



# **UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**

## **FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**

### **CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA**

#### **PROPUESTA TECNOLÓGICA**

**“CARACTERIZACIÓN DEL RECURSO SOLAR PARA EVALUAR EL POTENCIAL ENERGÉTICO EN EL CAMPUS MATRIZ DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”**

Proyecto de Titulación presentado previo a la obtención del Título de Ingenieros en Electromecánica

#### **Autores:**

Edgar German Quinchiguango Ayala

Edwin Fernando Quispe Curay

#### **Tutor:**

Ing. Ms.C. Cristian Fabián Gallardo Molina

Latacunga – Ecuador



## DECLARACIÓN DE AUDITORIA

Nosotros, Quinchiguango Ayala Edgar German y Quispe Curay Edwin Fernando en calidad de estudiantes de la Universidad Técnica de Cotopaxi, declaramos ser autores de la presente propuesta tecnológica: **“CARACTERIZACIÓN DEL RECURSO SOLAR PARA EVALUAR EL POTENCIAL ENERGÉTICO EN EL CAMPUS MATRIZ DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”**, siendo el Ing. MsC. Cristian Fabián Gallardo Molina; tutor del presente trabajo y eximimos expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

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

Latacunga, agosto del 2022

Quinchiguango Ayala Edgar German

C.I: 1754317087

Quispe Curay Edwin Fernando

C.I: 0504266305



## AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo Tecnológico sobre el título:

**“CARACTERIZACIÓN DEL RECURSO SOLAR PARA EVALUAR EL POTENCIAL ENERGÉTICO EN EL CAMPUS MATRIZ DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”**, de Quinchiguango Ayala Edgar German y Quispe Curay Edwin Fernando, de la Carrera de Ingeniería Electromecánica, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científicos-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación del proyecto que el Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, agosto del 2022

**Tutor académico**

Ing. MsC. Cristian Fabian Gallardo Molina

CC: 050284769-2



## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad del Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS; por cuanto, los postulantes: QUINCHIGUANGO AYALA EDGAR GERMAN con C.I :1754317087 Y QUISPE CURAY EDWIN FERNANDO con C.I :0504266305 el Título de Proyecto de Titulación: “CARACTERIZACIÓN DEL RECURSO SOLAR PARA EVALUAR EL POTENCIAL ENERGÉTICO EN EL CAMPUS MATRIZ DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúnen los méritos suficientes para ser sometidos al acto de Sustentación del Proyecto.

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

Latacunga, 29 agosto del 2022

Para constancia firman:

**Lector 1 (Presidente)**  
Ing. MsC. Luis Rolando Cruz Panchi  
CC: 0502595176

**Lector 2**  
Ing. MsC. Enrique Torres Tamayo  
CC: 1757121940

**Lector 3**  
Ing. MsC. Carlos Francisco Pacheco Mena  
CC: 0503072902





## AVAL DE IMPLEMENTACIÓN

Con el presente documento, se pone en constancia que los estudiantes; Quinchiguango Ayala Edgar German, de la Carrera de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi, han desarrollado el proyecto tecnológico “**CARACTERIZACIÓN DEL RECURSO SOLAR PARA EVALUAR EL POTENCIAL ENERGÉTICO EN EL CAMPUS MATRIZ DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**” y realizaron la entrega de una estación meteorológica para el laboratorio de energías renovables cumpliendo así los objetivos propuestos al inicio del desarrollo del proyecto.

Sin otro particular autorizo para que usen el presente documento para cualquier fin legal pertinente de la Universidad.

Latacunga, agosto del 2022

**DIRECTOR DE LA CARRERA INGENIERÍA  
ELECTROMECAÁNICA**

Ing. MsC. Cristian Fabián Gallardo Molina

CC: 050284769-2



## **AGRADECIMIENTO**

*En primer lugar, a Dios, por acompañarme en mi camino y por brindarme esa fortaleza que necesitaba en los momentos más difíciles de mi vida. A mis padres, que de una u otra forma estuvieron apoyándome incondicionalmente, a mi hermano y hermana, y a esa enorme familia que siempre me apoyaron, me aconsejaron y demostraron la gran fe que tenían en mí para concluir mi carrera universitaria. A la Universidad Técnica de Cotopaxi por ser mi segundo hogar; a los docentes de la Carrera de Ingeniería Electromecánica, a mi tutor y lectores de Tesis, que me brindaron sus consejos y enseñanzas para la realización de este trabajo de titulación. De igual forma agradecer a mi novia y amigos que me llenaron de alegría y consejos.*

**Edgar Quinchiguango**



## **DEDICATORIA**

*Este proyecto de titulación está dedicado principalmente a mis padres María Ayala y Luis Quinchiguango por ser un ejemplo de sacrificio, esfuerzo y perseverancia; a mi hermano y hermana que estuvieron siempre pendientes de mí, y a toda esa maravillosa familia que sembraron en mí, las bases de responsabilidad y deseos de superación, para que yo pueda culminar con éxito este objetivo. De igual manera a mi novia Nayeli por estar a mi lado, convirtiéndose en esa inspiración y motivación para llegar lejos; a mis docentes quienes me guiaron con sus sabias enseñanzas hasta obtener mi anhelado título y como no a mis amigos por transmitirme su felicidad y apoyo incondicional.*

