

UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO

VICERRECTORADO

DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA ELÉCTRICA



**ESTUDIO DE LA RADIACIÓN SOLAR MEDIANTE LA AUTOMATIZACIÓN DE
PANELES FOTOVOLTAICOS A FIN DE TRAZAR LAS CURVAS DE
COMPORTAMIENTO PARA LA CIUDAD DE EL ALTO.**

Resolución HCC N° 027/2022 (Ingeniería Eléctrica)

Resolución HCC N° 020/2022 (Ingeniería Electrónica)

EQUIPO DE INVESTIGADORES

Ing. Juan Carlos Yana Maquera

Ing. Edwin Luis Flores Menacho

Univ. Dennis Miguel Montaña Colquehuanca

Univ. Carlos Henry Cocasapa Callisaya

Univ. Rubén Carlos Quispe Apaza

EL ALTO – BOLIVIA

2022

UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO

AUTORIDADES

Dr. Carlos Condori Titirico Ph. D.

RECTOR

Dr. Efraín Chambi Vargas Ph. D.

VICERRECTOR

Dr. Antonio López Andrade Ph. D.

DIRECTOR DE INVESTIGACIÓN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

Ing. Roger Omar Llanque Villavicencio

DECANO DEL ÁREA DE INGENIERIA DESARROLLO TECNOLÓGICO PRODUCTIVO

M. Sc. Ing. Fernando Quispe Suca

DIRECTOR DE CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

Ing. Germán Bravo Choque

DIRECTOR DE CARRERA INGENIERÍA ELÉCTRICA

M. Sc. Ing. Ronald Calla Huallpa

COORDINADOR INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

Ing. Rogelio Choque Castro

COORDINADOR INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

CONVENIO INTERINSTITUCIONAL

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA – CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

REGISTRO EN SENAPI: Resolución Administrativa **Nº 1-2959/2022**

DERECHOS RESERVADOS: Universidad Pública de El Alto

Dirección UPEA: Av. Sucre s/n Zona Villa Esperanza

Diciembre. 2022

El Alto – Bolivia

PRESENTACIÓN

La investigación sobre el impacto de la contaminación en los ecosistemas terrestres es un tema cada vez más relevante, ya que se está convirtiendo en un problema global. Se muestra cómo la contaminación está afectando los ecosistemas y qué consecuencias puede tener.

Desde que se inició la automatización de paneles fotovoltaicos, se ha estudiado la radiación solar para tratar de comprender mejor el funcionamiento de este nuevo tipo de sistema. La automatización de paneles fotovoltaicos permite el seguimiento y el análisis de la radiación solar en tiempo real, lo que permitió obtener una medición más precisa de la cantidad de energía que se pueda captar.

La investigación se realizó con el objetivo de estudiar la radiación solar y, mediante la automatización de paneles fotovoltaicos, trazar las curvas de comportamiento de la energía solar. Se utilizaron datos de la NASA y se desarrollaron algoritmos para procesar los datos y generar las cartografías de la radiación solar experimentales. Los resultados indican que la radiación solar es una fuente de energía importante y que, mediante la automatización de los paneles fotovoltaicos, es posible estudiar y predecir el comportamiento de la energía solar.

Al llegar al ocaso de la gestión 2022, nos permitimos difundir los resultados de este trabajo de investigación realizado por un equipo de investigación de la carrera de Ingeniería Electrónica y la carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Pública de El Alto, apropiándose del método científico, desarrollando de esta manera un proyecto multidisciplinario de carácter innovador, aportando conocimientos que respondan a las necesidades de nuestra sociedad.

M. Sc. Ing. Ronald Calla Huallpa
**COORDINADOR DE INSTITUTO DE INVESTIGACIONES
INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

AGRADECIMIENTOS INSTITUCIONALES

Agradecer a la Universidad Pública de El Alto, por promover que la investigación dentro la Universidad sea un pilar fundamental del proceso Enseñanza Aprendizaje, agradecer a sus Autoridades.

De la misma forma agradecer a la dirección de carrera, Al M. Sc. Ing. Fernando Quispe Suca director de la Carrera de Ingeniería Electrónica por hacer posible el requerimiento de un Instituto de Investigación, a la Asociación de docentes, Centro de Estudiantes, por darnos la oportunidad y confiar a este equipo de investigadores para demostrar nuestra vocación de investigación.

La consecución de este trabajo de investigación ha con llevado mucho trabajo y no poco esfuerzo personal, difícilmente la hubiésemos culminado de no ser por la ayuda de diferentes amigos, compañeros, y nuestras queridas familias. Sin duda, en los malos y buenos momentos, en lo personal y profesional, han colaborado a otorgar significado a este reto profesional.

Una vez, llegado el momento de culminar el presente trabajo de investigación, queremos hacerles partícipes de nuestros logros y manifestar sinceramente nuestro agradecimiento más profundo.

Ing. Juan Carlos Yana Maquera
INVESTIGADOR PRINCIPAL
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|------|
| PRESENTACIÓN..... | ii |
| AGRADECIMIENTOS INSTITUCIONALES..... | iii |
| INDICE GENERAL..... | iv |
| INDICE DE FIGURAS..... | vii |
| INDICE DE TABLAS..... | xi |
| INDICE DE ANEXOS..... | xii |
| RESUMEN..... | xiii |
| ABSTRACT..... | xiv |
| | |
| CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... | 3 |
| 1.2 SITUACIÓN PROBLEMÁTICA..... | 6 |
| 1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA..... | 8 |
| 1.4 OBJETIVOS..... | 8 |
| 1.4.1 OBJETIVO GENERAL..... | 8 |
| 1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | 8 |
| 1.5 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN..... | 9 |
| 1.5.1 JUSTIFICACIÓN ACADÉMICO..... | 9 |
| 1.5.2 JUSTIFICACIÓN SOCIAL..... | 9 |
| 1.5.3 ALCANCE Y LIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN..... | 9 |
| CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO..... | 11 |
| 2.1 MENCIÓN DE OTROS ESTUDIOS RELACIONADOS AL TEMA..... | 11 |
| 2.1.1 EL SOL..... | 11 |
| 2.1.2 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN A NIVEL INTERNACIONAL... 14 | |
| 2.1.3 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN A NIVEL NACIONAL..... | 16 |
| 2.1.4 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN A NIVEL REGIONAL..... | 18 |
| 2.2 MENCIÓN DE LOS PUNTOS DE VISTA DE OTROS INVESTIGADORES..... | 21 |
| 2.2.1 RADIACIÓN SOLAR (V.D.)..... | 21 |

| | | |
|--------|--|----|
| 2.2.2 | RECURSO SOLAR EN BOLIVIA..... | 23 |
| 2.2.3 | RADIACIÓN..... | 24 |
| 2.2.4 | TEMPERATURA | 25 |
| 2.2.5 | ALMACENAMIENTO SD Y RTC..... | 26 |
| 2.2.6 | SENSOR DE TEMPERATURA Y HUMEDAD..... | 26 |
| 2.2.7 | INTENSIDAD DE LA RADIACIÓN..... | 29 |
| 2.2.8 | PANELES FOTOVOLTAICOS..... | 30 |
| 2.2.9 | PANELES CONVENCIONALES..... | 32 |
| 2.2.10 | PANELES DE SEGUIDOR SOLAR | 33 |
| 2.2.11 | CURVAS DE COMPORTAMIENTO | 35 |
| 2.3 | CORRIENTE O ENFOQUE ELEGIDO POR EL INVESTIGADOR..... | 39 |
| 2.3.1 | PANEL FOTOVOLTAICO..... | 39 |
| 2.3.2 | CURVAS DE RADIACIÓN SOLAR | 41 |
| 2.4 | IDENTIFICACIÓN DE LAS FUENTES..... | 43 |
| 2.4.1 | FUENTES EXTERNAS Y FUENTES INTERNAS..... | 44 |
| | CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO..... | 46 |
| 3.1 | ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN..... | 46 |
| 3.2 | TIPO DE INVESTIGACIÓN | 46 |
| 3.2.1 | NIVEL DE INVESTIGACIÓN | 47 |
| 3.2.2 | DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN..... | 47 |
| 3.2.3 | ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN..... | 48 |
| 3.2.4 | FUENTE DE DATOS..... | 50 |
| 3.3 | HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN..... | 51 |
| 3.3.1 | HIPÓTESIS ALTERNATIVA (H_1)..... | 51 |
| 3.3.2 | HIPÓTESIS NULA (H_0)..... | 51 |
| 3.4 | VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN..... | 52 |
| 3.4.1 | VARIABLE INDEPENDIENTE (Y)..... | 52 |

| | | |
|-------|---|-----|
| 3.4.2 | VARIABLE DEPENDIENTE (X) | 52 |
| 3.5 | OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES | 53 |
| 3.6 | COBERTURA DE ESTUDIO | 53 |
| 3.7 | TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN | 53 |
| 3.8 | TOMA DE DATOS | 54 |
| 3.9 | AMBIENTE DE LA INVESTIGACIÓN | 54 |
| 3.10 | INSTRUMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN | 54 |
| 3.11 | PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN | 55 |
| | CAPITULO IV RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN | 57 |
| 4.1 | INSTRUMENTO DE VALIDACIÓN DE RESULTADOS | 57 |
| 4.1.1 | ESTACIÓN METEOROLÓGICA SERIE 2800..... | 57 |
| 4.2 | PROPUESTA DE SOLUCIÓN | 59 |
| 4.2.1 | DESARROLLO DE HARDWARE DE LA PROPUESTA DE PROTOTIPO. . | 59 |
| 4.2.2 | DISEÑO DE SISTEMA DE CONTROL Y MONITOREO SOFTWARE | 74 |
| 4.3 | RESULTADOS DE LA EFICIENCIA DEL RENDIMIENTO ENERGÉTICO | 84 |
| 4.4 | DETERMINACIÓN DE LAS CURVAS DE COMPORTAMIENTO DE NIVELES DE RADIACIÓN..... | 87 |
| 4.5 | RESULTADOS DE LA PROPUESTA CARTOGRÁFICA DE MAPA SOLAR DE LA CIUDAD DE EL ALTO | 94 |
| 4.5.1 | ANTECEDENTES | 94 |
| 4.5.2 | OBJETIVO..... | 94 |
| 4.5.3 | METODOLOGÍA..... | 94 |
| 4.5.4 | RESULTADOS Y GRÁFICOS | 102 |
| | CAPÍTULO V CONCLUSIONES | 110 |
| | CAPÍTULO VI RECOMENDACIONES | 112 |
| | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 114 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | | |
|---------------------|--|-----------|
| FIGURA Nº 1 | ESTRUCTURA DEL SOL | 11 |
| FIGURA Nº 2 | IRRADIACIÓN GLOBAL HORIZONTAL | 12 |
| FIGURA Nº 3 | MAPA DE RADIACIÓN SOLAR DE BOLIVIA | 13 |
| FIGURA Nº 4 | RADIACIÓN DIRECTA, DIFUSA Y REFLEJADA. | 23 |
| FIGURA Nº 5 | CELDA FOTOCONDUCTORA | 24 |
| FIGURA Nº 6 | SENSOR DE TEMPERATURA DE PRECISIÓN LM 335 | 25 |
| FIGURA Nº 7 | PLUG ESTÉREO HEMBRA Y MACHO DE 3.5MM | 25 |
| FIGURA Nº 8 | RELOJ CALENDARIO Y TARJETA SD | 26 |
| FIGURA Nº 9 | SENSOR DE TEMPERATURA NTC | 27 |
| FIGURA Nº 10 | SENSOR DE TEMPERATURA BASADO EN CIRCUITO | 27 |
| FIGURA Nº 11 | RESISTENCIA DE UN SENSOR NTC EN SU RANGO DE MEDICIÓN DE TEMPERATURAS. | 28 |
| FIGURA Nº 12 | ANGULO DE INCLINACIÓN DE HEMISFERIO SUR | 32 |
| FIGURA Nº 13 | ORIENTADOR DE UN EJE AZIMUTAL | 34 |
| FIGURA Nº 14 | ORIENTADOR DE DOS EJES | 34 |
| FIGURA Nº 15 | ENERGÍA RADIADA POR EL SOL Y LA TIERRA | 37 |
| FIGURA Nº 16 | ESPECTRO DE RADIACIÓN SOLAR FUERA DE LA ATMÓSFERA DE LA TIERRA | 38 |
| FIGURA Nº 17 | ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO. | 38 |
| FIGURA Nº 18 | FUNCIONAMIENTO CÉLULA SILICIO | 40 |
| FIGURA Nº 19 | CURVA I VS V / P VS V | 41 |
| FIGURA Nº 20 | EFECTO DE TEMPERATURA | 42 |
| FIGURA Nº 21 | EFECTO DE RADIACIÓN EN PANEL 50 WP EVEREXCEED | 42 |
| FIGURA Nº 22 | IDENTIFICACIÓN DE FUENTES | 50 |
| FIGURA Nº 23 | PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN | 56 |

| | | |
|---------------------|--|----|
| FIGURA Nº 24 | ESTACIÓN METEOROLÓGICA SERIE 2800 _____ | 57 |
| FIGURA Nº 25 | DISEÑO DE SEGUIDOR SOLAR EN SOLIDWORKS _____ | 60 |
| FIGURA Nº 26 | FIERRO PARA ESTRUCTURA _____ | 60 |
| FIGURA Nº 27 | SERVOMOTOR DE BRAZO DENTADO _____ | 61 |
| FIGURA Nº 28 | SERVOMOTOR SG90 _____ | 62 |
| FIGURA Nº 29 | PUENTE H BTS7960 _____ | 64 |
| FIGURA Nº 30 | SENSOR DE LUZ LDR _____ | 65 |
| FIGURA Nº 31 | CADENA CATALINA DOBLE DENTADA _____ | 66 |
| FIGURA Nº 32 | RODAMIENTOS CÓNICOS _____ | 66 |
| FIGURA Nº 33 | PANEL FOTOVOLTAICO DE 200W _____ | 67 |
| FIGURA Nº 34 | REGULADOR DE CARGA _____ | 68 |
| FIGURA Nº 35 | BATERÍA YANGTZE SOLAR (50AH) _____ | 69 |
| FIGURA Nº 36 | INVERSOR DE VOLTAJE _____ | 70 |
| FIGURA Nº 37 | SENSOR DE TEMPERATURA PT100 _____ | 71 |
| FIGURA Nº 38 | TABLERO ELÉCTRICO _____ | 72 |
| FIGURA Nº 39 | SEGUIDOR SOLAR CONCLUIDO _____ | 72 |
| FIGURA Nº 40 | PUESTA EN PRUEBA EL CIRCUITO DE CONTROL DEL SEGUIDOR | 73 |
| FIGURA Nº 41 | DISEÑO DE ESQUEMA DE CIRCUITO DE CONTROL DEL SEGUIDOR _____ | 73 |
| FIGURA Nº 42 | SIM900 _____ | 74 |
| FIGURA Nº 43 | SENSOR DE LUZ ULTRAVIOLETA ML8511 _____ | 75 |
| FIGURA Nº 44 | SENSOR ANALÓGICO DE LUZ UV- GUVA-S12SD _____ | 76 |
| FIGURA Nº 45 | SENSOR DE HUMEDAD Y TEMPERATURA DHT22 _____ | 77 |
| FIGURA Nº 46 | SENSOR DE VOLTAJE 25V FZ04030 _____ | 77 |
| FIGURA Nº 47 | SENSOR ACS712 DE CORRIENTE 20A _____ | 78 |
| FIGURA Nº 48 | LCD 16X2 1602A FONDO AZUL CON 12C _____ | 79 |

| | | |
|---------------------|--|----|
| FIGURA Nº 49 | ARDUINO NANO ATMEGA 328P+CABLE USB _____ | 80 |
| FIGURA Nº 50 | MÓDULO DE RELOJ DE TIEMPO REAL DS1302 _____ | 81 |
| FIGURA Nº 51 | SENSOR DE PRESIÓN ATMOSFÉRICA GY-BMP280 3.3V _____ | 81 |
| FIGURA Nº 52 | PARTES DE DISEÑO DE CIRCUITO DE CONTROL _____ | 82 |
| FIGURA Nº 53 | DISEÑO DE LA PLACA DE CONTROL _____ | 84 |
| FIGURA Nº 54 | EFICIENCIA ENERGÉTICA (VOLTAJE) _____ | 86 |
| FIGURA Nº 55 | EFICIENCIA ENERGÉTICO (CORRIENTE) _____ | 86 |
| FIGURA Nº 56 | EFICIENCIA ENERGÉTICO (POTENCIA) _____ | 87 |
| FIGURA Nº 57 | NIVEL DE RADIACIÓN DE 10 DÍAS DEL MES OCTUBRE DE 2022 ____ | 88 |
| FIGURA Nº 58 | VALIDACIÓN DE CURVAS CON ESTACIÓN METEOROLÓGICO ____ | 89 |
| FIGURA Nº 59 | CURVAS DE COMPORTAMIENTO DE RADIACIÓN (KW-HR/M ² /DÍA) _ | 91 |
| FIGURA Nº 60 | CURVA DE COMPORTAMIENTO DE RADIACIÓN SOLAR ÁREA DE INGENIERÍA DTP (OCTUBRE, 2022) _____ | 92 |
| FIGURA Nº 61 | UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA CIUDAD DE EL ALTO CON GOOGLE EARTH _____ | 94 |
| FIGURA Nº 62 | SEGMENTACIÓN DEL LUGAR DE ESTUDIO CON AUTOCAD Y GOOGLE EARTH _____ | 95 |
| FIGURA Nº 63 | SEGMENTACIÓN DEL LUGAR DE ESTUDIO CON AUTOCAD _____ | 95 |
| FIGURA Nº 64 | UBICACIÓN DE LAS GRILLAS CON MARCADORES DE GOOGLE EARTH _____ | 96 |
| FIGURA Nº 65 | DETERMINACIÓN DE LAS COORDENADAS, LATITUD Y LONGITUD. | 96 |
| FIGURA Nº 66 | PORTAL WEB PARA LA DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS AMBIENTALES _____ | 97 |
| FIGURA Nº 67 | PORTAL WEB PARA LA DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS AMBIENTALES _____ | 98 |

| | | |
|---------------------|--|-----|
| FIGURA Nº 68 | REPORTE GENERADO POR EL PORTAL WEB NASA, UN ARCHIVO POR CADA PUNTO _____ | 98 |
| FIGURA Nº 69 | PLANILLA PARA CLASIFICAR LOS DATOS GENERADOS POR LOS REPORTES DE NASA _____ | 99 |
| FIGURA Nº 70 | PANTALLA DE PROGRAMA ARC GIS PARA SUBIR EL ARCHIVO DE DATOS _____ | 99 |
| FIGURA Nº 71 | ELABORACIÓN DEL CONTORNO DE ESTUDIO _____ | 100 |
| FIGURA Nº 72 | HERRAMIENTA DE INTERPOLACIÓN IDW _____ | 100 |
| FIGURA Nº 73 | PANTALLA DE CONFIGURACIÓN HERRAMIENTA IDW _____ | 101 |
| FIGURA Nº 74 | PANTALLA DE CONFIGURACIÓN HERRAMIENTA IDW _____ | 101 |
| FIGURA Nº 75 | : RESULTADOS DE LA UTILIZACIÓN DE LA HERRAMIENTA IDW DE INTERPOLACIÓN _____ | 102 |
| FIGURA Nº 76 | SIMBOLOGÍA POR COLORES PARA LOS RANGOS DE RADIACIÓN (KW-HR/M ² /DAY) SEGÚN NASA _____ | 103 |
| FIGURA Nº 77 | CARTOGRAFÍA DEL MES DE ENERO _____ | 104 |
| FIGURA Nº 78 | CARTOGRAFÍA DEL MES DE FEBRERO _____ | 104 |
| FIGURA Nº 79 | CARTOGRAFÍA DEL MES DE MARZO _____ | 105 |
| FIGURA Nº 80 | CARTOGRAFÍA DEL MES DE ABRIL _____ | 105 |
| FIGURA Nº 81 | CARTOGRAFÍA DE MES DE MAYO _____ | 106 |
| FIGURA Nº 82 | CARTOGRAFÍA DE MES DE JUNIO _____ | 106 |
| FIGURA Nº 83 | CARTOGRAFÍA DE MES DE JULIO _____ | 107 |
| FIGURA Nº 84 | CARTOGRAFÍA MES DE AGOSTO _____ | 107 |
| FIGURA Nº 85 | CARTOGRAFÍA DE MES DE SEPTIEMBRE _____ | 108 |
| FIGURA Nº 86 | CARTOGRAFÍA DE MES DE OCTUBRE _____ | 108 |
| FIGURA Nº 87 | CARTOGRAFÍA DE MES DE NOVIEMBRE _____ | 109 |
| FIGURA Nº 88 | CARTOGRAFÍA DE MES DE DICIEMBRE _____ | 109 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | | |
|--------------------|--|-----|
| TABLA Nº 1 | MEDIDAS DE INSTALACIÓN DE PANELES FIJOS _____ | 33 |
| TABLA Nº 2 | IDENTIFICACIÓN DE FUENTES _____ | 44 |
| TABLA Nº 3 | DISEÑO DE INVESTIGACIÓN _____ | 49 |
| TABLA Nº 4 | OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES _____ | 53 |
| TABLA Nº 5 | ESPECIFICACIONES DE ESTACIÓN METEOROLÓGICO SERIE 2800 _ | 58 |
| TABLA Nº 6 | CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE ESTACIÓN METEOROLÓGICA SERIE 2800 _____ | 58 |
| TABLA Nº 7 | ESPECIFICACIONES DE SERVOMOTOR SG90 _____ | 63 |
| TABLA Nº 8 | CARACTERÍSTICAS DE LA BATERÍA SOLAR _____ | 69 |
| TABLA Nº 9 | REGISTRO DE EFICIENCIA ENERGÉTICO DÍA DE PRUEBA _____ | 85 |
| TABLA Nº 10 | REGISTRO DIARIO DE MES DE OCTUBRE, DATOS DE LA NASA EN DIFERENTES COORDENADAS _____ | 90 |
| TABLA Nº 11 | REGISTRO DE RADIACIÓN ESTACIÓN METEOROLÓGICO VS SEGUIDOR SOLAR (24 HORAS) 01 DE OCTUBRE _____ | 93 |
| TABLA Nº 12 | DATOS DE COORDENADAS, LATITUD Y LONGITUD DE LOS PRIMEROS 19 PUNTOS. _____ | 97 |
| TABLA Nº 13 | INSTRUMENTOS DE SEGUIDOR SOLAR PARA EL ESTUDIO _____ | 138 |
| TABLA Nº 14 | COSTO DE MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE SISTEMA DE MONITIREO _____ | 139 |

ÍNDICE DE ANEXOS

| | |
|---|-----|
| ANEXO Nº 1 RESOLUCIÓN ADMINISTRATIVA DE SENAPI_____ | 117 |
| ANEXO Nº 2 CONVENIO ENTRE CARRERAS INGENIERÍA ELECTRÓNICA – INGENIERÍA ELÉCTRICA_____ | 120 |
| ANEXO Nº 3 PROGRAMACIÓN UTILIZADA EN MATLAB PARA EL FUNCIONAMIENTO DE SIM900 Y SENSORES _____ | 125 |
| ANEXO Nº 4 PROGRAMACIÓN UTILIZADA PARA MEDIDAS DE CORRIENTE CON EL ACS712 _____ | 129 |
| ANEXO Nº 5 DISEÑO DE PLANOS DE CONSTRUCCIÓN DE SEGUIDOR SOLAR__ | 130 |
| ANEXO Nº 6 COSTO DE MATERIALES EMPLEADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE SEGUIDOR SOLAR _____ | 138 |
| ANEXO Nº 7 COSTO DE MATERIALES EL SISTEMA DE MONITREO Y CONTROL_ | 139 |
| ANEXO Nº 8 FOTOGRAFÍAS DE LA CONSTRUCCIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DEL SEGUIDOR SOLAR _____ | 140 |
| ANEXO Nº 9 SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DEL SEGUIDOR SOLAR__ | 141 |
| ANEXO Nº 10 EQUIPO DE INVESTIGACIÓN _____ | 141 |
| ANEXO Nº 11 RESULTADOS DE LA CARTOGRAFÍA DE RADIACIÓN SOLAR DE LA CIUDAD DE EL ALTO, OBTENIDA PARA LOS 12 MESES CON DATOS DE LA GESTIÓN 2015 DE LA NASA. _____ | 142 |

RESUMEN

En la presente investigación abordo el tema de estudio de la radiación solar, mediante la automatización de paneles fotovoltaicos que nos permite trazar las curvas de comportamiento en tiempo real, la medición de la eficiencia energética y la estimación de la cartografía de radiación para la ciudad de El Alto mediante datos de la climatología de 22 años de la NASA. El lugar de estudio se encuentra localizada en -16.5147 latitud, -68.1534 de longitud a 4150 m.s.n.m. según datos de Google Earth. La metodología utilizada para el desarrollo del presente trabajo de investigación, es realizar un estudio de análisis de datos de actividad solar lo cual se realiza desde un enfoque cuantitativo, de tipo de investigación aplicada – tecnológico con un nivel experimental hasta un alcance explicativo con los cuales se realizaron graficas con la finalidad de encontrar la influencia de la actividad de radiación solar. Los resultados obtenidos indican que la actividad solar tiene influencia sobre la radiación ultravioleta más alta esta entre los horarios 10:00 am hasta 16:00 pm, que llegan aproximadamente 1200 W/m^2 , el sistema con seguimiento solar generó su máxima potencia (42.044 W) teniendo cambios de estos datos referente al cambio de la clima de esta región, de la misma forma la mayor eficiencia energética se obtiene con los seguidores solares en un 54% respecto al sistema convencional fijo, se distinguieron los niveles de radiación de acuerdo a datos cartográficos experimentales, los niveles más bajos corresponden a los meses de mayo a julio (invierno) y los niveles más altos corresponden a los meses de agosto a diciembre (primavera y verano).

PALABRAS CLAVE: Niveles de radiación, seguimiento solar, eficiencia energética.

ABSTRACT

In the present investigation I approach the subject of study of solar radiation, through the automation of photovoltaic panels that allows us to trace the behavior curves in real time, the measurement of energy efficiency and the estimation of radiation cartography for the city of El Alto using NASA 22-year climatology data. The study site is located at -16.5147 latitude, -68.1534 longitude at 4150 m.s.n.m. according to data from Google Earth. The methodology used for the development of this work, is to carry out a study of solar activity data analysis which is carried out from a quantitative approach, of the type of applied research - technological with an experimental level up to an explanatory scope with which They made graphs in order to find the influence of the activity of solar radiation. The results obtained indicate that solar activity has an influence on the highest ultraviolet radiation between the hours of 10:00 am to 4:00 pm, reaching approximately 1200 W/m², the system with solar tracking generated its maximum power (42,044 W) having changes to these data regarding the change in the climate of this region, in the same way the highest energy efficiency is obtained with solar trackers by 54% compared to the fixed conventional system, radiation levels were distinguished according to data In experimental cartographic data, the lowest levels correspond to the months of May to July (winter) and the highest levels correspond to the months of August to December (spring and summer).

KEY WORDS: Radiation levels, solar tracking, energy efficiency.

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

Se conoce por radiación solar al conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el sol, las cuales se distribuyen desde el infrarrojo hasta el ultravioleta, clasificándose esta última en ondas ultra violeta tipo A (UV-A), ondas ultra violeta tipo B (UV-B) y ondas ultra violeta tipo C (UV-C), según su longitud de onda, no obstante, no toda la radiación alcanza la superficie de la tierra, pues las ondas ultravioletas, más cortas, son absorbidas por los gases de la atmósfera fundamentalmente por el ozono (R. Auquilla, R. Quizhpe, 2017)

La radiación solar puede generar el doble de la energía producida con combustibles fósiles, a pesar de la baja eficiencia de los generadores, la cual es de un 10% aproximadamente (Mousazadeh, Keyhani, Javadi, Mobli, Abrinia, & Sharifi, 2019).

Según Neha, Gugri, Mishra, & Dubey (2013), la cantidad de energía solar recibida anualmente por la Tierra, representa diez mil veces el consumo del planeta en ese mismo período de tiempo. Por lo tanto, además de ser el Sol el actor principal de los procesos biológicos en la Tierra, es una poderosa e inagotable fuente de energía, la cual puede ser aprovechada mediante un adecuado sistema de captación y conversión a otro tipo de energía, por ejemplo energía eléctrica, térmica, entre otras (Arroyo Romero y Cortés Montes de Oca, 2015 y Noa-Diéguez *et al.*, 2015).

Existen instrumentos de medición de alta precisión que son validados, así como pirheliómetro, de acuerdo a fuentes consultadas no se evidenció estudios sobre la radiación solar a través de sensores que están instalados en un seguidor solar.

El seguidor solar es un aparato tecnológico construido en la presente investigación, cuya función es aumentar la producción de energía utilizando paneles fotovoltaicos y otros dispositivos de concentración por medio de sistemas mecánicos, eléctricos y electrónicos que siguen la trayectoria del Sol como lo haría un girasol, capturando de esta manera la **máxima**

radiación solar durante el mayor tiempo posible. Los sistemas fotovoltaicos con seguimiento se pueden dividir en sistemas de seguimiento de un eje, o sistemas de seguimiento de dos ejes. Los sistemas de un solo eje perpendicular al suelo pueden sólo seguir el azimut solar, pero no pueden seguir la altitud solar. Mientras que un sistema seguidor de dos ejes puede seguir tanto el azimut como la altitud del Sol y puede ser más eficiente que un sistema de un solo eje (Koussa, 2011 y Ahmet Senpinar, 2012).

Las Característica principal de este problema es la falta de información e interés y la falta de registros de datos de radiación solar para la ciudad de El Alto, la no existencia de estudios de cartografías de radiación solar nace la necesidad de realizar un proyecto de investigación, que nos genere datos de radiación a través de sensores aplicadas en un seguidor solar.

El objetivo de este trabajo es desarrollar el seguidor solar con la finalidad de determinar de trazar las curvas de comportamiento de la radiación solar, específicamente en el laboratorio de energías alternativas de área de ingeniería de la ciudad de El Alto.

Para cumplir el objetivo general se ha ido realizando la construcción de la parte estructura del seguidor solar de acuerdo a los plano elaborados, de la misma forma se diseñó y sistema de control de movimiento con todo el sistema de transmisión del seguidor solar, se realizó el sistema de monitoreo y de control de registro de datos para ser sistematizados con controladores electrónicos, se realizó los respectivos pruebas de la medición de la eficiencia energética entre el panel convencional fijo respecto al seguidor solar, finalmente los datos obtenidos de la prueba en el mes de octubre no son suficientes para generar las cartografías de radiación solar de la ciudad de El Alto. Para la obtención de las cartografías se realizó don datos promedios de la NASA (La Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio) como experimento de las cartografías.

La metodología de trabajo de campo de esta investigación se llevó desde un enfoque cuantitativo el tipo de investigación es experimental aplicada tecnológica, con un alcance descriptivo. Para la medición de la potencia generada por cada uno de los sistemas de paneles fotovoltaicos, se implementó un sistema de adquisición de datos basado en la plataforma Arduino.

En el primer capítulo se describe los problemas principales y secundarios, identificadas sobre estudios relacionados de radiación solar de lo cual surge el objetivo de estudio, las justificaciones alcances y limitación de la investigación.

En el segundo capítulo se profundiza el tema del marco teórico como los tipos de radiación solar a los que se encuentran expuestos los investigadores principales, así como se identifican los vacíos de investigación que ayudan sustentar teóricamente al proyecto de investigación.

En el tercer capítulo se presenta la metodología de la investigación aplicada en la presente investigación, así como la hipótesis, variables de investigación.

El capítulo cuarto del proyecto muestra los resultados y su análisis, mostrando la imagen y las actividades realizadas. Se muestra las propuestas de solución de la investigación.

Por último la investigación nos lleva a las conclusiones y recomendaciones que se encuentra al culminar del documento de investigación.

1.1 Planteamiento del problema

En los últimos años el consumo de energía eléctrica ha aumentado a un ritmo superior al crecimiento económico al estado Boliviano porque satisface las necesidades del aparato productivo, porque está íntimamente ligado a la obtención de un mayor nivel de vida en la sociedad en general, por tanto, es necesario tomar medidas que eviten que aumente la tasa física de consumo de energía, para ello se deben identificar e implementar plantas de energías alternativas de eficiencia energética en las ciudades principales, aprovechando los rayos

solares. Promover una correcta planificación de la carga en las industrias o de uso de servicio para el ser humano.

Los efectos de la radiación solar y la temperatura no solo trae afectaciones, pues en la época en que estamos se le ha dado provecho también a los beneficios que se pueden obtener, como es mencionado en un artículo web (CELSIA, 2018): “La energía solar surge como una nueva alternativa de consumo de energía responsable con el medio ambiente, ante al impacto generado por la energía no renovable”, entre otros beneficios, el de la energía solar se determina como el más importante, porque es renovable, es fuente de energía ilimitada, contribuye al desarrollo sostenible, está disponible en todo el planeta, entre otros.

Cada año, en EE. UU. se diagnostican más casos nuevos de cáncer de piel que casos de cáncer de mama, próstata, pulmón y colon combinados. Uno de cada cinco estadounidenses desarrollará cáncer de piel en algún momento de su vida. En promedio, muere un estadounidense por hora por cáncer piel. La exposición a la radiación UV sin protección es el factor de riesgo más prevenible del cáncer de piel. (EPA, 2015)

En Sudamérica, los mayores índices de la alta radiación solar pueden sentirse en Perú, en Ecuador, en el altiplano boliviano, así como en el norte de Argentina y el norte de Chile. (EFE EL TIEMPO, 2015)

Actualmente, existen dos tipos de generación de energía solar: los sistemas fotovoltaicos y la electricidad solar de concentración. (Banco de Desarrollo de America Latina, 2019)

El efecto de la temperatura superficial sobre un panel solar es un sistema cuyo modelo matemático dinámico no ha sido completamente desarrollado en nuestro país, actualmente varias investigaciones internacionales son propuestas de condiciones estables, que en la

realidad no se dan principalmente debido a factores climáticos que se modifican continuamente debido al calentamiento de la planeta tierra, la falta de un modelo adaptado para el estudio del comportamiento de la radiación solar que permita la simulación en condiciones variables como sucede en la realidad constituye un límite teórico para el presente trabajo de investigación.

Ormochea, Romero, Urquidi & Abrahamse (2016) menciona que:

Actualmente en Bolivia se tiene déficit en la información sobre el recurso solar, en cuanto a datos sobre la distribución espectral de la radiación en el país, la información es aún más incipiente. La única fuente de datos sobre la radiación solar y accesible al público, son datos satelitales de la NASA Surface Meteorology and Solar Energy. Aunque estos datos pueden ser útiles para estudios de pre-factibilidad, la exactitud de datos de satélites son muy variables (Ormochea et al. 2016). Por tanto esta información de la NASA no es suficiente para la población de la ciudad de El Alto.

En la actualidad Bolivia cuenta con un mapa solar (Lucano s.f.) indica:

...el cual promedia extensas regiones de 1° de latitud por 1° de longitud en base a imágenes satelitales de la NASA y un método de interpolación, para estimar la radiación recibida en función de los meses del año, donde la exactitud de este mapa no ha sido verificada por un periodo a largo plazo. En general, la exactitud de datos de satélites es muy variable y en muchos casos mayor al 10%. En la investigación realizada con esos resultados no se genera las curvas de comportamiento de la radiación solar con los datos registrados.

1.2 Situación Problemática

En la ciudad de El Alto no cuenta con cartografías de la radiación solar, curvas de comportamiento que estime la radiación solar semanal, mensual y anual, ya que no se tiene datos registrados medidos de radiación solar para toda la ciudad de El Alto.

Según (fundación solón, 2017) menciona que solo existe en forma global las mapas cartográficas de radiación y datos a nivel Bolivia que se han lanzado en paralelo con Global Solar Atlas, que es publicado por el Grupo del Banco Mundial, financiado por ESMAP, y preparado por Solargis.

Una base de datos de radiación solar diaria semanal, mensual nos permitirá proponer programas y proyectos de los usos de la energía solar térmica y fotovoltaica con la finalidad de disminuir el CO₂ que es el principal causante de efecto invernadero y que nos lleva al calentamiento global.

El estudio de la radiación solar mediante sistemas de seguidor solar para el rendimiento energético ya que se desperdicia el uso de los rayos solares. La Universidad Pública de El Alto a través del área de ingeniería DTP tiene que ser líder en la gestión del conocimiento y tecnología, para ello cuenta con laboratorios especializados en cada área de conocimiento, como es el caso de laboratorio de energías alternativas de la carrera de ingeniería eléctrica. El problema radica en que no existe un sistema para controlar y monitorear en tiempo real las señales físicas, siendo magnitudes fundamentales para determinar el comportamiento y las eficiencias de la energía eléctrica.

El seguidor solar es un aparato tecnológico construido, cuya función es aumentar la producción de energía utilizando paneles fotovoltaicos y otros dispositivos de concentración por medio de sistemas mecánicos, eléctricos y electrónicos que siguen la trayectoria del Sol como lo haría un girasol, capturando de esta manera la máxima **radiación solar** durante el

mayor tiempo posible. Los sistemas fotovoltaicos con seguimiento se pueden dividir en sistemas de seguimiento de un eje, o sistemas de seguimiento de dos ejes. Los sistemas de un solo eje perpendicular al suelo pueden sólo seguir el azimut solar, pero no pueden seguir la altitud solar. Mientras que un sistema seguidor de dos ejes puede seguir tanto el azimut como la altitud del Sol y puede ser más eficiente que un sistema de un solo eje (Koussa, 2011 y Ahmet Senpinar, 2012).

El indicador meteorológico que está instalado en el laboratorio de energías alternativas no nos proporciona señales que se puedan procesar, por lo que se deberá gestionar un indicador meteorológico secundario para enviar las señales al sistema para ello se debe automatizar el control de este sistema.

Para el estudio de la radiación solar se ha hecho un análisis previo, lo cual nos permite diseñar y construir un seguidor solar para aprovechar los paneles convencionales que están instaladas en la parte superior del edificio y que no están en buen funcionamiento, los estudiantes que se forman en el área de ingeniería no pueden realizar las prácticas de laboratorio referidas a este tema, lo que produce un déficit de conocimientos en este tipo de tecnologías, por lo el proyecto de investigación busca solucionar los problemas.

Es importante generar cartografías experimentales y aportar con conocimientos a la sociedad y a futuros investigadores con la generación de curvas de comportamiento de la radiación solar para el uso de un seguidor solar para aumentar el rendimiento energético aprovechando las energías renovables mediante paneles fotovoltaicos para el uso futuro de un sistema de iluminación en la ciudad de El Alto, la evaluación a través de un prototipo que será elaborado en el laboratorio de energías alternativas de la carrera de Ingeniería Eléctrica, nos permitirá

comprender de manera visual el proyecto y su magnitud, ayudando a explorar otras opciones y permitiendo anteponerse a problemas en el futuro.

1.3 Formulación del problema

¿El uso del seguidor solar de paneles fotovoltaicos permitirá trazar las curvas de comportamiento de la radiación solar específicamente en el laboratorio de energías alternativas de área de ingeniería de la ciudad de El Alto?

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Desarrollar el seguidor solar para trazar las curvas de comportamiento de la radiación solar, específicamente en el laboratorio de energías alternativas de área de ingeniería de la ciudad de El Alto.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Automatizar la estructura mecánica y dinámica de un prototipo de un seguidor solar, para comparar las curvas de comportamiento.
- Elaborar un sistema de monitoreo y de control con el fin de medir, almacenar y sistematizar los datos instantáneas generadas por el sistema fotovoltaico con el controlador electrónico.
- Medir la eficiencia y el rendimiento energético del panel convencional y el seguidor solar para trazar las curvas de comportamiento de la radiación solar.
- Determinar de forma experimental las cartografías de la radiación solar para el municipio de la Ciudad de El Alto.

