



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

**“REPOTENCIACIÓN DEL SISTEMA DE MEDICIÓN DE
RADIACIÓN UV DE LA FIE INCORPORANDO
FUNCIONALIDADES DE IOT Y AUTONOMÍA ELÉCTRICA
PARA REGISTRO DE DATOS EN SERVIDOR IOT.”**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:
INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

AUTOR:

EDGAR DAVID LLAMUCA PERUGACHI

Riobamba – Ecuador

2023



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

**“REPOTENCIACIÓN DEL SISTEMA DE MEDICIÓN DE
RADIACIÓN UV DE LA FIE INCORPORANDO
FUNCIONALIDADES DE IOT Y AUTONOMÍA ELÉCTRICA
PARA REGISTRO DE DATOS EN SERVIDOR IOT.”**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:
INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

AUTOR: EDGAR DAVID LLAMUCA PERUGACHI

DIRECTOR ING. JORGE HERNÁNDEZ AMBATO PH.D.

Riobamba – Ecuador

2023

© 2023, Edgar David Llamuca Perugachi

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

Yo, Edgar David Llamuca Perugachi, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 14 de noviembre de 2023



Edgar David Llamuca Perugachi

180399824-2

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; tipo: Proyecto Técnico, “**REPOTENCIACIÓN DEL SISTEMA DE MEDICIÓN DE RADIACIÓN UV DE LA FIE INCORPORANDO FUNCIONALIDADES DE IOT Y AUTONOMÍA ELÉCTRICA PARA REGISTRO DE DATOS EN SERVIDOR IOT.**” realizado por el señor: **EDGAR DAVID LLAMUCA PERUGACHI**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Ramiro Fernando Isa Jara PhD. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2023-11-14
Ing. Jorge Luis Hernández Ambato PhD. DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-11-14
Ing. Diego Sebastián Santana Alarcón Msc ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-11-14

DEDICATORIA

A mi familia y especialmente a mi madre, por su sabiduría, amor y apoyo incondicional. Este Trabajo de Integración Curricular es resultado de su inspiración y aliento a lo largo de mi carrera académica. También, dedico este trabajo a mi futura esposa Karen, quien es mi gran apoyo para seguir a delante en los días más tormentosos y mi hija Danna, quien es mi mayor fortaleza y motor de vida; las amo mucho.

David

AGRADECIMIENTO

Doy gracias a Dios por haber puesto a las personas correctas en esta travesía académica. A mi mentor, ejemplo a seguir como persona y profesional, el Dr. Jorge Hernández, quien, con su experticia, orientación, y paciencia infinita ha sido fundamental para el éxito de este trabajo. Sin olvidar a la emblemática ESPOCH, doy gracias por haberme brindado la oportunidad de cursar esta etapa académica, la cual ha sabido forjar a un profesional con ética y compromiso con la sociedad.

David

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xii
ÍNDICE DE ECUACIONES	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS	xv
RESUMEN.....	xvi
SUMMARY	xvii
INTRODUCCIÓN	1

CAPITULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	2
1.1. Planteamiento del problema.....	2
1.2. Justificación	2
<i>1.2.1. Justificación teórica</i>	<i>2</i>
<i>1.2.2. Justificación aplicativa</i>	<i>3</i>
1.3. Objetivos	4
<i>1.3.1. Objetivo General.....</i>	<i>4</i>
<i>1.3.2. Objetivos Específicos.....</i>	<i>4</i>

CAPITULO II

2. MARCO TEÓRICO	6
2.1. Radiación Solar	6
<i>2.1.1. Radiación Ultravioleta</i>	<i>7</i>
<i>2.1.1.1. Radiación UVA</i>	<i>7</i>
<i>2.1.1.2. Radiación UVB</i>	<i>7</i>
<i>2.1.1.3. Radiación UVC</i>	<i>8</i>
2.2. Radiación UV en la Salud.....	8
<i>2.2.1. Antecedentes de dispositivos de radiación UV en la salud</i>	<i>8</i>
<i>2.2.2. Efectos de la radiación UV sobre la piel</i>	<i>8</i>
2.3. Índice de la radiación ultravioleta solar mundial	9
<i>2.3.1. Escala de colores del IUV.....</i>	<i>9</i>
<i>2.3.2. Mensajes de prevención del IUV</i>	<i>9</i>

2.4.	Revisión de dispositivos de medición de IUV reportados en literatura.....	10
2.4.1.	<i>UVmáforo (Universidad Centroamericana José Simeón Cañas – El Salvador) ...</i>	<i>10</i>
2.4.2.	<i>Medidor de radiación UV (Universidad Politécnica Salesiana - Ecuador)</i>	<i>11</i>
2.4.3.	<i>Infosolar (Escuela Superior Politécnica de Chimborazo - Ecuador)</i>	<i>11</i>
2.5.	Elementos de un sistema fotovoltaico autosostenible.....	12
2.5.1.	<i>Paneles Solares.....</i>	<i>13</i>
2.5.2.	<i>Baterías.....</i>	<i>13</i>
2.5.2.1.	<i>Banco de baterías.....</i>	<i>14</i>
2.5.3.	<i>Controladores de carga.....</i>	<i>15</i>
2.5.4.	<i>Inversores</i>	<i>15</i>
2.6.	Convertidores DC-DC	16
2.6.1.	<i>Convertidores unidireccionales</i>	<i>16</i>
2.6.1.1.	<i>Convertidor Buck (Reductor).....</i>	<i>16</i>
2.6.1.2.	<i>Convertidor Boost (Elevador).....</i>	<i>17</i>
2.6.2.	<i>Convertidor bidireccional</i>	<i>18</i>
2.6.2.1.	<i>Convertidor Buck-Boost (Reductor-Elevador).....</i>	<i>18</i>
2.7.	Técnicas de seguimiento de punto máximo de potencia	18
2.7.1.	<i>Algoritmo perturbar y observar (P&O)</i>	<i>20</i>
2.8.	Internet de las Cosas	21
2.8.1.	<i>Arquitectura de IoT.....</i>	<i>22</i>
2.8.1.1.	<i>Capa de Percepción.....</i>	<i>22</i>
2.8.1.2.	<i>Capa de Red.....</i>	<i>23</i>
2.8.1.3.	<i>Capa de software intermedio</i>	<i>23</i>
2.8.1.4.	<i>Capa de aplicación</i>	<i>24</i>
2.8.2.	<i>Protocolos de IoT</i>	<i>24</i>
2.8.2.1.	<i>AMQP.....</i>	<i>25</i>
2.8.2.2.	<i>MQTT.....</i>	<i>25</i>
2.8.2.3.	<i>DDS.....</i>	<i>26</i>
2.8.2.4.	<i>XMPP.....</i>	<i>27</i>
2.8.2.5.	<i>COAP.....</i>	<i>28</i>
2.8.3.	<i>Adquisición de datos en IoT.....</i>	<i>28</i>
2.8.4.	<i>Servidores para IoT.....</i>	<i>29</i>
 CAPITULO III		
3.	MARCO METODOLÓGICO.....	31

3.1.	Metodología cascada	31
3.2.	Estado del dispositivo previo a la repotenciación.....	31
3.2.1.	<i>Estructura metálica externa.....</i>	31
3.2.2.	<i>Estructura metálica interna.....</i>	32
3.2.3.	<i>Fotodetector de índice UV.....</i>	33
3.2.4.	<i>Paneles solares</i>	34
3.2.5.	<i>Controlador de carga de la batería.....</i>	34
3.2.6.	<i>Batería</i>	34
3.2.7.	<i>Módulo reductor de voltaje DC-DC.....</i>	35
3.2.8.	<i>Módulos de visualización de mensajes</i>	35
3.2.9.	<i>Paneles matriciales de LEDS.....</i>	36
3.2.10.	<i>Inversor.....</i>	36
3.2.11.	<i>Fuente de alimentación para computadora</i>	37
3.2.12.	<i>Cables y conexiones eléctricas.....</i>	37
3.3.	Requerimientos del dispositivo a repotenciar.....	38
3.4.	Arquitectura general Hardware del dispositivo.....	39
3.5.	Descripción de elementos que conforman el dispositivo.....	39
3.5.1.	<i>Bloque del sistema energético.....</i>	39
3.5.1.1.	<i>Modulo fotovoltaico Exmork.....</i>	39
3.5.1.2.	<i>Batería de Gel Pro-Viento</i>	40
3.5.1.3.	<i>Controlador de carga solar Morningstar SHS-6.....</i>	41
3.5.2.	<i>Bloque de la unidad central de procesamiento</i>	41
3.5.2.1.	<i>Microcontrolador ATmega 2560.....</i>	42
3.5.2.2.	<i>Sensor de corriente ACS712</i>	43
3.5.2.3.	<i>ACPL-C780A</i>	43
3.5.2.4.	<i>OPA197.....</i>	44
3.5.2.5.	<i>Fotorresistor</i>	44
3.5.3.	<i>Bloque de lectura de IUUV y visualización de mensajes.....</i>	45
3.5.3.1.	<i>Microcontrolador ATmega328P.....</i>	45
3.5.3.2.	<i>Fotodetector TOCON_2.....</i>	45
3.5.3.3.	<i>Convertidor DC/DC Buck.....</i>	45
3.5.3.4.	<i>HD-W00 Controller</i>	46
3.5.3.5.	<i>Mono Color LED Matrix Panel P-10.....</i>	46
3.5.3.6.	<i>RGB LED Matrix Panel.....</i>	47
3.5.4.	<i>Bloque de Comunicación WiFi.....</i>	47
3.5.4.1.	<i>Xtensa L106.....</i>	47

3.6.	Herramientas Software del dispositivo	48
3.6.1.	<i>Arduino IDE 2.1.1</i>	48
3.6.2.	<i>Software de microcontrolador maestro</i>	48
3.6.3.	<i>Software de Microcontrolador esclavo 1</i>	48
3.6.4.	<i>Software de Microcontrolador esclavo 2</i>	49
3.6.4.1.	<i>Blynk.Cloud Broker IoT</i>	51
3.7.	Diseño de placas PCB del dispositivo	51

CAPITULO IV

4.	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	54
4.1.	Infraestructura metálica del dispositivo repotenciado	54
4.2.	Programación y reacondicionamiento de paneles LED.....	55
4.3.	Montaje de componentes electrónicos sobre placas PCB 1 y 2	56
4.4.	Integración y montaje del sistema Infosolar IUV	56
4.5.	Pruebas de lectura y adquisición de medidas sobre el dispositivo.....	57
4.5.1.	<i>Ajuste de los sensores de voltaje</i>	57
4.6.	Pruebas de adquisición de datos en servidor IoT.....	59
4.7.	Integración del sistema repotenciado	59
4.8.	Análisis del funcionamiento para encendido y apagado del sistema	60
4.9.	Análisis de la autonomía del sistema	61
4.10.	Validación del dispositivo respecto al INAMHI.....	62
4.11.	Análisis económico del sistema repotenciado	64
	CONCLUSIONES.....	66
	RECOMENDACIONES.....	67

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2: Tipo de radiación solar según su longitud de onda.....	7
Tabla 1-3: Placa técnica del módulo Exmork P-50.....	40
Tabla 2-3: Ficha técnica del Controlador de carga PWM.....	41
Tabla 3-3: Líneas de Conexión	42
Tabla 4-3: Modelos de sensor de corriente ACS712.....	43
Tabla 5-3: Ficha técnica del convertidor Buck	46
Tabla 6-3: Panel LED P-10 Mono Color	47
Tabla 7-3: Panel LED RGB	47
Tabla 1-4: Voltaje real vs voltaje de microcontrolador.....	58
Tabla 2-4: Autonomía del sistema	61
Tabla 3-4: Registro de datos IUV en Dispositivo e INAMHI.....	62
Tabla 4-4: Costo total de la repotenciación del sistema Infosolar	65

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-1:	Diagrama general del Dispositivo.....	4
Ilustración 1-2:	Categorías de exposición a la radiación UV	9
Ilustración 2-2:	Mensajes de prevención de acuerdo con el nivel del índice UV.....	10
Ilustración 3-2:	UVmáforo	11
Ilustración 4-2:	Medidor de radiación UV	11
Ilustración 5-2:	Infosolar	12
Ilustración 6-2:	Panel Solar	13
Ilustración 7-2:	Batería de sulfato de plomo	14
Ilustración 8-2:	Banco de baterías de plomo-ácido	15
Ilustración 9-2:	Controlador de carga para baterías	15
Ilustración 10-2:	Inversor	15
Ilustración 11-2:	Esquema del convertidor DC-DC tipo Buck (Reductor)	17
Ilustración 12-2:	Esquema del convertidor DC-DC tipo Boost (Elevador).....	17
Ilustración 13-2:	Esquema del convertidor DC-DC tipo Buck-Boost (Reductor-Elevador)..	18
Ilustración 14-2:	Curva característica I-V	19
Ilustración 15-2:	Esquema de MPPT hacia convertidores DC-DC	20
Ilustración 16-2:	Curva P-V del algoritmo P&O.....	21
Ilustración 17-2:	Algoritmo P&O con respecto al voltaje de referencia	21
Ilustración 18-2:	Arquitectura de IoT de tres y cuatro capas	22
Ilustración 19-2:	Computación ubicua	24
Ilustración 20-2:	Protocolos de IoT en cada capa.	25
Ilustración 21-2:	Editores y suscriptores de AMQP.....	25
Ilustración 22-2:	Componentes de MQTT.	26
Ilustración 23-2:	Estructura del protocolo DDS	27
Ilustración 24-2:	Estructura de XMPP	27
Ilustración 25-2:	Estructura del protocolo COAP	28
Ilustración 1-3:	Metodología cascada.....	31
Ilustración 2-3:	Estructura exterior del Infosolar.	32
Ilustración 3-3:	Estructura interior del Infosolar (Espaldar).	32
Ilustración 4-3:	Estructura interior del Infosolar (Puerta).	33
Ilustración 5-3:	Fotodetector IUUV.	33
Ilustración 6-3:	Paneles Solares.	34
Ilustración 7-3:	Morningstar SHS-6.	34

Ilustración 8-3:	Batería UCG RANGE.....	35
Ilustración 9-3:	Convertidor Buck.....	35
Ilustración 10-3:	Funcionamiento de tarjetas.	36
Ilustración 11-3:	Panel matricial de leds.	36
Ilustración 12-3:	Inversor.	37
Ilustración 13-3:	Fuente de alimentación	37
Ilustración 14-3:	Cables del Infosolar.	37
Ilustración 15-3:	Arquitectura general del Infosolar.	39
Ilustración 16-3:	Arquitectura de funcionamiento entre microcontroladores.....	42
Ilustración 17-3:	Arduino Mega	43
Ilustración 18-3:	LDR	44
Ilustración 19-3:	Arduino UNO	45
Ilustración 20-3:	HD - W00.....	46
Ilustración 21-3:	NODE MCU 12E.....	48
Ilustración 22-3:	Diagrama de flujo microcontrolador maestro	49
Ilustración 23-3:	Diagrama de flujo microcontrolador esclavo 1	50
Ilustración 24-3:	Diagrama de flujo microcontrolador esclavo 2.....	50
Ilustración 25-3:	Logo de la plataforma Blynk.Cloud Broker IoT.....	51
Ilustración 26-3:	PCB número 1.....	52
Ilustración 27-3:	PCB número 2.....	52
Ilustración 28-3:	Dashboard IoT	53
Ilustración 1-4:	Infraestructura repotenciada.....	55
Ilustración 2-4:	Módulos matriciales LED.....	55
Ilustración 3-4:	Componentes sobre placa PCB 1	56
Ilustración 4-4:	Componentes sobre placa PCB 2.....	56
Ilustración 5-4:	Integración y montaje del Infosolar	57
Ilustración 6-4:	Valores reales vs valores presentados en microcontrolador	59
Ilustración 7-4:	Registro de datos en servidor de IoT	59
Ilustración 8-4:	Integración del sistema finalizado	60
Ilustración 9-4:	Carga apagada a las 6:30pm	61
Ilustración 10-4:	Índices UV del dispositivo e INAMHI	63
Ilustración 11-4:	Método LSD de Fisher.....	63
Ilustración 12-4:	Gráfica de intervalos con 95% de confianza.....	64
Ilustración 13-4:	Comparativa porcentual de cada bloque del dispositivo.....	64

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1-3:	Potencia en la batería	40
Ecuación 2-3:	Potencia en la carga	40
Ecuación 3-3:	Horas.....	40
Ecuación 1-4:	Tiempo de autonomía	61

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: ESTADO DE LA ESTRUCTURA METALICA EXTERIOR

ANEXO B: ESTADO DE LA ESTRUCTURA METALICA INTERIOR

ANEXO C: FOTODETECTOR

ANEXO D: PANELES SOLARES

ANEXO E: BATERIA

ANEXO F: TARJETAS PARA VISUALIZACIÓN DE MENSAJES

ANEXO G: CABLES Y CONEXIONES ELECTRICAS

ANEXO H: HOJA TECNICA DE LA BATERIA

ANEXO I: HOJA TECNICA DE C780A

ANEXO J: HOJA TECNICA DE OPA197

ANEXO K: LECTURAS FALSAS DE IUUV

ANEXO L: MÓDULOS DE MENSAJES LED

ANEXO M: SOLDADURA DE ELEMENTOS SOBRE PLACA PCB 2

ANEXO N: DATOS DE IUUV REGISTRADOS DEL DISPOSITIVO E INAMHI

ANEXO O: METODO ESTADISTICO ANOVA

RESUMEN

El Infosolar es un dispositivo ubicado en los exteriores de la Facultad de Informática y Electrónica, el cual mostraba los índices de radiación ultravioleta en tiempo real, debido a la falta de mantenimiento se encontró deteriorado, por lo tanto, el objetivo del presente trabajo fue repotenciar dicho dispositivo incorporando nuevas funcionalidades como IoT y autonomía eléctrica para registrar datos del dispositivo en servidor IoT, año 2023. La metodología en cascada se implementó en este trabajo, ya que parte desde la concepción de los requerimientos del dispositivo, se aplica un diseño para su arquitectura y con ello la implementación y verificación del dispositivo. Mediante esta metodología se logró implementar al dispositivo en tres módulos. El primer módulo recepta los valores del fotodetector y está destinado, para que la población pueda visualizar los mensajes a través de paneles LED, El segundo módulo recepta los valores de índices UV del primer módulo por comunicación UART y además realiza la adquisición de los valores de voltaje y corriente de: paneles fotovoltaicos, batería y carga; la carga es referida a la potencia consumida del primer módulo. El tercer modulo recepta toda la información por comunicación UART del segundo módulo y lo trasmite por medio de WiFi hacia los servidores de IoT. Se aplicó la técnica estadística de ANOVA, donde se utilizó el método de diferencia mínima significativa para la validación de datos de IUUV del dispositivo con respecto al Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología y como resultado el dispositivo muestra los datos de IUUV con 95% de confianza. Luego de visualizar física y virtualmente los datos del sistema en la plataforma de IoT con su aplicación móvil, se puede concluir que el equipo queda en estado operativo con sus requerimientos planteados para este trabajo de titulación.

Palabras clave: <RADIACIÓN UV>, <SISTEMAS DE MEDICIÓN UV>, <AUTONOMÍA ENERGÉTICA>, <ENERGÍA FOTOVOLTAICAS>, <ALGORITMO MPPT>, <CARGA DE BATERÍAS>, <INTERNET DE LAS COSAS>, <PROTOCOLO MQTT>.

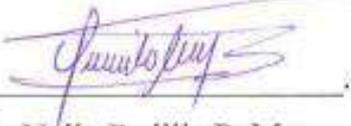
T>.



SUMMARY

The Infosolar is a device located outside the Faculty of Informatics and Electronics, which showed the ultraviolet radiation indices in real time, due to lack of maintenance it was found deteriorated, therefore, the objective of this work was to repower the device incorporating new functionalities such as IoT and electrical autonomy to record device data in an IoT server, year 2023. The Waterfall methodology was implemented in this work, because of, it starts from the conception of the device requirements, a design is applied for its architecture and with it the implementation and verification of the device. Using this methodology, the device was implemented in three modules. The first module receives the values from the photodetector and is intended so that the population can view the messages through LED panels. The second module receives the UV index values from the first module through UART communication and acquires the values of voltage and current of: photovoltaic panels, battery and load; the load is referred to the power consumed by the first module. The third module receives all the information via UART communication from the second module and transmits it through WiFi to the IoT servers. The ANOVA statistical technique was applied, where the least significant difference method was used to validate the IUV data of the device with respect to the National Institute of Meteorology and Hydrology and as a result the device displays the IUV data with 95% confidence. After physically and virtually viewing the system data on the IoT platform with its mobile application, it can be concluded that the equipment is in operational status with its requirements set for this degree work.

Keywords: <UV RADIATION>, <UV MEASUREMENT SYSTEMS>, <ENERGY AUTONOMY>, <PHOTOVOLTAIC ENERGY>, <MPPT ALGORITHM>, <BATTERY CHARGE>, <INTERNET OF THINGS>, <MQTT PROTOCOL>.



Lic. Nelly Padilla P. Mgs.

0603818717

DOCENTE FIE

INTRODUCCIÓN

El índice de radiación ultravioleta (UV) es un factor crucial para comprender y mitigar los efectos dañinos de la radiación solar en la salud humana. El índice UV proporciona información sobre la intensidad de los rayos UV del sol y su capacidad para causar quemaduras, envejecimiento prematuro de la piel y aumentar el riesgo de cáncer de piel. Conocer el índice UV permite a las personas tomar precauciones adecuadas al exponerse al sol, como usar protector solar, ropa protectora y evitar la exposición durante las horas pico de radiación. También ayuda a planificar actividades al aire libre de manera más segura y a mantener la conciencia sobre los riesgos asociados con la radiación UV (OMS, 2018).

En los EE. UU., el sistema de monitoreo UVMRP del Ministerio de Agricultura para controlar las variaciones espaciales y temporales de la radiación ultravioleta solar ha estado operando con éxito durante muchos años. Los autores desarrollaron un modelo del sistema, que incluye la arquitectura, la red de monitoreo, los algoritmos para la recopilación y el procesamiento de datos, las formas de registro y transferencia de datos y el protocolo de registradores, así como, el programa de almacenamiento y publicación de los datos. Tal diseño, según los autores, se aplica a muchas tareas de monitoreo UV (XINLI, et al., 2004).

En Riobamba, según GITCE (2021) de la Facultad de Informática y Electrónica (FIE), presentó resultados del proyecto de investigación “Mapeo del voltaje de las ondas electromagnéticas en las bandas UV-A y UV-B e IUV en Riobamba” donde se demuestra que el IUV máximo detectado en Riobamba es extremo, con un valor de 16 IUV, sin embargo, esporádicamente se ha medido hasta 17 IUV. Este mismo grupo de investigación en 2017 implementó un medidor de índice de radiación UV (infosolar) en los exteriores de la FIE. Sin embargo, este sistema se encontraba en desuso y sin funcionar debido a la falta de mantenimiento, seguimiento y monitoreo de los componentes del mismo, por lo cual era necesario una intervención.

En este sentido, el presente trabajo presenta las actividades ejecutadas y los resultados alcanzados en la repotenciación del mencionado infosolar. Dicha repotenciación comprendió actividades de restauración de la infraestructura, rediseño de las etapas de generación, almacenamiento y alimentación de energía eléctrica, así como nuevos paneles de visualización. Además, se incluyeron características como conectividad WiFi para la integración de funcionalidades IoT para el monitoreo de datos de voltajes y corrientes del sistema, así como el mismo índice IUV, entre otras. Estas actividades desarrolladas y los resultados alcanzados, así como una revisión de conceptos fundamentales, son descritos en los capítulos y secciones siguientes.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

En este primer capítulo se expone el diagnóstico del problema que tiene como objetivo presentar motivaciones que impulsa realizar la repotenciación del sistema de medición de radiación ultravioleta (UV). El procedimiento implica: el cuestionamiento de desarrollarlo, el por qué realizarlo y objetivos a desarrollar.

1.1. Planteamiento del problema

¿Es posible la repotenciación del sistema de medición de radiación UV de la FIE incorporando funcionalidades de internet de las cosas (IoT) y Autonomía Eléctrica para registro de datos en servidor IoT?