***Edgar Quinchiguango***



## **AGRADECIMIENTO**

*Quiero expresar mi gratitud a Dios, quien con su bendición llena siempre mi vida además a toda mi familia por estar siempre presente en mi vida académica y guiarme a lo largo de mi existencia, siendo el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de mi debilidad. Mi profundo agradecimiento a todas las autoridades y personal que hacen la Universidad Técnica de Cotopaxi por ser un templo de conocimiento; a los catedráticos de la Carrera de Ingeniería Electromecánica y a mi tutor de Tesis que me brindó sus consejos y enseñanzas para la realización de este trabajo de investigación. De igual manera agradecer a mis amigos y demás personas que con sus palabras de aliento siempre contribuyeron y me apoyaron en la realización del presente trabajo.*

***Edwin Fernando Quispe Curay***



## **DEDICATORIA**

*Esta tesis está dedicada a mis padres María Curay y José Quispe quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades porque Dios está conmigo siempre sin olvidar; a mis hermanos y hermanas que sembraron en mí, las bases de responsabilidad y deseos de superación, para que yo pueda culminar con éxito este objetivo. De igual manera a una personita que con su ternura y amor fue mi inspiración Ian Gabriel quien a pesar de su corta edad confió en mí hasta obtener mi anhelado título y como no a mis amigos por su apoyo incondicional.*

***Edwin Fernando Quispe Curay***



## ÍNDICE DE CONTENIDO

|   |       |
|---|-------|
| DECLARACIÓN DE AUDITORIA.....                   | ii    |
| AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN ..... | iii   |
| APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN.....      | iv    |
| AVAL DE IMPLEMENTACIÓN.....                     | v     |
| <i>AGRADECIMIENTO</i> .....                     | vi    |
| <i>DEDICATORIA</i> .....                        | vii   |
| <i>AGRADECIMIENTO</i> .....                     | viii  |
| <i>DEDICATORIA</i> .....                        | ix    |
| RESUMEN .....                                   | xxi   |
| ABSTRACT .....                                  | xxii  |
| AVAL DE TRADUCCIÓN.....                         | xxiii |
| 1. INFORMACIÓN GENERAL.....                     | 1     |
| 2. INTRODUCCIÓN.....                            | 2     |
| 2.1. EL PROBLEMA.....                           | 2     |
| 2.1.1 Situación problemática .....              | 2     |
| 2.1.2. Matriz Causa Efecto .....                | 3     |
| 2.1.3. Formulación del problema.....            | 3     |
| 2.2. Objeto de Estudio y Campo Acción .....     | 4     |
| 2.2.1. Objeto de estudio .....                  | 4     |
| 2.2.2. Campo de Acción .....                    | 4     |
| 2.3. BENEFICIARIOS .....                        | 4     |
| 2.3.1. Beneficiarios directos .....             | 4     |
| 2.3.2. Beneficiarios indirectos.....            | 4     |
| 2.4. JUSTIFICACIÓN .....                        | 4     |





|            |   |    |
|------------|---|----|
| 2.5.       | HIPÓTESIS .....   | 5  |
| 2.6.       | OBJETIVOS .....   | 5  |
| 2.6.1.     | General.....  | 5  |
| 2.6.2.     | Específicos.....  | 5  |
| 2.7.       | SISTEMA DE TAREAS .....                                 | 6  |
| 3.         | FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....                             | 8  |
| 3.1.       | ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN .....                     | 8  |
| 3.2.       | MARCO REFERENCIAL.....                                  | 9  |
| 3.2.1.     | Energía solar .....                                     | 9  |
| 3.3.       | El Sol y la Tierra.....                                 | 9  |
| 3.3.1.     | Efecto de la rotación terrestre alrededor del sol ..... | 11 |
| 3.4.       | Definiciones importantes .....                          | 14 |
| 3.4.1.     | Radiación solar .....                                   | 14 |
| 3.4.1.1.   | Irradiancia .....                                       | 15 |
| 3.4.1.2.   | Irradiación.....  | 15 |
| 3.5.       | Unidades de medida de la energía solar.....             | 15 |
| 3.6.       | Estimación de la radiación solar .....                  | 16 |
| 3.7.       | Componentes de la radiación solar .....                 | 17 |
| 3.7.1.     | Radiación directa .....                                 | 17 |
| 3.7.2.     | Radiación difusa .....                                  | 18 |
| 3.7.3.     | Albedo .....  | 18 |
| 3.7.4.     | Radiación total.....                                    | 18 |
| 3.8.       | Instrumental de medición.....                           | 18 |
| 3.8.1.     | Piranómetro .....                                       | 19 |
| 3.8.1.1.   | Piranómetro termoelectrico.....                         | 20 |
| 3.8.1.1.1. | El Eppley PSP (Piranómetro de precisión espectral)..... | 21 |
| 3.8.1.1.2. | El C-M6 .....   | 21 |