1.5 Justificación de la investigación

1.5.1 Justificación Académico

Se tomará como base los fundamentos científicos de las ciencias físicas, astronómicas y meteorológicas para elaborar el modelo de estimación del régimen de radiación solar global, para la ciudad de El Alto. Lo cual el proyecto permitirá aplicar una serie de conocimientos a los estudiantes del área de ingeniería durante la formación académica de pre-grado en las carreras de ingeniería eléctrica e ingeniería electrónica, para realizar las futuras investigaciones en cuanto a su aplicación práctica en el área de energías alternativas mediante el modelamiento, la simulación, el diseño y evaluación de sistemas fotovoltaicos que permitieron conseguir el objetivo general de toda investigación.

1.5.2 Justificación Social

El uso del aprovechamiento de la energía solar en la región del altiplano y generar las curvas de comportamiento solar para las futuras implementaciones en área urbana y rural, para diseños arquitectónicos, aplicación de la energía solar en sistemas de bombeo, iluminación, equipos eléctricos, y otros proyectos.

Al conocer la situación actual de las potencialidades en energía solar en la región de la ciudad de El Alto, que son muy altas, servirán a las autoridades municipales, regionales, colegios, profesionales y universidades plantear políticas de incentivos, para su utilización como fuente de energía renovable e incluirla en los planes y programas de desarrollo sostenible dando énfasis en los sectores urbanos marginales y rurales.

1.5.3 Alcance y limitación de la investigación

En la presente investigación se realizara el cálculo y el dimensionado de los distintos equipos, tomando en cuenta las condiciones de radiación promedio anual en la ciudad de El Alto que son generados por la NASA.

El alcance del presente proyecto de investigación es experimental y aplicativo debido a que se centra en el estudio del comportamiento de la radiación solar mediante el diseño y construcción de un prototipo de un seguidor solar, que nos permitirá seguir a la energía solar producida por todo el día.

La principal limitación para la determinación de la radiación solar es la escasa información de datos registrados de piranometría, ya que son contadas las estaciones que tiene esta implementación por lo que no existe una base de datos de radiación solar en la mayoría de estaciones meteorológicas. Por otro lado, investigaciones sobre radiación solar en la ciudad de El Alto todavía no se han realizado en forma puntual, tan solo se cuenta con los datos del Atlas Solar de radiación solar en Bolivia, estudiado por UMSS que no está disponible a la sociedad y se cuenta con mapa solar de Bolivia publicado en 2017 con datos generales representados mediante gama de colores y que cada gama de color representa un intervalo de valores 2,7 a 8,5 kWh/m².

Por la complejidad geográfica se aplicará el estudio de experimentación solamente en el área de ingeniería ubicada en la zona Tejada Rectangular de la ciudad de El Alto y por su amplitud se tomará solo el desarrollo de un modelo para cuantificar la radiación solar global.

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

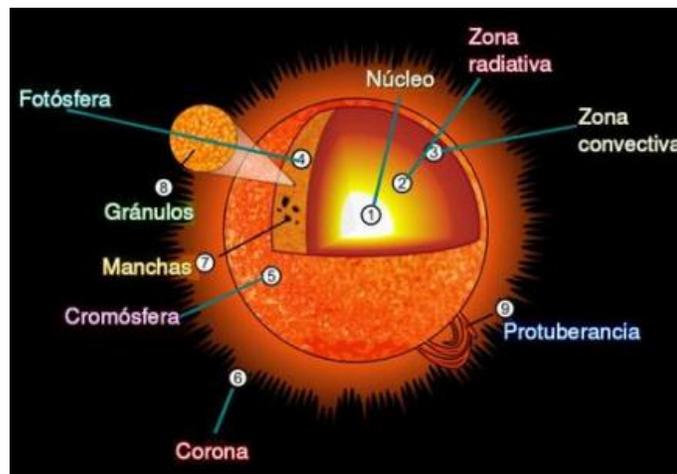
2.1 Mención de otros estudios relacionados al tema

2.1.1 El sol

El sol es la estrella más grande del sistema solar, tiene conocimiento que se formó hace 6.5 mil millones de años de una enorme nube interestelar de gas frío que contiene prácticamente toda (99.8 %) la masa del sistema solar y es más de 333,000 veces más masivo que la Tierra. Su radio es de 700,000 km, es decir, 109 veces más grande que el radio de la Tierra, así que se necesitarían 1, 300, 000 planetas Tierra para llenarlo. El Sol está compuesto principalmente de dos elementos hidrógeno y helio. Sus abundancias han cambiado a lo largo de su vida, por lo que hoy el hidrógeno y el helio representan el 74.9 % y el 23.8 %, respectivamente de su masa total. El oxígeno sólo contribuye con el 1 %, el carbono con el 0.3 % y el neón y el hierro con el 0.2 %. (Xochitl Blanco, 2018)

Figura N° 1

Estructura del Sol



Fuente: Imagen recuperado de:

<http://www.revista.unam.mx/vol.10/num10/art67/imagenes/Figura01.jpg>

En el contexto latinoamericano, según la Agencia Internacional de las Energías Renovables (IRENA por sus siglas en inglés), al año 2014 Chile lidera la región con 848 MW de energía

fotovoltaica instalados, seguido de Honduras con 455 MW, México 234 MW y Perú 96 MW. Esta carrera por la energía solar fotovoltaica se acelera en el último año y medio y para julio del 2016 Chile ya tiene en operación 1.267 MW y otros 1.676 MW estarían en construcción.

Figura Nº 2

Irradiación global Horizontal



Fuente: imagen recuperada de: <https://fundacionsolon.org/2017/06/26/situacion-de-la-energia-solar-en-bolivia/>

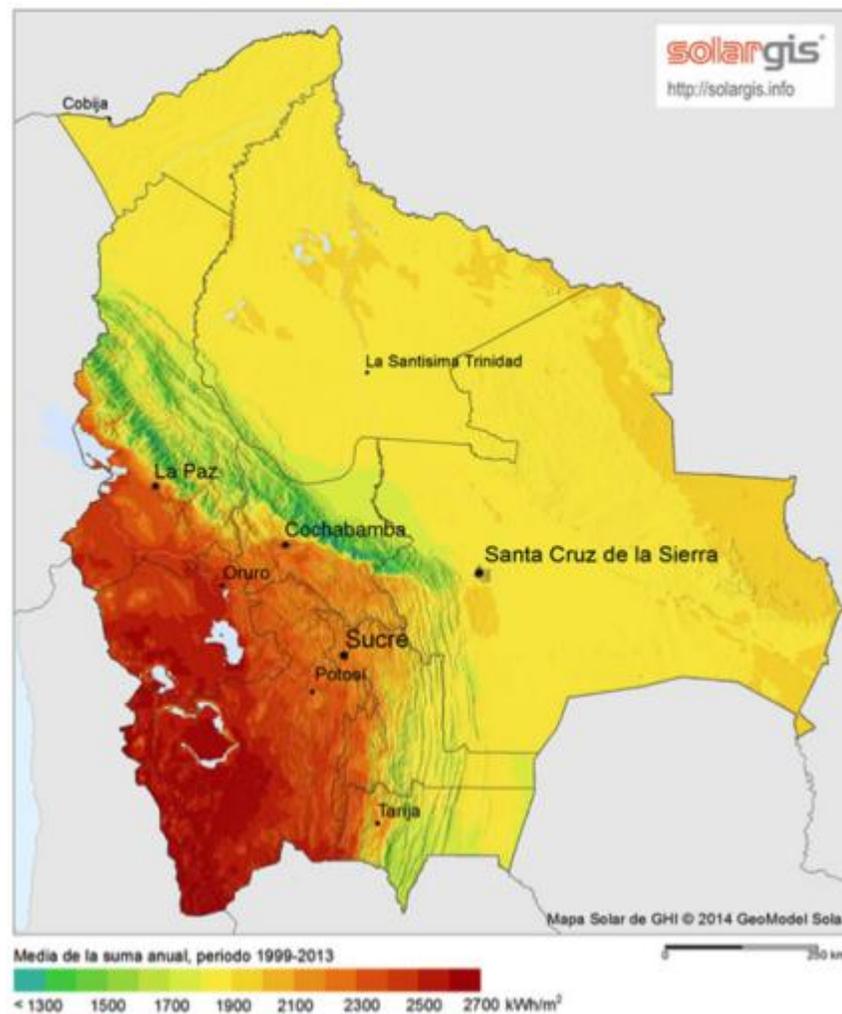
Según (Fundación Solón, 2017) menciona que:

Bolivia es uno de los países que mayor radiación solar recibe en el mundo. Dos terceras partes de Bolivia cuentan con uno de los mayores niveles de intensidad solar del planeta. La mayor radiación solar diaria media anual se presenta en el altiplano, seguido por los valles y, con menor potencial, en el trópico.

Si tomamos el promedio anual de radiación solar de Bolivia (IGH) de los años 1999 al 2013, veremos que en el altiplano sur del país alcanzamos 2.700 Kwh/m²-año (Kilowatts hora por metro cuadrado al año) y en el oriente del país 1.800 Kwh/m²-año. La radiación solar que recibe Bolivia es dos a tres veces más alta que la de Alemania, que es uno de los países que más energía solar produce en el mundo y que tiene una radiación global horizontal de 1.000 a 1200 Kwh/m²-año.

Figura Nº 3

Mapa de Radiación solar de Bolivia



Fuente: imagen recuperada de: <https://fundacionsolon.org/2017/06/26/situacion-de-la-energia-solar-en-bolivia/>

2.1.2 Antecedentes de la investigación a Nivel Internacional.

Como parte de la investigación preliminar se consultaron las siguientes investigaciones en google académico, se ubicó un conjunto de tesis conteniendo aspectos de la medición y estimación de la radiación solar mediante piranómetros y otras técnicas; estas tesis y artículos científicos de carácter relevante son presentadas a continuación:

En la investigación de tesis realizada por Chambi Laura Virginia Nelly, titulado “**ESTUDIO Y ANÁLISIS DE LA ACTIVIDAD SOLAR, RADIACIÓN SOLAR GLOBAL Y RADIACIÓN UV EN LA CIUDAD DE AREQUIPA**” de Arequipa Perú muestra lo siguiente:

El presente trabajo de investigación lo realizaron con la finalidad, de estudiar y analizar el comportamiento de la actividad solar a través del recuento de manchas solares y la influencia de este sobre la radiación solar global y radiación ultravioleta que llegan a la superficie de la tierra, específicamente en la ciudad de Arequipa. La zona de estudio se encuentra localizada en los 16°24'14.64" LS y 71°31'28.18" LW, a 2372 m.s.n.m., según Google Earth.

En los resultados obtenidos indican que la actividad solar tiene influencia sobre la radiación ultravioleta, encontrando una ligera tendencia lineal con un $R^2 = 0.52128$ sin embargo después de realizar un ajuste polinomial de grado 3 se obtiene un valor de $R^2 = 0.8882$, claramente se observa la influencia de la actividad solar sobre la radiación ultravioleta, y con el modelo matemático obtenido se podría conocer la radiación teniendo datos de manchas solares.

En esta investigación muestran algunas teorías utilizadas con respecto a radiación solar los cuales se mencionan a continuación.

Según la **naturaleza corpuscular**, la radiación solar puede ser considerada según la teoría de fotones, como un conjunto discretos de energía, siendo esta energía igual a la suma de la energía de los fotones de distinta longitud de onda, dada por la ecuación.

$$E = hf = h \frac{c}{\lambda}$$

Donde:

f Es la frecuencia, h la constante de Plank, c la velocidad de la luz y λ es la longitud de onda.

Según la naturaleza de la radiación solar cumple las siguientes leyes:

Ley de Planck: El poder emisor monocromático de un cuerpo negro depende solamente de la longitud de onda (λ), y de su temperatura absoluta (T) según la siguiente ecuación:

$$M_{\lambda} = C_1 = \frac{\lambda^{-5}}{e^{\frac{C_2}{\lambda T}} - 1}$$

Dónde: M_{λ} se conoce como poder emisor espectral y las constantes C_1 y C_2

$$C_1 = 2\pi C_0^2 h = 3,74427 \times 10^8 \text{ W m}^2 \text{ m}^{-2}$$

$$C_2 = \frac{C_0}{k} = 1,4388 \times 10^4 \text{ mK}$$

Ley de Wien: Derivando la Ley de Planck con respecto a la longitud de onda λ y luego igualando a cero, se obtiene la conocida Ley de Wien, esto indica que el valor máximo de la distribución espectral de la energía se desplaza hacia longitudes de onda más cortas al aumentar la temperatura. Esto se indica mediante la siguiente expresión:

$$\lambda_m \times T = 2897,8 \mu\text{mK}$$

Ley de Stefan- Boltzman: Se obtiene integrando la Ley de Planck en toda la banda de longitudes de onda, obteniendo el poder emisor total del cuerpo negro, que se expresa como:

$$M = \int_0^{\infty} M_{\lambda} d\lambda = \sigma T^4$$

$$\sigma = 5,6697 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$$

Realizando el estudio y posterior análisis del periodo de radiación solar global, 2001-2015 y radiación ultravioleta UV 2009 - 2017, con datos registrados en tierra por el Servicio

Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), con estación ubicada en la Universidad Nacional. San Agustín de Arequipa, donde se observa la disminución de la radiación solar global, así como la radiación ultravioleta UV tiende a disminuir levemente con el tiempo, así mismo se verifica su comportamiento típico de radiación global y UV donde al mediodía se registra la máxima radiación alrededor de las 12 o' reloj dependiendo de las estaciones, las nubes, el albedo, etc. (Chambie Laura, 2018) .

2.1.3 Antecedentes de la Investigación a Nivel Nacional

En la investigación realizada y mostrada a través de un artículo titulado **“DESARROLLO DE UN SISTEMA DE MONITOREO DE RADIACIÓN SOLAR BASADO EN UN ESPECTRÓMETRO DE AMPLIO ESPECTRO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS PRELIMINARES”** publicado a través de la revista Simposio Nacional de Energías Renovables en la gestión 2012 muestra los siguientes resultados.

En este trabajo de investigación, se construyó y diseño un sistema de medición de radiación solar en base a un espectrómetro de amplio espectro. El monitoreo de radiación solar con este instrumento, les permitió estudiar los efectos solares en Cochabamba para la mejor predicción de la eficiencia de sistemas solares, su optimización y el ajuste del mapa solar ya existente, que por estar basado en fotografías satelitales solo puede ser usado como una estimación de radiación solar. Con lo que con la investigación proponen la instalación de un prototipo funcional de monitoreo radiación solar global directa, como también la difusa, parámetros muy importantes para el diseño de celdas fotovoltaicas y sistemas térmicos fundamentalmente.

En la presente investigación los paneles fotovoltaicos están fijos con una orientación al Noreste con soportes fijos. Para el control y electrónico esto debido a que el sistema está gobernado por el microcontrolador Arduino, el programa principal se escribió en lenguaje C. El Arduino UNO es un microcontrolador que consta de 6 entradas/salidas analógicas y de 13 entradas/salidas digitales, las cuales pueden ser programadas para el propósito requerido.

En esta experiencia se utilizó el piranómetro Kipp&Zonen CMP-6 de primera clase como sensor de radiación electromagnética, este instrumento entrega un voltaje que es función de la intensidad recibida, donde el valor equivalente es hallado a través de la siguiente relación:

$$\text{Radiación solar } [W/m^2] = \frac{\text{Salida del piranometro } [\mu V]}{\text{Cte. de sensibilidad del piranometro } [\mu V(W/m^2)]}$$

En las instalaciones se posiciono la lámpara halógena a 251 mm de distancia del sensor (tal como se hizo en Canadá) obteniendo un valor de 12553.17 μV , correspondientes al espectro obtenido integrando numéricamente: 791,20 W/m^2 , para la lámpara halógena mencionada. Utilizaron además un circuito estabilizador compuesto por un transformador y un variac, para estabilizar a la lámpara halógena, se incrementó la intensidad hasta que el piranómetro entregue el valor equivalente en μV a 791.20 W/m^2 .

Realizaron además pruebas de medición en la región espectral UVA, en dos ciudades de Bolivia que se encuentran a diferentes alturas, se comprobó experimentalmente que por lo menos en esta parte del espectro se tiene un incremento sustancial aproximadamente del 25 % de la radiación incidente que es función de la altura. Asimismo se asume un aumento de un 18% de la radiación NIR recibida, también en función a la altura. De esta manera se demostraron que este sistema es de mucha importancia y que potencialmente una red de medición de radiación solar en Bolivia, basada en estos sistemas, podría dar datos más precisos para el diseño de sistemas fotovoltaicos, térmicos y aplicaciones en la región UVA, se muestra además que con estos datos se puede ajustar el mapa de radiación solar boliviano existente (Romero, Urquidi, & Abrahamse, 2012).

2.1.4 Antecedentes de la Investigación a Nivel Regional

En la investigación realizada y mostrada a través de un artículo titulado “**ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA EN LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA PARA LA CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA DE 50 KW CONECTADA A LA RED EN EL CAMPUS UNIVERSITARIO COTA COTA, UBICADA EN LA CIUDAD DE LA PAZ, BOLIVIA**” publicado a través de la revista de la energía latinoamericano en la gestión 2020 y el caribe muestra lo siguiente.

De acuerdo el artículo el objetivo del trabajo fue realizar un análisis de energía eléctrica en la Central Solar Fotovoltaica (CSFV) de 50 kW, emplazada en el Campus Universitario de Cota Cota, que fue construida por donación de la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA) canalizada a través del Viceministerio de Electricidad y Energías Alternativas (VMEEA), actualmente se encuentra a cargo de instituto de investigaciones en ingeniería eléctrica de la universidad mayor de san Andrés, tiene una capacidad instalada de 50 kW (192 paneles FV) de manera convencional, y cuenta con equipos de medición de radiación solar, temperatura ambiente y parámetros eléctricos de la central. Lo cual solo determinaron la eficiente real de los paneles fotovoltaicos emplazados a 3.492 m.s.n.m.

En cuanto a los resultados lograron determinar los datos máximos de irradiación de emplazamientos de CSFV de 1,400 (W/m²) de cantidad de energía disponible para aprovechar. De la misma forma el promedio de la eficiencia de los módulos fotovoltaicos esta próxima a 17% (promedio en periodo de estudio).

La cantidad de irradiación solar media mensual, con datos medidos en centro solar fotovoltaico en campus universitario tiene como valor máximo de 1,400 (W/m²) que se produce en verano y un valor de 1,000 (W/m²) en invierno (Álvaro Montano Saavedra et al., 2020) Con lo que en la presente investigación para validar estos datos no realizaron el análisis de la eficiencia energética mediante un seguidor solar.

En la investigación realizada y mostrada a través de un artículo titulado “**MEDIDAS DE RADIACION ULTRA VIOLETA SOLAR EN EL MUNICIPIO DE SICA SICA**” publicado a través de la revista Boliviana de Física en la gestión 2012 indexada en Scielo, Latindex, periódica y el caribe muestra lo siguiente.

En la presente investigación mencionan la diferencia de intervalo del lugar de Sica Sica provincia aroma con respecto a Cota Cota de la ciudad de La Paz esta se cuantifica a una diferencia en el intervalo central del día de 11:00 a 14:00 en un porcentaje entre 4.6%-5.0% (mañana) y ~ 4.9%-8.3% (tarde).

Con lo que el incremento de la intensidad de rayos ultra violetas es de 4.6% - 5.0% en la mañana y ~ 4.9% - 8.3% en la tarde. Este incremento puede deberse al verano en Bolivia, a la mayor altura de Sica Sica y a su cielo poco contaminado. En particular, las conclusiones del estudio sobre el incremento de la RUV con la diferencia de altura los factores ambientales juegan un papel importante en el buen funcionamiento de equipos de medida. De la misma forma se verifica que la radiación ultravioleta se incrementa conforme ascendemos en la superficie terrestre. Los valores máximos de incidencia de la radiación ultravioleta se dan alrededor del mediodía, aproximadamente a horas 12:30 en época de verano, en la localidad de Sica Sica y en La Paz. Los factores de incremento hallados son ligeramente diferentes a los obtenidos en una anterior campana de medidas (Zaratti et al. 2003). Esta diferencia se explica por varias razones: la topografía de Sica Sica que permite captar mayor cantidad de RUV, la estación del año y la no linealidad del incremento con la altura, debido a la variación de la densidad del aire. La variación de los porcentajes entre mañana y tarde se debe posiblemente a que la RUV en La Paz es atenuada desde el medio día por la contaminación de origen antropogénico (Leslie K. Fanola G.†, Decker Guzmán Z., Marcelo Peñaloza M., 2012).

Con lo que en la presente investigación no aplicaron el seguidor solar para el registro de la radiación solar, obtuvieron las curvas de comportamiento con la medición de aparatos validados, de la misma forma no muestran la radiación solar mediante un modelo cartográfico del lugar de estudio.

De acuerdo a la investigación realizada y expuesta a través de un artículo titulado **“MODELOS DE ESTIMACIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR PARA EL ALTIPLANO CENTRAL DE BOLIVIA”** publicado a través de la revista Scielo en la gestión 2013 muestra los siguientes resultados de la investigación.

En el artículo menciona que el objetivo de la investigación fue planteado con la finalidad de posibilitar una alternativa factible de realizar una evaluación de la energía solar en cualquier punto de nuestra geografía altiplánica de manera de ser inmediata, real, y confiable. Para este propósito se eligió de manera previa que las entradas de este modelo fueran únicamente temperaturas, en particular las máximas y mínimas diarias en vista de la facilidad de obtenerlas en los servicios meteorológicos locales o en otras instituciones técnicas, científicas, o servicios de salud en los lugares de interés. Para esta investigación utilizaron el modelo de Bristow Campbell (Bristow & Campbell 1984) obtuvieron 1367W/m^2 , es la constante solar en el lugar de Patacamaya (Torrez et al., 2013).

$$H = aH_o(1 - e^{-b(\Delta T)^c})$$

Donde:

- a , es la denominada transmisividad de la atmosfera.
- b y c , son constantes específicas de la región.
- H_o , es la energía extraterrestre diaria dependiente de la latitud y día del año.
- $\Delta T = T_{max} - T_{min}$, es la diferencia de temperaturas
- entre la máxima y mínima diarias.

Otro modelo que se consideró en la presente investigación es de Hargreaves Samani (Hargreaves & Samani 1982).

$$H = aH_o\sqrt{T_{max} - T_{min}}$$

Donde:

- H_o , es la radiación extraterrestre ya definida.
- T_{max} es la temperatura máxima del día o la promedio mensual.
- T_{min} , es la temperatura mínima del día o la promedio mensual.
- entre la máxima y mínima diarias.
- a , es una constante de ajuste.

Todas las investigaciones realizadas nos da un plus para realizar la investigación para generar las curvas de comportamiento de la radiación solar y generar su cartografía del área geográfico a estudiar, en este caso la Ciudad de El Alto.

2.2 Mención de los puntos de vista de otros investigadores

2.2.1 Radiación Solar (V.D.)

Se conoce como radiación solar a toda la radiación electromagnética emitida por el sol durante el día.

Ecured (3013) afirma que, el Sol se comporta prácticamente como un Cuerpo Negro que emite energía según la ley de Planck a una temperatura de aproximadamente 6000 K. La radiación solar se distribuye desde el infrarrojo hasta el ultravioleta. No toda la radiación llega a la superficie de la Tierra porque las ondas ultravioleta más cortas son absorbidas por los gases de la atmósfera, principalmente el ozono. La cantidad que mide la radiación solar que llega a la tierra es la irradiación, que mide la energía que, por unidad de tiempo y área, llega a la tierra. Su unidad es W/m^2 (vatio por metro cuadrado). El Sol es la estrella más cercana a la tierra y está catalogado como de observación directa y es donde se dan las temperaturas

de alrededor de 20 millones de grados necesarias para producir las reacciones nucleares que producen su energía.

En el camino que recorre la radiación solar hacia la tierra, sufre múltiples alteraciones que modifican la forma en que llega esta energía, algunas de estas modificaciones pueden ser:

2.2.1.1 Radiación Directa.

Es la radiación solar que no sufre alteraciones cuando llega a la superficie de la tierra, podemos decir que la radiación directa es limpia y completa (Solorama, s. f.).

2.2.1.2 Radiación Difusa.

Es uno de los tipos de radiación solar, que ya ha sufrido varias alteraciones y desviaciones antes de llegar a la tierra, es decir, atraviesa diferentes objetos que se encuentran en su camino, por ejemplo los gases atmosféricos (Solorama, s. f.).

2.2.1.3 Radiación Reflejada.

Esto es parte de la radiación incidente. La radiación reflejada es aquella que, como su nombre indica, refleja la radiación solar procedente de la tierra debido al efecto albedo, es decir, la pequeña o gran reflexión de radiación que tiene cualquier superficie (Solorama, s. f.).

2.2.1.4 Radiación Incidente.

Este tipo de radiación solar se caracteriza porque los rayos que han conseguido llegar a la tierra no son directos, sino que son redirigidos por objetos que se encontraban en el camino de la radiación y han absorbido parte de su energía (Solorama, s. f.).

2.2.1.5 Radiación Absorbida.

Es la radiación solar restante y que absorbe la tierra lo que aporta a su calentamiento (Solorama, s. f.).

2.2.1.6 Radiación Global.

La radiación solar global es la suma o total de los tipos de radiación solar anteriores. Normalmente, en tiempo soleado se utiliza más la radiación directa, mientras que en tiempo nublado hay una mayor cantidad de radiación difusa (Solorama, s. f.).

Radiación solar según los rayos

2.2.1.7 Rayos Infrarrojos.

Los IR constituye el 49% de los rayos de radiación y son responsables de proporcionar calor (Solorama, s. f.).

2.2.1.8 Rayos Visibles.

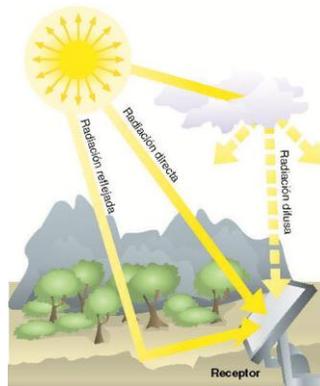
Los VI forman el 43% y emiten luz que es igualmente sensible a los ojos humanos (Solorama, s. f.).

2.2.1.9 Rayos Ultravioletas.

También conocidos como rayos UV, constituyen el 7% del total de rayos, de los cuales tiene 3 subcategorías. **Rayos UVA:** Estos pueden atravesar la atmósfera terrestre además de llegar a toda la superficie terrestre. **Rayos UVB:** Llegan más a la zona ecuatorial porque les cuesta más llegar a la superficie terrestre. **Rayos UVC:** Y el ultravioleta no llega a la atmósfera, sino que es absorbido por la capa de ozono (Solorama, s. f.).

Figura Nº 4

Radiación directa, difusa y reflejada.



Fuente: Francisco Blasco (2012) Tipos de radiación, **Recuperado** de: <http://calculationsolar.com/blog/>

2.2.2 Recurso Solar en Bolivia

Bolivia es uno de los países que recibe la mayor radiación solar del mundo, SolarGis (2017) afirma que dos tercios de Bolivia tienen uno de los niveles más altos de intensidad solar del planeta. Además SolarGis (2017) menciona que la mayor radiación solar diaria, promedio

anual, se presenta en las tierras altas, seguida de los valles y, con menor potencial, en los trópicos. Si tomamos la radiación solar media anual de Bolivia (IGH) de 1999 a 2013, veremos que en la sierra del sur del país llegamos a 2.700 Kwh/m²-año (Kilovatios hora por metro cuadrado al año) y en oriente del país 1.800 kWh/m²-año (SolarGis, 2017).

Potencia eléctrica. La potencia eléctrica es la proporción de corriente eléctrica que se transfiere en un circuito eléctrico por unidad de tiempo. Es decir, la cantidad de energía eléctrica que genera o disipa un elemento durante un período de tiempo, el el sistema internacional la unidad de mediada es de vatios (W). La energía eléctrica absorbida por un dispositivo eléctrico se mide en vatios-hora (Wh) o kilovatios-hora (kWh) —1 Wh = 3600 julios. Los instrumentos de medida son el multímetro.

2.2.3 Radiación

Será necesario montar dos sensores de irradiancia cuya estructura permita acoplarlos al seguidor así como tener una sensibilidad al espectro solar similar a la de los piranómetros comerciales y enviar la información de la forma más lineal posible a el ADC de la unidad central de procesamiento, en este caso la placa Arduino Mega. (Alessandro De La Gala, 2018), para el proyecto podrá ser utilizado LDR grandes de 1600 Ω a 7 Wm^2 / y 60 Ω a 1000 Wm^2 / aproximadamente

Figura Nº 5

Celda Fotoconductora



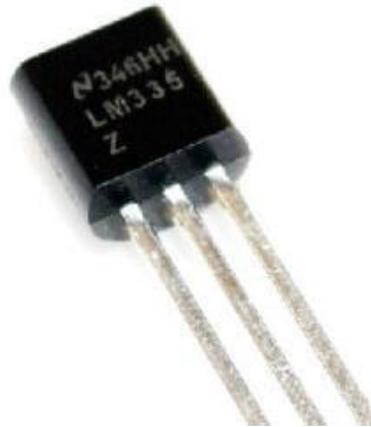
Fuente: Imagen Recuperado de (Alessandro De La Gala, 2018).

2.2.4 Temperatura

Será necesario colocar un sensor capaz de medir la temperatura de los paneles fotovoltaicos así como la temperatura ambiente, durante el funcionamiento del seguidor solar, a su vez deberán permitir el registro por parte del ADC de la central de procesamiento sistema, es decir, el Arduino Mega. (Alessandro De La Gala, 2018)

Figura N° 6

Sensor de Temperatura de Precisión LM 335



Fuente: Imagen Recuperado de (Alessandro De La Gala, 2018).

Figura N° 7

Plug estéreo hembra y macho de 3.5mm



Fuente: Imagen Propio, 2022

2.2.5 Almacenamiento SD y RTC

Será necesario implementar una tarjeta de registro que proporcione al sistema central de procesamiento la fecha y la hora de forma continua e ininterrumpida, es decir, que cuente con un reloj calendario en tiempo real, así como una memoria externa en la que se puedan almacenar los datos para su posterior análisis.

Figura N° 8

Reloj calendario y Tarjeta SD



Fuente: Imagen Propio, 2022 (Izquierda RTC DS1307, Derecha Tarjeta SD y su adaptador)

2.2.6 Sensor de Temperatura y humedad

Los sensores de temperatura son componentes eléctricos y electrónicos que, como sensores, permiten medir la temperatura mediante una señal eléctrica específica. Esta señal se puede enviar directamente o cambiando la resistencia. También se les llama sensores de calor o termosensores. Un sensor de temperatura se utiliza, entre otras aplicaciones, para el control de circuitos, los sensores de temperatura también se denominan sensores de calor, detectores de calor o sondas de temperatura. (*El sensor de temperatura - Rechner Sensors, s. f.*)

Un sensor de temperatura es un componente electrónico que devuelve una señal eléctrica que depende de la temperatura del sensor. A partir de la señal eléctrica, es posible conocer la temperatura real a la que se encuentra el sensor. Hay muchos tipos de sensores de temperatura. Cada tipo de sensor se adapta bien a una aplicación particular. En estas prácticas se estudiarán únicamente sensores de bajo coste que alcancen un rango de temperatura moderado, de $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $150\text{ }^{\circ}\text{C}$. Con precisión moderada, error de 1°C a $0,1^{\circ}\text{C}$. (Carlos Pardo, 2022)

Figura N° 9

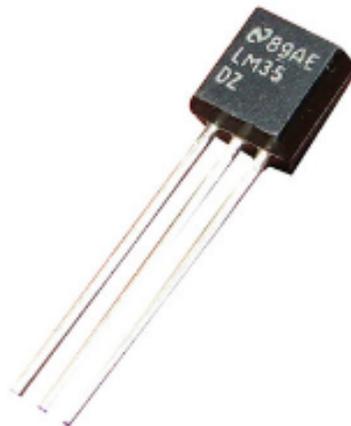
Sensor de Temperatura NTC



Fuente: Imagen Obtenida de sitio web (Carlos Pardo, 2022)

Figura N° 10

Sensor de Temperatura Basado en Circuito



Fuente: Imagen Obtenida de sitio web (Carlos Pardo, 2022)

Los sensores de temperatura son muy útiles para construir aparatos de medida de temperatura y máquinas que regulan de forma automática la temperatura. A continuación se listan algunos ejemplos prácticos.

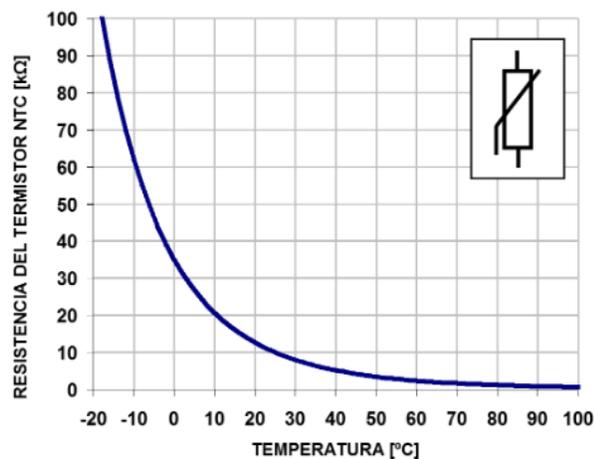
- Termómetro digital para medir la temperatura del cuerpo.
- Termostato digital de una casa.
- Termostato de temperatura de un horno.
- Sensor de incendios.
- Termostato de acuario o de terrario.
- Termómetro digital de temperatura ambiente.

2.2.6.1 Funcionamiento de un sensor NTC

Una resistencia NTC es un componente que reduce su resistencia a medida que aumenta la temperatura. Este sensor no es lineal. Esto significa que su precisión no es muy buena en amplios rangos de temperatura, en comparación con otros sensores. A pesar de esto, un sensor NTC bien ajustado puede medir temperaturas con bastante precisión, 0,1 °C en un rango de temperatura pequeño. (Carlos Pardo, 2022)

Figura Nº 11

Resistencia de un sensor NTC en su rango de medición de Temperaturas.



Fuente: Imagen Obtenida de sitio web (Carlos Pardo, 2022)

Como puede ver, la resistencia disminuye en el medio y la temperatura aumenta. La forma de la curva no es lineal, lo que da problemas a la hora de calcular con exactitud la temperatura. La siguiente fórmula se puede utilizar para calcular la resistencia en función de la temperatura. (Carlos Pardo, 2022)

$$R = A \cdot \exp(B/T)$$

R = Resistencia del sensor NTC

T = Temperatura en grados kelvin

B = Temperatura característica del material. Entre 2000°K y 5000°K

A = Constante del termistor. Depende del material.

Los coeficientes A y B dependen de cada componente y se pueden encontrar en las hojas de características de los fabricantes o bien se pueden calcular para un sensor NTC concreto a partir de un ensayo, midiendo la resistencia a varias temperaturas.

2.2.7 Intensidad de la Radiación

La intensidad de la radiación es un factor clave que determina los efectos en la salud de la exposición a cualquier radiación. Es como estar expuesto a la radiación térmica de un fuego (de hecho, también es transferida por fotones). Si está demasiado cerca de un fuego, la intensidad de la radiación de calor es alta y puede quemarse. Si es la distancia adecuada, te cabe sin problema, y además es cómodo. Si está demasiado lejos de la fuente de calor, el calor insuficiente también puede dañarlo. Esta analogía, en cierto sentido, también se puede aplicar a la radiación de fuentes de radiación ionizante. (Connor, 2020)

2.2.7.1 La intensidad de la radiación según Sievert y Gray

A efectos de protección radiológica, se calcula la dosis absorbida media a un órgano o tejido, T , y esta dosis absorbida media se pondera en función de la calidad de la radiación según el factor de ponderación de la radiación, w_R , para el tipo y la energía de la radiación

incidente sobre el cuerpo. El factor de ponderación de la radiación es un factor adimensional que se utiliza para determinar la dosis equivalente de la dosis absorbida promedio en un tejido u órgano y se basa en el tipo de radiación absorbida. La dosis ponderada resultante se denominó dosis equivalente al órgano o tejido. (Connor, 2020)

$$H_T = \sum_R W_R D_{T,R}$$

Dónde.

- $D_{T,R}$ = Es la dosis absorbida promediada por el tejido u órgano, T. debido a la radiación incidente, R.

- w_R = El factor de ponderación de la radiación

2.2.8 Paneles fotovoltaicos

En la investigación realizada por Fuentevilla (2012) indica que:

Los paneles solares son dispositivos que se encargan de transformar parte de la radiación solar que incide en ellos en energía eléctrica y sus principales componentes son las celdas de silicio. Los paneles fotovoltaicos están formados por numerosas celdas que convierten la luz en electricidad, las cuales comúnmente son llamadas celdas fotovoltaicas y dependen del efecto fotovoltaico para transformar la energía del sol y hacer que una corriente pase entre dos placas con cargas eléctricas opuestas.

La conversión de las celdas fotovoltaicas oscila entre el 8% y el 29% de eficiencia. Pese a lo anterior, ha habido una tendencia en la disminución del precio de los sistemas modernos de electrónica de potencia y las celdas fotovoltaicas, lo que indica buenas promesas para las nuevas instalaciones. El rendimiento de un sistema fotovoltaico se ve influenciado por su potencia máxima, los cambios de temperatura, la intensidad solar y la carga conectada.

Los sistemas de generación de energía basados en energía solar son hoy en día la solución más prometedora para requerimientos de baja y mediana potencia con la finalidad de reducir el consumo de energía producida por el petróleo y el gas. Sin embargo, la relación costo-beneficio de las celdas solares basadas en silicio es aún elevado y su eficiencia es baja, en comparación con otras fuentes de energía. Independientemente de la elección del tipo de celda solar, los módulos fotovoltaicos deben estar conectados a un sistema de conversión de energía, con el fin de gestionar la energía producida y proporcionar una interfaz adecuada a la carga como lo son convertidores electrónicos no lineales que operan en modo de conmutación.

Existen tres tipos de paneles fotovoltaicos:

Monocristalino. Están formados en secciones con una barra de silicio perfectamente cristalizado en una sola pieza. En algunos análisis desarrollados en laboratorios se han alcanzado rendimientos máximos del 24,7%, a diferencia de los que actualmente existen en el mercado que alcanzan un 16%.

Policristalino. Los materiales son semejantes a los monocristalinos, sin embargo el proceso de cristalización del silicio es diferente. Los paneles policristalinos se basan en secciones de una barra de silicio que se ha estructurado desordenadamente en forma de pequeños cristales. Son visualmente muy reconocibles por presentar su superficie un aspecto granulado. Su rendimiento es inferior al de los monocristalinos pero son de bajo costo alcanzando rendimientos comercialmente disponibles hasta de un 14%.

