (serialAvailable(1) > 0) {
    inchar = serialRead(1);
    data[i] = inchar;
    i++;
  }
  USB.println(data, i);
  USB.flush();
}

void estado() { // La función estado permite obtener los parámetro
  eléctricos más importantes para poder realizar el monitoreo de cada
  unidad de generación.
  serialWrite('s', 1);
  delay(200);
  serialWrite('t', 1); // Así mismo como en la función Configuración,
  se debe enviar la palabra (staus) para que el cargador responda con la
  información que
  delay(200); // se requiere. Si no se hace el envío de la palabra
  (staus) caracter por caracter igualmente causa errores en el cargador.
  Los delays colocados
  serialWrite('a', 1); // son fundamentales para obtener los
  parámetros.
  delay(200);
  serialWrite('u', 1);
  delay(200);
}

```

```

serialWrite('s', 1);
delay(200);
serialWrite('\r', 1);
delay(10000);
int i = 0;
while (serialAvailable(1) > 0) {
  inchar = serialRead(1);
  data[i] = inchar;
  i++;
}
USB.println(data, i);

////////////////////////////////////
ch = remplazar((char*) data); // En la variable ch almacenamos el
resultado de la función remplazar. La explicación de la función
remplazar se encuentra más abajo.
USB.println(ch);
////////////////////////////////////

desentramar(14, 22); // Llamamos a la función desentramar y enviamos
las posiciones del array que queremos sacar, en este caso tiempo de
uso. La explicación a detalle de la función desentramar se encuentra
más abajo.
memcpy(tim, des, strlen(des)); // Almacenamos en la variable tim el
resultado devuelto por la función desentramar.
desentramar(32, 36); // El proceso se repite para obtener todas las
variables necesarias.
memcpy(temp, des, strlen(des)); // temperatura NTC10K
desentramar(50, 55);
memcpy(v, des, strlen(des)); // voltaje
desentramar(70, 73);
memcpy(co, des, strlen(des)); // corriente
desentramar(89, 93);
memcpy(po, des, strlen(des)); // potencia
desentramar(144, 152);
memcpy(e, des, strlen(des)); // estado
////////////////////////////////////
sprintf( st, sizeof(st), "E=%s T=%s", e, tim); // En esta línea de
código unimos las variables: Tiempo de trabajo del cargador mas estado
del cargador para convertirlas en un solo char, que posteriormente
será subido a internet como texto.
////////////////////////////////////
}

char* desentramar ( int mini, int maxi) { // La función desentramar
tiene como objetivo recorrer todo el array que se obtuvo mediante la
función estado para obtener los valores
  memset(des, 0, sizeof(des)); // numéricos de las
variables temperatura, voltaje, corriente y potencia. Para poder
realizar esto se llama a la función desentramar
  for ( j = mini; j < maxi; j++ ) { // con las posiciones en las
que se encuentran estos valores dentro del array.
    des[j - mini] = ch[j];
  } // La función toma los
valores que se le ha enviado y genera una nueva variable con el
contenido que se encuentra solamente dentro de ese
  mini = 0; // rango de valores. Por
ejemplo desentramar (70 73) creará una nueva variable con los
caracteres ubicados en las posiciones (70, 71, 72)
  maxi = 0;
  j = 0;
}

```

```

    return des;
}

char* remplazar (char* var) { // La función remplazar tiene como
objetivo sustituir todas las comas por puntos. Se realiza esta función
ya que los valores numéricos para que
    for (int h = 0; var[h] != '\0'; h++ ) { // sean entendidos por la
plataforma de Internet deben tener el formato 1.00 y no 1,00 que es lo
que el cargador entrega.
        if (var[h] == ',') {
            var[h] = '.';
        }
    }
    return var;
}

void salir() { // La función salir permite cerrar la sesión en cada
uno de los cargadores.
    delay(200);
    serialWrite('\r', 1); // Se la realiza mediante el envío de la
palabra "exit" caracter por caracter.
    delay(200);
    serialWrite('e', 1);
    delay(200);
    serialWrite('x', 1);
    delay(200);
    serialWrite('i', 1);
    delay(200);
    serialWrite('t', 1);
    delay(200);
    //serialWrite('\r', 1);
    int i = 0;
    while (serialAvailable(1) > 0) {
        inchar = serialRead(1);
        data[i] = inchar;
        i++;
    }
    USB.println(data, i);
    USB.flush();
}

void iniciowifi() {
    if ( WIFI.ON(socket) == 1 ) // Se verifica que el módulo esté en el
socket correcto
    {
        USB.println(F("WiFi switched ON"));
    }
    else
    {
        USB.println(F("WiFi did not initialize correctly"));
    }
    configurarWIFI(); // llamamos a la función configurar Wifi que
permite establecer los parámetros de conexión a la red establecida.
    USB.println(F("Set up done"));

    if (WIFI.join(ESSID)) {
        USB.println(F("Joined"));
        WIFI.CONFI(); // Esta función permite establecer la dirección URL
y otros parámetros más necesarios para poder comunicarnos con la
plataforma de Internet.
    }
}

```