|            |   |    |
|------------|---|----|
| 3.8.1.1.3. | El CM-11 .....  | 22 |
| 3.8.1.2.   | Piranómetro tipo fotodiodo o células fotovoltaicas .....            | 23 |
| 3.9.       | Estadística .....   | 24 |
| 3.9.1.     | Medidas de tendencia central .....                                  | 24 |
| 3.9.1.1.   | Promedio o media .....  | 24 |
| 3.9.1.2.   | Mediana .....   | 25 |
| 3.9.1.3.   | Moda .....  | 25 |
| 3.9.2.     | Mediadas de dispersión .....  | 25 |
| 3.9.2.1.   | Rango de variación .....  | 25 |
| 3.9.2.2.   | Varianza .....  | 25 |
| 3.9.2.3.   | Desviación estándar .....   | 25 |
| 3.9.2.4.   | Coefficiente de variación .....                                     | 25 |
| 4.         | MATERIALES Y MÉTODOS .....  | 26 |
| 4.1.       | Materiales.....   | 26 |
| 4.2.       | Métodos y tipos de investigación.....                               | 26 |
| 4.3.       | Secuencia en el desarrollo de la investigación.....                 | 26 |
| 4.4.       | Declaratoria de Variables.....                                      | 27 |
| 4.5.       | Operacionalización de las variables.....                            | 27 |
| 4.6.       | Sitio de estudio.....   | 27 |
| 4.7.       | Opciones de equipos para la selección .....                         | 28 |
| 4.8.       | Consideración para la selección del equipo .....                    | 29 |
| 4.9.       | Actividades para el desarrollo de la investigación.....             | 29 |
| 4.10.      | Requisitos previos para la instalación del piranómetro DPA 154..... | 29 |
| 4.10.1.    | Instalación mecánica del piranómetro DPA 154 .....                  | 30 |
| 4.10.2.    | Características técnicas.....                                       | 32 |
| 4.10.3.    | Comprobación operativa del piranómetro DPA 154 .....                | 32 |
| 4.10.4.    | Conexión eléctrica del piranómetro.....                             | 33 |



|         |  |    |
|---------|--|----|
| 4.11.   | Registrador de datos E-Log.....                                  | 35 |
| 4.11.1. | Características principales del registrador de datos E.log. .... | 35 |
| 4.11.2. | Etapas de configuración del registrador de datos E-log. ....     | 36 |
| 4.12.   | Software 3DOM.....   | 36 |
| 4.12.1. | Configuración del datalogger con el Software 3DOM.....           | 36 |
| 4.12.2. | Alternativas de almacenamiento de datos .....                    | 37 |
| 1.13.   | Almacenamiento de los datos.....                                 | 37 |
| 5.      | ANÁLISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS .....                         | 38 |
| 5.1.    | Análisis de las tablas de radiación diarias.....                 | 38 |
| 5.1.1.  | Análisis de la radiación global día 1.....                       | 38 |
| 5.1.2.  | Análisis de la radiación global día 2.....                       | 39 |
| 5.1.3.  | Análisis de la radiación global día 3.....                       | 40 |
| 5.1.4.  | Análisis de la radiación global día 4.....                       | 40 |
| 5.1.5.  | Análisis de la radiación global día 5.....                       | 41 |
| 5.1.6.  | Análisis de la radiación global día 6.....                       | 42 |
| 5.1.7.  | Análisis de la radiación global día 7.....                       | 42 |
| 5.1.8.  | Análisis de la radiación global día 8.....                       | 43 |
| 5.1.9.  | Análisis de la radiación global día 9.....                       | 44 |
| 5.1.10. | Análisis de la radiación global día 10.....                      | 44 |
| 5.1.11. | Análisis de la radiación global día 11.....                      | 45 |
| 5.1.12. | Análisis de la radiación global día 12.....                      | 46 |
| 5.1.13. | Análisis de la radiación global día 13.....                      | 46 |
| 5.1.14. | Análisis de la radiación global día 14.....                      | 47 |
| 5.1.15. | Análisis de la radiación global día 15.....                      | 48 |
| 5.2.    | Análisis Estadístico.....  | 48 |
| 5.3.    | Análisis mediante la campana de GAUSS.....                       | 61 |
| 5.4.    | Cálculo de la integral diaria de la irradiación solar .....      | 63 |



|  |    |
|--|----|
| 5.4.1. Irradiación acumulada .....     | 71 |
| 5.5. PRESUPUESTO.....                  | 72 |
| 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 74 |
| 6.1. CONCLUSIONES.....                 | 74 |
| 6.2. RECOMENDACIONES.....              | 75 |
| BIBLIOGRAFÍA.....                      | 76 |