Amorfo. Basados también en el silicio, pero a diferencia de los anteriores este material no sigue una estructura cristalina. Los paneles de este

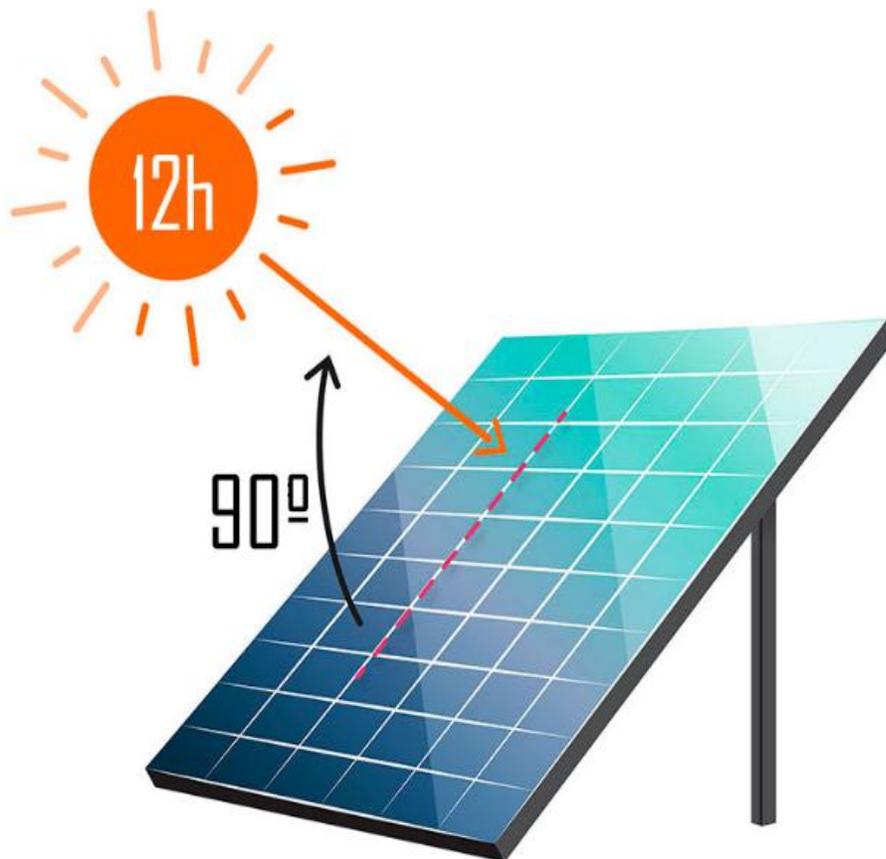
tipo son habitualmente empleados para pequeños dispositivos electrónicos como calculadoras, relojes y en pequeños paneles portátiles. Su rendimiento máximo ha sido del 13% y los de uso comercial sólo alcanzan el 8% .(pp. 9 y 10).

2.2.9 Paneles convencionales

Este tipo de paneles son las que están armados en una estructura fija, más robustas y flexibles del mercado y permiten adaptarse a cualquier tipo de terreno con desniveles superiores al 5%. Los niveles de la radiación solar varía en función del tiempo en por eso existe algunas referencias de instalación de los paneles convencionales fijas.

Figura N° 12

Angulo de Inclinación de Hemisferio sur



Fuente: Imagen obtenida de https://www.youtube.com/watch?v=aGX7vx5d_6k

Las medidas a considerar para la instalación de los paneles se debe considerar lo siguiente:

Tabla N° 1

Medidas de Instalación de Paneles Fijos

| Latitud del lugar (En Grados) | Angulo de Inclinación Fijo |
|----------------------------------|----------------------------|
| 0° a 15° | 15° |
| 15° a 25° | La misma latitud |
| 25° a 30° | Latitud más 5° |
| 30° a 35° | Latitud más 10° |
| 35° a 40° | Latitud más 15° |
| 40° en adelante | Latitud más 20° |

Fuente: Elaboración propio, en base a https://www.youtube.com/watch?v=aGX7vx5d_6k

2.2.10 Paneles de Seguidor Solar

“En los sistemas fotovoltaicos existe la posibilidad de implementar un dispositivo adicional con el fin de aumentar la captación de radiación solar y por ende la energía suministrada por la instalación, tal dispositivo es un seguidor solar” (Escobar Mejia et al., 2010, p.247).

2.2.10.1 Seguidor Solar Según el Tipo de Movimiento

Escobar Mejia (2010) menciona:

Seguidor de un solo eje. La rotación de la superficie de captación se hace sobre un solo eje, este puede ser horizontal, vertical u oblicuo. Este tipo de seguimiento representa un mínimo grado de complejidad y su costo es menor en comparación con otros tipos de seguidores. La limitación de este tipo de seguidor consiste en que no puede realizar un seguimiento completo del sol ya que solo puede seguir ya sea la azimut o la inclinación solar, pero no ambas (p.247).

Figura N° 13

Orientador de un Eje Azimutal



Fuente: Imagen Obtenida de (Arrieta Morelo & Puello Bravo, 2015)

Escobar Mejia (2010) señala a:

Seguidor de dos ejes: Este tipo de seguidor cuenta con dos grados de libertad y está en capacidad de realizar un seguimiento total del sol, tanto en inclinación como en azimut, aunque el rendimiento de la instalación puede ser superior en comparación con los de un solo eje, es importante mencionar que el de dos ejes resulta ser más costoso (p.247).

Figura N° 14

Orientador de Dos Ejes



Fuente: Imagen Obtenida de (Arrieta Morelo & Puello Bravo, 2015)

Para el proyecto de investigación planteada se analizará asumiendo el costo de construcción y la efectividad de cada uno.

2.2.10.2 Funcionamiento y Control de Seguidores Solares

El seguidor solar debe estar monitorizado por una unidad central y disponer de una estación meteorológica, que puede ser utilizada por uno o varios seguidores. La forma en que el central puede guiar al seguidor es de dos tipos. (Arrieta Morelo & Puello Bravo, 2015)

Por sensores: Los paneles solares de cada seguidor disponen de sensores, por lo que Detectan si los rayos del sol inciden sobre las placas perpendicularmente o no. A través estos sensores la unidad de control da la orden a los motores para mover los paneles solares o no, para que siempre sean perpendiculares a los rayos del sol. (Arrieta Morelo & Puello Bravo, 2015)

Por posición solar: de esta forma, la central da la orden de posición a las placas, por por una ecuación en la que, en función del tiempo, una computadora calcula la posición sol en todo momento. En este tipo de sistema, el lugar donde el sistema está instalado. (Arrieta Morelo & Puello Bravo, 2015)

Arrieta Morelo & Puello Bravo (2015) afirma que, todos estos componentes electrónicos envían la información a los motores que activan sistemas mecánicos, para mover las placas. Platos o rejillas para platos Se pueden mover de dos formas, por medio de un eje giratorio, o por medio de brazos actuadores.

2.2.11 Curvas de comportamiento

2.2.11.1 Características de la radiación solar

La radiación solar es la energía emitida por el Sol, que se propaga en todas direcciones por el espacio mediante ondas electromagnéticas y se genera en las reacciones del hidrógeno en el núcleo del Sol por fusión nuclear y es emitida por la superficie solar. Esta energía es el motor que determina la dinámica de los procesos atmosféricos y el clima. (IDEAM, s. f.)

La medición de la radiación solar es importante para un gran número de aplicaciones, en los campos de la ingeniería, la arquitectura, la agricultura, la elevación, la santidad humana y la meteorología, distinguiéndose los siguientes elementos: su uso como fuente alternativa de energía en la producción de electricidad y en el diseño y uso de sistemas de calentamiento de agua, el diseño de edificios e infraestructuras, el seguimiento del crecimiento de las plantas, la deshidratación de alimentos, las implicaciones para la salud (por ejemplo, cáncer de piel o tratamientos curativos), el análisis de la evaporación y el riego, su importante papel en la calidad del aire patrones y usos frecuentes y climáticos y muchas otras aplicaciones y usos que utilizan la radiación solar como una de sus fuentes de energía. (IDEAM, s. f.)

La radiación es emitida sobre un espectro de longitud de ondas, con una cantidad específica de energía para cada longitud de onda, la cual puede ser calculada usando Ley de Planck:

$$E_{\lambda} = a / \left\{ \lambda^5 \left[e^{\frac{b}{\lambda T}} - 1 \right] \right\} \quad 1$$

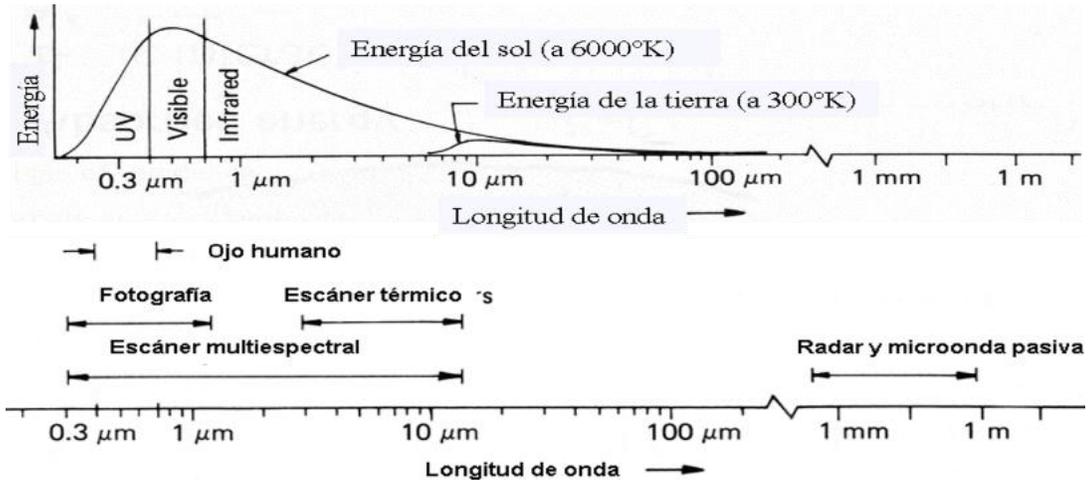
Donde, E_{λ} es la cantidad de energía ($Wm^{-2}mm^{-1}$) emitida a una longitud de onda (mm) por un cuerpo con una temperatura T (en grados Kelvin), con a y b como constantes. Asumiendo que el Sol es un cuerpo negro, por diferenciación de la ecuación es posible determinar la longitud de onda máxima de emisión de radiación procedente del Sol:

$$\lambda = 2897/T \quad 2$$

Esta ecuación es conocida como la Ley de Wien. Para una temperatura de 5800°K (temperatura de la superficie solar) la longitud máxima de energía del Sol es aproximadamente 0,5 mm (micrómetro, equivalente a $1 \times 10^{-6}m$), tal como se observa en la figura siguiente. Esta longitud de onda corresponde a radiación en la parte del espectro visible. (IDEAM, s. f.)

Figura N° 15

Energía radiada por el Sol y la tierra



Fuente. Imagen recuperado de (IDEAM, s. f.)

A través de la integración de la ecuación (1) resulta la ley de Stefan-Boltzmann, por medio de la cual, se puede determinar el total de energía emitida por el Sol:

$$E_{TOTAL} = \delta T^4$$

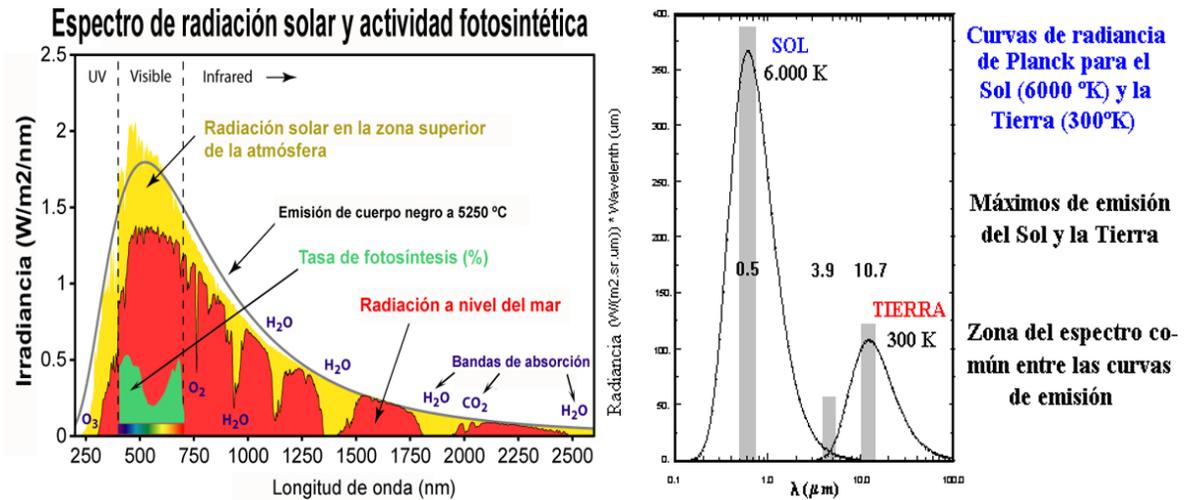
Donde δ es la constante de Stefan-Boltzmann (dentro de la radiación como mecanismo básico de la transmisión de calor su valor es: $5,6697 * 10^{-8} W/m^2 \cdot K^4$)

Resolviendo la ecuación tres para una temperatura solar de $5800 K$, la energía total de salida es de aproximadamente $64 \text{ millones } W/m^2$, de la cual, la Tierra solo intercepta $1367 W/m^2$

2.2.11.2 Espectro de la radiación Solar

El estudio del espectro de la radiación solar que llega a la superficie del suelo permite establecer que las radiaciones de longitud de onda inferior a $0,2 \text{ mm}$ deben ser absorbidas completamente por la atmósfera. Esta energía es absorbida en la atmósfera principalmente por el oxígeno molecular (O_2), el ozono (O_3) y el vapor de agua (H_2O). (IDEAM, s. f.)

Figura N° 16
Espectro de radiación solar fuera de la atmósfera de la Tierra

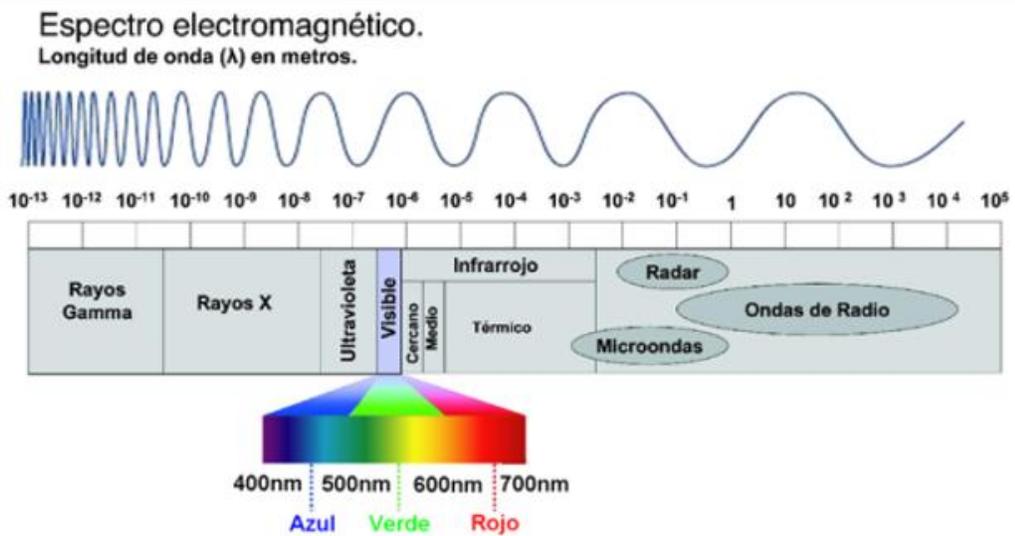


Fuente. Imagen recuperado de (IDEAM, s. f.)

2.2.11.3 Longitud de onda

La longitud de onda de la luz es tan corta que suele expresarse en nanómetros (nm), que equivalen a una milmillonésima de metro, o una millonésima de milímetro o en micrómetros (µm) que equivalen a una millonésima de metro. (IDEAM, s. f.)

Figura N° 17
Espectro electromagnético.



Fuente: imagen recuperado de luminousphoto

Los fotones que se mueven a la velocidad de la luz C , son emitidos o absorbidos por la materia. La longitud de onda de la radiación está relacionada con la energía de los fotones, por una ecuación desarrollada por Planck:

$$E = \frac{hc}{\lambda}$$

Donde h es la constante de Planck, de valor $h = 6,626 * 10^{-34} Js$

El Sol emite energía en forma de radiación de onda corta, principalmente en la banda del ultravioleta, visible y cercano al infrarrojo, con longitudes de onda entre 0,2 y 3,0 micrómetros (200 a 3000 nanómetros). (IDEAM, s. f.)

2.3 Corriente o Enfoque elegido por el investigador

El desarrollo de un sistema de seguidor solar más grande, es posible en futuro ya que se tendrán las herramientas necesarias de estudio, análisis e implementación. Se seguirá por una corriente portable.

Por lo que se elige un enfoque cuantitativo para la presente investigación ya que se trabajará con base de datos numéricos generados por los diferentes sensores instalados en el seguidor solar, con un nivel de investigación experimental de tipo aplicada-tecnológica. Para lo cual es importante definir todos indicadores que nos permitirán desarrollar la presente investigación.

2.3.1 Panel Fotovoltaico

2.3.1.1 Definición

Según Pilco & Jaramillo (s.f.) indica que “Un panel FV es una placa rectangular, formada por un conjunto de células FV protegidas por un marco de vidrio y aluminio anodizados. La función principal de un panel FV es la de soportar mecánicamente a las células FV y de protegerlas de los efectos degradables de la intemperie”.

De la misma forma Pilco & Jaramillo (s.f.) menciona que “La vida útil de un panel FV puede llegar a los 30 años, aunque los fabricantes otorgan garantías de 20 años. El

mantenimiento típico consiste de una limpieza del vidrio para prevenir que las células FV no puedan capturar la radiación solar”.(Pilco & Jaramillo, s. f.)

2.3.1.2 Célula Fotovoltaica

De la misma forma Pilco & Jaramillo (s.f.) afirma que “La célula fotovoltaica (FV) es el componente que se encarga de captar la energía contenida en la radiación solar y transformarla en energía eléctrica. En general, una célula FV es un diodo elaborado con material semiconductor”.

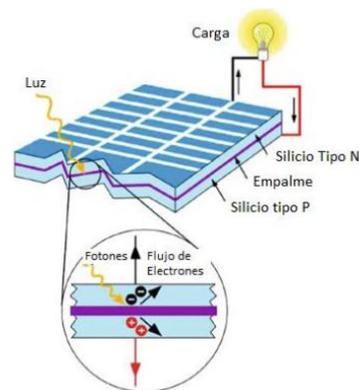
De la misma forma Valdivieso Salas (2014) afirma que:

Las células fotovoltaicas son sensibles a la luz, están hechas de un material semiconductor, silicio en la mayoría de los casos, el cual se excita ante la presencia de radiación (aumento de temperatura) y los electrones pueden fluir del tipo P (positivo) al tipo N (negativo), esto ocasiona un voltaje interno, el cual ante la presencia de una resistencia se produce una corriente. (p. 9)

Debido a que la instalación se realizará en la costa, cada módulo debe contener un mínimo de 36 células fotovoltaicas¹.

Figura N° 18

Funcionamiento célula silicio



Fuente: Imagen recuperado de (Valdivieso S., 2014)

¹ “Especificaciones técnicas y ensayos de los componentes de sistemas fotovoltaicos hasta 500 Wp” Minem 2005.

2.3.1.3 Características Técnicas

Según Valdivieso S. (2014) indica que “en las fichas técnicas los paneles muestran datos de eficiencia, voltaje y amperaje bajo condiciones estándares, las cuales son llamadas STC (Standard Testing Condition). Estos parámetros son los siguientes”:

- ❖ Irradiación 1000
- ❖ Temperatura del módulo 25°C
- ❖ AM 1.5.

De acuerdo a Valdivieso S. (2014) afirma que “el voltaje y la intensidad producida por los paneles fotovoltaicos depende de diversos factores, los más importantes son la irradiación y la temperatura a la cual se encuentre el módulo”. (p.18)

2.3.2 Curvas de Radiación Solar

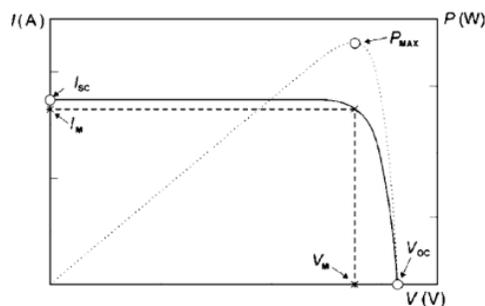
De acuerdo a Valdivieso S. (2014) indica que “los paneles fotovoltaicos tienen curvas características en las cuales se muestra el funcionamiento de los paneles y cuál es el efecto antes cambios en la temperatura o radiación”. (p.18)

2.3.2.1 Curvas Intensidad vs Tensión y Potencia vs Tensión

En la figura siguiente muestra puntos característicos en los catálogos de paneles, usualmente se expresa la potencia del panel en el Punto de Máxima Potencia (PMP), aunque para el cálculo del cableado es recomendable utilizar el punto de corto circuito.

Figura N° 19

Curva I vs V / P vs V



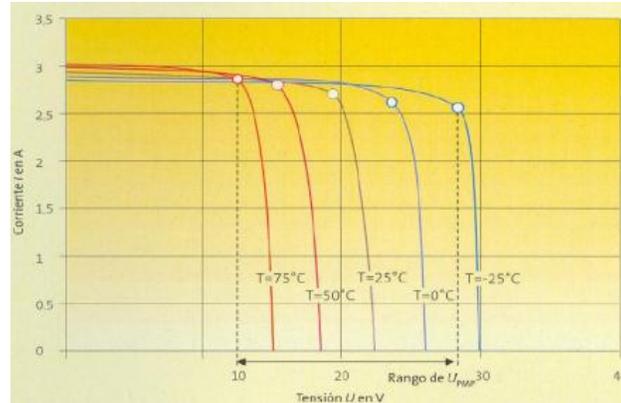
Fuente: Imagen recuperado de (Valdivieso S., 2014)

2.3.2.2 Efecto de la temperatura

De la misma forma en la figura podemos notar que conforme disminuye la temperatura, aumenta la tensión de salida (también la potencia), y la corriente se mantiene casi constante. Este efecto se debe a que las propiedades del silicio varían con la temperatura.

Figura N° 20

Efecto de Temperatura



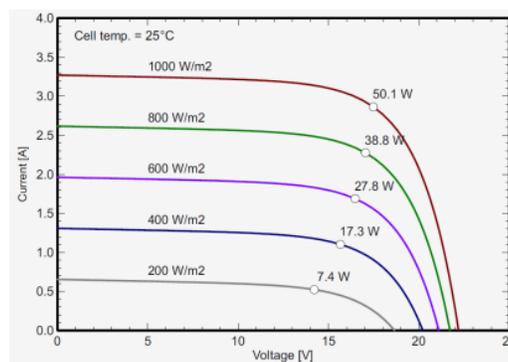
Fuente: Imagen recuperado de (Valdivieso S., 2014)

2.3.2.3 Efecto de la radiación

Es evidente que a mayor radiación, el panel produzca una potencia mayor. Este efecto se muestra en la figura siguiente:

Figura N° 21

Efecto de radiación en panel 50 Wp EverExceed



Fuente: Imagen recuperado de (Valdivieso S., 2014)

2.3.2.4 Efecto sombras

De acuerdo a la investigación de Valdivieso S. (2014) menciona que:

Las sombras pueden ser muy perjudiciales tanto para la potencia entregada como para la vida útil de los paneles fotovoltaicos. Es siempre recomendable evitar sombras en los paneles. Como recomendación, la distancia mínima que debe existir entre un muro, árbol o panel y un panel solar debe ser la siguiente. (p.14)

$$d_{min} = \tan^{-1} \frac{H}{d}$$

Donde:

d = Distancia entre el panel fotovoltaico y cualquier objeto causante de sombra.

H = Altura de objeto causante de sombra sobre el panel fotovoltaico.

Lo cual se debe garantizar que los paneles se encuentren libres de sombras durante por lo menos 8 horas diarias, centradas al mediodía, y a lo largo de todo el año.

2.4 Identificación de las Fuentes

Las fuentes de información son herramientas para el conocimiento, la investigación y el acceso a la información. La difusión de los usos de la comunicación por ordenador y de los flujos de información por internet adquiere una importancia estratégica decisiva en las sociedades desarrolladas los cuales nos ayudan a conllevar la presente información.

Para estar al día de los nuevos avances en un determinado campo del conocimiento, se utilizan distintas fuentes de información sean secundarios y terciarios que ofrecen respuestas concretas a determinadas cuestiones planteadas con anterioridad. La utilidad de las fuentes de información está determinada por su respuesta a la necesidad de información de los usuarios, lo cual esta necesidad puede ser:

- Localizar y obtener un documento del que se conoce el autor y el título de la investigación realizada anteriormente.

- Localizar los documentos relativos a un tema en particular que nos ayudan a la presente información.

En la presente investigación se considera dos tipos de fuentes ya sean fuentes primarios fuentes secundarios como también se consideran fuentes externas y fuentes internas.

2.4.1 Fuentes externas y fuentes internas

Son considerados como investigaciones realizadas en otros países relacionados al tema que la información del mismo son relevantes para el presente proyecto de investigación. Las fuentes internas es en un ambiente regional y local no se tiene información técnica a la cual acudir, no obstante, se tiene lineamientos generales que se tendrán en cuenta en el desarrollo del proyecto.

Tabla N° 2
Identificación de Fuentes

| TÍTULO DE LA INVESTIGACIÓN | AUTOR (ES) | TIPO DE INVESTIGACIÓN | AÑO | ENLACE DE VERIFICACIÓN |
|---|--|-----------------------|----------------------------|---|
| Estudio y análisis de la actividad solar, radiación solar global y radiación uv en la ciudad de Arequipa | Chambi Laura Virginia Nelly | Tesis de maestría | Arequipa Perú, 2018 | http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/7602/FSMchlavn.pdf?sequence=1&isAllowed=y |
| Desarrollo de un sistema de monitoreo de radiación solar basado en un espectrómetro de amplio espectro y análisis de resultados preliminares | Omar Ormochea, Faviola Romero, Oscar Urquidi, Augusta Abrahamse | Artículo científico | Bolivia 2012 | https://www.upb.edu/sites/default/files/adjuntos/Simposio%20Nacional%20en%20EERR%2097-104%20Ormachea%20et%20al%202012.pdf |
| Análisis de la eficiencia en la producción de energía eléctrica para la Central Solar Fotovoltaica de 50 kW conectada a la red en el campus universitario Cota Cota, ubicada en la ciudad de La Paz, Bolivia. | Álvaro Montano Saavedra, María Belén Arequipa Saravia, Cristian Limachi Ochoa. | Artículo científico | La Paz Bolivia, 2020 | https://enerlac.olade.org/index.php/ENERLAC/article/view/143 |

| | | | | | |
|--|---|---|------------|------------------|---|
| Medicinas de radiación ultravioleta solar en el municipio de sica sica | Leslie K. Fanola G.†, Decker Guzmán Z., Marcelo Peñaloza M., & Franceso Zarrati | Revista física | Bolivia de | Bolivia, 2012 | http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S1562-38232012000100001&script=sci_abstract&lng=pt |
| Modelos de estimación de la radiación solar para el altiplano central de Bolivia | R. Torrez; A. Burgoa; E. Ricaldi | Revista física | Bolivia de | Bolivia, 2013 | http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S1562-38232013000200001&script=sci_arttext |
| Diseño de un Sistema Fotovoltaico para el Suministro de Energía Eléctrica a 15 Computadoras Portátiles en la PUCP | Valdivieso Paulo D. | Tesis de licenciatura | | Lima, 2014 | http://hdl.handle.net/20.500.12404/5447 |
| Características de la Radiación Solar - IDEAM | IDEAM | Ministerio Ambiente Desarrollo Sostenible | de y | Bogotá D.C. | http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/caracteristicas-de-la-radiacion-solar |
| Diseño e implementación de un seguidor solar para la optimización de un sistema fotovoltaico | Escobar Mejia, Andres Holguin Londoño, Mauricio Orosco R., Juan Carlos | Universidad Tecnológica Pereira. ISSN 0122-1701 | de | Colombia 2018 | https://201.131.90.33/index.php/revistaciencia/article/view/1841/1151 |
| Diseño y Construcción de un Sistema de Seguimiento Fotovoltaico | Fuentevilla, Jonathan Sumano | Tesis Licenciatura | de | Huajuapán, 2012 | http://jupiter.utm.mx/~tesis_dig/11479.pdf |
| Intensidad de la radiación | Connor, Nick | Radiation Docimetry | | Copyrich, 2020 | https://www.radiation-dosimetry.org/es/que-es-la-intensidad-de-la-radiacion-dosis-y-tasa-de-dosis-definicion/ |
| Sensores de Temperatura Implementación de un Seguidor Solar para la Evaluación Energética Comparativa de Paneles Fotovoltaicos | Carlos Pardo, Martin | | | Junio, 2022 | https://www.picuino.com/es/control-sensor-temp.html |
| | Alessandro De La Gala, Contreras | Tesis Licenciatura | de | Tacna Perú, 2018 | http://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/UNJBG/3255 |

Fuente: Elaboración propio, investigación 2022

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1 Enfoque de la investigación

Según (Roberto Hernández Sampieri, Carlos Fernández Collado & María del Pilar Baptista Lucio, 2014) clasifica tipos de enfoque cuantitativo, cualitativo con las diferencias de los mismos.

De acuerdo (Hernández Sampieri et al., 2014) afirma que el “Enfoque cuantitativo utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin establecer pautas de comportamiento y probar teorías”. (p.4)

De la misma forma (Hernández Sampieri et al., 2014) afirma que el “Enfoque cualitativo utiliza la recolección y análisis de los datos para afinar las preguntas de investigación o revelar nuevas interrogantes en el proceso de interpretación”. (p.7)

De acuerdo a las definiciones vertidas por los diferentes autores en cuanto al enfoque de la investigación, para la presente investigación es importante realizar desde un enfoque **cuantitativo**.

3.2 Tipo de Investigación

Según (Roberto Hernández Sampieri, Carlos Fernández Collado & María del Pilar Baptista Lucio, 2014) mencionan que "Los estudios exploratorios se realizan cuando el objetivo es examinar un tema o problema de investigación poco estudiado, del cual se tienen muchas dudas o no se ha abordado antes".

Para Murillo (2008), la investigación aplicada recibe el nombre de “investigación práctica o empírica” que se caracteriza porque busca la aplicación o utilización de los conocimientos adquiridos, a la vez que se adquieren otros, después de implementar y sistematizar la práctica

basada en investigación. El uso del conocimiento y los resultados de investigación que da como resultado una forma rigurosa, organizada y sistemática de conocer la realidad.

Viendo las distintas definiciones de los diferentes autores para esta investigación es experimental de tipo Aplicada-Tecnológica, porque se aplica los una serie de recursos tecnológicos y de conocimientos existentes dentro del campo, electrónica y de software, además una serie de dispositivos hardware y software como parte de elaboración de un sistema fotovoltaico mediante seguidor solar en el área de ingeniería.

3.2.1 Nivel de investigación

De la investigación se desarrolla en un nivel: **Experimental**, porque se busca obtener resultados claros que evidencien la realidad estudiada con un grado de precisión. La información recolectada y su respectiva validez serán resultado de la adquisición en tiempo real de datos de potencia generada por el sistema fotovoltaico, los cuales son procesados para estimar el rendimiento energético del sistema y así mismo estudiar la radiación solar en la Ciudad de El Alto mediante un seguidor solar para trazar las curvas de comportamiento.

3.2.2 Diseño de la investigación

Hernández Sampieri et al. (2014) indica que:

El diseño plan o estrategia que se desarrolla para obtener la información que se requiere en una investigación y responder al planteamiento. (p. 128)

De la misma forma menciona Babbie (2014, citada en Hernández Sampieri et al., 2014) El término experimento tiene al menos dos acepciones, una general y otra particular. La general se refiere a “elegir o realizar una acción” y después observar las consecuencias. (p.129)

Fidias (2006) indica que:

El diseño de investigación es la estrategia general que adopta el investigador para responder al problema planteado... (p.27)

Por lo que el diseño de la investigación para el presente proyecto es de tipo **experimental causal** el cual está basado en una sola muestra de estudio para nuestro caso viene a ser la potencia generada por el sistema fotovoltaico implementado para alumbrado público donde se mide la radiación solar (causa) y su relación causal con la variable dependiente rendimiento energético del sistema para trazar las curvas de comportamiento (efecto).

3.2.3 Alcance de la investigación

De acuerdo a (Ramos-Galarza, 2020) menciona que “en el alcance exploratorio, la investigación es aplicada en fenómenos que no se han investigado previamente y se tiene el interés de examinar sus características”.

Así mismo (Ramos-Galarza, 2020) menciona que “en el método cuantitativo, se aplican procesos de análisis de datos básicos en donde se puede identificar la frecuencia en la cual se presenta el fenómeno de interés y sus características generales”.

En la presente integración los más relacionados al diseño experimental lo cual tiene un alcance exploratorio ya que es una investigación aplicada en fenómenos como es la radiación solar y es muy poco estudiado en la ciudad de El Alto.

Tabla N° 3

Diseño de Investigación

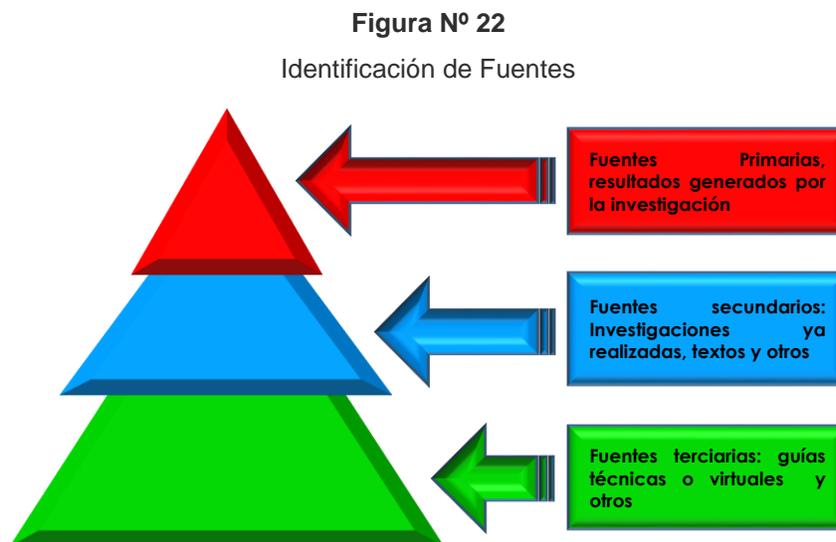
| PROBLEMA | OBJETIVO GENERAL | HIPOTESIS | VARIABLE INDEPENDIENTE | OBJETO DE ESTUDIO | METODOS Y TECNICAS |
|---|---|---|---|--|---|
| En la ciudad de El Alto no cuenta con estudios sobre la radiación solar en los últimos tiempos, de la misma forma no hay estudios de uso de sistemas de seguidor solar para el rendimiento energético ya que se desperdicia el uso de los rayos solares. A la vez es importante aportar con conocimientos a la sociedad ya con experimentos de las cartografías de la radiación solar y curvas de comportamiento generados por datos de seguidor solar, mismo para aumentar el rendimiento energético mediante paneles fotovoltaicos de un sistema de iluminación en la ciudad de El Alto mediante una evaluación a través de un prototipo lo cual será elaborado en el laboratorio de energías alternativas de la carrera de Ingeniería Eléctrica. | Desarrollar el seguidor solar para trazar las curvas de comportamiento de la radiación solar, específicamente en el laboratorio de energías alternativas de área de ingeniería de la ciudad de El Alto. | El desarrollo del seguidor solar permite trazar las curvas de comportamiento de la radiación solar específicamente en el laboratorio de energías alternativas de área de ingeniería de la Universidad Pública de El Alto. | La radiación solar generada por los rayos ultravioletas lo cual serán medidos mediante el seguidor solar | Estudio de la radiación solar mediante la automatización de paneles fotovoltaicos a fin de trazar las curvas de comportamiento para la ciudad de El Alto. | Las técnicas utilizadas para la recolección de datos primarios mediante hoja de registros. Los cuales son generados en una tabla de Microsoft office. |
| PREGUNTA DE INVESTIGACION | OBJETIVO ESPECIFICOS | | VARIABLE INDEPENDIENTE | POBLACIÓN Y MUESTRA | INSTRUMENTOS |
| ¿El uso del seguidor solar de paneles fotovoltaicos permitirá trazar las curvas de comportamiento de la radiación solar específicamente en el laboratorio de energías alternativas de área de ingeniería de la ciudad de El Alto? | <ul style="list-style-type: none"> ➢ Automatizar la estructura mecánica y dinámica de un prototipo de un seguidor solar, para comparar las curvas de comportamiento. ➢ Elaborar un sistema de monitoreo y de control con el fin de medir, almacenar y sistematizar los datos instantáneas generadas por el sistema fotovoltaico con el controlador electrónico. ➢ Medir la eficiencia y el rendimiento energético del panel convencional y el seguidor solar para trazar las curvas de comportamiento de la radiación solar. ➢ Determinar de forma experimental las cartografías de la radiación solar para el municipio de la Ciudad de El Alto. | | Curvas de comportamiento generado por los datos del seguidor solar, convencional, y estación meteorológico implementado mediante prototipo. | En la presente investigación no se aplicara la población universo, población, muestra ya que es un estudio de fenómeno por lo cual no aporta a la investigación. | El presente trabajado e investigación tendrá como como hojas de registro como instrumento de acuerdo a las variables a estudiar. |

Fuente: Elaboración Propio, 2022

3.2.4 Fuente de Datos

Para poder conocer los datos que se requerirán al llevar a cabo la investigación se ocuparán fuentes primarias y secundarias. (Hernández Sampieri et al., 2014)

Para la presente investigación se han ido utilizando datos primarios que son datos originales recolectados, observados o creados para ser analizados y procesados como resultados de la presente investigación. De la misma forma se utilizan datos secundarios ya que los mismos contienen información primaria, sistematizada y organizada en dichas investigaciones para validar las informaciones obtenidas por las investigaciones. Es importante mencionar a los fuentes terciarios ya que los mismos son guías físicas o virtuales que contienen información sobre las fuentes secundarias.



Fuente: Elaboración Propia de la Investigación, 2022

Se utilizó para obtener información general e investigar sobre la radiación solar por ello, se realizaron una investigación cualitativa en diferentes fuentes sean primarios, secundarios y para la investigación cuantitativa se aplicará cuestionario, entrevistas, encuestas, observación, lo cual se explica en detalle más adelante.

3.2.4.1 Fuentes Primarios

Las fuentes primarios para la presente investigación son los datos registrados por el seguidor solar y la estación meteorológica que nos permiten analizar los datos en tiempo real.

3.2.4.2 Fuentes secundarias.

Las fuentes secundarias proporcionan datos de primera mano y forman el objetivo de investigación. Para el desarrollo de la investigación del presente trabajo se obtuvo información secundaria, mediante las diferentes informaciones de los libros, artículos y revistas especializadas netamente relacionadas con el tema de investigación.

3.3 Hipótesis de la Investigación

Las hipótesis de una investigación según (Hernández Sampieri et al., 2014) señala que “las hipótesis indican lo que tratamos de probar y se definen como explicaciones tentativas del fenómeno investigado”

Otros autores han afirmado lo siguiente:

Las hipótesis de investigación, que se definen como proposiciones tentativas acerca de las posibles relaciones entre dos o más variables (Babbie, 2014 y 2012; Martin y Bridgmon, 2012; Davis, 2008; Kalaian y Kasim, 2008 e Iversen, 2003), y que deben cumplir con los cinco requisitos mencionados. Se les suele simbolizar como H_i o H_1 , H_2 , H_3 , etc. (cuando son varias), y también se les denomina “hipótesis de trabajo”. (Hernández Sampieri et al., 2014, pp 107)

3.3.1 Hipótesis Alternativa (H_1)

El seguidor solar permite generar las curvas de comportamiento de la radiación solar en el laboratorio de energías alternativas del área de ingeniería de la ciudad de El Alto.

3.3.2 Hipótesis Nula (H_0)

El seguidor solar no permite generar las curvas de comportamiento de la radiación solar en el laboratorio de energías alternativas del área de ingeniería de la ciudad de El Alto.

