



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE SONORA
Educar para Trascender

" Diseño de un sistema de monitoreo de confort
y producción de energía renovable híbrida para
edificios autosustentables utilizando IoT"

TESIS
Que para obtener el título de
Ingeniero en Electrónica

Presenta
Emanuel Murillo García

Septiembre de 2018

Cd. Obregón, Sonora, México

AGRADECIMIENTOS

A mis padres y mi familia por todo su apoyo incondicional, por haberme brindado educación y por ser mi mayor ejemplo de esfuerzo y superación.

A la maestra Érica Cecilia Ruiz Ibarra por su confianza, soporte y motivación que me brindó.

Al Dr. Ian Mateo Sosa por su apoyo durante todo el camino y el proceso de este trabajo.

A los doctores José Antonio Beristain y Javier Pérez por facilitarme un área de trabajo y las herramientas necesarias para desarrollar este proyecto. Y en general a todos los profesores de mi alma mater por aportar a mi formación profesional.

Y a mis amigos, que siempre creyeron en mí.

RESUMEN

Con la problemática actual del aumento de la contaminación se están implementando nuevos métodos de generación de energía sustentable con sistemas híbridos autónomos, con el objetivo de disminuir el consumo de energías no renovables y disminuir la producción del dióxido de carbono.

En este trabajo se muestra el diseño de un sistema de monitoreo remoto de la comodidad térmica y la generación de energía de fuentes renovables con un sistema híbrido autónomo para edificios, como también el monitoreo del consumo de energía del edificio, con la finalidad de validar la comodidad y la sustentabilidad del inmueble.

Se diseñó la topología que requiere el sistema de cómputo ubicuo y una interfaz web para la interacción con el usuario en el monitoreo de los parámetros mencionados, lo que permite visualizar las mediciones en tiempo real, así como almacenarlas en una base de datos para su posterior análisis.

Se lograron los objetivos con unos pequeños percances con respecto a las mediciones de corriente alterna, aislamiento de los sensores y en su momento, la falta de conocimiento de desarrollo web atrasó el desarrollo del proyecto, sin embargo, se validó correctamente los parámetros establecidos y se visualizó de manera gráfica las mediciones y datos almacenados. Así mismo, fue posible adquirir estos datos de manera práctica en un archivo manejable para su posterior análisis y procesamiento de información.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	i
RESUMEN	ii
ÍNDICE	iii
LISTA DE FIGURAS.....	v
LISTA DE TABLAS	vii
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 ANTECEDENTES	1
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.3 OBJETIVOS	3
1.4 JUSTIFICACIÓN	4
1.5 DELIMITACIONES	5
1.6 LIMITACIONES	5
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	6
2.1 INTRODUCCIÓN.....	6
2.2 ENERGÍAS RENOVABLES	7
2.3 SISTEMAS HÍBRIDOS	13
2.4 CONDICIONES DE COMODIDAD	14
2.5 EDIFICIOS CON SISTEMAS INTELIGENTES	17
2.5.1 Cómputo UbiCuo	18
2.5.2 Sistemas Embebidos	19
2.5.3 Internet de las cosas.....	20
2.5.3.1 Aplicaciones del internet de las cosas.....	21
2.5.3.2 IoT para aplicaciones de sustentabilidad.....	23
CAPÍTULO III. MÉTODO	25
3.1 SUJETOS	25
3.2 PROCEDIMIENTO	26
3.3 MATERIALES Y HERRAMIENTAS	29

ÍNDICE (continuación...)

CAPÍTULO IV. DESARROLLO	30
4.1 DEFINICIÓN DE REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA DE MONITOREO.....	30
4.2 SELECCIÓN DE PLATAFORMA DE DESARROLLO.....	32
4.3 TOPOLOGÍA DEL SISTEMA.....	35
4.4 NODO 1	36
4.5 NODO 2	44
4.6 NODO 3	45
4.7 COMUNICACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE DATOS.....	47
4.7.1 Protocolo de Comunicación.....	48
4.7.2 Base de datos.....	51
4.7.3 Servicio Web	52
4.8 DESARROLLO DE INTERFAZ WEB.....	53
4.8.1 Front end	54
4.8.2 Back end	55
4.8.3 Presentación de los datos.....	56
4.9 DINÁMICA DEL SISTEMA.....	58
CAPÍTULO V. RESULTADOS.....	67
5.1 DIMENSIONAMIENTO	67
5.2 TABLERO DE PRUEBAS Y CIRCUITO ADECUADOR.....	72
5.3 NODOS	77
5.4 PÁGINA WEB.....	83
5.5 SERVIDORES.....	91
CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES.....	94
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	96
APÉNDICES	101

LISTA DE FIGURAS

Figura	Pág.
FIGURA 1. CARTA PSICROMÉTRICA.....	16
FIGURA 2. PROCEDIMIENTO EMPLEADO PARA DESARROLLAR EL TRABAJO.....	27
FIGURA 3. TOPOLOGÍA DEL SISTEMA.....	36
FIGURA 4. NODEMCU ESP8266 V3	37
FIGURA 5. CONVERTIDOR ADS1115	38
FIGURA 6. SENSOR DE CORRIENTE NO INVASIVO SCT-013	40
FIGURA 7. MÓDULO TRANSFORMADOR ZMPT101B	40
FIGURA 8. DIAGRAMA DEL CIRCUITO DE ADECUACIÓN DE SEÑAL	41
FIGURA 9. SIMULACIÓN DE LA SEÑAL DEL CIRCUITO ADECUADOR.....	42
FIGURA 10. SENSOR DE CORRIENTE CAS 15-NP.....	43
FIGURA 11. DIAGRAMA INTERNO DEL SENSOR CAS 15-NP	43
FIGURA 12. SENSOR DE HUMEDAD RELATIVA AM2301.	45
FIGURA 13. EJEMPLO DEL FUNCIONAMIENTO DEL PROTOCOLO MQTT.....	50
FIGURA 14. PROCESO DE SOLICITUD DE DATOS.....	59
FIGURA 15. CONEXIÓN DEL NODO 3.	61
FIGURA 16. ALGORITMO QUE SIGUE EL NODO 3.....	63
FIGURA 17. DIAGRAMA DE RECOLECCIÓN DE MUESTRAS.....	64
FIGURA 18. DIAGRAMA TEÓRICO DEL SISTEMA HÍBRIDO AUTÓNOMO [51].....	68
FIGURA 19. ARREGLO FOTOVOLTAICO.....	68
FIGURA 20. BANCO DE BATERÍAS	69
FIGURA 21. REGULADORES	69
FIGURA 22. INVERSOR PROWATT 1500W/12v	70
FIGURA 23. TABLERO DE PRUEBAS.....	73
FIGURA 24. CIRCUITERÍA PARA EL TABLERO DE PRUEBAS	73
FIGURA 25. CIRCUITO QUE ADECUA LA SEÑAL CA	74
FIGURA 26. SEÑAL DE SALIDA DEL CIRCUITO ADECUADOR.....	75
FIGURA 27 SEÑAL DE SALIDA DEL INVERSOR.....	75
FIGURA 28. SEÑAL DE CORRIENTE DEL FOCO AHORRADOR	76

LISTA DE FIGURAS (continuación...)

Figura	Pág.
FIGURA 29. CORRIENTES DE LAS CARGAS: A) LAMPARA, B) ABANICO.....	77
FIGURA 30. NODO 1	78
FIGURA 31. NODO 2	79
FIGURA 32. NODO 3	79
FIGURA 33. CARGA PARA EL PANEL DE 10W	80
FIGURA 34. ESTRUCTURA PARA EL NODO 3.....	80
FIGURA 35 CORRIENTE DEL PANEL DEL 10W	81
FIGURA 36 IRRADIACIÓN DEL PIRANÓMETRO.....	82
FIGURA 37 TEMPERATURA DEL PANEL DE 10W	82
FIGURA 38 IRRADIACIÓN COMPENSADA	83
FIGURA 39. PÁGINA WEB.....	84
FIGURA 40. PÁGINA WEB AMPLIADA	85
FIGURA 41. MONITOREO DEL CORRIENTE DEL PANEL.....	86
FIGURA 42. MONITOREO DEL VOLTAJE DEL AEROGENERADOR.....	86
FIGURA 43 HISTORIAL DE IRRADIACIÓN SOLAR	87
FIGURA 44. HISTORIAL DE TEMPERATURA INTERIOR	87
FIGURA 45. HISTORIAL DEL VOLTAJE DE LA CARGA	88
FIGURA 46. MONITOREO DEL ESTADO DE LA BATERÍA	88
FIGURA 47. SECCIÓN EXPORTAR CSV.....	89
FIGURA 48 ARCHIVO CSV	90
FIGURA 49 PÁGINA WEB DESDE SMARTPHONE 1.....	90
FIGURA 50 PÁGINA WEB DESDE SMARTPHONE 2.....	91
FIGURA 51 SERVIDOR MQTT MOSQUITTO	92
FIGURA 52 SCRIPT DE PYTHON EN EJECUCIÓN.....	92
FIGURA 53 RESPALDO A DROPBOX	93

LISTA DE TABLAS

Tabla	Pág.
TABLA I. PUNTO DE ROCÍO	17
TABLA II. COMPARACIÓN DE PLATAFORMAS	34
TABLA III TABLA DE VERDAD DEL CIRCUITO EN ESCALERA	66

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se describe el contexto de la problemática que se busca resolver con este trabajo. Además, se presentan los puntos necesarios que argumentan el desarrollo de la investigación, así como la pregunta de investigación, objetivo del trabajo, justificación, hipótesis, alcances y limitaciones.

1.1 Antecedentes

En el mundo siempre ha existido la problemática de la escasez de vivienda, una de las necesidades más básicas del ser humano. Con el aumento global de la población se han estado agotando los recursos naturales, al igual que el espacio habitable [1]. Al pasar de los años se incrementa cada vez más la densidad de población en las ciudades, lo que se resume en el incremento de la contaminación

De acuerdo con datos estadísticos de las Naciones Unidas, en los últimos 65 años, la población va en ascenso. En 1950, se estimaba que la población mundial era de 2,600 millones de persona y a mediados del 2015 se alcanzó los 7,300 millones de personas a nivel mundial (Pacto Internacional de Derechos Económicos, Sociales y Culturales) [1].

Como ya se mencionó, el aumento en la densidad de la población genera un incremento en la contaminación. Por ejemplo, la contaminación del aire causada principalmente por gases provocados por la industria, los automóviles, productos en aerosol entre otros, generan un efecto invernadero en la atmósfera. Lo anterior ha provocado que en los últimos años se inviertan muchos recursos y tiempo en investigación para el desarrollo de nuevas tecnologías para la producción de energías renovables. Aerogeneradores y celdas fotovoltaicas son algunas tendencias tecnológicas para la generación de energía limpia y sustentable. Por estos motivos, se está optando por construir edificios autosustentables con sistemas híbridos.

En Ecuador, La Escuela Superior Politécnica de Litoral (ESPOL), desarrolló un caso de estudio, implementando un sistema demostrativo de energías renovables para el bosque protector Prosperina [2]. Este estudio se enfocó en el análisis de las condiciones que existen en una casa autosustentable híbrida autónoma. “Esta edificación es sustentable y amigable con el medio ambiente puesto que su construcción está conformada por botellas reutilizadas de bebidas llenas con arena, reemplazando a los ladrillos comunes.”

De acuerdo con [2], las condiciones analizadas durante el periodo de estudio fueron: la eficiencia del panel solar con un sistema de apagado y encendido de luces, flujo de calor a través de la pared de botellas, temperatura y humedad tanto en el interior como en el exterior de la vivienda, y el estudio de la intensidad lumínica en el interior

de la edificación. También se analizó la carga y descarga de baterías conectado a las fuentes renovables y al tablero demostrativo de focos. Los instrumentos de medición utilizados fueron: piranómetro, luxómetro, multímetros y termómetro digital. Las mediciones obtenidas en este trabajo se almacenaron en data-loggers dentro del edificio o de forma manual. Un sistema de monitoreo remoto que almacene los datos sería ideal para la validación los parámetros.

1.2 Planteamiento del problema

Con la propuesta de edificios autosustentables con sistemas híbridos autónomos. ¿Es posible desarrollar un equipo que monitoree y valide remotamente los parámetros de sustentabilidad de un sistema producción híbrido autónomo?, ¿Se puede aprovechar el sistema de monitoreo para medir el confort y el consumo del edificio?.

Por lo que se plantea determinar si el entorno donde se ubican los edificios es adecuado para generar la suficiente energía eléctrica que cubra las necesidades de iluminación y confort térmico. Monitoreando los niveles de temperatura y humedad como también la producción de energía a través de celdas solares y un aerogenerador.

1.3 Objetivos

Objetivo general:

Diseñar e implementar un sistema capaz de monitorear el confort dentro de un edificio ecológico, así como la energía generada por fuentes renovables, con la finalidad de validar la producción de un sistema híbrido autónomo. De esta manera se podrá determinar si las fuentes de energía renovables implementados en dichos

edificios satisfacen los requerimientos de energía de estos, con la finalidad de validar que los edificios realmente sean autosustentables.

Objetivos específicos:

- Desarrollar un sistema que monitoree temperatura y humedad dentro de un edificio autosustentable, para determinar si estos son confortables.
- Medir la producción de energía generada por fuentes renovables como celdas fotovoltaicas y aerogeneradores instalados.
- Medir el consumo eléctrico del edificio.
- Diseñar un sistema para almacenar la información monitoreada en la nube.
- Diseñar una página web para visualizar los datos.

1.4 Justificación

El desarrollo de este sistema ayudará a aquellas personas, organizaciones o instituciones que estén interesados en invertir en este tipo de edificios, ya que al monitorear temperatura y humedad se podrá evaluar si el edificio es confortable, además se podrá determinar si realmente son autosustentable. También permitirá especificar con exactitud la ubicación óptima de los edificios para un mejor aprovechamiento de los recursos. Además de tener el monitoreo, el almacenar los datos en la nube dará facilidad para tener a la mano dichos datos e incluso en tiempo real. Al no desarrollar este sistema no se sabrá qué tan útil llegará a ser estos edificios o si sólo se tiene la parte del monitoreo, se necesitará ayuda externa para la captura de datos, invirtiendo en personal y desperdiando tiempo.

Es importante resaltar que este proyecto es diseñado pensando en una aplicación en particular, sin embargo, el sistema propuesto es flexible y modular ya que puede medir las variables que se deseen y adaptarse a diferentes aplicaciones.

1.5 Delimitaciones

El sistema propuesto se realizará a nivel prototipo, como una prueba de concepto. El sistema incluye el monitoreo de temperatura, humedad y el consumo de energía del edificio. Además, mide la potencia entregada por paneles solares y un aerogenerador.

El objetivo de cumplir con las condiciones de comodidad es realizar un sistema inteligente que ayude a la optimización de las cargas. Sin embargo, no se determinará esto, solo se validarán los parámetros de confort.

Tampoco se determinará, si las fuentes de energía renovables implementados en dichos edificios satisfacen los requerimientos de energía, sólo se validarán la producción de estos. En el trabajo no se indagará con temas de calidad de la energía.

1.6 Limitaciones

Se validarán en escenarios quasi-reales, las pruebas se harán en laboratorio., debido a los costos en tiempo y dinero que esto implica.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se presentan los conceptos básicos necesarios para el desarrollo de este trabajo, además se realiza un análisis del estado del arte en cuanto a casas autosustentables y tecnología que sirve de apoyo, como fuentes renovables y cómputo ubicuo.

2.1 Introducción

La población está creciendo por el aumento de la esperanza de vida. Los expertos estiman que la esperanza de vida aumente el nivel de la población tanto en países desarrollados como en desarrollo. Según [3], se calcula que a mediados del siglo XXI la población mundial se duplicará, y es casi seguro que el desarrollo económico seguirá creciendo.

Se estima que la demanda mundial de servicios de energía aumente en 2050, mientras que se espera que las demandas de energía primaria aumenten en $1,5 \pm 3$ veces [3].

El calentamiento global está relacionado con el crecimiento de la población, ya que el consumismo provoca un aumento en la industria, que es una de las causas principales de la contaminación. Se informa que la contaminación de la industria alcanzó el porcentaje del 34% de la contaminación ambiental total [4]. Los productos en sí, también son otro factor importante que ocasiona contaminación, como productos en aerosol, productos plásticos que perduran años, automóviles, entre otros. No sólo el calentamiento global es resultado de esto, sino también cuestiones ambientales tales como la contaminación del aire, la precipitación ácida, el agotamiento del ozono, la destrucción de los bosques, la emisión de sustancias radiactivas y los gases de efecto invernadero [5].

La contaminación y las predicciones de la escasez de combustibles fósiles han llevado a una ardua labor en investigación y desarrollo de nuevas tecnologías que fomentan la producción de energía limpia y sustentable. “Las energías renovables son energías obtenidas de la naturaleza, repetitivos y persistentes flujos de energía ocurren en el medio ambiente” [5], tales como la luz solar, el viento, las mareas, biomasa, entre otros.

2.2 Energías renovables

El desarrollo sustentable se puede definir como vivir, producir y consumir de manera que satisfaga las necesidades del presente, sin comprometer a las futuras generaciones de sus propias necesidades [5]. Las fuentes de energía renovables tienen como objetivo el desarrollo sustentable. “Estas fuentes son sistemas que convierten fenómenos físicos de la naturaleza a energía eléctrica, estos sistemas

conllevan a un impacto ambiental benéfico, económico y hasta político". La utilización de estas fuentes de energía da paso a la solución de minimizar la contaminación ambiental.

Por su parte, los edificios autosustentables utilizan la tecnología de las fuentes de energía renovable para abastecer el consumo de energía en el edificio. De acuerdo al Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), un edificio sustentable es una forma de arquitectura que busca el aprovechamiento de los recursos naturales de manera que minimice el impacto ambiental de las construcciones sobre el ambiente natural y sobre los habitantes, realizando eficacia en el uso de materiales de construcción, del consumo de energía, del espacio construido manteniendo la habitabilidad y la comodidad" [6].

Enseguida se describen algunas de las fuentes de energía renovables más comunes:

- **Energía termodinámica solar**

El término "plantas de energía termodinámica" se refiere a todo el grupo de técnicas para transformar la energía radiada por el sol en calor a alta temperatura, y luego convertir este calor en energía mecánica y eléctrica, mediante una máquina de ciclo termodinámico acoplada con un generador eléctrico. "Hoy en día, el impacto ambiental es un criterio importante para la elección entre tecnologías competidoras". Con una tasa de emisión de menos de 20 kgCO₂ / MWh, la energía termodinámica solar, desde este punto de vista, es del mismo orden que la hidroeléctrica (4 kgCO₂/MWh) o nuclear (6 kg CO₂/MWh), e incomparablemente mejor que la electricidad fotovoltaica (100 kgCO₂ / MWh) o electricidad de la combustión de carbón (900 kgCO₂ / MWh) [7].

- **Energía Marina**

En [7] se menciona que la energía solar anual que afecta la superficie de la Tierra representa más de 6,000 veces el consumo humano total de energía primaria. Como los océanos ocupan más o menos dos tercios de la superficie de la tierra, capturan, transfieren y acumulan enormes cantidades de energía, pero también desempeñan un papel importante en el equilibrio climático del planeta. Los vientos y las corrientes marinas tienen su origen directamente en la radiación solar.

En cuanto a las olas oceánicas, son un subproducto de la acción del viento en la superficie de las aguas. Las corrientes de marea son creadas por la interacción gravitacional de la tierra, luna y el sol. Por lo que se aprovecha la energía de las olas y las corrientes marinas para el movimiento mecánico de turbinas para la generación de energía eléctrica. Como resultado del efecto del viento en la superficie del océano, la potencia de las olas es más o menos proporcional a la potencia de 5 de la velocidad del viento, según el Consejo Mundial de la Energía (WEC) [7].

- **Energía hidroeléctrica**

La conversión de energía hidráulica en energía mecánica se realiza por medio de una turbina. Esto, al igual que la rueda hidráulica, es un motor y solo produce energía mecánica. Además, esta es la forma que se utilizó durante mucho tiempo como accionamiento directo para máquinas antes de la llegada del generador eléctrico. El uso de esta energía en una turbina requiere no solo una cierta cantidad de agua, sino también una diferencia de altitud.

“Se basa en la transformación del potencial y la energía cinética en agua en energía mecánica, y luego en energía eléctrica. En consecuencia, sólo es posible en lugares que ofrecen una descarga suficiente y una diferencia de niveles. Esta diferencia en los niveles puede ser natural, cuando el agua se recolecta a una altura y luego se

dirige a la turbina, ubicada debajo o artificial, cuando se crea o se aumenta una cabeza instalando un vertedero o represa en un río en un lugar apropiado” [7].

- **Energía geotérmica**

El calor de la tierra que está presente en todas partes aparece en diferentes entornos geológicos; las técnicas modernas que se utilizan permiten explotar esta energía en un rango muy amplio de temperaturas, para usos diversificados que pueden satisfacer las necesidades de los usuarios en todos los niveles.

“La energía geotérmica es la energía térmica contenida en la tierra, y la producción de energía geotérmica abarca todos los procesos que permiten la extracción y el procesamiento industrial de este calor interno. La energía geotérmica hace posible producir electricidad o calor; cada método de aprovechamiento del calor de la tierra utiliza distintas tecnologías para diferentes aplicaciones” [7].

- **Energía eólica**

Otra fuente renovable conocida son las turbinas de viento o aerogeneradores, los cuales utilizan el viento para generar electricidad. El ser humano antiguamente ha aprovechado el viento para su beneficio, como lo son los molinos de viento, usándolos para moler granos o como extractores de agua [8]. Las máquinas eléctricas son dispositivos que se rigen gracias a la ley de inducción de Faraday. Los generadores son máquinas eléctricas que pueden convertir energía mecánica en energía eléctrica [9], por lo que cualquier fuerza que produzca algún movimiento puede producir energía eléctrica. EL viento es capaz de producir movimiento mecánico, por lo tanto, energía eléctrica mediante los aerogeneradores.

- **Energía Fotovoltaica**

Una de las fuentes de energía renovables más conocida son los generadores fotovoltaicos (FV). Los generadores fotovoltaicos aprovechan la energía del sol gracias al efecto fotoeléctrico o fotovoltaico. En 1905 Albert Einstein, en un artículo titulado “Un punto de vista heurístico sobre la producción y transformación de la luz” exponía la tesis de que la emisión de electrones era producida por la absorción de cuantos de luz que más tarde serían llamados fotones. Este efecto fotoeléctrico había sido previamente observado por Heinrich Hertz en 1887, y analizado sucesivamente por Joseph John Thomson en 1889, y Philipp von Lenard en 1902 [10].

El efecto fotovoltaico se obtiene mediante la absorción de fotones en un material que posee al menos una posible transición entre dos niveles de energía [8]. El generador fotovoltaico está formado por varios módulos conectados en serie y/o paralelo, y a su vez cada módulo fotovoltaico está formado por unidades básicas llamadas células o celdas fotovoltaicas. Las celdas están fabricadas de materiales semiconductores en donde el material más común es el silicio [8].

La energía producida por el generador FV se acumula, en caso de ser necesario (ya se ha visto que los sistemas conectados a la red no necesitan baterías) en un sistema de baterías. Puesto que los módulos FV producen corriente continua (CD), que se puede almacenar directamente en baterías. De este modo la energía producida durante las horas de sol se puede utilizar durante la noche, o en momentos en los que no se disponga de la suficiente radiación solar para generar la energía necesaria. En el caso de que se desee dar servicio a determinadas cargas que se alimenten de corriente alterna (AC) (como ocurre con la mayoría de los consumos que habitualmente se utiliza), es necesario disponer de un inversor, que es un dispositivo electrónico encargado de transformar la corriente continua en corriente alterna con el máximo rendimiento posible [11].

“Los sistemas fotovoltaicos aprovechan la radiación solar, fuente inextinguible, local, no contaminante y silenciosa para la producción de electricidad” [11]. La tecnología fotovoltaica permite realizar instalaciones que alimentan sistemas alejados de la red de distribución, incluso se pueden realizar sistemas de generación distribuida, de tal forma que se genere la energía en lugares próximos a los puntos de consumos, mediante la formación de una pequeña red de distribución. Generalmente, esta tecnología es utilizada en zonas excluidas de la red de distribución eléctrica o de difícil acceso a ella, pudiendo trabajar de forma independiente o combinada con sistemas de generación eléctrica convencional [12].

Las aplicaciones se pueden clasificar en dos grandes grupos: Instalaciones aisladas de la red eléctrica, dando lugar a los denominados sistemas fotovoltaicos autónomos, para electrificación rural, señalización, comunicaciones, bombeo de agua, alumbrado público. Aislado: estacionamientos, áreas de descanso, entre otros. Instalaciones conectadas a la red eléctrica: centrales fotovoltaicas y edificios conectados a red [11]. Conexión a la red eléctrica de pequeñas centrales eléctricas que permiten disminuir las pérdidas en la red, ya que se acerca el consumo a la generación. Esta solución es la que está generando actualmente el mayor desarrollo de esta energía, ya que se vende a la red con un precio muy atractivo [12].

Por ejemplo, en el artículo de E. Kaplani [13], se analiza el rendimiento de un “stand alone photovoltaic (SAPV)” o una celda fotovoltaica independiente que energiza una estación para un sistema de telecomunicación. Considerando factores que afectan el rendimiento como el tamaño de la celda, el efecto de la sombra, la temperatura y el polvo, se muestra cómo estos pueden conducir a la reducción en la producción de potencia del SAPV y causar una degradación progresiva permanente de las células fotovoltaicas y de todo el generador fotovoltaico.

Por su parte, George William Hong y Naoya Abe [14], analizan los desafíos y los impactos sociales de los proyectos de electrificación rural que utilizan sistemas de energías renovables, a través de un caso de estudio de una planta solar centralizada fuera de la red en Filipinas. El estudio utilizó el análisis de correspondencia múltiple (MCA) para identificar los atributos esenciales del usuario, que explican los comportamientos de consumo de electricidad de los usuarios. La cooperativa comunitaria tuvo dificultades para mantener la instalación a largo plazo debido a desafíos financieros y relacionados con la capacidad.

Otro ejemplo de aplicación de los sistemas fotovoltaicos se muestra en el artículo de Valenzuela V. Oscar y León C. Martín et. al [15]. En este artículo se diseña e implementa un inversor monofásico de puente completo para un sistema de bombeo fotovoltaico sin baterías. Se enfocan en la investigación del comportamiento de un arreglo fotovoltaico cuando se alimenta un motor de corriente alterna.

2.3 Sistemas híbridos

En [16], se menciona que en los últimos años el costo de la energía eólica ha disminuido. En términos de capital y energía, la energía eólica ahora compite con las tecnologías de energía convencionales y, se ha convertido en la fuente de energía eléctrica menos costosa en muchas partes del mundo. También es abundante y ambientalmente limpio, con muchos beneficios sociales indirectos que no se reflejan por completo en la economía de mercado. Por estas razones, la energía eólica ahora tiene importancia en la planificación energética en todos los países del mundo. Por otro lado, la energía fotovoltaica aun no puede competir económicamente con las energías convencionales directamente.

En el artículo [17], sobre la evaluación de sistemas híbridos se indica que, un sistema híbrido produce energía por más de un tipo de fuente, como por ejemplo la

combinación de turbinas eólicas, paneles fotovoltaicos, plantas de biomasa y/o hidro turbinas, por mencionar algunas. El sistema acumula la energía generada en unidades de almacenamiento (baterías), también se puede configurar para usar la energía de la red eléctrica local cuando el almacenamiento de energía de reserva es bajo.

Cuando se trata de un sistema autónomo, las fuentes renovables almacenan la energía en un banco de baterías, y solo de ahí se consume la energía para las cargas en lugar de la red eléctrica. En [18], se menciona que los sistemas autónomos básicos de energía solar y eólica, son una opción para alimentar pequeñas cargas en localidades remotas. Como instalaciones de telecomunicación, cabañas alpinas o estaciones de registro de datos para parámetros ambientales. La configuración de las fuentes depende de las condiciones climáticas en el sitio. En cuanto a un gran número de regiones, el patrón estacional de los flujos de energía eólica y solar son suplementos mutuos, la combinación de fuentes eólicas y solares puede tener ventajas considerables comparando con el uso de una sola clase de fuente.

Ahora corresponde analizar si las casas autosustentables son cómodas, por lo que el siguiente tema analiza las condiciones que debe satisfacer un edificio para considerarse cómodo.