## ÍNDICE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 2.1: Diagrama Causa-Efecto .....  | 3  |
| Figura 3.1: Esquema de relación Sol-Tierra.....  | 9  |
| Figura 3.2: Esquema de conceptos geométricos Sol-Tierra .....  | 10 |
| Figura 3.3: Variación relativa de la intensidad de la radiación solar .....  | 12 |
| que alcanza la atmósfera de la Tierra a lo largo del año.....  | 12 |
| Figura 3.4: Variación de la posición relativa de la Tierra con respecto .....  | 12 |
| a los rayos solares debido a su tránsito por la eclíptica.....   | 12 |
| Figura 3.5: Variación de la declinación a lo largo del año .....   | 13 |
| Figura 3.6: Distribución del espectro de la radiación solar .....  | 14 |
| sobre la atmósfera y a nivel del mar. ....   | 14 |
| Figura 3.7: Radiación solar sobre un plano horizontal.....   | 16 |
| Figura 3.8: Radiación sobre un plano inclinado .....   | 17 |
| Figura 3.9: Radiación sobre una superficie perpendicular .....   | 17 |
| a los rayos del sol. ....  | 17 |
| Figura 3.10: Componentes de la radiación solar .....   | 18 |
| Figura 3.11: Piranómetro.....  | 19 |
| Figura 3.12: Conexión piranómetro .....  | 20 |
| Figura 3.13: Piranómetro Eppley modelo PSP.....  | 21 |
| Figura 3.14: Piranómetro Kipp & Zonen CM-6.....  | 22 |
| Figura 3.15: Piranómetro Kipp & Zonen modelo CM-11 .....   | 22 |
| Figura 3.16: Piranómetro Eppley modelo 8-48 “Black and White”.....   | 23 |
| Figura 3.17: Piranómetro fotovoltaico Rho-Sigma modelo 1008 modificado .....   | 24 |
| Figura 4.1: Secuencia de la Metodología. ....  | 26 |
| Figura 4.2: Vista de la ubicación de la estación meteorológica de la Universidad Técnica de Cotopaxi (la Matriz). .... | 28 |
| Figura 4.3: Soporte DYA 032-034-035 y collarinDYA049.....  | 30 |



|  |    |
|--|----|
| Figura 4.4: Retiro de la tapa protectora del piranómetro.....      | 30 |
| Figura 4.5: Montaje del sensor en el soporte.....                  | 31 |
| Figura 4.6: Colocación del disco de soporte.....                   | 31 |
| Figura 4.7: Montar el protector solar.....                         | 31 |
| Figura 4.8: Comprobación operativa del piranómetro.....            | 33 |
| Figura 4.9: Esquema de la conexión al registrador de datos. ....   | 34 |
| Figura 4.10: Conexión eléctrica.....                               | 35 |
| Figura 5.1: Radiación solar global en el primer día .....          | 38 |
| Figura 5.2: Radiación solar global en el segundo día.....          | 39 |
| Figura 5.3: Radiación solar global en el tercer día. ....          | 40 |
| Figura 5.4: Radiación solar global en el cuarto día. ....          | 41 |
| Figura 5.5: Radiación solar global en el quinto día.....           | 41 |
| Figura 5.6: Radiación solar global en el sexto día.....            | 42 |
| Figura 5.7: Radiación solar global en el séptimo día. ....         | 43 |
| Figura 5.8: Radiación solar global en el octavo día. ....          | 43 |
| Figura 5.9: Radiación solar global en el noveno día. ....          | 44 |
| Figura 5.10: Radiación solar global en el décimo día .....         | 45 |
| Figura 5.11: Radiación solar global en el décimo primer día.....   | 45 |
| Figura 5.12: Radiación solar global en el décimo segundo día.....  | 46 |
| Figura 5.13: Radiación solar global en el décimo tercero día. .... | 47 |
| Figura 5.14: Radiación solar global en el décimo cuarto día. ....  | 47 |
| Figura 5.15: Radiación solar global en el décimo quinto día.....   | 48 |
| Figura 5.16: Comportamiento de la irradiancia 6:00 am.....         | 49 |
| Figura 5.17: Comportamiento de la irradiancia 7:00 am.....         | 50 |
| Figura 5.18: Comportamiento de la irradiancia 8:00 am.....         | 51 |
| Figura 5.19: Comportamiento de la irradiancia 9:00 am.....         | 52 |
| Figura 5.20: Comportamiento de la irradiancia 10:00 am.....        | 53 |





|   |    |
|---|----|
| Figura 5.21: Comportamiento de la irradiancia 11:00 am..... | 54 |
| Figura 5.22: Comportamiento de la irradiancia 12:00 pm..... | 55 |
| Figura 5.23: Comportamiento de la irradiancia 13:00 pm..... | 56 |
| Figura 5.24: Comportamiento de la irradiancia 14:00 pm..... | 57 |
| Figura 5.25: Comportamiento de la irradiancia 15:00 pm..... | 58 |
| Figura 5.26: Comportamiento de la irradiancia 16:00 pm..... | 59 |
| Figura 5.27: Comportamiento de la irradiancia 17:00 pm..... | 60 |
| Figura 5.28: Comportamiento de la Irradiancia.....          | 61 |
| Figura 5.29: Campana de Gauss. ....                         | 62 |
| Figura 5.30: Irradiación acumulada general.....             | 72 |