3.4 Variables de la Investigación

Según Peters (2014, citado por Hernandez Sampieri et al., 2014,p 105) que “Una variable es una propiedad que puede fluctuar y cuya variación es susceptible de medirse u observarse”

Por lo tanto en la investigación que se realiza, de acuerdo a la hipótesis planteada se definen las variables dependiente e independiente:

3.4.1 Variable Independiente (Y)

Y1: La radiación solar generada por los rayos ultravioletas lo cual serán medidos mediante el seguidor solar

Y2: Curvas de comportamiento generado por los datos del seguidor solar, convencional, y estación meteorológico implementado mediante prototipo.

3.4.1.1 Indicadores

Niveles de radiación

Longitud de curva de la onda

3.4.1.2 Instrumentos

Sensores

3.4.2 Variable Dependiente (X)

X1: Cantidad de Radiación solar generada

X2: Potencia generada por el sistema fotovoltaico implementado.

3.4.2.1 Indicadores

$V_{(SFT)}$ = Voltaje, generado por el sistema fotovoltaico implementado mediante un prototipo.

$A_{(SFT)}$ = Amperaje generado por el sistema fotovoltaico implementado mediante un prototipo.

$t_{(SFT)}$ = Tiempo de radiación efectiva sobre sistema fotovoltaico implementado

$L_{(CC)}$ = Longitud de la curva de comportamiento generado por la radiación y la estación meteorológica.

$T_{(SFT)}$ = Temperatura superficial en los paneles del sistema fotovoltaico ($^{\circ}\text{C}$)

3.5 Operacionalización de variables

Tabla N° 4
Operacionalización de Variables

| VARIABLE INDEPENDIENTE | COMPONENTES | DIMENSION | INSTRUMENTOS | INDICADORES |
|--------------------------|-------------------|--------------------------------|----------------|-------------|
| Radiación Solar | Conceptualización | Tiempo de radiación | sensores | |
| Curvas de Comportamiento | Conceptualización | Longitud de onda | Datos en Excel | |
| VARIABLE DEPENDIENTE | COMPONENTES | DIMENSION | INSTRUMENTOS | INDICADORES |
| Cantidad de radiación | Conceptualización | Tiempo y niveles de radiación | sensores | |
| Potencia generada | Conceptualización | Voltaje, amperaje, temperatura | Multímetro | Kw, V |

Fuente: Elaboración Propio, 2022

3.6 Cobertura de estudio

En vista de que es un estudio de fenómeno, para la presente investigación no se aplica una población universo, muestra ya que es una investigación referente a la radiación solar, en lo cual la encuesta no ayuda a la investigación.

3.7 Técnicas de investigación

Según (Tamayo & Siesquen, 2008) indica que las técnicas de recolección de datos en una investigación como "...encuesta, entrevista, análisis documental, observación no experimental y observación experimental".

Por su parte Tomayo & Siesquien (2008) indica que "La observación experimental se diferencia de la no experimental porque elabora datos en condiciones relativamente controladas por el investigador, particularmente porque éste puede manipular la o las variables, como una poderosa técnica de investigación científica..."(p.8). Por lo que en la investigación se aplica la técnica de observación experimental.

3.8 Toma de datos

Una vez identificada la técnica de investigación de tipo observación experimental ya que esto permite utilizar como instrumento la **hoja o ficha de registro de datos**.

Las técnicas utilizadas para la recolección de datos primarios son la observación experimental y la metrología, ya que consiste en observar el comportamiento de las variables del proceso, la medición de las variables, luego la selección y almacenamiento en la base de datos y finalmente el procesamiento y representación de los datos, por variables para la prueba de hipótesis, esto permite desarrollar una base de datos experimental, para cada variable de estudio, estos datos se toman simultáneamente mediante el software y los sensores instalados en el sistema fotovoltaico y en la estación meteorológica.

3.9 Ambiente de la Investigación

En la técnica de recolección de datos a utilizar, mediante fuentes primarios para obtener los datos y como deben ser analizados, la investigación con enfoque cuantitativo nos permite realizar varias interpretaciones de datos, y las técnicas de recolección de datos que se usan la investigación para tratar el objeto de estudio.

La investigación se realiza en el laboratorio de energías alternativas de la carrera de ingeniería eléctrica y la sociedad científica de la carrera de ingeniería electrónica en instalaciones del Área de Ingeniería Desarrollo Tecnológico Productivo de la Universidad Pública de El Alto, en el distrito N° 1 de la ciudad de El Alto.

3.10 Instrumentos de la Investigación

Según Concepto (2021) indica que “los instrumentos de investigación son los recursos que el investigador puede utilizar para abordar problemas y fenómenos y extraer información de ellos”.

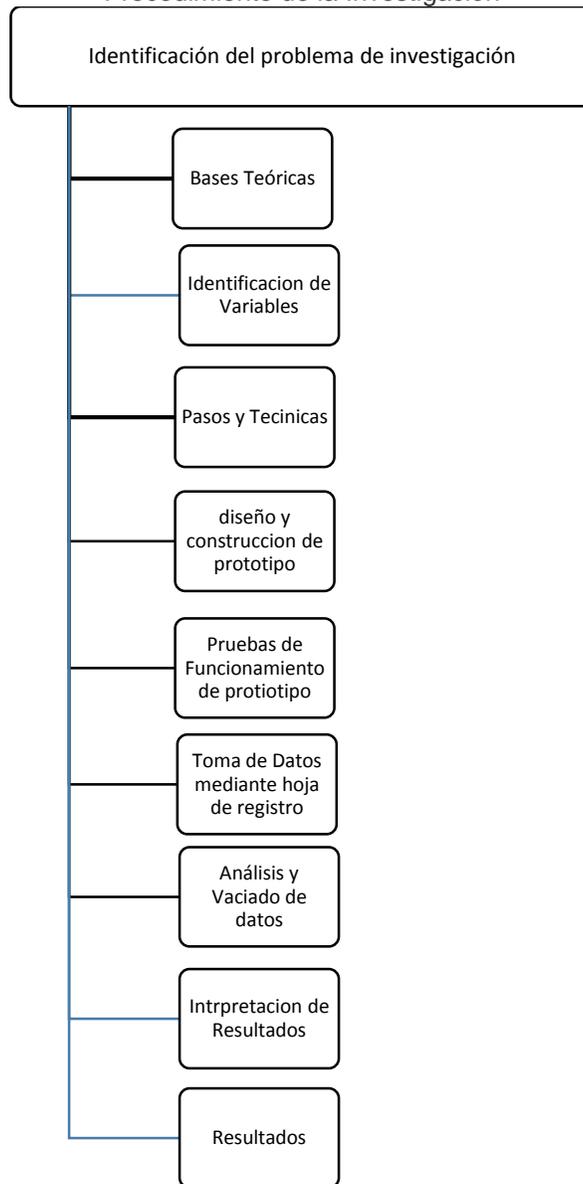
El presente trabajo e investigación tendrá como encuesta de acuerdo a las variables a estudiar, ya que según Niño (2011) indica que “La elaboración de los instrumentos es un acto de mucha importancia, pues con ellos se puede asegurar el éxito de la investigación o echarla totalmente a perder.” (p. 87).

Dentro de los instrumentos y materiales empleados para la construcción del seguidor, para el sistemas de automatización y control para la presente investigación tenemos a todos los componentes instalados en el sistema fotovoltaico para el estudio de la radiación solar, en la estación meteorológico y sistema de monitoreo de la potencia eléctrica generada por el sistema fotovoltaico, asimismo, a los componentes del sistema fotovoltaico, estos se pueden apreciar a la parte de anexos.

3.11 Procedimiento de la investigación

Para iniciar con la investigación se realizó la coordinación todo el equipo de investigadores para realizar un estudio sobre la radiación solar mediante la automatización de paneles fotovoltaicos, después de haber planteado las bases teóricas dentro del método, se procedió a la aplicación de dichas técnicas de forma contextual al caso a investigar, se comenzó por señalar los pasos a seguir en cada una de las técnicas, construcción de seguidor solar para el estudio de cómo se va a hacer, cómo se va trabajar y con quiénes, así como el planteamiento de los instrumentos de medición, los guiones de entrevista y discusión según sea el caso.

Figura Nº 23
Procedimiento de la Investigación



Fuente: Elaboración propia de la investigación, 2022

CAPITULO IV RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 Instrumento de Validación de Resultados

En la presente investigación el instrumento de validación de los datos obtenidos por el seguidor solar será utilizado la Estación meteorológico instalado en el piso 03 del edificio de área de ingeniería DTP, bajo los siguientes caracterizas.

4.1.1 Estación Meteorológica Serie 2800

La carrera de ingeniería eléctrica cuenta con una estación meteorológica de serie 2800 WatchDog, instalada en el último nivel de edificio del área de ingeniería lo cual esta estación cuenta con el registro de radiación solar lo cual nos permitirá validar a todos los datos generados por el seguidor solar. Esta estación es única porque no tiene sensores internos, y tiene las siguientes características.

Figura N° 24

Estación Meteorológica Serie 2800



Fuente: Fotografía recuperada de manual de instrucciones de la estación, 2022

Tabla Nº 5

Especificaciones de estación Meteorológico serie 2800

| Nº | Descripción | características |
|----|-------------|--|
| 1 | Tamaño | 2900ET, 2700; 12 pulgadas (30 cm) x 8,5 pulgadas (21,5 cm) x 12 pulgadas (30 cm) 25520,2800: 10 pulgadas (26 cm) x 8,5 pulgadas (21,5 cm) x 3,5 pulgadas (8,5 cm) |
| 2 | Peso | 6,4 libras (2,9 kg) Fuente de alimentación 4 pilas AA, duración de la pila 10 meses con pilas alcalinas, 12 meses con litio. |

Fuente: Fotografía recuperada de manual de instrucciones de la estación, 2022

Tabla Nº 6

Características técnicas de estación meteorológica serie 2800

| Sensor | Disponible en | Medición | Precisión |
|----------------------|-----------------------|--|----------------------------------|
| Velocidad del viento | Todos menos 2800 | 0, 2-150 mph 0, 3-241 km / h | ± 2 mph (± 3 km / h), ± 5% |
| Dirección del viento | Todos menos 2800 | 1o incrementos | ± 4o |
| Aire Temperatura* | Todos menos 2800 | -40 ° hasta 125 ° C -40 ° a 257 ° F | ± 0,3 ° C ± 0,5 ° F |
| Humedad relativa* | 2550, 2700, 2900ET | 0% a 100% @ 5 ° a 50 ° C | ± 2% |
| Punto de rocío | 2550, 2700, 2900ET | -73 ° hasta 60 ° C -99 ° a 140 ° F | ± 2 ° C ± 4 ° F |
| Lluvia | 2600, 2700, 2900ET | 0,01 "(0,25 mm) resolución | ± 2% a <2 pulg. (5 cm) / hora |
| Solar Radiación | 2900ET | 1-1500 W / m ² | ± 5% |

Fuente: Fotografía recuperada de manual de instrucciones de la estación, 2022

De la estación meteorológico se utiliza os registros de radiación que posee dicho instrumento, que el mismo mide radiación de **1-1500 w/m²**, ± 5% de precisión, los cuales nos servirán para validar los registros de radiación solar generados por el seguidor solar así ver la efectividad del seguidor solar para el registro de radiaciones solares desde distintos puntos.

4.2 Propuesta de Solución

El siguiente trabajo se desarrolló la investigación en el laboratorio de energías alternativas de la carrera de ingeniería eléctrica de área de ingeniería desarrollo tecnológico productivo de la Universidad Pública de El Alto, Con el fin de cumplir con los objetivos de la solución para el estudio de la radiación solar. Para proponer una solución se ha ido siguiendo distintos pasos, se realizó un la estructura de la radiación solar para el registro de radiación automatizando el mismo, en el cual se determina las curvas de comportamiento de la radiación solar impactada en la ciudad de El Alto. Se realizó diferentes acciones que se mencionan el documento capítulo de resultados, con cada una de sus etapas.

4.2.1 Desarrollo de Hardware de la Propuesta de Prototipo.

Para lograr nuestro objetivo de estudio sobre la radiación solar mediante la automatización de paneles fotovoltaicos para trazar las curvas de comportamiento, lo cual se divide en tres etapas: Diseño y construcción del seguidor solar posteriormente la automatización la estructura mecánica, desarrollo de sistema de monitoreo y control para medir la radiación solar, almacenar y sistematizar datos generados por el seguidor solar y finalmente

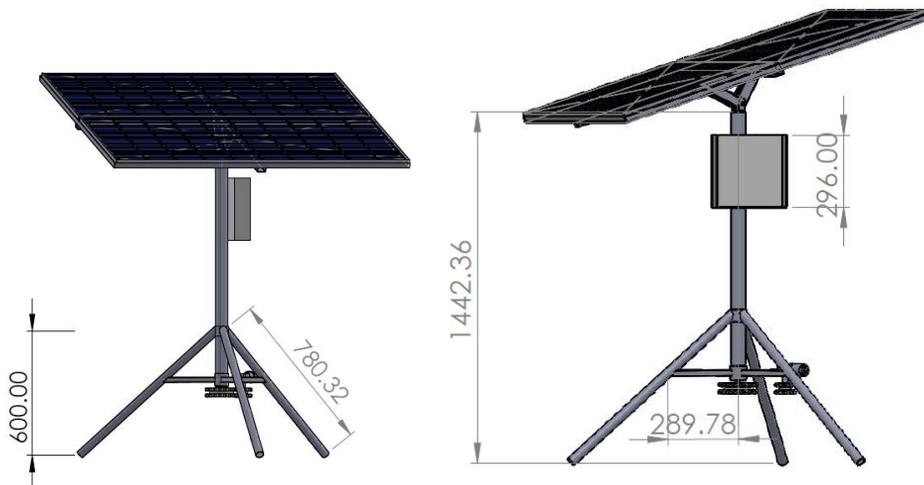
Para un diseño como este es necesario conservar una mente abierta y tener la disposición de querer abarcar, materias muchas veces desconocidas.

4.2.1.1 Diseño de la estructura del seguidor solar

Para la estructura se diseñó mediante software solidworks del seguidor contara con dos paneles solares fotovoltaicos, la estructura consta de ejes móviles accionado por servomotores, además sensores y unidad de control para el desplazamiento angular para el seguimiento de la luz solar.

Figura N° 25

Diseño de Seguidor solar en Solidworks



Fuente: Fotografías propias, del seguidor solar 2022

4.2.1.2 Materiales a utilizar para el seguidor solar del proyecto de investigación

Todos los materiales utilizados para la realización del seguidor solar me muestra a continuación se menciona y se define cada una de ellos.

a) FIERROS PARA LA PARTE ESTRUCTURA

Para la estructura del seguidor solar se utilizó los siguientes materiales: fierros angulares, tubo rectangular, tubo galvanizado como eje de 60mm de diámetro, 5 mm de espesor, 60cm de largo.

Figura N° 26

Fierro para Estructura



Fuente: Fotografías propias, del seguidor solar 2022

Para la construcción de la parte estructura mecanizada se utilizó los siguientes materiales:

- Electrodo de soldadura marca conarco 6018
- Disco de corte de ¼ marca uyustools
- Cable numero 18 según norma awg (para realizar conexiones)
- Cable numero 12 según norma awg (para realizar conexiones)
- Cable numero 24 según norma awg (para realizar conexiones)
- Termo contraíbles de aislamiento (para aislar las conexiones realizadas)
- Borneras numero 8 según norma awg (para conectar dispositivos, distribuir puntos)

b) SERVOMOTOR CON BRAZO DENTADO

El sistema de servomotor, se ha utilizado de los automóviles usados para el accionamiento del movimiento vertical del panel solar en un grado de 0° a 90° , que está instalado en la parte superior del seguidor solar y consta de las siguientes partes:

- ✓ Servomotor
- ✓ Tornillo sin fin
- ✓ sistema de engranajes
- ✓ Brazo mecanizado

Figura N° 27

Servomotor de brazo dentado



Fuente: Imagen propia de la investigación 2022

c) SERVOMOTOR SG90

Se utiliza dos servomotores SG90 que es un pequeño actuador rotativo o bien motor que permite un control preciso en posición angular, este servomotor puede rotar de 0° hasta 180°, su voltaje de operación que va desde los 4.8 a 6 VDC. Este servo incluye 3 brazos y 3 tornillos, cuenta con un cable de hasta 25cm.

Los servomotores son utilizados para el seguidor solar para controlar el movimiento horizontal en un 180° y el otro servomotor se utilizó en la parte superior para el control de movimiento vertical de los paneles de 0° a 90°. Ambos funcionan con la tarjeta electrónica de control con microcontroladores, como por ejemplo las tarjetas de Arduino, Nodemcu, Esp32, Pic's y Raspberry Pi y otras.

Este tipo de servo es ideal para las primeras experiencias de aprendizaje y prácticas con servos, ya que sus requerimientos de energía son bastante bajos y se permite alimentarlo con la misma fuente de alimentación que el circuito de control. Por ejemplo, si se conecta a una tarjeta Arduino, se puede alimentar durante las pruebas desde el puerto USB del PC sin mayor problema, pero te recomendamos usar una fuente de alimentación independiente para el servomotor

Figura N° 28
Servomotor SG90



Fuente: Imagen propia de la investigación, 2022

Especificaciones y características en las especificaciones se tiene las siguientes características que se muestran en la tabla siguiente.

Tabla N° 7
Especificaciones de Servomotor SG90

| Nº | Especificaciones | Características |
|----|------------------------------------|--|
| 1 | Modelo | SG90 |
| 2 | Color | Azul |
| 3 | Tamaño | 22.8mm x 12.3mm x 22.5mm |
| 4 | Peso | 13 g |
| 5 | Grados / Angulo de Rotación Máximo | 0° a 180° |
| 6 | Engranajes | Nylon |
| 7 | Temperatura de trabajo | -30 a +60 Grados Celsius 7 microsegundos |
| 8 | Voltaje de funcionamiento | 4.8VDC a 6VDC. Recomendado 5VDC |
| 9 | Rojo | Alimentación (+) |
| 10 | Café | Alimentación (-) o tierra |
| 11 | Naranja | Señal PWM |
| 12 | Rojo | VCC |
| 13 | Línea naranja | entrada de pulso |
| 14 | Incluye | 1 x Micro Servo SG90 con cable de 25cm 3 x Brazos para Servo 3 x Tornillos |

Fuente: fotografía propia de la investigación, 2022

d) Puente H BTS7960

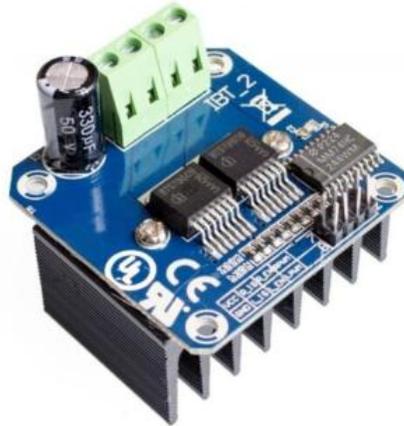
El Módulo BTS7960 es un controlador que amplía las capacidades de su proyecto cuando requiere una mayor corriente. A diferencia de otros controladores como el L298P maneja una corriente de hasta 43A, por lo que puede utilizarlos en proyectos como CNC, sistemas transportadores o cualquier proyecto de robótica donde los motores manejan una capacidad mayor al L298P.

Lo mejor de todo es que es compatible con la mayoría de los microcontroladores como Arduino, Raspberry Pi, PIC, AVR entre otros más.

En el seguidor solar se ha instalado con la finalidad de controlar los motores, cuenta con un protector ante sobrecalentamiento y sobrecorriente.

Figura Nº 29

Puente H BTS7960



Fuente: fotografía propia de la investigación, 2022

Características

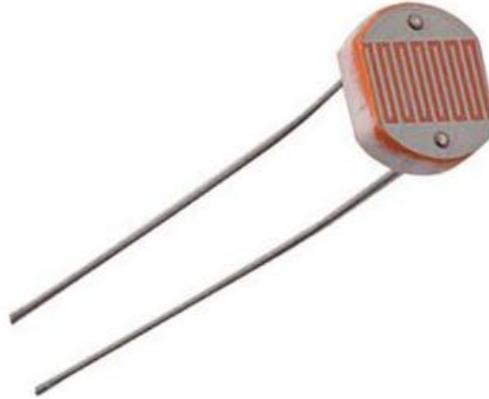
- Modelo: BTS7960
- Chip: Buffer Schmitt-trigger 74AHC244
- Voltaje de operación Motor: 5.5~27V
- Voltaje de Control: 5V
- Corriente de operación máxima: 43A
- Protección: Sobrecorriente
- Baja corriente de reposo: 7uA a 25°C
- Entradas lógicas: Si
- Tasa de respuesta ajustable: EMI
- Señal PWM: Dos canales
- Frecuencia de reloj: 25KHz
- Dimensiones: 5.5x5x4cm

e) Sensor LDR

Una fotorresistencia o LDR es un dispositivo cuya resistencia varía de acuerdo con la cantidad de luz que reciba. En el presente proyecto se utilizó para el control automático de iluminación, seguidores de luz solar, interruptores crepusculares, etc.

Figura N° 30

Sensor de Luz LDR



Fuente: fotografía propia de la investigación, 2022

Entre las características se tiene lo siguiente:

- Marca Genérique
- Función Espacial Ligero
- Potencia eléctrica 10 Voltios
- Tensión 150 Voltios
- Cantidad de producto en uso en el seguidor solar 4 unidades

El valor de resistencia de la luz: cambio de la luz durante la variación de la resistencia de incidente (visible), en las condiciones de oscuridad, su resistencia de 1 MOhm, cuando las condiciones de luz, solo conserva la resistencia de 10 a 20 k.

f) CADENA CATALINA Y RUEDAS DENTADAS

El sistema fue utilizado para la transmisión del movimiento horizontal en 360° y la potencia de una rueda a otra a través de la cadena, su finalidad es reducción de la velocidad en la estructura, de modo que eleve el torque o momento de torsión.

Figura N° 31

Cadena catalina doble dentada



Fuente: fotografía propia de la investigación, 2022

g) RODAMIENTO CÓNICO

Los rodamientos cónicos de dirección son rodamientos que están compuestos por un aro exterior y un conjunto de jaula y rodillos. Los rodamientos de rodillos cónicos soportan cargas radiales y axiales.

En el seguidor solar reduce la fricción entre un eje y las piezas conectadas a este sistema que sirve de apoyo y facilita su funcionamiento. En algunos países, se conoce como rodaje, rolinera, balero, bolillero, balinera, rodamiento o rulemán.

Figura N° 32

Rodamientos Cónicos



Fuente: fotografía propia de la investigación, 2022

h) PANEL FOTOVOLTAICO 200W (Watts)

Los paneles solares son módulos fotovoltaicos individuales que captan la energía que proporciona el sol convirtiéndola en electricidad y componen de células fotovoltaicas (PV),

que definen la luz solar en electricidad de corriente continua (DC) durante las horas del día. Este dispositivo es el que convierte la electricidad generada por los paneles solares en la electricidad de corriente alterna (AC). Para la investigación se utiliza dos paneles fotovoltaicos.

Figura N° 33

Panel Fotovoltaico de 200W

**Fuente:** fotografía propia de la investigación, 2022

Características:

- ✓ Panel Solar Marca BP Solar de 200 W Modelo BP 3200
- ✓ STC DC Watts Maximum Power Pmax: 200 W
- ✓ PTC DC Watts Maximum Power Pmax: 175 W
- ✓ Voltaje Nominal : 24 volts
- ✓ AC power mensual: 25 kWh
- ✓ AC power por año: 300 kWh
- ✓ Tipo de Tecnología de la Celula: Policristalino
- ✓ Marco: Aluminio Anodizado

i) REGULADOR DE CARGA

El regulador de carga de placa solar es un dispositivo electrónico que se coloca entre el campo fotovoltaico del panel solar y el campo de baterías, con el fin de controlar el flujo de energía

que circula entre ambos sistemas. El regulador de carga solar actúa controlando la corriente que se genera en el panel solar mediante el control de la intensidad y voltaje que se transmiten a la batería. Los reguladores de carga de placa solar velan, asimismo, por el estado de carga de la batería para que el llenado sea óptimo —aunque en este último proceso se puede desperdiciar electricidad si no se elige el regulador adecuado, como veremos más adelante.

Figura N° 34

Regulador de Carga



Fuente: fotografía propia de la investigación, 2022

Características:

Compatibilidad del controlador del cargador solar con sistema de 12 V 24 V. Corriente de descarga: 20 A, 4 puertos USB, compatible con batería de litio y múltiples tipos de batería.

CPU de 32 bits, carga PWM de 4 etapas (Bulk, Boost, Flotador y equalización).

Viene con una pantalla LCD que puede indicar claramente el estado y los datos, este controlador de carga solar de 12 V y 20 A se puede cambiar cómodamente de modo y configuración de parámetros, adecuado para el sistema de panel solar del hogar.

Tamaño compacto, adopta un diseño de cubierta deslizante, que cubre el terminal y el destornillador y oculta los cables desordenados del puerto del conector al extender el borde inferior.

Protección contra sobrecarga y cortocircuitos, protección contra rayos, protección contra subtensión, protección contra sobrecarga, protección contra polaridad inversa controladores

de carga para paneles solares. Utiliza el modo PWM&WPC, mejora la eficiencia del sistema y prolonga la vida útil de la batería.

j) BATERÍA

Las baterías solares son almacenes de electricidad. Almacenan la electricidad generada por los paneles solares en momentos de baja demanda y la suministran en momentos de mayor demanda.

Figura N° 35

Batería Yangtze Solar (50Ah)



Fuente: Imagen propia de la investigación 2022

Tabla N° 8

Características de la Batería Solar

| 1. Parámetro funcional | | 5. Ambiente Temperatura | |
|---|------------------|---|---------------|
| Voltaje nominal | 12V | Temperatura de descarga | -20~60°C |
| Capacidad nominal (tarifa de 10 horas) | 50AH | Carga Temperatura | 0~50°C |
| Número de celdas | 6 celdas | Temperatura de almacenamiento | -20~60°C |
| 2. Capacidad nominal a 25 °C (77 ° F) | | 6. Resistencia interna y corriente máxima de descarga | |
| Tasa de 10 horas (0.1C, 10.8V) | 50AH | Batería completamente cargada a 25 °C (77 °F) | 7,5 mΩ |
| Tasa de 3 horas (0,25 C, 10,8 V) | 43.4AH | Corriente de descarga máx. | 750A(5S) |
| 1 hora (0,55 C, 10,5 V) | 33AH | Corriente de cortocircuito | 2500A |
| 3. Capacidad afectada por la temperatura (tasa de 10 horas) | | 7. Auto descarga a 25 °C (77 °F) | |
| 40 °C (104 ° F) | 103% | Capacidad después de 3 meses de almacenamiento | 91% |
| 25 °C (77 ° F) | 100% | Capacidad después de 6 meses de almacenamiento | 82% |
| 0 °C (32 °F) | 85% | Capacidad después de 9 meses de almacenamiento | 73% |
| -15 °C (5 °F) | sesenta y cinco% | Capacidad después de 12 meses de almacenamiento | 64% |
| 4. Dimensión y Peso | | 8. Carga de voltaje constante a 25 °C (77 ° F) | |
| Compromiso | 230 mm | Ciclista | 14,4 ~ 14,9 V |
| Larga | 137 milímetros | Corriente de carga máxima | 12.5 |
| Altura | 210 mm | Compensación de temperatura | -30mV/°C |
| Altura total | 215 mm | flotador | 13,6 ~ 13,8 |
| Referencia Peso | 18 kg | Compensación de temperatura | -20mV/°C |

Fuente: Información catálogo de batería yangtze

k) INVERSOR

Un inversor de corriente, o conversor de corriente, es un dispositivo eléctrico que se utiliza para transformar la corriente continua (CC) en corriente alterna (CA) de manera que el voltaje proporcionado sea el mismo que el que podemos encontrar en cualquier enchufe de una vivienda o establecimiento.

Figura N° 36

Inversor de Voltaje



Fuente: fotografía propia de la investigación, 2022

Características

- ✓ Descripción
- ✓ Potencia nominal: 1.500 W
- ✓ Potencia pico: 3.000
- ✓ Tensión de entrada 12 Vdc
- ✓ Tensión de salida 110/120 Vac
- ✓ Protección contra sobretensión, sobrecarga,
- ✓ Diseño libre de mantenimiento.
- ✓ Plug and play, para la conexión de la alimentación de CA
- ✓ Salida USB.
- ✓ Carcasa de aleación de aluminio, resistencia a la oxidación.

I) SENSOR DE TEMPERATURA PT100

El sensor de temperatura PT100 es un tipo específico de RTD. Un RTD (del inglés: Resistance Temperature Detector) es un detector de temperatura resistivo, es decir, un sensor de temperatura cuyo principio de medición es la variación de la resistencia de un conductor en función de su temperatura. Al aumentar la temperatura en un metal habrá una mayor agitación térmica, dispersándose más los electrones y reduciéndose su velocidad media, teniendo como

consecuencia el aumento de la resistencia. A mayor temperatura, mayor agitación, y mayor resistencia.

Figura N° 37

Sensor de Temperatura PT100



Fuente: Fuente: fotografía propia de la investigación, 2022

- ✓ Rango de trabajo: -100°C hasta $+400^{\circ}\text{C}$
- ✓ Conexión: 3 Hilos
- ✓ Longitud de cable: 1m
- ✓ Dimensiones: D5mm x L100mm
- ✓ Diámetro de la rosca: 8mm/0.31"
- ✓ Material de sonda: acero inox.
- ✓ Resistente al agua (la parte del sensor, no del cable)

m) TABLERO ELÉCTRICO Y RIELES

Los tableros eléctricos prácticamente son armazones metálicos que se utilizan para proteger a todos los componentes de mando y de control de cualquier sistema eléctrico, ya sea desde un circuito básico de un hogar hasta los componentes de uno más complejo como el de una máquina industrial.

Figura N° 38

Tablero Eléctrico



Fuente: fotografía propia de la investigación, 2022

A los tableros también se lo colocan rieles, los cuales sirven como base para poder montar todos los componentes que se van a utilizar para el control del sistema.

n) SEGUIDOR SOLAR FINAL

El seguidor solar ya es construido de acuerdo al plano lo cual se forma de la siguiente manera, se colocó el motor de parabrisas de un automóvil para mover los paneles en forma vertical de 0° a 90°, de la misma forma se coloca piñones y cadenas con un rodamiento, mas servomotor de 12v para que pueda generar movimiento horizontal en 360°, esta con la implementación de la parte electrónica para su automatización del mismo.

Figura N° 39

Seguidor Solar Concluido



Fuente: fotografía propia de la investigación, 2022

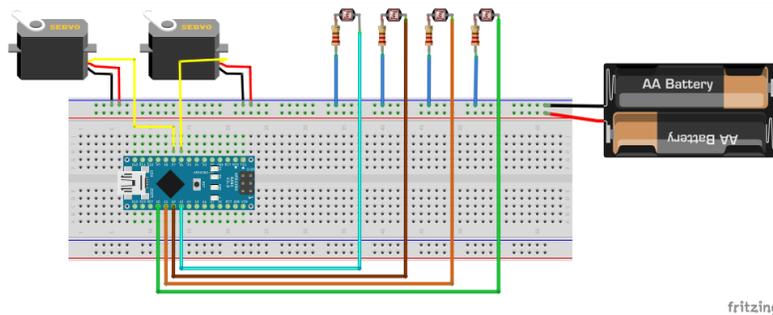
4.2.1.3 Sistema de Automatización del Seguidor Solar

Para la automatización del seguidor solar se utilizaron dispositivos, para ello se utilizó el diseño de la placa.

En la primera fase se utilizó el software de **Fritzing** para hacer simulación para lo cual se utilizaron en el software como LDR, resistencia de 220 Ω , servomotores SG90, AA Batería de 12v, arduino CC, y los cables de conexión.

Figura N° 40

Puesta en prueba el circuito de control del seguidor

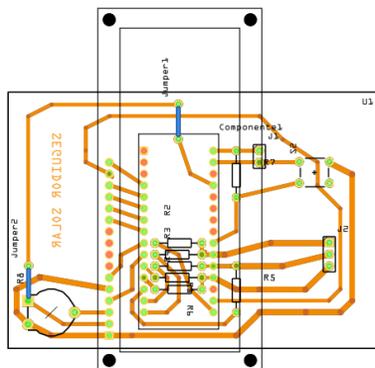


Fuente: fotografía propia de la investigación, 2022

La segunda fase se realizó el diseño de esquema del circuito de control del seguidor solar que fue plasmado a fibra de vidrio para quemar la placa con el equipo de CNC para realizar la placa PCB.

Figura N° 41

Diseño de esquema de circuito de control del seguidor



Fuente: fotografía propia de la investigación, 2022

Finalmente fue montado cada uno de los componentes en la placa, luego ser instalado en el seguidor solar.

4.2.2 Diseño de sistema de control y monitoreo Software

El diseño de la parte software del proyecto de investigación se realiza con la utilización de los diferentes componentes electrónicos, a las cuales se lo programará mediante un lenguaje de programación.

4.2.2.1 Materiales Principales para el diseño de la parte Automatización y Control

Para la automatización de seguidor solar se tienen las herramientas adecuadas, la automatización de procesos computarizados puede ser sorprendentemente fácil y puede ofrecer beneficios importantes. Entender estos beneficios (y algunos obstáculos) le ayudará a tener una base sólida para implementar un proyecto con la parte de automatización y control del seguidor solar. Para ello mencionamos todos los componentes electrónicos utilizados.

a. COMUNICACIÓN: SIM900

Figura N° 42

SIM900



Fuente: Fuente: fotografía propia de la investigación, 2022

El SIM900 es una tarjeta GPRS ultra compacta de comunicación inalámbrica. La tarjeta es compatible con todos los modelos de Arduino con el formato UNO, además puedes controlarla

con otros microcontroladores también. La tarjeta está basada en el módulo SIM900 4. La tarjeta GPRS para el SIM900 está configurada y controlada por vía UART usando comandos AT. Solo conecta la tarjeta al microcontrolador, Arduino, etc, mediante un puerto serial.

Voltaje: 5-12V

4 bandas GSM/GPRS: 850,900,1800,1900MHz

Trabaja solo con Tecnología 2G

Conectores miniplug para audífono y micrófono (3.5mm)

Bajo consumo: 1.5Ma

b. MÓDULO SENSOR DE LUZ ULTRAVIOLETA (UV) ML8511

Figura N° 43

Sensor de luz ultravioleta ML8511



Fuente: Fuente: fotografía propia de la investigación, 2022

El módulo ML8511 es un sensor de luz ultravioleta (UV), entrega una señal de voltaje analógica que depende de la cantidad de luz UV que detecta. Sensor ideal para proyectos de monitoreo de condiciones ambientales como el índice UV, Aplicaciones Meteorológicas, cuidado de la piel, medición industrial de nivel UV.

El sensor ML8511 detecta luz con una longitud de onda entre 280-390nm, este rango cubre tanto al espectro UV-B como al UV-A. La salida analógica está relacionada linealmente con la intensidad UV (mW/cm^2). Esta señal analógica puede ser conectada a un microcontrolador para ser convertido por un ADC y así trabajar con la medición.

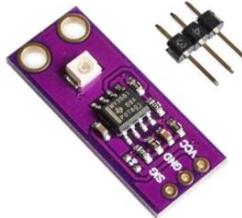
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

- ✓ Voltaje de alimentación: 3.3V-5V DC
- ✓ Salida de voltaje analógica lineal (de 1V a 3V)
- ✓ Longitud de onda: 280-390nm
- ✓ Longitud de onda pico: 365nm
- ✓ Consumo ultrabajo de energía
- ✓ Dimensiones: 12*12 mm
- ✓ Peso: 2 gramos

c. SENSOR ANALÓGICO DE LUZ UV- GUVA-S12SD

Figura N° 44

Sensor Analógico de Luz UV- GUVA-S12SD



Fuente: fotografía propia de la investigación, 2022

El chip Sensor UV de GUVA-S12SD es adecuado para detectar la radiación UV en la luz solar. Se puede utilizar en cualquier aplicación en la que desee monitorizar la cantidad de luz UV y es fácil de conectar a cualquier microcontrolador. El módulo, con una longitud de onda de detección UV típica de 200 - 370nm, emite un voltaje analógico calibrado que varía con la intensidad de la luz UV, así que básicamente todo lo que necesitas hacer es conectarlo a una entrada ADC y leer el valor.

- ✓ Voltaje de funcionamiento: 2,7-5,0 V
- ✓ Voltaje de salida: 0-1V
- ✓ Rango de detección: 240nm-370nm
- ✓ Precisión: ± 1 UV índice

- ✓ Corriente de funcionamiento: 0.06mA (máx.: 0.1mA)

d. SENSOR DE HUMEDAD Y TEMPERATURA DHT22

Figura N° 45

Sensor de Humedad y Temperatura DHT22



Fuente: fotografía propia de la investigación, 2022

DHT22 es un sensor digital de temperatura y humedad relativa de bajo costo y excelente rendimiento. El cual está Integrado por un sensor capacitivo de humedad y un termistor para medir el aire circundante, el cual muestra los datos mediante una señal digital en el pin de datos.

- ✓ Voltaje de operación: 3-5V
- ✓ Precisión de medición de temperatura: ± 2.0 °C
- ✓ Rango de medición de humedad: 0% a 99% RH.
- ✓ Precisión de medición de humedad: 2% R
- ✓ Rango de medición de temperatura: -40 a 80 °C

e. SENSOR DE VOLTAJE 25V FZ0430

Figura N° 46

Sensor de Voltaje 25v FZ0430



Fuente: fotografía propia de la investigación, 2022

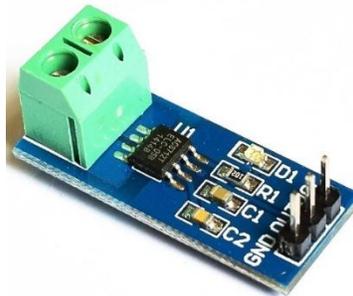
El sensor de voltaje FZ0430 es un módulo que nos permite medir tensiones de hasta 25v DC de forma sencilla con una placa como el Arduino Uno. La tensión máxima que podemos medir será 25v para un procesador de tensión de alimentación 5v (Vcc), y 16,5v para un procesador de 3,3v (Vcc). Superar esta tensión máxima en la entrada del FZ0430 dañará el pin analógico de Arduino. La resolución de la medición del módulo es de 24,45mV.

- ✓ Rango de entrada de voltaje: 0v a 25v DC.
- ✓ Rango de detección de voltaje: 24,41mV – 25v.
- ✓ Resolución analógica de tensión: 0,00489v DC.
- ✓ Voltaje detección entrada mínimo: 24,45mV ($4,89\text{mV} \times 5 = 24,45\text{mV}$).
- ✓ Voltaje detección entrada máximo: 25v ($5\text{v} \times 5 = 25\text{v}$) o 16,5v ($3,3\text{v} \times 5 = 16,5\text{v}$).

f. SENSOR ACS712 DE CORRIENTE 20A

Figura N° 47

Sensor ACS712 de Corriente 20A



Fuente: fotografía propia de la investigación, 2022

El ACS712 es un sensor basado en el Efecto Hall, puede brindar mediciones precisas tanto para corriente alterna como para corriente continua (AC/DC).