2.4 Condiciones de Comodidad

Aunque la *comodidad* o *comfort* de cada persona es relativa, el autor Ing. Eduardo Hernández G. [19], indica que la *comodidad* de las personas sigue un patrón el cual depende de cuatro factores primordiales, que son la temperatura del aire, la humedad del aire, el movimiento y la pureza del aire. “El comportamiento fisiológico del cuerpo humano demanda que la cantidad de calor interno producido por el

cuerpo, sea igual a la cantidad de calor externo perdido. El cuerpo humano tiene un sistema de control de temperatura para regular sus pérdidas que ocurren por convección, radiación y evaporación.” El calor del cuerpo humano se pierde por evaporación a través de la piel. La evaporación se debe a la baja humedad relativa del aire; las altas humedades la retardan. Los excesos de la humedad relativa producen reacciones fisiológicas molestas [19].

En [20] se describe que el confort térmico humano depende de factores ambientales (como son el flujo de aire o viento, la temperatura y la humedad del aire, la radiación del sol o si se está cerca de alguna superficie caliente o fría) y personales (la ropa que se usa y el nivel de la actividad física de la persona). La sensación térmica también es afectada significativamente por la aclimatación o adaptación de los humanos al clima en el que viven.

Para establecer estándares de temperatura y humedad es necesario encontrar los valores óptimos para que se tenga la sensación de comodidad. Debido a las grandes diferencias fisiológicas y psicológicas de las personas, encontrar valores determinados es muy complicado, al grado de ser prácticamente imposible. La mejor forma de solucionar este problema es con una carta psicométrica, esta carta intenta encontrar una relación entre estos factores, a fin de que produzcan la mayor comodidad posible en el mayor número de personas.

La carta psicométrica como la mostrada en la Figura 1 es un esfuerzo por exhibir las relaciones en muchas de las propiedades del aire. La carta muestra todas las siguientes propiedades: temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo húmedo, humedad relativa, punto de rocío, relación de humedad, calor total (entalpía) y volumen específico.

La comodidad, está determinada no sólo por la temperatura sino también por la humedad del aire que nos rodea. Hay momentos en que no parece muy caliente, pero se está sudando o en otras ocasiones cuando el aire es frío, pero parece tan seco que los labios comienzan a secarse y agrietarse. Esto es, de hecho, todo relacionado con el equilibrio de la temperatura y la humedad del aire, un equilibrio que determina el "punto de rocío".

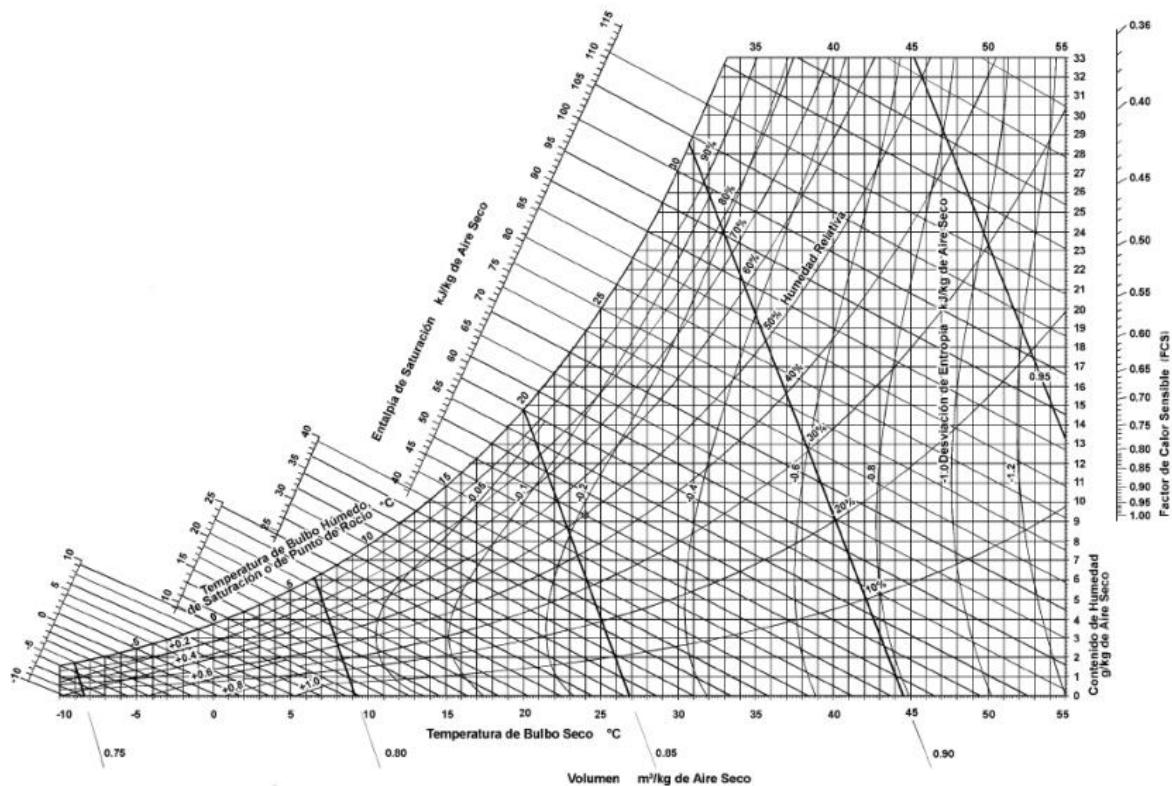


Figura 1. Carta psicrométrica [19].

El Dew point (punto de rocío) indica la temperatura a la cual el aire debe ser enfriado para que se produzca la saturación, siempre que no haya cambio en el contenido de agua. “La comodidad en el hogar depende de una combinación de humedad y temperatura, lo que se conoce como control climático. La temperatura y la humedad relativa están directamente relacionadas en el punto de rocío” [20]. De la carta

psicométrica se obtienen el punto de rocío mostrado en la Tabla I, la cual presenta los valores que indican si el ambiente se considera seco, cómodo o incómodo y de esta manera determinar la comodidad.

Tabla I. Punto de rocío.

Temperature, Relative Humidity and Dew Point

		Relative Humidity %																				
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	
Temp. °C		-2.62	7.11	13.18	17.67	21.26	24.27	26.87	29.16	31.22	33.08	34.79	36.36	37.83	39.2	40.49	41.71	42.86	43.96	45	46	46
		-3.32	6.36	12.4	16.86	20.43	23.42	26	28.27	30.31	32.17	33.86	35.43	36.89	38.25	39.53	40.74	41.88	42.97	44.01	45	45
44	-4.01	5.61	11.61	16.04	19.59	22.56	25.13	27.39	29.41	31.25	32.94	34.5	35.94	37.3	38.57	39.77	40.91	41.99	43.02	44	44	
43	-4.7	4.86	10.82	15.23	18.75	21.7	24.25	26.5	28.51	30.34	32.01	33.56	35	36.34	37.61	38.8	39.93	41	42.02	43	43	
42	-5.4	4.11	10.03	14.41	17.91	20.85	23.38	25.61	27.61	29.43	31.09	32.62	34.05	35.39	36.64	37.83	38.95	40.01	41.03	42	42	
41	-6.09	3.36	9.25	13.6	17.08	19.99	22.5	24.72	26.71	28.51	30.16	31.69	33.11	34.43	35.68	36.86	37.97	39.03	40.04	41	41	
40	-6.79	2.61	8.46	12.78	16.24	19.13	21.63	23.83	25.81	27.6	29.24	30.75	32.16	33.48	34.72	35.89	36.99	38.04	39.04	40	40	
39	-7.49	1.85	7.67	11.96	15.4	18.27	20.76	22.94	24.91	26.68	28.31	29.82	31.22	32.53	33.75	34.91	36.01	37.06	38.05	39	39	
38	-8.19	1.1	6.88	11.15	14.56	17.42	19.88	22.05	24	25.77	27.39	28.88	30.27	31.57	32.79	33.94	35.03	36.07	37.06	38	38	
37	-8.88	0.34	6.09	10.33	13.72	16.56	19.01	21.17	23.1	24.85	26.46	27.95	29.33	30.62	31.83	32.97	34.05	35.08	36.06	37	37	
36	-9.58	-0.41	5.29	9.51	12.88	15.7	18.13	20.27	22.2	23.94	25.54	27.01	28.38	29.66	30.86	32	33.08	34.1	35.07	36	36	
35	-10.28	-1.17	4.5	8.69	12.04	14.84	17.25	19.38	21.29	23.02	24.61	26.07	27.43	28.71	29.9	31.03	32.1	33.11	34.08	35	35	
34	-10.99	-1.93	3.71	7.87	11.19	13.98	16.38	18.49	20.39	22.11	23.68	25.14	26.49	27.75	28.94	30.06	31.12	32.12	33.08	34	34	
33	-11.69	-2.68	2.91	7.05	10.35	13.12	15.5	17.6	19.48	21.19	22.75	24.2	25.54	26.79	27.97	29.08	30.14	31.14	32.09	33	33	
32	-12.39	-3.44	2.12	6.23	9.51	12.25	14.62	16.71	18.58	20.27	21.83	23.26	24.59	25.84	27.01	28.11	29.16	30.15	31.1	32	32	
31	-13.09	-4.2	1.33	5.41	8.66	11.39	13.74	15.82	17.67	19.36	20.9	22.32	23.65	24.88	26.05	27.14	28.18	29.16	30.1	31	31	
30	-13.8	-4.96	0.53	4.58	7.82	10.53	12.87	14.93	16.77	18.44	19.97	21.39	22.7	23.93	25.08	26.17	27.2	28.18	29.11	30	30	
29	-14.5	-5.72	-0.27	3.76	6.98	9.67	11.99	14.03	15.86	17.52	19.04	20.45	21.75	22.97	24.12	25.2	26.22	27.19	28.12	29	29	
28	-15.21	-6.48	-1.06	2.94	6.13	8.8	11.11	13.14	14.96	16.61	18.12	19.51	20.8	22.01	23.15	24.22	25.24	26.2	27.12	28	28	
27	-15.92	-7.25	-1.86	2.11	5.29	7.94	10.23	12.25	14.05	15.69	17.19	18.57	19.88	21.06	22.19	23.25	24.26	25.22	26.13	27	27	
26	-16.63	-8.01	-2.66	1.29	4.44	7.08	9.35	11.35	13.14	14.77	16.26	17.63	18.91	20.1	21.22	22.28	23.28	24.23	25.14	26	26	
25	-17.33	-8.77	-3.46	0.46	3.59	6.21	8.47	10.46	12.24	13.85	15.33	16.69	17.96	19.15	20.26	21.31	22.3	23.24	24.14	25	25	
24	-18.04	-9.54	-4.26	-0.36	2.75	5.35	7.59	9.56	11.33	12.93	14.4	15.75	17.01	18.19	19.29	20.33	21.32	22.26	23.15	24	24	
23	-18.75	-10.3	-5.06	-1.19	1.9	4.48	6.71	8.67	10.42	12.01	13.47	14.81	16.06	17.23	18.33	19.36	20.34	21.27	22.15	23	23	
22	-19.47	-11.07	-5.86	-2.02	1.05	3.62	5.83	7.77	9.52	11.09	12.54	13.88	15.12	16.27	17.36	18.39	19.36	20.28	21.16	22	22	
21	-20.18	-11.83	-6.66	-2.84	0.2	2.75	4.94	6.88	8.61	10.18	11.61	12.94	14.17	15.32	16.4	17.42	18.38	19.3	20.17	21	21	
20	-20.89	-12.6	-7.46	-3.67	-0.65	1.88	4.06	5.98	7.7	9.26	10.68	12	13.22	14.36	15.43	16.44	17.4	18.31	19.17	20	20	
19	-21.6	-13.37	-8.26	-4.5	-1.5	1.01	3.18	5.08	6.79	8.34	9.75	11.06	12.27	13.4	14.47	15.47	16.42	17.32	18.18	19	19	
18	-22.32	-14.14	-9.07	-5.33	-2.35	0.15	2.3	4.19	5.88	7.41	8.82	10.11	11.32	12.44	13.5	14.5	15.44	16.33	17.19	18	18	
17	-23.03	-14.91	-9.87	-6.16	-3.2	-0.72	1.41	3.29	4.97	6.49	7.89	9.17	10.37	11.49	12.53	13.52	14.46	15.35	16.19	17	17	
16	-23.75	-15.68	-10.67	-6.99	-4.05	-1.59	0.53	2.39	4.06	5.57	6.96	8.23	9.42	10.53	11.57	12.55	13.48	14.36	15.2	16	16	
15	-24.47	-16.45	-11.48	-7.82	-4.9	-2.46	-0.36	1.49	3.15	4.65	6.03	7.29	8.47	9.57	10.6	11.58	12.5	13.37	14.2	15	15	
14	-25.19	-17.22	-12.28	-8.65	-5.75	-3.33	-1.24	0.6	2.24	3.73	5.09	6.35	7.52	8.61	9.64	10.6	11.52	12.38	13.21	14	14	
13	-25.9	-17.99	-13.09	-9.48	-6.6	-4.2	-2.13	-0.3	1.33	2.81	4.16	5.41	6.57	7.65	8.67	9.63	10.54	11.4	12.22	13	13	
12	-26.62	-18.77	-13.9	-10.31	-7.46	-5.07	-3.01	-1.2	0.42	1.89	3.23	4.47	5.62	6.69	7.7	8.65	9.55	10.41	11.22	12	12	
11	-27.35	-19.54	-14.71	-11.15	-8.31	-5.94	-3.9	-2.1	-0.49	0.96	2.3	3.53	4.67	5.73	6.74	7.68	8.57	9.42	10.23	11	11	
10	-28.07	-20.31	-15.51	-11.98	-9.16	-6.81	-4.78	-3	-1.4	0.04	1.36	2.58	3.72	4.78	5.77	6.71	7.59	8.43	9.24	10	10	
5	-31.69	-24.2	-19.56	-16.16	-13.44	-11.17	-9.22	-7.5	-5.97	-4.58	-3.3	-2.13	-1.04	-0.02	0.93	1.83	2.69	3.5	4.27	5	5	
0	-35.33	-28.1	-23.63	-20.35	-17.73	-15.55	-13.67	-12.02	-10.54	-9.2	-7.98	-6.85	-5.8	-4.82	-3.91	-3.04	-2.22	-1.45	-0.71	0	0	

Dry Comfortable Alright Uncomfortable Very Uncomfortable

2.5 Edificios con sistemas inteligentes

Reducir el consumo de energía también es vital porque ayuda a preservar los recursos finitos, reduce los costos para las empresas y los consumidores, y puede lograrse con relativa rapidez. Además, es probable que la contribución de las

fuentes distintas del carbono se vea limitada durante varias décadas. Por lo tanto, para avanzar hacia una economía baja en carbono, hacer un uso "más inteligente" de energía en los edificios contribuirá fundamentalmente a ahorrar energía y costos. Los edificios inteligentes de energía, que facilitan el control inteligente del edificio, se están convirtiendo en una tendencia de los edificios comerciales de la próxima generación.

En [21] se mencionan los sistemas de gestión de energía y confort de edificios o Building energy and comfort management (BECM), estos son sistemas de control para edificios individuales o grupos de edificios que utilizan computadoras y microprocesadores distribuidos para el monitoreo, el almacenamiento de datos y la comunicación. El objetivo general de un sistema BECM es cumplir con los requisitos de comodidad de los ocupantes, al tiempo que se reduce el consumo de energía durante las operaciones de construcción. El control de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC), control de iluminación, control de agua caliente y control de electricidad se consideran funciones requeridas para el sistema BECM.

En [22] indican que domótica es la tecnología para desarrollar e implementar la automatización de instalaciones comunes en una casa o edificio. Seguridad, ahorro de energía, la comodidad y las comunicaciones son los principales objetivos de la domótica. Hay muchas aplicaciones y productos domóticos diferentes que puede cubrir casi todas las demandas. Este tipo de tecnologías son implementados gracias a la computación ubicua.

2.5.1 Cómputo Ubicuo

El cómputo ubicuo (ubiquitous computing) o ubicomp, es un término dado a la tercera era de la informática moderna. La primera era fue definida por la creación de la computadora, una era donde las computadoras eran utilizadas sólo por organizaciones o universidades. Posteriormente, la era de las computadoras

personales llegó con el enfoque de visualizar el que cada persona tuviese un ordenador propio. La era de la computación ubicua es caracterizada por la explosión de pequeños productos computacionales, portables y conectados, como lo son los smartphones y Personal Digital Assistants (PDAs), y sistemas embebidos incorporados a muchos dispositivos que son utilizados cotidianamente. Dando como resultado un mundo en donde cada persona posee y usa un dispositivo computacional personal.

El término original de cómputo ubicuo fue acuñado por Mark Weiser en 1988 en Xerox PARC. La visión de Mark Weiser consistía en incorporar la tecnología a artefactos del día a día, los cuales se utilizarían para apoyar las actividades diarias, aplicando por igual al trabajo, a la gestión de los hogares y al entretenimiento [23]. “Ubicomp creó un nuevo campo de la ciencia de la computación, que especuló sobre un mundo físico rico e invisiblemente entrelazado con sensores, actuadores, pantallas y elementos computacionales, integrados a la perfección en los objetos cotidianos de nuestras vidas y conectados a través de una red continua.”- Mark Weiser [24].

2.5.2 Sistemas Embebidos

“Un sistema embebido es un sistema cuya función principal no es computacional, pero es controlado por un computador integrado. Este computador puede ser un microcontrolador o un microprocesador. La palabra embebido implica que se encuentra dentro del sistema general, oculto a la vista, y forma parte de un todo de mayores dimensiones” [25].

Un sistema embebido es un sistema electrónico que está compuesto por tres partes. Hardware, se refiere a los componentes físicos que lo forman o constituyen, se compone básicamente de circuitería y arquitectura computacional. Software, cuya

programación está destinada hacia propósitos específicos. Y el sistema operativo que permite supervisar las aplicaciones, además de proveer los mecanismos para la ejecución de procesos [26]. Estos sistemas son prácticamente computadoras, pero no son de propósito general, sino que están enfocados a aplicaciones específicas.

Los sistemas embebidos se encuentran en una variedad de dispositivos electrónicos comunes, tales como consumibles electrónicos (teléfonos celulares, cámaras digitales, video juegos portátiles, calculadoras, PDAs, etc.), electrodomésticos (hornos microondas, máquinas contestadoras, termostatos, lavadoras, etc.), equipos de oficina (fax, copiadoras, impresoras, scanners), equipos de negocios (caja registradora, sistemas de alarma, lectores de tarjeta y cajeros automáticos), y automóviles (control de transmisión, control de viaje, inyección de combustible, ABS, etc.). “Podría decirse que prácticamente cualquier dispositivo que se ejecute con electricidad ya tiene un sistema computacional embebido o próximamente lo tendrá” [27].

2.5.3 Internet de las cosas

Las tecnologías están en constante evolución, desde la invención del internet se han desarrollado cada vez más maneras de digitalizar el mundo, es decir, formas de integrar el internet con la vida cotidiana. El internet es prácticamente un bazar de conocimientos por lo que tener acceso a ellos en cualquier momento podría facilitar la vida del día a día. El enfoque general del “Internet de las cosas” (IoT) busca que cualquier objeto, medio ambiente y artículos de la vida cotidiana también llamadas “things” (cosas), “objects” (objetos), o “machines” (máquinas) formen parte del internet, para conocer mejor ese objeto y/o para tener control sobre el mismo.

El internet de las cosas de alguna manera da paso a un mundo de computación ubicua conectada a la red. Con el objetivo de facilitar diferentes tareas para los usuarios y proveer otras tareas, como el facilitar el monitoreo de diferentes fenómenos que nos rodean. “Con el cómputo ubicuo , la computación será integrada en cualquier parte y programada para que funcione automáticamente sin necesidad de intervención manual, será omnipresente” [28].

Para que algo se pueda determinar cómo “thing”, “object” o “machine” se debe tener información de estos, ya sea monitoreándolo por medio de sensores o identificándolos, permitiendo el desarrollo de nuevos servicios que involucra la información del ambiente. Sólo pequeños dispositivos, como sensores y actuadores añadidos a objetos son considerados como “cosas”.

Como es determinado por Atzorti et al. [29], el internet de las cosas se puede ver en tres paradigmas, orientado a internet (middleware), orientado a cosas (sensores) y orientado a esquemático (knowledge o conocimiento).

Hay tres componentes que conforman el internet de las cosas los cuales permite sin problemas la ubicomp, estos son: Hardware que lo compone los sensores, actuadores y sistemas embebidos. Middleware que consiste en almacenamiento y herramientas de computación para analizar datos y, finalmente Presentación, que se entiende como la visualización y herramientas de interpretación, las que pueden accederse por diferentes plataformas y diseñadas para diferentes aplicaciones.

2.5.3.1 Aplicaciones del internet de las cosas

Existen muchas áreas en las cuales pueden tener potencial para aplicar el internet de las cosas. J. Gubbi et al. [30] clasifican las aplicaciones en cuatro dominios: Personal y hogar, empresarial, utilidades y móvil. Como se puede deducir, personal

y el hogar se limita a una escala pequeña que cubre a un individuo o una casa. Empresarial su escala es de una comunidad. Utilidad se limita a una región o incluso a una nación. Y móvil, que usualmente se esparce a través de otros dominios, esto debido a la naturaleza de la conectividad y la escala.

- Personal y Hogar: El cuidado de la salud ubicua se ha previsto desde hace dos décadas. IoT da una perfecta plataforma para realizar esta visión, usando sensores corporales o “body area sensors” e interfaces que suben los datos a servidores. Por ejemplo, un smartphone puede ser usado para comunicarse con varias interfaces como bluetooth que se conectan con sensores que miden parámetros psicológicos. Hasta aplicaciones para sistemas operativos móviles como Apple IOS y Google Android ya tienen incorporados sensores que miden parámetros físicos de cada persona como por ejemplo el ritmo cardiaco. Una extensión de esto, se está creando un sistema de monitoreo de hogares para el cuidado de personas mayores, el cual permite al doctor monitorear a los pacientes y adultos mayores en sus hogares, así reduciendo costos de hospitalización mediante intervención temprana y tratamiento. El control de equipos del hogar como aire acondicionado, refrigeradores, lavadoras, entre otros, permitirá una mejor gestión del hogar como de energía.
- Empresarial: Se refiere “a las redes de cosas o Network of things dentro de un entorno de trabajo como una aplicación basada en la empresa” [30]. La información recolectada de estas redes es sólo para los propietarios quienes deciden qué hacer con dicha información. El monitoreo ambiental es la aplicación más común de los que ocupan y manejan las utilidades dentro del edificio, como por ejemplo sistemas HVAC, lighting, entre otras. Los sensores siempre han sido parte integral de la industria, para seguridad, automatización, climatización, etc. Esto eventualmente será reemplazado por sistemas inalámbricos dando flexibilidad para hacer cambios siempre que se requiera.

Esto no es más que un sistema de internet de las cosas dedicado al mantenimiento industrial. Un área de aplicación de IoT que está adquiriendo atención son los ambientes inteligentes, que actualmente ya se están implementando. Las ciudades inteligentes, la gestión de agricultura, transporte inteligente que se enfoca en el tráfico de vehículos, y la gestión medioambiental, son algunos ejemplos de aplicaciones de los ambientes inteligentes.

- Utilidades: Aquellas aplicaciones que tienen como fin una utilidad al usuario, como la gestión de recursos para la optimización de estos con el fin de obtener su costo beneficio. Un ejemplo de estas aplicaciones serían las "Water network" que consisten en el monitoreo de la calidad de agua, garantizando la potabilidad del agua. Esto puede extender para agricultura o incluso acuacultura.
- Móvil: El tráfico urbano es el principal problema de la contaminación sonora, la calidad del aire y las emisiones de gases de efecto invernadero. Un sistema de IoT de tráfico dinámico podría ayudar con estos problemas, sin embargo, es necesario una gran red de cobertura de sensores para lograrlo.

2.5.3.2 IoT para aplicaciones de sustentabilidad

Actualmente, la tendencia es utilizar Internet de las cosas para monitorear y supervisar la generación de energía, así como el consumo de la misma con el fin de optimizar recursos. El uso de la tecnología del internet de las cosas para la supervisión de la generación de energía fotovoltaica puede realmente mejorar el rendimiento, monitorear y dar mantenimiento a una planta. En el mundo se están instalando cada vez más plantas fotovoltaicas con cada vez más equipo, por lo que requieren sofisticados sistemas de automatización de la planta monitoreada usando

remotamente servicios web basados en interfaces, ya que la mayoría de las plantas están siendo instaladas en lugares inaccesibles y por lo tanto incapaz de ser monitoreado en lugares dedicados.

En el artículo de Soham Adhya et al. [31] se implementan nuevas metodologías económicas basadas en IoT para monitoreo remoto de una planta solar fotovoltaica para la evaluación del rendimiento de la misma. En donde múltiples paneles son conectados a sensores de temperatura, transductores de voltajes y corrientes, a su vez conectados a los transceptores Zigbee, los que envían los datos monitoreados a un microcontrolador que, con un módulo WIFI, se envían los datos al internet donde son almacenados en un servidor haciendo función de nube. Este sistema de monitoreo es capaz de adquirir los valores de batería de voltaje y de corriente, el voltaje y la corriente de los paneles y los de la red, la insolación solar y la temperatura. El voltaje de los paneles es monitoreado por un circuito divisor de voltaje, la corriente es medida por derivación con amplificador diferencial, la insolación solar es registrada por una unidad de celda solar con un amplificador preciso. La temperatura es medida por un sensor integrado de temperatura. Utilizan una página web para desplegar los resultados. Sólo que se tiene que recargar la página para tener nuevos datos y los autores sugieren una programación de auto recarga de la página.

Un sistema inteligente de monitoreo remoto y almacenamiento de datos con cómputo ubicuo ayudaría a validar los parámetros sustentabilidad para un equipo híbrido autónomo con fuentes renovables. Y ayudaría al edificio en cuestión a ahorrar energía, monitoreando el confort y el consumo de este.

CAPÍTULO III. MÉTODO

En este capítulo se describen los sujetos de estudio, la metodología para desarrollar el trabajo, así como los materiales, equipo y herramientas necesarias para ello.

3.1 Sujetos

El trabajo está dirigido a inversionistas, organizaciones, instituciones o familias, que requieren de un sistema de adquisición de datos para un edificio autosustentable. Para ello se monitorean parámetros físicos del edificio para medir la comodidad, como la temperatura y la humedad. Así mismo, se mide la potencia generada por los recursos renovables, tanto de los paneles fotovoltaicos como la potencia entregada por el generador eólico, al igual que la potencia consumida por el edificio, con la finalidad de ofrecer una herramienta para visualizar el desempeño de los recursos y los parámetros mencionados.

Este trabajo se realiza como parte del proyecto PROFAPI con código 2018-1048 y título “Desarrollo de una instalación de generación autónoma e híbrida para la validación de modelos de pronóstico energético y cama de pruebas de sistemas de monitorización basados en IoT”. En el que colaboran los cuerpos académicos Utilización de Energías y Redes y sistemas Colaborativos, además es desarrollado por un alumno de ingeniería en Electrónica.

3.2 Procedimiento

El procedimiento de este trabajo, cuyo diagrama de flujo se muestra en la Figura 2 está dividido en seis etapas principales las cuales son:

- 1) Investigación bibliográfica.
- 2) Definición del sistema.
 - Especificaciones del sistema.
 - Selección de la plataforma de desarrollo.
- 3) Diseño del sistema.
 - Topología del sistema.
 - Dinámica de comunicación y adquisición de datos.
 - Diseño de Interfaz web.
- 4) Implementación del sistema.
 - Implementación de sensores
 - Sistema de monitoreo.
 - Servicio Web
 - Base de datos.
- 5) Validación y pruebas.
- 6) Documentación.