## ÍNDICE DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| Tabla 2.1: Beneficiarios de la Propuesta Tecnológica .....                      | 4  |
| Tabla 2.2: Actividades y sistemas de tareas en relación con los objetivos ..... | 6  |
| Tabla 3.1: Definición de relaciones geométricas entre Sol y la Tierra [11]..... | 10 |
| Tabla 4.1: Características y comparación entre piranómetros.....                | 28 |
| Tabla 4.2: Características técnicas del piranómetro PDA 154. ....               | 32 |
| Tabla 4.3: Conexión por colores del sensor DPA 154. ....                        | 34 |
| Tabla 5.1: Irradiancia 6:00 am.....   | 49 |
| Tabla 5.2: Irradiancia 7:00 am.....   | 50 |
| Tabla 5.3: Irradiancia 8:00 am.....   | 51 |
| Tabla 5.4: Irradiancia 9:00 am.....   | 52 |
| Tabla 5.5: Irradiancia 10:00 am.....  | 53 |
| Tabla 5.6: Irradiancia 11:00 am.....  | 54 |
| Tabla 5.7: Irradiancia 12:00 pm .....   | 55 |
| Tabla 5.8: Irradiancia 13:00 pm .....   | 56 |
| Tabla 5.9: Irradiancia 14:00 pm .....   | 57 |
| Tabla 5.10: Irradiancia 15:00 pm .....  | 58 |
| Tabla 5.11: Irradiancia 16:00 pm .....  | 59 |
| Tabla 5.12: Irradiancia 17:00 pm .....  | 60 |
| Tabla 5.13: Irradiancia promedio .....  | 62 |
| Tabla 5.14: Irradiación acumulada día 4 .....                                   | 63 |
| Tabla 5.15: Irradiación acumulada día 5 .....                                   | 64 |
| Tabla 5.16: Irradiación acumulada día 6 .....                                   | 64 |
| Tabla 5.17: Irradiación acumulada día 7 .....                                   | 65 |
| Tabla 5.18: Irradiación acumulada día 8 .....                                   | 65 |



|  |    |
|--|----|
| Tabla 5.19: Irradiación acumulada día 9 .....          | 66 |
| Tabla 5.20: Irradiación acumulada día 10 .....         | 66 |
| Tabla 5.21: Irradiación acumulada día 11 .....         | 67 |
| Tabla 5.22: Irradiación acumulada día 12 .....         | 67 |
| Tabla 5.23: Irradiación acumulada día 13 .....         | 68 |
| Tabla 5.24: Irradiación acumulada día 14 .....         | 68 |
| Tabla 5.25: Irradiación acumulada día 15 .....         | 69 |
| Tabla 5.26: Irradiación acumulada día 16 .....         | 69 |
| Tabla 5.27: Irradiación acumulada día 17 .....         | 70 |
| Tabla 5.28: Irradiación acumulada día 18 .....         | 70 |
| Tabla 5.29: Irradiación acumulada día 19 .....         | 71 |
| Tabla 5.30: Irradiación acumulada de los 16 días ..... | 71 |
| Tabla 5.31: Recursos Materiales .....                  | 72 |
| Tabla 5.32: Costos Directos .....                      | 73 |
| Tabla 5.33: Costos Indirectos .....                    | 73 |



## TABLA DE ECUACIONES

|             |    |
|-------------|----|
| (2.1) ..... | 11 |
| (2.2) ..... | 13 |
| (2.3) ..... | 13 |
| (2.4) ..... | 13 |
| (2.5) ..... | 13 |
| (2.6) ..... | 15 |



## UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

### FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

**TÍTULO:** “CARACTERIZACIÓN DEL RECURSO SOLAR PARA EVALUAR EL POTENCIAL ENERGÉTICO EN EL CAMPUS MATRIZ DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”

**Autores:**

Quinchiguango Ayala Edgar German

Quispe Curay Edwin Fernando

### RESUMEN

La presente propuesta tecnológica realiza una caracterización del recurso solar, enfocado en el objetivo de conocer el potencial energético que existe en la ciudad de Latacunga, barrio San Felipe. Para conseguir este propósito se utilizó un instrumento denominado piranómetro con el propósito de adquirir datos y averiguar la radiación solar en la zona de estudio. Teniendo un historial de la información, posteriormente se plantea el análisis cuantitativo y estadístico para describir y explicar el comportamiento de la irradiancia en función del tiempo. Una vez analizada esta variable, se genera una conversión de unidades, utilizadas en el cálculo de la energía solar para determinar la cantidad de irradiación que existe en un día. Al concluir la investigación se evidenció que en el lugar de estudio existe una irradiancia promedio de 452,31 W/m<sup>2</sup> y una irradiación promedio de 5,4 kWh/m<sup>2</sup>, potencial que puede ser aprovechado en un determinado proyecto de energía solar.

Palabra clave: radiación solar, piranómetro, potencial energético.