1.2. Justificación

1.2.1. *Justificación teórica*

Los problemas de salud sobre la piel humana son el resultado de la exposición a la radiación UV emitidas por el sol, ya que la piel presenta una leve protección que solo puede reflejar el 5% de dicha radiación. Se ha demostrado que todos los tipos de radiación solar provoca efectos adversos sobre la piel, debido a que producen efectos fotobiológicos y son más severos a medida que se incrementa la altura sobre el nivel del mar. Se estima que el nivel de radiación incidente sobre la superficie de la tierra aumenta en un 15% por cada mil metros de altitud, además, su intensidad varía de acuerdo con la hora y las condiciones ambientales (PASQUALE, et al., 2013)

En este contexto, es importante conocer sobre la intensidad de radiación UV que incide sobre las personas que frecuentan la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), la cual está ubicada en Riobamba a 2754msnm. En tal virtud la búsqueda de dispositivos tecnológicos o mecanismos de ingeniería electrónica que ayude a la difusión de índices de radiación solar como medio de información anticipada es imprescindible (LÓPEZ PÉREZ, et al., 2016).

Para el monitoreo de la radiación UV, se han desarrollado diversos dispositivos que son capaces de medir dicha radiación en tiempo real. Estos permiten mediante una interfaz simple mantener informada a la población que se encuentra en su rango de visualización. Por lo tanto, es necesario

ubicarlos en un lugar donde sea visible y a la vez reciba directamente la radiación UV para su oportuna medición (ACURIO MALDONADO, 2021).

En Riobamba, la ESPOCH, tiene un sistema electrónico de monitoreo de índices de radiación UV llamado “Infosolar”, el cual fue ubicado en los exteriores de la Facultad de Informática y Electrónica (FIE) y fue desarrollado por “Cristina López y Jessica Mancheno” como trabajo de titulación de la FIE en el año 2016; hoy en día se encuentra en desuso.

El Infosolar se encuentra corroído y oxidado en gran parte de su infraestructura, el tablero matricial de leds no se encuentra funcionando y su cartel con los índices de radiación UV se encuentra borroso. Al encontrarse en desuso, el material electrónico podría llegar a dañarse por completo, lo cual provocaría basura electrónica.

Un sistema electrónico en desuso e inservible tendrá un impacto en el ecosistema, debido a los desechos electrónicos que son el tipo de basura con mayor crecimiento en los últimos años. Por lo que, una vez concluido su vida útil deben recibir un manejo acorde a sus características para no representar un problema ambiental (NIETO PRECIADO, 2021)

En este sentido, se propone el siguiente proyecto técnico que tiene por finalidad la repotenciación del Infosolar aprovechando material eléctrico y electrónico que aún sirva y ponerlo en funcionamiento, de tal forma que sea de gran utilidad para presentar información sobre los índices de radiación UV en tiempo real.

1.2.2. Justificación aplicativa

Este Proyecto Técnico consta de un sensor TOCON_E2, el cual es un fotodetector UV con amplificador integrado que convierte la radiación UV en una salida de voltaje de 0 - 5 V. El pin Vout del TOCON se puede conectar directamente a un controlador, un voltímetro o cualquier otro dispositivo de análisis de datos con entrada de voltaje como es la Unidad Central.

El Panel Solar el cual sirve para que el dispositivo sea autosustentable, se conecta con el Convertidor DC/DC Bidireccional hacia el banco de baterías para recargar las mismas. Por medio del Convertidor Bidireccional, cuando el sistema al detectar que no es suficiente la energía proporcionada por el panel solar brindará la energía almacenada de las baterías hacia todo el sistema del Infosolar.

La Unidad Central es la encargada de controlar y procesar el dispositivo, de forma que recibe las señales del sensor fotodetector para enviarlas por medio del ESP 8266 al Servidor de IoT, controla la autonomía del dispositivo, emite mensajes para la difusión de índices de radiación UV. Dentro de la Unidad Central se encuentra: un Arduino Mega 2560, un Arduino Uno, un NODE MCU 12E y un microcontrolador para los paneles leds.

Mediante protocolo MQTT el dispositivo ESP 8266 se encuentra conectado al Servidor IoT para la recolección, procesamiento y análisis de datos generados por el dispositivo repotenciado.

El panel de leds es el encargado de mostrar la información acerca de los índices de radiación UV detectados en el área. En la ilustración 1-1 mediante una representación de diagramas de bloque se realiza el bosquejo a priori del funcionamiento del dispositivo a repotenciar.

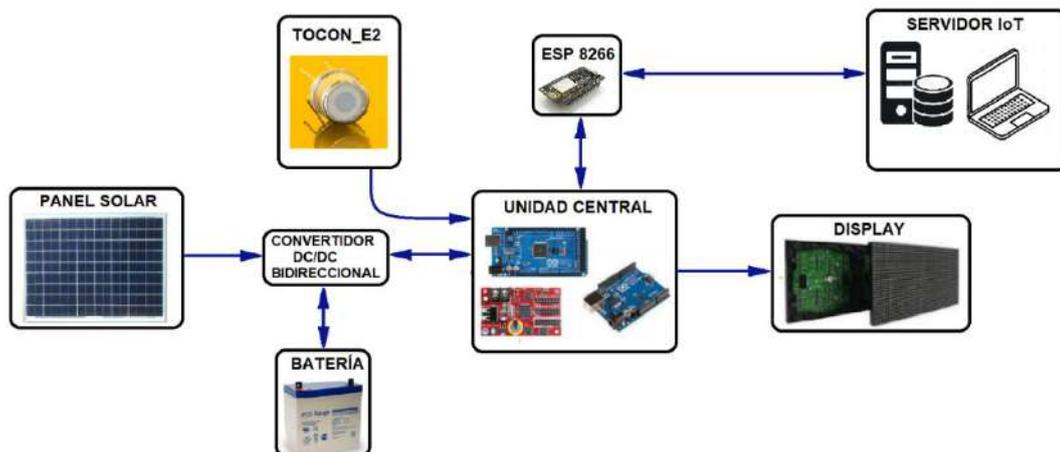


Ilustración 1-1: Diagrama general del Dispositivo

Realizado por: Llamuca Perugachi, David, 2023

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Repotenciar el sistema de medición de radiación UV de la FIE incorporando funcionalidades de IoT y Autonomía Eléctrica para registro de datos en servidor IoT.

1.3.2. Objetivos Específicos.

- Revisar información bibliográfica sobre la radiación ultravioleta, arquitectura, elementos y dispositivos de radiación ultravioleta que han sido desarrollados para la medición y recopilación de datos UV.
- Diseñar las etapas y módulos de control, alimentación y almacenamiento de energía eléctrica generada a partir de panel fotovoltaico para la autonomía del instrumento.
- Desarrollar la interfaz y plataforma IoT para la recolección, almacenamiento y visualización de los datos de radiación UV recolectados usando protocolo MQTT.
- Implementar el instrumento de medición y monitoreo de radiación UV utilizando la misma infraestructura instalada en la FIE para dicho efecto.
- Validar el funcionamiento del instrumento de medición UV desarrollado mediante una comprobación y pruebas de las funcionalidades implementadas como autonomía eléctrica, comunicación IoT y adquisición de datos.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se describe los fundamentos teóricos que permiten desarrollar este Trabajo de Integración Curricular el cual abarca temas como: la radiación solar, tipos de radiación UV, la radiación UV en la salud, instrumentos que permiten medir de la radiación UV, componentes de sistemas eléctricamente autónomos, convertidores de corriente directa a corriente directa e IoT.

2.1. Radiación Solar

El Sol localizado a 150 millones de kilómetros de la Tierra provee la energía necesaria para el desarrollo de los procesos vitales en el planeta. Esta energía se transmite en forma de ondas electromagnéticas en todas direcciones al espacio. Una ínfima parte de esta energía, del orden de unos 200 billones de kilovatios, es recibida por la superficie terrestre (PEREA ESPITIA, 2015).

El espectro de la radiación solar se compone de ondas electromagnéticas que varían grandemente en su longitud de onda, es decir, la distancia en la cual la onda de frecuencia cumple un período completo. Dichas ondas abarcan desde los rayos gamma con longitudes menores a 0,1 nanómetro hasta el espectro infrarrojo que llega a 1 milímetro como se muestra en la Tabla 1-2. Cabe mencionar que, el espectro electromagnético a menor longitud de onda mayor contenido energético. (ACURIO MALDONADO, 2021).

Tabla 1-2: Tipo de radiación solar según su longitud de onda

Clase de radiación	Longitud de onda
Rayos gamma	< 0,1 nm
Rayos X	0,1 – 100 nm
Ultravioleta C (UVC)	100 – 280 nm
Ultravioleta B (UVB)	280 – 320 nm
Ultravioleta A (UVA)	320 – 400 nm
Visible	400 – 700 nm
Infrarrojo A (IRA)	700 nm – 1,4 μm
Infrarrojo B (IRB)	1,4 – 3,0 μm
Infrarrojo C (IRC)	3,0 μm – 1 mm

Fuente: (LORENTE, 2010).

Realizado por: Llamuca Perugachi, David, 2023.

2.1.1. Radiación Ultravioleta

La radiación ultravioleta (UV) es un tipo de radiación electromagnética que tiene una longitud de onda más corta que la luz visible, por lo que, no es visible para el ojo humano. La radiación UV se clasifica en tres tipos: UVA, UVB y UVC. UVA tiene la longitud de onda más larga y es la menos energética, mientras que UVC tiene la longitud de onda más corta y es la más energética. Sin embargo, La UVC es absorbida casi por completo por la atmósfera de la Tierra y no llega a la superficie. La UVB tiene una longitud de onda media y es intermedia en términos de energía. Es responsable de la mayor parte de la radiación UV que llega a la superficie de la Tierra (INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER, 2012).

2.1.1.1. Radiación UVA

Se encuentran en el rango de 320 nm a 400 nm y es ligeramente absorbida por la capa de ozono, por lo que llegan a la superficie terrestre con una irradiancia de 50 W/m² aproximadamente en verano (MELENDEZ, 2021).

2.1.1.2. Radiación UVB

Se encuentran en el rango de 280 nm a 320 nm, parcialmente absorbida por la capa de ozono, alcanza la superficie terrestre con valores energéticos pequeños (inferiores en general a 2 W/m²) pero de efectos biológicos importantes (MELENDEZ, 2021).

2.1.1.3. Radiación UVC

Se encuentra en el rango de 100 nm a 280 nm, es muy perjudicial para los seres vivos, por lo que no alcanza nunca la superficie terrestre ya que se atenúa en la alta atmósfera por la capa de ozono (MELENDEZ, 2021).

2.2. Radiación UV en la Salud

2.2.1. Antecedentes de dispositivos de radiación UV en la salud

De acuerdo con LI, et al., (2018) en un artículo de investigación publicado en la revista "Sensors", "los sistemas de monitoreo de radiación ultravioleta son dispositivos que miden la intensidad de la radiación UV en un área determinada y son importantes para una variedad de aplicaciones, incluida la evaluación de la exposición UV para la salud humana".

En Rusia donde se desarrolló un dispositivo de monitoreo portátil de radiación UV demostró la influencia de la radiación UV en la vida y la salud de las personas ya que los parámetros de la señal de salida permiten no solo conocer valores medidos, sino también ser utilizados para procesamiento e intercambio de datos para crear modos de monitoreo (VINOGRADOVA, 2018).

Otro antecedente es un trabajo de titulación desarrollado en la ciudad de Quito por la Escuela Superior Politécnica Nacional establece que "La medición de la radiación UV por medio de un prototipo y su presentación en una página web puede ser muy útil si se usa en lugares de los cuales no se tiene información específica respecto al índice UV" (CASTRO GILER, 2020).

2.2.2. Efectos de la radiación UV sobre la piel

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2018), la radiación UV está clasificada como carcinógeno humano del Grupo 1, la cual tiene la clasificación más alta para sustancias carcinógenas. Es importante que las personas se protejan de la radiación UV, especialmente durante las horas pico de radiación UV o cuando pasan períodos prolongados al aire libre. Esto se puede hacer mediante el uso de ropa protectora, anteojos de sol y protector solar; a su vez buscando sombra cuando sea posible.

La radiación UV es la principal causa de cáncer de piel y foto envejecimiento. También es responsable del 90 % de todos los cánceres de piel no melanoma y del 86 % de casos de

melanoma. La radiación ultravioleta puede causar daños en el ADN de las células de la piel, lo que lleva al desarrollo de cáncer de piel (ROBINS, 2002).

2.3. Índice de la radiación ultravioleta solar mundial

El índice UV solar mundial (IUV) es una medida de la intensidad de la radiación UV solar sobre la superficie terrestre. Además, se expresa como un valor superior a cero y cuanto más alto, mayor es la probabilidad de lesiones cutáneas y oculares (OMS, 2003).

2.3.1. Escala de colores del IUV

La radiación ultravioleta es medida en W/m², donde la W es watts y m² es referida al área irradiada, estos datos son difíciles de entender por complejidad técnica de medida. Debido a esta razón se vio la necesidad de establecer una medida de la radiación UV. Creando así, una escala de colores como se indica en la ilustración 1-2, la cual indica el nivel de riesgo de la exposición prolongada a los rayos solares (LÓPEZ PÉREZ, et al., 2016).

CATEGORÍA DE EXPOSICIÓN	INTERVALO DE VALORES DEL IUV
BAJA	< 2
MODERADA	3 A 5
ALTA	6 A 7
MUY ALTA	8 A 10
EXTREMADAMENTE ALTA	11+

Ilustración 1-2: Categorías de exposición a la radiación UV

Fuente: (OMS, 2003)

2.3.2. Mensajes de prevención del IUV

En la ilustración 2-2 se observa los mensajes de prevención declaradas por la OMS e indica el intervalo de los valores del IUV, dichos mensajes deben ser sencillos y fáciles de comprender para que la población permanezca informada y ponga en práctica las recomendaciones mostradas cartelera (OMS, 2003).



Ilustración 2-2: Mensajes de prevención de acuerdo con el nivel del índice UV

Fuente: (OMS, 2003)

2.4. Revisión de dispositivos de medición de IUV reportados en literatura

Para lograr el monitoreo de la radiación UV se han desarrollado diferentes dispositivos a nivel mundial. Dichos dispositivos son conocidos como “Solmáforos”. Un solmáforo es un dispositivo que se utiliza para medir la intensidad de la radiación UV. Además, se utilizan para proporcionar información en tiempo real sobre el nivel de riesgo de exposición a la radiación UV y ayuda a las personas a tomar medidas preventivas, como usar protector solar o buscar sombra (SHARMA, et al., 2021).

Poseen una arquitectura relativamente simple el cual consta de tres partes principales:

- **Sensor de radiación UV:** Mide la intensidad de la radiación UV en tiempo real.
- **Microcontrolador:** es el "cerebro" del dispositivo el cual recibe las señales del sensor y procesa la información para clasificar el nivel de riesgo y encender el indicador correspondiente.
- **Indicador LED:** es un conjunto de luces LED que indican el nivel de riesgo para la piel. El solmáforo utiliza la escala de colores de IUV recomendada por la OMS.

A continuación, se presentan algunos ejemplos de dispositivos de medición de IUV.

2.4.1. UVmáforo (Universidad Centroamericana José Simeón Cañas – El Salvador)

En El Salvador se conoce como UVmáforo a la ilustración 3-2. Este dispositivo está dividido en una sección superior denominada como Unidad de Medición de Radiación Solar UV en la cual, ubica al sensor estratégicamente de modo que la radiación incida directamente. Otra sección llamada Unidad de Procesamiento, el cual, recoge las señales de censo y envía la información para que se muestre en un componente visual, éste a su vez, envía a una base de datos (ACURIO MALDONADO, 2021).



Ilustración 3-2: UVmáforo

Fuente: (POHL ALFARO, 2017)

2.4.2. Medidor de radiación UV (Universidad Politécnica Salesiana - Ecuador)

A nivel nacional se han realizado y desarrollado propuestas similares, como es el caso de un prototipo medidor de radiación ultravioleta como se aprecia en la ilustración 4-2 y en la cual se muestra su arquitectura para cumplir con su objetivo. “En el letrero matricial se muestra la hora, índice de radiación UV, humedad y temperatura en forma de mensajes informativos. La tira de leds muestra el color del índice UV captado por el sensor piranómetro” (ZÚÑIGA MIRANDA, y otros, 2019)



Ilustración 4-2: Medidor de radiación UV

Fuente: (ZÚÑIGA MIRANDA, y otros, 2019)

2.4.3. Infosolar (Escuela Superior Politécnica de Chimborazo - Ecuador)

Es un dispositivo, el cual fue implementado por las estudiantes: Cristina López y Jessica Mancheno en el año 2016 como trabajo de titulación. La colaboración de la Ing. Verónica Mora

e Ing. Wilson Baldeón profesores de la FIE los cuales trabajaron sobre este dispositivo en un proyecto de carácter investigativo.

Como antecedente de este dispositivo se conoce que la arquitectura electrónica estaba constituida por: un sensor fotodetector UV el cual convierte la irradiancia a valores de voltaje, mismo que es proporcional a la intensidad de la energía que emite el sol. Esta señal de voltaje era receptada por la unidad central de procesamiento digital. La unidad central era la encargada de receptar las señales emitidas por el sensor fotodetector UV y era responsable de presentar dichas señales en el letrero matricial de leds. Este mostraba el respectivo índice de radiación UV adquirida en tiempo real. El panel solar, mediante un controlador de carga alimentaba la batería y brindaba de energía eléctrica a la unidad central con la ayuda de un convertidor reductor DC-DC. Un inversor, conectado a la batería y después a una fuente ayudaba con energía al letrero de leds (LÓPEZ PÉREZ, et al., 2016).

La ilustración 5-2 muestra al Infosolar funcionando en el año 2016.



Ilustración 5-2: Infosolar

Fuente: (LÓPEZ PÉREZ, et al., 2016)

2.5. Elementos de un sistema fotovoltaico autosostenible

Los sistemas fotovoltaicos autosostenibles, son sistemas de generación de energía eléctrica que utilizan paneles solares para producir electricidad de forma independiente, sin estar conectados a la red eléctrica convencional. Estos sistemas se utilizan comúnmente en lugares remotos donde no hay acceso a la red eléctrica como: Zonas rurales, parques nacionales, islas, etc. Los elementos en esta clase de sistemas son: paneles solares, banco de baterías, controladores de carga, inversores, cables y conectores.

2.5.1. *Paneles Solares*

Son dispositivos que convierten la energía solar en electricidad, utilizando células fotovoltaicas, tal como se muestra en la ilustración 6-2. Además, son una forma popular de generación de energía limpia y sostenible que se utilizan en una amplia variedad de aplicaciones, desde hogares y edificios comerciales, hasta sistemas de energía solar en vehículos y naves espaciales (RAMKUMAR, et al., 2015).



Ilustración 6-2: Panel Solar

Fuente: (ZÚÑIGA MIRANDA, y otros, 2019)

2.5.2. *Baterías*

Las baterías son dispositivos que almacenan energía eléctrica en forma de energía química y la liberan como corriente eléctrica cuando es necesario. Consisten en una o más celdas electroquímicas, que se componen de dos electrodos (un electrodo positivo llamado cátodo y un electrodo negativo llamado ánodo) separados por un electrolito. Las reacciones químicas que ocurren dentro de la batería convierten la energía química almacenada en energía eléctrica. Pueden ser cargadas utilizando energía renovable, como la energía solar, la energía eólica o mediante el alternador de un vehículo a combustión interna y luego utilizarlas para alimentar dispositivos eléctricos o electrónicos (JONES, Lawrence E, 2017).

Cuando se conecta una batería a un circuito externo, se produce una reacción química en los electrodos, lo que hace que los electrones fluyan a través del circuito, creando una corriente eléctrica. Esta corriente puede alimentar varios dispositivos y sistemas, desde pequeños dispositivos electrónicos como teléfonos inteligentes y computadoras portátiles hasta aplicaciones más grandes, como vehículos eléctricos y sistemas de almacenamiento de energía renovable.

Las baterías vienen en varios tamaños y composiciones químicas, incluidas las de plomo-ácido, iones de litio, níquel-cadmio e hidruro de níquel-metal, entre otras. Cada tipo de batería tiene sus propias características en términos de capacidad, voltaje, densidad de energía, vida útil y capacidades de carga/descarga, lo que las hace adecuadas para diferentes aplicaciones según los requisitos específicos. A continuación, se presenta en la ilustración 7-2.



Ilustración 7-2: Batería de sulfato de plomo

Fuente: (ZÚÑIGA MIRANDA, y otros, 2019)

2.5.2.1. Banco de baterías

En la extracción 8-2 se muestra los bancos de baterías, los cuales son un componente esencial en los sistemas fotovoltaicos autónomos, ya que permiten el almacenamiento de energía para su uso posterior cuando no hay suficiente radiación solar para la generación de energía eléctrica. Estos bancos de baterías están compuestos por un conjunto de baterías conectadas en serie o en paralelo, y su capacidad de almacenamiento se mide en amperios-hora (Ah) o kilovatios-hora (kWh). Además, son una solución eficiente para la gestión de la energía en sistemas fotovoltaicos autónomos, y su implementación puede contribuir significativamente a la reducción de costos y al aumento de la autonomía energética en zonas rurales y aisladas (BISQUERT, et al., 2018).

Las baterías de plomo-ácido, específicamente las baterías de ciclo profundo se han utilizado tradicionalmente en los sistemas fotovoltaicos debido a su costo relativamente bajo y su tecnología comprobada. Están disponibles en dos tipos principales: inundados (célula húmeda) y sellados (ácido de plomo regulado por válvula o VRLA). Las baterías VRLA incluyen estera de fibra de vidrio absorbente (AGM) y baterías de gel, que requieren un mantenimiento mínimo y son más adecuadas para instalaciones remotas (IEEE Guide for Selection of Valve-Regulated Lead-Acid (VRLA) Batteries for Stationary Applications, 2008).



Ilustración 8-2: Banco de baterías de plomo-ácido

Fuente: (MEI, 2019)

2.5.3. Controladores de carga

Un regulador de carga en un sistema fotovoltaico autónomo es un componente clave que ayuda a proteger las baterías de los paneles solares de la sobrecarga y la descarga excesiva, lo que prolonga la vida útil de las baterías y aumenta la eficiencia del sistema en general. Una característica de los controladores de carga es la protección extra que le den al panel solar frente a corrientes de retorno. Además, asegura que la energía producida por los paneles solares se cargue de manera óptima (KCHAOU, et al., 2016).

En la ilustración 9-2 se aprecia un ejemplo de controlador de carga para baterías.



Ilustración 9-2: Controlador de carga para baterías

Fuente: (ZÚÑIGA MIRANDA, y otros, 2019)

2.5.4. Inversores

La ilustración 10-2, se puede observar un ejemplo de inversores. Los inversores son componentes usados en los sistemas fotovoltaicos autónomos ya que convierten la corriente continua (DC) producida por los paneles solares en corriente alterna (AC) utilizada por dispositivos eléctricos. Los inversores pueden ser de onda sinusoidal o no sinusoidal, y su elección depende del tipo de carga que se vaya a conectar al sistema (CARRILLO, 2019).



Ilustración 10-2: Inversor

Fuente: (Shenzhen Segre Electronics)

2.6. Convertidores DC-DC

Los convertidores DC-DC son circuitos ampliamente utilizados en electrónica de potencia, su característica principal es la de convertir la tensión de entrada en DC a diferentes niveles de tensión en su salida en DC. El nivel de tensión en su salida puede ser mayor o menor a la tensión de entrada, esto se consigue debido a que, son circuitos que controlan la carga y descarga de energía con sus elementos pasivos almacenadores de energía como condensadores y bobinas (ORTEGA, 2002).

Se pueden encontrar varios tipos de convertidores DC-DC, los cuales se los utiliza generalmente dependiendo de las características de la aplicación. Esto se determina según el tipo de carga que necesite alimentar el convertidor. Existen sistemas unidireccionales que se los conoce también como convertidores de un cuadrante y los sistemas bidireccionales que se subdividen en convertidores de dos y cuatro cuadrantes.

En las siguientes subsecciones se detallan los tipos de configuraciones básicas de los convertidores unidireccionales y bidireccionales.

2.6.1. Convertidores unidireccionales

Es un circuito de electrónica de potencia que están diseñados para transportar la energía eléctrica en una única dirección. Existen dos tipos: Buck y Boost, los cuales se explican en las siguientes subsecciones de este apartado.