- ✓ Tiempo de Medición: 5 microsegundos en respuesta a la corriente de entrada
- ✓ Ancho de banda: 80 kHz
- ✓ Error de medición: 1.5% @ 25°C
- ✓ Resistencia: 0.0012 Ohm (conductor interno)

- ✓ Tensión Mínima de Aislamiento: 2100 VRMS (entre pines 1-4 a pines 5-8)
- ✓ Tensión de Operación: 5 VDC
- ✓ Sensibilidad de Salida: 0.100 Volts por cada Ampere
- ✓ Salida de tensión proporcional a la corriente alterna o continua
- ✓ Alta estabilidad
- ✓ Prácticamente cero histéresis magnética

g. INTERFAZ GRAFICA LCD 16X2 1602A FONDO AZUL CON I2C

Figura N° 48

LCD 16X2 1602A Fondo Azul con I2C



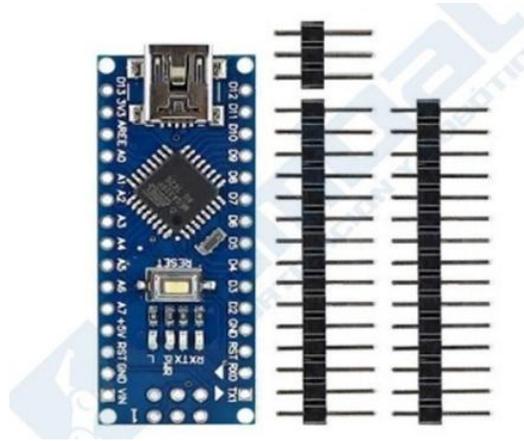
Fuente: fotografía propia de la investigación, 2022

El display es compatible con el controlador HD44780. Ideal para proyectos con Arduino.

- ✓ Voltaje: 5v
- ✓ Controlador integrado LCD estándar HD44780
- ✓ Puede mostrar 2 líneas x 16 caracteres.
- ✓ Consumo de corriente con luz de fondo total: 25 mA máx.
- ✓ Backlight led azul.
- ✓ Ángulo de visión amplio y alto contraste.

h. ARDUINO NANO ATMEGA 328P + CABLE USB**Figura N° 49**

Arduino Nano Atmega 328P+Cable USB

**Fuente:** fotografía propia de la investigación, 2022

El Arduino Nano es una placa basada en el ATmega328 (Arduino Nano 3.x). Tiene más o menos la misma funcionalidad del Arduino Duemila nueve o Uno pero en un empaque más pequeño. El Arduino Nano es una placa basada en el ATmega328 (Arduino Nano 3.x). Tiene más o menos la misma funcionalidad del Arduino Duemilanove o Uno pero en un empaque más pequeño. Puede ser alimentado mediante su conector Mini-B USB, una fuente de voltaje externa no regulada de 6-20V (por el pin 30), o una fuente externa regulada de 5V (pin 27).

- ✓ Microcontrolador: Atmel ATmega328
- ✓ Tensión de Operación (nivel lógico): 5 V
- ✓ Tensión de Entrada (recomendado): 7-12 V
- ✓ Tensión de Entrada (límites): 6-20 V
- ✓ Pines E/S Digitales: 14 (de los cuales 6 proveen de salida PWM)
- ✓ Entradas Analógicas: 8 Corriente máx por cada PIN de E/S: 40 mA
- ✓ Memoria Flash: 32 KB (ATmega328) de los cuales 2KB son usados por el bootloader (16 KB – ATmega168)

i. MÓDULO DE RELOJ DE TIEMPO REAL DS1302**Figura N° 50**

Módulo de Reloj de Tiempo Real DS1302

**Fuente:** fotografía propia de la investigación, 2022

El módulo cuenta con una batería que alimenta el dispositivo de forma independiente de modo que la información almacenada en la memoria EEPROM y los datos (hora y fecha) del reloj no se pierden en caso de interrupción en la fuente principal de la aplicación. Incorpora además un oscilador interno el cual hace que la precisión no se vea afectada a largo plazo

j. SENSOR DE PRESIÓN ATMOSFÉRICA GY-BMP280 3.3V**Figura N° 51**

Sensor de Presión Atmosférica GY-BMP280 3.3V

**Fuente:** fotografía propia de la investigación, 2022

El sensor de presión barométrica BMP280 (evolución del BMP180) posee alta precisión y un bajo consumo de energía. El BMP280 ofrece un rango de medición de 300 a 1100 hPa (Hecto Pascal). Basado en tecnología BOSCH piezo-resistiva con gran robustez EMC, alta precisión y linealidad, así como con estabilidad a largo plazo.

- ✓ Voltaje: 1.8-3.3V
- ✓ Resolución: 0.16 Pa, Precisión absoluta: 1 hPa

- ✓ Medición de temperatura incluida
- ✓ Rango de altura medible: 0-9100 metros
- ✓ Ultra-bajo consumo
- ✓ Comunicación: I2C o SPI (3.3V)
- ✓ Rango de Presión: 0.3-1.1bar

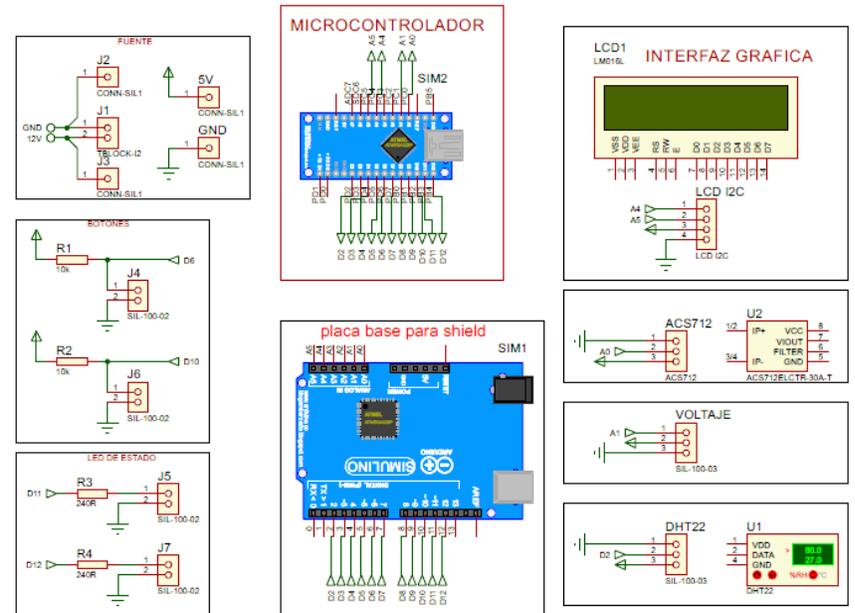
4.2.2.2 Diseño de Circuito de Control y Diseño de la Placa en Proteus 8 profesional

Proteus es un entorno integrado diseñado para la realización completa de proyectos de construcción de equipos electrónicos en todas sus etapas: diseño, simulación, depuración y construcción.

El diseño de circuitos impresos convierte en realidad el diseño de tus circuitos electrónicos. Mediante software de diseño, el proceso para diseñar circuitos impresos los componentes combina la colocación para definir la conectividad eléctrica en un circuito impreso manufacturado.

Figura N° 52

Partes de diseño de circuito de control



Fuente: Elaboración Propio, Investigación 2022

Explicación del circuito de control:

FUENTE

Se tiene la primera conexión una fuente de voltaje y de corriente de 12V A 5V con una corriente máxima de 3 Amperios la salida se conecta al micro controlador.

BOTONES

Se tiene dos botones que nos sirven para la actualización del sistema y un RESET

Leds de ESTADO

Son led que nos ayudaran a ver si el sistema está funcionando correctamente o se encuentra en emergencias por mal funcionamiento.

INTERFAZ GRAFICA

Se encarga de mostrar todos los datos obtenidos por parte de los sensores, el LCD se conectará a un puerto de conexión I2C para una mejor conexión siendo así más óptima.

SENSOR DE CORRIENTE ACS712

Sensor de corriente nos ayudara a medir el flujo de corriente existente en sus borneras

SENSOR DE VOLTAJE

Sensor de voltaje el cual nos ayudara a tener datos del voltaje existente en la conexión de sus borneras

PLACA BASE PARA SHIELD

En esta placa base se encontrará el SIM 900 módulo GSM-GPRS que nos ayudará con la conexión a internet y con la comunicación remota del sistema

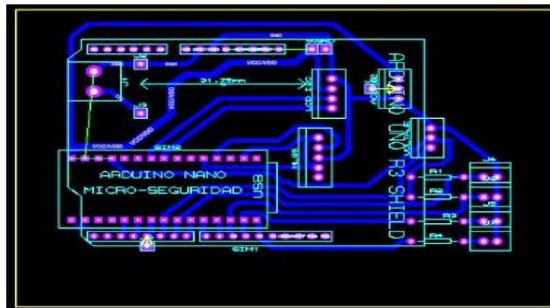
MICRO CONTROLADOR

El micro controlador que se está utilizando es un ARDUINO NANO con un chip 328p familia de los AVR el cual nos presta todas las funcionalidades necesarias para el desarrollo de este proyecto.

El diseño del sistema de control y censado es modular teniendo una particularidad de diseño adaptable que nos permite intercambiar distintos tipos de sensores digitales como analógicos. Una vez diseñada el circuito electrónico, seguimos con el diseño de circuito impreso utilizando CNC, Construcción del prototipo físico (circuito impreso y soldadura de componente), desarrollo de software, y las pruebas de funcionamiento.

Figura N° 53

Diseño de la Placa de Control



Fuente: Elaboración Propio, Investigación 2022

Para los sensores que se utiliza en el seguidor solar, se usa el lenguaje de programación utilizada para la parte de control lo cual se encuentra en la parte de **anexos**, para los diferentes componentes electrónicos.

4.3 Resultados de la eficiencia del rendimiento energético

Las diferencias en la potencia generada por los dos sistemas fotovoltaicos durante el 09 de noviembre de 2022 (día de prueba) se muestran en la tabla siguiente. En la gráfica se observa, que en todo momento el sistema fotovoltaico con seguimiento solar generó más potencia eléctrica que el sistema convencional o sistema fotovoltaico fijo. También se observa, que a las **16:15** horas de este día, el sistema con seguimiento solar generó su máxima potencia (**42.044 W**), y es muy notorio la reducción de potencia que se generó a las **16:45** horas, con tan solo **4.128 W**, es decir, en media hora ocurrió un descenso de potencia de **37.912 W**. La potencia promedio generada por el sistema de seguidor solar diseñado durante este día, fue

de **10.227 W**, mientras que el sistema convencional fijo generó un promedio de **6.641 W**, de lo cual, se deduce que, el porcentaje de la eficiencia del sistema con seguimiento solar para este día fue **54%** mayor que el sistema fijo. Lo anterior comprueba, que durante este día, el sistema con seguimiento solar logró generar mayor energía que el sistema fijo.

Tabla N° 9

Registro de Eficiencia energético Día de Prueba

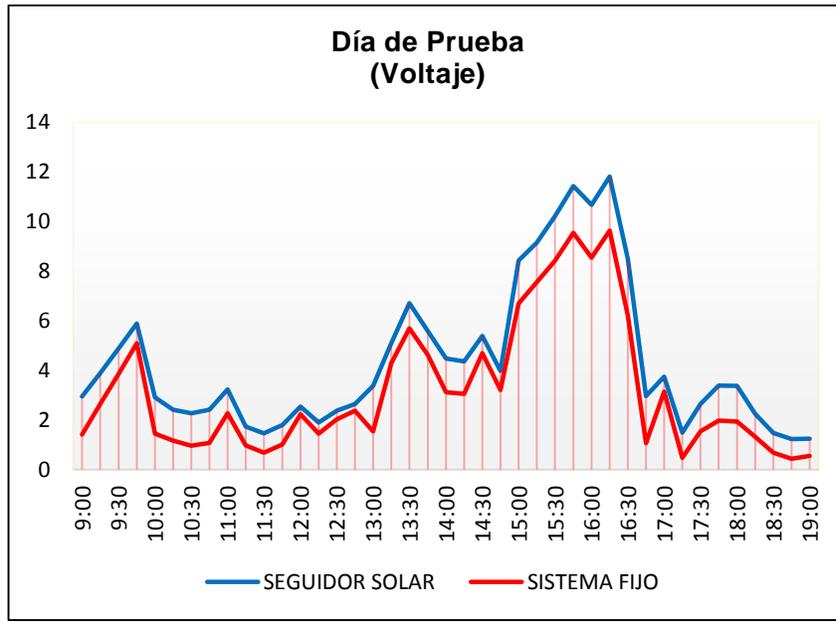
| HORA | VOLTAJE (V) | | CORRIENTE (A) | | POTENCIA (P) | |
|-------|-----------------|--------------|-----------------|--------------|-----------------|---------------|
| | SEGUIDOR SOLAR | SISTEMA FIJO | SEGUIDOR SOLAR | SISTEMA FIJO | SEGUIDOR SOLAR | SISTEMA FIJO |
| 9:00 | 2,96 | 1,42 | 1,37 | 0,83 | 4,0552 | 1,1786 |
| 9:15 | 3,89 | 2,64 | 1,56 | 1,02 | 6,0684 | 2,7438 |
| 9:30 | 4,89 | 3,87 | 1,83 | 1,26 | 8,8998 | 4,8762 |
| 9:45 | 5,89 | 5,09 | 1,97 | 1,39 | 11,6033 | 7,0751 |
| 10:00 | 2,91 | 1,45 | 1,51 | 1,16 | 4,3941 | 1,682 |
| 10:15 | 2,42 | 1,17 | 1,42 | 0,79 | 3,4122 | 0,9243 |
| 10:30 | 2,28 | 0,97 | 1,24 | 0,58 | 2,8272 | 0,5626 |
| 10:45 | 2,42 | 1,08 | 1,41 | 0,62 | 3,4122 | 0,6696 |
| 11:00 | 3,24 | 2,27 | 1,88 | 0,93 | 6,0912 | 2,1111 |
| 11:15 | 1,73 | 0,98 | 1,06 | 0,85 | 1,8338 | 0,833 |
| 11:30 | 1,47 | 0,68 | 1,01 | 0,83 | 1,4847 | 0,5644 |
| 11:45 | 1,8 | 1,02 | 1,17 | 0,96 | 2,106 | 0,9792 |
| 12:00 | 2,54 | 2,24 | 1,11 | 0,94 | 2,8194 | 1,1056 |
| 12:15 | 1,9 | 1,45 | 1,13 | 1,01 | 2,035 | 1,4442 |
| 12:30 | 2,38 | 2,03 | 1,64 | 1,39 | 3,8794 | 2,8152 |
| 12:45 | 2,65 | 2,38 | 1,77 | 1,38 | 4,6903 | 3,3082 |
| 13:00 | 3,38 | 1,54 | 1,51 | 1,36 | 3,5938 | 2,0944 |
| 13:15 | 5,09 | 4,29 | 2,32 | 2,07 | 11,8088 | 0,8597 |
| 13:30 | 6,71 | 5,7 | 2,56 | 2,24 | 17,084 | 12,711 |
| 13:45 | 5,58 | 4,62 | 2,24 | 1,98 | 12,4992 | 9,1278 |
| 14:00 | 4,48 | 3,12 | 1,98 | 1,62 | 8,8256 | 5,1228 |
| 14:15 | 4,36 | 3,06 | 1,66 | 1,38 | 7,3256 | 4,4322 |
| 14:30 | 5,39 | 4,7 | 2,29 | 1,83 | 12,3432 | 9,073 |
| 14:45 | 3,98 | 3,21 | 1,64 | 1,38 | 6,4618 | 4,4357 |
| 15:00 | 8,43 | 6,7 | 2,77 | 1,99 | 24,2787 | 13,266 |
| 15:15 | 9,15 | 7,56 | 3,23 | 2,98 | 28,546 | 20,5396 |
| 15:30 | 10,21 | 8,42 | 3,32 | 2,98 | 32,7765 | 25,0618 |
| 15:45 | 11,43 | 9,54 | 3,44 | 3,21 | 39,3293 | 30,6523 |
| 16:00 | 10,67 | 8,54 | 3,37 | 3,06 | 35,9578 | 26,1343 |
| 16:15 | 11,81 | 9,64 | 3,56 | 3,34 | 42,0432 | 32,1854 |
| 16:30 | 8,49 | 6,21 | 2,94 | 2,29 | 24,769 | 14,2209 |
| 16:45 | 2,97 | 1,07 | 1,39 | 0,8 | 4,1286 | 0,856 |
| 17:00 | 3,75 | 3,15 | 1,59 | 1,06 | 5,9625 | 3,339 |
| 17:15 | 1,49 | 0,48 | 1,02 | 0,65 | 1,5098 | 0,344 |
| 17:30 | 2,65 | 1,54 | 1,34 | 0,75 | 3,032 | 1,075 |
| 17:45 | 3,39 | 1,98 | 1,56 | 0,83 | 5,2834 | 1,5723 |
| 18:00 | 3,38 | 1,94 | 1,55 | 0,78 | 5,339 | 1,6522 |
| 18:15 | 2,25 | 1,32 | 1,47 | 0,58 | 2,8723 | 0,7923 |
| 18:30 | 1,48 | 0,68 | 1,02 | 0,45 | 1,5097 | 0,2923 |
| 18:45 | 1,24 | 0,44 | 0,87 | 0,48 | 1,0788 | 0,2112 |
| 19:00 | 1,25 | 0,55 | 0,78 | 0,49 | 1,0788 | 0,2112 |
| | PROMEDIO | | PROMEDIO | | PROMEDIO | |
| | 4,351 | 3,189 | 1,817 | 1,379 | 9,9768 | 6,1740 |

Fuente: Elaboración Propio, en base a registro de datos investigación 2022

De acuerdo a la tabla anterior realizada durante el día de prueba para determinación de la eficiencia energética entre el sistema seguidor solar y sistema convencional fijo.

Figura N° 54

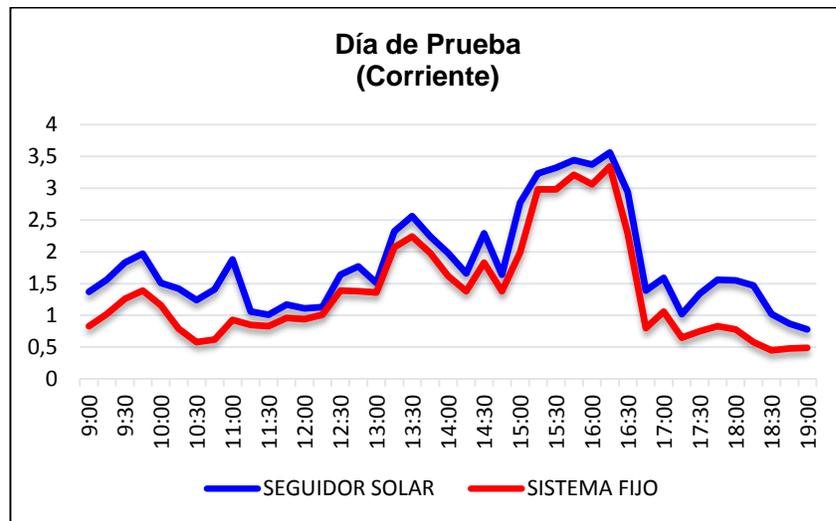
Eficiencia energética (Voltaje)



Fuente: Elaboración Propio, en base a registro de datos investigación 2022

Figura N° 55

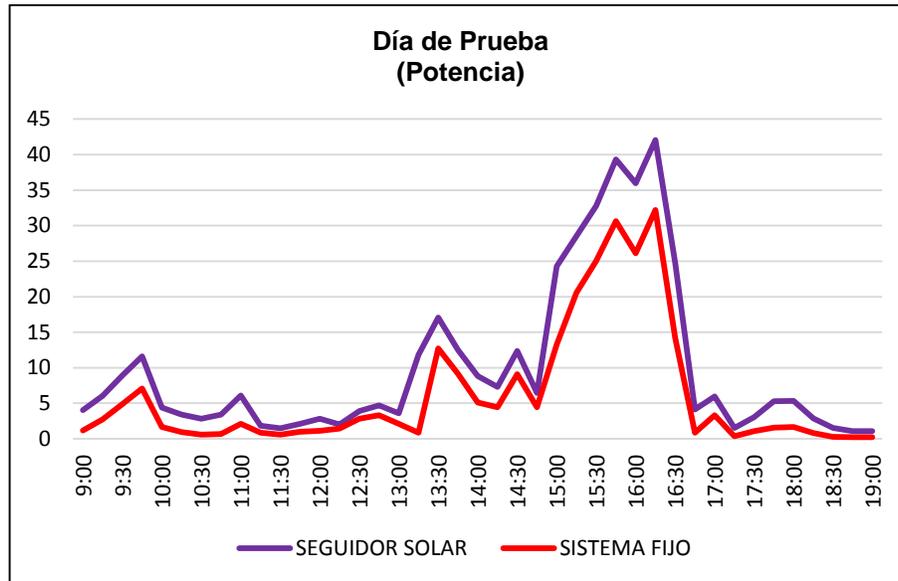
Eficiencia energética (Corriente)



Fuente: Elaboración Propio, en base a registro de datos investigación 2022

Figura N° 56

Eficiencia energético (Potencia)



Fuente: Elaboración Propio, en base a registro de datos investigación 2022

En las figuras anteriores muestran los resultados de la medición de la eficiencia energética tanto del seguidor solar como también del sistema convencional fijo, lo cual nos da un promedio de **4,351** (Voltios) de voltaje en el seguidor solar, mientras que **3,189** (Voltios) en el sistema convencional fijo.

De la misma forma se obtiene resultados de corriente donde el sistema de seguidor solar tiene un promedio de **1,879** (Amperios), respecto de 1,379 (Amperios) de sistema fijo, mientras que la potencia es de **9,9768** (Watts), respecto a **6,1740** (Watts).

Estos resultados muestran que la mayor efectividad de energía posee el seguidor solar.

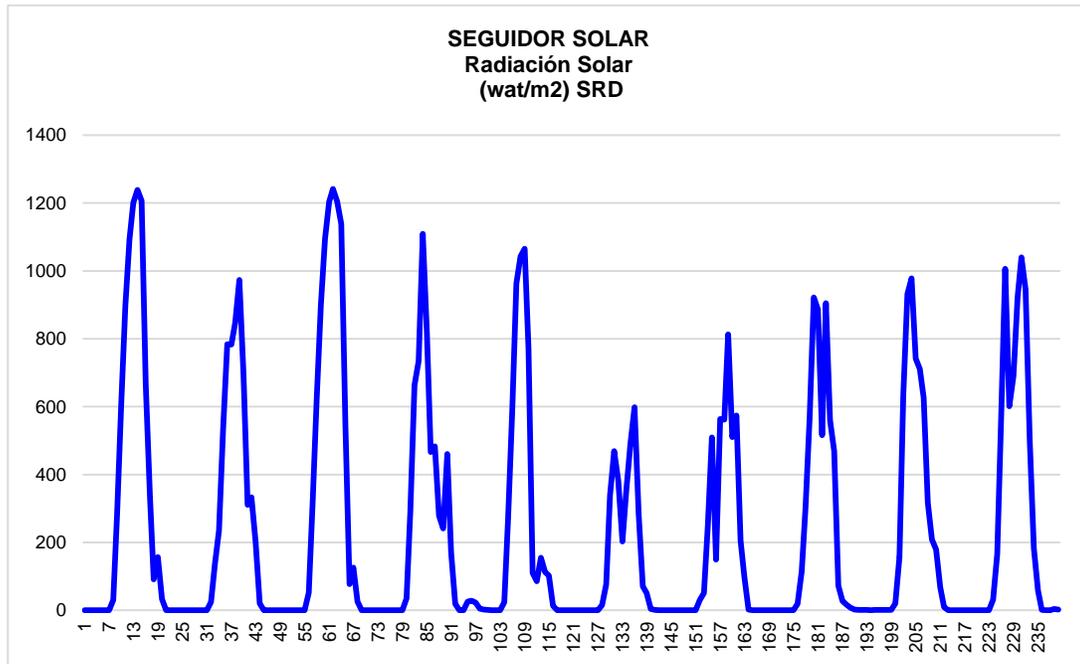
4.4 Determinación de las Curvas de Comportamiento de Niveles de Radiación

Los datos son generados de la estación meteorológico del Instituto de investigaciones Eléctricas, dan como resultado durante los 10 días del mes de octubre el valor máximo de radiación está por encima de **1200 [W/m²]**.

El nivel de radiación registrada con el seguidor solar para los primeros días de mes de octubre se muestra en la figura siguiente:

Figura N° 57

Nivel de Radiación de 10 días del mes octubre de 2022



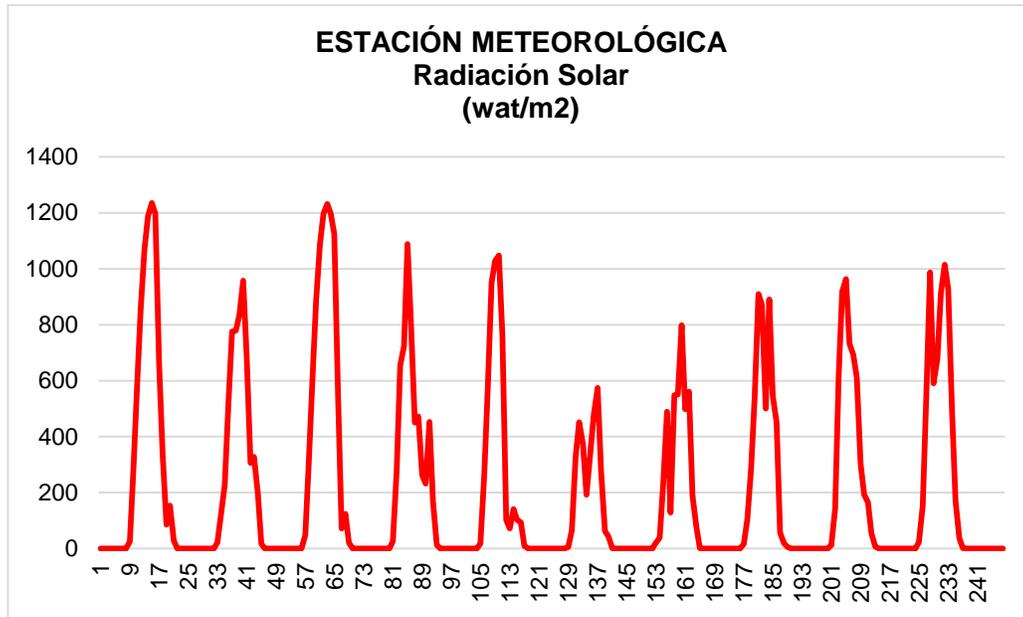
Fuente: Elaboración propia, en base a datos obtenidos por el seguidor solar de la investigación 2022

La producción de algunos reportes que obtenemos puede representar una carga considerable para los sistemas de bases de datos, especialmente cuando se tienen que efectuar cálculos de grandes volúmenes de información.

Por lo que la **validación** nos permitió confirmar, mediante el análisis y evidencia objetiva, el cumplimiento de las especificaciones de desempeño del método o equipo. Para la **validación** de la la figura 57, se realiza las comparaciones correspondientes de acuerdo a la gráfica de radiación solar, con datos registrados mediante la estación meteorológica de la carrera ingeniería eléctrica, los 10 días del mes de octubre.

Figura Nº 58

Validación de curvas con estación Meteorológico

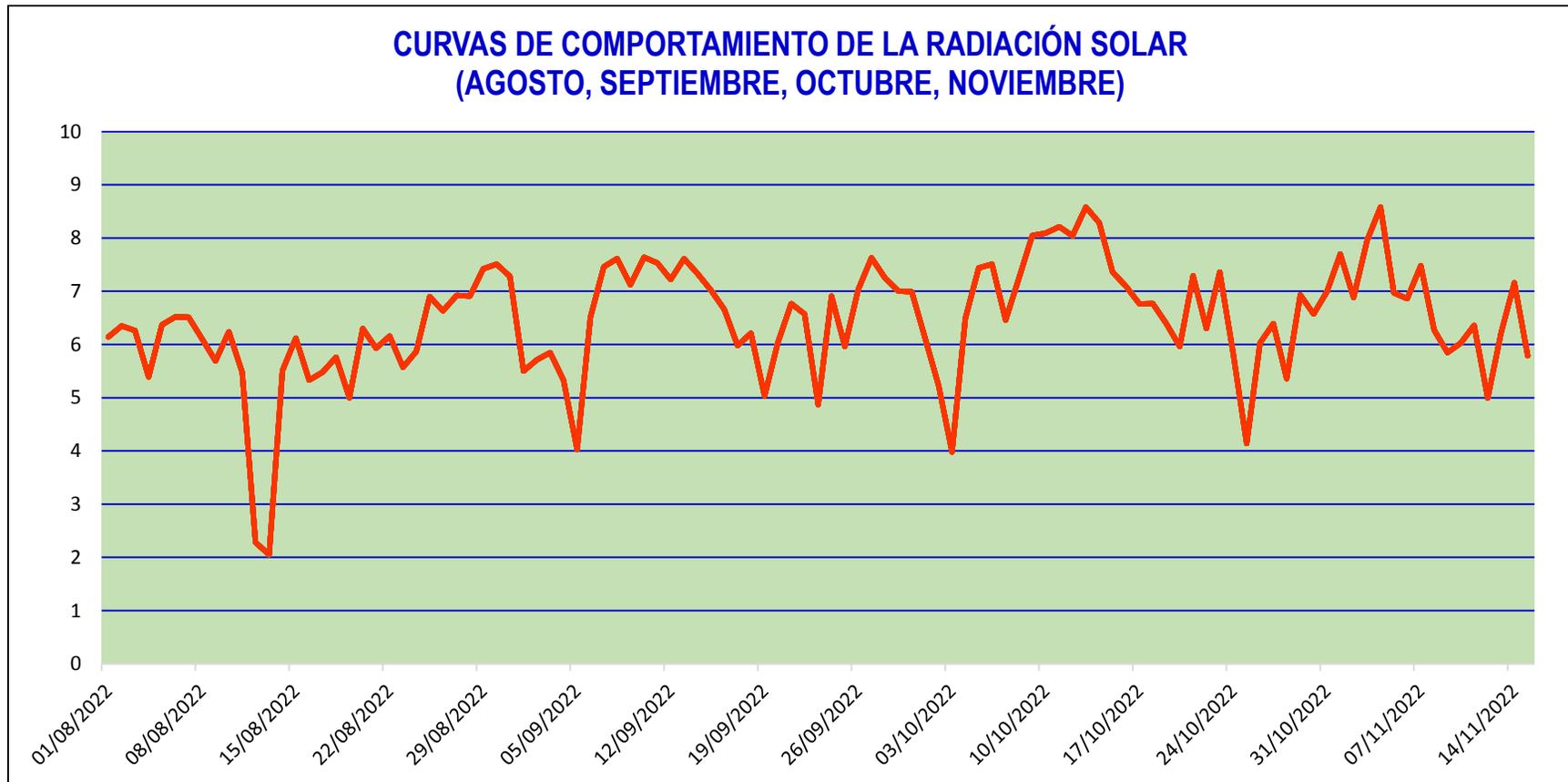


Fuente: Elaboración propia, en base a datos de estación meteorológica 2022

Fuente: Elaboración propia, en base a datos de la estación meteorológica del Instituto de investigaciones de la carrera Ingeniería eléctrica UPEA

Figura N° 59

Curvas de comportamiento de radiación (kW-hr/m²/día)

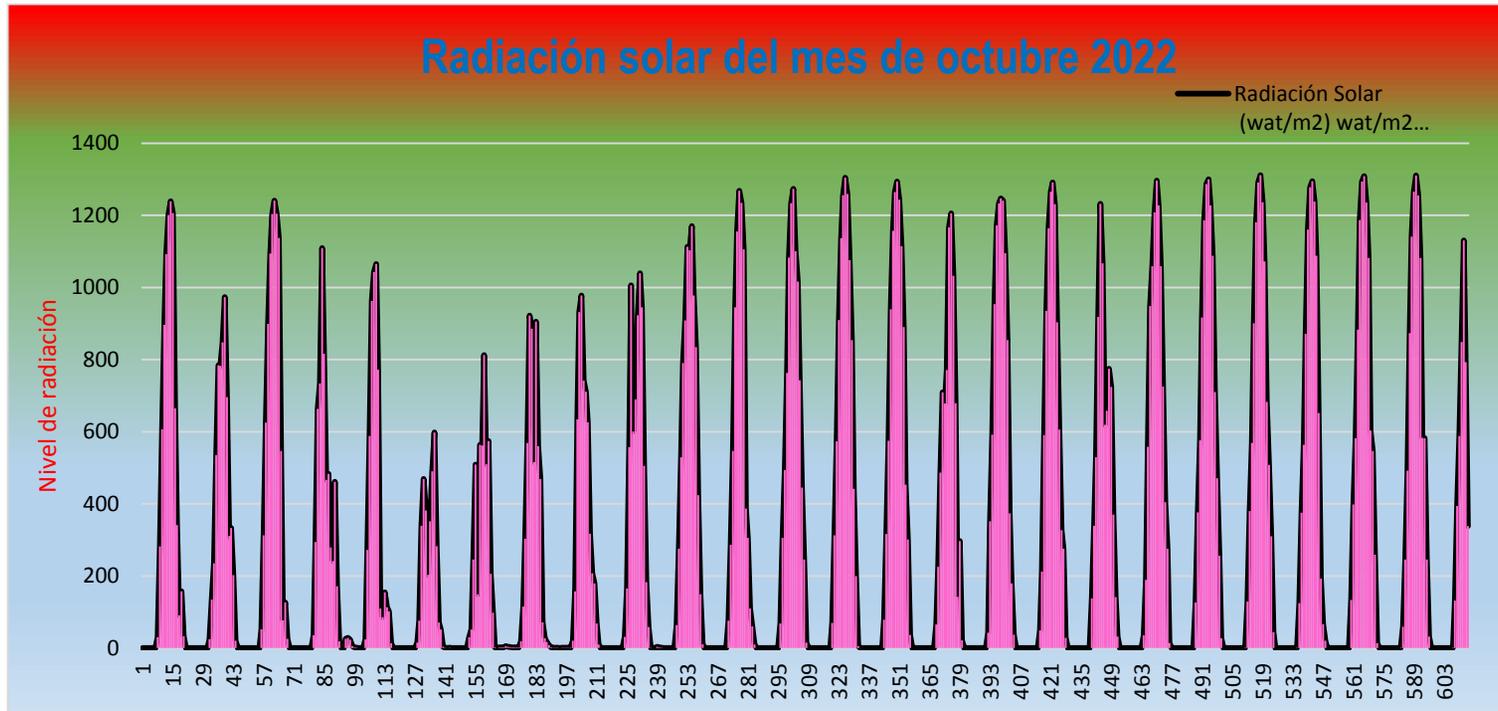


Fuente: Elaboración propia, en base a registro de datos de la NASA

Nota: para la validación de las curvas de comportamiento también se utilizó datos de la NASA del mes de agosto hasta 14 de noviembre de la gestión 2022. Donde refleja estos datos al promedio de datos en distintos puntos de la ciudad de El Alto.

Figura Nº 60

Curva de Comportamiento de Radiación Solar Área de Ingeniería DTP (Octubre, 2022)



Fuente: Elaboración propia, en base a datos de estación meteorológica.

Nota: Para la validación de las curvas de comportamiento también se utilizó los datos registrados por la estación meteorológica en la terraza del edificio de Área de Ingeniería Desarrollo Tecnológico Productivo. Para esta gráfica se considera datos del mes de octubre y 24 horas del cada día que refleja la figura anterior.

Tabla Nº 11

Registro de Radiación estación Meteorológico Vs Seguidor Solar (24 horas) 01 de octubre

| Fecha/Hora | Estación Meteorológico | | Seguidor Solar | Diferencia |
|------------------|--------------------------|------------------|--------------------------|-----------------------------------|
| | Radiación Solar (wat/m2) | Temperatura (*C) | Radiación Solar (wat/m2) | Diferencia de validación (wat/m2) |
| | SRD | TMP | | |
| 01/10/2022 0:00 | 0 | 6,8 | 0 | 0 |
| 01/10/2022 1:00 | 0 | 6,1 | 0 | 0 |
| 01/10/2022 2:00 | 0 | 6,1 | 0 | 0 |
| 01/10/2022 3:00 | 0 | 5,8 | 0 | 0 |
| 01/10/2022 4:00 | 0 | 5,4 | 0 | 0 |
| 01/10/2022 5:00 | 0 | 5 | 0 | 0 |
| 01/10/2022 6:00 | 0 | 4,5 | 0 | 0 |
| 01/10/2022 7:00 | 30 | 5,2 | 25 | 5 |
| 01/10/2022 8:00 | 282 | 8,8 | 278 | 4 |
| 01/10/2022 9:00 | 607 | 11,1 | 587 | 20 |
| 01/10/2022 10:00 | 897 | 11,4 | 855 | 42 |
| 01/10/2022 11:00 | 1093 | 12,5 | 1070 | 23 |
| 01/10/2022 12:00 | 1201 | 13,4 | 1189 | 12 |
| 01/10/2022 13:00 | 1239 | 14,1 | 1235 | 4 |
| 01/10/2022 14:00 | 1207 | 15,3 | 1198 | 9 |
| 01/10/2022 15:00 | 665 | 14,9 | 657 | 8 |
| 01/10/2022 16:00 | 341 | 13,2 | 335 | 6 |
| 01/10/2022 17:00 | 91 | 11,3 | 85 | 6 |
| 01/10/2022 18:00 | 157 | 9,8 | 153 | 4 |
| 01/10/2022 19:00 | 33 | 9,9 | 29 | 4 |
| 01/10/2022 20:00 | 0 | 9,6 | 0 | 0 |
| 01/10/2022 21:00 | 0 | 8,5 | 0 | 0 |
| 01/10/2022 22:00 | 0 | 7,9 | 0 | 0 |
| 01/10/2022 23:00 | 0 | 7,2 | 0 | 0 |

Fuente: Elaboración propia, en base a registro de datos de trabajo de campo

Nota: En la tabla anterior se muestra la comparación de datos entre la estación meteorológica y el seguidor solar, donde se registra a partir de que salga el sol aproximadamente 07:00 hasta las 18:00, y el pico más alto esta entre las 09:00 a 15:00 horas de cada día para ambos instrumentos. Según los datos se aproxima al aparato de la estación meteorológica en porcentaje refleja en un **93%** de efectividad los registros de la radiación solar mediante el registro con un seguidor solar.

4.5 Resultados de la propuesta cartográfica de mapa solar de la Ciudad de El Alto

4.5.1 Antecedentes

El municipio de El Alto se encuentra en el hemisferio Sur cuadrante 19 K SUR UTM con niveles de radiación importantes debido a las bandas altitudinales que están entre 3900 y 4100 m.s.n.m.

Los registros obtenidos de los datos de radiación solar en el laboratorio de energías alternativas no son suficientes para la determinación de las cartografías de radiación solar del municipio de El Alto, es por lo cual se utilizaron datos que están disponibles de la gestión 2015 que son obtenidos de la NASA (Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio) con datos registrados en 75 puntos geográficos considerando la latitud y longitud de los puntos seleccionados.

4.5.2 Objetivo

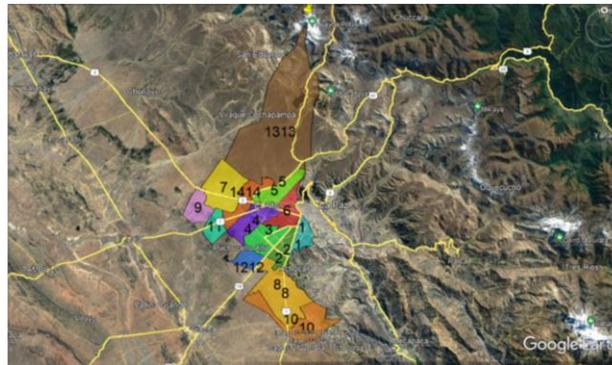
Determinar las cartografías de la radiación solar de los niveles de radiación de la Ciudad de El Alto para observar su variación en tiempo y espacio utilizando Google Earth, ArcGIS-, AutoCAD, ArcMAP con los datos de la NASA.

4.5.3 Metodología

Se realizó la ubicación del lugar en estudio mediante Google Earth, como se muestra en la Figura siguiente:

Figura N° 61

Ubicación geográfica de la ciudad de El Alto con Google Earth



Fuente: Elaboración propia

Una vez identificado el lugar de estudio, se procede con la fragmentación del mismo en pequeños cuadrantes con ayuda de la herramienta Autocad Autodesk cuyas distancias de separación serán de aproximadamente 2500 [m], esto con la finalidad de determinar la variación de niveles de radiación a lo largo de toda la superficie de la ciudad de El Alto. En la figura siguiente, se muestra la segmentación mencionada y cuyos puntos de intersección serán objeto de estudio, mismos que se denominaran “grillas”.