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

## ENGINEER AND APPLIED SCIENCES FACULTY

**TITLE:** “CHARACTERIZATION OF SOLAR RESOURCE TO EVALUATE ENERGY POTENTIAL AT UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI CAMPUS”

### **AUTHORS:**

Quinchiguango Ayala Edgar German

Quispe Curay Edwin Fernando

### **ABSTRACT**

This technological proposal makes a characterization of solar resource, focused on the knowing objective the energy potential that exists in Latacunga city, San Felipe neighborhood. To achieve this purpose, an instrument called a pyranometer was used for data acquiring and finding out solar radiation in the study area. Having a history of the information, subsequently quantitative and statistical analysis is proposed to describe and explain irradiance behavior as a function of time. Once this variable is analyzed, a conversion of units is generated used at calculation of solar energy to determine the amount of irradiation that exists in a day. At the end of the research, it was evidenced that at the study site there is an average irradiance of  $452,31 \text{ W/m}^2$  and an average irradiation of  $5,4 \text{ kWh/m}^2$  potential that can be harnessed in a given solar energy project.

**Keywords:** solar radiation, pyranometer, energy potential.



## *AVAL DE TRADUCCIÓN*

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que:

La traducción del resumen del proyecto de investigación al idioma Inglés cuyo título versa: **“CARACTERIZACIÓN DEL RECURSO SOLAR PARA EVALUAR EL POTENCIAL ENERGÉTICO EN EL CAMPUS MATRIZ DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”**, presentado por **Quinchiguango Ayala Edgar German y Quispe Curay Edwin Fernando**, estudiantes de la carrera de **Ingeniería en Electromecánica**, pertenecientes a la **Facultad Ciencias de la Ingeniería y aplicadas**, lo realizaron bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

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

Latacunga, 06 de septiembre del 2022.

Atentamente,

  
.....  
**Lic. Edison Marcelo Pacheco Pruna Mg.**  
**DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS**  
**C.C. 050261735-0**

## **1. INFORMACIÓN GENERAL**

### **Título:**

Caracterización del recurso solar para evaluar el potencial energético en el Campus Matriz de la Universidad Técnica de Cotopaxi

### **Tipo de proyecto:**

Proyecto tecnológico

### **Fecha de inicio:**

27 de abril del 2022

### **Fecha de finalización:**

26 de agosto del 2022

### **Lugar de ejecución:**

Zona 3, Provincia de Cotopaxi, Cantón Latacunga, Barrio san Felipe, Campus matriz de la Universidad Técnica de Cotopaxi

### **Facultad que auspicia:**

Facultad de ciencia de la ingeniería y aplicadas

### **Proyecto de investigación vinculado:**

Propuesta tecnológica

### **Equipo de trabajo:**

Ing. MsC. Cristian Fabián Gallardo Molina

Sr. Edgar German Quinchiguango Ayala

Sr. Edwin Fernando Quispe Curay

### **Área de conocimiento:**

07 Ingeniería industria y construcción

071 Ingeniería y Profesiones a Fines

0713 Electricidad y energía

### **Línea de investigación:**

Energías alternativas y renovables, eficiencia energética y protección ambiental

### **Sublíneas de investigación de la carrera:**

Energética en sistemas electromecánicos y uso de fuentes renovables de energía

## **2. INTRODUCCIÓN**

Desde el descubrimiento de la energía y su utilización en los procesos cotidianos de la humanidad, se ha buscado fuentes de energías renovables y de carácter amigable con el medio ambiente, sustituir la generación eléctrica derivada de fuentes de combustibles fósiles es uno de los retos más grandes, que se afronta en la actualidad es por eso que se busca generar energía renovable, es ahí donde ingresa una de las fuentes más abundantes de energía que poseemos en la tierra, la energía solar.

El potencial de energía solar que obtiene la Tierra es elevado. Esta cantidad de energía que obtiene la Tierra es tan abundante que supera en mayor cantidad a otras fuentes no renovables como el petróleo, el carbón, gas natural y uranio. Además, el Ecuador por su ubicación geográfica lo convierte en unos de los países con mayor riqueza en este tipo de energía.

Para desarrollar algún proyecto basado en energía renovables, como la solar, se debe elaborar un estudio del potencial de la energía solar en el sitio de interés, dicha estudio se debe realizar con datos actualizados, verídicos y que muestren confiabilidad para el análisis.

### **2.1. EL PROBLEMA**

#### **2.1.1 Situación problemática**

A nivel mundial se ha visto un incremento el cambio de la matriz de generación energética, se ha evidenciado en estos últimos años el interés en el uso de energías renovables, uno de los recursos más abundantes en el planeta tierra es el recurso solar que es casi ilimitado y gratuito, de acuerdo con las estadísticas de la Agencia Internacional de Energía, la cantidad total de energía solar generada en el mundo es de 627 GW, lo que representa el 22% de la electricidad total. Existen cinco países que tienen una mayor capacidad de energía solar entre ellos son: China (205GW), Estados Unidos (76GW), Japón (63.2GW), Alemania (49.2GW) y India (38GW). China con una producción de 223.8TWh lidera el mercado de producción energética de tipo solar, su meta es antes del año 2060 neutralizar las emisiones de CO<sub>2</sub>. Seguidamente le sigue en generación Estados Unidos con una produce 93.1TWh, teniendo como un proyecto furo para año 2035, una capacidad instalada 419GW, Japón genera 74.1TWh [1].