2.6.1.1. Convertidor Buck (Reductor)

Conocido también como convertidor reductor o *Step-Down*, asumen el propósito de mantener una tensión de salida inferior a la de la entrada. La configuración de este circuito puede estar representado en lazo abierto o lazo cerrado; éste último se puede regular realizando diferentes tipos de control en caso de variaciones en la tensión de entrada o la carga (ORTEGA, 2002).

En la ilustración 11-2 se presenta el circuito de segundo orden en lazo abierto exceptuando las resistencias internas en cada elemento. Está compuesto por un semiconductor (Sw), un inductor (L), un capacitor (C), un diodo (D), voltaje de entrada (V_{in}) y una resistencia de carga (R_{load}) en la cual reside el voltaje de salida.

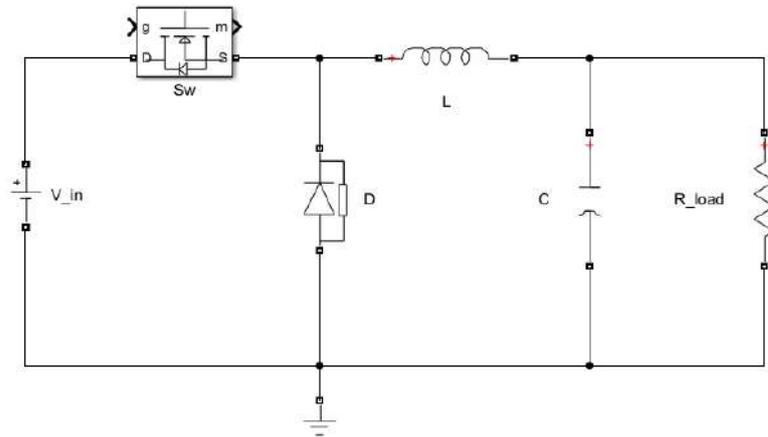


Ilustración 11-2: Esquema del convertidor DC-DC tipo Buck
(Reductor)

Realizado por: Llamuca Perugachi, David, 2023

2.6.1.2. Convertidor Boost (Elevador)

Este convertidor se le conoce como convertidor elevador o *Step-Up*, su función consiste en, mantener una tensión de salida superior a la de la entrada. La configuración de este circuito también puede estar representado en lazo abierto o lazo cerrado. Una aplicación se encuentra en el frenado regenerativo de motores DC (ORTEGA, 2002).

En la ilustración 12-2 se presenta el circuito de segundo orden en lazo abierto exceptuando las resistencias internas en cada elemento. De igual forma, está compuesto por un semiconductor (Sw_1), un inductor (L_1), un capacitor (C_1), un diodo (D_1), voltaje de entrada (V_in) y una resistencia de carga (R_load) en la cual reside el voltaje de salida.

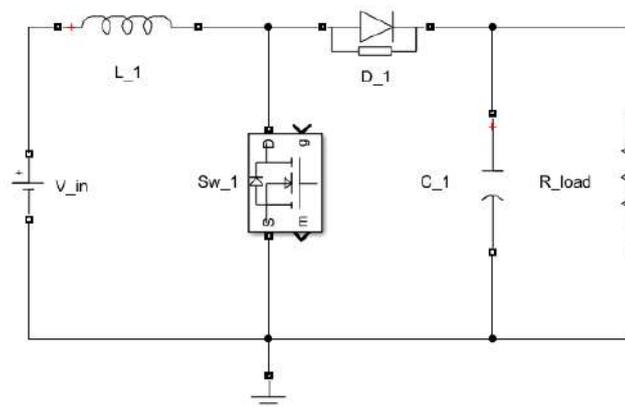


Ilustración 12-2: Esquema del convertidor DC-DC tipo
Boost (Elevador)

Realizado por: Llamuca Perugachi, David, 2023

2.6.2. Convertidor bidireccional

Esta clase de circuitos están diseñados para transportar la energía eléctrica en ambos sentidos. Tal es el caso del convertidor Buck-Boost, en este trabajo se explica el comportamiento de este.

2.6.2.1. Convertidor Buck-Boost (Reductor-Elevador)

Este convertidor es la combinación de los convertidores ya mencionados de allí su nombre Reductor-Elevador. A esta configuración se suministra un voltaje de salida que puede ser menor o mayor que el voltaje de entrada; la polaridad de la tensión de salida es opuesta a la del voltaje de entrada (ORTEGA, 2002).

El funcionamiento de este convertidor sucede cuando el semiconductor (Sw) se cierra y la tensión de entrada (V_{in}) se conecta a la bobina (L), de modo que la intensidad que circula por la inductancia crece linealmente almacenando energía, sin olvidar que el diodo (D) queda polarizado inversamente. A este evento se le conoce como tiempo de encendido (T_{on}).

Una vez transcurrido el T_{on} , el semiconductor se abre y la energía almacenada en la bobina se transfiere a través del diodo y el resto del circuito; se le conoce como tiempo de apagado (T_{off}).

En la ilustración 13-2 de presenta el circuito Buck- Boost.

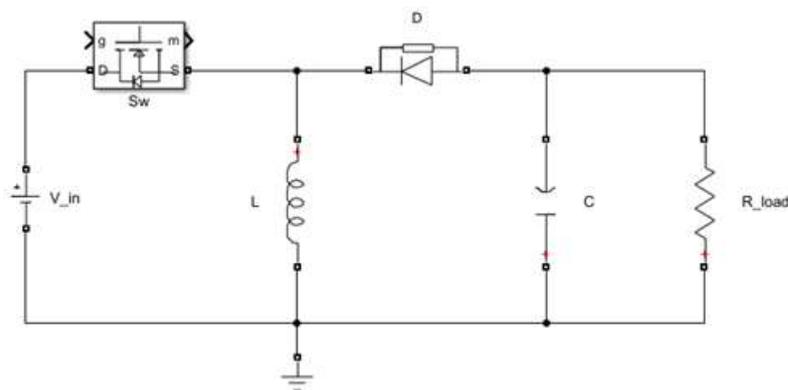


Ilustración 13-2: Esquema del convertidor DC-DC tipo Buck-Boost
(Reductor-Elevador)

Realizado por: Llamuca Perugachi, David, 2023

2.7. Técnicas de seguimiento de punto máximo de potencia

El seguimiento de punto máximo de potencia también conocido como MPPT por sus siglas en inglés (*Maximum Power Point Tracking*), es una técnica utilizada en sistemas de generación de energía eléctrica como: paneles solares y turbinas eólicas. El objetivo principal del MPPT es ajustar continuamente la corriente de entrada para mantenerlo en su punto de máxima eficiencia, a pesar de las variaciones en las condiciones ambientales, como la radiación solar o la velocidad del viento.

En el caso de los paneles fotovoltaicos se presentan curvas características, las cuales son: I-V y P-V, en donde I es la corriente, V es el voltaje y P la potencia producida. Estas curvas varían a lo largo del día, debido a que, la radiación incidente y temperatura en el panel no son constantes, por lo tanto, las curvas tampoco lo son (CALDERÓN HURTADO, 2022). En la ilustración 14-2 se observa la curva característica I-V de un sistema fotovoltaico

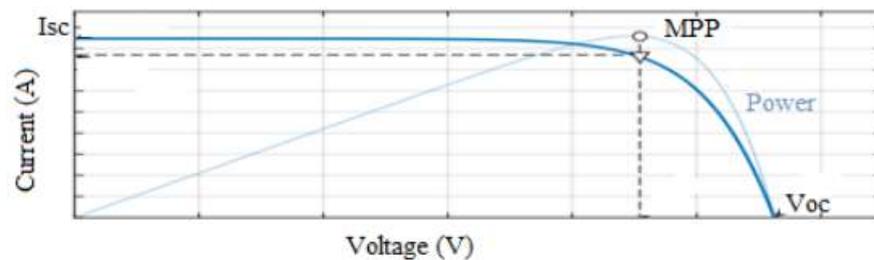


Ilustración 14-2: Curva característica I-V

Fuente: (CALDERÓN HURTADO, 2022)

Se han propuesto diferentes algoritmos de seguimiento del punto de máxima potencia los cuales son: voltaje de circuito abierto fraccional, corriente de cortocircuito fraccional, perturbar y observar (P&O), conductancia incremental (ICT) y algoritmos basados en inteligencia artificial. Estos algoritmos pueden variar en su complejidad, eficiencia, costo y aplicación. En aplicaciones de alta potencia, el costo del control MPPT es bajo en comparación con el costo de la matriz fotovoltaica (PV) y los convertidores de potencia (CHOUDHARY, et al., 2014).

En la ilustración 15-2 muestra el diagrama de bloques básico del convertidor DC-DC que funciona con MPPT

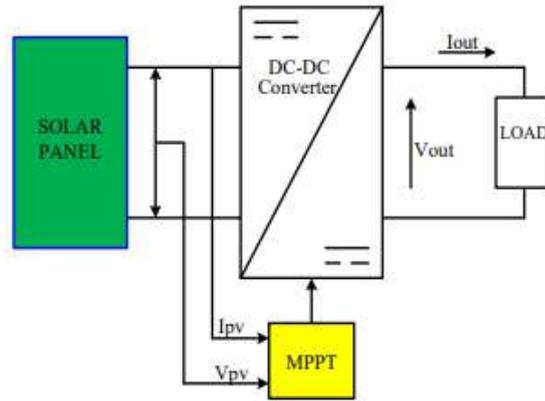


Ilustración 15-2: Esquema de MPPT hacia convertidores DC-DC

Fuente: (CHOUDHARY, et al., 2014).

2.7.1. Algoritmo perturbar y observar (P&O)

La técnica MPPT más utilizada es el algoritmo P&O el cual se basa en medir los valores de voltaje y corriente del sistema fotovoltaico, dando como resultado la potencia producida en ese instante. El valor de potencia calculado se compara luego con el valor de potencia calculado previamente. De tal forma que, se toma una decisión aplicando un aumento o disminución del voltaje para poder alcanzar el punto máximo de potencia (MPP).

Si la variación de la potencia es menor a cero entonces el valor se encuentra a la derecha del MPP, mientras que, si el valor de la variación de potencia es mayor a cero se encuentra a la izquierda del MPP. Obsérvese la curva característica P-V en la ilustración 16-2.

Además, se puede perturbar el punto de funcionamiento del generador fotovoltaico aumentando o disminuyendo un parámetro de control en una pequeña cantidad y midiendo la salida del conjunto fotovoltaico antes y después de la perturbación. Si la potencia aumenta, el algoritmo continúa perturbando el sistema en la misma dirección; de lo contrario, el sistema se perturba en la dirección opuesta (CHOUDHARY, et al., 2014).

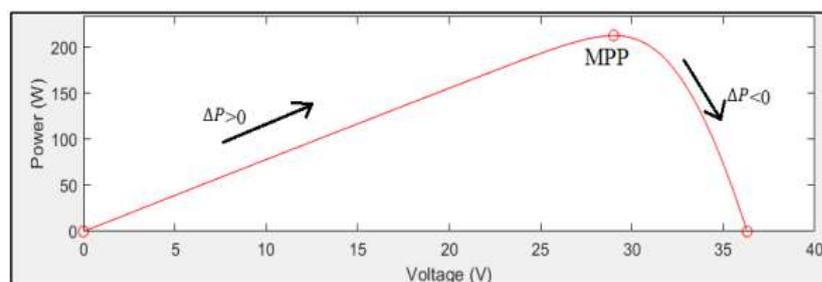


Ilustración 16-2: Curva P-V del algoritmo P&O

Fuente: (CALDERÓN HURTADO, 2022)

En la ilustración 17-2 se representa mediante un diagrama de flujo al algoritmo P&O

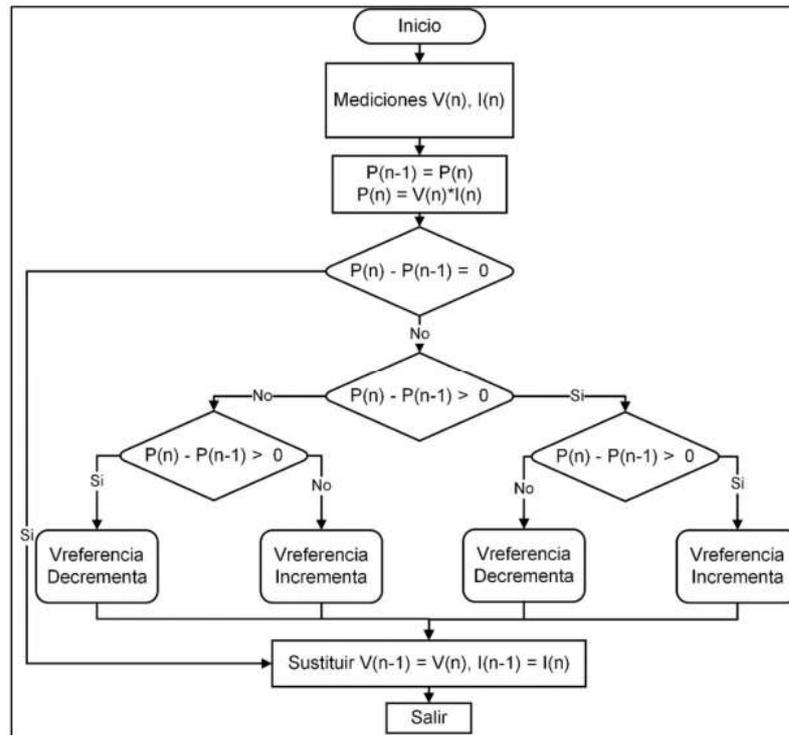


Ilustración 17-2: Algoritmo P&O con respecto al voltaje de referencia

Fuente: (REDDY, et al., 2018)

Donde:

- V(n): Medición de voltaje actual.
- I(n): Medición de corriente actual.
- P(n): Cálculo de potencia actual.
- V(n-1): Medición de voltaje anterior.
- P(n-1) Medición de potencia anterior.
- Vreferencia: Voltaje de referencia que se desea

2.8. Internet de las Cosas

El Internet de las cosas (IoT) es un sistema de interconexión digital que permite a dispositivos y objetos cotidianos estar conectados a Internet, en algunos casos sirven para recopilar y compartir datos en tiempo real, además, es útil para ejecutar procesos automatizados. Estos dispositivos y objetos pueden ser cualquier cosa, desde electrodomésticos y sensores en el hogar, hasta equipos

industriales y vehículos. Según BORGIA (2014), IoT puede aplicarse en diversos campos, como la salud, la agricultura, la energía, la manufactura y el transporte, entre otros, lo que demuestra su versatilidad y alcance.

Para GUBBI, et al. (2012), IoT es "un paradigma emergente que combina objetos cotidianos físicos y dispositivos inteligentes que utilizan sensores y actuadores para conectarse y comunicarse entre sí y con otros dispositivos a través de Internet". En este sentido, IoT tiene el potencial de transformar la vida cotidiana, así como impulsar la eficiencia y la productividad en diferentes sectores de la industria.

2.8.1. *Arquitectura de IoT*

La arquitectura de IoT está compuesta por varias capas o niveles interconectados que permiten la interacción entre dispositivos, servicios y aplicaciones. La arquitectura más básica y ampliamente aceptada es una arquitectura de tres capas, la cual se utilizó por primera vez cuando la investigación estaba comenzando. En estudios recientes, se ha agregado una nueva capa, por lo tanto, vuelve a la arquitectura de IoT en cuatro capas las cuales son: la capa de percepción, la capa de red, la capa de middleware y la capa de aplicación (CHOUDHARY, et al., 2022).

En la ilustración 18-2 se observa los tres niveles en estudios tempranos y los cuatro niveles que se consideran en la actualidad, cabe destacar que ambas arquitecturas son válidas.



Ilustración 18-2: Arquitectura de IoT de tres y cuatro capas

Fuente: (CHOUDHARY, et al., 2022)

2.8.1.1. *Capa de Percepción*

Conocida también como capa de detección su función principal es obtener una muestra de datos del entorno utilizando diferentes tipos de dispositivos de percepción o sensores como: detectores

de humo, sensores de temperatura, sensores de humedad, sensores de luz, sensores químicos y de gas, y otros, recopilan datos relacionados con su tipo. También, procesa los datos para obtener información útil y luego los transmite a la capa de red a través de los dispositivos de acceso a la red, como las puertas de enlace de redes de sensores Inalámbricas (WSN, del inglés Wireless Sensor Networks) (SRINIVASA, et al., 2019).

2.8.1.2. Capa de Red

La función principal de esta capa es la transmisión de información a través de la red que conectan a los dispositivos entre sí y con la nube, por medio de diferentes tecnologías de conectividad tales como: WiFi, Bluetooth, Zigbee, entre otras. El establecimiento de comunicaciones entre puntos finales de Internet y servidores cae dentro del ámbito de este segundo nivel, pero puede presentar riesgos tales como: ataques de denegación de servicio, acceso no autorizado, ataques de intermediarios (*man-in-the-middle*), ataques de virus, confidencialidad, integridad de los datos y Phishing, éste último que consiste en obtener a través de internet datos privados de los usuarios, especialmente para acceder a sus cuentas o datos bancarios (SRINIVASA, et al., 2019).

2.8.1.3. Capa de software intermedio

Conocida también como capa de procesamiento, el propósito de esta capa es facilitar la comunicación entre la capa de red y la capa de aplicación. Además, oculta los detalles del hardware y permite a los desarrolladores concentrarse en el proceso de desarrollo de la aplicación. Esta capa también es responsable de garantizar la interoperabilidad, la escalabilidad, la abstracción y la prestación de servicios a los clientes. La autenticación del usuario junto con un servicio de entrega eficiente considerado como un entorno seguro para la capa. También, conecta a diferentes dispositivos electrónicos y procesadores integrados, dichos dispositivos están constantemente disponibles y completamente conectados, a esto se le conoce como computación ubicua la cual se muestra en la ilustración 19-2 (SRINIVASA, et al., 2019).

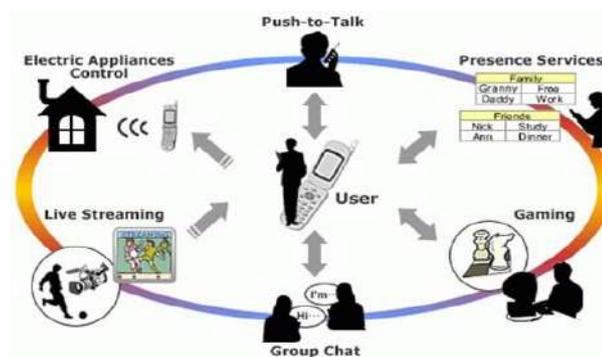


Ilustración 19-2: Computación ubicua

Fuente: (SRINIVASA, et al., 2019).

2.8.1.4. Capa de aplicación

La capa de aplicación se utiliza para crear aplicaciones que satisfagan las necesidades en un entorno de negocio. Actúa como una interfaz entre el IoT y los usuarios, además, proporciona los servicios al cliente. Una gran cantidad de casos de uso de IoT, como "ciudades inteligentes", "hogares inteligentes", "redes inteligentes", "atención médica" y muchos más, se definen en la capa de aplicación. Los temas de robo de datos, invasión de la privacidad y seguridad se tratan aquí, lo cual le hace responsable de cosas como la seguridad de los datos del usuario, la administración financiera y la administración de aplicaciones (CHOUDHARY, et al., 2022).

2.8.2. Protocolos de IoT

En el contexto de IoT, un protocolo es un conjunto de reglas y estándares que definen como los dispositivos IoT deben comunicarse entre sí y con otros sistemas. Los protocolos de IoT pueden abarcar varios aspectos de la comunicación, como la capa de transporte (por ejemplo, TCP, UDP), la capa de aplicación (por ejemplo, HTTP, MQTT) y la capa de red (por ejemplo, IPv4, IPv6). También hay protocolos que se utilizan específicamente en el contexto de la seguridad en IoT, como Seguridad de la capa de transporte (TLS, del inglés *Transport Layer Security*) y Seguridad de capa de transporte de datagramas (DTLS, del inglés *Datagram Transport Layer Security*).

Es importante conocer que no existe un protocolo único que sea adecuado para todas las aplicaciones de IoT. La elección del protocolo adecuado dependerá de las necesidades y requisitos específicos de la aplicación, así como de las limitaciones de los dispositivos IoT que se están utilizando (KRAIJAK, et al., 2015).

En la ilustración 20-2 se observa los diferentes protocolos que existen para cada capa de IoT.

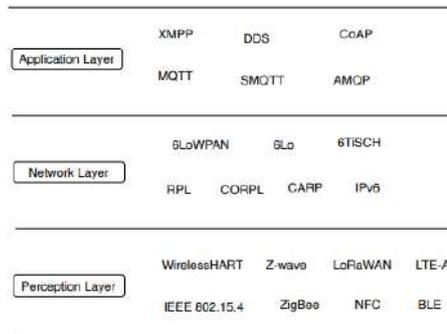


Ilustración 20-2: Protocolos de IoT en cada capa.

Fuente: (CHOUDHARY, et al., 2022)

En las siguientes subsecciones se revisan los detalles y características de los protocolos más utilizados en la capa de aplicación de IoT

2.8.2.1. AMQP

Protocolo de cola de mensajes avanzado (AMQP, del inglés *Advanced Message Queuing Protocol*). Es un protocolo de comunicación de mensajes que se utiliza para sistemas distribuidos en tiempo real. AMQP se utiliza para aplicaciones que requieren alta fiabilidad, como sistemas de control y monitoreo. Tiene la ventaja de almacenar datos y luego reenviarlos. En este la seguridad se gestiona con la ayuda de los protocolos TLS/SSL. Generalmente, se ejecuta sobre TCP. En la ilustración 21-2, muestra los editores y suscriptores de AMQP. Un corredor se divide en dos partes: intercambio y cola. Intercambio: la responsabilidad de recibir mensajes de los editores y distribuirlos a la cola. Colas: se basan en funciones y condiciones predefinidas y envía un mensaje a los suscriptores que se suscriben a esos datos (SRINIVASA, et al., 2019).

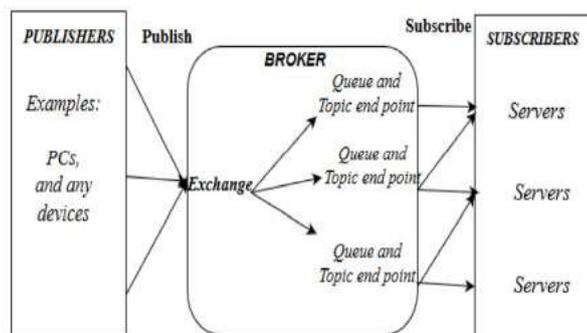


Ilustración 21-2: Editores y suscriptores de AMQP

Fuente: (SRINIVASA, et al., 2019).

2.8.2.2. MQTT

Transporte de telemetría de cola de mensajes (MQTT, del inglés *Message Queue Telemetry Transport*). Es un protocolo ligero de mensajería para comunicaciones máquina a máquina (M2M). MQTT es ideal para dispositivos con recursos limitados, como sensores y actuadores. El protocolo se ejecuta sobre TCP/IP o sobre otro protocolo de red que proporciona conexiones bidireccionales ordenadas y sin pérdidas.

Las características incluyen: el uso del patrón de mensajes de publicación/suscripción que proporciona una distribución de mensajes de uno a muchos, un transporte de mensajes que es independiente del contenido de la carga útil (KRAJAK, et al., 2015).

La ilustración 22-2 muestra tres componentes llamados editores, intermediarios y suscriptores de MQTT. Editores, son los sensores livianos que están conectados con un intermediario, se conocen como editores y se utilizan para enviar datos a un intermediario. Bróker, sirven para enviar datos de interés a los suscriptores. Suscriptores, son aplicaciones de IoT que están interesadas en datos de sensores (SRINIVASA, et al., 2019).

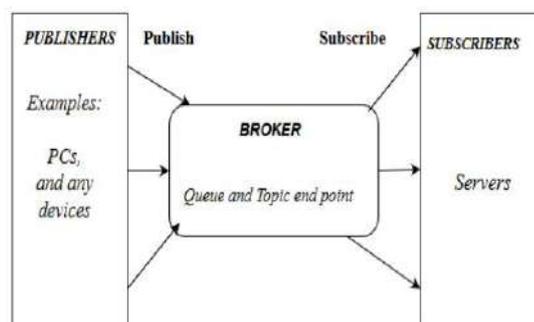


Ilustración 22-2: Componentes de MQTT.