Figura N° 62

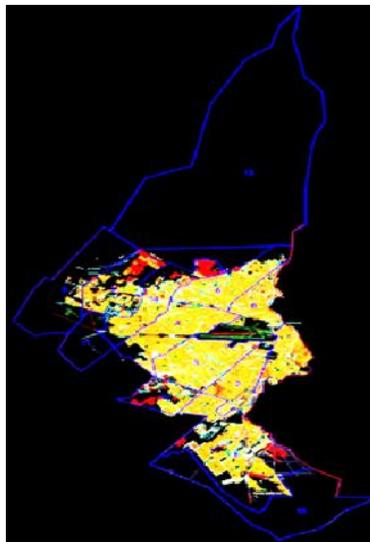
Segmentación del lugar de estudio con Autocad y Google Earth



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 63

Segmentación del lugar de estudio con Autocad

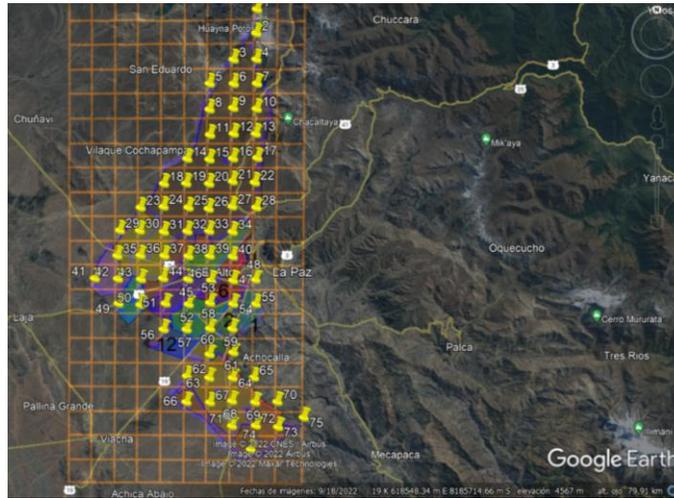


Fuente: Elaboración propia

Habiéndose graficado los puntos de estudio, se procede a la toma de datos de los mismos, para ello se utiliza la herramienta de marcador puntual de Google Earth, como se muestra en la figura, a continuación:

Figura N° 64

Ubicación de las grillas con marcadores de Google Earth

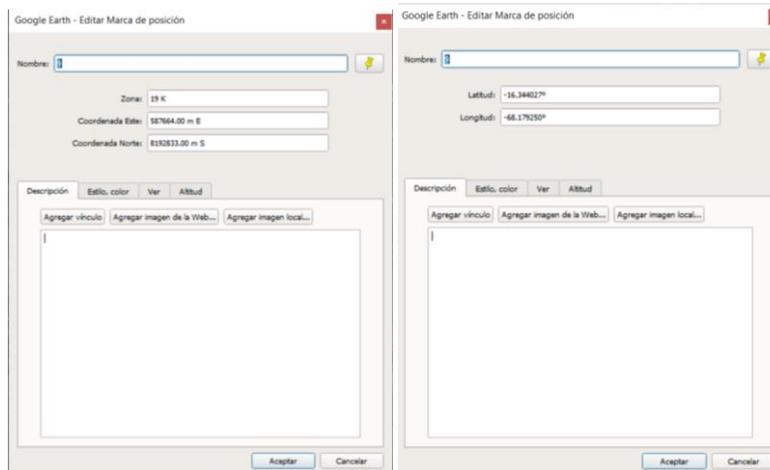


Fuente: Elaboración propia

Posterior a ello se procede a determinar las coordenadas “X” y “Y” UTM, así como la longitud y latitud, para los 75 puntos, datos que se muestran en la siguiente tabla, y como se muestra en la figura siguiente:

Figura N° 65

Determinación de las coordenadas, latitud y longitud.

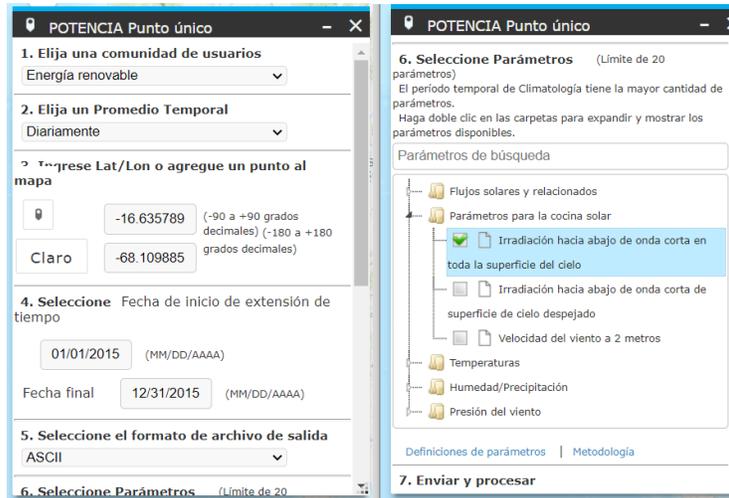


Fuente: Elaboración propia

Se procede a introducir uno a uno los 75 datos obtenidos en la tabla anterior, en los espacios correspondientes del portal Web de la NASA, como se muestra en la figura siguiente lo cual mostramos a continuación:

Figura N° 67

Portal Web para la determinación de parámetros ambientales

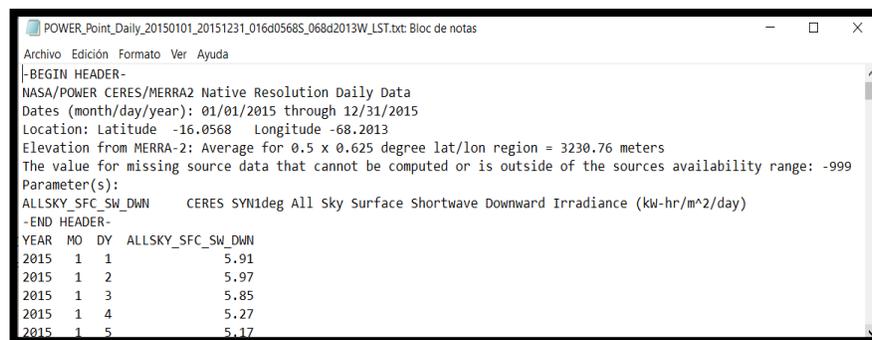


Fuente: Elaboración propia en <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>

Habiendo hecho esta operación, se procede a la obtención de datos, mismo que se presenta en formato de texto y es descargable, como se muestra en la figura siguiente:

Figura N° 68

Reporte generado por el portal Web NASA, un archivo por cada punto



```

POWER_Point_Daily_20150101_20151231_016d0568S_068d2013W_LST.txt: Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
-BEGIN HEADER-
NASA/POWER CERES/MERRA2 Native Resolution Daily Data
Dates (month/day/year): 01/01/2015 through 12/31/2015
Location: Latitude -16.0568 Longitude -68.2013
Elevation from MERRA-2: Average for 0.5 x 0.625 degree lat/lon region = 3230.76 meters
The value for missing source data that cannot be computed or is outside of the sources availability range: -999
Parameter(s):
ALLSKY_SFC_SW_DWN CERES SYN1deg All Sky Surface Shortwave Downward Irradiance (kw-hr/m^2/day)
-END HEADER-
YEAR MO DY ALLSKY_SFC_SW_DWN
2015 1 1 5.91
2015 1 2 5.97
2015 1 3 5.85
2015 1 4 5.27
2015 1 5 5.17
  
```

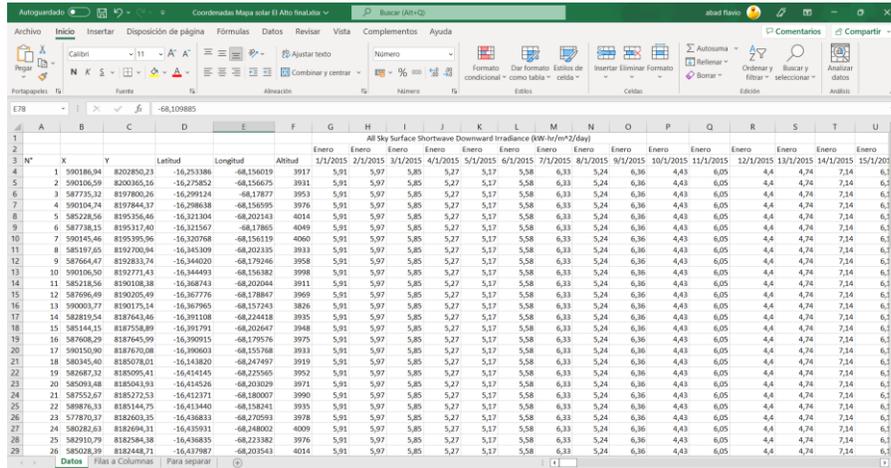
Fuente: Reporte generado en <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>

Se procede a realizar la misma operación para los 75 puntos. Y se procede a llenar los datos de manera ordenado en una planilla Excel como se muestra en la figura siguiente, misma que

contendrá todos los datos de la variable de estudio de manera diaria y por ubicación geográfica.

Figura N° 69

Planilla para clasificar los datos generados por los reportes de NASA



| N° | X | Y | Latitud | Longitud | Altitud | Enero 1/1/2015 | Enero 2/1/2015 | Enero 3/1/2015 | Enero 4/1/2015 | Enero 5/1/2015 | Enero 6/1/2015 | Enero 7/1/2015 | Enero 8/1/2015 | Enero 9/1/2015 | Enero 10/1/2015 | Enero 11/1/2015 | Enero 12/1/2015 | Enero 13/1/2015 | Enero 14/1/2015 | Enero 15/1/2015 |
|----|-----------|------------|-------------|------------|---------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 1 | 590186,94 | 8202850,23 | -16,253386 | -68,156019 | 3917 | 5,91 | 5,97 | 5,85 | 5,27 | 5,17 | 5,58 | 6,33 | 5,24 | 6,36 | 4,43 | 6,05 | 4,4 | 4,74 | 7,14 | 6,5 |
| 2 | 590106,59 | 8200365,16 | -16,275852 | -68,156675 | 3931 | 5,91 | 5,97 | 5,85 | 5,27 | 5,17 | 5,58 | 6,33 | 5,24 | 6,36 | 4,43 | 6,05 | 4,4 | 4,74 | 7,14 | 6,5 |
| 3 | 587775,32 | 8197800,26 | -16,299124 | -68,178777 | 3953 | 5,91 | 5,97 | 5,85 | 5,27 | 5,17 | 5,58 | 6,33 | 5,24 | 6,36 | 4,43 | 6,05 | 4,4 | 4,74 | 7,14 | 6,5 |
| 4 | 590104,74 | 8197844,37 | -16,298638 | -68,156095 | 3976 | 5,91 | 5,97 | 5,85 | 5,27 | 5,17 | 5,58 | 6,33 | 5,24 | 6,36 | 4,43 | 6,05 | 4,4 | 4,74 | 7,14 | 6,5 |
| 5 | 585228,56 | 8195356,46 | -16,321304 | -68,202143 | 4014 | 5,91 | 5,97 | 5,85 | 5,27 | 5,17 | 5,58 | 6,33 | 5,24 | 6,36 | 4,43 | 6,05 | 4,4 | 4,74 | 7,14 | 6,5 |
| 6 | 587728,15 | 8195317,40 | -16,321567 | -68,178805 | 4049 | 5,91 | 5,97 | 5,85 | 5,27 | 5,17 | 5,58 | 6,33 | 5,24 | 6,36 | 4,43 | 6,05 | 4,4 | 4,74 | 7,14 | 6,5 |
| 7 | 590145,46 | 8195395,56 | -16,320768 | -68,156119 | 4060 | 5,91 | 5,97 | 5,85 | 5,27 | 5,17 | 5,58 | 6,33 | 5,24 | 6,36 | 4,43 | 6,05 | 4,4 | 4,74 | 7,14 | 6,5 |
| 8 | 585197,65 | 8192700,94 | -16,345309 | -68,202335 | 3933 | 5,91 | 5,97 | 5,85 | 5,27 | 5,17 | 5,58 | 6,33 | 5,24 | 6,36 | 4,43 | 6,05 | 4,4 | 4,74 | 7,14 | 6,5 |
| 9 | 587664,47 | 8192833,74 | -16,344020 | -68,179246 | 3958 | 5,91 | 5,97 | 5,85 | 5,27 | 5,17 | 5,58 | 6,33 | 5,24 | 6,36 | 4,43 | 6,05 | 4,4 | 4,74 | 7,14 | 6,5 |
| 10 | 590106,50 | 8192771,43 | -16,344493 | -68,156382 | 3998 | 5,91 | 5,97 | 5,85 | 5,27 | 5,17 | 5,58 | 6,33 | 5,24 | 6,36 | 4,43 | 6,05 | 4,4 | 4,74 | 7,14 | 6,5 |
| 11 | 589248,56 | 8190048,28 | -16,368743 | -68,202044 | 3911 | 5,91 | 5,97 | 5,85 | 5,27 | 5,17 | 5,58 | 6,33 | 5,24 | 6,36 | 4,43 | 6,05 | 4,4 | 4,74 | 7,14 | 6,5 |
| 12 | 587696,49 | 8190205,49 | -16,367776 | -68,178847 | 3969 | 5,91 | 5,97 | 5,85 | 5,27 | 5,17 | 5,58 | 6,33 | 5,24 | 6,36 | 4,43 | 6,05 | 4,4 | 4,74 | 7,14 | 6,5 |
| 13 | 590000,77 | 8190175,14 | -16,367965 | -68,157243 | 3826 | 5,91 | 5,97 | 5,85 | 5,27 | 5,17 | 5,58 | 6,33 | 5,24 | 6,36 | 4,43 | 6,05 | 4,4 | 4,74 | 7,14 | 6,5 |
| 14 | 583215,54 | 8187643,46 | -16,391108 | -68,224218 | 3955 | 5,91 | 5,97 | 5,85 | 5,27 | 5,17 | 5,58 | 6,33 | 5,24 | 6,36 | 4,43 | 6,05 | 4,4 | 4,74 | 7,14 | 6,5 |
| 15 | 585144,15 | 8187558,89 | -16,391791 | -68,202647 | 3948 | 5,91 | 5,97 | 5,85 | 5,27 | 5,17 | 5,58 | 6,33 | 5,24 | 6,36 | 4,43 | 6,05 | 4,4 | 4,74 | 7,14 | 6,5 |
| 16 | 587608,29 | 8187645,99 | -16,390915 | -68,179576 | 3975 | 5,91 | 5,97 | 5,85 | 5,27 | 5,17 | 5,58 | 6,33 | 5,24 | 6,36 | 4,43 | 6,05 | 4,4 | 4,74 | 7,14 | 6,5 |
| 17 | 590105,09 | 8187670,08 | -16,390603 | -68,155748 | 3933 | 5,91 | 5,97 | 5,85 | 5,27 | 5,17 | 5,58 | 6,33 | 5,24 | 6,36 | 4,43 | 6,05 | 4,4 | 4,74 | 7,14 | 6,5 |
| 18 | 580345,40 | 8185078,01 | -16,4143820 | -68,247497 | 3919 | 5,91 | 5,97 | 5,85 | 5,27 | 5,17 | 5,58 | 6,33 | 5,24 | 6,36 | 4,43 | 6,05 | 4,4 | 4,74 | 7,14 | 6,5 |
| 19 | 582687,32 | 8185099,41 | -16,414145 | -68,225565 | 3952 | 5,91 | 5,97 | 5,85 | 5,27 | 5,17 | 5,58 | 6,33 | 5,24 | 6,36 | 4,43 | 6,05 | 4,4 | 4,74 | 7,14 | 6,5 |
| 20 | 585091,48 | 8185043,93 | -16,414526 | -68,203029 | 3971 | 5,91 | 5,97 | 5,85 | 5,27 | 5,17 | 5,58 | 6,33 | 5,24 | 6,36 | 4,43 | 6,05 | 4,4 | 4,74 | 7,14 | 6,5 |
| 21 | 587950,67 | 8185072,53 | -16,412171 | -68,189007 | 3960 | 5,91 | 5,97 | 5,85 | 5,27 | 5,17 | 5,58 | 6,33 | 5,24 | 6,36 | 4,43 | 6,05 | 4,4 | 4,74 | 7,14 | 6,5 |
| 22 | 589876,33 | 8185144,75 | -16,413440 | -68,158241 | 3935 | 5,91 | 5,97 | 5,85 | 5,27 | 5,17 | 5,58 | 6,33 | 5,24 | 6,36 | 4,43 | 6,05 | 4,4 | 4,74 | 7,14 | 6,5 |
| 23 | 577870,37 | 8182603,25 | -16,436833 | -68,270593 | 3978 | 5,91 | 5,97 | 5,85 | 5,27 | 5,17 | 5,58 | 6,33 | 5,24 | 6,36 | 4,43 | 6,05 | 4,4 | 4,74 | 7,14 | 6,5 |
| 24 | 580202,63 | 8182694,31 | -16,435931 | -68,248802 | 4009 | 5,91 | 5,97 | 5,85 | 5,27 | 5,17 | 5,58 | 6,33 | 5,24 | 6,36 | 4,43 | 6,05 | 4,4 | 4,74 | 7,14 | 6,5 |
| 25 | 585210,79 | 8182584,38 | -16,436835 | -68,223382 | 3976 | 5,91 | 5,97 | 5,85 | 5,27 | 5,17 | 5,58 | 6,33 | 5,24 | 6,36 | 4,43 | 6,05 | 4,4 | 4,74 | 7,14 | 6,5 |
| 26 | 585028,39 | 8182448,71 | -16,437987 | -68,203543 | 4014 | 5,91 | 5,97 | 5,85 | 5,27 | 5,17 | 5,58 | 6,33 | 5,24 | 6,36 | 4,43 | 6,05 | 4,4 | 4,74 | 7,14 | 6,5 |

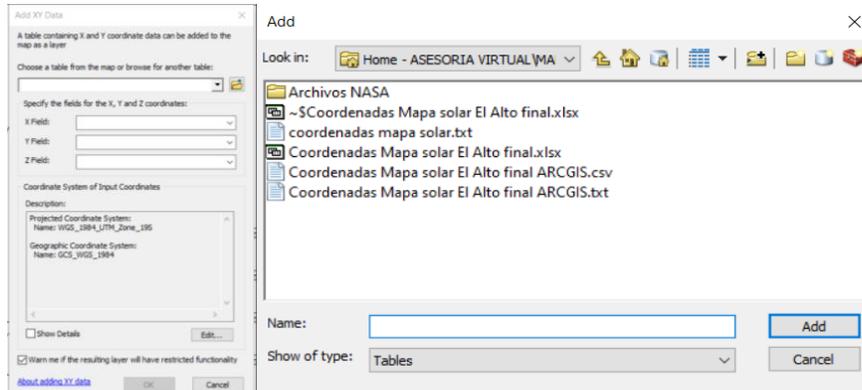
Fuente: Pagina web: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>

Posterior a ello se procede a la determinación de los valores promedio mensuales en (kW-hr/m²/day), cuya información es introducida en el programa ArcGIS-ArcMAP con la finalidad de determinar la variación de la radiación solar con respecto al espacio y tiempo (en 12 meses).

Se procede a introducir los datos en formato texto al programa ArcGIS para su tratamiento, como se muestra en la figura, que se demuestra a continuación:

Figura N° 70

Pantalla de programa ARC GIS para subir el archivo de datos

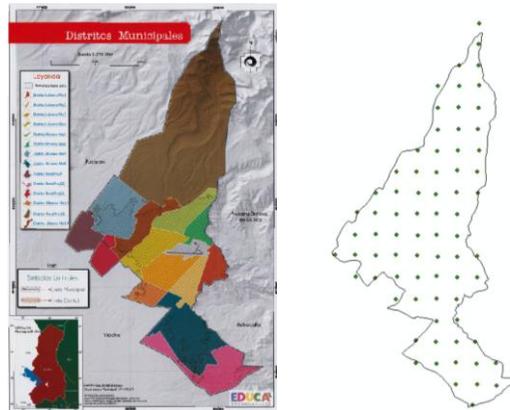


Fuente: Elaboración propia con ARC-GIS ARC-MAP

Habiéndose introducido los datos, se procede a la creación de la capa de contorno del lugar de estudio, donde también se observan los puntos de estudio, lo cual mostramos en la figura siguiente:

Figura N° 71

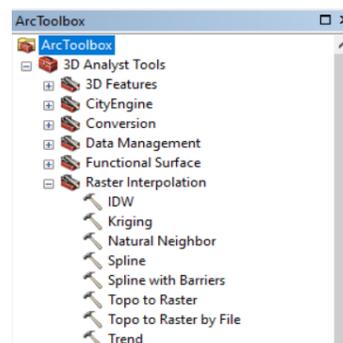
Elaboración del contorno de estudio

**Fuente:** Elaboración propia con ARC-GIS ARC-MAP

Ya con las herramientas necesarias y habiendo cargado correctamente de los datos, se procede con la utilización de una herramienta de interpolación de ArcGIS, misma que permite la determinación de la variable en cuestión en puntos de la superficie donde no se tengan datos, clasificando así la misma mediante simbología de colores. La herramienta se denomina IDW, misma que se encuentra en el ToolBox-Analisis 3D, como se muestra en la figura siguiente:

Figura N° 72

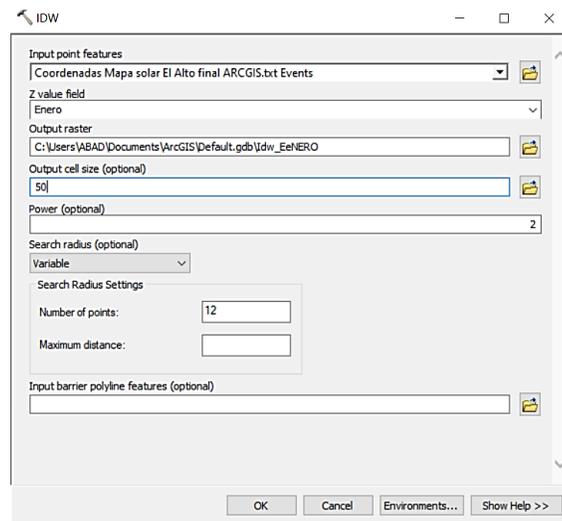
Herramienta de interpolación IDW

**Fuente:** Elaboración propia con ARC-GIS ARC-MAP

Se procede a abrir la herramienta IDW cuya ventana de configuración se muestra a continuación:

Figura N° 73

Pantalla de configuración herramienta IDW

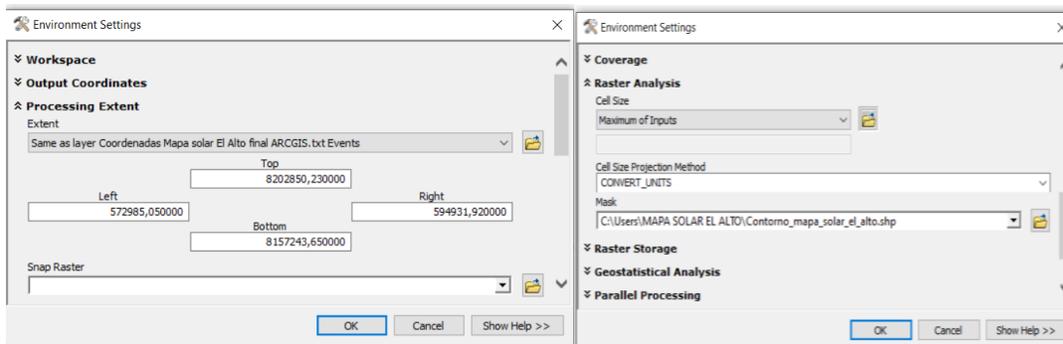


Fuente: Elaboración propia con ARC-GIS ARC-MAP

También es necesario configurar la opción Enviroments, como se ve en la figura siguiente lo cual nos permitirá obtener la cartografía de calidad.

Figura N° 74

Pantalla de configuración herramienta IDW

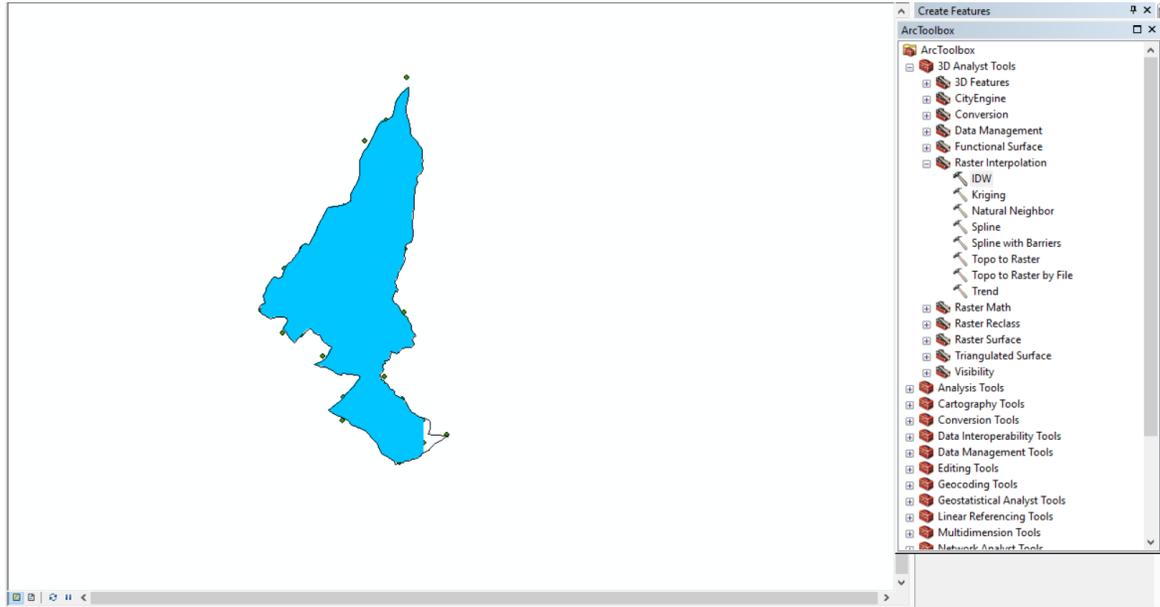


Fuente: Elaboración propia con ARC-GIS ARC-MAP

Habiendo introducido todos los datos, el resultado de la interpolación se muestra en la figura, a continuación:

Figura N° 75

: Resultados de la utilización de la herramienta IDW de interpolación



Fuente: Elaboración propia con ARC-GIS ARC-MAP

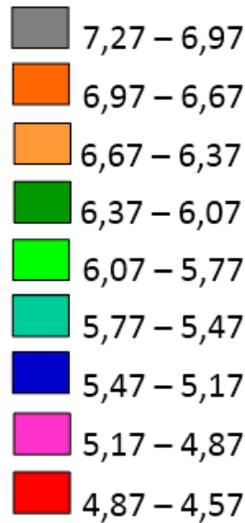
Lo que nos muestra que para el MES de ENERO no existe variación en el valor de radiación obtenidos del portal de la NASA, lo cual era predecible toda vez que los datos son los mismos para cada punto de la superficie, por lo cual se proseguirá a realizar la misma operación para los demás meses, definiendo una simbología de colores para los diferentes rangos de valores que se vayan a determinar en los 12 meses de análisis.

4.5.4 Resultados y gráficos

Debido a que los datos obtenidos desde el portal de la NASA cuyos reportes se encuentran en los archivos de internet, que muestra que en la superficie definida no existe variación de valores para las diferentes coordenadas de estudio, por lo cual la variación es visible entre día a día y los resultados y gráficos corresponden a los diferentes meses de análisis, lo cual demostramos mediante la siguiente figura:

Figura N° 76

Simbología por colores para los rangos de radiación (kW-hr/m²/day) según NASA



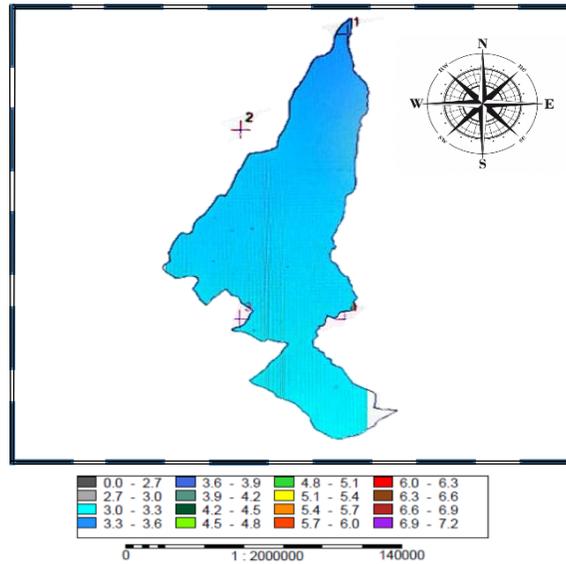
Fuente: Elaboración propia con ARC-GIS ARC-MAP

Debido a la resolución de las imágenes satelitales, se obtiene un valor promedio de radiación para un área comprendida entre 1 ° de latitud y 1 ° de longitud. El municipio de El Alto, está ubicado en las coordenadas geográficas 16° 31' de latitud sur y 68° 12' de longitud oeste, en una meseta de superficie plana y ondulada, a una altura de 4.050 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.), al pie de la Cordillera de La Paz (meseta del Altiplano Norte) y de la Cordillera Oriental.

La distribución de la radiación SW es primordialmente zonal de los diferentes distritos que conforma la ciudad de El Alto, modulada por la distribución de las nubes. Los valores máximos se encuentran en el Ártico, Groenlandia y las regiones subtropicales del Hemisferio Norte. Los valores máximos de la radiación LW se localizan sobre amplias regiones en los trópicos con un decrecimiento gradual hacia los polos. Los valores más altos ocurren sobre áreas que exhiben temperatura, por lo cual de acuerdo a los datos de la NASA se obtiene las siguientes cartografías de los 12 meses del año.

Figura Nº 77

Cartografía del mes de Enero

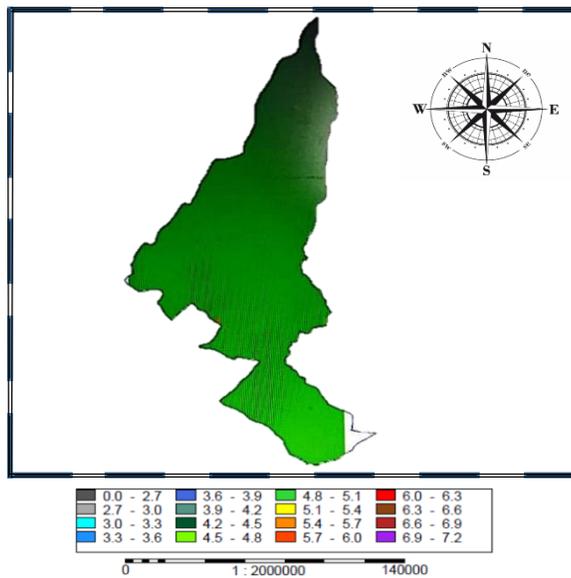


Fuente: Elaboración propia con ARC-GIS ARC-MAP

De acuerdo al promedio de datos de la radiación para el mes de enero se registra entre 3,0 al 3,9 (kW-hr/m²/day) de nivel de radiación.

Figura Nº 78

Cartografía del mes de Febrero

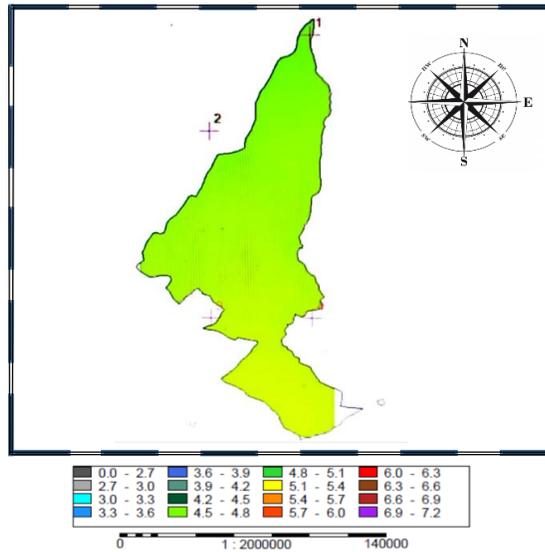


Fuente: Elaboración propia con ARC-GIS ARC-MAP

De acuerdo al promedio de datos de la radiación para el mes de febrero generalmente oscila entre 4,0 al 5,1 (kW-hr/m²/day) de nivel de radiación.

Figura N° 79

Cartografía del mes de Marzo

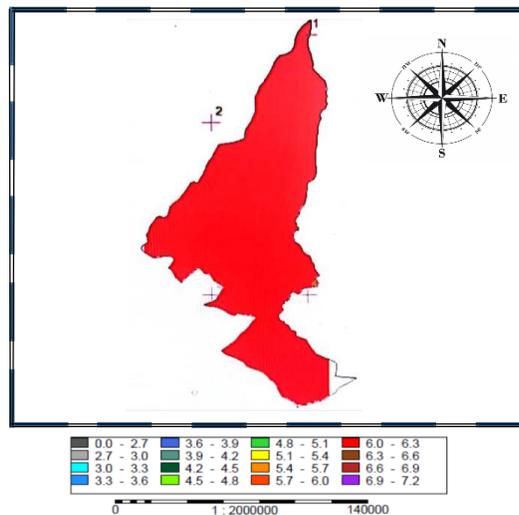


Fuente: Elaboración propia con ARC-GIS ARC-MAP

De acuerdo al promedio de datos de la radiación para el mes de marzo generalmente oscila entre 4,5 al 5,4 (kW-hr/m²/day) de nivel de radiación, que muestra los datos de NASA.

Figura N° 80

Cartografía del mes de Abril

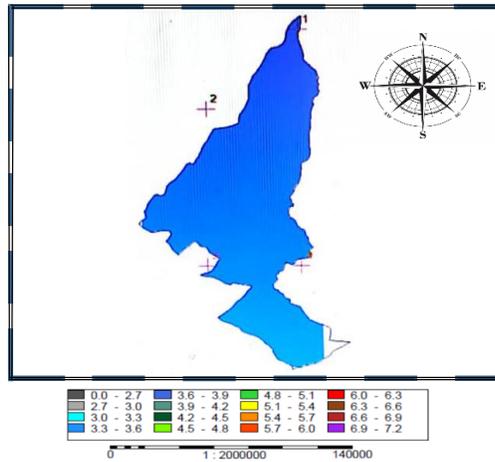


Fuente: Elaboración propia con ARC-GIS ARC-

En conclusión de acuerdo al promedio de los datos de la radiación para el mes de abril generalmente oscila entre 4,5 al 5,4 (kW-hr/m²/day) de nivel de radiación, que muestra los datos de NASA.

Figura Nº 81

Cartografía de mes de Mayo

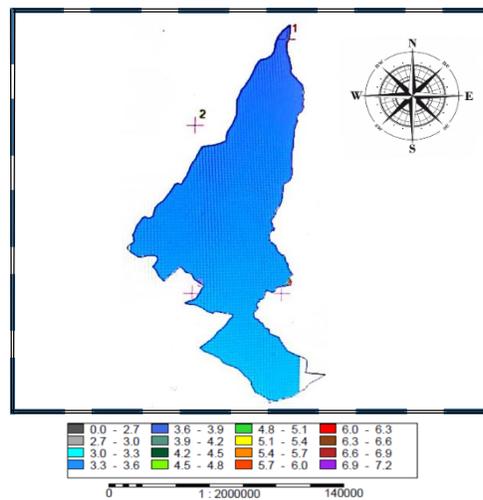


Fuente: Elaboración propia con ARC-GIS ARC-MAP

En conclusión de acuerdo al promedio de los datos de la radiación para el mes de mayo generalmente oscila entre 3,3 al 3,9 de nivel de radiación, que muestra los datos de NASA.

Figura Nº 82

Cartografía de mes de Junio

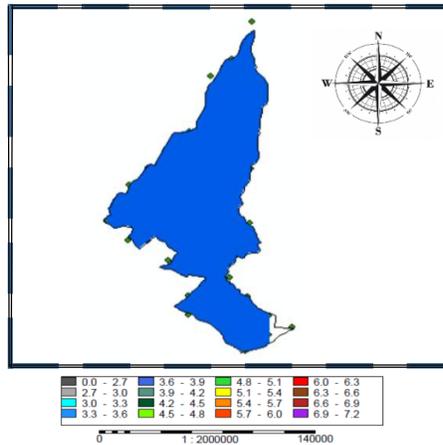


Fuente: Elaboración propia con ARC-GIS ARC-MAP

En conclusión de acuerdo al promedio de los datos de la radiación para el mes de junio generalmente oscila entre 3,3 al 3,9 (kW-hr/m²/day) de nivel de radiación, que muestra los datos de NASA.

Figura N° 83

Cartografía de mes de Julio

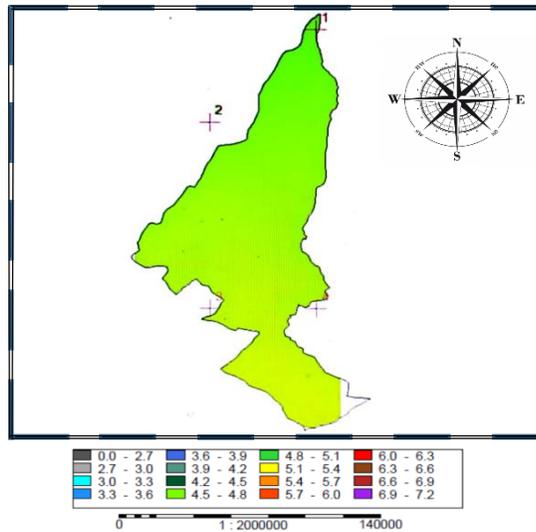


Fuente: Elaboración propia con ARC-GIS ARC-MAP

En conclusión de acuerdo al promedio de los datos de la radiación para el mes de julio generalmente oscila entre 3,6 al 3,9 de nivel de radiación, que muestra los datos de NASA.

Figura N° 84

Cartografía mes de Agosto

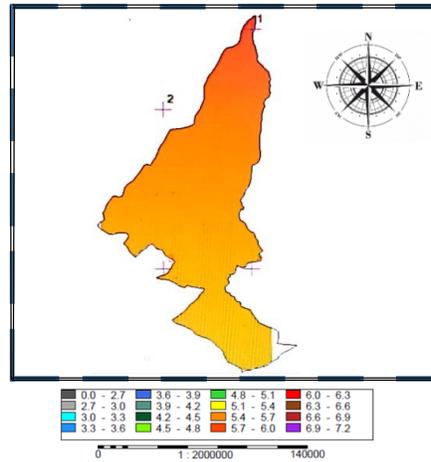


Fuente: Elaboración propia, con ARC-GIS ARC-MAP

En conclusión de acuerdo al promedio de los datos de la radiación para el mes de agosto tiende a subir entre 4,5 al 5,1 (kW-hr/m²/day) de nivel de radiación, que muestra los datos de NASA.

Figura N° 85

Cartografía de mes de Septiembre

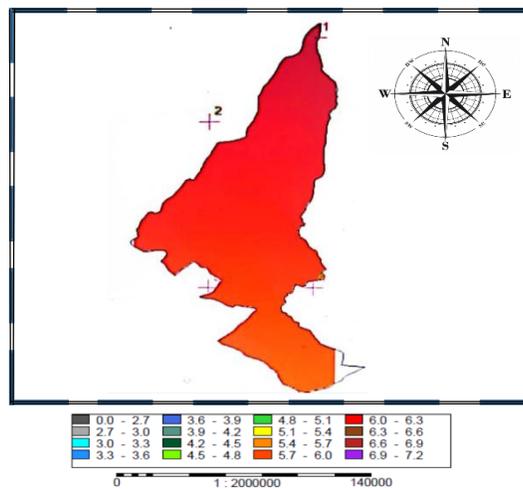


Fuente: Elaboración propia con ARC-GIS ARC-MAP

De acuerdo al promedio de los datos de la radiación para el mes de septiembre tiende a subir entre 5,4 al 6,0 (kW-hr/m²/day) de nivel de radiación, que muestra los datos de NASA.