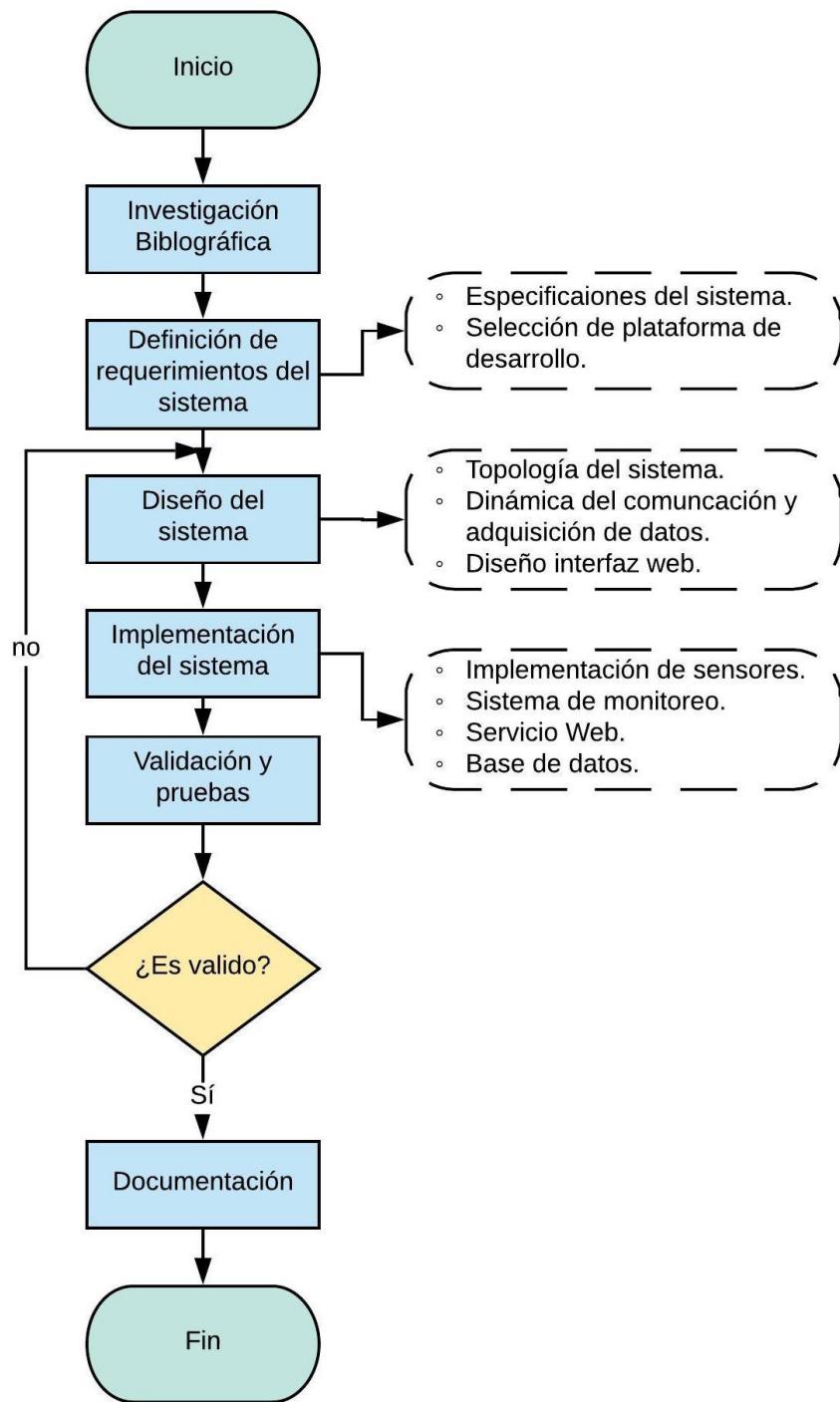


Figura 2. Procedimiento empleado para desarrollar el trabajo.

- Investigación biografía. En esta etapa se realiza una investigación de artículos, investigaciones y trabajos relacionados o similares que se han planteado o implementado, con la finalidad de identificar los nichos de oportunidad.
- Definición del sistema. Se define lo que se requiere para el funcionamiento del sistema, las especificaciones del sistema como las entradas y salidas del sistema. Las entradas se refieren a los parámetros a medir, y la salida el despliegue de la información en una interfaz visual. Y se selecciona la plataforma que se usará para el desarrollo del proyecto.
- Diseño del sistema. Esta etapa consiste en diseñar el sistema de monitoreo remoto por medio de un servicio web. Se diseña el modo de transferencia de datos a la nube, el almacenamiento de datos y la interfaz gráfica donde se visualizarán los datos medidos. Así como el diseño de la página web.
- Implementación del sistema. Se implementará el sistema de monitoreo integrando todos los elementos, el servicio web, los sensores, la base de datos que almacenará la información, y el sistema de monitoreo como tal.
- Validación y pruebas. Con cada parte ya integrada, se monta el sistema en una cama de pruebas con los escenarios definidos donde se pone en marcha y se realizan las pruebas necesarias para validar el sistema. Se evaluará la precisión y exactitud del sistema de monitoreo, así como la confiabilidad del mismo.
- Documentación. Finalmente se documenta cada una de las actividades realizadas y los resultados obtenidos en cada fase y sus respectivos análisis para el desarrollo de la tesis.

3.3 Materiales y herramientas

Las herramientas y lenguajes de software que se utilizan son las siguientes:

- Arduino IDE 1.6.8.
- MySQL.
- HTML
- PHP 5
- Python 2
- JavaScript, Frameworks (Bootstrap, Fusioncharts y Highcharts)
- Apache 2
- Servicio noip

Los materiales de hardware que se utilizan se presentan los siguientes:

- Raspberry pi 2.
- Nodemcu Esp8266 V3.
- Módulo sensor de corriente no invasivo Sct-013.
- Módulo transformador Zmpt101b.
- Transductor de corriente CAS-15NP LEM.
- Sensor de temperatura LM35.
- Sensor de humedad capacitivo AM2301.
- Modulo relevador de dos canales.

CAPÍTULO IV. DESARROLLO

En este capítulo se describe a detalle cómo se llevó a cabo el diseño del sistema de monitoreo propuesto. Primero se definen los requerimientos del sistema, se selecciona la plataforma de desarrollo y se diseña la topología de este. Enseguida se describen los circuitos desarrollados y las herramientas que se utilizaron. Por último, se presenta el desarrollo de la interfaz web y se explica el funcionamiento de todo el sistema.

4.1 Definición de requerimientos del sistema de monitoreo

Este trabajo se enfoca en el caso de estudio de [2], por lo que se replicó lo mejor posible el equipo manejado en ese caso. Para ello, se emplearon dos paneles de 250W, un inversor de 1500W, dos baterías de ciclado profundo y un aerogenerador de 400W.

Para consolidar lo que requiere el sistema, se debe determinar lo que se necesita monitorear. Primero se requiere monitorear el confort o comodidad de un edificio. Para esto se debe medir temperatura y humedad con el fin de establecer un nivel de comodidad, utilizando la carta psicrométrica y la tabla del punto de rocío, y así validar el confort.

De esta manera, se requiere de sensores de humedad y temperatura, tanto en el interior del edificio como en el exterior, para lograr una comparación de temperaturas y adquirir estos datos para realizar una toma de decisiones con respecto a disminuir la humedad, la temperatura o ambas dentro del edificio y tener un nivel de confort deseado.

El sistema también requiere que se tenga un monitoreo de la generación de energía por parte de los recursos renovables que suministran de energía limpia a este edificio, para así observar qué tanta energía producen en la ubicación propuesta. Por lo que es necesario medir la potencia de ambos, tanto del arreglo fotovoltaico como el aerogenerador. De esta forma se necesitan sensores de voltaje y corriente para ambas fuentes de energía. Además del panel que cargará las baterías, se utilizará un pequeño panel de 10w para medir la radiación. También se monitoreará el estado de la batería, para ello se requerirá un sensor de temperatura, así como la medición del voltaje de la batería.

Por otra parte, es necesario monitorear el consumo del edificio para determinar si las fuentes de energía son suficientes para abastecer el inmueble, y así tener información suficiente para notar la eficiencia de la generación de energía para las cargas propuestas (una lámpara y un abanico). Para lograrlo, se requerirán sensores de voltaje y corriente que midan el consumo en CA.

Para tener un sistema inteligente se controlará las cargas de forma automático o manual. Manipulando las cargas, para que el abanico estabilice o disminuya la

humedad dentro del edificio y una lámpara para la iluminación, siendo el sistema capaz de encenderlos a distancia por medio de este sistema.

Al tener múltiples y diversos tipos de sensores, se requeriría un engorroso sistema de cableado, a causa de esto se optó por utilizar interfaces inalámbricas capaces de conectarse a una red de sensores que se comuniquen con un dispositivo o sistema embebido que procese y envíe la información a una base de datos que tenga acceso a web y así tener acceso en diversas plataformas para realizar el monitoreo remoto.

4.2 Selección de plataforma de desarrollo

Para la selección de la plataforma de desarrollo se debe partir de los requerimientos del sistema. Existen diversos sistemas embebidos comerciales, los más conocidos se pueden apreciar en la Tabla II, en donde se muestra una comparación de las diversas plataformas, poniendo las características más importantes a tomar en cuenta. Las características que se evalúan no están presentadas en orden de relevancia, sino conforme se muestran en la documentación de cada compañía que las fabrica.

El sistema requiere de conexión a internet, por lo que contar con puertos Ethernet o WiFi es crucial a considerar. La memoria y la velocidad de procesamiento no son factores indispensables para la implementación del sistema, aunque el procesador debe ser capaz de sostener al sistema. El precio es esencial que represente un peso considerable para la elección de la plataforma. Los pines de entrada y salida son un criterio flexible, ya que muchos de los sensores son analógicos y sería conveniente tener otro dispositivo que tenga la función de recolectar los datos.

Con estos criterios se evalúa cada plataforma para la elección del sistema. Galileo, Edison y Beagle Bone cuentan con precios muy elevados por lo que son descartados. Arduino sin embargo, es económico y sencillo en cuestión de programación, aunque no cuente con Ethernet o WiFi, es compatible con módulos que cumplen con estas funciones, sin embargo, el procesador no es eficiente ni confiable para el desarrollo del sistema.

El ESP8266 es sumamente económico, sencillo en cuestión de programación y cuenta con un módulo WiFi incorporado, lo que da paso a ser un candidato para convertirse en la plataforma de desarrollo, a pesar de esto, cuenta con sólo una entrada analógica y un procesador no tan confiable.

La familia Raspberry Pi tiene alta capacidad de procesamiento, cuentan con Ethernet o son compatibles con un adaptador WiFi y con un precio razonable, la desventaja es que no cuenta con entradas analógicas. Al combinar las ventajas de la plataforma Raspberry Pi con las del ESP8266 se obtienen las características deseadas con los criterios establecidos.

Con Raspberry Pi se tendría la posibilidad de establecer un servidor web y una base de datos en la cual se podrán almacenar los valores medidos de todos los parámetros. Es decir, comunicando diferentes nodos (ESP8266), estos toman mediciones y para posteriormente subir los datos tanto a una página web como a la base de datos.

Tabla II. Comparación de plataformas

	Arduino UNO	Galileo	Edison	Raspberry pi	Raspberry pi 2	Raspberry pi 3	Beagle Bone (Black)	ESP8266
Procesador/ Microcontrolador	ATmega328	Intel® Quark SoC X1000	dual-threaded Intel® Atom™ CPU 500MHz	ARM1176JZF-S	Quad-core 32-bit Broadcom ARM Cortex-A7	CM2837, Quad-core 64-bit ARM Cortex A53	Sitara AM3359AZCZ100	Tensilica L106 32-bit
I/O Digital	14	14	20	8	26	40	65	12
Entradas Analógicas	6	6	6	No	No	No	7	1
Memoria	SRAM 2kB EEPROM 1kB Flash 32kB	SRAM 522kB DRAM 256MB EEPROM 11kB 8MB Flash	RAM 1GB 4GB	RAM 512MB	RAM 1GB, Micro SD	RAM 1GB	DRAM 512MB DDR3L, eMMC 2GB	RAM 36kB 1MB
Velocidad de reloj	16 MHz	400MHz	32K/19.2MHz	700MHz	900MHz	1GHz	1GHz	80MHz
UART	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
I2C	No	Si	Si	No	No	No	Si	Si
Bluetooth	No	No	Si	No	No	Si	No	No
Ethernet	No	Si	No	Si	Si	Si	Si	No
WIFI	No	No	Si	No	No	Si	No	Si
Lenguajes	Arduino/C	Arduino LINUX	Arduino/Yocto linux	LINUX	LINUX	LINUX	C/C++,Python, Perl,Ruby,Java	Arduino LUA
Otros				HDMI	HDMI	HDMI,		
Precio (dolares)	22	84.99	86	10	35	35	60	8

4.3 Topología del sistema

Ya definido el sistema y los parámetros a monitorear se propone la topología del sistema de monitoreo. Se opta por dividir el sistema en tres nodos y un servidor, los nodos consisten en circuitos que integran la placa de open Hardware basada en el ESP8266, llamada “Nodemcu ESP8266” específicamente la versión 3 junto con los sensores conforman el nodo.

Se dividió en tres nodos debido a que desempeñan diferentes funciones, el nodo 1 evalúa la parte de sustentabilidad, el estado de las baterías, el consumo por parte de las cargas y el control de estas. El nodo 2 proporciona la medición de la humedad relativa, la temperatura y la iluminación dentro del edificio, estos parámetros se separan del nodo 1, con el propósito de alimentarlo con una batería o un powerbank para que sea más portable y capaz de cambiar de posición para poder medir la humedad en diferentes sitios del edificio.

El tercer nodo se posiciona al exterior del edificio, midiendo la radiación solar, la humedad relativa y temperatura exterior, por lo que se requiere de una estructura capaz de soportar las condiciones del ambiente y que no afecte las mediciones. Por su parte el Raspberry Pi, tiene como función almacenar los datos adquiridos y como servidor web. De igual manera mantiene comunicación con los nodos.

En la Figura 3 se muestra la configuración propuesta, donde se destaca la clara división de los nodos, el Raspberry Pi como servidor y los clientes que pueden acceder a los datos por medio de una página web.

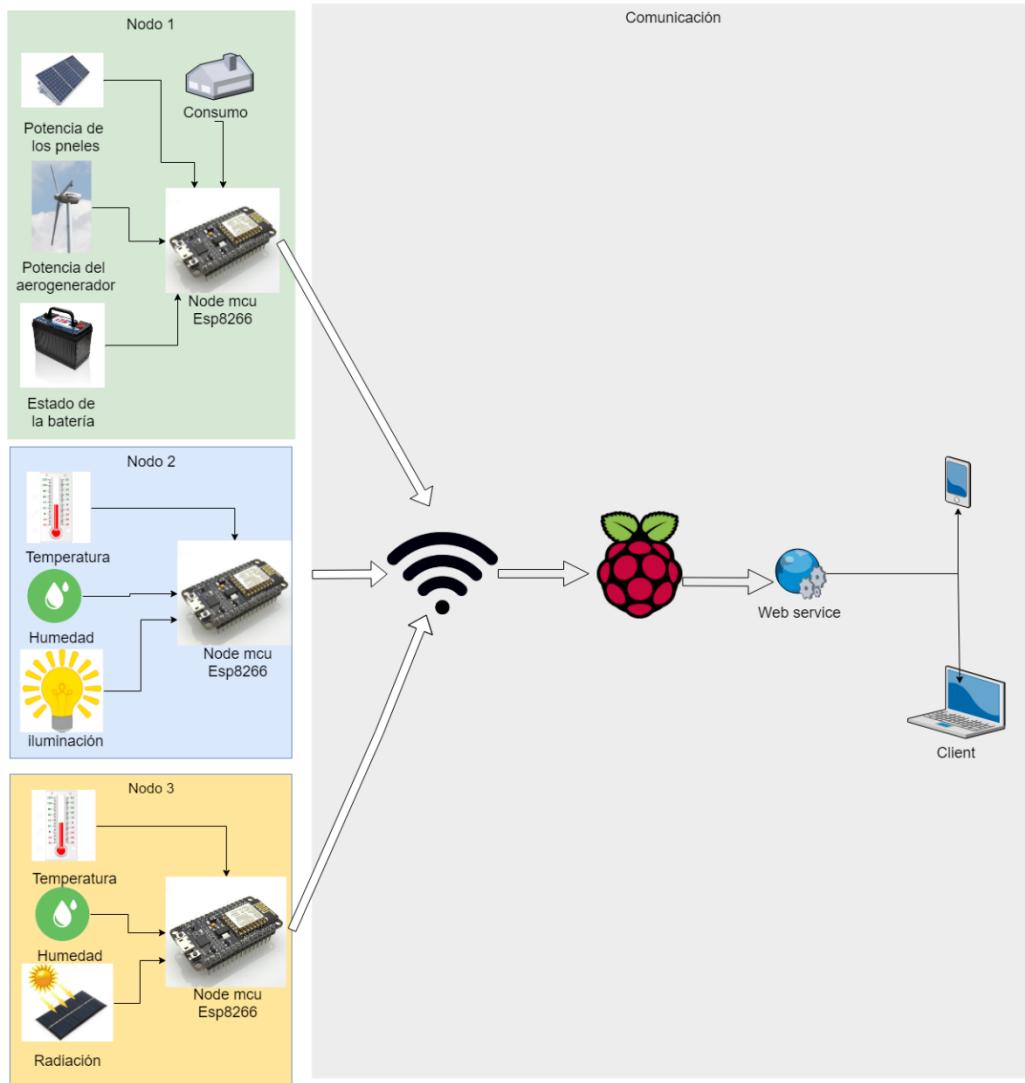


Figura 3. Topología del sistema.

4.4 Nodo 1

Como ya se comentó el nodo 1 se compone de la placa de la Figura 4 y sensores para los diferentes parámetros. En este nodo se mide voltaje y corriente CD, tanto del panel como del aerogenerador, el voltaje y temperatura de la batería, consumo y control de la carga, en total son ocho sensores y dos actuadores para el control de las cargas.

El ESP8266 es un microcontrolador que cuenta con un módulo WiFi diseñado por Espressif Systems. El NodeMCU es una plataforma open source, un sistema que incluye firmware que trabaja con el ESP8266 y hardware basado en el módulo ESP-12. El término “NodeMCU” se refiere al firmware que utiliza, dicho firmware utiliza el lenguaje Lua pero es compatible con Arduino, y existen múltiples librerías que funcionan adecuadamente con ese sistema. Entre sus características se destacan: protocolo 802.11b/g/n, con un rango de frecuencias de 2.412- 2.484 GHz. Cuenta con PWM, I2C, SPI, UART, 1-wire, y un pin analógico de 10-bits ADC, hasta 16 pines de entrada y salida de propósito general (GPIO).



Figura 4. NodeMCU ESP8266 V3

La gran desventaja de este microcontrolador es su falta de pines analógicos, ya que cuenta con solo un ADC y limitado hasta 3.3V de entrada. Para esto se utiliza un convertidor analógico digital externo. Se optó por utilizar dispositivo de la Figura 5, que es un ADC con resolución de 16 bits y compatible con I2C. Cuenta con 4 canales, es decir con cuatro pines de entrada analógica hasta 5V. También incorpora una ganancia programable (PGA) y un comparador digital para usarse en modo diferencial. Este ADC realiza la conversión de los datos a una tasa de 860 muestras por segundo (SPS). EL PGA ofrece rangos de entrada de ± 256 mV a ± 6.144 V, permitiendo mediciones precisas de baja señal.



Figura 5. Convertidor ADS1115

El ADS1115, además de los 4 pines de entrada, cuenta con dos pines para el bus de comunicación, el de datos (SDA) y el del reloj (SCL), así mismo dos pines extra, alert/RDY el cual indica la salida del comparador o cuando la conversión esta lista y el pin ADDR. Este último pin tiene la funcionalidad de establecer una dirección al convertidor, esto se refiere a la posibilidad de añadir más ADCs, hasta cuatro ADS1115 al mismo bus de datos, de esta manera, se expande a 16 canales o pines de entrada analógicos. Por consiguiente, el pin ADDR se conecta a GND, VCC, SDA o SCL dependiendo de la dirección del convertidor, es decir si se conectan cuatro ADCs, el pin ADDR de cada convertidor se conectarán a diferentes puntos.

En el nodo 1 se medirán 8 parámetros antes mencionados, por lo que se necesitará utilizar dos ADS1115, uno con el pin ADDR conectado a GND y otro conectado a VCC. Los pines SDA y SCL se conectan al microcontrolador (NodeMcu). Por último, la salida de los sensores de los diferentes parámetros se conecta a los pines de entrada de los convertidores.

Por parte de los sensores, para obtener el consumo se utilizó el sensor “SCT-013” y el módulo “ZMPT101b”, estos miden intensidad y tensión de corriente alterna respectivamente, que básicamente son transformadores. En [32], se menciona que los transformadores para instrumentos se diseñan en aras de facilitar las mediciones

de corrientes y voltajes elevados en un sistema de potencia con amperímetros y voltímetros de bajo rango, pero muy precisos. También proveen la seguridad necesaria al hacer mediciones, puesto que los devanados primarios y secundarios están aislados eléctricamente.

Los transformadores para instrumentos son de dos clases: transformadores de corriente y transformadores de potencial. Como su nombre lo indica, los transformadores de corriente están diseñados para medir corrientes altas en un sistema de potencia, el devanado primario tiene pocas vueltas de alambre grueso, mientras que el secundario tiene muchas vueltas de alambre muy fino. En un transformador de corriente tipo gancho el conductor que porta corriente actúa como primario con una vuelta [32].

En el caso del transductor de la Figura 6 tipo gancho, está diseñado para que el núcleo ferromagnético del transformador sea capaz de desacoplarse sin necesidad de abrir, cortar o modificar el conductor que se requiera medir. A la salida del sensor entrega un voltaje que es proporcional a la corriente que atraviesa el conductor, gracias a que se produce una inducción electromagnética.

En un transformador de intensidad el circuito secundario nunca debería estar abierto, porque las corrientes inducidas podrían llegar a dañar el componente. Por ese motivo, los sensores de SCT-013 disponen de protecciones como una resistencia burden, de esta manera es posible hacer la conversión de corriente a tensión midiendo el voltaje de salida de este.

Como desventaja, al ser una carga inductiva, el SCT-013 introduce una variación del ángulo de fase cuyo valor es función de la carga que lo atraviesa. Al no incluir temas de calidad de la energía en este proyecto, no se tomará en cuenta el factor de potencia, por lo tanto, el ángulo de fase no reflejará problema alguno.



Figura 6. Sensor de corriente no invasivo SCT-013

Por otra parte, el sensor de voltaje de la Figura 7, es un módulo que contiene un transformador de potencial. Como su nombre lo indica sirve para medir diferencias de potencial (voltaje) elevadas en rango bajo. Por lo tanto, un transformador de potencial debe ser del tipo reductor [32]. De esta manera, se reduce el voltaje del devanado primario, así mismo un offset es añadido, produciendo una señal reducida y montada en un nivel de cd a la salida del módulo.

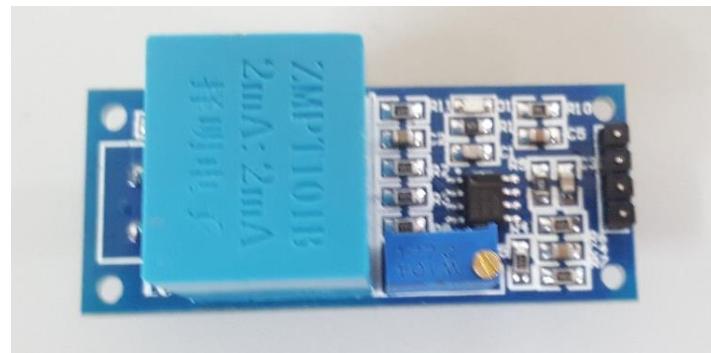


Figura 7. Módulo transformador ZMPT101b

A la salida del sensor de corriente SCT-013 se tiene una señal senoidal, por lo que para obtener la lectura de la medición realizada se cuenta con dos opciones. Una opción consta en solo amplificar la señal, muestrearla y obtener la lectura por medio de programación, o diseñar una circuitería que entregue un voltaje rectificado y

suavizado. La primera opción disminuiría la circuitería, sin embargo, se tendría una señal bipolar a la salida. El convertidor ADS1115 tiene la posibilidad de leer la señal bipolar gracias al comparador con el que cuenta, pero se tendría que utilizar el modo diferencial del convertidor ocupando dos pines de entrada, teniendo que utilizar otro convertidor para los demás sensores e inevitablemente desperdiando pines. Debido a este inconveniente se eligió la segunda opción.

La circuitería añadida a los sensores que se expone en la Figura 8, consta de una etapa de amplificación, un detector de picos y un seguidor de voltaje. La etapa de amplificación se encarga de darle una ganancia de 5 a la señal de entrada, esto debido a que el sensor otorga 1V a 30A, amplificando la señal se obtiene una salida de 5V a 30A haciendo más precisa la medición. El detector de picos consiste en un diodo y un capacitor, el diodo impide que pase la señal negativa, de algún modo rectificando la señal y cargando el capacitor, el valor del capacitor debe ser el adecuado para que no se descargue tan rápido y sea capaz de seguir el pico de la señal senoidal, el seguidor de voltaje cumple con la función de que no exista caída de tensión a la entrada del convertidor.

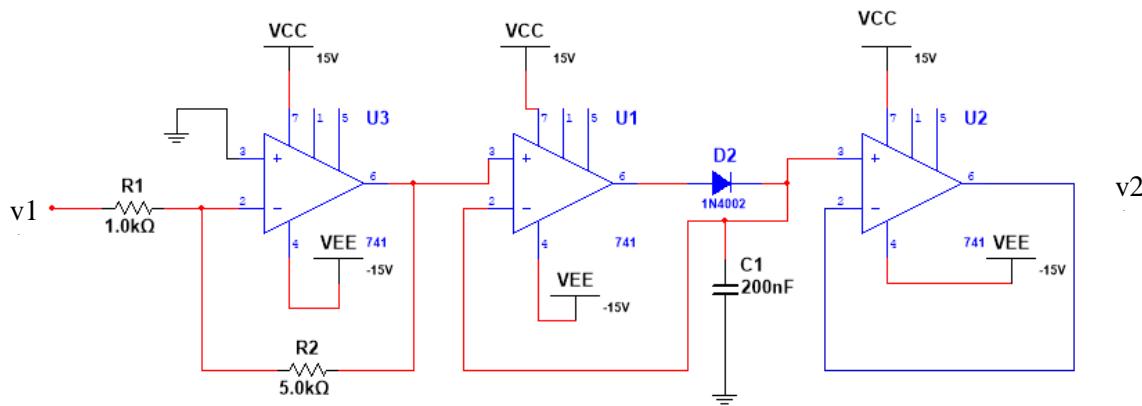


Figura 8. Diagrama del circuito de adecuación de señal.

La Figura 9 muestra el funcionamiento teórico con el software multisim, la señal senoidal representa la salida del sensor no invasivo o la entrada de la circuitería que adecua la señal para la entrada del convertidor. Se puede observar como la otra señal sigue a la senoidal y después permanece constante, se muestra un desfase, esto debido a que la primera etapa de amplificación invierte la señal y el diodo no deja pasar en la primera mitad del primer ciclo debido a esto.

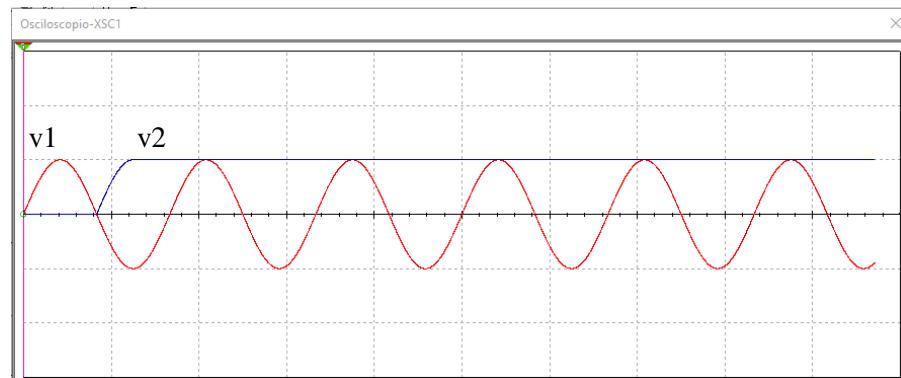


Figura 9. Simulación de la señal del circuito adecuado.

Por otra parte, el módulo ZMPT101b mide hasta 220V con salida de 5V, por este motivo no es necesario amplificar la señal, y se emplea la misma circuitería que en el caso del sensor de corriente no invasivo.

Se diseña por separado un PCB con esta circuitería, debido a que posteriormente se realiza un tablero de pruebas en donde se instalan las cargas. Las señales de salida de este se conectarán directamente al nodo 1.