Fuente: (SRINIVASA, et al., 2019).

2.8.2.3. DDS

Servicio de distribución de datos (DDS, del inglés *Data Distribution Service*). Este protocolo se utiliza para sistemas distribuidos en tiempo real, como sistemas de control y monitoreo. DDS es capaz de manejar grandes cantidades de datos en tiempo real y es utilizado en aplicaciones industriales. En la ilustración 23-2, muestra la estructura del protocolo DDS. El protocolo se define en dos subcapas: publicación-suscripción centrada en datos y reconstrucción local de datos. Publicación-suscripción centrada en datos tiene la responsabilidad principal de esta subcapa es entregar el mensaje al suscriptor. Reconstrucción local de datos considerada en la capa de aplicación para la integración simple de DDS y que puede ser opcional. Debido a la capacidad de

este protocolo para lograr confiabilidad y QoS, debe considerarse una mejor opción para M2M y diferentes aplicaciones de IoT (SRINIVASA, et al., 2019).

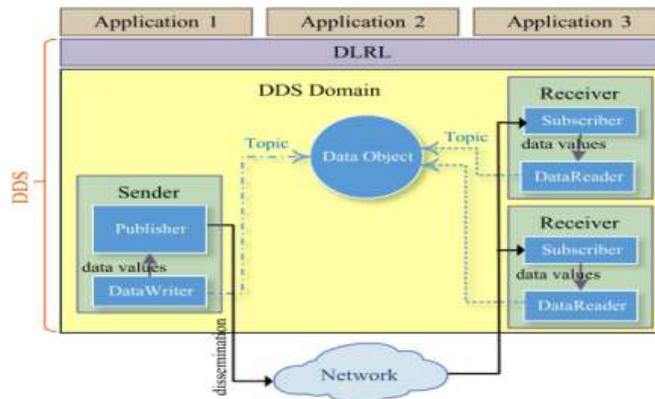


Ilustración 23-2: Estructura del protocolo DDS

Fuente: (SRINIVASA, et al., 2019).

2.8.2.4. XMPP

Protocolo extensible de mensajería y presencia (XMPP, del inglés *Extensible Messaging and Presence Protocol*). Se considera uno de los protocolos de mensajería y comunicación más comunes para IoT. Puede abordar la necesidad de IoT porque admite baja latencia y mensajes pequeños. La ilustración 24-2 muestra la estructura de XMPP. Los modelos admitidos por XMPP son publicación/suscripción y solicitud/respuesta. La solicitud/respuesta permite la comunicación bidireccional y la publicación/suscripción permite la comunicación multidireccional. Utiliza XML para las comunicaciones de texto.

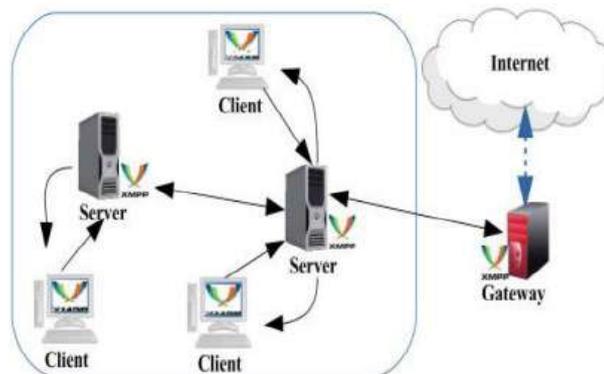


Ilustración 24-2: Estructura de XMPP

Fuente: (SRINIVASA, et al., 2019).

2.8.2.5. COAP

Protocolo de aplicación restringida (CoAP, del inglés *Constrained Application Protocol*). Este protocolo está diseñado específicamente para dispositivos IoT con recursos limitados y utiliza Protocolo de Datagramas de Usuario (UDP, del inglés *User Datagram Protocol*) en lugar del Protocolo de Control de Transmisión (TCP, *Transmission Control Protocol*). La característica más importante es su simplicidad y confiabilidad porque admite tanto unidifusión como multidifusión mediante el uso de UDP. Este protocolo tiene dos capas; la primera es la capa de mensajería que se usa para lograr la confiabilidad y la segunda es la capa de solicitud/respuesta que se usa para las interacciones. Está diseñado para una interfaz amigable con HTTP para la integración con la Web mientras cumple con los requisitos especializados, como soporte de multidifusión, sobrecarga muy baja y simplicidad para entornos restringidos (KRAJAK, et al., 2015).

La ilustración 25-2 se muestra la estructura del protocolo COAP.

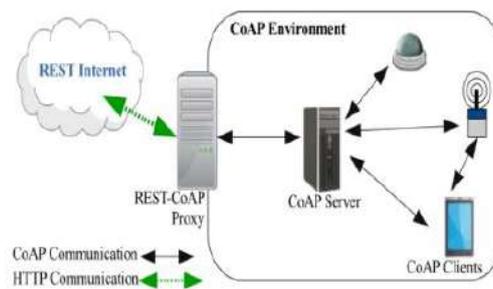


Ilustración 25-2: Estructura del protocolo COAP

Fuente: (SRINIVASA, et al., 2019).

2.8.3. Adquisición de datos en IoT

La adquisición de datos en IoT es un proceso crucial en el que se recolectan y procesan datos de múltiples dispositivos conectados a la red. Uno de los principales desafíos de la adquisición de datos en IoT es la diversidad de dispositivos y protocolos de comunicación utilizados. Para abordar este problema, se han propuesto diferentes soluciones como el uso de puerta de enlace (*gateway*) de IoT y protocolos de comunicación estandarizados.

En este sentido, un estudio realizado por DARABKH, et al. (2020), propone el uso de gateway de IoT para la adquisición de datos en sistemas de IoT. Los autores mencionan que los gateways de IoT pueden proporcionar una interfaz unificada para la conectividad de dispositivos heterogéneos, lo que permite la recolección de datos de manera eficiente. Además, sugieren que el uso de

protocolos de comunicación estandarizados como MQTT y CoAP puede mejorar la interoperabilidad de los dispositivos de IoT y facilitar la adquisición de datos.

Otro enfoque para la adquisición de datos en IoT es el uso de técnicas de procesamiento de señales para la detección y análisis de eventos relevantes en los datos recolectados. En un artículo de TAUSIFA, et al. (2021), se propone el uso de técnicas de aprendizaje profundo para el procesamiento de señales en sistemas de IoT. Los autores mencionan que estas técnicas pueden ayudar a identificar patrones complejos en los datos de IoT, lo que permite una mejor comprensión de los eventos que ocurren en el entorno.

2.8.4. Servidores para IoT

Los servidores para IoT son clave en la arquitectura de IoT, ya que permiten la gestión y el procesamiento de grandes cantidades de datos generados por los dispositivos conectados. Estos servidores pueden ser de distintos tipos, según las necesidades de la aplicación y el volumen de datos que se lleguen manejar. Algunos de los servidores más utilizados en IoT son: servidores de datos, servidores de aplicaciones, servidores de procesamiento en tiempo real y analítica de datos.

Los servidores de datos son los encargados de almacenar y gestionar los datos generados por los dispositivos IoT. Estos servidores deben contar con una alta capacidad de almacenamiento y deben ser capaces de manejar grandes cantidades de datos en tiempo real. Además, deben contar con medidas de seguridad robustas para garantizar la integridad y la privacidad de los datos almacenados.

Por otro lado, los servidores de aplicaciones son los encargados de gestionar las aplicaciones utilizadas en el contexto de IoT. Estos servidores deben ser capaces de procesar y gestionar múltiples aplicaciones a la vez, garantizando su disponibilidad y su fiabilidad. Además, deben ser capaces de gestionar el flujo de datos entre los dispositivos y las aplicaciones, garantizando un alto rendimiento y una baja latencia.

Finalmente, los servidores de analítica de datos son los encargados de procesar y analizar los datos generados por los dispositivos IoT, con el objetivo de obtener información valiosa para la toma de decisiones. Estos servidores deben contar con algoritmos avanzados de análisis de datos y deben ser capaces de procesar grandes cantidades de datos en tiempo real. Además, deben ser capaces de integrarse con otros sistemas de analítica de datos, para permitir la integración de

múltiples fuentes de datos y la generación de informes y estadísticas en tiempo real (Shah, et al., 2018).

Existen varios tipos de servidores de IoT, desde plataformas de código abierto (ZDRAVKOVIC, et al., 2016). Algunas de las plataformas de IoT más populares son:

- **AWS IoT:** es una plataforma de nube de Amazon Web Services que permite la conexión y administración de dispositivos IoT a gran escala. Ofrece herramientas para la recopilación de datos, análisis y visualización de datos, y la integración con otros servicios de AWS.
- **Azure IoT:** es una plataforma de nube de Microsoft Azure que permite la conexión y administración de dispositivos IoT a gran escala. Ofrece herramientas para la recopilación de datos, análisis y visualización de datos, y la integración con otros servicios de Azure.
- **Google Cloud IoT:** es una plataforma de nube de Google Cloud que permite la conexión y administración de dispositivos IoT a gran escala. Ofrece herramientas para la recopilación de datos, análisis y visualización de datos, y la integración con otros servicios de Google Cloud.
- **IBM Watson IoT Platform:** es una plataforma de nube de IBM que permite la conexión y administración de dispositivos IoT a gran escala. Ofrece herramientas para la recopilación de datos, análisis y visualización de datos, y la integración con otros servicios de IBM.
- **ThingSpeak:** es una plataforma de IoT de código abierto que permite la conexión y administración de dispositivos IoT. Ofrece herramientas para la recopilación de datos, análisis y visualización de datos, y la integración con otros servicios de terceros.
- **Blynk:** es una plataforma diseñada para aplicaciones de Internet de las cosas (IoT), el mismo ofrece conectividad basada en la nube que permite que sus dispositivos IoT se comuniquen con el servidor Blynk. Este servidor actúa como un puente entre sus dispositivos y la aplicación móvil, lo que le permite enviar comandos y recibir datos en tiempo real.

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

En este tercer capítulo, se describe la metodología empleada para lograr ejecutar la repotenciación en el Infosolar. Se analiza el estado de los materiales del dispositivo y los requerimientos de hardware y software que servirá para el desarrollo de este trabajo de titulación, alcanzando así, los objetivos planteados.

3.1. Metodología cascada

La metodología cascada, también conocida como modelo de cascada, es un enfoque secuencial y lineal para el desarrollo de dispositivos o prototipos en ingeniería. Mediante diagramas de bloques como en la ilustración 1-3, se puede visualizar cada una de las etapas que contiene esta metodología.

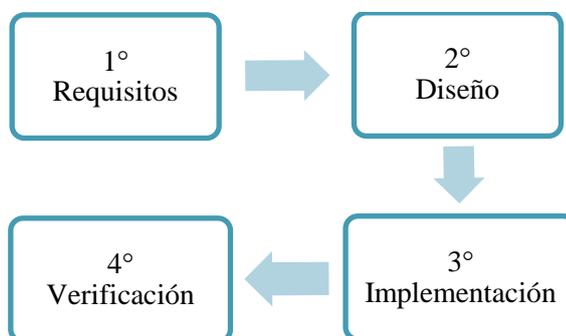


Ilustración 1-3: Metodología cascada.

Realizado por: Llamuca Perugachi, David, 2023

3.2. Estado del dispositivo previo a la repotenciación

Se realiza un análisis del estado y funcionamiento actual del Infosolar para determinar así, la funcionalidad de cada elemento y componente del dispositivo, como se detalla a continuación en la siguiente subsección.

3.2.1. Estructura metálica externa

En la ilustración 2-3, se puede observar el óxido sobre el cartel de mensajes de IUV y deterioro en el resto de la estructura. Las bisagras se encontraban demasiado deterioradas por lo que la puerta del Infosolar no resistió más su peso y se desplomó (Anexo A).



Ilustración 2-3: Estructura exterior del Infosolar.

Realizado por: Llamuca Perugachi, David, 2023

3.2.2. *Estructura metálica interna*

En el interior del dispositivo se puede visualizar los componentes electrónicos que se encuentran empolvados debido al tiempo que han permanecido sin mantenimiento. En la ilustración 3-3, Se puede observar componentes electrónicos como: un inversor, una batería, un controlador de carga para la batería, una fuente de computadora y un convertidor reductor. Todos estos componentes, conforman la sección energética del dispositivo. Algunos de estos dispositivos se encuentran sobre una repisa de madera en deplorables condiciones. Se puede evidenciar también, que la base donde descansa la batería y otros componentes se encuentra oxidado (ANEXO B).



Ilustración 3-3: Estructura interior del Infosolar (Espaldar).

Realizado por: Llamuca Perugachi, David, 2023

En la ilustración 4-3 se observa el panel matricial de leds que se encuentran sobre una base oxidada y deteriorada (ANEXO B). Además, se puede visualizar las tarjetas que controlan los mensajes a mostrar del dispositivo a la intemperie y con cables aéreos.



Ilustración 4-3: Estructura interior del Infosolar (Puerta).

Realizado por: Llamuca Perugachi, David, 2023

3.2.3. *Fotodetector de índice UV*

El fotodetector del dispositivo se encontraba en su caja construida para el exterior. El sensor aún constaba de tres cables, dos pertenecían a la alimentación (Vcc y GND) y uno a la señal de salida (ANEXO C).

Se realizó las pruebas de funcionamiento por medio del multímetro, en el cual se midió el voltaje de la señal de salida del fotodetector como se muestra en la ilustración 5-3.

Con las pruebas realizadas se verificó el correcto funcionamiento del fotodetector de índice UV.

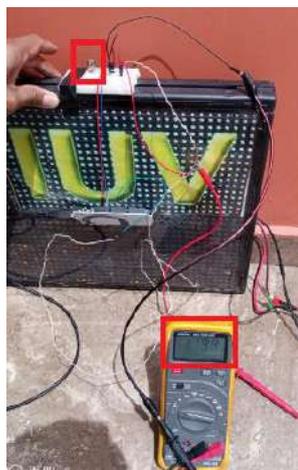


Ilustración 5-3: Fotodetector IUUV.

Realizado por: Llamuca Perugachi, David, 2023

3.2.4. Paneles solares

En la ilustración 6-3 se puede visualizar que el dispositivo consta de dos paneles solares, los cuales se encontraban sucios y con acumulación de tierra alrededor del marco de cada panel debido a que nunca recibieron mantenimiento.

Acto seguido se verificó la funcionalidad de los mismos por medio del multímetro, llegando a la conclusión del correcto funcionamiento (ANEXO D).



Ilustración 6-3: Paneles Solares.

Realizado por: Llamuca Perugachi, David, 2023

3.2.5. Controlador de carga de la batería

Este dispositivo se encontró en malas condiciones y con mucha suciedad debido al paso del tiempo sin recibir ningún tipo de mantenimiento como se muestra en la ilustración 7-3. Sin embargo, el dispositivo se encuentra funcional y operativo.



Ilustración 7-3: Morningstar SHS-6.

Realizado por: Llamuca Perugachi, David, 2023

3.2.6. Batería

Se puede observar en la ilustración 8-3 que se encuentra desconectada para que pueda ser cargada eléctricamente; al igual que el resto, se encuentra sucia y en pésimas condiciones. Se realizó las pruebas de funcionamiento, dando como resultado la inutilidad de la misma (ANEXO E).



Ilustración 8-3: Batería UCG RANGE.

Realizado por: Llamuca Perugachi, David, 2023

3.2.7. *Módulo reductor de voltaje DC-DC*

Este dispositivo se encontró sucio tal como muestra la ilustración 9-3. Sin embargo, después de una limpieza y verificación de voltajes en sus terminales mediante multímetro se determinó el correcto funcionamiento del equipo.

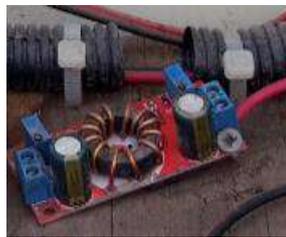


Ilustración 9-3: Convertidor Buck.

Realizado por: Llamuca Perugachi, David, 2023

3.2.8. *Módulos de visualización de mensajes*

Todas las tarjetas se encontraron ancladas a una base de cartón prensado y sus conexiones por medio de cables aéreos o *jumpers* (ANEXO F). Se verificó el funcionamiento y se observó errores en la programación como se muestra en la Ilustración 10-3.



Ilustración 10-3: Funcionamiento de tarjetas.

Realizado por: Llamuca Perugachi, David, 2023

3.2.9. *Paneles matriciales de LEDS*

El Infosolar consta de dos secciones para mostrar los mensajes a la población, el primero indica el valor numérico equivalente al índice UV (Recuadro Azul) y el segundo muestra mensajes mediante texto (Recuadro Verde) tal como se muestra en la ilustración 11-3.

Estos paneles matriciales de led se encontraron empolvados y funcionaron durante un corto tiempo, por lo que llegaron a cumplir su vida útil.

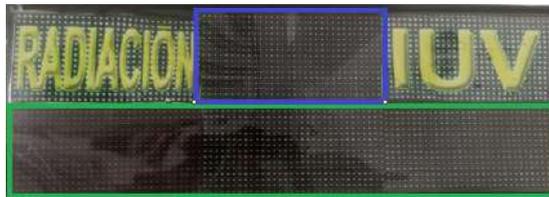


Ilustración 11-3: Panel matricial de leds.

Realizado por: Llamuca Perugachi, David, 2023

3.2.10. *Inversor*

Este dispositivo se encontró empolvado tal y como se aprecia en la ilustración 12-3, además se encontró conectado a la salida del controlador de carga de baterías, mismo alimentaba a la fuente de computadora. Para este proyecto se descarta este dispositivo, puesto que, no será necesario utilizarlo.



Ilustración 12-3: Inversor.

Realizado por: Llamuca Perugachi, David, 2023

3.2.11. Fuente de alimentación para computadora

La ilustración 13-3, muestra el estado de la fuente de alimentación, la cual se encontró oxidada debido al agua que reposaba dentro del Infosolar.



Ilustración 13-3: Fuente de alimentación

Realizado por: Llamuca Perugachi, David, 2023

3.2.12. Cables y conexiones eléctricas

El estado de las conexiones no fue favorable, debido a que existían cables sueltos y todos se encontraron amontonados tal como se observa en la ilustración 14-3. Además, a causa del polvo, agua empozada y calor se notaban corroídas en sus puntos terminales (ANEXO G).



Ilustración 14-3: Cables del Infosolar.

Realizado por: Llamuca Perugachi, David, 2023

3.3. Requerimientos del dispositivo a repotenciar

Para dar cumplimiento a la primera etapa de la metodología cascada, se recopilan, enlistan y documentan los requerimientos del dispositivo, de modo que logre cumplir su objetivo. A continuación, se enlista los requerimientos del dispositivo a repotenciar.

- El sistema debe cargar las baterías con energía suministrada por los paneles fotovoltaicos.
- La energía almacenada en las baterías debe ser entregada al sistema para su funcionamiento.
- El microcontrolador debe adquirir las señales enviadas por el fotodetector de IUV, representar de manera visual al público por medio de paneles matriciales LED y transmitir sus datos a la nube de IoT.
- Los datos enviados a la nube también deben ser pertenecientes a los voltajes y corrientes producidos por el sistema, tales como: Paneles fotovoltaicos, baterías y carga.

En la sección anterior (3.2) se pudo evidenciar el estado del dispositivo con lo que, se puede finalizar la primera etapa de la metodología cascada y se puede determinar, que el dispositivo al referirse acerca de su estructura metálica requiere: ser lijado en áreas oxidadas, cambiar sus bisagras, soldar, restaurar por completo algunas secciones del dispositivo y por último debe ser pintado para evitar desgaste y oxidación prematura en su estructura restaurada.

Para que el sistema funcione bajo las condiciones de autonomía eléctrica, se requiere el cambio de batería, puesto que paneles fotovoltaicos entregarán energía para ser almacenada en la batería esta a su vez brinde de energía al resto de procesos que conforman el sistema.

Se requiere el cambio de los paneles matriciales led, puesto que han cumplido su vida útil. Se requiere de tres microcontroladores, el primero debe recibir la señal análoga del fotodetector e informar por medio de los paneles matriciales de leds el índice UV expuesto en tiempo real. El segundo, debe recibir las señales análogas de voltaje y corriente de los paneles fotovoltaicos, de la batería y la carga. El tercer microcontrolador, debe enviar los datos al servidor de IoT obtenidos del primer y segundo microcontrolador por medio de comunicación inalámbrica aplicando MQTT.

3.4. Arquitectura general Hardware del dispositivo

En esta sección se plantea la concepción de la arquitectura general del dispositivo, el cual está dividido por secciones o bloques. A continuación, en la ilustración 15-3, se puede observar y tener una idea general del dispositivo ya repotenciado.

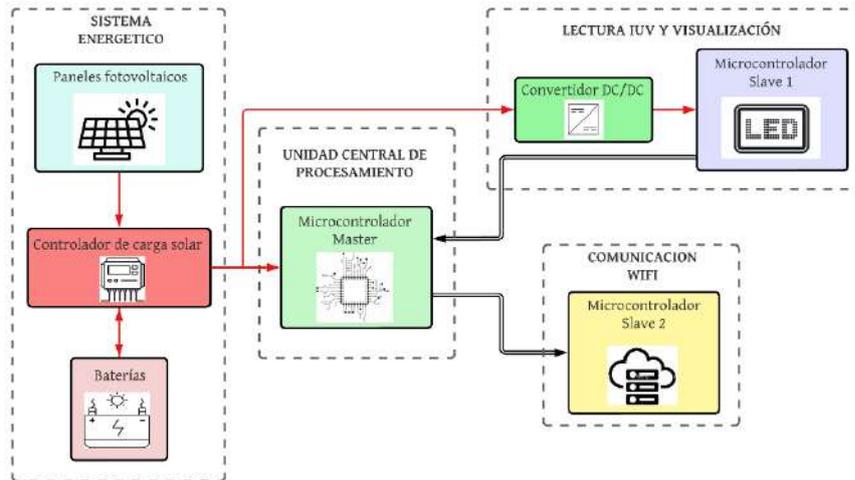


Ilustración 15-3: Arquitectura general del Infosolar.

Realizado por: Llamuca Perugachi, David, 2023

3.5. Descripción de elementos que conforman el dispositivo

3.5.1. Bloque del sistema energético

Los elementos que conforman este bloque son: los paneles fotovoltaicos, controlador de carga solar y la batería. Los cuales se encargan de interactuar entre sí, puesto que, los paneles fotovoltaicos captan la energía solar y esta es almacenada dentro de la batería por medio de un controlador de carga. De esta forma, este bloque suministra de energía al dispositivo.

3.5.1.1. Modulo fotovoltaico Exmork

Se reutilizarán los mismos paneles fotovoltaicos del dispositivo, puesto que, se encuentran en buenas condiciones de funcionamiento como se explicó en la subsección (3.2.4).

En la tabla 1-3, se describe las características técnicas de los módulos fotovoltaicos de marca EXMORK modelo P-50.

Tabla 1-3: Placa técnica del módulo Exmork P-50

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidades
Rated Maximum Power	-	50	W
Open Circuit Voltage	Voc	21.94	V
Short Circuit Current	Isc	3.12	A
Voltage at Pmax	Vmp	17.21	V
Current at Pmax	Imp	2.91	A
Output Tolerance	-	±3	%
Maximum System Voltage	-	600	V
Size of module	-	540*670*30	mm

Fuente: (QUITOLED, 2020).

Realizado por: Llamuca Perugachi, David, 2023.

3.5.1.2. Batería de Gel Pro-Viento

Debido a que la batería del Infosolar se encontró averiada, como se explica en la subsección (3.2.6), es necesario realizar el cambio de la misma.

EL tipo de batería a utilizarse es de gel, puesto que, son herméticas y no requieren mantenimiento periódico. Además, su capacidad para soportar descargas profundas sin dañarse las hace ideales para almacenar la energía generada por paneles solares en condiciones variables de carga.