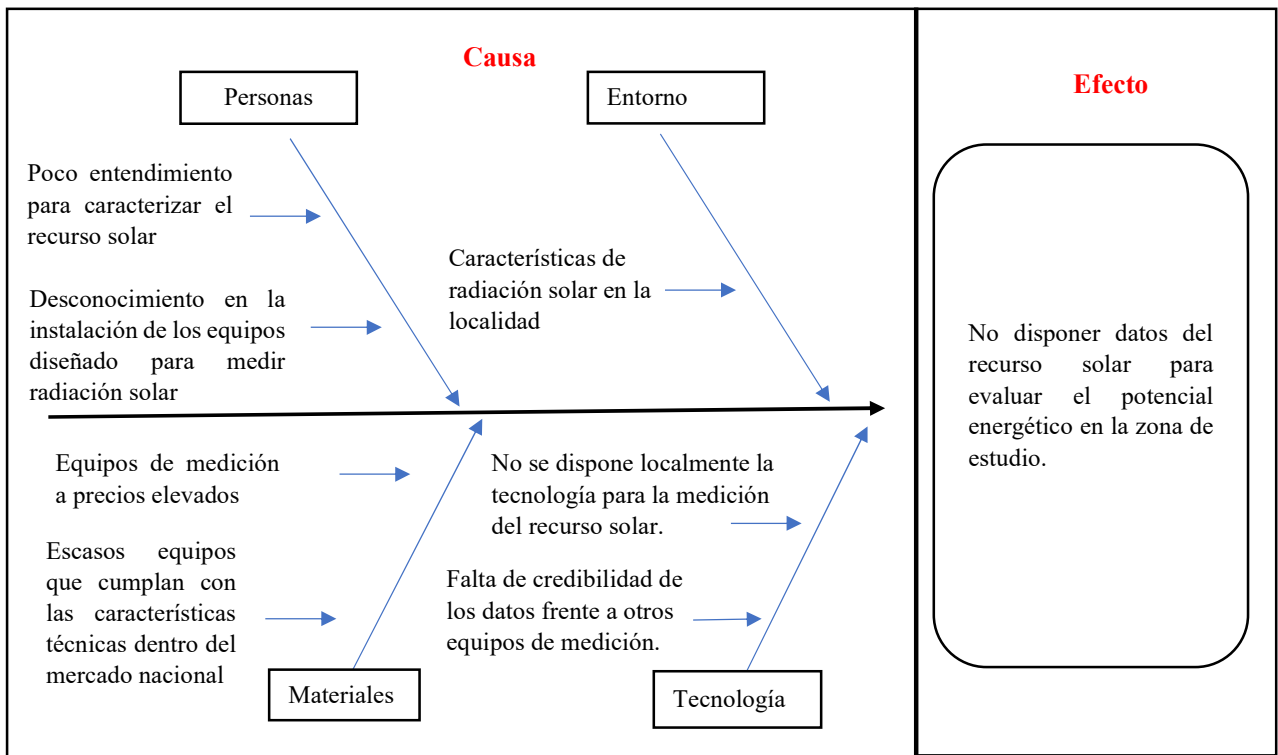
Latinoamérica tienen una generación baja de energía derivada de la solar, de acuerdo con estadísticas, Brasil lidera la producción de esta región, su capacidad es de 13 055MW, después le sigue México (7 040MW), Chile (4 468MW), Argentina (1 071MW), Honduras (514MW),

Puerto Rico (491MW), República Dominicana (490MW), El Salvador (478MW), Panamá (465MW), Perú (336MW), Uruguay (258MW), Cuba (246MW), Colombia (184MW), Bolivia (170MW), Guatemala (101MW), Jamaica (93MW), Costa Rica (74MW), Barbados (50MW) y Ecuador con 28MW [2].

La provincia de Cotopaxi, en la parroquia de Mulaló se encuentra una central de energía solar con una generación de 1MW, energía que se provee al sistema nacional interconectado [3].

Para conocer la contribución que la energía solar puede brindar a un determinado lugar es necesario realizar un estudio previo, dicho estudio debe estar basado en información confiable y actualizada. Y es así que se ha visto la necesidad de realizar una caracterización del recurso solar para conocer el potencial energético que existe en la zona de estudio.

### 2.1.2. Matriz Causa Efecto



**Figura 2.1:** Diagrama Causa-Efecto

### 2.1.3. Formulación del problema

Desaprovechamiento del recurso solar por no disponer datos del recurso para evaluar el potencial energético en la zona de estudio.

## **2.2. Objeto de Estudio y Campo Acción**

### **2.2.1. Objeto de estudio**

Radiación e irradiancia

### **2.2.2. Campo de Acción**

Potencial energético

## **2.3. BENEFICIARIOS**

En la tabla se especifica los beneficiarios directos e indirectos

**Tabla 2.1:** Beneficiarios de la Propuesta Tecnológica

| <b>Beneficiarios de la Propuesta Tecnológica</b> |          |
|--|----------|
| Beneficiarios                                    | Cantidad |
| Comunidad CIYA                                   | 2500     |
| Población de San Felipe                          | 1923     |
| Total  | 4423     |

### **2.3.1. Beneficiarios directos**

El proyecto de Tesis de la caracterización del recurso solar para evaluar el potencial energético beneficia directamente a la comunidad científica de CIYA, y a su vez al laboratorio de Energías Renovables de la carrera de Ingeniería Electromecánica

### **2.3.2. Beneficiarios indirectos**

El proyecto tiene como beneficiarios indirectos a la población que vive alrededor de la zona de estudio.