El panel y el generador eólico son de corriente continua, por lo tanto, se optó por utilizar el transductor de la de Figura 10. Sensor de corriente CAS 15-NP., que cuenta con aislamiento galvánico entre el circuito primario y el secundario, soporta una corriente RMS nominal del circuito primario de 15 A. La salida del módulo presenta un offset de aproximadamente 2.5V cuando se tiene una corriente de 0A y una sensibilidad teórica de 41.67mV por ampere.



Figura 10. Sensor de corriente CAS 15-NP.

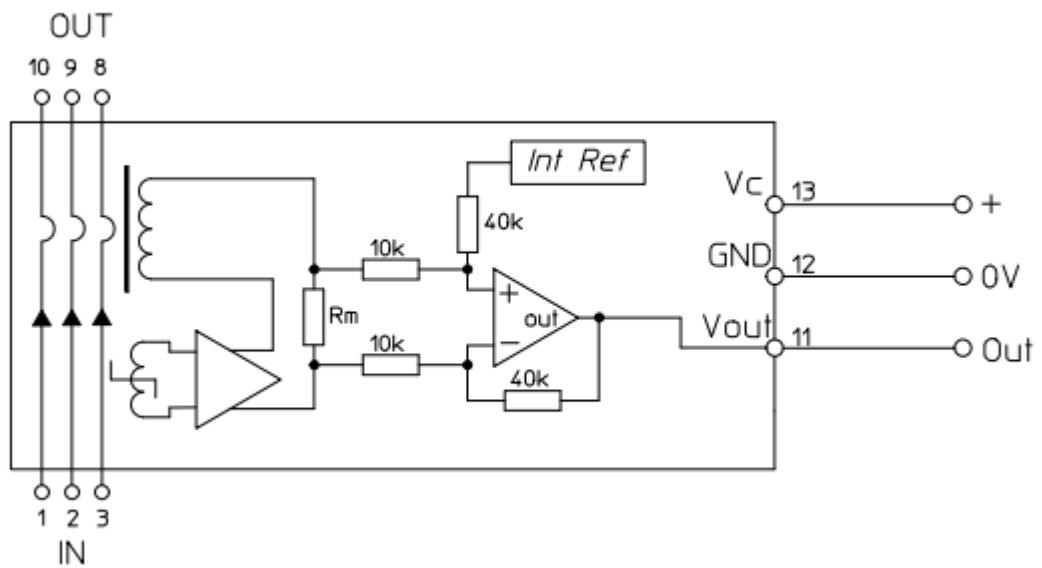


Figura 11. Diagrama interno del sensor CAS 15-NP

En la Figura 11 se muestra el diagrama interno del sensor CAS 15-NP, se puede observar el sentido de la corriente en los pines IN y OUT, y la salida se alimenta hasta 7V. En la hoja de datos se especifica que la salida se le debe conectar una carga mínima de 1k ohm [33].

Para los sensores de voltaje de corriente directa, los cuales son el caso del voltaje de la batería, el voltaje del panel y el voltaje del aerogenerador se utilizó un simple

divisor de voltaje. Posteriormente se caracteriza cada divisor debido a la variación que tiene cada resistencia utilizada por las propiedades de cada una.

Se utilizó el sensor LM35 para obtener la temperatura de la batería, este transductor es un integrado de alta precisión con una salida de voltaje lineal proporcional a grados centígrados. Este sensor está calibrado en grado Kelvin y no se requiere de una calibración externa para obtener una conversión a Celsius. Con un rango de -55°C a 150°C manteniéndose lineal en ese rango, con una precisión de $\pm 1/4$ °C. Solo se requiere alimentar con 5 VDC.

Por parte del control, se implementó un módulo relevador de dos canales que son activados por dos pines del NodeMCU. Los relevadores se sitúan junto con los sensores para el consumo, de esta manera es posible encender y apagar las cargas.

4.5 Nodo 2

El nodo 2, de igual forma que el nodo 1, se compone un microcontrolador (NodeMCU) y sensores. En este nodo se enfoca en medir el confort, por lo que se emplea un sensor de humedad relativa y de temperatura, y un luxómetro para medir la iluminación.

Para el sensor de humedad relativa y temperatura se utilizó el dispositivo de la Figura 12, es un transductor que utiliza un capacitor para medir la temperatura y humedad relativa. Este módulo incluye un microcontrolador de 8 bits con salida digital en bus serial data (SDA) de 16 bit. Rango de medición de humedad de 0 a 99.9 % RH con presión $\pm 3\%$. Rango de medición de temperatura de -40 a 80 °C con presión ± 0.3 °C [34].

Los sensores de humedad relativa capacitivos son usados ampliamente en aplicaciones industriales, comerciales y en sistemas meteorológicos. Estos consisten en un sustrato sobre el que se deposita una fina capa de polímero u óxido metálico entre dos electrodos conductores, dicho sustrato es típicamente vidrio, cerámica o silicio. El cambio incremental en la constante dieléctrica de un sensor capacitivo de humedad es casi directamente proporcional a la humedad relativa del ambiente circundante. El cambio en la capacitancia es típicamente de 0.2-0.5 pF para un cambio de 1% de HR, mientras que la capacitancia en masa está entre 100 y 500 pF a 50% de HR a 25 ° C [35].



Figura 12. Sensor de humedad relativa AM2301.

Para la iluminación se utilizó el módulo TS2561, este consta de un fotodiodo sensible a la luz infrarroja, con un ADC integrado de con resolución de 16 bits. También, el módulo cuenta con un bus I2C, por lo que posee salida digital.

4.6 Nodo 3

De la misma manera que los otros nodos, el nodo 3 se constituye del microcontrolador, un convertidor y sensores de radiación, humedad y temperatura. Para la humedad relativa y temperatura exterior se utilizó otro módulo AM2301. Pero

para la radiación se empleó un pequeño módulo fotovoltaico de 10W. Esto debido a que existe una relación entre la radiación, la corriente y temperatura del panel.

EL autor Oscar Perpiñán Lamigueiro en [10], indica que, “la irradiancia solar, está definida como la densidad de flujo radiante solar”. La irradiancia solar es la sumatoria de tres componentes: Radicación directa, que representa la fracción de irradiancia procedente en línea recta del Sol; Radiación Difusa, que cuantifica la radiación procedente de todo el cielo salvo del sol, y por tanto incluye todos los rayos dispersados por la atmósfera, es decir es una radiación anisotrópica, cuyo valor depende de la zona celeste de procedencia; y, por último, la radiación del albedo, que representa aquella fracción de radiación procedente de la reflexión en el suelo [29].

Para medir la radiación global, se mide la corriente del panel de 10W de tipo monocristalino. Las especificaciones del módulo indican que el voltaje de operación óptimo es de 17.5V y la corriente de operación óptima es de 0.58A, esto quiere decir que para la operación óptima se requiere de una carga de aproximadamente 30 ohms. De esta manera se conecta la carga en paralelo al panel y se mide en serie la corriente. Al tener una medición de 0.58 amperes, significa que la radiación está a su punto máximo. Entonces se mide la corriente con el transductor CAS 6-NP, el cual es el de la misma serie que el que se utilizó en el panel y el aerogenerador. Para mayor precisión se caracteriza este sensor con un piranómetro, el cual es un instrumento meteorológico usado para medir la radiación solar incidente sobre la superficie. El piranómetro ya calibrado indica que otorga un voltaje de $67.6 \mu\text{V}/\text{W}\cdot\text{m}^2$.

En [36], se indica que existen varios métodos para expresar variaciones en la corriente de corto circuito (I_{sc}), con la irradiancia y la temperatura. Un método se expresa en términos de irradiancia solar y temperatura usando la siguiente relación lineal empírica de la ecuación (2):

Donde G es la irradiancia solar global, T la temperatura, la corriente de corto circuito de condiciones de prueba estándar ($I_{sc'}$), el coeficiente térmico de corriente de corto circuito (α) y la temperatura a condiciones de prueba estándar (T').

$$I_{sc} = I_{sc'} \frac{G}{G'} + \alpha(T - T') \quad (1)$$

Lo que el panel medirá es la variación de esta corriente. Para compensar este valor y tener la irradiancia se despeja de la ecuación (1), obteniendo la ecuación (2).

$$G = \frac{I_{sc} - \alpha(T - T')}{I_{sc'}} G' \quad (2)$$

En [36], se menciona que el coeficiente térmico de la corriente de corto circuito (α) para módulos fotovoltaicos monocristalinos es de aproximadamente $0.025\text{A}/^\circ\text{C}^{-1}$. La temperatura T' , es de 25°C , la irradiancia G_{STC} es de $1000\text{W}\cdot\text{m}^2$. Y la corriente de corto circuito ($I_{sc'}$) según las especificaciones del panel de 10W es de 0.64A. De esta manera se compensa la radiación, midiendo la corriente y temperatura del panel.

4.7 Comunicación y almacenamiento de datos

Cada nodo toma las mediciones, se conecta a internet por medio de Wifi y envía los datos al Raspberry Pi. En este proyecto se cuenta con el Raspberry Pi 2 modelo B, que cuenta con 900MHz Quad-Core ARM Cortex-A7 CPU, 1GB de RAM, un puerto Ethernet, cuatro puertos USB, 40 pines de entrada y salida de propósito general (GPIO), entre otros. Además, cuenta con el sistema operativo Raspbian Wheezy, una distribución GNU/Linux.

El Raspberry Pi cumple con tres funciones, una función es la de proporcionar un servicio WEB en el que se situará la página de internet para que el usuario interactúe con los datos y también tenga control a distancia del abanico y la lámpara (las cargas).

4.7.1 Protocolo de Comunicación.

Otra de las funciones es el de dar servicio a un protocolo para comunicar los nodos con el Raspberry Pi. El protocolo de comunicación utilizado es el MQTT, por sus siglas en inglés “Message Queue Telemetry Transport” o transporte de telemetría de cola de mensajes. Este es un protocolo de conectividad Machine-to-Machine (M2M)/ “Internet of things” y trabaja bajo TCP/IP. Creado por el Dr. Andy Stanford-Clark de IBM y Arlen Nipper de Arcom (ahora Eurotech) en 1999 [37].

El protocolo MQTT está diseñado para el envío de datos en aplicaciones donde se requieran poco ancho de banda. Es ideal para aplicaciones de IoT en donde se requiere bajo consumo de energía y se tienen pocos recursos como RAM y CPU. Estas características proporcionan una opción muy atractiva para la comunicación de sensores. En 2013, se inició el proceso de estandarización del protocolo en la Organización para el Avance de Estándares de Información Estructurados (OASIS). Las especificaciones del protocolo han sido publicadas abiertamente con licencia libre, y compañías como Eurotech han incorporado el protocolo en sus productos.

En noviembre de 2011, IBM y Eurotech anunciaron su participación conjunta en el Grupo de trabajo de la industria Eclipse M2M y la donación del código MQTT para el proyecto “Eclipse Paho”. El proyecto Eclipse Paho se está convirtiendo rápidamente en una fuente de grandes clientes MQTT, actualmente contiene implementaciones en C, Java, Javascript, Python (contribuido desde el proyecto mosquitto), Lua y C ++ [38].

En [39], se menciona que, “MQTT es un protocolo de mensajería de publicación y suscripción simple, basado en el principio de cliente/servidor”. Existen dos entidades en la red, el nodo central juega el papel de servidor o “broker” y los nodos exteriores como clientes. Un cliente es cualquier dispositivo que pueda interactuar con el intermediario para enviar y recibir mensajes, un cliente puede ser un sensor o un nodo de IoT en el campo o una aplicación del centro de datos que procesa o almacena los datos.

El cliente se conecta con el intermediario y se puede tanto suscribir a cualquier “tema” como publicar mensajes al intermediario, esto quiere decir que puede enviar y/o recibir mensajes del servidor. El tema es un encabezado que se le agrega al mensaje para identificar de qué se trata esa información. Por ejemplo, se puede tratar de la temperatura medida de un cuarto, típicamente se usan el signo de diagonal “/” en el tema o topic cuando se tiene el mismo parámetro para diferentes clientes, sería algo como “/nodo1/temperatura” y “/nodo2/temperatura”. De ese modo se podría diferenciar la información y que no exista conflicto alguno.

Por otro lado, el bróker es el intermediario que se encarga de gestionar la red y transmitir los mensajes, este es un servicio que implementa el protocolo y establece que la comunicación a nivel de aplicación entre los clientes. Entonces, el cliente publica el mensaje, sobre un tema, enviando el mensaje y el tema al bróker. Después, el intermediario redirige el mensaje a todos los clientes que están suscritos a ese tema [40].

En la Figura 13, se puede visualizar mejor el esquema mostrando el modelo de publicación y suscripción. Los sensores están conectados directamente a los nodos, estos son los clientes que pueden mandar o recibir mensajes. La información se puede ser en una dirección o en ambas, tal es el caso del nodo 2 y la aplicación (API) del ejemplo. En el ejemplo, en Python se suscribe al tema sensor del nodo 2

y sólo recibe los datos de este. La aplicación está suscrita al tema sensor del nodo 1 y publica al actuador que se encuentra en el nodo 2.

Del punto de vista de la conexión, la arquitectura del protocolo es de tipo estrella, como nodo central el bróker y en los extremos los clientes. Sin embargo, visto desde la transmisión de información, el bróker actúa como un bus de datos, donde cualquier cliente puede publicar o recibir mensajes (mientras esté suscrito al tema indicado).

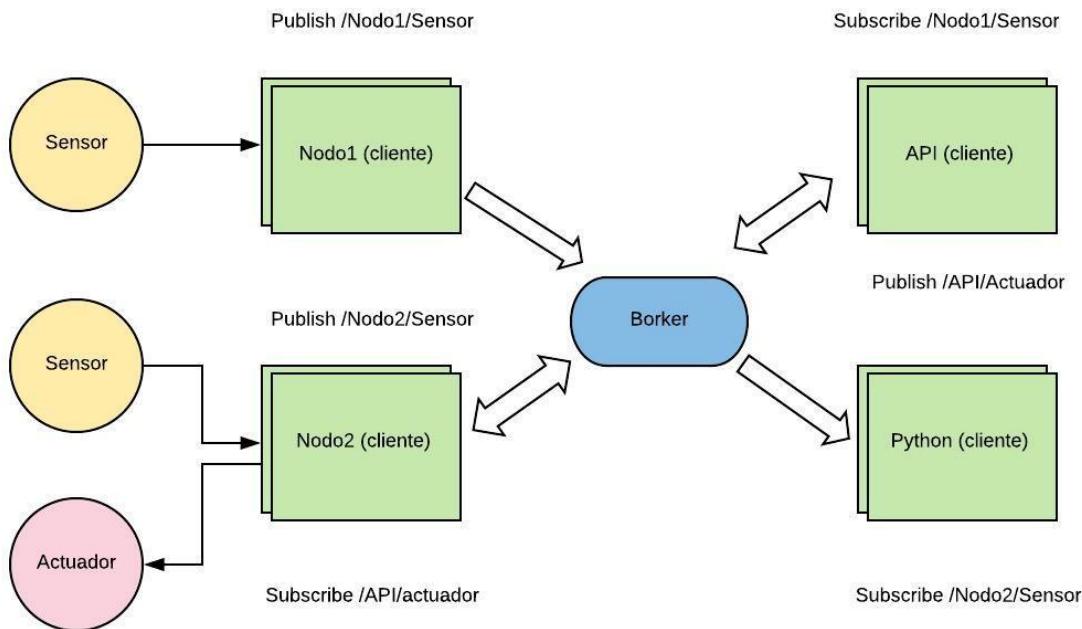


Figura 13. Ejemplo del funcionamiento del protocolo MQTT.

La fundación Eclipse ha desarrollado un proyecto que provee un servicio que implementa el protocolo MQTT, llamado “mosquitto”. Mosquitto es un broker de licencia abierta que efectúa el protocolo en sus versiones 3.1 y 3.1.1. [38]. El servidor mosquitto se desempeña como un puente MQTT, permitiendo la comunicación entre dispositivos.

En [38], se ostenta que “mosquitto ejecuta en orden de 120KB que consume alrededor de 3MB de RAM con 1000 clientes conectados. Se han recibido informes de pruebas exitosas con 100,000 clientes conectados a tasas de mensajes modestas”. Por lo tanto, al Raspberry Pi se le implementa mosquitto para que se establezca como broker para tener comunicación con los nodos.

4.7.2 Base de datos

Otra función que ejerce el Raspberry Pi es el de almacenar los datos adquiridos, para ello se utiliza MySQL. MySQL es un software que ofrece un servidor de base de datos con un lenguaje de consulta estructurado (SQL), “es rápido multiusuario y robusto” [41]. MySQL es una marca registrada de Oracle Corporation y / o sus afiliados. El software MySQL tiene licencia doble, los usuarios pueden optar por utilizar el software MySQL como producto de Código Abierto bajo los términos de la Licencia Pública General de GNU o pueden comprar una licencia comercial estándar de Oracle.

La base de datos puede ser administrada por comandos, con su propio lenguaje (SQL). Sin embargo, también se tiene la opción de gestionar la base de datos por medio de una página en PHP llamado Phpmyadmin, que viene incorporado cuando se instala el paquete de servicios Apache/MySQL. Con MySQL se pueden crear diferentes bases de datos, usuarios y tablas en donde se almacena la información por columnas.

Muchos sistemas meteorológicos toman muestras cada diez minutos, por este motivo se optó por adquirir los datos en este lapso. Para transferir los datos medidos (de los sensores) a la base de datos se utiliza el protocolo MQTT. Python cuenta con librerías de Eclipse paho mqtt y otra librería de MySQL, con estas es posible realizar un puente entre los nodos y la base de datos. El script de Phyton será un cliente MQTT, y es capaz de publicar y suscribirse a temas que estarán en el

sistema. Los temas son todos los parámetros a monitorear y que se quieren almacenar. Para respaldar los datos, se cuenta con otro script de Python que realiza una copia de la base de datos a una cuenta de Dropbox.

4.7.3 Servicio Web

La última función que desempeña el Raspberry Pi es la de servidor Web. En donde estará ubicado la página web y será publicada para poder ser accedida remotamente, para esto se utiliza Apache2. En [42], se comenta que Apache es el servidor web utilizado con más frecuencia en los sistemas Linux. Los servidores web se emplean para entregar las páginas que los equipos de los usuarios solicitan. Los usuarios normalmente solicitan y visualizan las páginas web mediante aplicaciones de navegación como Firefox, Opera, Chrome e Internet Explorer.

Los usuarios introducen un Localizador Uniforme de Recursos (URL) para que apunte a un servidor Web por medio de su Nombre de Dominio Completo Totalmente Cualificado (FQDN) y la ruta del recurso requerido. El protocolo usado con más frecuencia para transferir páginas Web es el Protocolo de Transferencia Hipertexto (Hyper Text Transfer Protocol, HTTP). Los servidores web Apache a menudo se usan en combinación con el motor de bases de datos MySQL, el lenguaje de scripting PHP, y otros lenguajes de scripting populares como Python y Perl. Esta configuración se denomina LAMP (Linux, Apache, MySQL y Perl/Python/PHP) y conforma una potente y robusta plataforma para el desarrollo y distribución de aplicaciones basadas en la web. Por lo que se instala Apache2 y PHP5 en el Raspberry Pi.

Para mantener pública la página web, se utiliza el servicio “No-IP” que maneja un sistema de DNS dinámico. En [43] se indica que el sistema de nombre de dominio (DNS), “es un sistema de nomenclatura jerárquica para computadoras, servicios o cualquier recurso conectado al internet o a una red privada.”, el DNS se encarga de

resolver o traducir los IP asociados a los servidores que contiene la información que se solicita. Los Servidores DNS contestan las peticiones de los clientes. “Los servidores recursivos tienen la capacidad de reenviar la petición a otro servidor si no disponen de la dirección solicitada”.

En [43] se explica que “el DNS dinámico sirve de ayuda a la hora de reenviar las direcciones IP de una red doméstica, que cambian constantemente, a un nombre de dominio fijo”. Para ello es necesario registrarse en un servicio DDNS con un nombre que esté libre (como ejemplo.example.com). Gracias a él un ordenador siempre estará disponible aun cuando no se conozca la dirección IP actual.

EL servicio No-IP [44] brinda la opción de registrar nuestro servidor web local para que esté disponible y los usuarios sean redirigidos a este. Para el sistema desarrollado el dominio elegido es “monitoreoiot.ddns.net”.

4.8 Desarrollo de interfaz web

Para mostrar las mediciones se opta por maneras gráficas e interactivas para los usuarios, para esto se desarrolla una página web para tener una mayor portabilidad y versatilidad al momento de monitorear los parámetros, la cual pude ser accedida en cualquier lugar en el que se cuente con internet. La página es desarrollada con diferentes lenguajes.

El desarrollo web actual abarca los conceptos de “front-end” y “back-end”. Front-end, es la parte de sitio web que trabaja del lado del cliente o usuario, en el navegador, es decir todo lo que se muestra visual y dinámicamente al usuario. En [45], se explica que en front-end se utilizan los lenguajes HTML, CSS y Javascript.

4.8.1 Front end

El lenguaje HTML, por sus siglas en inglés, HyperText Markup Language, “es el componente estructural clave de todas las webs de internet. Sin él las páginas web no pueden existir”. Es decir, HTML da forma a los componentes de la página, como los títulos, párrafos, divisiones, encabezados, texto, imágenes, entre otros elementos. CSS o Cascading Style Sheets, “es lo que le proporciona estilo a HTML”. Con CSS se le da diseño a la página, como fuentes para el texto, tamaño de los elementos, color, tamaño de pixeles, etc. “Usando solo HTML y CSS las webs serían páginas estáticas, con JavaScript (JS) las páginas web son interactivas.”

En [46] se describe que “JavaScript es un robusto lenguaje de programación que puede ser aplicado a un documento HTML y usado para crear interactividad dinámica en los sitios web”. Fue inventado por Brendan Eich, co-fundador del proyecto Mozilla, Mozilla Foundation y la Corporación Mozilla. “JavaScript por si solo es bastante compacto, aunque muy flexible, y los desarrolladores han escrito gran cantidad de herramientas encima del núcleo del lenguaje”. JavaScript fue desarrollado para propósitos de desarrollo web y no debe ser confundido con java, son lenguajes diferentes.

Se han desarrollado herramientas como Interfaces de Programación de Aplicaciones del Navegador (APIs). Las APIs construidas dentro de los navegadores ofrecen funcionalidades como crear dinámicamente contenido HTML y establecer estilos CSS, hasta capturar y manipular un vídeo desde la cámara web del usuario, o generar gráficos 3D. También se han desarrollado marcos de trabajo (frameworks) y librerías de terceros que puede aplicar a HTML para que se pueda construir y publicar rápidamente sitios y aplicaciones.

4.8.2 Back end

Por otro lado, la parte de back-end, “el desarrollador trabaja del lado Servidor, detrás del escenario, permitiendo con su trabajo que el usuario disfrute de su experiencia. Sin él, el desarrollo llevado a cabo por su anterior compañero no se sostendría”. Lo que significa que en esta parte del sitio el usuario no ve directamente lo que ocurre, como por ejemplo acceder a la base de datos del servidor. Hay numerosas opciones y lenguajes que se desempeñan esta parte, como PHP, Python, Ruby y ASP.net, por mencionar algunos.

Para el desarrollo de la página web del sistema de monitoreo. Se utilizó “Bootstrap”, Bootstrap [47] es un kit de herramientas de código abierto para desarrollar con HTML, CSS y JS. Este se destaca por su sistema de cuadricula o “grid” responsive, este concepto en desarrollo web indica que la página se puede ajustar al tamaño de la pantalla donde se visualice. De esta manera, es posible ingresar a la página desde un dispositivo móvil como un smartphone o una computadora de escritorio sin necesidad de tener dos páginas para las diferentes plataformas (como se solía hacer antes). Bootstrap también trabaja con poderosos plugins en JQuery.

JQuery es una librería de JavaScript, “Hace cosas como el recorrido y manipulación de documentos HTML, manejo de eventos, animación, y Ajax mucho más simple con una API, fácil de usar que funciona en una multitud de navegadores. Con una combinación de versatilidad y extensibilidad, jQuery ha cambiado la forma en que millones de personas escriben JavaScript” [48]. Con JQuery se pueden hacer acciones en tiempo real sin tener que recargar la página.

Es necesario contar con Websockets y tener disponible el puerto 9001 (típicamente), para poder comunicar el servidor MQTT con el cliente en javascript. En [49], se explica que, “WebSockets es una tecnología avanzada que hace posible abrir una sesión de comunicación interactiva entre el navegador del usuario y un

servidor. Con esta API puede enviar mensajes a un servidor y recibir respuestas controladas por eventos sin tener que consultar al servidor para una respuesta”.

La página se divide en tres secciones: Monitoreo, Historial y Exportar. En la sección de monitoreo se fragmenta en un menú con los diferentes parámetros que mostrará las mediciones en tiempo real. El menú de monitoreo lo compone el confort, panel solar, aerogenerador, consumo y batería. En confort se visualizará en tiempo real la temperatura, la humedad, el punto de rocío y la iluminación del interior de la casa, además se ubicará un apartado para el control del abanico y la lámpara. El apartado de confort se representará como el index o página principal del sitio.

4.8.3 Presentación de los datos

Para mostrar las mediciones se usará “Highcharts” que es una librería de gráficos escrita en JavaScript, que ofrece una manera fácil de agregar gráficos interactivos al sitio web o aplicación web [50]. En HTML se hace referencia al CDN de highcharts, En [51], se comenta que “CDN es imprescindible para dar servicio a usuarios de todo el mundo, ya sea para ofrecer la descarga de archivos o para implementar sitios y aplicaciones web.” Con esta tecnología no es necesario descargar todas las librerías de highcharts.

En el caso de la temperatura, humedad y punto de rocío, se implementa el gráfico estilo “static gauge” de la librería highcharts. Para la iluminación se usó un gráfico con estilo “Speedometer”.

Otro apartado es el del control, en el cual se tiene la opción de modo automático o modo manual. Con el modo manual se podrá activar y desactivar de manera remota los relevadores por medio de la página. Para el modo automático, se activarán los relevadores cuando el punto de rocío esté en un nivel que podría incomodar a las

personas, es decir cuánto se encuentre por arriba de 19 se activará el abanico, esto determinado por la tabla del punto de rocío. De la misma manera que sucederá con la lámpara, se encenderla cuando la iluminación es baja.

Por otro lado, para el caso del panel, aerogenerador y consumo se empleó un gráfico dinámico llamado “Spline updating each second”, cuenta con animación que se actualiza constantemente. Se implementó uno para cada parámetro de estas secciones, es decir para el voltaje, la corriente y la potencia de cada elemento un total de nueve graficas de este tipo.

En el apartado de las baterías se utilizó “Fusioncharts”, que cumple con la misma función de highcharts, el de desplegar de forma visual las mediciones. Solo que tiene un repertorio más variado en cuanto a la presentación. El voltaje de la batería es presentado en una figura en forma de leds para indicar su estado. La temperatura se representa en una animación de un termómetro.

En la sección de Historial, se presenta de la misma manera un submenú que separa cada parámetro, pero ahora mostrando todos los valores almacenados en la base de datos. Se presentan utilizando de igual forma highcharts, el estilo de highstock que es usado habitualmente para visualizar las acciones de la bolsa. Este tipo de grafico es ideal para representar valores por un lapso considerable.

Finalmente, en la sección de exportar, se muestra un formulario de selección de fecha o “datepicker” y un botón que ejecuta una acción. Esto es para poder adquirir los datos, descargándolos en un formato de separación por comas o CSV. Con este formato es posible manipular los datos en Excel para su posterior manejo. Con el lenguaje PHP, se ingresa a la base de datos, se hace una matriz con los datos de la fecha seleccionada y se descarga automáticamente el archivo CSV.

4.9 Dinámica del sistema

El sistema completo tiene diferentes acciones que permiten el funcionamiento de este. La toma de las mediciones por parte de los sensores, el almacenarlas en la base de datos, el envío de la información entre dispositivos y mostrar los datos en la página web.

Como ya se mencionó anteriormente, el protocolo MQTT realiza la función de comunicar los dispositivos para la correcta transmisión de las mediciones. Desde el punto de vista del protocolo, la página web, los nodos y el script en Python desempeñan el rol como clientes y mosquitto, desde el Raspberry Pi como bróker o servidor. Los clientes se conectan al servidor, por medio librerías, ingresando el dominio de No-IP (monitoreoiot.ddns.net), y el puerto 1883 que utiliza el protocolo. Para visualizar los valores de los parámetros en tiempo real, la página como cliente solicita la información a los nodos.