La autonomía de la batería se calcula con las siguientes ecuaciones.

$$V_b * I_b = W_b$$

Ecuación 1-3: Potencia en la batería

Fuente: (Herramientas de Ingeniería, 2023)

$$V_b * I_c = W_c$$

Ecuación 2-3: Potencia en la carga

Fuente: (Herramientas de Ingeniería, 2023)

$$H = W_b / W_c$$

Ecuación 3-3: Horas

Fuente: (Herramientas de Ingeniería, 2023)

Donde:

- V_b : Voltaje de la batería
- I_b : Corriente de la batería
- I_c : Corriente de la carga

Se ha considerado realizar el cálculo para una batería de 12V - 50Ah (ANEXO H) y una potencia en la carga de 80W aproximadamente, ya que es el valor estimado, como máximo consumo de potencia en los paneles matriciales led y demás operaciones del sistema.

Entonces, aplicando la ecuación 3-3, se estima una autonomía de 7.5 horas.

3.5.1.3. Controlador de carga solar Morningstar SHS-6

Después de la verificación de funcionalidad del controlador de carga en la subsección (3.2.5), se determinó que el dispositivo se puede volver a reutilizar. Este dispositivo es de la marca Morningstar modelo SHS-6 en la tabla 2-3 se explica las características técnicas del mismo.

Tabla 2-3: Ficha técnica del Controlador de carga PWM

Parámetro	Valor	Unidades
Charge Rating	6	A
Nominal Battery Voltage	12	V
Self-Consumption	8	mA
Operating Temperature Range	-25 to 50	°C

Fuente: (LÓPEZ PÉREZ, et al., 2016)

Realizado por: Llamuca Perugachi, David, 2023.

3.5.2. Bloque de la unidad central de procesamiento

Este bloque es el encargado procesar el funcionamiento del sistema.

En la ilustración 16-3, se realiza el diagrama de conexiones y en la tabla 3-3 la descripción de del color de las líneas de conexión.

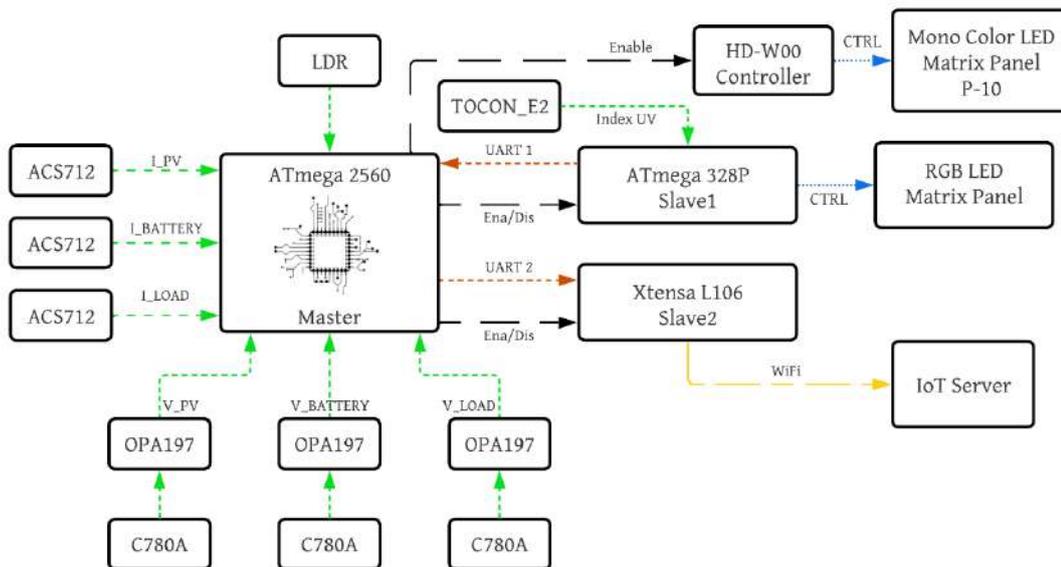


Ilustración 16-3: Arquitectura de funcionamiento entre microcontroladores

Realizado por: Llamuca Perugachi, David, 2023

Tabla 3-3: Líneas de Conexión

Color	Descripción
Verde	Valores Analógicos
Negro	Habilitación o deshabilitación a dispositivo final
Azul	Control de funcionamiento
Marrón	Comunicación serial
Amarillo	Comunicación WiFi

Realizado por: Llamuca Perugachi, David, 2023.

3.5.2.1. Microcontrolador ATmega 2560

Dados los requerimientos mencionados, se ha procedido con la reutilización de la tarjeta de Arduino Mega 2560 presentado en la ilustración 17-3. Esta tarjeta es ideal puesto que se ajusta a los requerimientos para ser el cerebro del bloque de la unidad central.

Arduino® Mega 2560 es una placa de desarrollo la cual aloja un microcontrolador ATmega2560, éste opera a una frecuencia de 16 MHz. La placa contiene 54 pines de entrada/salida digital, 16 entradas analógicas, 4 UART (puertos seriales de hardware), una conexión USB, un conector de alimentación, un cabezal ICSP y un botón de reinicio (Arduino, sf).

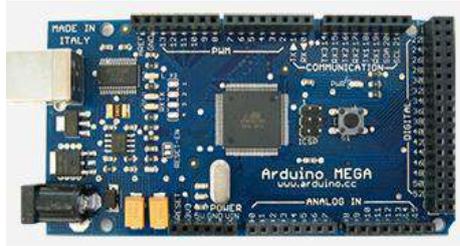


Ilustración 17-3: Arduino Mega

Fuente: (LÓPEZ PÉREZ, et al., 2016)

3.5.2.2. Sensor de corriente ACS712

Para poder monitorear la corriente del Infosolar se ha seleccionado el sensor ACS712. Este dispositivo es utilizado para medir corrientes eléctricas por medio del efecto Hall, el cual detecta el campo magnético generado por la corriente que fluye a través de un conductor. Entre sus variantes existen diferentes modelos para diferentes rangos de corriente, lo que lo hace versátil para diversas aplicaciones, como sistemas de protección de sobrecorriente y monitoreo de consumo de energía. En la siguiente tabla 3-3, se explica los modelos existentes con sus características técnicas.

Para este proyecto técnico se ha utilizado el modelo ACS712ELCTR-30A-T, debido a que ofrece una mayor capacidad de Amperaje, además de acuerdo con los módulos solares el amperaje a manejar es superior a los 6A, por lo tanto, no sirve el modelo de 5A.

Debido a la accesibilidad en el mercado, el de 30A fue el más disponible.

Tabla 4-3: Modelos de sensor de corriente ACS712

Modelo	Rango	Sensibilidad
ACS712ELCTR-05B-T	-5 a 5 A	185 mV/A
ACS712ELCTR-20A-T	-20 a 20 A	100 mV/A
ACS712ELCTR-30A-T	-30 a 30 A	66 mV/A

Fuente: (NAYLAMP, 2019)

Realizado por: Llamuca Perugachi, David, 2023.

3.5.2.3. ACPL-C780A

En este trabajo de titulación se censarán los voltajes de módulos fotovoltaicos, batería y carga. Este proceso requiere de una técnica de aislamiento para cada uno de los voltajes a censar, esto quiere decir, que no comparten una tierra común.

Por esta razón se ha utilizado el elemento ACPL-C780A, el cual pertenece a la familia de amplificadores aislados y tiene diferentes aplicaciones como: detección de corriente de inversor, detección de corriente de riel y fase de motor, detección de voltaje de bus de CC, detección y monitoreo de corriente de uso general y aislamiento de señal analógica de uso general.

La aplicación por utilizar será la de aislamiento de señal analógica, ya que, brinda alta precisión, estabilidad y linealidad en condiciones de ruido severas. Esto explica el *datasheet* del dispositivo y se lo puede observar en el (ANEXO I).

3.5.2.4. OPA197

Luego de utilizar el elemento C780A, se debe realizar un circuito amplificador operacional diferencial. Puesto que, al eliminar el ruido común aumenta la precisión en la medición de la señal análoga.

El elemento OPA197 es un amplificador operacional (OP-AMP) "*rail-to-rail*", esto quiere decir que, ofrece un rango dinámico más amplio para manejar las señales más grandes sin recortar la parte superior o inferior de la señal. A demás, es adecuado porque se desea aprovechar al máximo de la fuente de alimentación sus características técnicas se encuentran en el (ANEXO J).

3.5.2.5. Fotorresistor

El dispositivo debe apagar su funcionamiento en horas de las noches, puesto que no existe radiación solar y no habría sentido censar los índices de radiación UV.

El fotorresistor (LDR), varía su resistencia en función de la cantidad de luz que incide sobre él. Su funcionamiento se basa en el efecto fotoconductor, donde la luz altera la conductividad del material semiconductor, lo que a su vez modifica su resistencia eléctrica. Debido a esta propiedad, se utilizan comúnmente en circuitos de control de iluminación, como en sistemas de encendido o apagado. Observe la ilustración 18-3, donde se presenta dicho dispositivo.



Ilustración 18-3: LDR

Fuente: (CHIN, et al., 2017)

3.5.3. Bloque de lectura de IUUV y visualización de mensajes

El bloque tiene como finalidad mostrar mensajes a la población por medio de los paneles LED a cerca de los índices de radiación UV en tiempo real. Este proceso de este bloque se mostró en la ilustración 16-3.

3.5.3.1. Microcontrolador ATmega328P

Para separar y no saturar los procesos en el microcontrolador máster, se ha procedido a reutilizar la tarjeta de desarrollo de Arduino UNO, presentado en la ilustración 19-3.

Arduino UNO es una placa basada en el microcontrolador ATmega328P. Tiene 14 pines de entrada/salida digital (de los cuales 6 pueden ser usando con PWM), 6 entradas analógicas, un cristal de 16Mhz, conexión USB, conector de alimentación, terminales para conexión ICSP y un botón de reinicio (Arduino, sf).



Ilustración 19-3: Arduino UNO

Fuente: (Arduino, sf)

3.5.3.2. Fotodetector TOCON_2

Las características del fotodetector son: Una respuesta espectral conforme a CIE087 / DIN5050, salida de tensión de 0...5 V, longitud de onda máxima a 280 nm, 1 IUUV da como resultado un voltaje de aprox. 170mV y en su aplicación de medición del índice UV maneja un error muy pequeño $<+3\%$ (LÓPEZ PÉREZ, et al., 2016).

3.5.3.3. Convertidor DC/DC Buck

El convertidor Buck será reutilizado y servirá para la alimentación de los paneles LED mono color y la tarjeta controladora de los mismos.

En la siguiente tabla 5-3, se detalla las características técnicas del mismo.

Tabla 5-3: Ficha técnica del convertidor Buck

Parámetro	Valor	Unidades
Input voltage	5 to 32	V
Output voltage	1 to 30	V
Output current	0 to 5	A
Operating frequency	300K	Hz

Fuente: (LÓPEZ PÉREZ, et al., 2016)

Realizado por: Llamuca Perugachi, David, 2023.

3.5.3.4. HD-W00 Controller

En la ilustración 20-3, se presenta al dispositivo que comandara los mensajes a presentar en los paneles Led mono color.

Este dispositivo funciona con la aplicación móvil [LED Art] y el software para PC [HD 2018 / HD2020]. Tiene una capacidad de 1M Byte un alcance de comunicación wifi dentro de 15m.



Ilustración 20-3: HD - W00

Fuente: (HUIDU, 2020)

3.5.3.5. Mono Color LED Matrix Panel P-10

La aplicación principal de los paneles matriciales LED es, dar a conocer un mensaje como, por ejemplo: información de la hora, la temperatura, noticias, etc. Estos dispositivos son colocados comúnmente en lugares públicos, centros de transporte, tiendas minoristas, estadios, etc.

En la tabla 5-3, se explica las características técnicas de los mismos, esta información es relevante, puesto que, con ello se realiza una estimación aproximada de la potencia de consumo.

Tabla 6-3: Panel LED P-10 Mono Color

Parámetro	Valor	Unidades
Max Power Consumption	20	W
Voltage Input	5	V
Brightness	3500 to 4500	nits

Fuente: (ILED, 2018)

Realizado por: Llamuca Perugachi, David, 2023.

3.5.3.6. RGB LED Matrix Panel

Este dispositivo utiliza una tecnología de visualización el cual se basa en una cuadrícula de LED individuales rojos, verdes y azules para crear imágenes, texto, animaciones, etc.

En la tabla 6-3, se explica las características técnicas del panel.

Tabla 7-3: Panel LED RGB

Parámetro	Valor	Unidades
Max Power Consumption	25	W
Voltage Input	5	V
Brightness	7000	nitsMax

Fuente: (ILED, 2018)

Realizado por: Llamuca Perugachi, David, 2023.

3.5.4. Bloque de Comunicación WiFi

En este bloque se realiza la comunicación entre el dispositivo y la nube de IoT, para esto se utilizará la tarjeta de desarrollo NODE MCU 12E.

3.5.4.1. Xtensa LI06

Para realizar el proceso de comunicación UART y WiFi la placa de desarrollo NODE MCU 12E se adapta a estos requerimientos puesto que, está basado en el popular chip ESP 8266, ver ilustración 21-3.

El ESP8266 es un SoC (System on Chip), con capacidades de 2.4 GHz WiFi (802.11 b / g / n, soporte WPA / WPA2), basado en el Tensilica Xtensa LWiX106 funcionando a 80 MHz (o overclocked a 160 MHz), 16 GPIO de propósito general (entrada / salida), I²C, convertidor analógico-digital (ADC de 10 bits), SPI, I²S y UAR. Tiene una memoria ROM de inicio de 64 KB, memoria RAM de instrucciones de 64 KB y 96 KB de RAM de datos (Arduino, sf).



Ilustración 21-3: NODE MCU 12E

Fuente: (Arduino, sf)

3.6. Herramientas Software del dispositivo

3.6.1. *Arduino IDE 2.1.1*

Para la programación de los microcontroladores se ha utilizado el entorno de Arduino. Este es de código abierto y se basa en un lenguaje de programación C++, es compatible con cualquier sistema operativo. Cuenta con librerías que facilitan la interacción con el hardware y el manejo de funciones para el desarrollo (Arduino, sf)

3.6.2. *Software de microcontrolador maestro*

En la ilustración 22-3, se observa la operación del microcontrolador maestro, tiene como objetivo: encender el sistema en horas del día, apagar el sistema en horas de la noche, adquirir las lecturas de los sensores de voltaje y de corriente, lectura de LDR, receptar los valores del microcontrolador esclavo 1, enviar todos los datos recolectados al microcontrolador esclavo 2 además de habilitarlo y deshabilitarlo.

3.6.3. *Software de Microcontrolador esclavo 1*

El microcontrolador esclavo 1 está programado para receptar las señales análogas producidas por el fotodetector de índice UV. Estas lecturas se las visualizará en el panel de LED RGB y las

enviará al microcontrolador máster por medio de comunicación UART. En la ilustración 23-3 se presenta su diagrama de flujo.

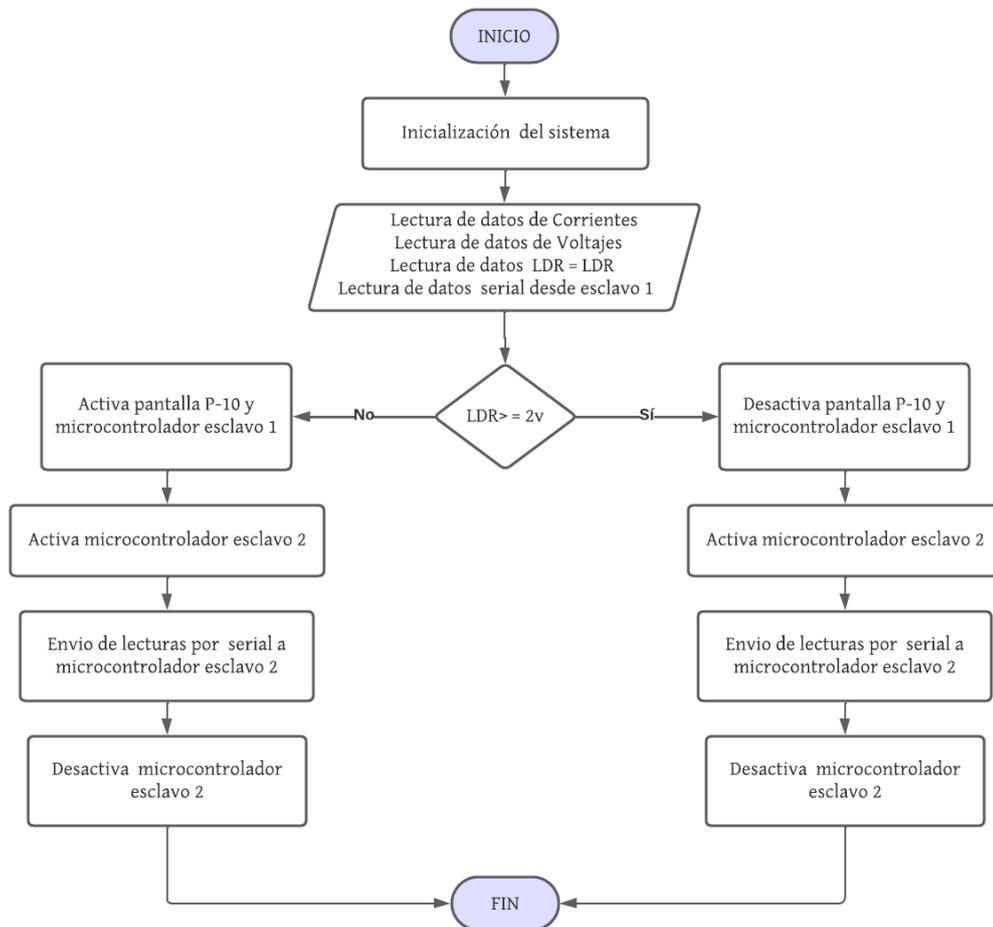


Ilustración 22-3: Diagrama de flujo microcontrolador maestro

Realizado por: Llamuca Perugachi, David, 2023

3.6.4. Software de Microcontrolador esclavo 2

El objetivo del microcontrolador esclavo 2 es, el de tener una comunicación UART con el microcontrolador maestro, puesto que, recoge todos los datos y los trasmite por medio de comunicación inalámbrica WiFi, hacia el Broker de la plataforma IoT.

La representación de este proceso se encuentra en el diagrama de flujo de la ilustración 24-3

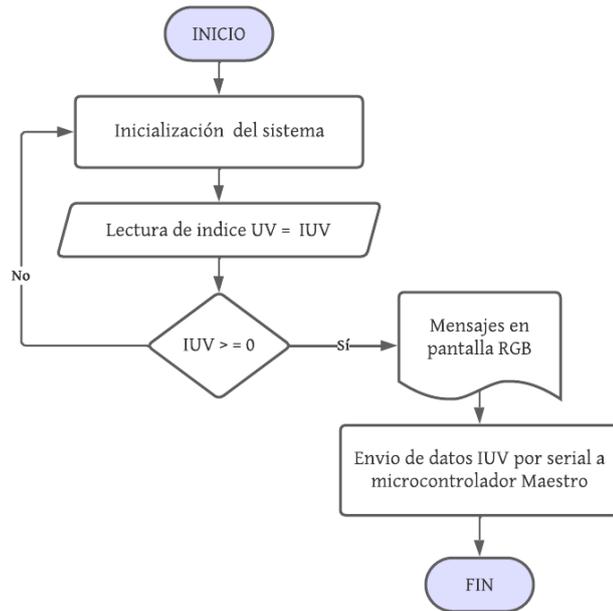


Ilustración 23-3: Diagrama de flujo microcontrolador esclavo 1

Realizado por: Llamuca Perugachi, David, 2023

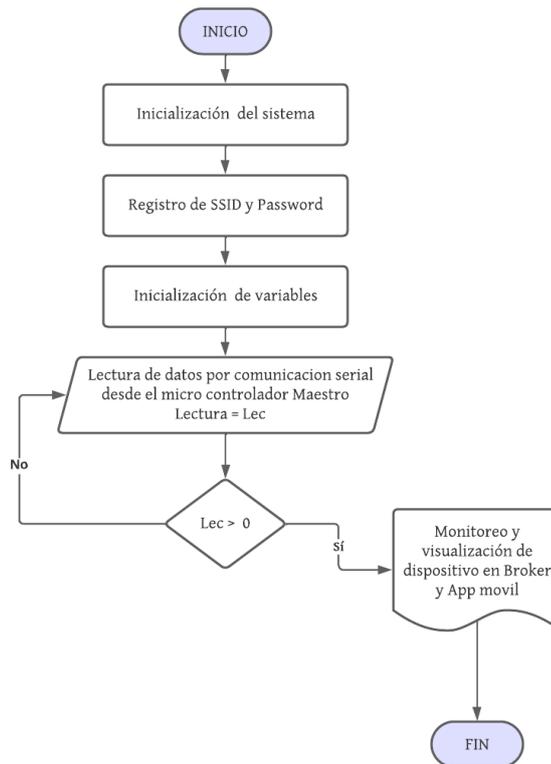


Ilustración 24-3: Diagrama de flujo microcontrolador esclavo 2

Realizado por: Llamuca Perugachi, David, 2023

3.6.4.1. *Blynk.Cloud Broker IoT*

La plataforma Blynk impulsa a los fabricantes a crear y administrar hardware conectado a internet. En esta plataforma se puede realizar las siguientes acciones: Visualización de datos de sensores, control remoto con aplicaciones móviles y web, actualizaciones de firmware por aire, nube segura, análisis de datos, administración de acceso y usuarios, alertas, automatizaciones y mucho más más (BLYNK, 2021).



Ilustración 25-3: Logo de la plataforma Blynk.Cloud Broker IoT

Fuente: (BLYNK, 2021)

3.7. **Diseño de placas PCB del dispositivo**

El diseño es la segunda etapa de la metodología cascada y para dar por finalizada, se diseñan las placas de circuitos para el dispositivo. Esto gracias, luego de haber realizado la elección de componentes y la arquitectura de hardware y software del sistema.

Con la utilización de diferentes herramientas se diseñan las placas electrónicas y se las puede visualizar en 3D para tener una perspectiva mejor de la placa a implementar.

La primera placa, la cual pertenece al microcontrolador de Arduino UNO o esclavo 1, se puede observar ambas caras de la placa PCB en la ilustración 26-3.

Además, en la ilustración 27-3 se observa, sobre la capa superior los elementos en 3D. Dicha placa contiene los microcontroladores de Arduino Mega o máster y NODE MCU 12E o esclavo 2. Por último, en la ilustración 28-3 se presenta el dashboard para la monitorización del sistema con sus funcionalidades de IoT y haciendo uso del protocolo MQTT.

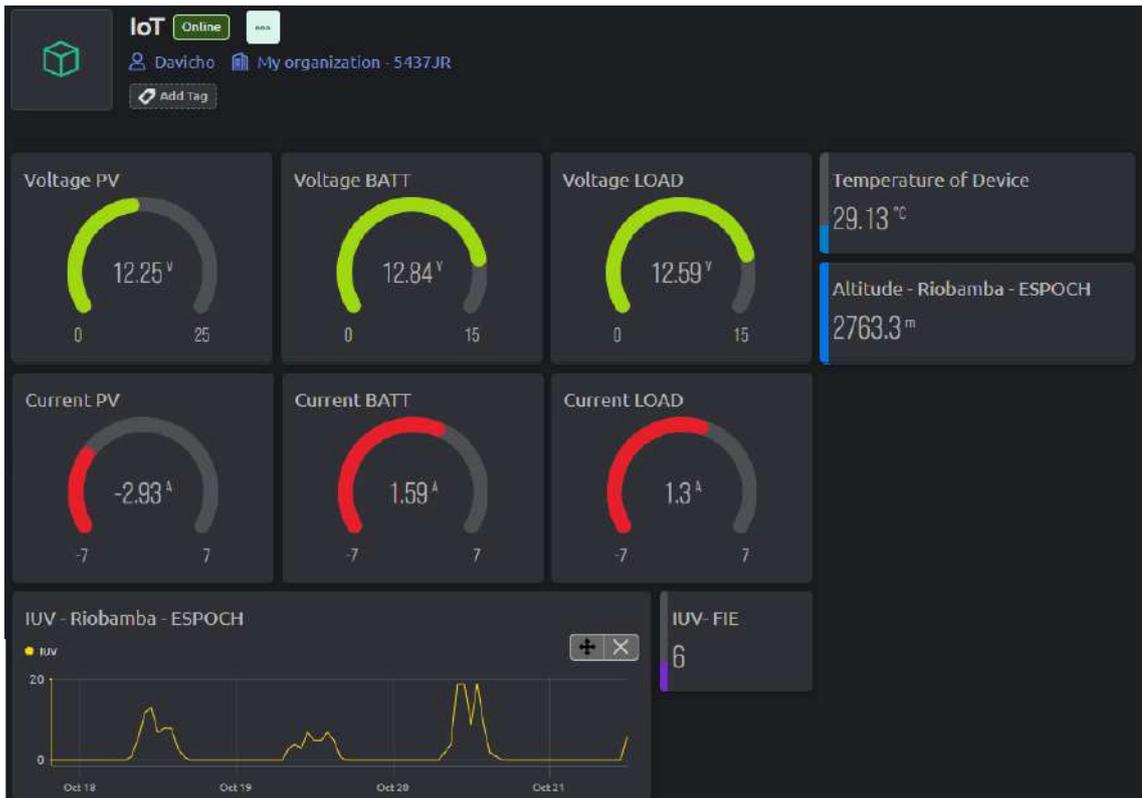


Ilustración 28-3: Dashboard IoT

Realizado por: Llamuca Perugachi, David, 2023

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En el presente capítulo se exponen los resultados obtenidos de la repotenciación del dispositivo como, por ejemplo: estado actual de la infraestructura, placa PCB 1, placa PCB 2, funcionalidades de IoT y pruebas realizadas al dispositivo.