Figura N° 86

Cartografía de mes de Octubre

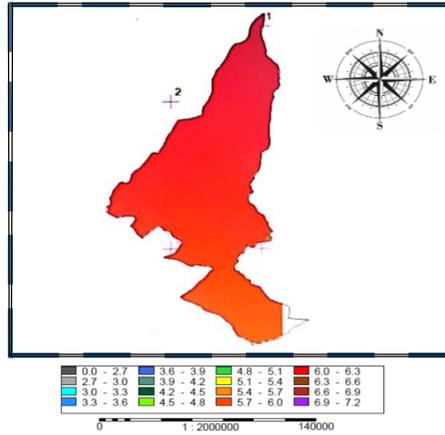


Fuente: Elaboración propia con ARC-GIS ARC-MAP

De acuerdo al promedio de los datos de la radiación para el mes de octubre registra entre 5,4 al 6,3 (kW-hr/m²/day) de nivel de radiación, que muestra los datos de NASA.

Figura N° 87

Cartografía de mes de Noviembre

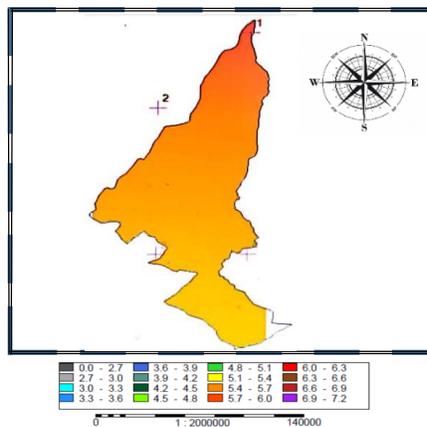


Fuente: Elaboración propia con ARC-GIS ARC-MAP

De acuerdo al promedio de los datos de la radiación para el mes de noviembre registra mantiene entre 5,4 al 6,3 (kW-hr/m²/day) de nivel de radiación, que muestra los datos de NASA.

Figura N° 88

Cartografía de mes de Diciembre



Fuente: Elaboración propia con ARC-GIS ARC-MAP

De acuerdo al promedio de los datos de la radiación para el mes de diciembre registra mantiene entre 5,4 al 6,0 de nivel de radiación, que muestra los datos de NASA

CAPÍTULO V CONCLUSIONES

- Como se muestra en la figura 39 se ha ido realizando a construcción del seguidor solar posterior su respectiva automatización de la estructura del sistema de seguidor solar, el sistema de seguimiento solar, no depende de baterías para proporcionar corriente a los motores que hacen girar al panel fotovoltaico, ya que el sistema diseñado cuenta con celdas solares independientes que actúan como sensores y alimentan a dichos motores. Por tal razón, el sistema construido nos dio el 93% de efectividad en cuanto al registro de la radiación solar esto debido a los cuatro LDR de captación de la luz de rayos solares, los cuales están siendo desaprovechados por la población alteña, esto refleja que los sistemas fotovoltaicos aislados seguirán siendo una solución para el área rural dispersa.
- En el desarrollo del sistema de monitoreo y control para el seguidor solar ha facilitado almacenar los datos en tiempo real con la instalación de placa base para shield en esta placa base se encuentra el SIM 900 módulo GSM-GPRS que nos ayuda con la conexión a internet y con la comunicación remota del sistema, el micro controlador que se ha utilizado es un ARDUINO NANO con un chip 328p de la familia de los AVR el cual nos presta todas las funcionalidades necesarias para el desarrollo de este proyecto. El diseño del sistema de control y censado es modular teniendo una particularidad de diseño adaptable que nos permite intercambiar distintos tipos de sensores digitales como analógicos.
- La tabla Nº 9 muestra los resultados de la eficiencia energética entre el panel convencional fijo y el seguidor solar, en un día de prueba realizada en el laboratorio de energías alternativas también se observa, que a las **16:15** horas de este día, el sistema con seguimiento solar generó su máxima potencia (**42.044 W**), y es muy notorio la reducción de potencia que se generó a las **16:45** horas, con tan solo **4.128 W**, es decir, en media hora ocurrió un descenso de potencia de **37.912 W**. La potencia promedio generada por el sistema de seguidor solar diseñado durante el día de prueba, fue de **10.227 W**, mientras que el sistema convencional fijo generó un promedio de **6.641 W**, de lo cual, se deduce que, el porcentaje de la eficiencia del sistema con seguimiento solar para este día fue **54%** mayor que el sistema fijo. Lo anterior comprueba, que durante este día, el sistema con seguimiento solar logró generar mayor energía que el sistema fijo. De la misma forma las figuras 55, 56 y 57 muestra las curvas de

comportamiento según la eficiencia del panel convencional fijo y seguidor solar se determina a través de los sensores de medición de corriente se obtiene que de acuerdo a las curvas obtenidas el seguidor solar tiene la mayor captación de los rayos ultravioletas, en cuanto al registro de la radiación solar en el día de prueba comparando con la estación meteorológica instrumento de validación y el seguidor solar muestra en la tabla N° 11 los datos fueron obtenidos en el horario de 09:00 hasta 19:00 horas para ambos instrumentos, donde se obtienen el 93 % de efectividad del seguidor solar.

- Para la determinación de la cartografía los datos registrados en el día de prueba no fueron lo suficiente por los que accedo a datos que están disponibles de la gestión 2015 que son obtenidos de la NASA (Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio) con datos registrados en 75 puntos geográficos considerando la latitud y longitud de los puntos seleccionados.

CAPÍTULO VI RECOMENDACIONES

- Promover el aprovechamiento de la radiación solar mediante proyectos de alta inversión, el estado deberá contemplar los recursos para el financiamiento de estos proyectos fotovoltaicos para que la población se beneficie y que se disponga una capacidad limitada de pago.
- Se debe realizar proyectos macros de sistemas fotovoltaicos automatizados, Bolivia tiene una planta de energía solar en la ciudad de Oruro, con una instalación de manera convencional fija (Norte - este con una inclinación de 30°). Pese con e ese inclinación genera 100 megavatios (MW), además de ellos están las plantas solares de Cobija (5 MW) en Pando, Yunchará (5 MW) en Tarija, Uyuni en Potosí (60 MW) y otras de menor potencia instaladas todas las anteriores están instaladas en un sistema fijo, como se vio la comparación de efectividad en la presente investigación los seguidores solares obtienen mayor cantidad de energía.
- De acuerdo a los datos obtenidos de la radiación solar el rango de horario donde los niveles de radiación son superiores es de 10:00 am a 16:00 pm donde el nivel de radiación solar es más alta desde **800 W/m²** hasta por encima **1200 W/m²** por lo cual se recomienda a la población en general utilizar protector solar, gorros para poder evitar las enfermedades provocadas por la radiación solar, además las curvas de comportamiento se debe realizar para todo el año, ya que en esta investigación las pruebas solo se realizaron de los días de prueba.
- Para la obtención de las cartografías de la radiación solar se requiere de la utilización de métodos de obtención de la radiación de tipo estadístico. Esto es debido a que los métodos físicos exigen para su correcto funcionamiento gran cantidad de imágenes por día, no así los estadísticos. De la misma forma se debería realizar para todo el

departamento de La Paz, con datos precisos que pueda permitir generar cartografías exactas ya que en la investigación solo se realiza para la Ciudad de El Alto de forma experimental donde se evidencia algunos desperfectos, considerando que es importante una masa crítica de profesionales en energías renovables. Otro punto interesante sería la obtención de las componentes normal y difusa de la irradiación solar global, aspectos importantes para el dimensionamiento de sistemas de aprovechamiento de la energía solar térmica y fotovoltaica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alessandro De La Gala, C. (2018). Implementación de un Seguidor Solar para la Evaluación Energética Comparativa de Paneles Fotovoltaicos. *Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann*, 169.
- Álvaro Montano Saavedra, María Belén Arequipa Saravia, & Cristian Limachi Ochoa. (2020). *Vista de Análisis de la eficiencia en la producción de energía eléctrica para la Central Solar Fotovoltaica de 50 kW conectada a la red en el campus universitario Cota Cota, ubicada en la ciudad de La Paz, Bolivia. | ENERLAC. Revista de energía de Latinoamérica. ENERLAC Revista de Energía de Latinoamérica y el Caribe.* <http://enerlac.olade.org/index.php/ENERLAC/article/view/143>
- Arrieta Morelo, D. J., & Puello Bravo, S. Y. (2015). *Diseño y construcción de un seguidor solar para aumentar el rendimiento energético en paneles fotovoltaicos de un sistema de bombeo.* Universidad de Córdoba. <https://repositorio.unicordoba.edu.co/handle/123456789/700>
- Carlos Pardo, M. (2022). *Sensores de Temperatura.* Junio, 2022. <https://www.picuino.com/es/control-sensor-temp.html>
- Connor, N. (2020). Intensidad de la radiación. En *¿Qué es la intensidad de la Radiación? Dosis y tasa de dosis.* <https://www.radiation-dosimetry.org/es/que-es-la-intensidad-de-la-radiacion-dosis-y-tasa-de-dosis-definicion/>
- El sensor de temperatura - Rechner Sensors.* (s. f.). Recuperado 16 de julio de 2022, de <https://www.rechner-sensors.com/es/documentacion/knowledge/el-sensor-de-temperatura>
- Escobar Mejía, A., Holguin Londoño, M., & Orosco R., J. C. (2010). *Diseño e implementación de un seguidor solar para la optimización de un sistema fotovoltaico.* Universidad Tecnológica de Pereira. ISSN 0122-1701. <https://201.131.90.33/index.php/revistaciencia/article/view/1841/1151>
- Fuentevilla, J. S. (2012). *Diseño y Construcción de un Sistema de Seguimiento Fotovoltaico.* 98.
- Hernández Sampieri, R., Fernandes Collado, C., & Baptista Lucio, M. del P. (2014). *Metodología de la Investigación* (Número December). <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>
- IDEAM. (s. f.). *Características de la Radiación Solar - IDEAM.* Recuperado 16 de julio de 2022,

- de <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/caracteristicas-de-la-radiacion-solar>
- Leslie K. Fanola G.†, Decker Guzmán Z., Marcelo Peñaloza M., & F. Z. (2012). Medidas de radiación ultra Violeta solar en el municipio de Sica Sica. *Revista Boliviana de Física*, 1-5. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S1562-38232012000100001&script=sci_abstract&tIng=pt
- Pilco, D. A., & Jaramillo, J. L. (s. f.). *Sistemas fotovoltaicos para iluminación: paneles fotovoltaicos*.
- Ramos-Galarza, C. A. (2020). Alcances de una investigación. *CienciAmérica*, 9(3), 1-6. <https://doi.org/10.33210/ca.v9i3.336>
- SolarGis. (2017). *Situación de la energía solar en Bolivia*. <https://fundacionsolon.org/2017/06/26/situacion-de-la-energia-solar-en-bolivia/>
- Solorama. (s. f.). *Conoce los 9 tipos de radiación solar y sus características*. Recuperado 18 de junio de 2022, de <https://solarama.mx/blog/tipos-de-radiacion-solar/#tiposderadiacionsolar>
- Tamayo, C., & Siesquen, I. S. (2008). Técnicas E Instrumentos De Recolección de Datos. *Metodología de la investigación*, 2, 201-247. <https://www.postgradoune.edu.pe/pdf/documentos-academicos/ciencias-de-la-educacion/23.pdf>
- Torrez, R., Burgoa, A., & Ricaldi, E. (2013). Modelos de Estimación de la Radiación Solar para el Altiplano Central de Bolivia. *Revista Boliviana de Física*, 23(23), 1-7. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1562-38232013000200001&Ing=es&nrm=iso&tIng=es
- Valdivieso S., P. D. (2014). *Diseño de un Sistema Fotovoltaico para el Suministro de Energía Eléctrica a 15 Computadoras Portátiles en la PUCP* (p. 74).

ANEXOS

Anexo N° 1 Resolución administrativa de SENAPI



senapi
SERVICIO NACIONAL DE PROPIEDAD INTELECTUAL



ESTADO PLURINACIONAL DE
BOLIVIA

MINISTERIO DE DESARROLLO
PRODUCTIVO Y ECONOMÍA PLURAL



2022-1117-1139-0-1

**DIRECCIÓN DE DERECHO DE AUTOR
Y DERECHOS CONEXOS**
RESOLUCIÓN ADMINISTRATIVA NRO. 1-2959/2022
La Paz, 13 de Diciembre del 2022

VISTOS:

La solicitud de Inscripción de Derecho de Autor presentada en fecha 7 de Diciembre del 2022, por **RONALD CALLA HUALLPA** con C.I. N° 4316792 LP, con número de trámite DA 1380/2022, señala la pretensión de inscripción de la Compilación de Obras Escritas titulada: "PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN UPEA GESTIÓN 2022 - INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA", conformada por las Obras Escritas: "ESTIMACIÓN DE NIVELES DE RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA PRODUCIDA POR ANTENAS DE TELEFONÍA MÓVIL EN EL DISTRITO MUNICIPAL 1 DE EL ALTO", "MODELO DE RED NEURONAL ARTIFICIAL PARA CLASIFICAR LAS ARRITMIAS CARDIACAS EN LOS HOSPITALES DE CARDIOLOGÍA EN LA CIUDAD DE EL ALTO", "DESARROLLO DE UN SISTEMA DE SEGURIDAD BIOMÉTRICA DACTILAR PARA VEHÍCULOS DEL TRANSPORTE PÚBLICO DE LA CIUDAD DE EL ALTO EN EL SINDICATO "SAGRADO CORAZÓN DE JESÚS" y "ESTUDIO DE LA RADIACIÓN SOLAR MEDIANTE LA AUTOMATIZACIÓN DE PANELES FOTOVOLTAICOS A FIN DE TRAZAR LAS CURVAS DE COMPORTAMIENTO PARA LA CIUDAD DE EL ALTO", cuyos datos y antecedentes se encuentran adjuntos y expresados en los Formularios de Solicitud, documentación que tiene la calidad de Declaración Jurada.

CONSIDERANDO

Que, en observación al Artículo 4º del Decreto Supremo N° 27938 modificado parcialmente por el Decreto Supremo N° 28152 el "Servicio Nacional de Propiedad Intelectual SENAPI, administra en forma descentralizada e integral el régimen de la Propiedad Intelectual en todos sus componentes, mediante una estricta observancia de los regímenes legales de la Propiedad Intelectual, de la vigilancia de su cumplimiento y de una efectiva protección de los derechos de exclusiva referidos a la propiedad industrial, al derecho de autor y derechos conexos; constituyéndose en la oficina nacional competente respecto de los tratados internacionales y acuerdos regionales suscritos y adheridos por el país, así como de las normas y regímenes comunes que en materia de Propiedad Intelectual se han adoptado en el marco del proceso andino de integración".

Que, el Artículo 16º del Decreto Supremo N° 27938 establece "Como núcleo técnico y operativo del SENAPI funcionan las Direcciones Técnicas que son las encargadas de la evaluación y procesamiento de las solicitudes de derechos de propiedad intelectual, de conformidad a los distintos regímenes legales aplicables a cada área de gestión". En ese marco, la Dirección de Derecho de Autor y Derechos Conexos otorga registros con carácter declarativo sobre las obras del ingenio cualquiera que sea el género o forma de expresión, sin importar el mérito literario o artístico a través de la inscripción y la difusión, en cumplimiento a la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina, Ley de Derecho de Autor N° 1322, Decreto Reglamentario N° 23907 y demás normativa vigente sobre la materia.

Que, la solicitud presentada cumple con: el Artículo 6º de la Ley N° 1322 de Derecho de Autor, el Artículo 26º inciso a) del Decreto Supremo N° 23907 Reglamento de la Ley de Derecho de Autor, y con el Artículo 4º de la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina.





Oficina Central - La Paz
Av. Montes, No 576,
entre Edg. Uruguay y
C. Batallon Miramontes,
Telf.: 2202200 - 2202201
2202202 Fax: 2202200

Oficina - Santa Cruz
Av. Uruguay, Calle
Independencia (Buzón),
N° 29, Edif. Bicentenario,
Telf.: 320292 - 320293

Oficina - Cochabamba
Calle Chuquisaca, N° 664,
Piso 2, entre Amézaga y Lanza
zona Central - Noroeste,
Telf.: 420401 - 420402

Oficina - El Alto
Av. Juan Pablo II, N° 2550
Edif. Multicentros El Ceibo
Calle: Piso 2, Of. 28,
zona 16 de Julio,
Telf.: 290001 - 290002

Oficina - Oruro
Calle Kilometro 1, N° 366
caso esp. Intelectual,
zona Parque Bolívar,
Telf.: 290007

Oficina - Tarija
Calle Ingenio, N° 395
entre Santa Cruz
y Miranda, zona
La Plumpa,
Telf.: 320006

Oficina - Sucre
Calle 6 de Octubre,
N° 287, entre Aguacayo
y Justicia, Salada Central,
Of. N° 105 Banco Fiel,
Telf.: 320008

Oficina - Potosí
Av. Villazón entre calles
Mariano Albo y San Alberto,
Edif. B.A. Salinas N° 302,
Paseo Pío, Of. 11

**"2022 AÑO DE LA REVOLUCIÓN CULTURAL PARA LA DESPATRIARCALIZACIÓN:
POR UNA VIDA LIBRE DE VIOLENCIA CONTRA LAS MUJERES"**

www.senapi.gob.bo

ESTADO PLURINACIONAL DE
BOLIVIAMINISTERIO DE DESARROLLO
PRODUCTIVO Y ECONOMÍA PLURAL

Que, de conformidad al Artículo 18º de la Ley Nº 1322 de Derecho de Autor en concordancia con el Artículo 18º de la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina, referentes a la duración de los Derechos Patrimoniales, los mismos establecen que: *"la duración de la protección concedida por la presente ley será para toda la vida del autor y por 50 años después de su muerte, a favor de sus herederos, legatarios y cesionarios"*.

Que, se deja establecido en conformidad al Artículo 4º de la Ley Nº 1322 de Derecho de Autor, y Artículo 7º de la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina que: *"...No son objeto de protección las ideas contenidas en las obras literarias, artísticas, o el contenido ideológico o técnico de las obras científicas ni su aprovechamiento industrial o comercial"*.

Que, el artículo 4, inciso e) de la ley 2341 de Procedimiento Administrativo, instituye que: *"... en la relación de los particulares con la Administración Pública, se presume el principio de buena fe. La confianza, la cooperación y la lealtad en la actuación de los servidores públicos y de los ciudadanos ..."*, por lo que se presume la buena fe de los administrados respecto a las solicitudes de registro y la declaración jurada respecto a la originalidad de la obra.

POR TANTO

El Director de Derecho de Autor y Derechos Conexos sin ingresar en mayores consideraciones de orden legal, en ejercicio de las atribuciones conferidas

RESUELVE:

INSCRIBIR en el Registro de Obras Escritas de la Dirección de Derecho de Autor y Derechos Conexos, la Compilación de Obras Escritas titulada: **"PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN UPEA GESTIÓN 2022 - INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA"**, conformada por las Obras Escritas:

- "ESTIMACIÓN DE NIVELES DE RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA PRODUCIDA POR ANTENAS DE TELEFONÍA MÓVIL EN EL DISTRITO MUNICIPAL 1 DE EL ALTO" a favor de los autores: BRAULIO PACO HUANCA con C.I. Nº 6097196 LP, ZULEYDA MENDOZA BASILIO con C.I. Nº 9881745 LP y ORLANDO CARDOZO CONDARCO con C.I. Nº 9913380 LP y como titular derivado: INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA, UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO - UPEA con NIT Nº 122025022 representado legalmente por CARLOS CONDORI TITIRICO.
- "MODELO DE RED NEURONAL ARTIFICIAL PARA CLASIFICAR LAS ARRITMIAS CARDIACAS EN LOS HOSPITALES DE CARDIOLOGÍA EN LA CIUDAD DE EL ALTO" a favor de los autores: EVER GUARACHI CHOQUE con C.I. Nº 6042510 LP, NESTOR MAMANI HILAQUITA con C.I. Nº 9236327 LP y GROVER GUSTAVO VERGARA PACO con C.I. Nº 8439413 LP y como titular derivado: INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA, UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO - UPEA con NIT Nº 122025022 representado legalmente por CARLOS CONDORI TITIRICO.
- "DESARROLLO DE UN SISTEMA DE SEGURIDAD BIOMÉTRICA DACTILAR PARA VEHÍCULOS DEL TRANSPORTE PÚBLICO DE LA CIUDAD DE EL ALTO EN EL SINDICATO "SAGRADO CORAZÓN DE JESÚS" a favor de los autores: DAVID FEDERICO TOLA ZAPATA con C.I. Nº 6784972 LP, EDWIN NINA ALVARADO con C.I. Nº 8403471 LP y EDWIN BARRENOSO BARRERA con C.I. Nº 10955112 LP y como titular derivado: INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA, UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO - UPEA con NIT Nº 122025022 representado legalmente por CARLOS CONDORI TITIRICO.



Oficina Central - La Paz
Av. Montes, No 575,
entre Esq. Uruguay y
C. Bolívar Obispo,
Telf.: 2195700 - 2195275
2195251 Fax: 2195290

Oficina - Santa Cruz
Av. Uruguay, Calle
prolongación Quijano,
Nº 75, Edif. Bizantino,
Telf.: 3272752 - 72042936

Oficina - Cochabamba
Calle Chuquisaca, Nº 649,
Piso 2, entre Antezana y Lanza
zona Central - Inoreste,
Telf.: 4441403 - 72042957

Oficina - El Alto
Av. Juan Pablo II, Nº 2550
Edif. Multicentro El Ceibo
Llida, Piso 2, Of. 58,
zona 16 de Julio,
Telf.: 7041001 - 72043029

Oficina - Chuquisaca
Calle Kilómetro 2, Nº 366
caso Esq. Uribeagotia,
zona Parque Bolívar,
Telf.: 72045873

Oficina - Tarija
Calle Ingaré, Nº 385
entre Santa Cruz
y Méndez, zona
La Pampa,
Telf.: 72042886

Oficina - Oruro
Calle 6 de Octubre,
Nº 5871, entre Ayacucho
y Junco, Galería Central,
Of. 14 (Ex Banco Fiel)
Telf.: 6740288



Oficina - Potosí
Av. Villafra, entre calles
Monseñor Alba y San Alberto,
Edif. AM, Salinas Nº 261,
Primer Piso, Of. 17,
Telf.: 6740288

www.senapi.gob.bo



ESTADO PLURINACIONAL DE BOLIVIA

MINISTERIO DE DESARROLLO PRODUCTIVO Y ECONOMÍA PLURAL

- "ESTUDIO DE LA RADIACIÓN SOLAR MEDIANTE LA AUTOMATIZACIÓN DE PANELES FOTOVOLTAICOS A FIN DE TRAZAR LAS CURVAS DE COMPORTAMIENTO PARA LA CIUDAD DE EL ALTO" a favor de los autores: JUAN CARLOS YANA MAQUERA con C.I. N° 8359559 LP, EDWIN LUIS FLORES MENACHO con C.I. N° 4938195 LP, CARLOS HENRY COCASAPA CALLISAYA con C.I. N° 8466970 LP, DENNIS MIGUEL MONTAÑO COLQUEHUANCA con C.I. N° 7031184 LP y RUBÉN CARLOS QUISPE APAZA con C.I. N° 6733172 LP y como titulares derivados: "INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA" Y "INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA ELECTRICA", UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO - UPEA con NIT N° 122025022 representado legalmente por CARLOS CONDORI TITIRICO.

Quedando amparado su derecho conforme a Ley, salvando el mejor derecho que terceras personas pudiesen demostrar.

Regístrese, Comuníquese y Archívese.

[Handwritten Signature]
 Abg. Carlos Alberto Soruco Arroyo
 DIRECTOR DE DERECHO DE AUTOR
 Y DERECHOS CONEXOS
 SERVICIO NACIONAL DE PROPIEDAD INTELECTUAL



CASA/Inca
e.c Arch.

"2022 AÑO DE LA REVOLUCIÓN CULTURAL PARA LA DESPATRIARCALIZACIÓN:
POR UNA VIDA LIBRE DE VIOLENCIA CONTRA LAS MUJERES"



Oficina Central - La Paz
Av. Moravia, No 375,
entre Dos Arqueólogos
& C. Bazarón Bazarón
Telf.: 2105000 - 2105000
2105000 Fax: 2105000

Oficina - Santa Cruz
Av. Brigadier Calle
prolongación Suñeris,
N° 20, Edif. Bismarck
Telf.: 3201500 - 3201500

Oficina - Cochabamba
Calle Chapulaca, N° 543,
Piso 2, entre Antaresa y Lanza
zona Central - Noroeste.
Telf.: 4104465 - 72062952

Oficina - El Alto
Av. Juan Pablo II, N° 2560
Edif. Multicentro El Ceiba
1da. Piso 2, Of. 58,
zona N de Núro.
Telf.: 7241001 - 72063029

Oficina - Ortopista
Calle Kilómetro 2, N° 366
caso con Hermolagosa,
zona Parque Bolivia.
Telf.: 72045873

Oficina - Tarija
Calle Inga, N° 385
entre Santa Cruz
y Méndez, zona
La Palma.
Telf.: 72045286

Oficina - Oruro
Calle 6 de Octubre,
N° 6872, entre Ayacucho
y Surco, Galería Central,
Of. N. 10, Banco Fiel.
Telf.: 6200088

Oficina - Potosí
Av. Villarroel entre Colón,
Monseñor Albo y San Alberto,
Edif. AM, Salinas N° 262,
Primer Piso, Of. 12

www.senapi.gob.bo

Anexo N° 2 Convenio entre Carreras Ingeniería Electrónica – Ingeniería Eléctrica



Universidad Pública de El Alto
Creada por Ley 2115 del 5 de Septiembre de 2000 y Autónoma por Ley 2556 del 12 de Noviembre de 2003

**CONVENIO INTERINSTITUCIONAL DE COOPERACIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y CARRERA DE INGENIERÍA
ELÉCTRICA DE LA UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO (UPEA)**

En el marco de la Constitución Política del Estado, la Ley N° 031 del 19 de julio de 2010, la Ley N° 492 de fecha 25 de enero de 2014, Ley N° 2556 de 12 de noviembre de 2003, se suscribe el presente Convenio Interinstitucional entre **LA CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y LA CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA DE LA UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO**, al tenor y contenido de las siguientes cláusulas:

PRIMERA (PARTES). - Intervienen en la celebración y suscripción del presente Convenio Interinstitucional las siguientes partes:

- I.** La Carrera de Ingeniería Electrónica representado legalmente por la **M. Sc. Ing. Fernando Quispe Suca** con Cédula de Identidad N° **4894380 LP** en calidad de **DIRECTOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA.**
- II.** La Carrera de Ingeniería Eléctrica representado legalmente por el **Ing. Germán Bravo Choque** con Cédula de Identidad N° **6008347 LP** en calidad de **DIRECTOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA.**

SEGUNDA (ANTECEDENTES DEL CONVENIO). -

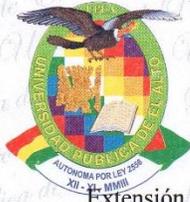
La Universidad Pública de El Alto (UPEA), creada por Ley N° 2115 de 5 de septiembre de 2000 y declarada Autónoma mediante Ley N° 2556 de 12 de noviembre de 2003, es reconocida por la Constitución Política del Estado Plurinacional de Bolivia como una institución autónoma, plena y de servicio social en la formación de recursos humanos profesionales a través de sus distintas Carreras universitarias, no solo de la población de la ciudad de El Alto, sino también de todas las provincias y especialmente del Departamento de La Paz, que permitan cumplir con el desarrollo y la superación técnico-científica de la sociedad boliviana; y que actualmente se encuentra plenamente reconocida como universidad que forma parte del sistema de universidades de Bolivia, en igual jerarquía y de condiciones institucionales; fortaleciendo la investigación, la cultura y que debe estar consustanciada al mismo tiempo, con el rol social que debe cumplir la universidad del futuro en nuestro país.

El Art. 92 de la Constitución Política del Estado, establece que “Las Universidades Públicas son Autónomas e Iguales en Jerarquía. La autonomía consiste en la libre administración de sus recursos, el nombramiento de sus autoridades, su personal docente y administrativo; la elaboración y aprobación de sus estatutos, planes de estudio y presupuestos anuales; y la aceptación de legados y donaciones, así como la celebración de contratos, para realizar sus fines y sostener y perfeccionar sus institutos y facultades...”

Por lo cual, en cumplimiento al Estatuto Orgánico de la Universidad Pública de El Alto, aprobada en su II Congreso ordinario, el Reglamento de Convenios Interinstitucionales y el Plan General de

1

Dir.: Av. Sucre A s/n Villa Esperanza Telf.: (591-2) 2-844177 - Fax.: (591-2) 2-845800 www.upea.edu.bo



Universidad Pública de El Alto

Creada por Ley 2115 del 5 de Septiembre de 2000 y Autónoma por Ley 2556 del 12 de Noviembre de 2003

Extensión Universitaria, donde se establece la planificación, coordinación e interacción de la Universidad Pública de El Alto con las distintas instituciones o personas jurídicas de la sociedad boliviana a través de la suscripción de convenios u otros documentos de extensión e interacción social; y así alcanzar la misión de cumplir los fines y objetivos de esta casa superior de estudios para los cuales fue creada, como una institución de servicio a nuestra sociedad.

TERCERA (MARCO LEGAL). -

A los efectos del presente Convenio, constituyen la base legal, los siguientes: la Constitución Política del Estado; Ley N° 031 de 19 de junio de 2010; Ley N° 492 de fecha 25 de enero de 2014 y demás normativa legal aplicable.

El Decreto Supremo N° 1321, de 13 de agosto de 2012, tiene por objeto promover y consolidar la realización de pasantías, proyectos de grado, trabajos dirigidos y tesis de los estudiantes de las universidades públicas autónomas y universidades indígenas, en las entidades públicas.

CUARTA (OBJETO DEL CONVENIO). -

El presente convenio y/o acuerdo tiene por objeto lograr una amplia cooperación y trabajo conjunto y coordinado entre la carrera Ingeniería Electrónica y la carrera Ingeniería Eléctrica en cuanto a formación profesional, fortalecimiento institucional, integración social, apoyo y asesoramiento técnico - científico, investigación, servicios y otros de acuerdo a necesidades y disposiciones de cada entidad y así llevar adelante el proyecto de investigación multidisciplinario titulado: **“ESTUDIO DE LA RADIACIÓN SOLAR MEDIANTE LA AUTOMATIZACION DE PANELES FOTOVOLTAICOS A FIN DE TRAZAR LAS CURVAS DE COMPORTAMIENTO PARA LA CIUDAD DE EL ALTO”** de los cuales se tenga relación de acuerdo al área que les corresponda, así también poder realizar actividades académicas entre las carrera de Ingeniería Electrónica y la Carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Pública de El Alto.

QUINTA COMPROMISO DE LAS PARTES.

De la Carrera de Eléctrica con el presente acuerdo son:

- Aportar con información pertinente al tema de investigación para la evaluación y desarrollo del proyecto.
- Dotar de los equipos y medición de las variables identificadas y relacionados con el proyecto de investigación sea con los materiales y logística necesaria para llevar adelante el proyecto de investigación.
- Participación conjunta para la socialización del proyecto de investigación multidisciplinario.
- Beneficiar con descuentos al 50% para los estudiantes de la carrera ingeniería electrónica en actividades de extensión como ser: seminarios, talleres, capacitaciones y otros.



Universidad Pública de El Alto

Creada por Ley 2115 del 5 de Septiembre de 2000 y Autónoma por Ley 2556 del 12 de Noviembre de 2003

- Facilitar los ambientes de la carrera ingeniería eléctrica para la realización de programas de capacitación relacionados a la investigación.

De la **Carrera de Electrónica** con el presente acuerdo son:

- Realizar sistema de monitoreo y de control con el fin de adquirir, almacenar y sistematizar datos instantáneos para el presente proyecto.
- Permitir a los estudiantes de la carrera Ingeniería Eléctrica puedan acudir a los investigadores para que reciban conocimientos y asesoría.
- Tener descuentos de interacción a profesionales y estudiantes en las áreas académicas de interés y beneficio mutuo.
- Promover el fortalecimiento de programas de capacitación de docencia e investigación para el beneficio mutuo.
- Participación conjunta para la socialización del proyecto de investigación multidisciplinario.

SEXTA (OBLIGACIONES DE LAS PARTES). -

7.1. Obligaciones de las carreras de Ingeniería Electrónica e Ingeniería Eléctrica que componen el presente convenio interinstitucional:

- a) Refrendar el acuerdo de Compromiso Individual.
- b) Facilitar a los estudiantes, docentes e investigadores los espacios y medios requeridos para el desarrollo de las actividades acordadas en el marco del presente Convenio.
- c) Gestionar el préstamo y uso de ambientes o instalaciones de las **Carreras de Ingeniería Electrónica e Ingeniería Eléctrica** para llevar a cabo la investigación durante el tiempo que dure la investigación a solicitud anticipada de ambas partes, para la realización de eventos y actividades de carácter interinstitucional, siempre que exista disponibilidad, previo cumplimiento de las formalidades, procedimientos y normativa vigente aplicable.
- d) Incentivar la transferencia de conocimiento, a través de reuniones y mesas de trabajo en los diferentes aspectos académicos por los docentes y estudiantes investigadores de cada carrera.
- e) Designar al personal técnico encargado para el préstamo de laboratorios que tenga la formación requerida si fuese necesario, para el uso de los equipos, herramientas en ambas carreras durante el tiempo de investigación a ser realizado por los estudiantes y docentes investigadores del tema de investigación mencionado.
- f) Coordinar ambas partes del presente convenio, la elaboración de talleres, programas, cursos y otros de interés mutuo, así como la obtención de fondos de financiamiento, para la compra de mecanismos necesarios.



Universidad Pública de El Alto

Creada por Ley 2115 del 5 de Septiembre de 2000 y Autónoma por Ley 2556 del 12 de Noviembre de 2003

- g) Coordinar actividades de investigación e innovación en campos donde de acuerdo a la naturaleza de los mismos sea necesaria la intervención de las Carreras de Ingeniería Electrónica e Ingeniería Eléctrica.
- h) Transferencia de los resultados obtenidos del proyecto de investigación multidisciplinaria llevada por ambas partes, en las bibliotecas de cada una de las carreras por parte de los docentes investigadores.
- i) Cumplir con el presente Convenio.

SÉPTIMA (NATURALEZA DEL CONVENIO). -

El presente Convenio tiene como única finalidad implementar una Relación de Cooperación Interinstitucional entre partes, colaboración en temas de investigación y académicos para estudiantes docentes e investigadores de las **Carreras de Ingeniería Electrónica e Ingeniería Eléctrica**, por ello no está sujeto a las normas laborales vigentes y no genera responsabilidad ni obligación económica alguna de entre las **carreras** ni con los estudiantes de esta. Asimismo, no constituye un compromiso legal a futuro y no compromete a las partes a mantener una relación de carácter laboral o académica con los estudiantes y/o egresados de cada carrera.

OCTAVA (COORDINACIÓN Y EJECUCIÓN). -

El personal responsable de la coordinación del presente Convenio serán los Coordinadores de los Institutos de Investigación y los docentes investigadores del tema de investigación mencionada de las **Carreras de Ingeniería Electrónica e Ingeniería Eléctrica**, debiendo comunicar a su contraparte dicho extremo conforme a lo dispuesto en la Cláusula Décima tercera de este Convenio.

Por otra parte el personal responsable en la ejecución del proyecto estará a cargo de los profesionales **Ing. Juan Carlos Yana Maquera** con Cédula de Identidad N° **8359559 LP** en calidad de **Docente Investigador** de la Carrera de Ingeniería Electrónica y el **Ing. Edwin Luis Flores Menacho** con Cedula de Identidad N° **4938195 L.P.** en calidad de **Docente Investigador** de la Carrera Ingeniería Eléctrica.

NOVENO (VIGENCIA). -

El presente Convenio tendrá una vigencia a partir de la firma de convenio hasta el 31 de diciembre del año 2023, computables a partir de su suscripción pudiendo ser renovado o modificado previa evaluación y acuerdo expreso de las partes.

DÉCIMA (MODIFICACIONES). -

El presente Convenio podrá ser complementado o modificado previo acuerdo expreso y escrito entre las partes, debiendo la parte interesada proponer las modificaciones y/o ampliación por escrito para consideración de la contraparte mediante las notas correspondientes.

DÉCIMA PRIMERO (RESOLUCIÓN DEL CONVENIO). -



Universidad Pública de El Alto

Creada por Ley 2115 del 5 de Septiembre de 2000 y Autónoma por Ley 2556 del 12 de Noviembre de 2003

En caso de que cualquiera de las partes decidiera resolver el Convenio antes del plazo establecido en la Cláusula Décima, dará aviso justificado en forma expresa con un (1) mes de anticipación a la otra parte. Las actividades iniciadas y en curso de ejecución continuarán hasta que se cumpla el plazo determinado.

El término de Convenio no afectará la culminación de las obligaciones /compromisos pendientes a la fecha de su resolución.

DÉCIMA SEGUNDA (DOMICILIO A EFECTOS DE NOTIFICACIÓN). -

Las Partes acuerdan que cualquier comunicación y/o notificación que deba cursarse entre las mismas, se efectuará por escrito de acuerdo al procedimiento siguiente:

- Mediante cartas, simples o notariales presentadas o enviadas a dirección mediante secretaria de cada carrera. Las cartas se reputarán cursadas en las fechas de recepción de las mismas de conformidad con el sello de recepción.
- Todas las notificaciones o comunicaciones previstas en este Convenio deberán hacerse por escrito o mail enviadas a las direcciones y/o oficinas correspondientes que se indican a continuación, directamente por las Partes.

La Carrera de Ingeniería Electrónica e Ingeniería Eléctrica ubicada en la calle George Squier N°1080, Zona Villa Tejada Rectangular de la ciudad de El Alto.

DÉCIMA TERCERO (CONFORMIDAD Y ACEPTACIÓN). -

Estando las partes celebrantes de acuerdo con todas y cada una de las cláusulas del presente convenio y/o acuerdo lo suscriben en ocho (6) copias originales de un mismo tenor y validez legal.

Es dado en la Ciudad de El Alto de la Universidad Pública de El Alto del Departamento de La Paz, a los 17 días del mes de junio de dos mil veinte dos años.