Dependiendo del apartado de la página que se encuentre abierta se solicita los datos de solo ese parámetro, por ejemplo, si se quiere visualizar el estado de la batería, se ingresa a la sección monitoreo en el submenú batería, entonces la página solicitará la información al nodo 1 y enviará la medición del voltaje y la temperatura de la batería. Para esto, la página como cliente debe estar “suscrita” al tema de la información que solicitó, posteriormente la información recibida se actualiza al gráfico correspondiente, de esta manera el usuario pueda visualizar la medición.

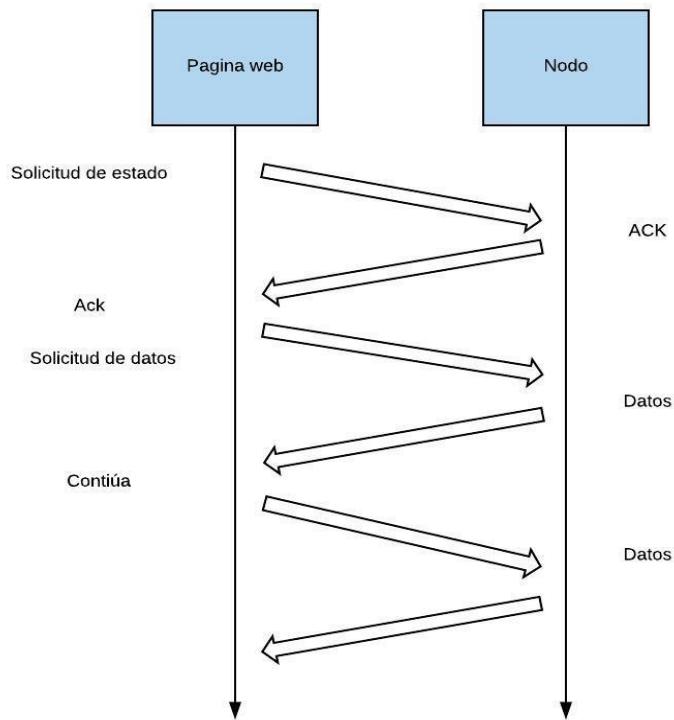


Figura 14. Proceso de solicitud de datos.

En la Figura 14 se muestra como la página interactúa con el nodo, para esto ambos están conectados al bróker y suscritos a los temas correspondientes. Primero, la página envía una solicitud de estado al nodo, publicando al bróker el tema del estado. Posteriormente, el nodo responde la solicitud con un mensaje, si no se efectúa esta acción, quiere decir que el nodo no está disponible, no se encuentra alimentado, conectado a internet o existe un problema con el servidor mosquitto.

Al reconocer el estado del nodo la página muestra una alerta con JQuery, avisando el estado del nodo, se inicia un *timer* esperando respuesta del nodo, al no recibir respuesta la página notifica que el nodo no se encuentra disponible. Ya establecida la conexión se solicita los datos, el nodo publica las mediciones y la página toma la información y actualiza los gráficos exponiéndolos al usuario. Si el sitio web continúa abierto en el navegador, después de adquirir los datos, informa al nodo que continúe

transmitiendo para que se un flujo constante de datos, solo hasta cerrar la página se detendría la transmisión. No se detecta si el nodo se desconecta, esto se puede solucionar recargando la página y volver a comprobar conexión.

Lo anterior solo aplica para el nodo 1 y el nodo 2. El nodo 3 es diferente, se encuentra en el exterior del edificio, por lo que alimentarlo es un inconveniente y se optó por utilizar un *power bank* para sustentar al nodo. Para ahorrar energía consumida y aumentar la duración del *power bank*, el Nodemcu cuenta con el modo *Deep sleep*.

Debido a que solo se tomará las mediciones cada cierto tiempo, el microcontrolador utilizará este modo y se pondrá a “dormir”, lo que quiere decir que solo estará activo un *timer*, se “despertará” enviando la información al cliente encargado de insertar la información a la base de datos (script de Python).

En la Figura 15 se puede apreciar a grandes rasgos la distribución del nodo 3. Un pin digital del microcontrolador se conecta la base de un transistor BJT, específicamente se usó el “2N222”. Alimentación y tierra de los sensores y el convertidor se encuentran en paralelo. La alimentación se conecta a la misma que la del microcontrolador, el negativo al colector del transistor y el emisor a tierra.

En la Figura 16 se simplifica el proceso de este nodo. Primero el microcontrolador pone en alto un pin digital, el cual está conectado al transistor. Esto para alimentar a los sensores y el convertidor solo cuando Nodemcu se encuentre “despierto”. Activando el pin digital, el transistor se desempeña como un interruptor alimentando o apagando al convertidor y a los sensores, de esta manera los dispositivos se energizan cuando el microcontrolador lo hace.

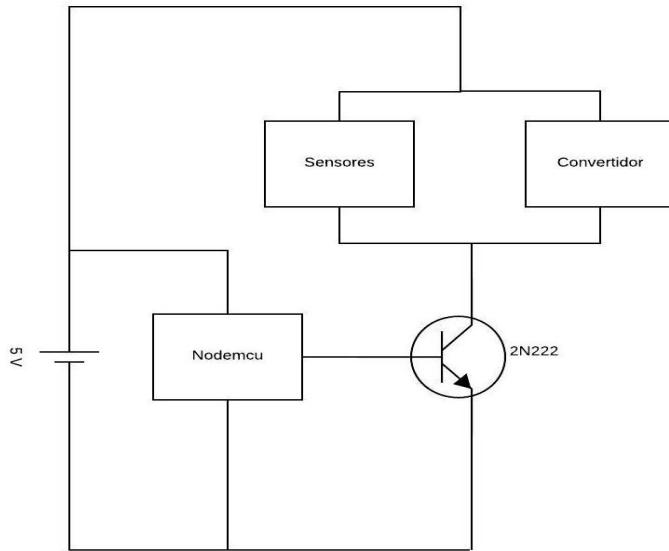


Figura 15. Conexión del nodo 3.

Posteriormente, el Nodemcu se conecta a internet con las credenciales necesarias para el WiFi, y se conecta al servidor MQTT. Consecutivamente, se manda una solicitud UDP con el protocolo NTP a un servidor pool. EL protocolo de tiempo de red (NTP), es un protocolo diseñado para sincronizar los relojes de las computadoras a través de una red. Todos los sistemas operativos utilizan este protocolo para tener actualizado el reloj del sistema. “Un protocolo de tiempo de red o NTP (Network Time Protocol) es un protocolo construido en la capa superior TCP/IP para asegurar el tiempo exacto” [52]. EL protocolo utiliza el horario universal coordinado (UTC). Existen muchos servidores como pool.ntp.org que proporciona la hora exacta de la región. De esta manera se sincroniza la hora.

El micro envía la solicitud NTP al servidor, y se devuelve un mensaje, este contiene el tiempo transcurrido en segundos desde el 1 de enero de 1970 en UTC, esto se denomina Unix *Timestamp*. Entonces se hace la conversión del mensaje NTP a la hora en UTC en la zona horaria.

Se toma la hora, si los minutos son divisibles entre diez, se prosigue a tomar la medición y publicarlo en el servidor MQTT, se desactiva el pin digital para apagar los dispositivos y finalmente se pone en el modo *Deep sleep*. Esto hace que el micro se “duerma”, es decir se desactiven todas las funciones excepto un *timer* con duración de 9 minutos. Al finalizar el *timer*, se pone en alto un pin que se conecta al pin de *reset* y vuelve a iniciar el ciclo, de esta manera el nodemcu “despierta”.

Si los minutos no son divisible entre diez y son diferentes de nueve, se pone en el modo *Deep sleep* durante los minutos faltantes para que se cumpla la condición. Por ejemplo, si se toman los minutos cuando se encuentra en cuatro, se pone a dormir por cinco minutos (un minuto antes para que llegue a los 10 minutos). Se duerme por nueve minutos debido a que, si lo hace por diez, con el tiempo se desincroniza el micro por el retardo que se acumula al ejecutarse todo el proceso.

Si no se cumplen con estas dos condiciones, significa que los minutos son nueve, publica los datos, desactiva los dispositivos y se pone a dormir durante otros nueve minutos. Con esto se sincroniza automáticamente si el nodo se le reemplaza la batería.

Entonces, el nodo 3 envía las mediaciones cada nueve minutos para que el script de Python tome los datos cada diez y los ingrese en la base de datos. Al mismo tiempo envía una señal de broadcast, solicitando la información al nodo 1 y 2.

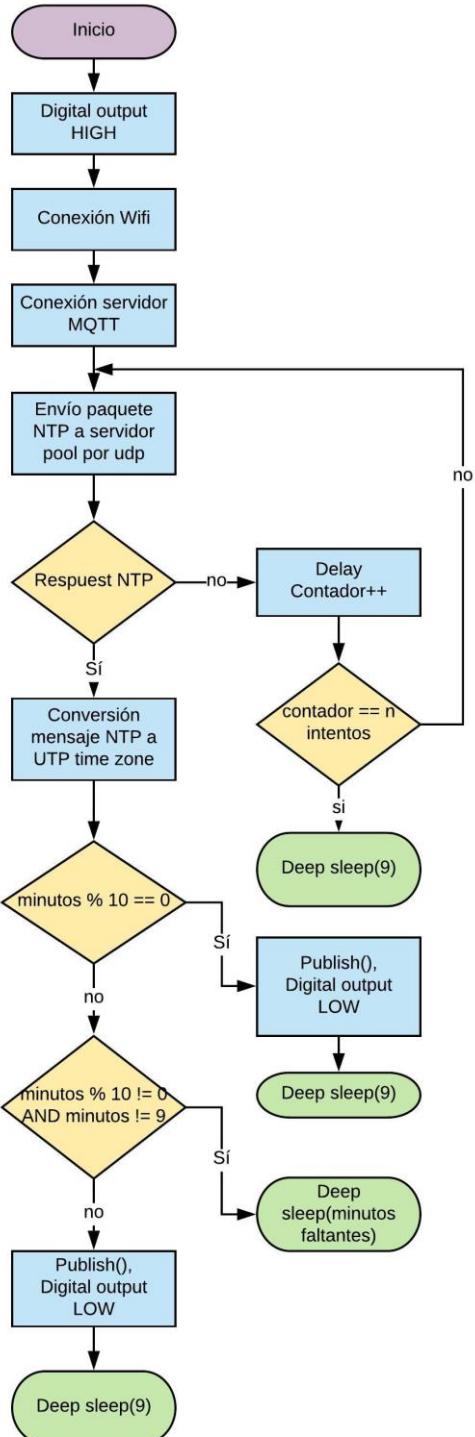


Figura 16. Algoritmo que sigue el nodo 3.

En la Figura 17 se muestra un diagrama a bloques del algoritmo que sigue el script de Python. Primero se definen todas las variables y funciones, las variables son las que almacenarán los parámetros a medir (temperatura, humedad, consumo, etc.), los datos para acceder a la tabla de la base de datos y se declara una bandera en cero. En las funciones, se destaca la función de conexión MQTT y función de evento cuando se recibe un mensaje MQTT, cuando sucede el evento se almacenará la información de cada tema en su respectiva variable.

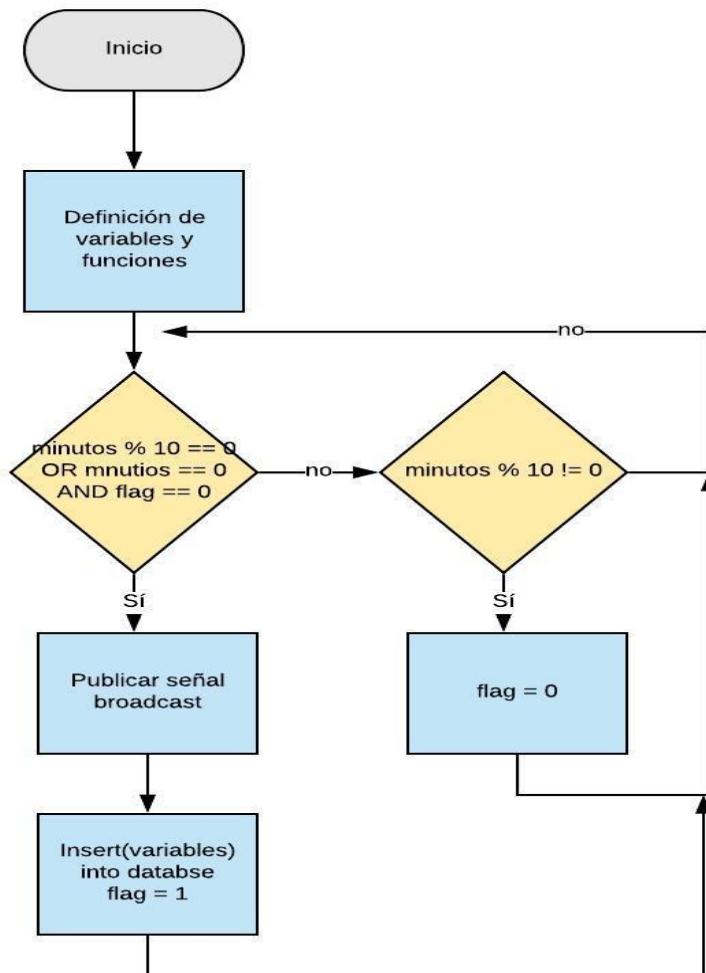


Figura 17. Diagrama de recolección de muestras.

Posteriormente se toma el tiempo del Raspberry Pi, si el resultado de dividir los minutos entre diez es igual a cero o los minutos indican cero y además la bandera está en uno se continua con la secuencia. Todo esto significa que la condición se cumplirá si los minutos actuales son múltiplos de diez, por lo que sólo se tomarán los datos si los minutos indican la hora en punto o cada diez minutos, y si la bandera se encuentra desactivada. Si se cumple la condición se publica en el servidor MQTT una señal de broadcast, que indica al nodo 1 y al nodo 2 que publiquen los datos medidos al servidor, de esta manera se está solicitando los valores medidos.

Después se toma la información de cada tema, se inserta a la base de datos a la tabla seleccionada, se activa la bandera en uno y se repite la secuencia, si no se cumple la condición, se pasa a otra condición. Ahora, si los minutos no son divisibles entre diez se desactiva la bandera, si no se cumple se repite la secuencia. La bandera y las dos condiciones son simplemente para tomar una sola muestra cada diez minutos, sin estas se tomarían muchas muestras durante todo el minuto que es divisible entre diez. Cabe destacar que el script no tiene un fin, debido a que todo el tiempo está en ejecución.

El rol del control de las cargas es desempeñado por el nodo 2 y nodo 3, el nodo 2 es el encargado de obtener el confort por medio del punto de rocío, que se obtiene midiendo la temperatura y humedad en el interior del edificio y la iluminación. El nodo 3 ejecuta la orden de encender o apagar la carga correspondiente. Cuando se llega a un punto de incomodidad, el nodo 2 publica en el tema del abanico “ON” para encenderlo y “OFF” para apagarlo.

En el caso de la lámpara, debido a que se tiene implementado una conexión escalera, es diferente, para poder encenderlo con el apagador, la página Web o el nodo 2, se tienen que tomar en cuenta los siguientes estados: la corriente de la carga (para identificar si la lámpara se encuentra encendido), el estado del pin digital conectado al relevador y el estado del apagador. Midiendo la corriente de la carga

y el estado del pin digital, se puede conocer el estado del apagador y así tomar la decisión correspondiente.

Tabla III Tabla de verdad del circuito en escalera

Lámpara	Relé	Apagador
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

En la Tabla III se muestra la tabla de verdad para identificar el estado del apagador, para ello, se mide la corriente para saber si la lámpara está encendido o apagado y se obtiene la salida del pin digital para conocer el estado del relé, el cual se enciende con estado bajo y se desactiva con estado en alto.

Si por la página o el nodo 2 se solicita encender la lámpara y el pin digital está en cero, significa que el apagador se encuentra en estado cero (realmente no importa, es sólo para diferenciar un estado de otro), entonces para encender la lámpara se pone en uno. Por el contrario, si el pin se encuentra en uno, para encender la lámpara, el pin se pone en cero. De la misma manera, si se requiere apagar la lámpara y el pin se encuentra en alto se pone en bajo y si está en bajo se pone en alto.

CAPÍTULO V. RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados que se obtuvieron del desarrollo del sistema de monitoreo de confort y producción de energía renovable utilizando IoT, para ello se implementaron módulos de sensado y control, además de una página web para visualizar las variables monitoreadas y por último un tablero de pruebas para validar el sistema. Como los nodos y circuitería desarrollada, tablero de pruebas, pagina web, base de datos, la validación del sistema y pruebas realizadas.

5.1 Dimensionamiento

Primero se montó en el laboratorio de investigación en aplicaciones de electrónica de potencia (LIAPEP) el equipo lo más similar posible al que se tuvo en el caso de estudio de la Escuela Superior Politécnica de Litoral [2]. Se utilizaron dos paneles fotovoltaicos de 250W, con voltaje nominal de 30.19 V y corriente nominal de 8.29 A. También se cuenta con un aerogenerador de 400W, un banco de baterías, un

regulador y un inversor para alimentar las cargas. En la Figura 18 [53], se muestra el esquema del sistema autosustentable desarrollado.

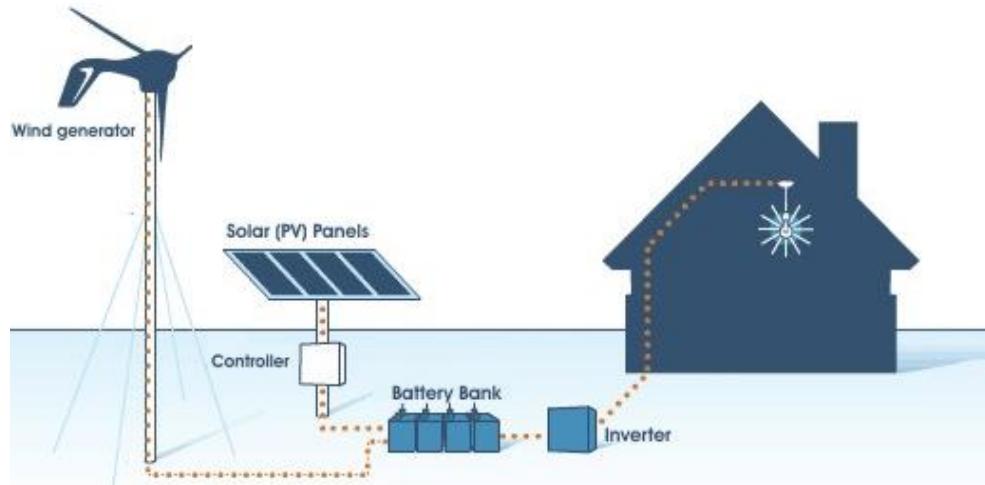


Figura 18. Diagrama teórico del sistema híbrido autónomo [51].

Sin embargo, el aerogenerador no fue posible utilizarse por cuestiones de falta de infraestructura, por lo que se reemplazará por otro panel de 250W. En la Figura 19 se muestran el arreglo fotovoltaico utilizado que consta de dos paneles en paralelo de 250W. En esta figura se muestran más paneles que se utilizan para otros proyectos, pero solo tres están destinados para este trabajo.



Figura 19. Arreglo Fotovoltaico.

En Figura 20. Banco de Baterías se visualizan las dos baterías conectadas en paralelo. Estas baterías son las LTH L-31T/S-190M de ciclado profundo para aplicaciones solares de 12V, estas se conectan a los reguladores de la 20 A (azul) y 30 A (negro) que se muestra en la Figura 21. En la Figura 22 se encuentra el inversor de 1500W/12v de acuerdo con el manual de usuario este se cuenta con 85-90% de eficiencia.



Figura 20. Banco de Baterías



Figura 21. Reguladores



Figura 22. Inversor Prowatt 1500W/12v

A continuación, se realizan los cálculos para tres días de autonomía, partiendo desde las cargas que se cuentan (un foco de 11W y un abanico de 50W). Este cálculo es determinado por [54].

Para el cálculo de baterías necesarias, el primer paso consiste en encontrar el promedio de la demanda diaria de las cargas, por lo que se multiplica la potencia de cada carga por el uso diario (horas por día) y por el uso semanal (días por semana), todo esto entre los siete días que tiene una semana, se obtiene la energía que consumen cada carga en watt hora:

$$\text{Carga eléctrica} = \text{potencia} \times \text{uso diario} \times \text{uso semanal} \div 7 = \text{Watt Horas/día} \quad (3)$$

$$\text{foco} = 11 \text{ W} \times 8 \text{ hrs/dia} \times 7 \text{ días/sem} \div 7 \text{ días} = 88 \text{ Watt Horas/día} \quad (4)$$

$$Abanico = 50 W \times 8 \text{ hrs/dia} \times 7 \text{ días/sem} \div 7 \text{ días} = 400 \text{ Watt Horas/día} \quad (5)$$

$$\text{Carga promedio diaria: } 488 \text{ Watt Horas} \quad (6)$$

Se suma el resultado de las ecuaciones 4 y 3, obtenido la carga promedio diaria de la ecuación 6.

En el segundo paso, se toma el promedio diario de la ecuación 6 y se divide entre la eficiencia del inversor y entre el voltaje de CD del sistema (voltaje de las baterías), como se muestra en la ecuación 8.

$$\text{Carga CA promedio} \div \text{Eficiencia} \div \text{Voltaje CD} = \text{Promedio diario} \quad (7)$$

$$488 \text{ Wh/día} \div 0.85 \div 12V = \text{Promedio diario } 47.84 \text{ Ah} \quad (8)$$

Finalmente, se multiplica el promedio diario por los días de autonomía (días que no se cuenta con sol), se propone que serán tres días, entre límite de descarga para baterías (80% para baterías de ciclado profundo), entre la capacidad de la batería que se obtiene de las especificaciones técnicas de la batería.

$$\text{Promedio dia} \times \text{autonomía} \div \text{Limite desc.} \div \text{capacidad bat.} = \text{Bat. en paralelo} \quad (9)$$

$$47.84 \text{ Ah} \times 3 \div 0.8 \div 110 \text{ Ah} = 1.6 \text{ o } 2 \text{ baterías en paralelo} \quad (10)$$

Ahora toca calcular el arreglo fotovoltaico, empezando por la corriente pico del arreglo, que se obtiene con el promedio ampere hora diario entre la eficiencia de la batería entre las horas sol pico por día. Según el inventario nacional de energías renovables [55], las horas pico anual en Ciudad Obregón, Sonora, es de 6 Hora sol pico/día. Se toma el dato del lugar donde se realizan las pruebas. La eficiencia de las baterías de plomo acido es de 80%.

$$\text{Promedio diario} \div \text{eficiencia bat.} \div \text{horas sol} = \text{Corriente pico del arreglo} \quad (11)$$

$$47.84 \text{ Ah} \div 0.8 \div 6 \text{ hrs} = 9.96 A \quad (12)$$

La corriente pico promedio del arreglo entre la corriente pico por módulo da como resultado los módulos en paralelo necesarios. Se divide el voltaje CD del sistema entre el voltaje nominal del módulo dando como resultado el total de módulos.

$$\text{Corriente pico } FV \div \text{Corriente pico por módulo} = \text{Módulos en paralelo} \quad (13)$$

$$9.96 \text{ A} \div 8.79 \text{ A} = 1.1 \text{ Módulos} \quad (14)$$

Para obtener la máxima corriente del controlador o regulador se multiplica la corriente de corto circuito del módulo por los módulos en paralelo una constante que sería un margen de seguridad de 25%.

$$\text{Corriente de c.c. } x \text{ módulos en paralelo} \times 1.25 = \text{Módulos en paralelo} \quad (15)$$

$$8.79 \text{ A} \times 2 \times 1.25 = 21.97 \text{ A} \quad (16)$$

Por lo que el sistema es adecuado para las cargas considerando tres días de autonomía suponiendo algún inconveniente con el clima.

5.2 Tablero de pruebas y Circuito adecuador

Por otro lado, en la Figura 23. Tablero de pruebas muestra la conexión donde se probarán y medirán las cargas (foco y abanico) en un tablero de pruebas. La lámpara es conectada al apagador y al módulo relevador en un circuito tipo escalera para poder encenderse y apagarse tanto del apagador como desde la página web, el abanico sólo se conectaría al enchufe y sólo se encenderá desde la página.

En la parte inferior del tablero se encuentran los sensores y circuitería para medir corriente alterna y el módulo relevador. En la Figura 24. Circuitería para el tablero de pruebas muestra cómo se alimentan las cargas desde el inversor, las señales

de entrada y salida (la salida de los sensores y el control de los relevadores) son conectados al nodo 1.



Figura 23. Tablero de pruebas



Figura 24. Circuitería para el tablero de pruebas

En la Figura 25 se observa el circuito donde se conectan los sensores de corriente y voltaje AC y la circuitería de adecuación. En el apéndice se muestra el diagrama esquemático el diseño en placa del este circuito. En el circuito de adecuación se le conecta a la entrada, la salida de los sensores y como salida del circuito la señal seguidora de picos.



Figura 25. Circuito que adecua la señal CA

En la Figura 26. Señal de salida del circuito adecuador se observa la señal de salida del adecuador la cual está acorde a la simulación. Sin embargo, esta señal representa la corriente de una carga puramente resistiva, alimentada de una fuente de CA (transformador), que se conectó a la red eléctrica. Idealmente la señal de la red es puramente senoidal, no obstante, la señal que entrega el inversor es escalonada, como se muestra en la Figura 287.

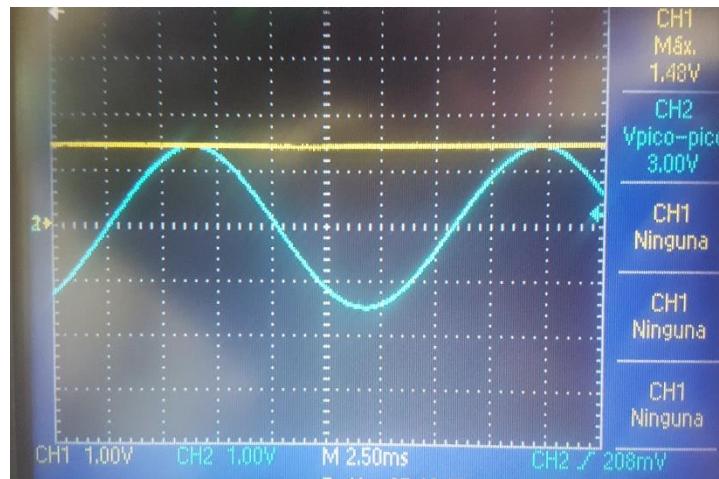


Figura 26. Señal de salida del circuito adecuador

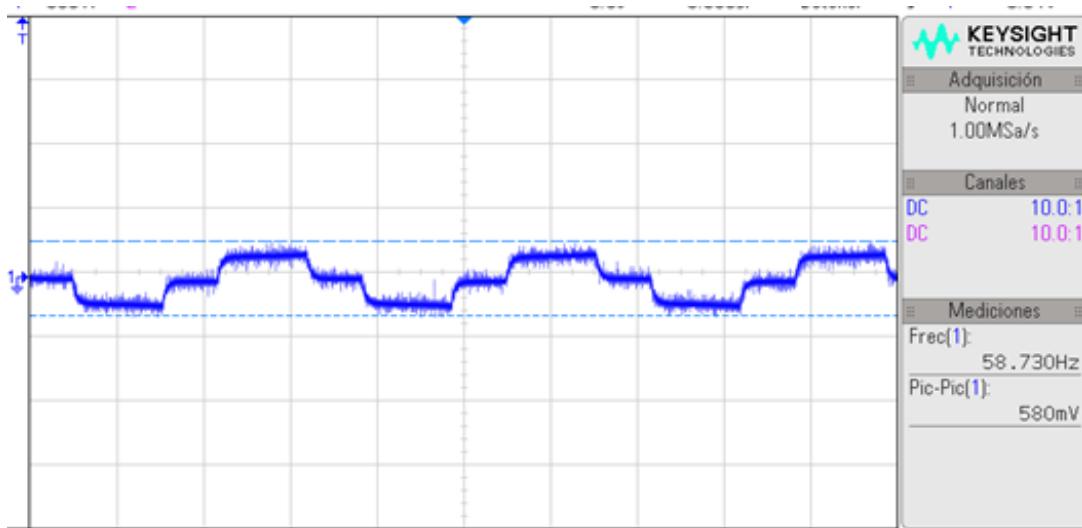


Figura 27 Señal de salida del inversor

Los focos ahorradores contienen un circuito electrónico, que consiste en un capacitor, rectificador y el balastro. Esto y la señal escalonada del inversor generan picos de corriente como se muestra en la Figura 28. Señal de corriente del foco ahorrador El circuito adecuador se había diseñado para cargas puramente resistivas y señales senoidales.