Las pruebas realizadas consisten en monitorear la autonomía eléctrica y la adquisición de datos publicadas del servidor IoT.

Con esto, se da paso a la tercera y cuarta etapa de la metodología cascada, la cual consiste en la implementación de los elementos y una vez terminada esta etapa, se verifica los resultados obtenidos.

4.1. Infraestructura metálica del dispositivo repotenciado

El dispositivo fue llevado a un taller de metalurgia, donde fue soldado, restaurado, cambiado y pintado toda su estructura metálica. Este procedimiento se lo realizó, para volver a reutilizar la misma infraestructura.

En la ilustración 1-4 se puede apreciar la implementación de la estructura pintada y reparada en los exteriores del edificio de la FIE.



Ilustración 1-4: Infraestructura repotenciada

Realizado por: Llamuca Perugachi, David, 2023

4.2. Programación y reacondicionamiento de paneles LED.

Se tomó los valores de voltaje mediante multímetro a la salida del fotosensor, para realizar la programación sobre el microcontrolador esclavo uno, puesto que, los valores visualizados sobre el panel de LED RGB no estaban acorde a la salida de voltaje del fotosensor (ANEXO K).

Se realizó el cableado con terminales eléctricos para un mejor contacto, se restauró la infraestructura de los paneles LED y se verificó el correcto funcionamiento de la visualización de los índices UV antes de ensamblar el módulo de mensajes LED ver (ANEXO L).

La ilustración 2-4, muestra el resultado final de la programación y reacondicionamiento de los paneles matriciales LED de tipo RGB y monocolor P-10.



Ilustración 2-4: Módulos matriciales LED

Realizado por: Llamuca Perugachi, David, 2023

4.3. Montaje de componentes electrónicos sobre placas PCB 1 y 2

El resultado final de la placa PCB 1 se visualiza en la ilustración 3-4. Esta placa se la realizó para evitar los jumpers de Arduino como se explicó en la sección 3.2.8. La PCB fue construida utilizando la CNC del laboratorio del grupo de investigación GITEA de la ESPOCH.



Ilustración 3-4: Componentes sobre placa PCB 1

Realizado por: Llamuca Perugachi, David, 2023

En la placa PCB 2 se implementó los elementos electrónicos como se aprecia en la ilustración 4-4, dichos elementos ayudaron a obtener los valores de corriente y voltaje del sistema, además, se aprovechó el espacio para colocar el microcontrolador esclavo 2. El proceso de soldadura de los componentes se lo puede observar en (ANEXO M).

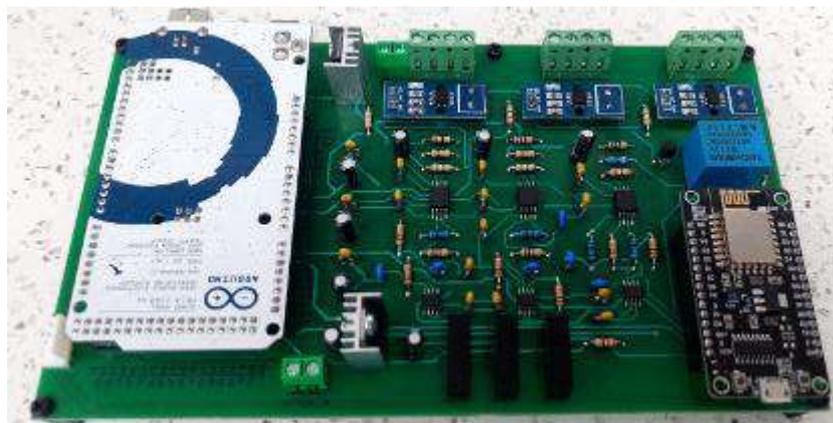


Ilustración 4-4: Componentes sobre placa PCB 2

Realizado por: Llamuca Perugachi, David, 2023

4.4. Integración y montaje del sistema Infosolar IUV

Para dar por finalizada con la tercera etapa de la metodología cascada, se puede visualizar los módulos de control implementados sobre el dispositivo Infosolar repotenciado, como se muestra en la ilustración 5-4.



Ilustración 5-4: Integración y montaje del Infosolar

Realizado por: Llamuca Perugachi, David, 2023

4.5. Pruebas de lectura y adquisición de medidas sobre el dispositivo

Para este tipo de pruebas se aplicó el método de mínimos cuadrados, también conocida como regresión lineal puesto que, es una técnica ampliamente utilizada en estadísticas y matemáticas aplicadas para encontrar la mejor aproximación lineal a un conjunto de datos.

En la siguiente subsección, se aplicó este método para poder ajustar el valor de la conversión analógica digital (ADC) sobre el panel fotovoltaico.

4.5.1. Ajuste de los sensores de voltaje

Se realizó el promedio de las 100 muestras registradas en el microcontrolador maestro por cada valor de voltaje de los módulos fotovoltaicos, esto con el fin de reducir el ruido o la fluctuación en los datos. A continuación, en la tabla 1-4, se visualiza el valor real versus el valor registrado por el microcontrolador.

Tabla 1-4: Voltaje real vs voltaje de microcontrolador

N	VOLTAJE REAL PV	Voltaje MC PV	Error relativo porcentual
1	1,282	0,87286	31,9141966
2	2,316	1,9196	17,1157168
3	3,13	2,60284	16,8421725
4	4,84	4,486	7,31322314
5	7,53	7,1429500	5,14010624
6	10,39	10,099	2,80519731
7	11,950	11,579	3,10577406
8	12,96	12,6421	2,4529321
9	12,93	12,6007	2,54679041
10	13,6	13,24938	2,57808824
11	15,03	14,707	2,14903526
12	16,72	16,41748	1,80933014
13	17,49	17,16486	1,85900515
Promedio del error relativo porcentual			7,51012061

Realizado por: Llamuca Perugachi, David, 2023.

Dado el promedio del error relativo porcentual como se mostró en la tabla 1-4, se realiza el ajuste por el método de regresión lineal, el cual se procedió a programar dicha ecuación en el microcontrolador ATmega2560 para corregir las desviaciones y errores en la lectura de los voltajes del panel fotovoltaico, batería y carga en tiempo real. A continuación, se puede observar en la ilustración 6-4 la gráfica de la regresión lineal en la cual se encuentra su ecuación de la recta y su coeficiente de determinación, este último con un valor cercano a uno lo cual indica un modelo que predice perfectamente los valores en el campo de destino. El cálculo de los errores relativos de cada sensor luego de aplicar la regresión lineal se adjunta en (ANEXO N), donde se muestra el promedio del error relativo para el voltaje de los paneles solares con el 1,08846066%, para el voltaje de la batería con el 0,98425525% y para el voltaje en la carga con el 0,985109%

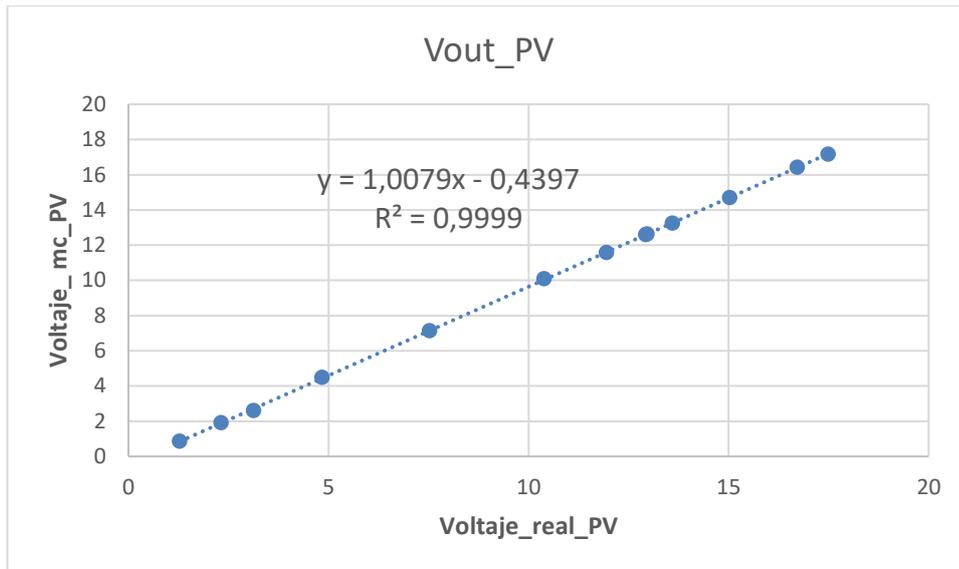


Ilustración 6-4: Valores reales vs valores presentados en microcontrolador

Realizado por: Llamuca Perugachi, David, 2023

4.6. Pruebas de adquisición de datos en servidor IoT

La ejecución de esta prueba se realiza con la visualización de los datos registrados en el servidor de IoT. Dichos datos pertenecen a los índices de radiación ultravioleta.

Sobre la ilustración 7-4 se puede observar la gráfica de los datos IUV en un lapso de tiempo de 4 horas de funcionamiento del dispositivo.



Ilustración 7-4: Registro de datos en servidor de IoT

Realizado por: Llamuca Perugachi, David, 2023

4.7. Integración del sistema repotenciado

Para finalizar con la última etapa de la metodología cascada, el cual consiste con la verificación del correcto funcionamiento del sistema, se procede a realizar las pruebas de integración para garantizar que los diferentes componentes del sistema trabajen juntos correctamente.

La presentación de la repotenciación y el correcto funcionamiento se lo puede apreciar en la ilustración 8-4. Dicha ilustración tiene la finalidad de dar a conocer el resultado final de este trabajo de titulación de carácter proyecto técnico, en la cual se juntan las habilidades adquiridas durante años de estudio dentro de la carrera de ingeniería.



Ilustración 8-4: Integración del sistema finalizado

Realizado por: Llamuca Perugachi, David, 2023

4.8. Análisis del funcionamiento para encendido y apagado del sistema

Se tomó los valores de voltaje del elemento LDR sobre el microcontrolador ATmega2560 durante el día y la noche para conocer el valor de umbral que permite encender y apagar la carga del dispositivo. Todo esto, con el fin de reducir el consumo de energía durante las noches. Como resultado, el dispositivo se enciende a las 6:20am y se apaga a las 6:20pm. En la figura 9-4 se puede visualizar la carga totalmente apagada.



Ilustración 9-4: Carga apagada a las 6:30pm

Realizado por: Llamuca Perugachi, David, 2023

4.9. Análisis de la autonomía del sistema

Para realizar el análisis de la autonomía del sistema, se procedió a tomar los valores registrados de corriente sobre la carga durante el día y también la noche, como se detalla a continuación en la tabla 2-4. Y con los valores de Amperios hora por día (Ah/día), se puede determinar el tiempo de autonomía del sistema en caso extremo que se llegaran a dañar los módulos fotovoltaicos con la ecuación 1-4.

Tabla 2-4: Autonomía del sistema

Horario	Corriente en la Carga (I_{load})	Número de Horas	Amperio Hora (Ah)
Día			
6am-6pm	1,2A	12 h	14,4Ah
Noche			
6pm-6am	0,11A	12 h	1,32Ah
Ah/día			15,72

Realizado por: Llamuca Perugachi, David, 2023.

Al aplicar y sustituir los valores correspondientes sobre la ecuación 1-4, se puede determinar que la autonomía del sistema sin módulos fotovoltaicos es de 3.18 días aproximadamente.

$$t_{auto} = C_{bat}/Ah_{día}$$

Ecuación 1-4: Tiempo de autonomía

Donde:

t_{auto} : Tiempo de autonomía

C_{bat} : Carga de batería = 50Ah

$Ah_{día}$: Amperio hora por día = 15,72Ah/día

4.10. Validación del dispositivo respecto al INAMHI

Se utilizó y comparó los datos de IUV almacenados y reflejados en los servidores de IoT del dispositivo y los datos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), en diferentes fechas y horas de funcionamiento (ANEXO P). En la tabla 3-4 se muestra los datos de IUV y en la ilustración 10-4 la gráfica del mismo respecto al tiempo.

Tabla 3-4: Registro de datos IUV en Dispositivo e INAMHI

FECHA	HORA	IUV-DISPOSITIVO	IUV-INAMHI
25/8/2023	14:00:00	3	3
9/9/2023	11:00:00	10	10
9/9/2023	13:50:00	5	5
21/9/2023	13:00:00	7	6
25/9/2023	9:00:00	7	7
25/9/2023	11:00:00	10	11
26/9/2023	9:00:00	6	7
26/9/2023	11:00:00	13	11
27/9/2023	11:00:00	12	13
27/9/2023	13:00:00	11	12
28/9/2023	7:00:00	1	1
2/10/2023	12:00:00	16	15
2/10/2023	13:00:00	5	3
4/10/2023	11:00:00	11	11
4/10/2023	12:00:00	13	13
5/10/2023	7:00:00	1	1

Realizado por: Llamuca Perugachi, David, 2023.

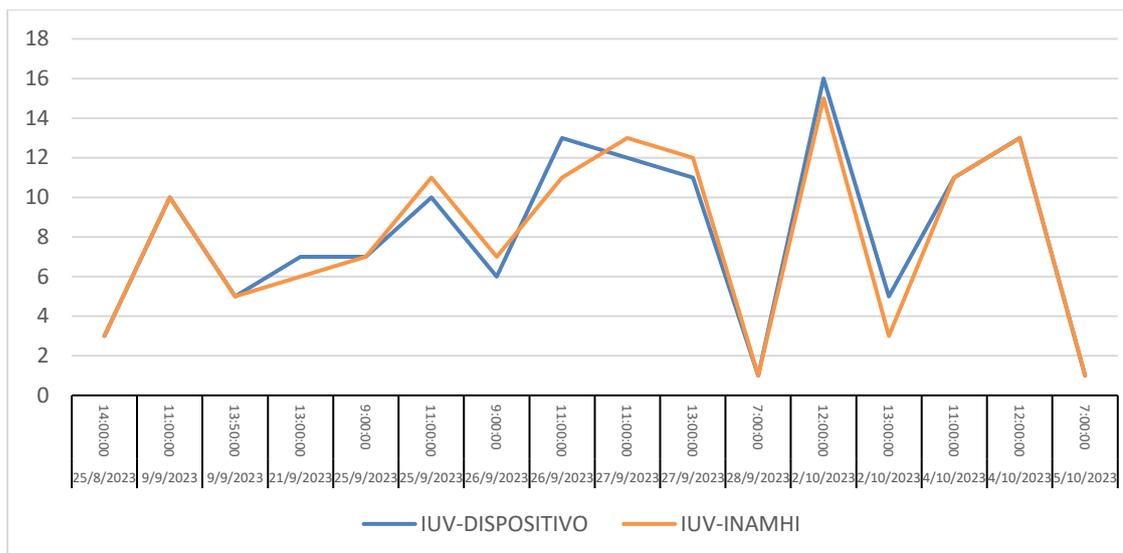


Ilustración 10-4: Índices UV del dispositivo e INAMHI

Fuente: INAMHI, 2023

Realizado por: Llamuca Perugachi, David, 2023

La técnica estadística de análisis de varianza (ANOVA) analiza y compara los datos de IUV y determina si existen diferencias globales entre el dispositivo e INAMHI (ANEXO P). Una vez concluida ANOVA se realiza las comparaciones en parejas de *Fisher* aplicando el método de Diferencia Mínima Significativa (LSD - *Least Significant Difference*) a una confianza del 95%. Como resultado del procedimiento estadístico aplicado, el dispositivo e INAMHI pertenecen a la misma agrupación, tal como se muestra en la ilustración 11-4.

En la ilustración 12-4 se muestra la gráfica de intervalos del Dispositivo e INAMHI, la cual se utiliza para mostrar la estimación de la media junto con su intervalo de confianza.

Comparaciones en parejas de Fisher

Agrupar información utilizando el método LSD de Fisher y una confianza de 95%

Factor	N	Media	Agrupación
DISPOSITIVO	16	8,19	A
INAMHI	16	8,06	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Ilustración 11-4: Método LSD de Fisher

Realizado por: Llamuca Perugachi, David, 2023

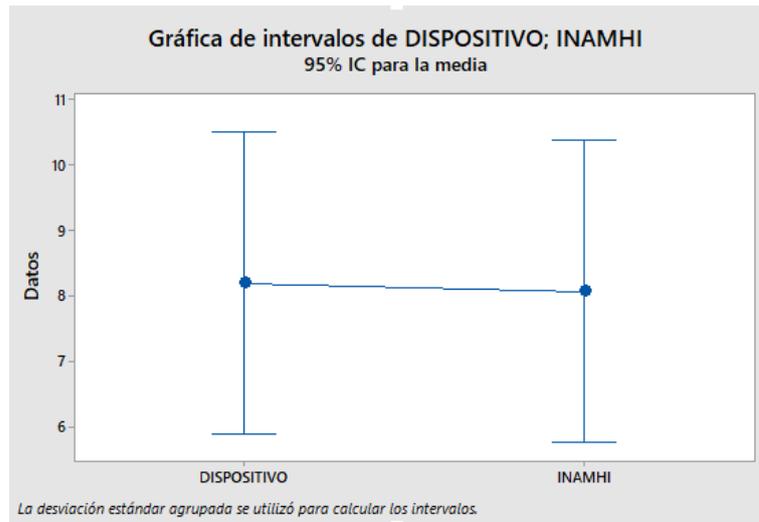


Ilustración 12-4: Gráfica de intervalos con 95% de confianza

Realizado por: Llamuca Perugachi, David, 2023

4.11. Análisis económico del sistema repotenciado

En la tabla 4-4 se muestra el registro de los elementos utilizados en cada bloque del sistema con sus respectivos precios unitarios y totales. Además, se muestra el costo total que llevo realizar la repotenciación del Infosolar, el cual da como resultado un costo de 575,17 USD.

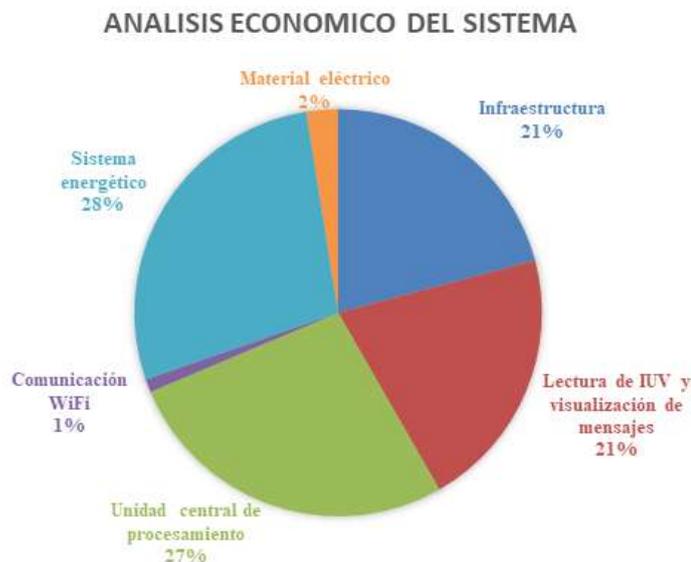


Ilustración 13-4: Comparativa porcentual de cada bloque del dispositivo

Realizado por: Llamuca Perugachi, David, 2023

Al realizar el análisis económico se obtiene que, el 28% del costo total está comprendido en el bloque del sistema energético, el 27% en el bloque de la unidad central de procesamiento, la infraestructura y el bloque de lectura de IUUV y visualización de mensajes comprenden el 21% del

costo total y, por último, el material eléctrico y bloque de comunicación WiFi comprenden el 2 y 1% respectivamente. Este análisis se lo representa visualmente con una gráfica de pastel en la ilustración 13-4.

Tabla 4-4: Costo total de la repotenciación del sistema Infosolar

Bloque	Elementos	Cantidad	Precio Unitario	Precio total
Infraestructura	Metalurgia	1	\$ 90,00	\$ 90,00
	Acrílico	1	\$ 20,00	\$ 20,00
	Cartel	1	\$ 10,00	\$ 10,00
Costo total de la infraestructura				\$ 120,00
Lectura de IUV y visualización de mensajes	LED P-10	3	\$ 20,00	\$ 60,00
	LED RGB	1	\$ 50,00	\$ 50,00
	HD - W00	1	\$ 10,00	\$ 10,00
Costo total del bloque				\$ 120,00
Unidad central de procesamiento	Fabricación PCB	1	\$ 90,00	\$ 90,00
	Sensor ACS712	3	\$ 3,57	\$ 10,71
	DPU01M-05	4	\$ 10,00	\$ 40,00
	Resistencias 1/4W	25	\$ 0,04	\$ 1,00
	OPA197	3	\$ 4,00	\$ 12,00
	Capacitores	10	\$ 0,11	\$ 1,10
Costo total del bloque				\$ 154,81
Comunicación WiFi	NodeMCU 12E	1	\$ 6,00	\$ 6,00
Costo total del bloque				\$ 6,00
Sistema energético	Batería de Gel	1	\$ 160,00	\$ 160,00
Costo total del bloque				\$ 160,00
Material eléctrico	Borneras	6	\$ 0,36	\$ 2,16
	Terminales	20	\$ 0,25	\$ 5,00
	Cables	18	\$ 0,40	\$ 7,20
Costo total de material eléctrico				\$ 14,36
COSTO TOTAL DEL INFOSOLAR REPOTENCIADO				\$ 575,17

Realizado por: Llamuca Perugachi, David, 2023.

CONCLUSIONES

- Se repotenció el sistema de medición de radiación UV llamado Infosolar ubicado en los exteriores de la FIE, en el cual se logró implementar funcionalidades de IoT como el monitoreo, transmisión, recepción y registro de datos a través de internet WiFi. Y por medio de baterías adecuadas para sistemas fotovoltaicos, módulo de carga y paneles fotovoltaicos se consigue la autonomía eléctrica del sistema repotenciado.
- Para lograr el monitoreo de la planta, se desarrolló una interfaz web y utilizó una aplicación móvil para IoT, que permitió la recolección y almacenamiento de datos generados por el dispositivo repotenciado.
- Por medio de pruebas y datos recolectados del dispositivo repotenciado, se pudo evidenciar que el dispositivo se prende automáticamente por las mañanas y se apaga por medio del valor de umbral programado dentro del microcontrolador ATmega2560.
- El sistema presentó en promedio 7.51% de error relativo, en los valores de voltaje de los módulos fotovoltaicos y los valores registrados por el microcontrolador, por lo que, se utilizó la técnica de regresión lineal y se programó en el microcontrolador ATmega2560 para realizar el ajuste sobre los sensores de voltaje a fin de menorar el error de medición de voltajes de los puertos del sistema en tiempo real. Luego del ajuste, el coeficiente de determinación fue de 0.9999, el cual indica un modelo que predice perfectamente los valores en campo
- Se realizó un análisis sobre la corriente consumida por la carga durante 24 horas, donde se calculó que existe un consumo de 15.72 Ah/día. Con este último dato se pudo determinar que la autonomía del sistema será 3.18 días en el caso extremo que los módulos fotovoltaicos se llegasen a dañar o desconectar.
- Se tomaron los datos de IUV registrados por el dispositivo a distintas horas y fechas durante un mes y se comparó con los datos de IUV registrados en la página web del INAMHI, aplicando el método estadístico de diferencias mínimas significativas, se obtiene como resultado que los datos del dispositivo e INAMHI pertenecen al mismo grupo con un 95% de confianza.