 MSc. Ing. Fermán Luis Suca
 DIRECTOR DE CARRERA
 INGENIERÍA ELECTRÓNICA
 Universidad Pública de El Alto


 Ing. German Bravo Choque
 DIRECTOR
 CARRERA DE INGENIERIA ELECTRICA
 UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO





Anexo Nº 3 Programación utilizada en Matlap para el funcionamiento de SIM900 y sensores

```

////////////////////////////////// SIM 900 Y SENSORES
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <SoftwareSerial.h>
#include <String.h>
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 20, 4); // set the LCD address to 0x27 for a 16 chars and 2 line display

int UV_OUT = A0; //Sensor Output
int REF_3V3 = AI; //3.3V power on the Arduino board
int on=9;

SoftwareSerial Sim900Serial(7, 8); //Configuración de los pines serial por software
int analogica;
float power ;
String powe;
void setup()
{ Sim900Serial.begin(19200); //Arduino se comunica con el SIM900 a una velocidad de 19200bps
  Serial.begin(19200); //Velocidad del puerto serial de arduino

  Serial.println("ML8511");
  pinMode(on,OUTPUT);
  //////////////////////////////////// LCD ////////////////////////////////////
  lcd.init(); // initialize the lcd clear()
  // Print a message to the LCD.
  lcd.backlight();
  lcd.setCursor(2, 0);
  lcd.print("HOLA ");
  delay(2000);
  lcd.setCursor(2, 1);
  lcd.print("Iniciando");
  delay(2000);
  lcd.setCursor(2, 1);
  lcd.print("Iniciando.");
  delay(2000);
  lcd.setCursor(2, 1);
  lcd.print("Iniciando..");
  delay(2000);
  lcd.setCursor(2, 1);
  lcd.print("Iniciando...");
  delay(2000);
  lcd.setCursor(2, 0);
  lcd.print("Bienvenido ");
  delay(3000);

  digitalWrite(on, HIGH);
  delay(1000);

```



```

    mostrarDatosSeriales();
    Sim900Serial.println("AT+CIPSEND");//ENVÍA DATOS A TRAVÉS DE una CONEXIÓN TCP O
    UDP
    delay(4000);
    mostrarDatosSeriales();
    String datos = "GET https://api.thingspeak.com/update?api_key=DT9IDOXDAELILB0V&field1=" +
    String(powe);
    Sim900Serial.println(datos);//Envía datos al servidor remoto
    Serial.print("dato enviado ");
    Serial.println(power);//Imprime
    delay(4000);
    mostrarDatosSeriales();
    Sim900Serial.println((char)26);
    delay(5000);//Ahora esperaremos una respuesta pero esto va a depender de las condiciones de la red y este valor
    quizá debamos modificarlo dependiendo de las condiciones de la red
    Sim900Serial.println();
    mostrarDatosSeriales();
    Sim900Serial.println("AT+CIPSHUT");//Cierra la conexión(Desactiva el contexto GPRS PDP)
    delay(5000);
    mostrarDatosSeriales();
  }

void mostrarDatosSeriales()//Muestra los datos que va entregando el sim900
{
  while (Sim900Serial.available() != 0)
    Serial.write(Sim900Serial.read());
}

void grados() { //Función para la lectura del sensor
  //analogica=analogRead(0);

  int uv_Level = analogRead_average(UV_OUT);
  int ref_Level = analogRead_average(REF_3V3);

  //Use the 3.3V power pin as a reference to get a very accurate output value from sensor
  float output_Voltage = 3.3 / ref_Level * uv_Level;

  float uvIntensity = mapfloat(output_Voltage, 0.99, 2.8, 0.0, 15.0); //Convert the voltage to a UV intensity
  level -numbers from datasheet-

  Serial.print("ML8511 output: ");
  Serial.print(uv_Level);

  Serial.print(" / ML8511 voltage: ");
  Serial.print(output_Voltage);

  Serial.print(" / UV Intensity (mW/cm^2): ");
  Serial.print(uvIntensity);

```

```

lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("Rad:");
lcd.setCursor(4, 0);
lcd.print(uvIntensity);
lcd.setCursor(9, 0);
lcd.print("mW/cm^2");

Serial.println();

powe= uvIntensity;
power = uvIntensity ;
Serial.print("El valor de la senal analogica es: ");
Serial.println(power);//Imprime la temperatura
}

//////////////////////////////////// para ML8511
////////////////////////////////////
int analogRead_average(int pinToRead)
{
  int NumberOfSamples = 8;
  int runningValue = 0;

  for (int x = 0; x < NumberOfSamples; x++)
    runningValue += analogRead(pinToRead);
  runningValue /= NumberOfSamples;

  return (runningValue);
}
//////////////////////////////////// ML8511
////////////////////////////////////
float mapfloat(float x, float in_min, float in_max, float out_min, float out_max)
{
  return (x - in_min) * (out_max - out_min) / (in_max - in_min) + out_min;
}

```

Anexo N° 4 Programación utilizada para medidas de corriente con el **ACS712**

```
float Sensibilidad=0.185; //sensibilidad en Voltios/Amperio para sensor de 5A

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

void loop() {

  float voltajeSensor= analogRead(A0)*(5.0 / 1023.0); //lectura del sensor
  float I=(voltajeSensor-2.5)/Sensibilidad; //Ecuación para obtener la corriente
  Serial.print("Corriente: ");
  Serial.println(I,3);
  delay(200);
}
```

Después de conectar el amperímetro y el sensor, debemos de tomar lecturas de voltaje del sensor, esto se hace con el siguiente programa.

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

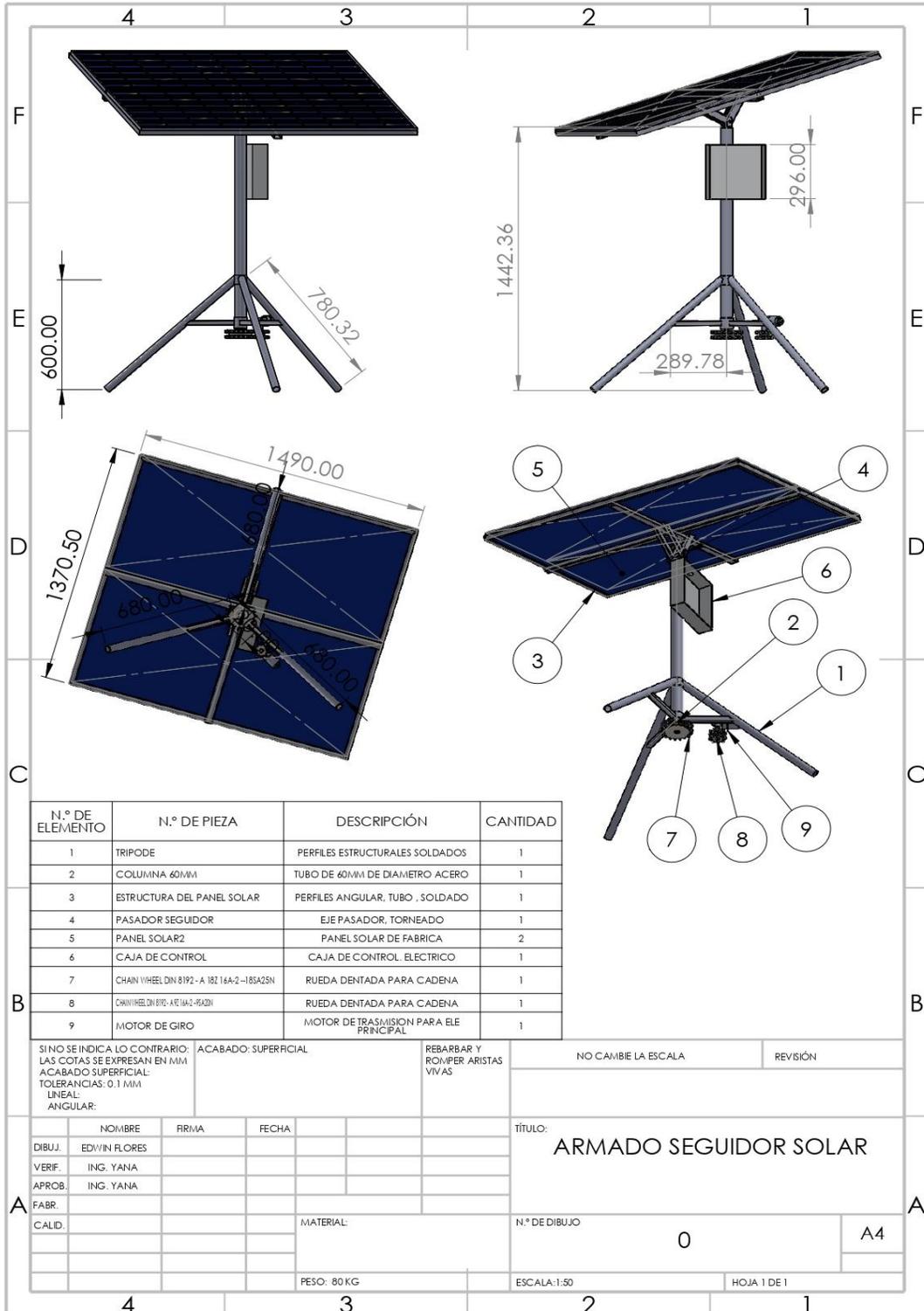
void loop() {
  float voltajeSensor =get_voltage(10000);//obtenemos voltaje del sensor(10000
muestras)
  Serial.print("Voltaje del sensor: ");
  Serial.println(voltajeSensor ,3);
}

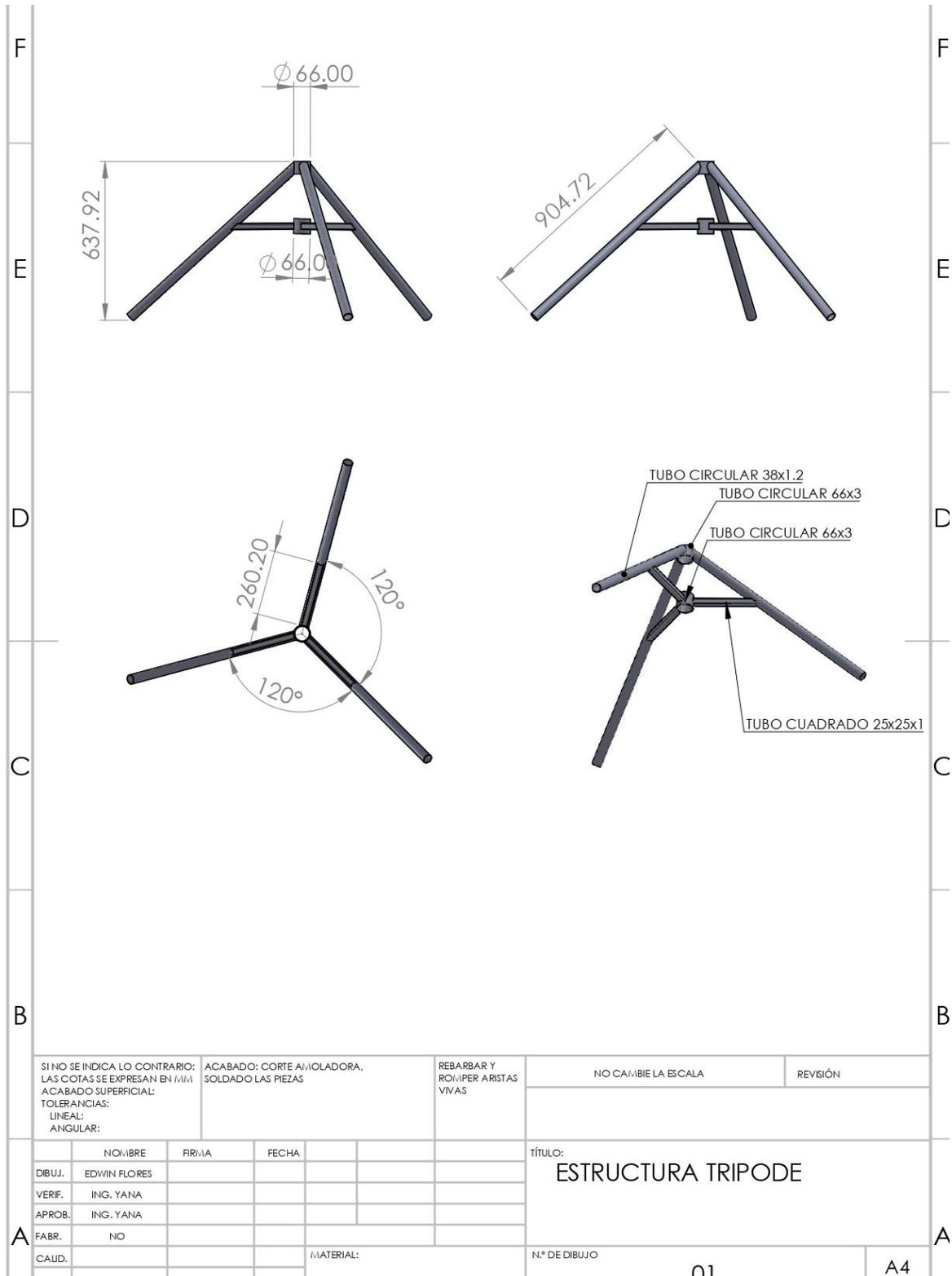
float get_voltage(int n_muestras)
{
  float voltage=0;

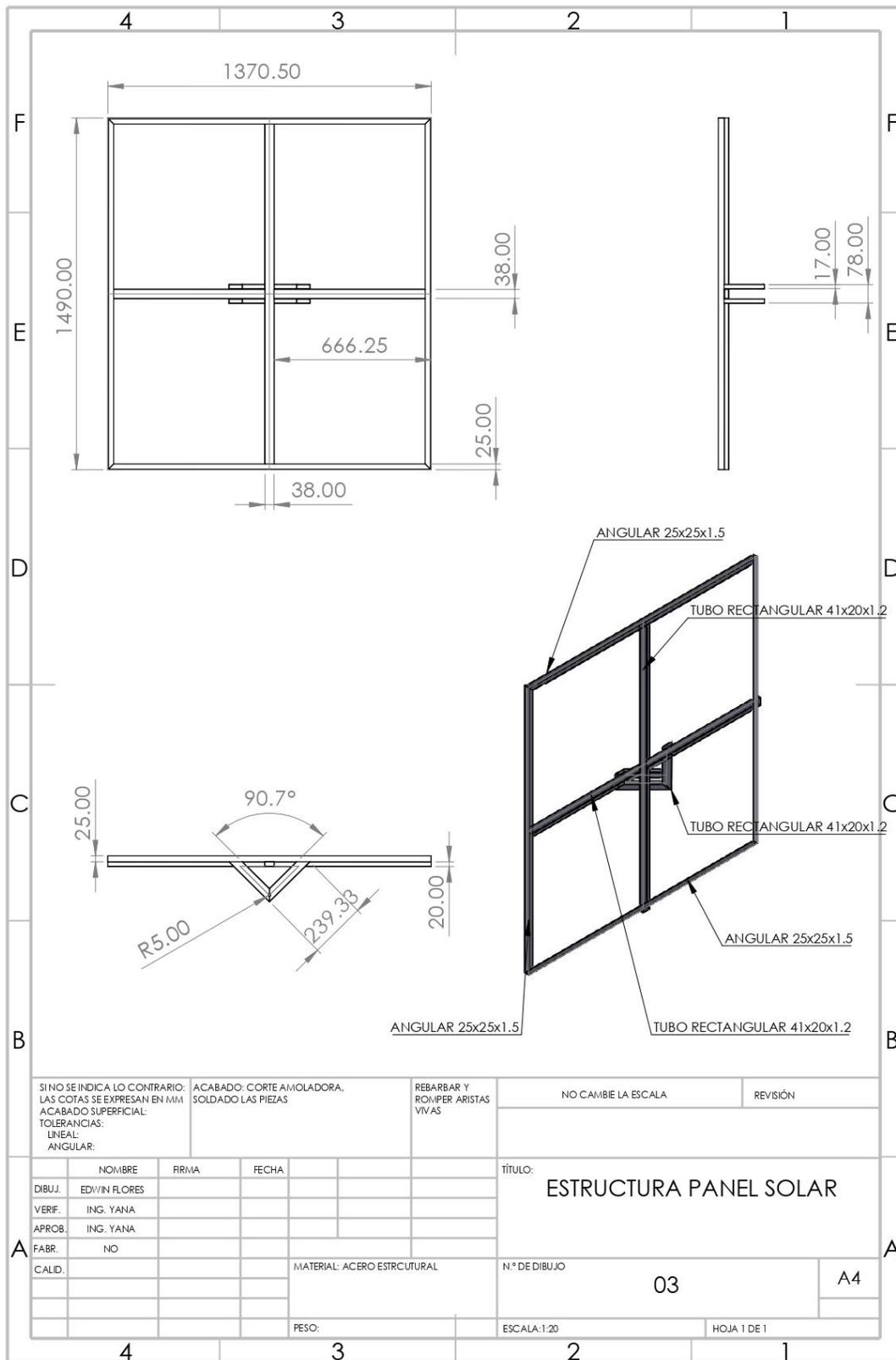
  for(int i=0;i<n_muestras;i++)
  {
    voltage =voltage+analogRead(A0) * (5.0 / 1023.0);
  }
  voltage=voltage/n_muestras;
  return(voltage);
}
```

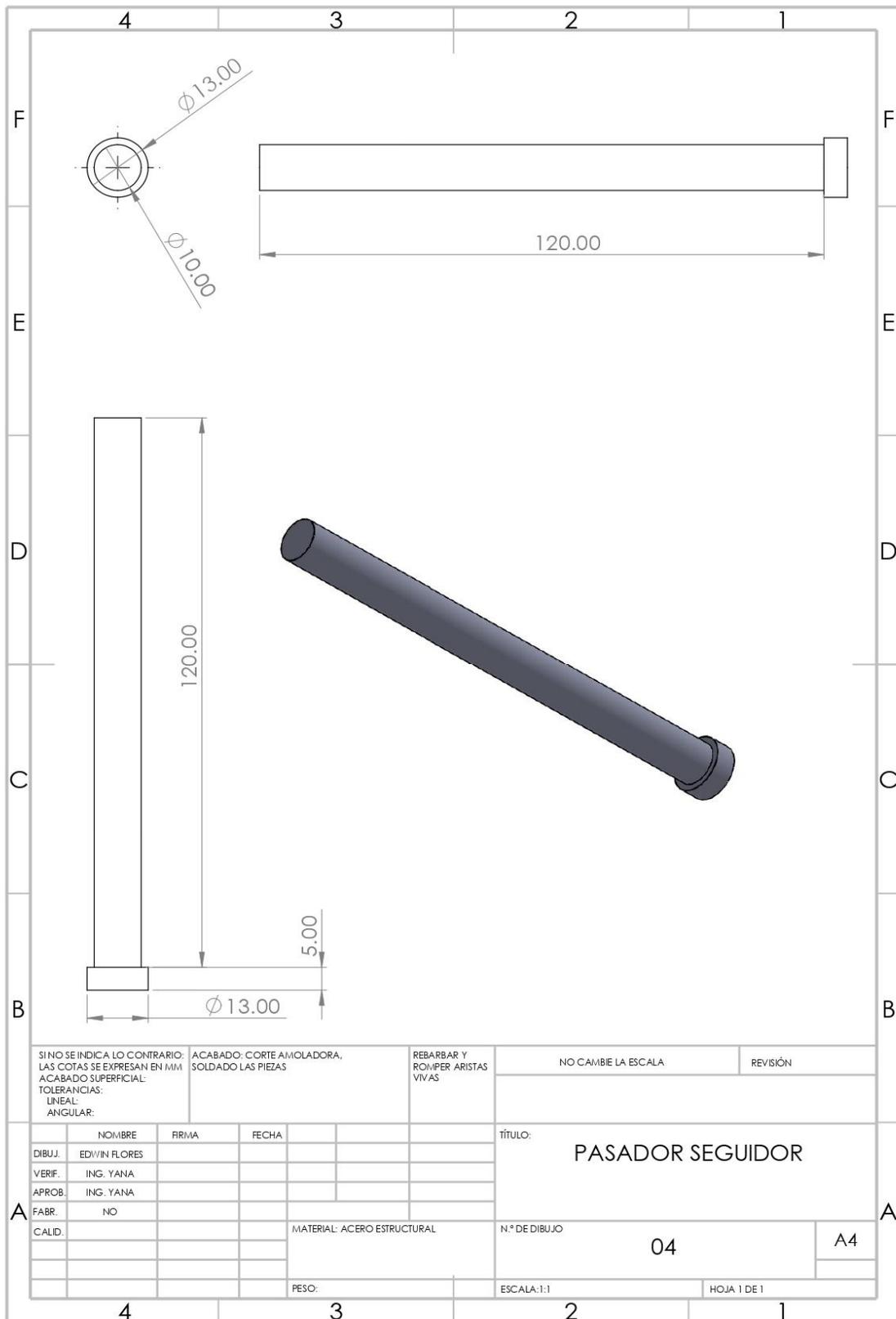
Fuente: Elaboración propia de la investigación, 2022

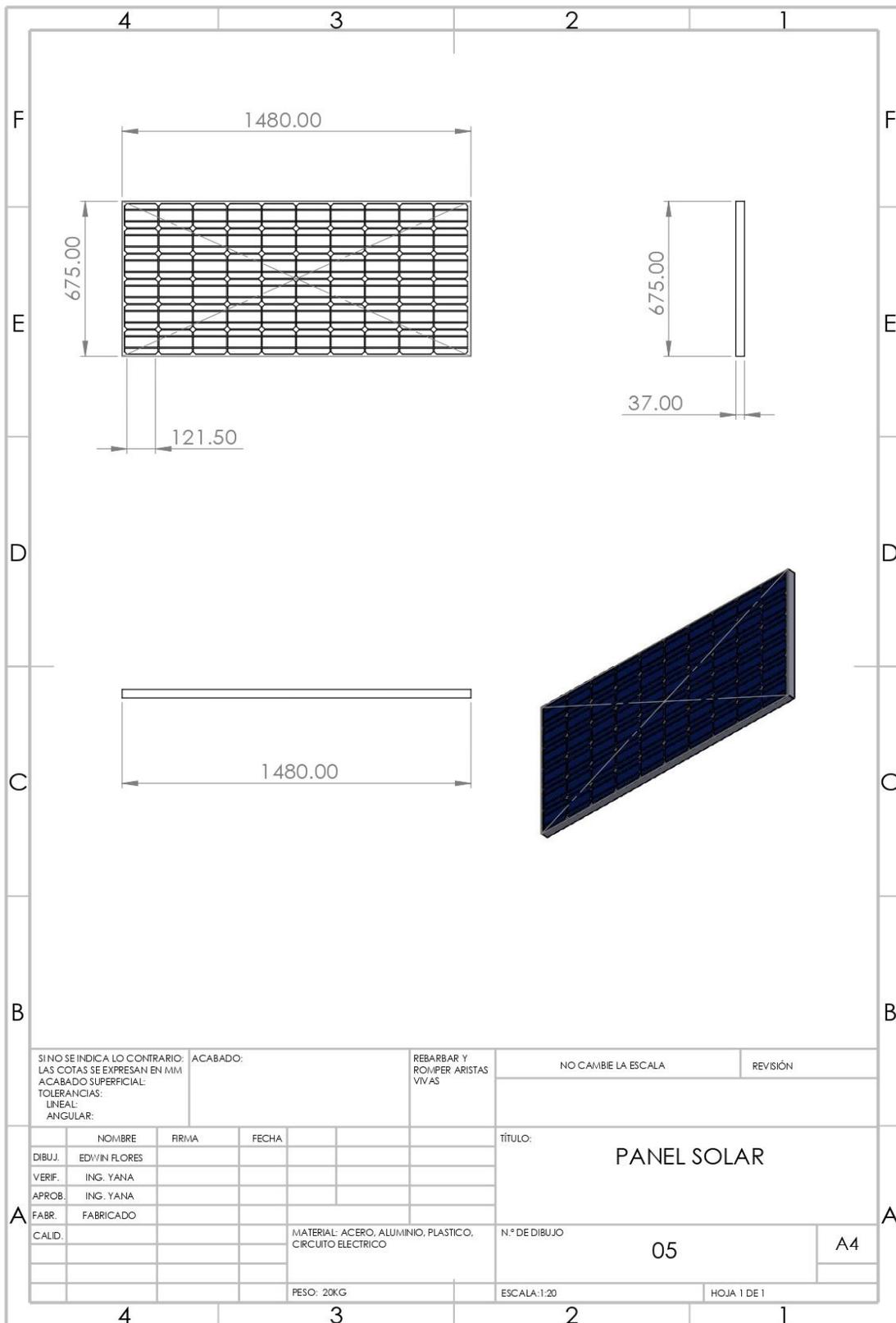
Anexo Nº 5 Diseño de planos de construcción de seguidor solar

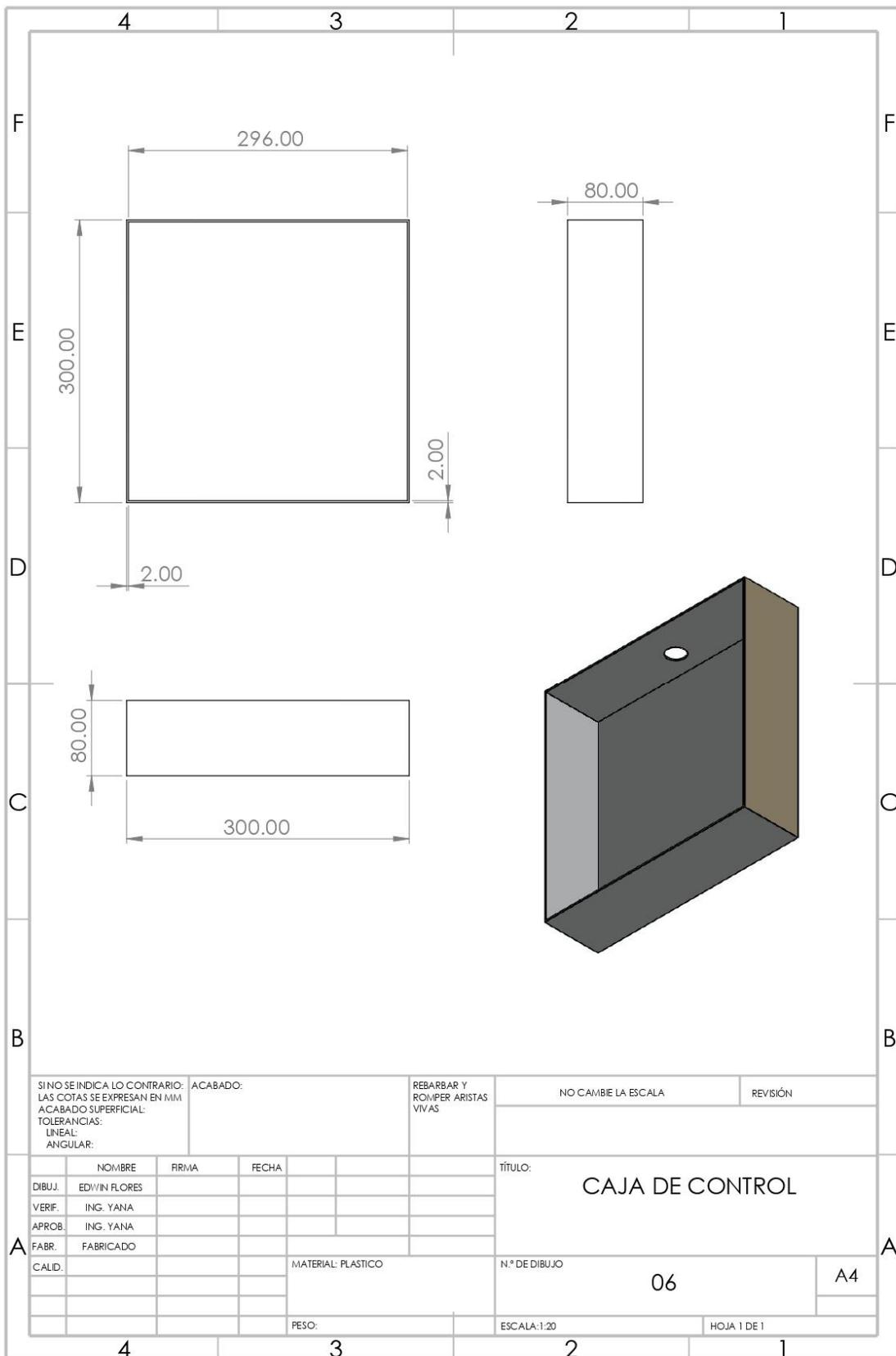




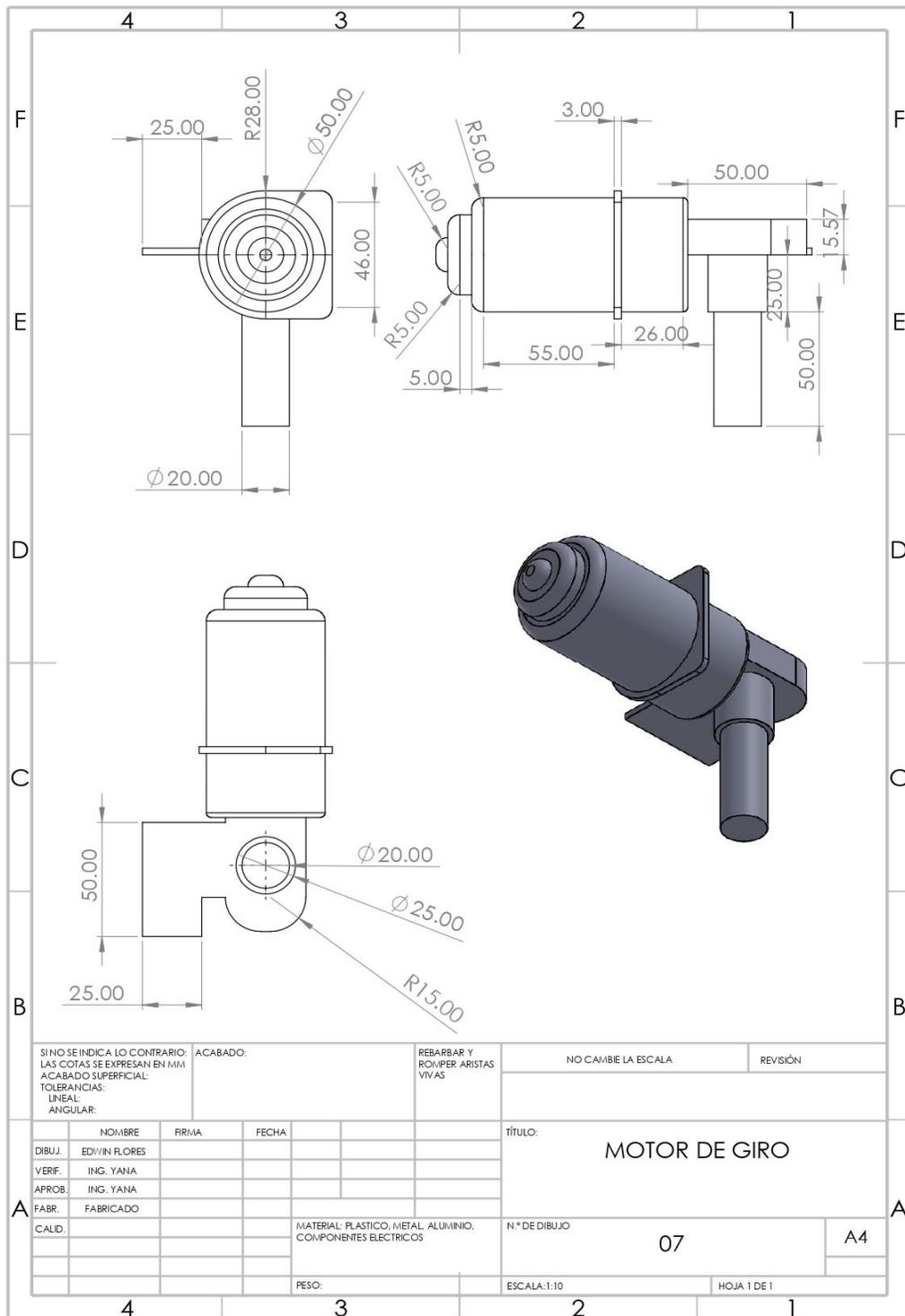








ESTUDIO DE LA RADIACIÓN SOLAR MEDIANTE LA AUTOMATIZACIÓN DE PANELES FOTOVOLTAICOS A FIN DE TRAZAR LAS CURVAS DE COMPORTAMIENTO PARA LA CIUDAD DE EL ALTO.



Fuente: Elaboración propia de la investigación, 2022

Anexo N° 6 Costo de materiales empleados en la construcción de seguidor solar**Tabla N° 13**

Instrumentos de Seguidor Solar para el estudio

| Nº | MATERIAL E INSUMOS | CANTIDAD | COSTO UNITARIO (Bs) | COSTO TOTAL (Bs) | OBSERVACIONES |
|-------|---|----------|---------------------------|------------------------|---|
| 1 | Panel Fotovoltaico, capacidad 200[W] | 2 | - | - | Adquirido por la carrera |
| 2 | Regulador de carga para 30 [A] | 1 | 350 | 350 | Adquirido por el Instituto de Investigaciones |
| 3 | Batería 50[Ah] | 1 | - | - | Adquirido por la carrera |
| | Inversor 1500[w] | 1 | 450 | 450 | Adquirido por el Instituto de Investigaciones |
| 4 | Sensor de luz | 2 | 50 | 100 | Por definir |
| 5 | Sensor de temperatura PT100 | 1 | 175 | 175 | Adquirido por el Instituto de Investigaciones |
| 6 | Sensor UV | 2 | 70 | 70 | Por definir |
| 7 | Sensor de corriente eléctrica | 2 | 25 | 50 | Por definir |
| 8 | Sensor de voltaje | 2 | 25 | 50 | Por definir |
| 9 | Servomotor, con sistema de transmisión tornillo y engranaje para automóvil. | 1 | 50 | 50 | Adquirido por el Instituto de Investigaciones |
| 10 | Sistema de transmisión cadena y rueda catalina | 2 | 60 | 120 | Adquirido por el Instituto de Investigaciones |
| | Pernos docena | 1 | 20 | 20 | |
| 11 | Rodamiento cónico | 1 | 20 | 20 | Adquirido por el Instituto de Investigaciones |
| 12 | Cables, conectores | 1 | 300 | 300 | |
| 13 | Tablero control y automatización | 2 | 20 | 40 | Adquirido por el Instituto de Investigaciones |
| 14 | Pantalla LCD | 2 | 40 | 80 | Por definir |
| 15 | Perfiles estructurales | 1 | 280 | 280 | Adquirido por el Instituto de Investigaciones |
| 16 | Electrodos 6013 | 3 | 30 | 90 | Adquirido por el Instituto de Investigaciones |
| | Pirómetro | 1 | - | - | Préstamo |
| 17 | Varios | 1 | 500 | 500 | |
| TOTAL | | | | 2665 | |

Fuente: Elaboración Propio según cotización del material, 2022

Anexo N° 7 Costo de materiales el sistema de monitoreo y control

Tabla N° 14

Costo de Materiales para la construcción de sistema de monitoreo

| Materiales | Cantidad | Precio unitario |
|-----------------------------|----------|-----------------|
| SIM900 | 1 | 190 |
| ML8511 | 1 | 65 |
| GUVA-S12SD | 1 | 43 |
| DHT22 | 1 | 44 |
| FZ0430 | 1 | 15 |
| ACS712 | 1 | 25 |
| LCD 16X2 1602A CON I2C | 1 | 35 |
| ARDUINO NANO | 1 | 65 |
| RELOJ DE TIEMPO REAL DS1302 | 1 | 20 |
| GY-BMP280 3.3V | 1 | 18 |
| DETECCIÓN DE GOTAS LLUVIA | 1 | 15 |
| Pulsadores | 1 | 10 |
| Leds | 1 | 10 |
| Caja PVC | 1 | 20 |
| Fuente 12V 3 A | 1 | 70 |
| Placa PBC | 1 | 40 |
| TARJETA PERFORADA | 1 | 25 |
| ESTAÑO | 1 | 35 |
| PASTA DE SOLDADURA VERA | 1 | 15 |
| CABLES DE CONEXIÓN | 1 | 20 |
| PIN HEADER MACHO | 1 | 10 |
| PIN HEADER HEMBRA | 1 | 10 |
| TOTAL | | 800 |

Fuente: Elaboración Propio según cotización del material, 2022

Anexo Nº 8 Fotografías de la construcción y automatización del seguidor solar



Fuente: Fotografías propios de la investigación 2022

Anexo Nº 9 Sistema de monitoreo y control del seguidor solar



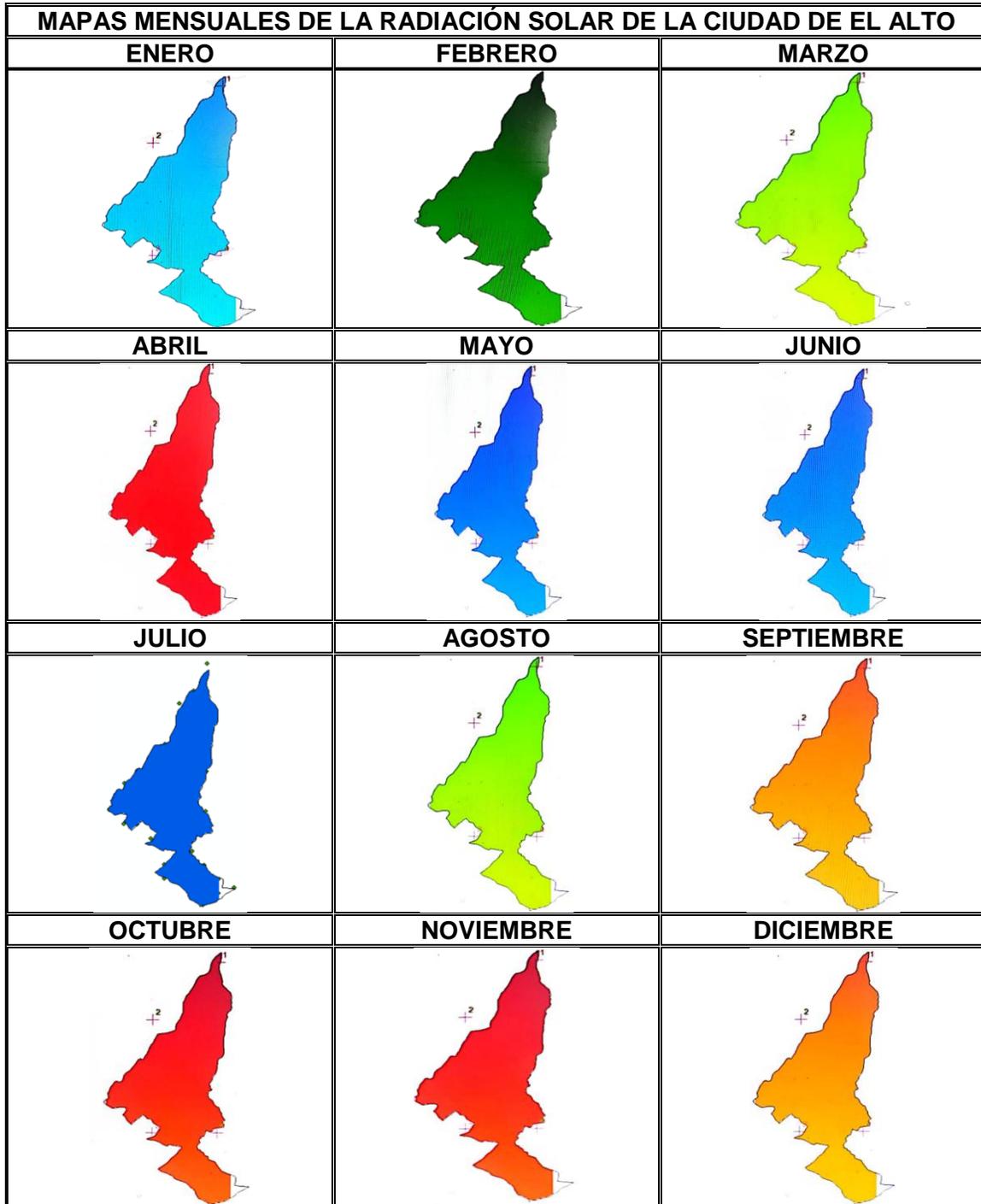
Fuente: Fotografías propios de la investigación 2022

Anexo Nº 10 Equipo de investigación



Fuente: Fotografías propios de la investigación 2022

Anexo Nº 11 Resultados de la cartografía de radiación solar de la ciudad de El Alto, obtenida para los 12 meses con datos de la gestión 2015 de la NASA.



Fuente: Elaboración Propia, distribución de la radiación solar global de la Ciudad de El Alto