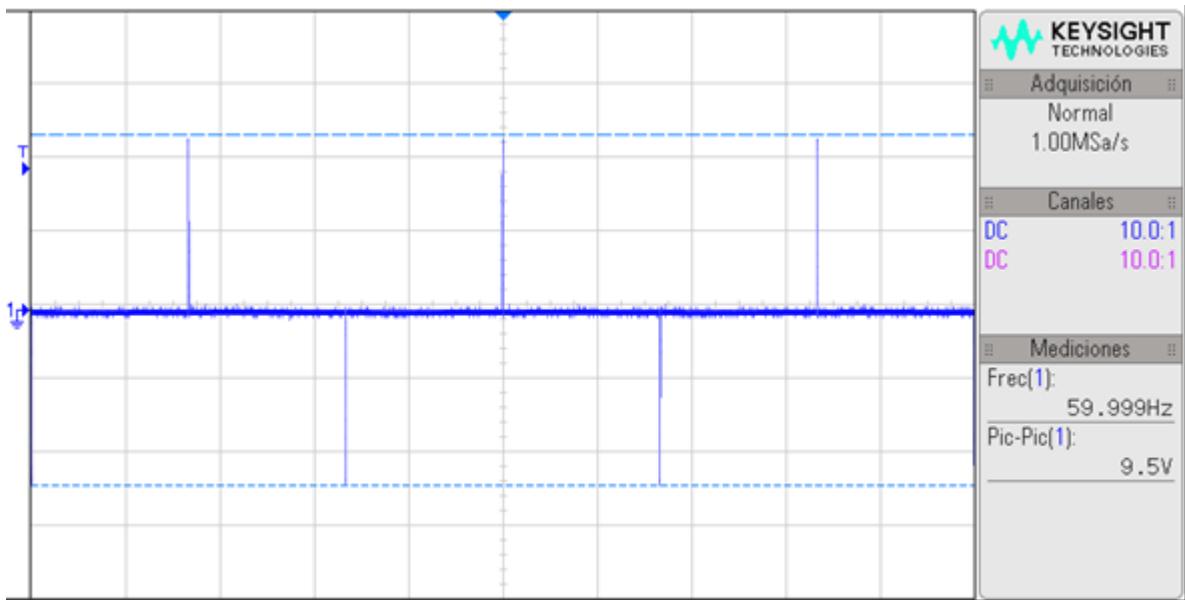


Figura 28. Señal de corriente del foco ahorrador

No es posible obtener la corriente real con este circuito, ya que cada carga es diferente y modifican diferente manera la señal, por lo que se tendría que hacer procesamiento digital de señales para obtener la corriente RMS real de cada diferente carga.

Debido a las delimitaciones de este trabajo no se indagó en este tipo de temas. Una solución fue cambiar el foco ahorrador de 11W por uno incandescente de 100W. Esto no es una solución realmente, debido a que el foco y el abanico son diferentes tipos de cargas, pero de esta manera es posible diferenciar la corriente de cada carga.

La Figura 29. Corrientes de las cargas: a) Lámpara, b) abanico. representan las señales mostradas en el osciloscopio y son más similares a la señal escalonada que proporciona el inversor.

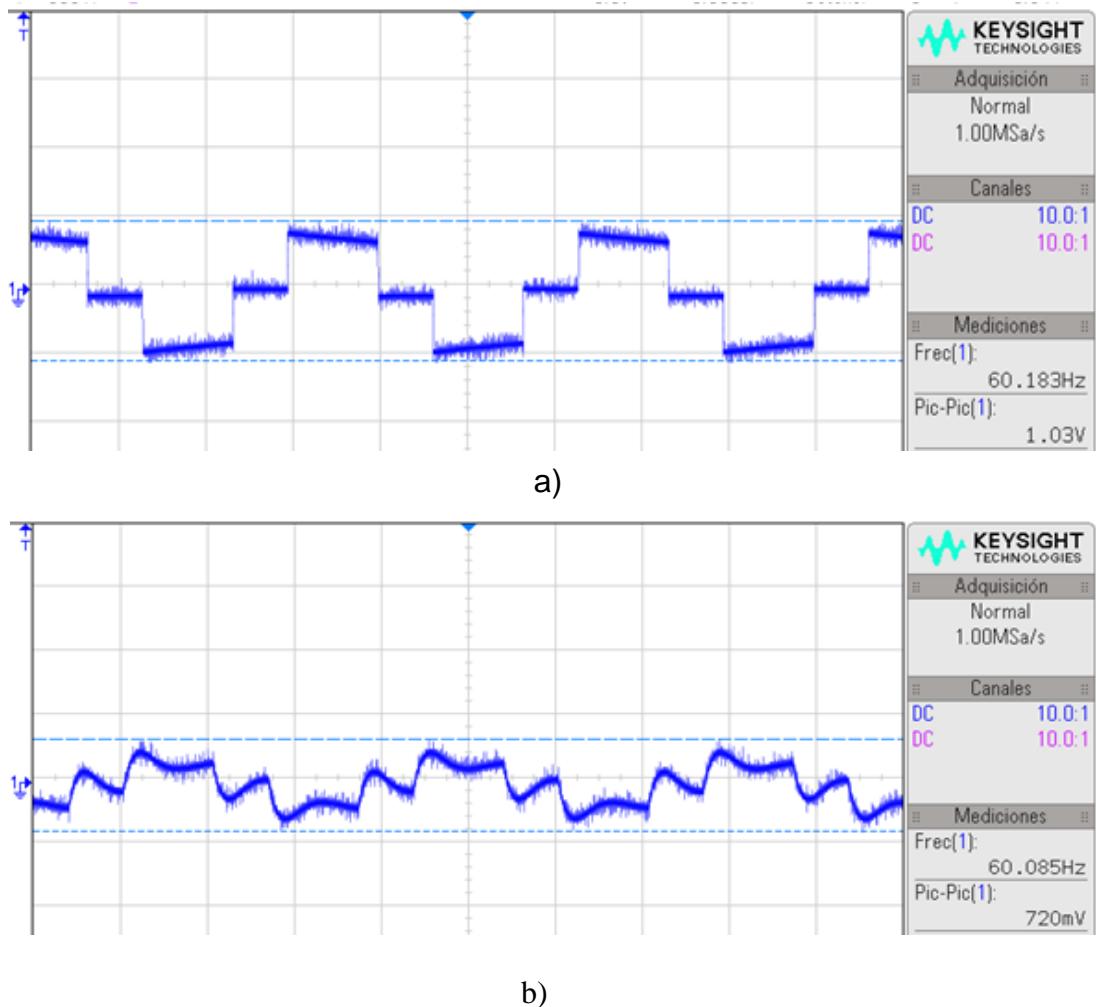


Figura 29. Corrientes de las cargas: a) Lámpara, b) abanico.

5.3 Nodos

Por otra parte, en la Figura 30. Nodo 1 se encuentra el nodo 1 que lo componen el Nodemcu, los convertidores (ADC's), los sensores y una fuente para alimentar el nodo. Aquí se encuentran la entrada del arreglo fotovoltaico, el voltaje y temperatura de las baterías.

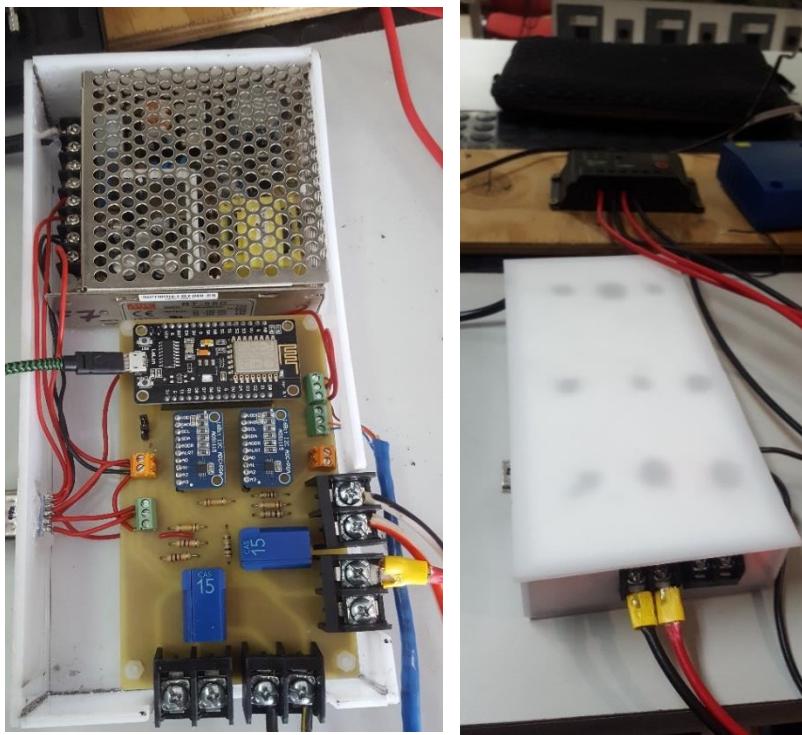


Figura 30. Nodo 1

También se conecta las señales de salida del circuito adecuador para los sensores de CA y las señales para activar los relevadores. En el apéndice se muestra los esquemáticos.

En el caso de la Figura 31. Nodo 2, se muestra en un estuche transparente, que se encuentra un Nodemcu, el sensor de humedad relativa y el luxómetro alimentado por una power bank para que se pueda cambiar de posición en el edificio.

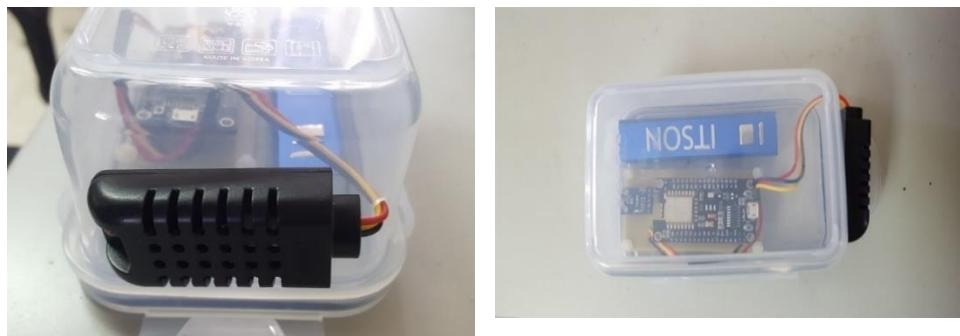


Figura 31. Nodo 2

La Figura 32. Nodo 3, se encuentra un Nodemcu, el convertidor, sensor de humedad, corriente y voltaje del panel de 10W. En Figura 33. Carga para el panel de 10W, es la carga de aproximadamente 30 ohms para la corriente nominal del panel. Esta carga disipa la potencia en forma de calor, por este motivo se estableció fuera del compartimiento del nodo.

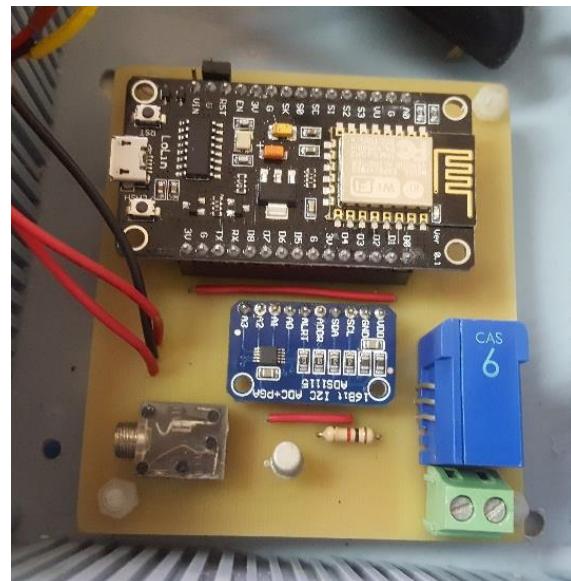


Figura 32. Nodo 3

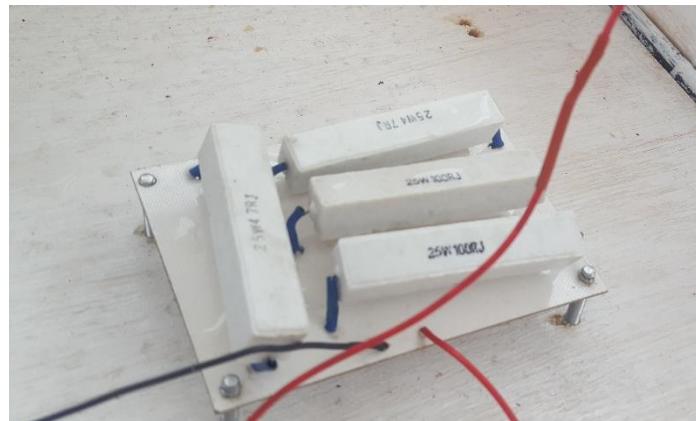


Figura 33. Carga para el panel de 10W

El nodo 3 se encuentra en el exterior del edificio, por lo que se montó la estructura de la Figura 34. *Estructura para el nodo 3* para que soporte las condiciones climáticas (temperatura, lluvias y viento). Esta estructura se pinta de blanco para que no se caliente tanto y se instala una malla para evitar que puedan entrar animales.



Figura 34. Estructura para el nodo 3

Como ya se mencionó anteriormente, existe una relación entre la corriente del panel y la irradiación solar, pero la temperatura afecta a ésta. Debido a esto, se obtiene la irradiación solar con la corriente del panel compensando con la temperatura, esto con el apoyo de la ecuación (2).

En la Figura 35 Corriente del panel del 10W y la Figura 376 Temperatura del panel de 10W, corresponden a mediciones de un día y medio. Se pueden observar las variaciones de corriente y temperatura del panel durante todo este periodo.

En la Figura 367 Irradiación del Piranómetro, se muestran las mediciones con este instrumento. El piranómetro otorga un voltaje muy pequeño como ya se comentó anteriormente, debido a la resolución del convertidor, se observa en la gráfica una variación no muy precisa.

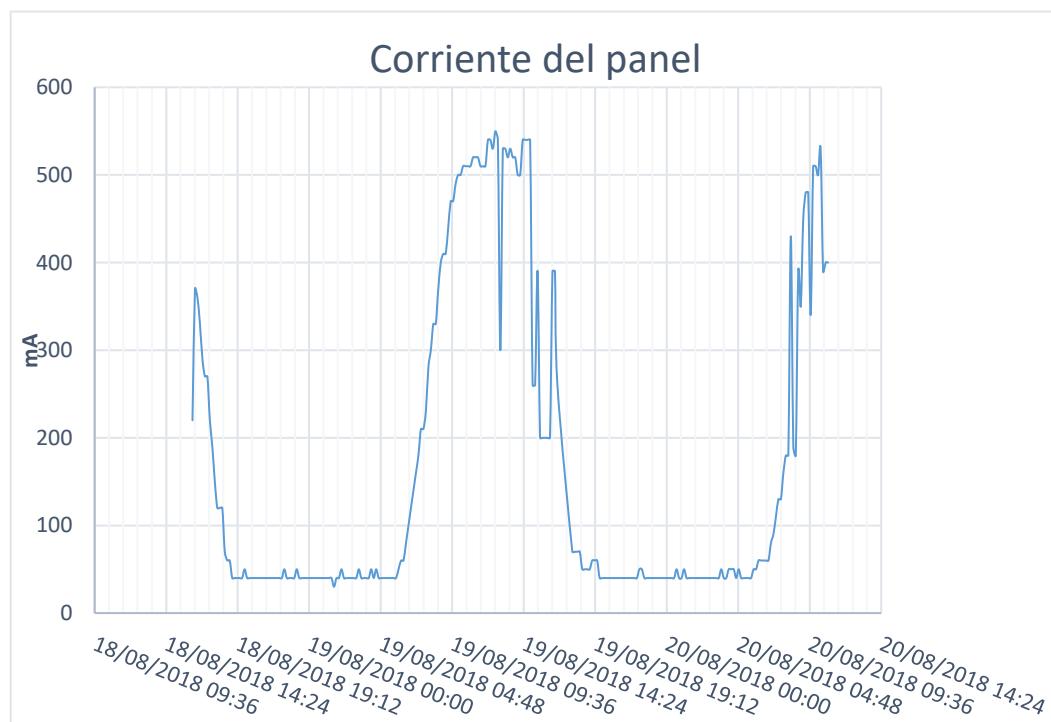


Figura 35 Corriente del panel del 10W

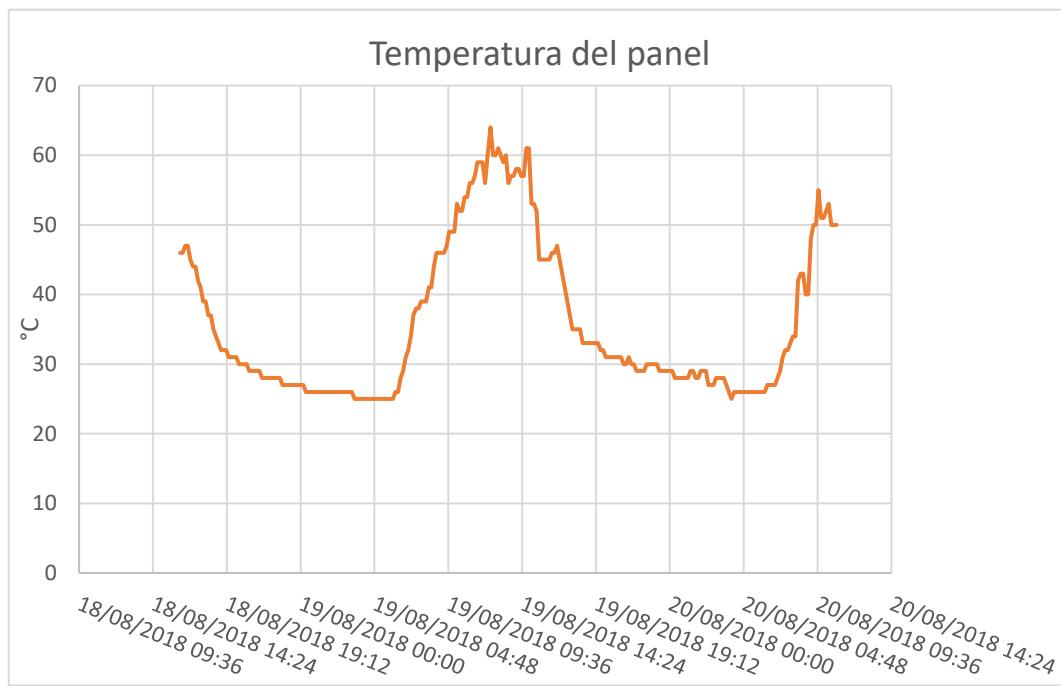


Figura 376 Temperatura del panel de 10W

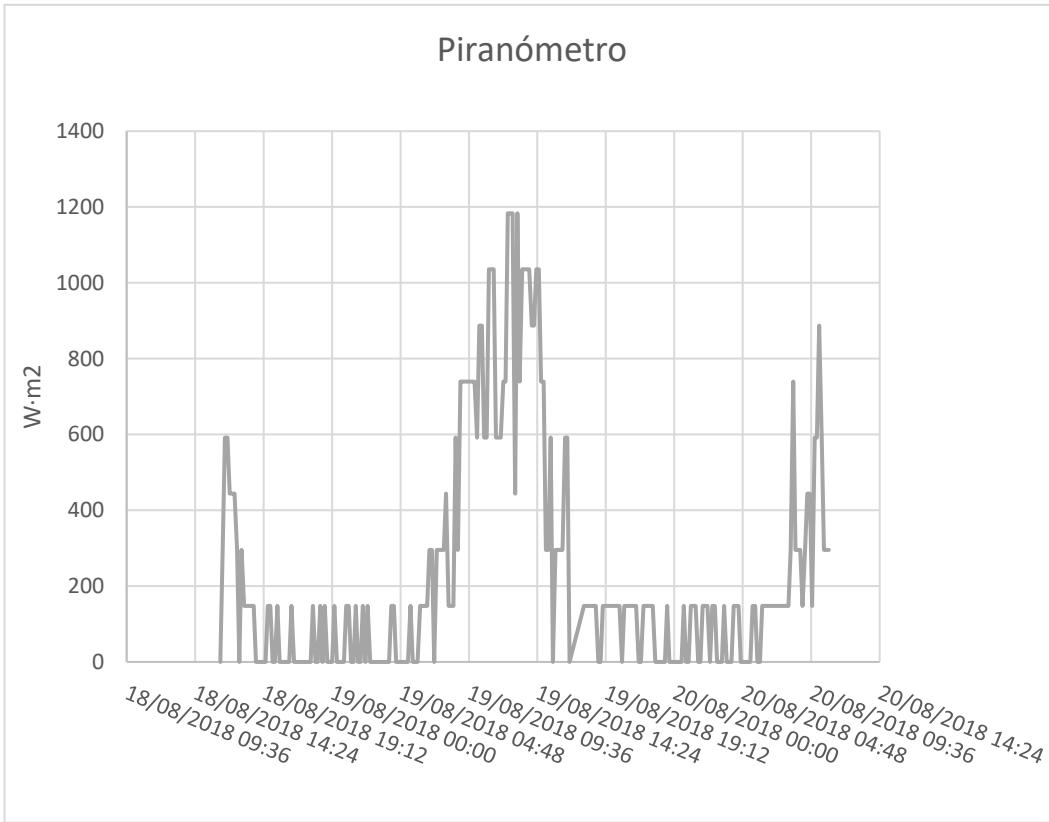


Figura 367 Irradiación del Piranómetro



Figura 38 Irradiación compensada

Sin embargo, en la gráfica de la Figura 38 Irradiación compensada, muestra el cálculo compensado de la temperatura y corriente del panel evaluado en la ecuación (2). Esta figura es muy similar a la gráfica de las muestras tomadas por el piranómetro, se realiza una comparación de estas dos y se obtiene un error promedio de 21.37 W·m². Debido a las diferentes tecnologías que se utilizan para medir la irradiación solar, existe una diferencia de mediciones. El piranómetro consiste en una red de termopares y el panel es de tecnología semiconductor, esto hace que el piranómetro capte más longitudes de onda que el panel.

5.4 Página Web

La Figura 39. Página Web, presenta la interfaz del sistema. Este es el índice o página principal, es la sección de Monitoreo>confort, que como ya se mencionó en el desarrollo, se encuentra el apartado de humedad, temperatura y punto de rocío del

interior del edificio, y otro apartado para la iluminación y control de las cargas. Para mostrar el estado de las cargas, se mide la corriente y se identifica la carga que se encuentra encendida.

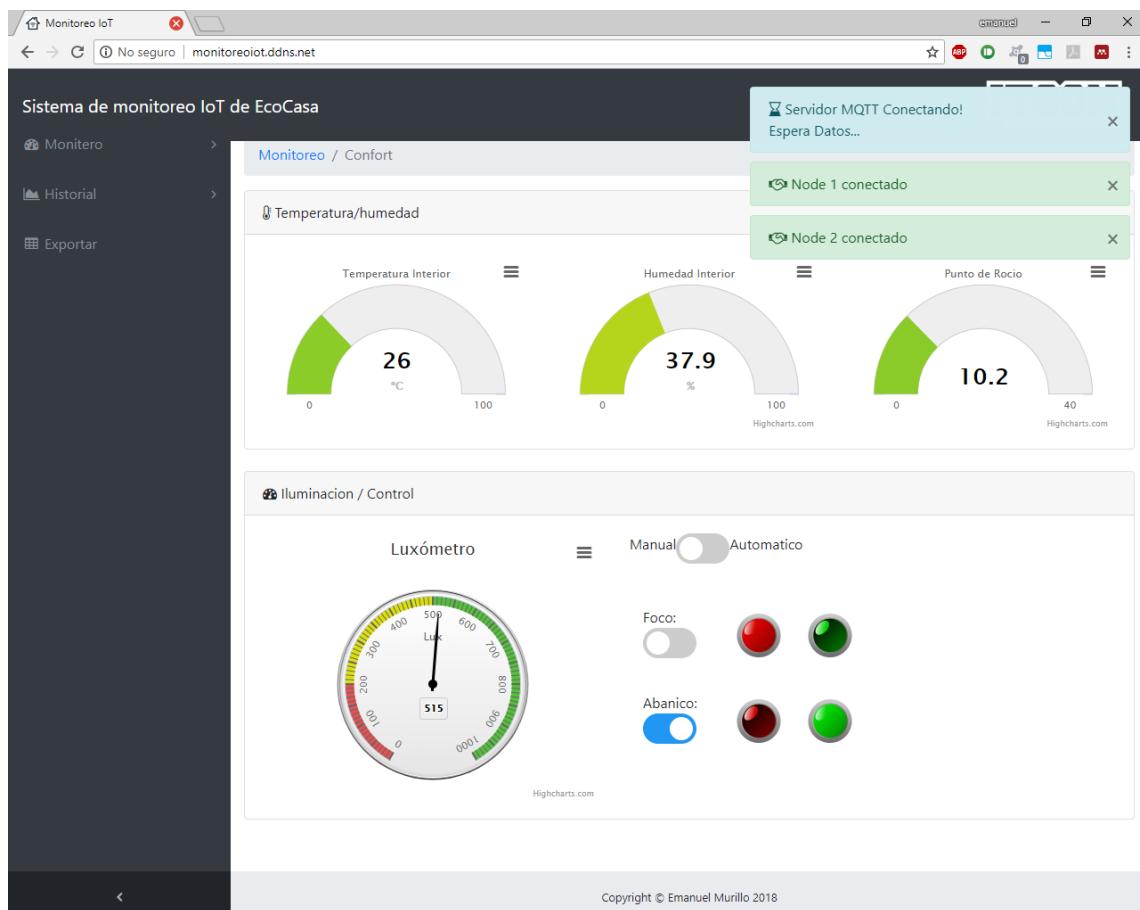


Figura 39. Página Web

El control automático de las cargas, es indicado por el nodo 2, cuando el punto de rocío se encuentre por encima de 19 se activará el abanico un minuto después para evitar encendidos abruptos intermitentes, por si el punto de rocío oscila en este valor. Cuando el punto de rocío alcance el nivel de confort, el nodo 2 publicará el encendido del abanico, que el nodo 1 ejecutará.

En la Figura 40. Página Web ampliada, se muestra los submenús y las notificaciones. Las notificaciones muestran qué nodo está conectado o desconectado y si el servidor MQTT se encuentra conectado. Como ya se mencionó anteriormente, se envía una solicitud al nodo y se comienza un *timer*, al no recibir respuesta se muestra la alerta.

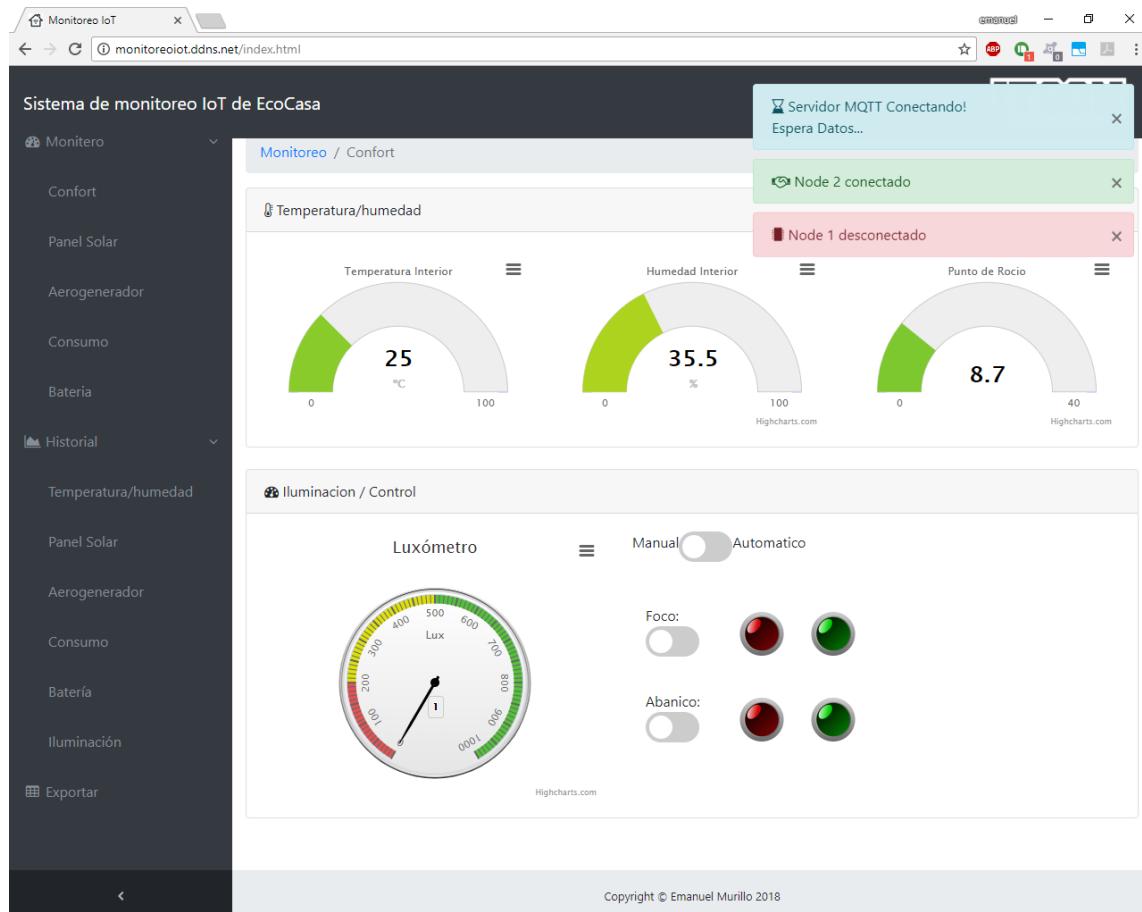


Figura 40. Página Web ampliada

En la Figura 41. Monitoreo del corriente del panel y Figura 42. Monitoreo del voltaje del aerogenerado, se muestra en las gráficas de tipo highstock en tiempo real.