```

else
{
  USB.println(F("NOT joined"));
  status = 0;
}
if (!status) { // Este segmento de código permite evaluar si ha
hecho una correcta configuración de los parámetros de red, caso
contrario se vuelve a realizar el proceso de configuración.
  USB.println(F("ERROR en Estado!"));
  WIFI.reset();
  if (WIFI.join(ESSID)) WIFI.CONFI();
  status = 1;
}
}

void configurarWIFI() {
  WIFI.setConnectionOptions(HTTP | CLIENT_SERVER); // Configura el
protocolo de aplicación, HTTP en este caso.
  WIFI.setDHCPoptions(DHCP_ON); // Configura el modo de obtención de
una dirección IP, DHCP en este caso.
  WIFI.setJoinMode(AUTO_STOR); // Configura como conectarse al Access
Point (AP).
  WIFI.setAuthKey(WPA1, AUTHKEY); // Setea la contraseña que requiere
el AP y el tipo de seguridad del mismo.
  WIFI.storeData(); // Guarda los parámetros en la memoria del módulo
WIFI.
}

void enviar_datos()
{
  delay(5000);
  USB.println(F("***** ENVIANDO LOS DATOS A INTERNET*****"));
  ///////////////////////////////////////////////////Se crea la
trama//////////////////////////////////////
  body.createBody(); // Función que permite adecuar la trama para que
sea compatible con la plataforma ThingSpeak
  body.addField(PWR.getBatteryLevel()); // Se obtiene y coloca en la
trama el nivel de batería de la placa Waspote.
  body.addField(temp); // Se coloca en la trama la temperatura dada por
el cargador.
  body.addField(v); // Se coloca en la trama el voltaje dado por el
cargador.
  body.addField(co); // Se coloca en la trama el valor de corriente
dado por el cargador
  body.addField(po); // Se coloca en la trama la potencia generada
dada por el cargador.
  body.addStatus(st); // Se coloca en la trama el tiempo que ha estado
trabajando el cargador conjuntamente con el estado de la batería que
el cargador proporciona.
  body.showBody(); // Se imprime por el puerto serial la trama cono
los valores antes colocados.

  status = WIFI.ThingSpeak(APIKEY, body.buffer); // Se procede a hacer
el envío de los datos en el canal escogido mediante la APIKEY y con
los parámetros de la trama antes creada. Si se realiza un correcto
envío status tomara el valor de 1 sino 0, este valor se lo compara a
continuación para saber si tuvo éxito o no el envío.
  if (status) USB.println(F("*SUBIDO CORRECTAMENTE *")); // Se evalúa
si hubo o no un correcto envío hacia la plataforma
  else {
    USB.println(F("!!!!!!!!!!!! ERROR AL SUBIR !!!!!!!!!!!!!"));
  }
}

```

```
}  
}
```

Nota: El código mostrado se complementa con las librerías WaspBody y WaspWifi que se entregarán de forma digital a los directores del presente trabajo de titulación. El código con tecnología Xbee igualmente estará disponible de forma digital, todo esto con el objetivo de no extender la cantidad de páginas del presente trabajo. Además, se recomienda el uso de un editor de código como Notepad++ para observar de una manera más amigable el código realizado.

Capturas de resultados obtenidas a partir de la ejecución del código.

Inicio de sesión y obtención de parámetros:

```
[2J  
  
System Verne V1.0  
  
Login: root  
Password: ****  
  
Command$  
staus  
Time:          00:23:56  
Temp:          24,016 C  
Vols:          12,628 V  
Current:       0,914 A  
Poewr:         11,5 W  
Duty:          0,0 PWM  
DutyPower:     0,0 W  
Status: Run_Regulator_Current  
Command$
```

Sustitución de comas por puntos de los valores requeridos:

```
Command$
staus
Time:          00:00:36
Temp:          22,241  C
Vols:          11,907  V
Current:       0,000   A
Poewr:         0,0     W
Duty:          0,0     PWM
DutyPower:     0,0     W
Status: Stop_Low_Power
Command$
staus
Time:          00:00:36
Temp:          22.241  C
Vols:          11.907  V
Current:       0.000   A
Poewr:         0.0     W
Duty:          0.0     PWM
DutyPower:     0.0     W
Status: Stop_Low_Power
```

Configuración WIFI realizada:

```
*OFF
enter CMD at 115200
WiFi switched ON
save
Set up done
Joined
set i h 0
set d n api.thingspeak.com
set i r 80
set c r GET$/update?api_key=
set o f 1
set u m 2
configuracion wifi hecha
```

Trama creada y envío de datos:

```
***** SEND DATA *****
=====
Length: 113
frame (STR): h&field1=92&field2=24.4&field3=13.27&field4=0.9&field5=11.9&field6= 0.0&field7= 0.0&status=E=      Run_Reg T=00:31:05&
=====
open
enter CMD at 115200
*****SUBIDO CORRECTAMENTE *****
```

Reset del módulo WIFI:

```
Resetting to WIFI Default values...
factory RESET
*OFF
ERR entering CMD at 115200
Descomentar return para conectar 9600
*OFF
enter CMD at 115200
```