RECOMENDACIONES

- Realizar adecuaciones sobre la infraestructura metálica para impermeabilizar el dispositivo, para salvaguardar la integridad electrónica del sistema en épocas lluviosas.
- Realizar la selección de los paneles LED para visualizar los mensajes de manera tal, que la visualización sea buena aún en días de mayor luminiscencia.
- Desarrollar una aplicación propia para teléfonos móviles que maneje la generación de alertas de índices de radiación UV altos o peligrosos de manera automática para una mayor seguridad, prevención y cuidado de la salud de los usuarios que instalen dicha aplicación.
- Ejecutar mantenimientos mensuales que involucre limpieza de equipos y tarjetas electrónicas, además de corroborar el estado de la batería y la adquisición de datos en servidor web.

BIBLIOGRAFÍA

ACURIO MALDONADO, Daniel Marcelo. Dispositivo de alerta de exposición a la radiación uv para unidades educativas (Trabajo de titulación).(Maestría) Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Ambato, Ecuador, 2021, pp. 19-22.

Arduino. *How to use it* [en línea]. [Consulta: 8 julio 2023]. Disponible: <https://www.arduino.cc/>.

BISQUERT, Juan; et al. "Application of photovoltaic systems for rural electrification at remote Islands". *Solar Energy Materials and Solar Cells* [en línea], 1997, (United State of America) 47(4), pp. 295-302. [Consulta: 8 mayo 2023]. ISSN 0927-0248. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0927-0248\(97\)00052-4](https://doi.org/10.1016/S0927-0248(97)00052-4).

BLYNK. *A low-code IoT software platform* [en línea] 2021. [Consulta: 20 mayo 2023]. Disponible en: <https://blynk.io/>.

BORGIA, Eleonora. "The Internet of Things vision: Key features, applications and open issues". *Computer Communications* [en línea], 2014, (United State of America) 54(1), pp. 1-31. [Consulta: 20 abril 2023]. ISSN 0140-3664, Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2014.09.008>.

CALDERÓN HURTADO, Anthony Javier. Implementación de un cargador de baterías con algoritmo MPPT y convertidor Buck para un sistema fotovoltaico (Trabajo de titulación). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador, 2022, pp. 12-21.

CARRILLO, José. *Inversores para sistemas fotovoltaicos aislados: selección, instalación y configuración*. [en línea]. Ediciones UC, 2019 [Consulta: 4 abril 2023]. Disponible en: <https://www.renova-energia.com/categoria-producto/inversores/>.

CASTRO GILER, Jeison Steven. Diseño e implementación de un prototipo de transmisión inalámbrica para la medición de radiación ultravioleta. (Trabajo de titulación). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, 2020, pp. 95-98.

CHIN, Yap Shien & AUDAH, Lukman. "Vertical farming monitoring system using the internet of things (IoT)". *AIP conference proceedings* [en línea], 2017. (Malasia) 1883(1), pp. 020021. [Consulta: 4 abril 2023]. ISSN 0094-243X, Disponible en: <https://doi.org/10.1063/1.5002039>

CHOUDHARY, Dhananjay & SAXENA, Anmol Ratna. "DC-DC buck-converter for MPPT of PV system". *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering* [en línea], 2014, (India) 4(7), pp. 813-821. [Consulta: 4 abril 2023]. ISSN 2250-2459, Disponible en: <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=cb3cb1228dd252453699165d62a3aad54c4429d0>

CHOUDHARY, Sarika & MEENA, Gaurav. "Internet of Things: Protocols, Applications and Security Issues". *Procedia Computer Science* [en línea], 2022, (India) 215(4), pp. 274-288.

[Consulta: 15 abril 2023]. ISSN 1877-0509. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.12.030>

DARABKH, Khalid & KASSAB, Wafaa. "A–Z survey of Internet of Things: Architectures, protocols, applications, recent advances, future directions and recommendations". *Journal of Network and Computer Applications* [en línea], 2020, (Jordania) 163, pp. 102-663. [Consulta: 5 abril 2023]. ISSN 1084-8045. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2020.102663>

GITCE. *Incidencia UV en Riobamba* ESPOCH. [blog]. [Consulta: 5 abril 2023]. Disponible en: <https://www.esPOCH.edu.ec/es/component/k2/item/5117-grupo-polit%C3%A9cnico-investiga-los-rayos-uv-y-su-incidencia-en-la-piel.html#:~:text=Se%20demuestra%20que%20el%20IUV,ha%20medido%20hasta%2017%20IUV>

GUBBI, Jayavardhana, et al. "Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions.". *Future Gener. Comput. Syst* [en línea], 2013, (Australia) 29(7), pp. 1645-1660. [Consulta: 10 abril 2023]. ISSN 0167-739X. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.future.2013.01.010>

Herramientas de Ingeniería. *Duración teórica de la carga de una batería* [en línea]. [Consulta: 14 julio 2023]. Disponible en: <https://www.herramientasingeneria.com/onlinecalc/spa/duracion-baterias/duracion-baterias.html>.

HUIDU. *Product Specifications* [en línea]. [Consulta: 25 mayo 2023]. Disponible en: https://www.laskakit.cz/user/related_files/hd-w00_spec_v1_1.pdf.

IEEE Guide for Selection of Valve-Regulated Lead-Acid (VRLA) Batteries for Stationary Applications. *IEEE Std 1189-2007 (Revision of IEEE Std 1189-1996* [en línea], 2008, (United State of America), pp. 1-24. [Consulta: 10 mayo 2023]. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/4441726>

ILED. *P10 Single Color LED* [en línea]. [Consulta: 25 marzo 2023]. Disponible en: <https://www.iled.com/class/INNOVAEditor/assets/YeniDatasheets/2120-2124p10tekrenk.pdf>.

INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER. "SOLAR AND ULTRAVIOLET RADIATION". *IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans*[en línea], 2012, (Naciones Unidas) (100), pp. 34-36. [Consulta: 20 abril 2023]. Disponible en: <https://publications.iarc.fr/Book-And-Report-Series/Iarc-Monographs-On-The-Identification-Of-Carcinogenic-Hazards-To-Humans/Solar-And-Ultraviolet-Radiation-1992>

JONES, Lawrence E. *Renewable Energy Integration: Practical Management of Variability, Uncertainty, and Flexibility in Power Grids* [en línea]. Academic Press, 2017. [Consulta: 20 abril 2023]. Disponible en: https://books.google.com.ec/books?id=b_6pDQAAQBAJ&lpg=PP1&ots=uEVnHXC0KD&dq=Renewable%20Energy%20Integration%3A%20Practical%20Management%20of%20Variabilit

[y%2C%20Uncertainty%2C%20and%20Flexibility&hl=es&pg=PP1#v=onepage&q=Renewable%20Energy%20Integration:%20Practical%20Management%20of%20Variability,%20Uncertainty,%20and%20Flexibility&f=false](#)

KCHAOU, Ameni; et al. "Comparative study of different MPPT techniques for a stand-alone PV system". *2016 17th International Conference on Sciences and Techniques of Automatic Control and Computer Engineering (STA)* [en línea], 2016, (United State of America), pp. 629-634. [Consulta: 15 mayo 2023]. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7952092>

KRAJAK, Surapon & TUWANUT, Panwit. "A survey on IoT architectures, protocols, applications, security, privacy, real-world implementation and future trends". *11th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing (WiCOM 2015)* [en línea]. 2015, (United State of America), pp. 1-6. [Consulta: 15 mayo 2023]. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7446846>

LÓPEZ PÉREZ, Cristina Elizabeth & MANCHENO ALCOSER, Jessica Viviana. Implementación de un Sistema Electrónico de Monitoreo Autosustentable para la Difusión de Índices de Radiación Solar en la Epoch (Trabajo de titulación). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2016. pp. 3-5.

LORENTE, J. *La radiación solar*. Barcelona-España: Universidad de Barcelona, 2010, pp. 20-35.

MEI. *Baterías Industriales Plomo-Acido* [en línea]. 2019. [Consulta: 15 mayo 2023.] Disponible en: <https://www.mei-telecom.com/baterias-plomo-acido.html>

MELLENDEZ, Fernando. *Instrumentos para medir Radiación Solar* [en línea]. 17 de Septiembre, 2021. [Consulta: 24 Abril 2023]. Disponible en: <https://somosadvance.com/expertise/instrumentos-para-medir-la-radiacion-solar/#:~:text=Piran%C3%B3metro%20son%20instrumentos%20que%20pueden,direcciones%20de%20la%20superficie%20terrestre>

NAYLAMP, Mechatronics. *TUTORIAL SENSOR DE CORRIENTE ACS712* [en línea]. 2019. [Consulta: 25 Mayo 2023]. Disponible en: https://naylampmechatronics.com/blog/48_tutorial-sensor-de-corriente-ac712.html.

NIETO PRECIADO, Anderson George. Análisis de los impactos ambientales generados en la piladora de arroz "rosita Amelia" cantón Montalvo provincia de los Ríos. (Trabajo de Titulación). Universidad Agraria del Ecuador, Guayaquil, Ecuador. 2021. pp. 16-18.

OMS. *UV radiation and the skin* [en línea]. 21 de Junio, 2018. [Consulta: 8 febrero 2023]. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ultraviolet-radiation>.

OMS. *Índice UV solar mundial guía práctica* [en línea]. 2003. [Consulta: 25 abril 2023]. Disponible en: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/42633/9243590073.pdf;jsessionid=>

- ORTEGA, Victor Galera.** *Simulador Convertidores DC-DC*. Tarragona-España: Universitat Rovira i Virgili, 2002, pp. 14-31.
- PASQUALE, Sara, et al.** "Determination of the influence of altitude on the Contents of Natural Protection (IPN) skin and Sun Protection Factor required (SPF)". *Instituto Nacional de Higiene Rafael Rangel*, vol. 44, n°2 (2013), (Venezuela) pp. 7-12.
- PEREA ESPITIA, Juan Manuel.** "Cómo se produce la energía que nos llega del sol?". *Entornos*, vol. 1, n°10 (2015), (Colombia) pp. 95-102.
- POHL ALFARO, Mauricio.** "UVmaforo: Monitoreo del Índice UV en El Salvador". *Universidad Centroamericana José Simeón Cañas* [en línea], 2017, (El Salvador), pp 4-6. [Consulta: 23 marzo 2023.] Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/323127110_UVmaforo_Monitoreo_del_Indice_UV_en_El_Salvador/citation/download
- QUITOLED.** *Quitoled* [en línea]. 2020. [Consultado: 7 julio 2023] <https://www.quitoled.com/producto/panel-solar-50w/>
- RAMKUMAR, Ramesh; et al.** "Solar cell technology: research, applications, and challenges". *Journal of Applied Physics*, vol. 6, n° 118 (2015) pp. 1-22.
- REDDY, D; et al.** "Design of hybrid solar wind energy system in a microgrid with MPPT techniques". *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, vol. 8, n°2 (2018) pp. 730-740.
- ROBINS, Perry.** *The Skin Cancer Foundation's Guide to Sunscreens*. Nueva York: St. martin's press, 2002, pp. 1-40.
- SHAH, Trusit & VENKATESAN, S.** "Authentication of IoT Device and IoT Server Using Secure Vaults". *2018 17th IEEE International Conference On Trust, Security And Privacy In Computing And Communications/ 12th IEEE International Conference On Big Data Science And Engineering (TrustCom/BigDataSE*. 2018, pp. 819-824.
- SHARMA, Shailendra , et al.** "Validation of a smartphone sun sensor and UV app for use in public health promotion". *PLOS One*, n°6 (2021), pp. 18-26.
- Shenzhen Segre Electronics.** *BRINDA* [en línea]. [Consulta: 17 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.invertersupplier.com/es/products/1200w-12v-24v-36v-48v-dc-to-ac-100v-110v-120v-1200-watt-pure-sine-wave-power-invertors.html>.
- SRINIVASA, A & SIDDARAJU, H.** "A Comprehensive Study Of Architecture Protocols And Enabling Applications In Internet Of Things (Iot)". *International Journal of Scientific & Technology Research*, vol. 8, n°11 (2019), pp. 3-10.
- TAUSIFA, Jan & MOHAMMAD, Ahsan.** "Deep learning for the internet of things: Potential benefits and use-cases". *Digital Communications and Networks*, vol. 7, n°4 (2021), pp. 526-542.

VINOGRADOVA, E. "Portable Devices for Monitoring Ultraviolet Radiation". *Eleventh International Conference "Management of large-scale system development"(MLSD)* [en línea], 2018, (Rusia), pp. 1-4. [Consulta: 8 junio 2023]. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8551851>

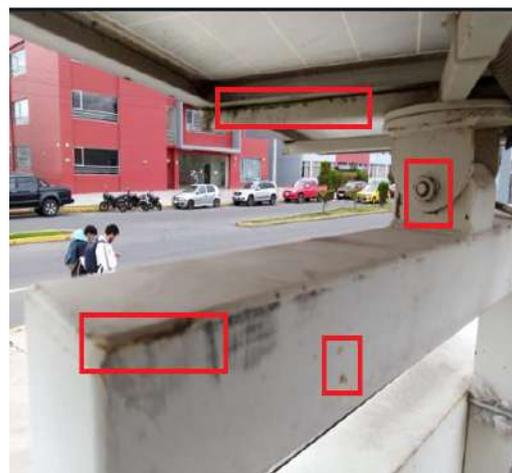
XINLI, Wang, WEI GAO, James Slusser & BECKY OLSON, John Davis. *USDA UV-B Monitoring and Research Program*, Natural Resource Ecology Laboratory [en línea], Colorado-USA: Colorado State University, 2004. [Consulta: 20 junio 2023]. Disponible en: <https://www.nrel.colostate.edu/uv-b-monitoring-and-research-program/>

ZDRAVKOVIC, Milan; et al. "Survey of Internet-of-Things platforms". *Conference: 6th International Conference on Information Society and Technology (ICIST 2016)* [en línea], 2016, (Serbia) 1, pp. 216-220. [Consulta: 20 junio 2023]. Disponible en: <https://hal.science/hal-01298141/>

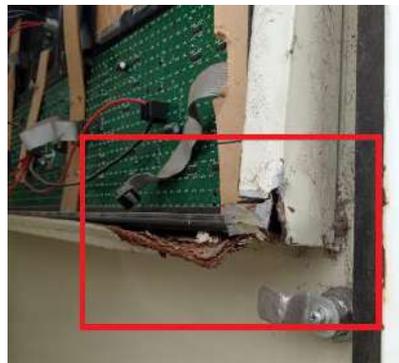
ZÚÑIGA MIRANDA, Carlos Alexander & GRANDA LUCES, Jonathan Kevin. Diseño e implementación de un prototipo medidor de radiación ultra violeta alimentado por paneles solares. (Trabajo de titulación). Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil, Ecuador. 2019. pp. 60-62.

ANEXOS

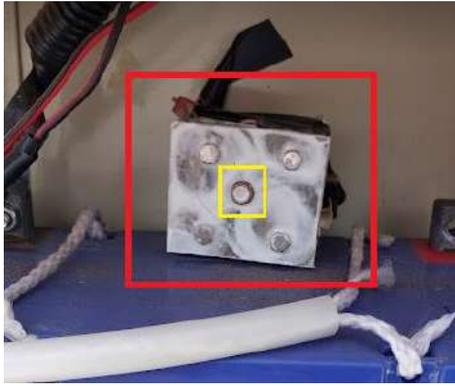
ANEXO A: ESTADO DE LA ESTRUCTURA METALICA EXTERIOR



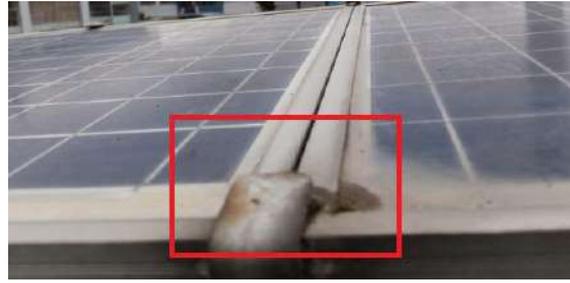
ANEXO B: ESTADO DE LA ESTRUCTURA METALICA INTERIOR



ANEXO C: FOTODETECTOR



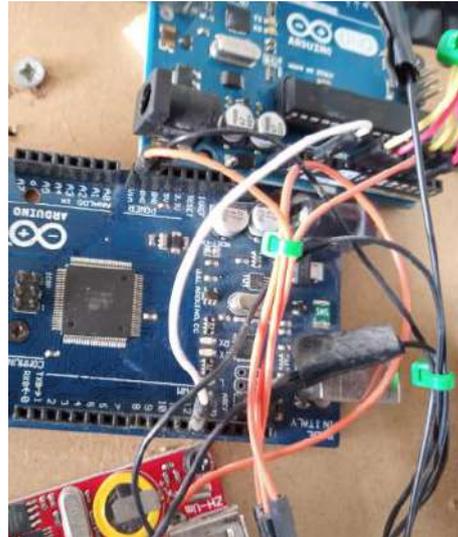
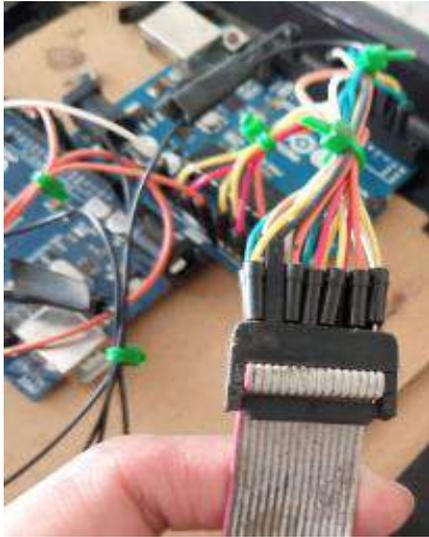
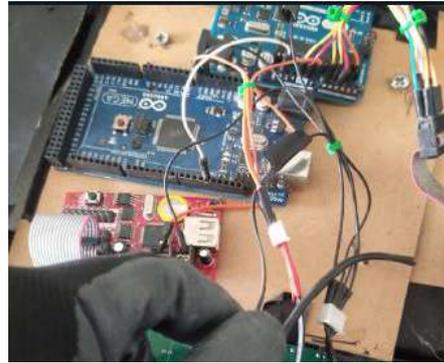
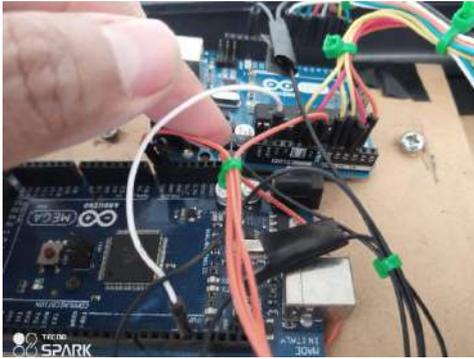
ANEXO D: PANELES SOLARES



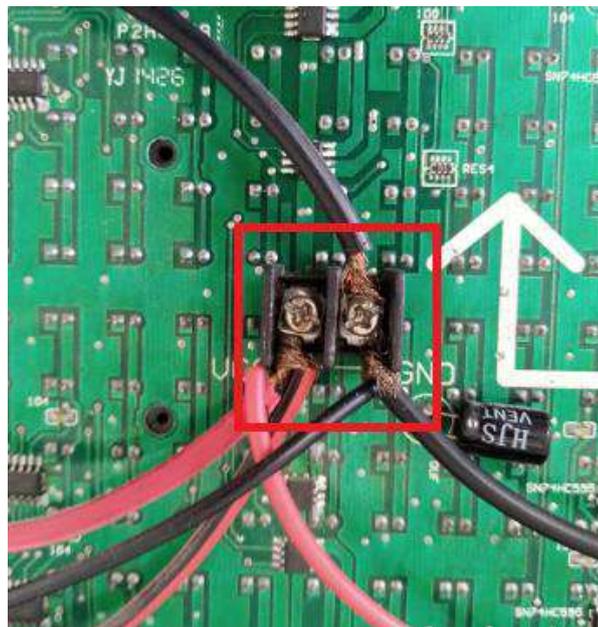
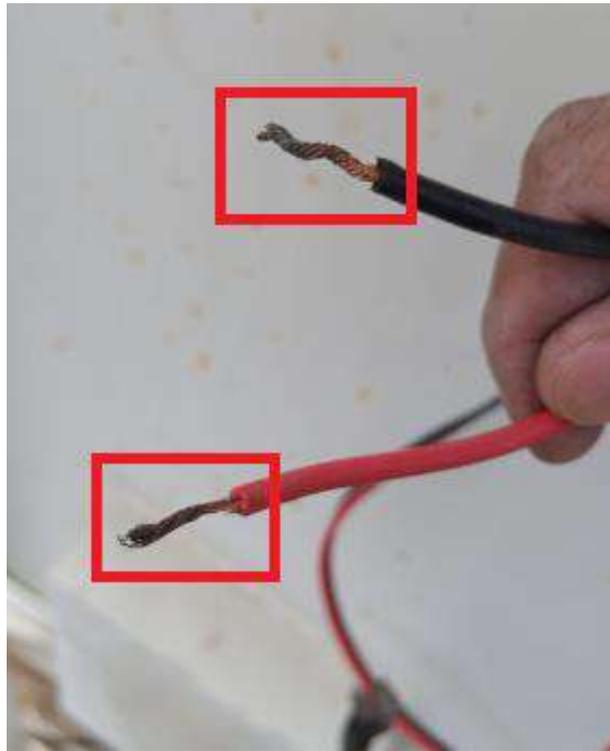
ANEXO E: BATERIA



ANEXO F: TARJETAS PARA VISUALIZACIÓN DE MENSAJES



ANEXO G: CABLES Y CONEXIONES ELECTRICAS



ANEXO H: HOJA TECNICA DE LA BATERIA




High-Temp Long Life GEL Deep Cycle Battery HTB12-50

HTB series uses the newly developed nano gel electrolyte with super-C additive plus heavy duty plates design inside. The HTB series has a long service life and can provide optimum and reliable service under extreme condition such as high temperature and frequent power failure. This series is highly suited for tropical area in outdoor applications such as Telecom BTS stations and Off-grid PV system.

Deep Cycle

GEL Technology

12V 50Ah



Applications

- > BTS Stations
- > Solar & Wind energy system
- > UPS system
- > Telecom systems
- > Wheel chair, Golf Car

General Features

- ✓ Able to operate at 40-60°C
- ✓ DOD 50% 1500 times Cycles
- ✓ Integrated design to ensure the best Uniformity and reliability
- ✓ Long life and high stability under high temp. environment (no air-con needed)
- ✓ Use super-C additive! Deep discharge recovery capability



COMPLIED STANDARDS

IEC 60896-21/22 BS CE704
IEC61427 BS6290 part4
GB/T 19638 CE/ISO

Dimensions & Weight

Length (mm) 229±1

Width (mm) 138±1

Height (mm) 208±1

Total Height (mm) 212±1

Weight (kg) 15.8±3%

Technical Specifications

Nominal Voltage		12V6 cells per unit
Design Floating Life @25°C		12 Years
Nominal Capacity @25°C (10 hour rate)(5.00A, 10.0V)		50Ah
Capacity @25°C	20hour rate (2.76A, 10.8V)	55.6Ah
	5 hour rate (9.1A, 10.5V)	45.5Ah
	1 hour rate (33.3A, 9.6V)	33.3Ah
Internal Resistance	Full Charged Battery@25°C	<8.4mΩ
Ambient Temperature:	Discharge	-20°C~+60°C
	Charge	-10°C~+60°C
	Storage	-10°C~+60°C
Max Discharge Current@25°C		100A (15s)
Capacity affected by Temperature (10 hour)	40°C	105%
	25°C	100%
	0°C	85%
	-15°C	85%
Self-Discharge@25°C per Month		3%
Charge (Constant Voltage)@25°C	Standby Use	Initial Charging Current Less than 12.5A Voltage 13.6-13.8V
	Cycle Use	Initial Charging Current Less than 12.5A Voltage 14.4-14.9V

Battery Discharge Table

Discharge Constant Current per Cell (Amperes at 25°C)

F.V/Time	15min	30min	45min	1h	2h	3h	5h	8h	10h	20h
1.80V	84.4	52.5	37.7	31.3	20.2	16.8	9.5	5.8	5.20	2.89
1.65V	80.9	51.1	36.7	32.4	19.9	16.6	9.4	5.8	5.15	2.86
1.50V	77.4	49.7	35.7	31.5	19.5	16.3	9.3	5.7	5.10	2.83
1.35V	73.9	48.3	34.7	30.6	19.1	15.9	9.1	5.7	5.05	2.80
1.20V	70.4	46.9	33.7	29.7	18.6	15.6	9.0	5.6	5.00	2.76

Discharge Constant Power per Cell (Watts at 25°C)

F.V/Time	15min	30min	45min	1h	2h	3h	5h	8h	10h	20h
1.80V	157.4	98.0	70.3	62.0	37.8	32.6	17.8	10.9	9.7	5.4
1.65V	150.9	95.3	68.4	60.4	37.1	32.1	17.5	10.8	9.6	5.3
1.50V	144.3	92.7	66.5	58.7	36.4	31.6	17.3	10.7	9.5	5.2
1.35V	137.8	90.1	64.8	57.1	35.6	31.0	17.0	10.5	9.4	5.2
1.20V	131.2	87.5	62.8	55.4	34.7	29.4	16.8	10.4	9.3	5.2

Note: The above data are average values, and can be obtained within 3 charge/discharge cycles. These are not minimum values. Cell and battery design/specifications are subject to modification without notice. Contact [ESBbattery](#) for the latest information.