Figura 41. Monitoreo del corriente del panel

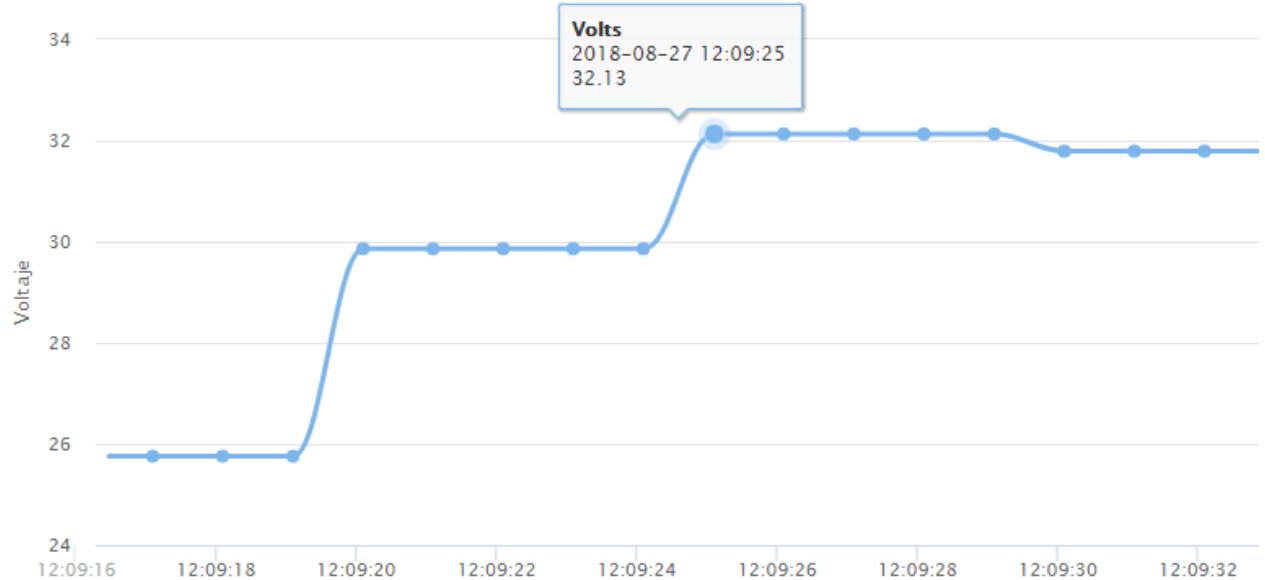


Figura 42. Monitoreo del voltaje del aerogenerador

En la Figura 44. Historial de temperatura interior3 y Figura 44. Historial de temperatura interior la muestra los datos obtenidos y desplegados con highcharts. Se puede cambiar o hacer “zoom” al tiempo de la gráfica, con opciones de 1 hora, un día o todas las muestras. De igual manera se puede modificar manualmente el rango debajo de la gráfica. Al pasar el cursor indica la fecha y el valor del parámetro, como se observa en las Figura 45. Historial del voltaje de la carga.

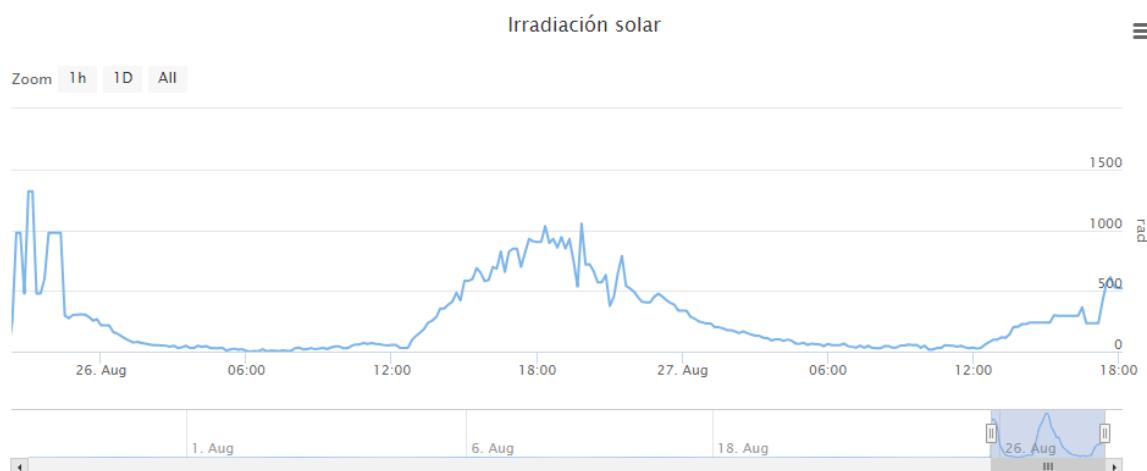


Figura 43 Historial de irradiación solar

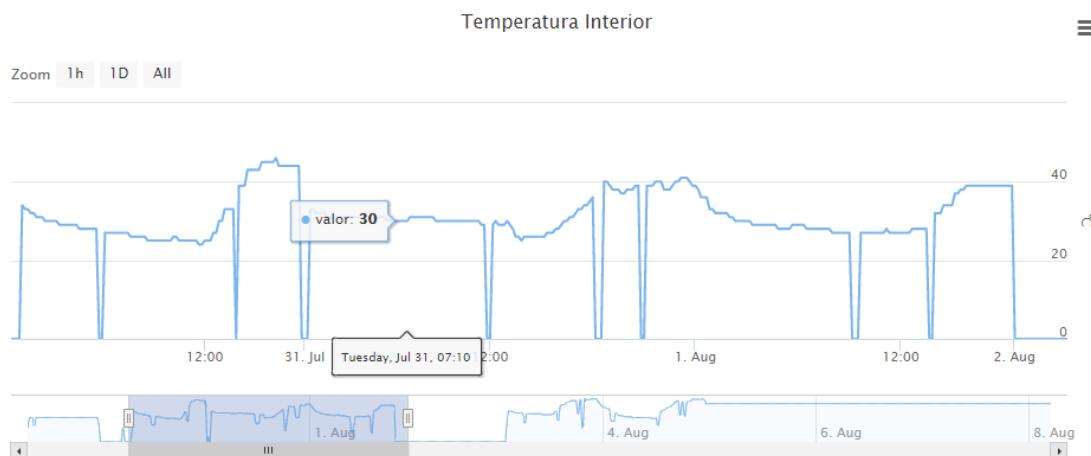


Figura 44. Historial de temperatura interior



Figura 45. Historial del voltaje de la carga

En

Figura 46. Monitoreo del estado de la batería representa la temperatura y el voltaje en tiempo real del banco de baterías. Una barra en forma de led para el voltaje y un termómetro para la temperatura, esto en tiempo real. Para visualizar todos los datos, se tiene que ir al apartado historial>batería.

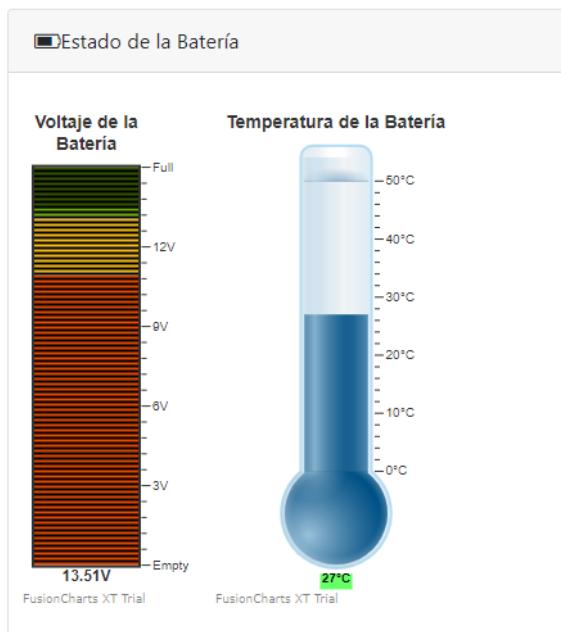


Figura 46. Monitoreo del estado de la batería

Surgió un inconveniente a la hora de medir la batería cuando se tenía voltaje en los paneles. Al tener conectado el controlador, este regulaba la entrada de corriente a la batería, al tener la misma referencia para medir la batería que con el panel, el circuito se va a corto. Con los sensores de corriente no se muestra ese problema gracias al aislamiento galvánico que cuentan. Debido a esto se requirió algo más que un simple divisor de voltaje para medir la batería, así que se implementó el circuito sensor de voltaje aislado que se utilizó en [56] que es un optoacoplador y un comparador, la desventaja es que se requiere de otra fuente externa para alimentarlo.

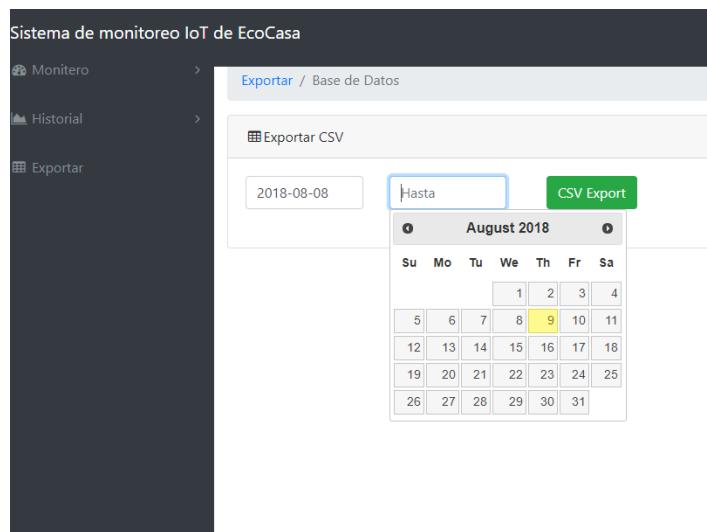


Figura 47. Sección exportar CSV

En la Figura 47, se muestra el “datepicker” antes mencionado, donde se selecciona el rango de fecha para descargar el archivo CSV. En la Figura 48 Archivo CSV se visualiza el archivo en Excel, se divide por columnas todos los parámetros de la base de datos, que se encuentran en el rango de fechas seleccionados. Si la base de datos no contiene valores en ese lapso, se descargará un archivo sin valores, pero de igual forma, separado por columnas.

fecha	v_ac	i_ac	w_ac	v_panel	i_panel	w_panel	v_aero	i_aero	w_aero	temp_int	temp_ext	hum_int	hum_ext	v_bat
25/08/2018 14:50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22	0	36	0	0
25/08/2018 14:52	120	0	0	27	1	36	0	0	0	22	0	36	0	13
25/08/2018 14:54	122	0	0	32	1	47	0	0	0	22	0	36	0	13
25/08/2018 14:56	120	0	0	27	1	37	0	0	0	22	0	36	0	13
25/08/2018 14:58	121	0	0	22	1	16	0	0	0	22	0	36	0	13
25/08/2018 15:00	120	0	0	13	3	32	0	0	0	22	0	36	0	14
25/08/2018 15:02	120	0	0	29	2	51	0	0	0	22	0	35	0	13
25/08/2018 15:04	121	0	0	33	2	53	0	0	0	22	0	35	0	13
25/08/2018 15:39	123	1	110	13	4	53	0	0	0	22	0	35	0	14
25/08/2018 15:50	121	0	0	13	4	57	0	0	0	22	0	36	0	14
25/08/2018 16:00	121	0	0	13	4	59	0	0	0	22	0	37	0	14
25/08/2018 16:10	121	0	0	13	4	59	0	0	0	22	0	35	0	14
25/08/2018 16:20	121	0	0	13	4	57	0	0	0	0	0	0	0	14
25/08/2018 16:30	122	0	0	14	4	57	14	2	28	22	36	37	31	15
25/08/2018 16:40	122	0	0	14	4	53	14	2	26	23	36	35	32	15
25/08/2018 16:50	123	0	0	14	4	52	14	2	26	23	36	35	31	15
25/08/2018 17:00	123	0	0	14	3	49	14	2	24	24	37	37	29	15
25/08/2018 17:10	124	0	0	14	3	41	14	1	21	25	38	40	29	15
25/08/2018 17:20	123	0	0	14	3	38	14	1	19	26	38	39	27	15
25/08/2018 17:30	123	0	0	14	2	33	14	1	17	26	0	40	0	15

Figura 48 Archivo CSV

Las Figura 49 Página web desde smartphone 1 y Figura 50 Página web desde smartphone 2, representan la página web vista desde un teléfono móvil, se visualizan con las mismas características que en una computadora de escritorio o laptop, con la diferencia del acomodo y tamaño de las gráficas para su mejor visualización.

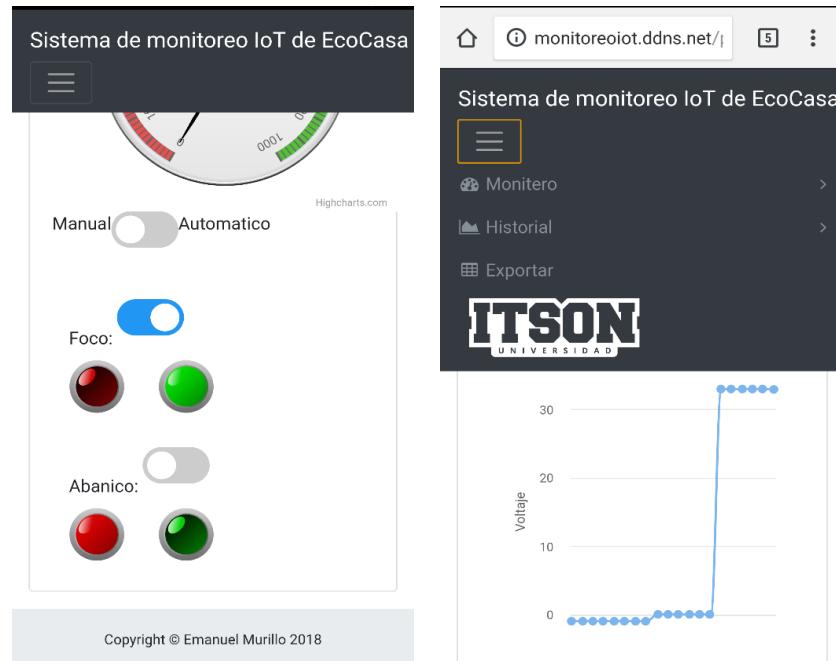


Figura 49 Página web desde smartphone 1

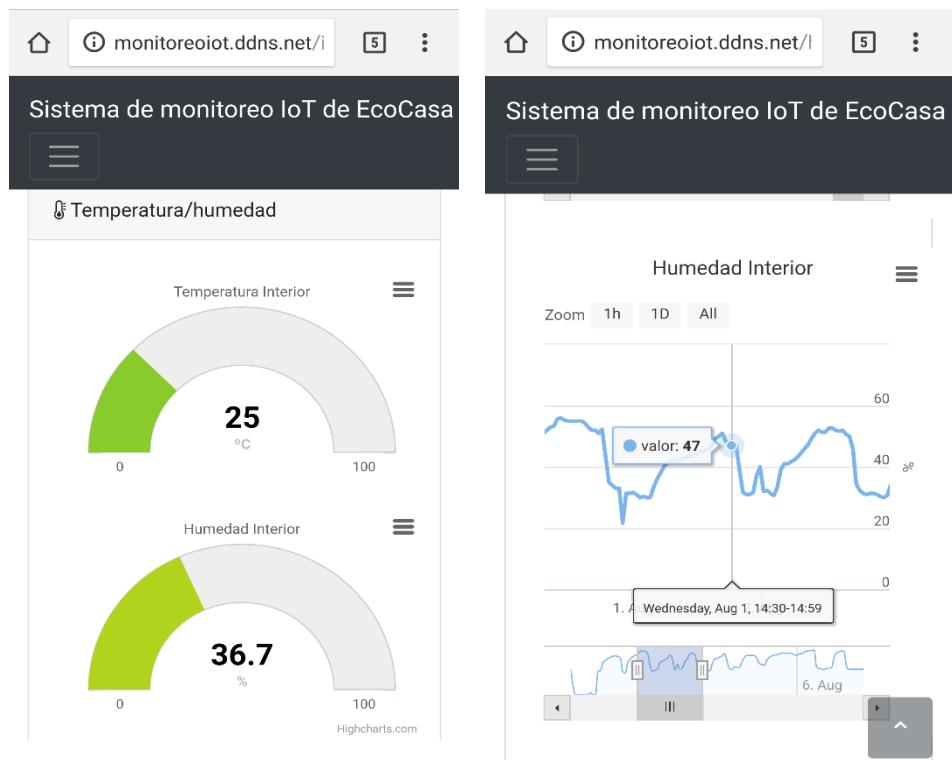
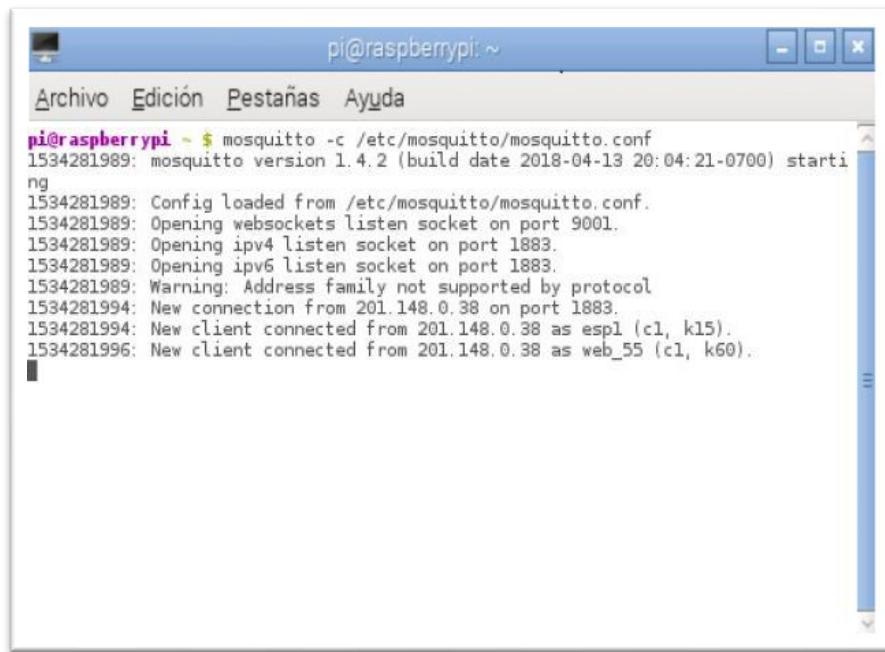


Figura 50 Página web desde smartphone 2

5.5 Servidores.

La Figura 51 Servidor MQTT mosquitto muestra el servicio MQTT en mosquitto ejecutándose, muestra los puertos y los clientes conectados y la Figura 52 Script de Python en ejecución es una demostración de cómo se toman las muestras cada 10 minutos y se suben a la base de datos.

Para hacer el respaldo de la base de datos se realiza en otro script de Python, este se ejecuta todos los días a las 7p.m. Esto es posible hacerse con “crontab”, Cron es un software que permite a usuarios de cualquier distribución Linux ejecutar automáticamente comandos o scripts a una hora y fecha específica



A screenshot of a terminal window titled "pi@raspberrypi: ~". The window has a menu bar with "Archivo", "Edición", "Pestañas", and "Ayuda". The main area displays the output of the command "mosquitto -c /etc/mosquitto/mosquitto.conf". The log shows the server starting, loading configuration from /etc/mosquitto/mosquitto.conf, and opening various listen sockets (websocket, ipv4, ipv6) on ports 9001, 1883, and 1883 respectively. It also shows a warning about unsupported address families and several new client connections from IP 201.148.0.38.

```
pi@raspberrypi ~ $ mosquitto -c /etc/mosquitto/mosquitto.conf
1534281989: mosquitto version 1.4.2 (build date 2018-04-13 20:04:21-0700) starting
1534281989: Config loaded from /etc/mosquitto/mosquitto.conf.
1534281989: Opening websockets listen socket on port 9001.
1534281989: Opening ipv4 listen socket on port 1883.
1534281989: Opening ipv6 listen socket on port 1883.
1534281989: Warning: Address family not supported by protocol
1534281994: New connection from 201.148.0.38 on port 1883.
1534281994: New client connected from 201.148.0.38 as esp1 (cl, k15).
1534281996: New client connected from 201.148.0.38 as web_55 (cl, k60).
```

Figura 51 Servidor MQTT mosquitto



A screenshot of a Python Shell window titled "*Python Shell*". The window has a menu bar with "File", "Edit", "Shell", "Debug", "Options", "Windows", and "Help". The main area displays the output of a script. The script repeatedly sends broadcast signals and takes samples at specific times: 2018-08-19 21:50, 2018-08-19 22:00, 2018-08-19 22:10, 2018-08-19 22:10, 2018-08-19 22:10, 2018-08-19 22:20, 2018-08-19 22:20, and 2018-08-19 22:30.

```
Enviando señal broadcast
2018-08-19 21:50
muestra tomada
Enviando señal broadcast
2018-08-19 22:00
muestra tomada
2018-08-19 22:10
Enviando señal broadcast
2018-08-19 22:10
muestra tomada
Enviando señal broadcast
2018-08-19 22:10
muestra tomada
Enviando señal broadcast
2018-08-19 22:20
muestra tomada
Enviando señal broadcast
2018-08-19 22:30
```

Figura 52 Script de Python en ejecución

Para ejecutar el script, en crontab, se indica: minuto, hora, día del mes, mes, día de la semana usuario y comando, en ese orden. Si se pone un asterisco indica todos los valores de ese campo, es decir, si hay asterisco en el campo de las horas, se tomará cada hora. El script en Python guardó un archivo SQL que se guarda en una carpeta.

Posteriormente, se utiliza el script de lenguaje de consola (bash) de [57]. Este script es usado para subir, descargar, borrar y enlistar archivos en Dropbox. Con una cuenta Dropbox en el apartado de desarrollador, se crea una API para vincularla con el bash, para esto sólo se necesita generar un “Access token”. De igual manera que en el script de respaldo en Python, se utiliza crontab para subir los archivos con bash. La Figura 53 presenta un ejemplo de líneas de comando que se utilizaron en crontab para ejecutar los scripts de Python y bash que se ejecutan a las 7 y a las 8 respectivamente. Se realizó con la ayuda de un generador cron online.

```
* 7 * * * /usr/bin/python /Desktop/dbbackup.py >/dev/null 2>&1
* 8 * * * /usr/local/bin/dropbox upload /Desktop/dbbackup.py >/dev/null 2>&1
```

Figura 53. Líneas de comando utilizadas en crontab.

En Figura 54 *Respaldo a Dropbox*, se puede visualizar en la página de Dropbox el archivo de respaldo en la carpeta de la aplicación API.

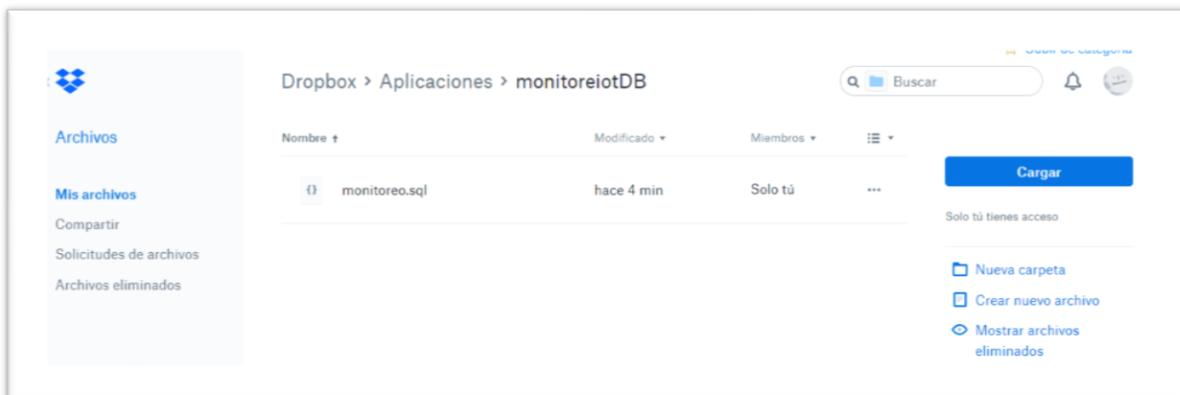


Figura 54 Respaldo a Dropbox

CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES

En este trabajo se presentó el diseño y desarrollo de un sistema de monitoreo remoto de los parámetros de comodidad y la generación de energía de fuentes renovables para un edificio autosustentable. Con un sistema híbrido autónomo propuesto por un caso de estudio en Ecuador, utilizando internet de las cosas.

Como principales resultados se realizaron tres nodos que miden y envían los valores de los parámetros establecidos (humedad, punto de rocío, potencia del panel, entre otros) a un servidor. Se implementó el servidor que comunica, almacena y publica las mediciones. Se diseñó y estableció una interfaz Web para que el usuario monitoree, visualice y descargue la información almacenada en la base de datos, tanto en dispositivo móvil como en una computadora de escritorio.

Por lo tanto, se validó el sistema en laboratorio con un tablero de pruebas donde se instalaron las cargas, para medir el consumo y las fuentes de energía, aunque el generador eólico se simuló con un panel fotovoltaico. También se validó el confort

(representado como el punto de rocío) para el control de las cargas, de esta manera optimizar el uso de estas en el sistema híbrido autónomo. Se mantuvo el sistema en operación durante más de siete días. Con el protocolo utilizado, el sistema es posible escalarlo o ampliarlo dando una flexibilidad y robustez al sistema.

La contribución principal de este trabajo es la integración de monitoreo de un sistema inteligente ya que para esta área no se había implementado. Este trabajo se desarrolló a medida para el caso de estudio que se efectuó en Ecuador. El sistema fue capaz de monitorear el confort y producción de energía del edificio autosustentable. El consumo también fue posible medirse, pero sólo con las cargas establecidas. Se logró crear una página web para visualizar los datos y almacenar la información monitoreada en la nube. Por lo que se alcanzaron los objetivos planteados.

En su tiempo, la falta de conocimientos de desarrollo Web retrasó el desarrollo del sistema. Con este sistema no se puede medir cualquier carga que se conecte, sólo para las que fueron diseñadas, debido a que los sensores no miden la corriente real. No se indagó más en este tema debido a las delimitaciones del proyecto. Estos fueron los principales problemas en el desarrollo del proyecto.

Como trabajos futuros se propone añadir seguridad a la página, como un sistema de ingreso o encriptar los mensajes MQTT. También, una forma de ajustar el confort o el punto de rocío a preferencia. Además, se propone un pequeño sistema autónomo para el nodo tres y evitar el recargar la batería o reducir el mantenimiento de este. En paralelo, en Ecuador se implementó un sistema de control automático de una ventana. Como trabajo futuro se propone el incorporar este sistema al proyecto desarrollado en esta tesis.

REFERENCIAS BIBLOGRAFICAS

- [1] Organización de las Naciones Unidas, "Pacto Internacional de Derechos Económicos, Sociales y Culturales", 1976.
- [2] J. F. A. Bolaños, G. A. C. Sánchez, y D. E. T. Parrales, "Desarrollo De Sistema Demostrativo De Energías Renovables Para El Bosque Protector Prosperina", GUAYAQUIL-ECUADOR, 2018.
- [3] N. Nakic'enovic' y J. M. Jefferson, "Working Paper Global Energy Perspectives to 2050 and Beyond I I ASA International Institute for Applied Systems Analysis A-2361 Laxenburg Austria", 1995.
- [4] Z. J. Z. Jun, W. J. W. Jie, L. J. L. Jun-feng, G. L. G. La-mei, y L. M. L. Min, "An agent-based approach to renewable energy management in eco-building", *2008 IEEE Int. Conf. Sustain. Energy Technol.*, núm. 60534040, pp. 46–50, 2008.
- [5] I. Dincer, Dincer, y Ibrahim, *Renewable & sustainable energy reviews.*, vol. 4, núm. 2. Elsevier Science, 1997.
- [6] D. P. Lucero y A. Méndez, "I Congreso online sobre Los Modelos Latinoamericanos de Desarrollo organización comunitaria para la autoconstrucción de viviendas sustentables: factor de empoderamiento étnico y desarrollo social en el estado de oaxaca".
- [7] J.-C. Sabonnadière, *Renewable energies*. John Wiley & Sons, 2009.
- [8] A. Schaffarczyk, *Understanding wind power technology : theory, deployment and optimisation*..
- [9] S. J. Chapman, *Máquinas eléctricas*. McGraw-Hill, 2012.
- [10] O. P. Lamigueiro, "ENERGÍA SOLAR Fotovoltaica", 2018.
- [11] M. A. Abella y S. Fotovoltaicos, "Dimensionado de Sistemas Fotovoltaicos ANEXO I: Otros métodos de dimensionado de sistemas FV autónomos".
- [12] J. M. Méndez Muñíz y R. Cuervo García, *Energía solar fotovoltaica*..
- [13] E. Kaplani, "Design and performance considerations in stand alone PV powered telecommunication systems", *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 10, núm. 3,

pp. 1723–1729, abr. 2012.

- [14] G. W. Hong y N. Abe, *Renewable & sustainable energy reviews*. Elsevier Science, 1997.
- [15] O. Valenzuela V., M. León C., J. Pérez R., y J. Beristáin J., “Diseño e implementación de un inversor monofásico puente completo para un sistema de bombeo fotovoltaico sin baterías”, en *IEEE ROC&C*, 2017.
- [16] M. R. Patel, “Second Edition Design, Analysis, and Operation Wind and Solar Power Systems”.
- [17] N. H. Afgan y M. G. Carvalho, “Sustainability assessment of a hybrid energy system”, *Energy Policy*, vol. 36, núm. 8, pp. 2903–2910, ago. 2008.
- [18] H. G. Beyer y C. Langer, “A method for the identification of configurations of PV/wind hybrid systems for the reliable supply of small loads”, *Sol. Energy*, vol. 57, núm. 5, pp. 381–391, nov. 1996.
- [19] E. Hernández Goribar, *Fundamentos de aire acondicionado y refrigeracion*. Editorial Limusa, 1973.
- [20] Phil Wilson, “Temperature Relative Humidity and Dew Point”, *mrfixitbail*, 2016. [En línea]. Disponible en: <https://www.mrfixitbali.com/airconditioning/temperature-humidity-dew-point-251.html>. [Consultado: 10-ago-2018].
- [21] T. A. Nguyen y M. Aiello, “Energy intelligent buildings based on user activity: A survey”, *Energy Build.*, vol. 56, pp. 244–257, ene. 2013.
- [22] F. Mateos, V. M. Gonzalez, R. Poo, M. Garcia, y R. Olaiz, “Design and development of an automatic small-scale house for teaching domotics”, en *31st Annual Frontiers in Education Conference. Impact on Engineering and Science Education. Conference Proceedings (Cat. No.01CH37193)*, vol. 1, p. T3C–1–5.
- [23] “Ubiquitous Computing Fundamentals”.
- [24] M. Weiser, R. Gold, y J. S. Brown, “The origins of ubiquitous computing research at PARC in the late 1980s”, 1999.
- [25] T. Wilmshurst, *An introduction to the design of small-scale embedded*

systems. Palgrave, 2001.

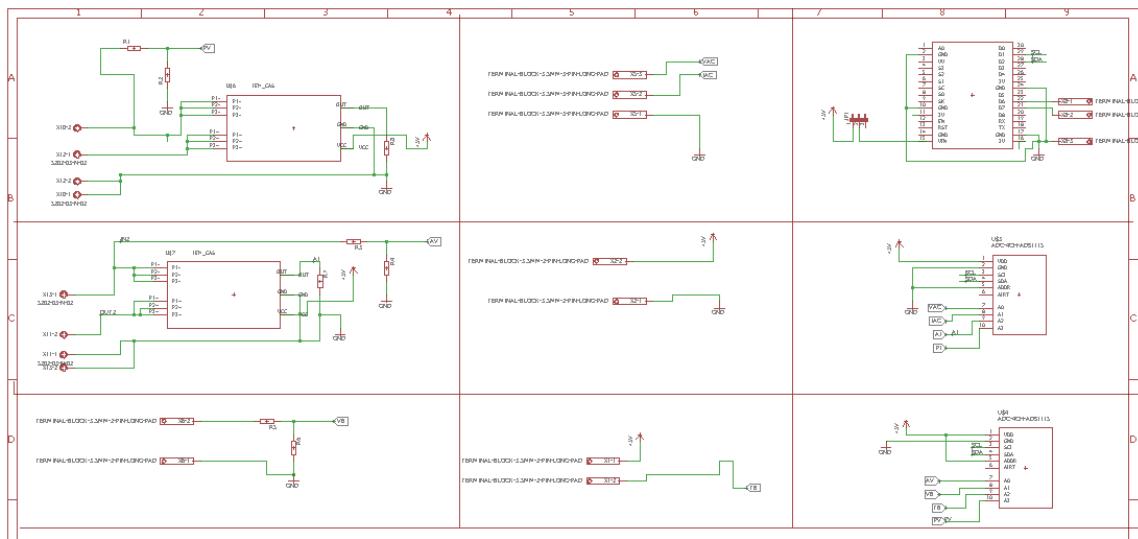
- [26] D. A. Pérez, "Sistemas Embebidos y Sistemas Operativos Embebidos", *Lect. en Ciencias la Comput.*, p. 15, 2009.
- [27] F. Vahid y T. Givargis, "Embedded System Design: A Unified Hardware/Software Approach", 1999.
- [28] I. ISTE Ltd and John Wiley & Sons, *The Internet of Things Connecting Objects to the Web*. WIELEY, 2010.
- [29] L. Atzori, A. Iera, y G. Morabito, "The Internet of Things: A survey", *Comput. Networks*, vol. 54, pp. 2787–2805, 2010.
- [30] J. Gubbi, R. Buyya, S. Marusic, y M. Palaniswami, "Future Generation Computer Systems Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions", *Futur. Gener. Comput. Syst.*, vol. 29, pp. 1645–1660, 2013.
- [31] S. Adhya, D. Saha, A. Das, J. Jana, y H. Saha, "An IoT based smart solar photovoltaic remote monitoring and control unit", *2016 2nd Int. Conf. Control. Instrumentation, Energy Commun.*, pp. 432–436, 2016.
- [32] B. S. Guru, H. R. Hızıröglü, J. Enríquez Brito, y D. Díaz del Castillo, *Máquinas eléctricas y transformadores*. Oxford University Press, 2003.
- [33] LEM, "Current Transducer CAS series", 2012.
- [34] "Temperature and humidity module AM2301 Product Manual".
- [35] Denes K. Roveti, "Choosing a Humidity Sensor: A Review of Three Technologies | Sensors Magazine", 1 July, 2001. [En línea]. Disponible en: <https://www.sensorsmag.com/components/choosing-a-humidity-sensor-a-review-three-technologies>. [Consultado: 10-ago-2018].
- [36] I. M. Sosa Tinoco, "An Optimized Prediction of Solar Resource by a Numerical Weather Prediction Model and Photovoltaic Technology Evaluation for semi-desert climate zone.", Santiago de compostela, 2015.
- [37] MQTT.org, "FAQ - Frequently Asked Questions | MQTT". [En línea]. Disponible en: <http://mqtt.org/faq>. [Consultado: 10-ago-2018].
- [38] eclipse.org, "Mosquitto | The Eclipse Foundation", 2013. [En línea]. Disponible

- en: <http://www.eclipse.org/proposals/technology.mosquitto/>. [Consultado: 10-ago-2018].
- [39] A. Cancio Gómez, A. Morell, P. Pere, y T. Peiró, “Diseño, desarrollo y prototipado de un Gateway M2M multiprotocolo para aplicaciones IoT”, 2018.
 - [40] Michael Yuan, “Conozca MQTT”, 04-10, 2017. [En línea]. Disponible en: <https://www.ibm.com/developerworks/ssa/library/iot-mqtt-why-good-for-iot/index.html>. [Consultado: 10-ago-2018].
 - [41] Oracle Corporation and/or its affiliates, “MySQL :: MySQL 8.0 Reference Manual :: 1.1 About This Manual”, 2018. [En línea]. Disponible en: <https://dev.mysql.com/doc/refman/8.0/en/manual-info.html>. [Consultado: 10-ago-2018].
 - [42] The Apache Software Foundation, “HTTPD - Servidor web Apache2”, 2018. [En línea]. Disponible en: <https://help.ubuntu.com/lts/serverguide/httpd.html>. [Consultado: 10-ago-2018].
 - [43] Javier Smaldone, “Cómo funciona el DNS | Blog de Javier Smaldone”, diciembre, 2006. [En línea]. Disponible en: <https://blog.smaldone.com.ar/2006/12/05/como-funciona-el-dns/>. [Consultado: 10-ago-2018].
 - [44] Vitalwerks Internet Solutions, “Free Dynamic DNS - Managed DNS - Managed Email - Domain Registration - No-IP”, 2018. [En línea]. Disponible en: <https://www.noip.com/>. [Consultado: 03-sep-2018].
 - [45] campusMVP, “Desarrollador web: Front-end, back-end y full stack. ¿Quién es quién?”, Agosto, 2015. [En línea]. Disponible en: <https://www.campusmvp.es/recursos/post/Desarrollador-web-Front-end-back-end-y-full-stack QUIEN-ES QUIEN.aspx>. [Consultado: 10-ago-2018].
 - [46] Mozilla y colaboradores, “Fundamentos de JavaScript - Aprende sobre desarrollo web | MDN”, 2005-2018. [En línea]. Disponible en: https://developer.mozilla.org/es/docs/Learn/Getting_started_with_the_web/JavaScript_basics. [Consultado: 10-ago-2018].
 - [47] Bootstrap core team, “Bootstrap · The most popular HTML, CSS, and JS

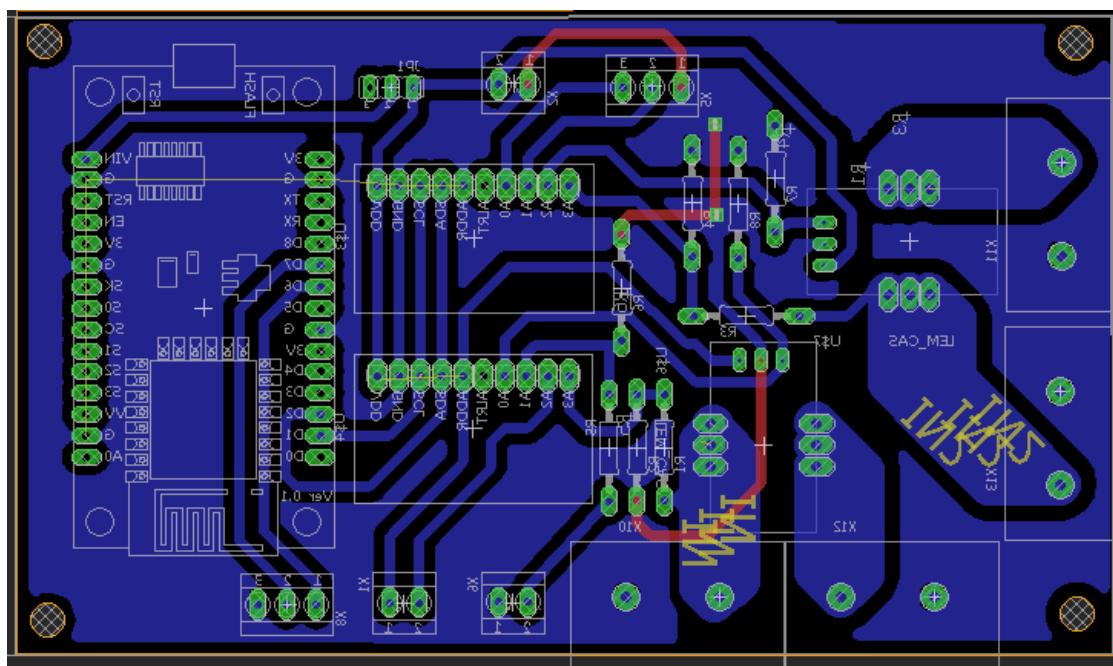
- library in the world.” [En línea]. Disponible en: <https://getbootstrap.com/>. [Consultado: 10-ago-2018].
- [48] The jQuery Foundation, “jQuery”, 2018. [En línea]. Disponible en: <https://jquery.com/>. [Consultado: 10-ago-2018].
- [49] Mozilla y colaboradores individuales., “WebSockets | MDN”, 2005-2018. [En línea]. Disponible en: <https://developer.mozilla.org/es/docs/WebSockets-840092-dup>. [Consultado: 22-ago-2018].
- [50] Highcharts team, “About Us | Highcharts”, 2018. [En línea]. Disponible en: <https://www.highcharts.com/about>. [Consultado: 10-ago-2018].
- [51] OVH, “Utilizar una CDN: ¿Qué ventajas tiene para su sitio web? - OVH”. [En línea]. Disponible en: <https://www.ovh.es/cdn/ventajas.xml>. [Consultado: 10-ago-2018].
- [52] K. Avila, “¿Qué es un protocolo de tiempo de red NTP?”, CAVSI. [En línea]. Disponible en: <https://web.archive.org/web/20150318004654/http://www.cavsi.com/pregunta/srespuestas/ques-un-protocolo-de-tiempo-de-red-ntp/>.
- [53] EcoPlanet Energy, “Hybrid energy | EcoPlanet Energy”, 2012. [En línea]. Disponible en: <http://www.ecoplanetenergy.com/all-about-eco-energy/overview/hybrid/>. [Consultado: 10-ago-2018].
- [54] Solar Energy International., *Photovoltaics : design and installation manual : renewable energy education for a sustainable future*. New Society Publishers, 2004.
- [55] INERE, “Inventario Nacional de energías renovables”, 15 de mayo 2017. [En línea]. Disponible en: <https://dgel.energia.gob.mx/inere/>. [Consultado: 10-ago-2018].
- [56] O. G. Salazar, “Diseño e Implementación de un Filtro Activo de Potencia”, Instituto tecnológico de Sonora, 2014.
- [57] Andrea Fabrizi, “Dropbox Uploader - ITSec”, Enero, 2016. [En línea]. Disponible en: <https://www.andreafabrizi.it/2016/01/01/Dropbox-Uploader/>.

APÉNDICES

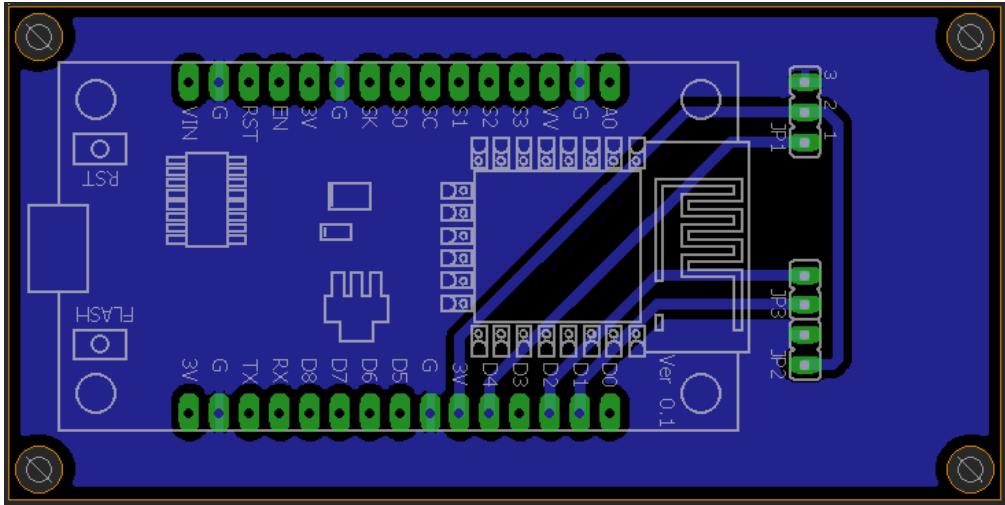
Apéndice 1 Esquemático del nodo 1



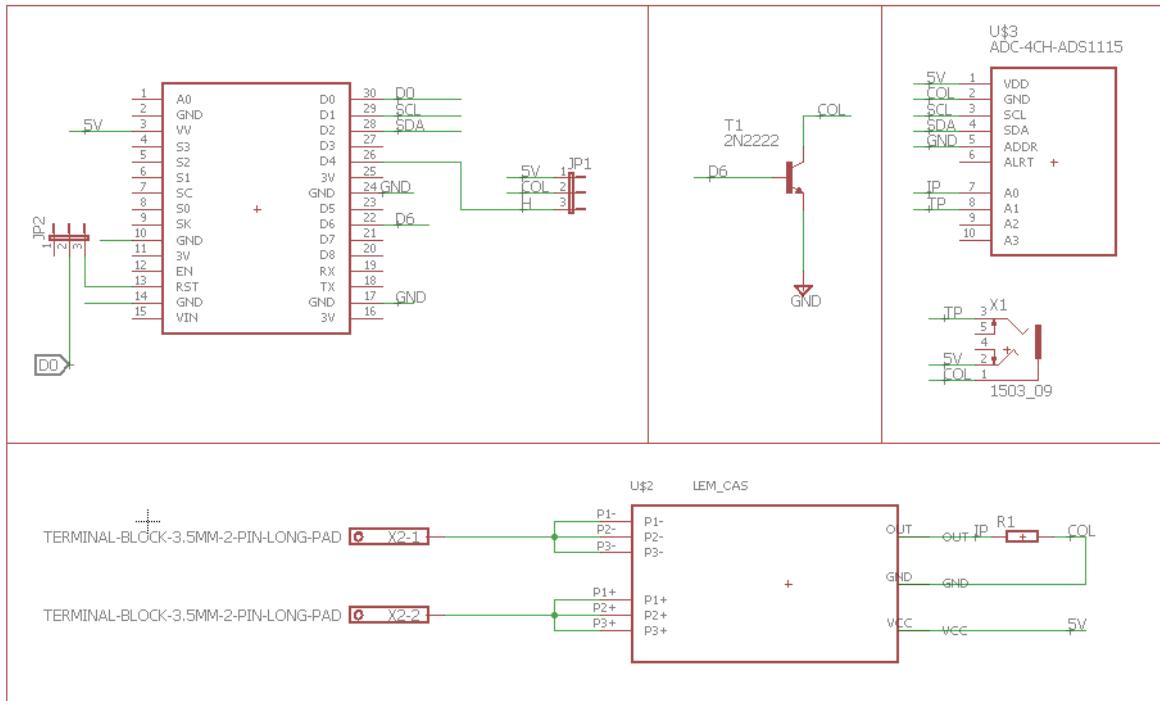
Apéndice 2 Diseño PCB del nodo 1



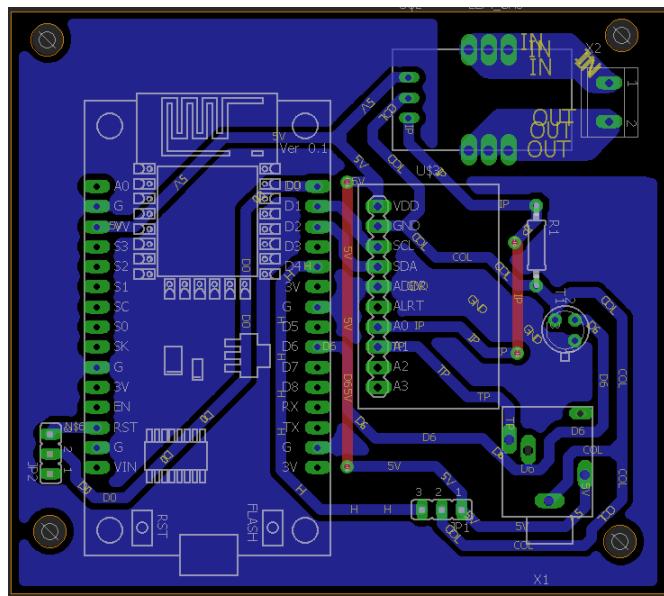
Apéndice 3 Diseño PCB del nodo 2



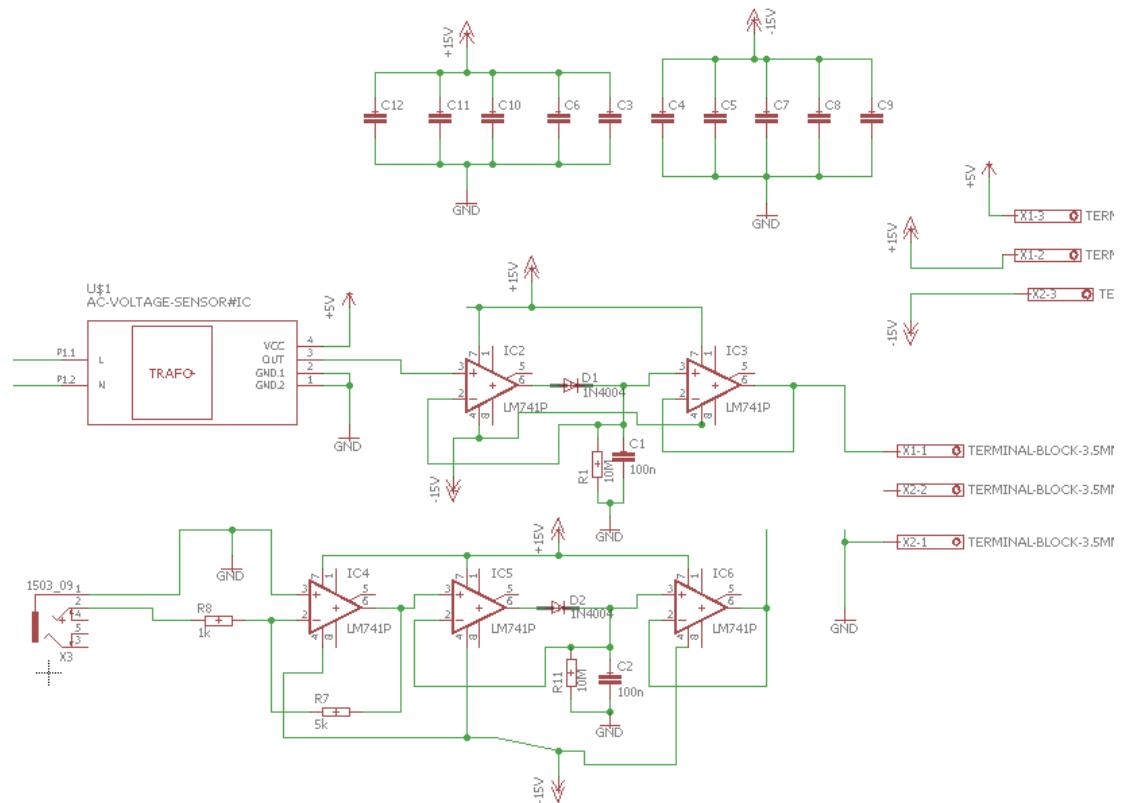
Apéndice 4 Esquemático del nodo 3



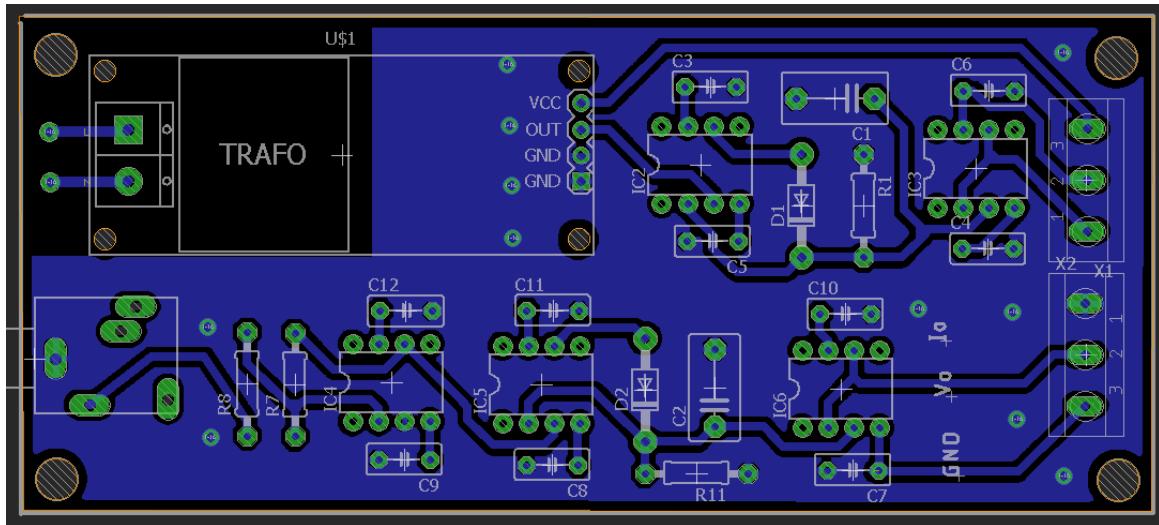
Apéndice 5 Diseño PCB del nodo 3



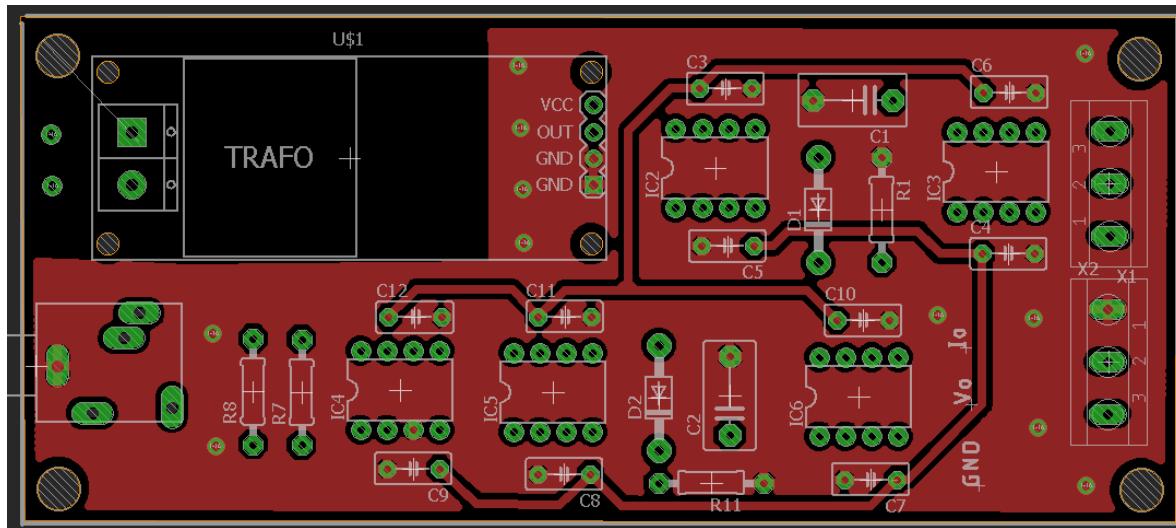
Apéndice 6 Esquemático del circuito adecuador



Apéndice 7 Diseño PCB del circuito adecuador capa superior



Apéndice 8 Diseño PCB del circuito adecuador capa inferior.



Apéndice 9 enlace para los códigos utilizados.

<https://github.com/emanuelmg/monitoreo-iot>