Copyright © 2013 ESBattery Energy Co., Limited

ANEXO I: HOJA TECNICA DE C780A

ACPL-C78A, ACPL-C780, ACPL-C784

Miniature Isolation Amplifiers



Data Sheet

Description

The ACPL-C78A/C780/C784 family of isolation amplifiers is designed for current sensing in electronic motor drives. In a typical implementation, motor currents flow through an external resistor and the resulting analog voltage drop is sensed by the ACPL-C78A/C780/C784. A differential output voltage is created on the other side of the ACPL-C78A/C780/C784 optical isolation barrier. This differential output voltage is proportional to the motor current and can be converted to a single-ended signal by using an op-amp as shown in the recommended application circuit. Since common-mode voltage swings of several hundred volts in tens of nanoseconds are common in modern switching inverter motor drives, the ACPL-C78A/C780/C784 is designed to ignore very high common-mode transient slew rates (of at least 10 kV/ μ s).

The high CMR capability of the ACPL-C78A/C780/C784 isolation amplifier provides the precision and stability needed to accurately monitor motor current in high noise motor control environments, providing for smoother control (less "torque ripple") in various types of motor control applications.

The product can also be used for general analog signal isolation applications requiring high accuracy, stability, and linearity under similarly severe noise conditions. For general applications, we recommend the ACPL-C780 (gain tolerance of $\pm 3\%$) and the ACPL-C784 (gain tolerance of $\pm 5\%$). For precision applications Avago Technologies offers the ACPL-C78A with part-to-part gain tolerance of $\pm 1\%$. The ACPL-C78A/C780/C784 utilizes sigma-delta ($\Sigma-\Delta$) analog-to-digital converter technology, chopper stabilized amplifiers, and a fully differential circuit topology.

Together, these features deliver unequalled isolation-mode noise rejection, as well as excellent offset and gain accuracy and stability over time and temperature. This performance is delivered in a compact, auto-insertable, Stretched SO-8 (SSO-8) package that meets worldwide regulatory safety standards.

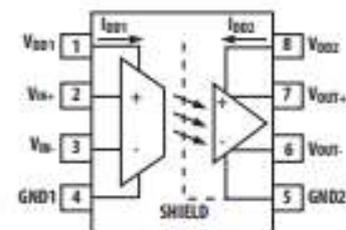
Features

- 15 kV/ μ s Common-Mode Rejection at $V_{CM} = 1000$ V
- Compact, Auto-Insertable Stretched SO-8 Package
- 0.00025 V/V/ $^{\circ}$ C Gain Drift vs. Temperature
- 0.3 mV Input Offset Voltage
- 100 kHz Bandwidth
- 0.004% Nonlinearity
- Worldwide Safety Approval: UL 1577 (5000 Vrms/1 min.), CSA and IEC/EN/DIN EN 60747-5-5
- Advanced Sigma-Delta ($\Sigma-\Delta$) A/D Converter Technology
- Fully Differential Amplifier

Applications

- Motor Phase and Rail Current Sensing
- Inverter Current Sensing
- DC bus voltage sensing
- General Purpose Current Sensing and Monitoring
- General Purpose Analog Signal Isolation

Functional Diagram



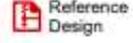
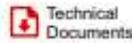
NOTE: A 0.1 μ F bypass capacitor must be connected between pins 1 and 4 and between pins 5 and 8.

DC Electrical Specifications

Unless otherwise noted, all typicals and figures are at the nominal operating conditions of $V_{IN+} = 0$, $V_{IN-} = 0$ V, $V_{DD1} = V_{DD2} = 5$ V and $T_A = 25^\circ\text{C}$; all Minimum and Maximum specifications are within the Recommended Operating Conditions.

Parameter	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Unit	Test Conditions	Fig.	Note
Input Offset Voltage	V_{OS}	-2	0.3	2	mV	$T_A = 25^\circ\text{C}$	1,2,3	
Input Offset Voltage	V_{OS}	-3		3		$T_A = -40^\circ\text{C}$ to $+85^\circ\text{C}$	1,2,3	
Magnitude of Input Offset Change vs. Temperature	$ dV_{OS}/dT_A $		3	10	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$		2	2
Gain (ACPL-C78A, $\pm 1\%$)	G1	7.92	8	8.08	V/V	$V_{IN+} = -200$ mV to $+200$ mV, $T_A = 25^\circ\text{C}$	4,5,6	3
Gain (ACPL-C78D, $\pm 3\%$)	G3	7.76	8	8.24	V/V	$V_{IN+} = -200$ mV to $+200$ mV, $T_A = 25^\circ\text{C}$	4,5,6	3
Gain (ACPL-C78A, $\pm 5\%$)	G5	7.6	8	8.4	V/V	$V_{IN+} = -200$ mV to $+200$ mV, $T_A = 25^\circ\text{C}$	4,5,6	3
Magnitude of V_{OUT} Gain Change vs. Temperature	$ dG/dT_A $		0.00025		V/V/ $^\circ\text{C}$		4,5,6	4
V_{OUT} Nonlinearity over ± 200 mV Input Voltage	NL ₂₀₀		0.0037	0.35	%	$V_{IN+} = -200$ mV to $+200$ mV	7,8	5
Magnitude of NL ₂₀₀ Change vs. Temperature	$ dNL_{200}/dT_A $		0.0002		%/ $^\circ\text{C}$		7,8	5
V_{OUT} Nonlinearity over ± 100 mV Input Voltage	NL ₁₀₀		0.0027	0.2	%	$V_{IN+} = -100$ mV to $+100$ mV	7,8	6
Maximum Input Voltage before V_{OUT} Clipping	$ V_{IN+} _{MAX}$		308		mV		9	
Input Side Supply Current	I_{DD1}		11	16	mA	$V_{IN+} = +400$ mV	10	7
Output Side Supply Current	I_{DD2}		13	16	mA	$V_{IN+} = -400$ mV	10	8
Input Current	I_{IN+}	-5	-0.5		μA	$V_{IN+} = 0$, $V_{IN-} = 0$ V	11	9
Magnitude of Input Bias Current vs. Temperature	$ dI_{IN+}/dT_A $		0.45		nA/ $^\circ\text{C}$			
Output Low Voltage	V_{OL}		1.29		V		9	10
Output High Voltage	V_{OH}		3.8		V		9	10
V_{OUT} Output Common-Mode Voltage	V_{OCM}	2.2	2.545	2.8	V			
V_{OUT} Output Short-Circuit Current	$ I_{OSC} $		18.6		mA	$V_{OUT} = 0$ V or V_{DD2}		11
Equivalent Input Impedance	R_{IN}		500		k Ω			9
V_{OUT} Output Resistance	R_{OUT}		15		Ω			
Input DC Common-Mode Rejection Ratio	CMRR _{IN}		76		dB			12

ANEXO J: HOJA TECNICA DE OPA197



OPA197, OPA2197, OPA4197

SBOS737C – JANUARY 2016 – REVISED MARCH 2018

OPAx197 36-V, Precision, Rail-to-Rail Input/Output, Low Offset Voltage, Operational Amplifiers

1 Features

- Low Offset Voltage: $\pm 100 \mu\text{V}$ (Maximum)
- Low Offset Voltage Drift: $\pm 2.5 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ (Maximum)
- Low Noise: $5.5 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ at 1 kHz
- High Common-Mode Rejection: 120 dB (Minimum)
- Low Bias Current: $\pm 5 \text{ pA}$ (Typical)
- Rail-to-Rail Input and Output
- Wide Bandwidth: 10-MHz GBW
- High Slew Rate: 20 V/ μs
- Low Quiescent Current: 1 mA per Amplifier (Typical)
- Wide Supply: $\pm 2.25 \text{ V}$ to $\pm 18 \text{ V}$, $+4.5 \text{ V}$ to $+36 \text{ V}$
- EMI- and RFI-Filtered Inputs
- Differential Input Voltage Range to Supply Rail
- High Capacitive Load Drive Capability: 1 nF
- Industry Standard Packages:
 - Single in SOIC-8, SOT-5, and VSSOP-8
 - Dual in SOIC-8 and VSSOP-8
 - Quad in SOIC-14 and TSSOP-14

2 Applications

- Multiplexed Data-Acquisition Systems
- Test and Measurement Equipment
- High-Resolution ADC Driver Amplifiers
- SAR ADC Reference Buffers
- Programmable Logic Controllers
- High-Side and Low-Side Current Sensing
- High Precision Comparators

3 Description

The OPAx197 family (OPA197, OPA2197, and OPA4197) is a new generation of 36-V operational amplifiers.

These devices offer outstanding dc precision and ac performance, including rail-to-rail input/output, low offset ($\pm 25 \mu\text{V}$, typical), low offset drift ($\pm 0.25 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$, typ), and 10-MHz bandwidth.

Unique features such as differential input-voltage range to the supply rail, high output current ($\pm 65 \text{ mA}$), high capacitive load drive of up to 1 nF, and high slew rate (20 V/ μs) make the OPA197 a robust, high-performance operational amplifier for high-voltage, industrial applications.

The OPA197 family of op amps is available in standard packages and is specified from -40°C to $+125^\circ\text{C}$.

Device Information⁽¹⁾

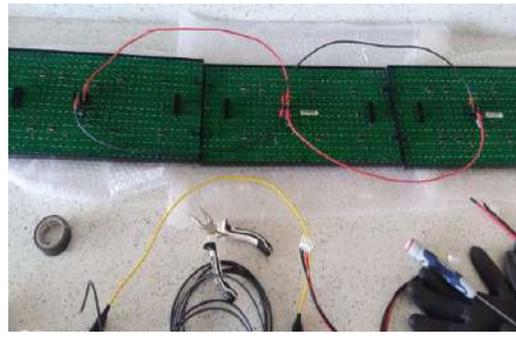
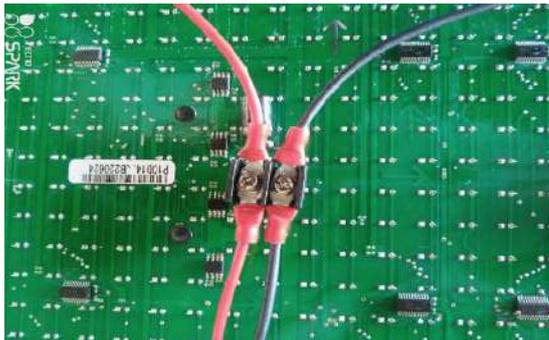
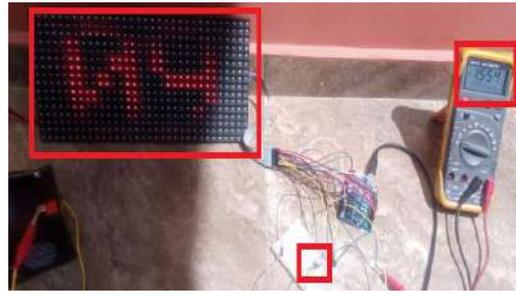
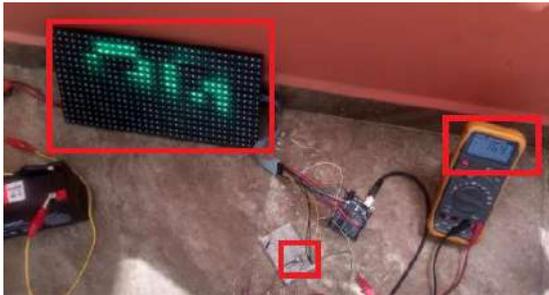
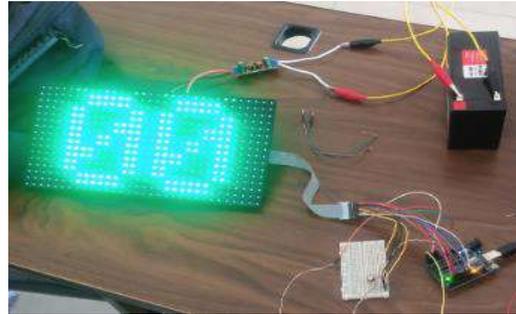
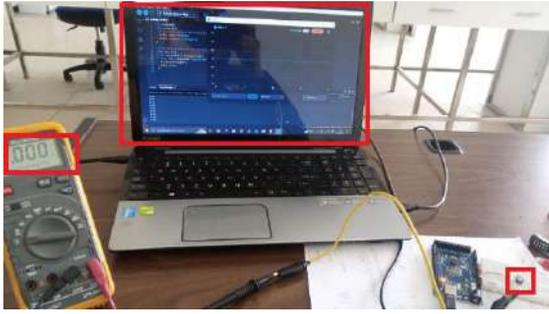
PART NUMBER	PACKAGE	BODY SIZE (NOM)
OPA197	SOIC (8)	4.90 mm × 3.90 mm
	SOT (5)	2.90 mm × 1.60 mm
	VSSOP (8)	3.00 mm × 3.00 mm
OPA2197	SOIC (8)	4.90 mm × 3.90 mm
	VSSOP (8)	3.00 mm × 3.00 mm
OPA4197	SOIC (14)	8.65 mm × 3.90 mm
	TSSOP (14)	5.00 mm × 4.40 mm

(1) For all available packages, see the package option addendum at the end of the data sheet.

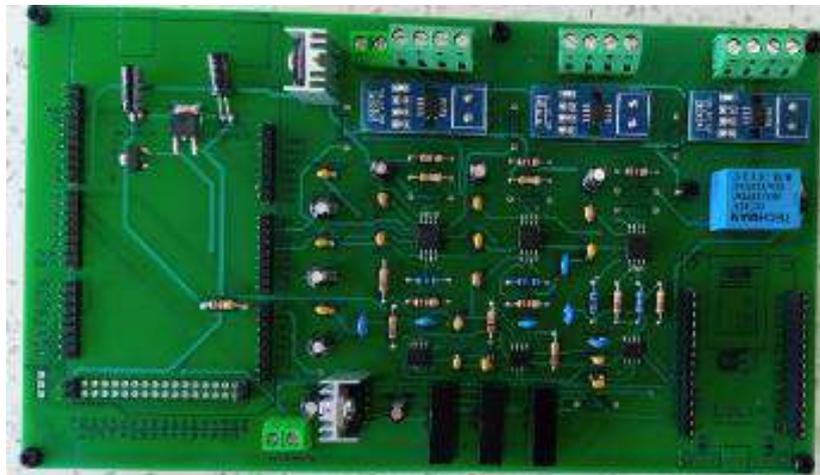
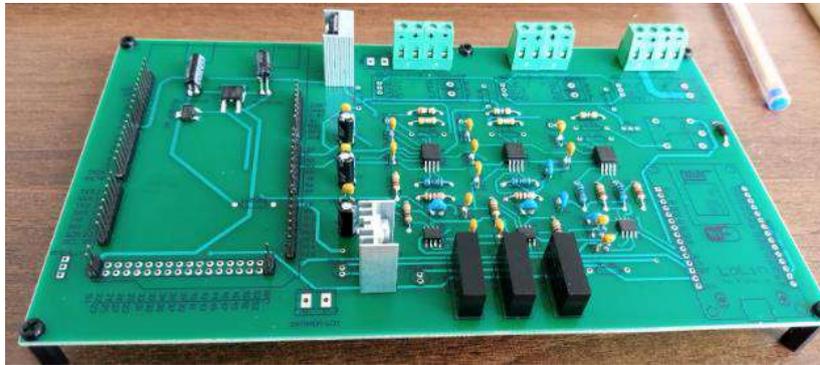
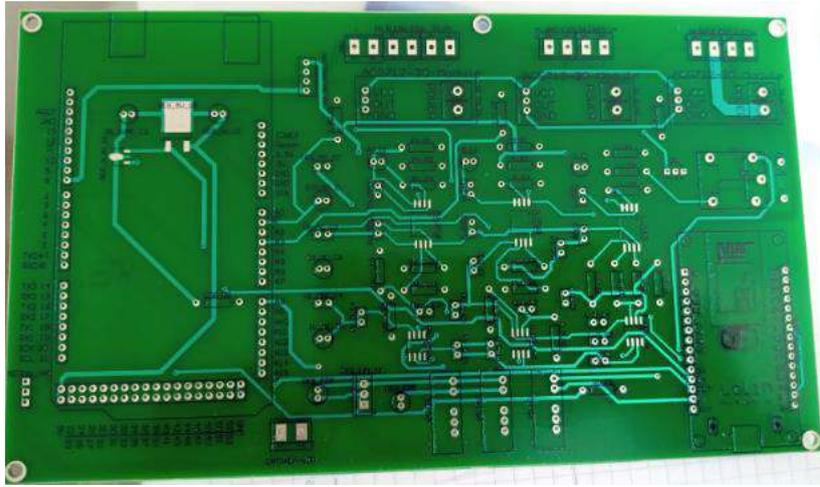
ANEXO K: LECTURAS FALSAS DE IUV



ANEXO L: MÓDULOS DE MENSAJES LED



ANEXO M: SOLDADURA DE ELEMENTOS SOBRE PLACA PCB 2



ANEXO N: CALCULO DEL ERROR RELATIVO

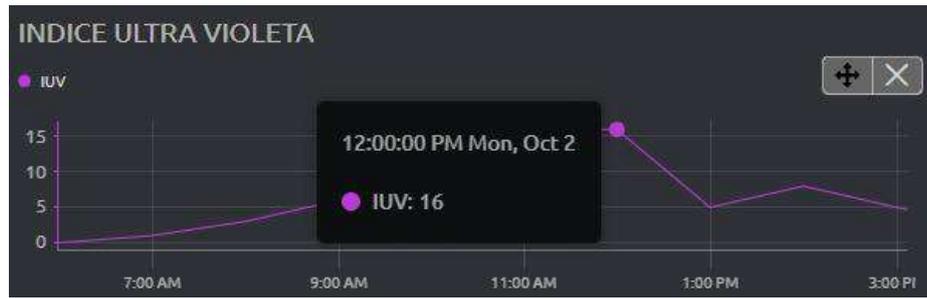
N	VOLTAJE REAL PV	Voltaje MC PV	Error relativo porcentual
1	20,19	19,75246	2,16711243
2	13,1	12,99	0,83969466
3	13,29	13,24938	0,30564334
4	20,12	19,670	2,23658052
5	21,16	21,1000000	0,28355388
6	20,56	20,456	0,50583658
7	12,770	12,579	1,49678935
8	12,6	12,4421	1,2531746
9	13,59	13,4975	0,68064753
10	13,36	13,104	1,91616766
11	13,51	13,3157	1,43819393
12	13,36	13,2975	0,46781437
13	13,44	13,3649	0,55877976
Promedio del error relativo porcentual			1,08846066



N	VOLTAJE REAL BATERIA	Voltaje MC BATERIA	Error relativo porcentual
1	13,61	13,4015	1,53196179
2	13,82	13,545	1,98986975
3	13,41	13,3894	0,1536167
4	13,98	13,7803	1,42846924
5	13,28	13,25	0,22590361
6	13,92	13,7078	1,52442529
7	13,250	13,250	0
8	13,82	13,545	1,98986975
9	13,41	13,3987	0,08426547
10	13,56	13,48	0,5899705
11	13,61	13,40087	1,53659074
12	13,31	13,28	0,22539444
13	13,15	12,95078	1,51498099
Promedio del error relativo porcentual			0,98425525

N	VOLTAJE REAL PV	Voltaje MC PV	Error relativo porcentual
1	1,282	0,87286	31,9141966
2	2,316	1,9196	17,1157168
3	3,13	2,60284	16,8421725
4	4,84	4,486	7,31322314
5	7,53	7,1429500	5,14010624
6	10,39	10,099	2,80519731
7	11,950	11,579	3,10577406
8	12,96	12,6421	2,4529321
9	12,93	12,6007	2,54679041
10	13,6	13,24938	2,57808824
11	15,03	14,707	2,14903526
12	16,72	16,41748	1,80933014
13	17,49	17,16486	1,85900515
Promedio del error relativo porcentual			7,51012061

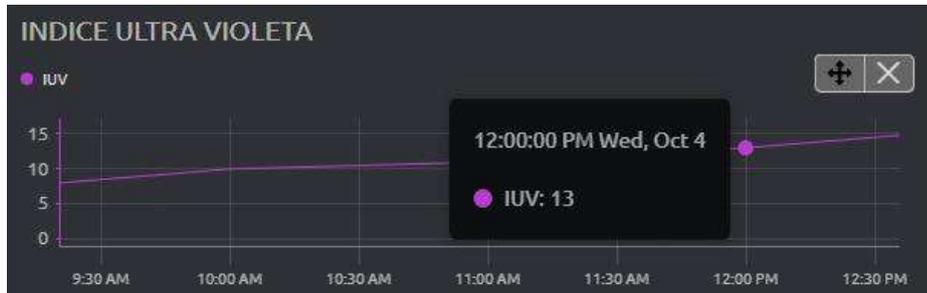
ANEXO O: DATOS DE IUV REGISTRADOS DEL DISPOSITIVO E INAMHI



INAMHI
Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología [INAMHI]

Login históricos

Mapa: M0033



INAMHI
Visualizador de datos de Indice UV --- Instituto Nacional de M

Password:

Mapa



ANEXO P: METODO ESTADISTICO ANOVA

ANOVA de un solo factor: DISPOSITIVO; INAMHI

Método

Hipótesis nula	Todas las medias son iguales
Hipótesis alterna	No todas las medias son iguales
Nivel de significancia	$\alpha = 0,05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Factor	2	DISPOSITIVO; INAMHI

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	1	0,125	0,1250	0,01	0,938
Error	30	611,375	20,3792		
Total	31	611,500			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
4,51433	0,02%	0,00%	0,00%

Medias

Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
DISPOSITIVO	16	8,19	4,49	(5,88; 10,49)
INAMHI	16	8,06	4,54	(5,76; 10,37)

Desv.Est. agrupada = 4,51433

Comparaciones en parejas de Fisher

Agrupar información utilizando el método LSD de Fisher y una confianza de 95%

Factor	N	Media	Agrupación
DISPOSITIVO	16	8,19	A
INAMHI	16	8,06	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

ICs individuales de 95% de Fisher

Gráfica de intervalos de DISPOSITIVO; INAMHI



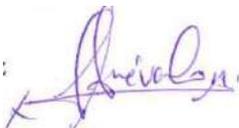
epoch

**Dirección de Bibliotecas y
Recursos del Aprendizaje**

**UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y
DOCUMENTAL**

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 21 / 11 / 2023

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: Edgar David Llamuca Perugachi
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Informática y Electrónica
Carrera: Electrónica y Automatización
Título a optar: Ingeniero en Electrónica y Automatización
f. responsable: Ing. Cristhian Fernando Castillo Ruiz : 

1885-DBRA-UTP-2023