## **2.4. JUSTIFICACIÓN**

El potencial de la energía solar sigue sin explorarse. Según información del Ministerio de Energía, debido a la privilegiada ubicación geográfica del Ecuador, se han identificado altos niveles de radiación que pueden ser aprovechados para generar electricidad [4].

En el Ecuador existe una atlas de radiación solar utilizado para generación de energía, el cual indica la radiación solar, difusa y global de cada mes, además muestra un mapa de la irradiación anual producto del promedio de la radiación directa y difusa arrojando datos promedios entre 3.0 kWh/m<sup>2</sup> día y 2.8 kWh/m<sup>2</sup> día respectivamente, la irradiación global horizontal anual de nuestro país está comprendida entre 2.9 kWh/m<sup>2</sup> día y 6.3 kWh/m<sup>2</sup> día, estas magnitudes de recurso son bastante aprovechables si se los emplea de manera adecuada [5].

Para aprovechar los recursos renovables en un determinado lugar de nuestro país, debemos obtener información actualizada sobre la caracterización de los recursos en un área donde estos serán utilizados [6].

Por tanto, es necesario desarrollar la caracterización del recurso solar para conocer el potencial energético que existe en la zona de estudio y de ser favorable puede ser aprovechada en un futuro en proyectos de generación.

## **2.5. HIPÓTESIS**

Al caracterizar la irradiancia en la localidad de estudio, se tiene una irradiación favorable para su utilización.

## **2.6. OBJETIVOS**

### **2.6.1. General**

Caracterizar la radiación solar global en la Matriz de la Universidad Técnica de Cotopaxi, mediante la implementación de una estación meteorológica, para evaluar el potencial energético.

### **2.6.2. Específicos**

- Indagar en fuentes bibliográficas información acerca de las estaciones meteorológicas y sensores que permiten recolectar datos del recurso solar.
- Planificar las actividades previas a la instalación del equipo de medición de radiación solar.
- Instalar el piranómetro asegurándonos de su correcta nivelación para evitar errores que invaliden su medición.
- Analizar los datos estadísticamente para evaluar el potencial energético que existe en la zona de estudio.

## 2.7. SISTEMA DE TAREAS

**Tabla 2.2:** Actividades y sistemas de tareas en relación con los objetivos

| <b>Objetivos específicos</b>   | <b>Actividades</b>   | <b>Resultado de la actividad</b>   |
|--|--|--|
| <p>Indagar en fuentes bibliográficas información acerca de las estaciones meteorológicas y sensores para recolectar información del recurso solar.</p> | <p>Conocer las características básicas de las estaciones meteorológicas.</p> <p>Conocer acerca de las clases de estaciones meteorológicas que existen en el mercado.</p>   | <p>Analizar cómo operan las estaciones meteorológicas.</p> <p>Conocer acerca de la adquisición de datos que permiten los equipos.</p>  |
| <p>Planificar las actividades previas a la instalación del equipo de medición de radiación solar.</p>  | <p>Leer lo manual de uso el equipo para conocer lo requerimientos de instalación recomendados por el fabricante.</p> <p>Acoger las recomendaciones que hace la OMM para la instalación de estaciones meteorológicas.</p> | <p>Obtener las características de instalación que requiere el equipo.</p> <p>Conocer las recomendaciones que hace la OMM en cuanto a la instalación de equipos meteorológicos.</p> |
| <p>Instalar el piranómetro asegurándonos de su correcta nivelación para evitar errores que invaliden su medición.</p>                                  | <p>Identificar el área en la que se instalara el equipo.</p> <p>Verificar que el sitio de instalación del equipo cuente con las condiciones y características recomendadas por el fabricante.</p>                        | <p>Selección del lugar de instalación del equipo.</p> <p>Observar que el sitio no tenga obstáculos que puedan generar sombras en el sensor de medición.</p>                        |

|  |  |  |
|--|--|--|
| <p>Analizar los datos obtenidos de radiación global para evaluar el potencial energético que existe en la zona de estudio.</p> | <p>Generar una hoja de datos con la información obtenida para conocer los valores de radiación diaria en la zona de estudio.</p> <p>Aplicar estadística para el procesamiento de la base de datos de la irradiancia.</p> | <p>Conocer el potencial energético en el sector.</p> |
|--|--|--|



### **3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

#### **3.1. ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN**

A nivel mundial existen estaciones meteorológicas para predecir el clima, son una solución tecnológica que se utiliza para monitorear y realizar las acciones anticipadas. Son utilizadas para medir las variables meteorológicas como la temperatura, velocidad de viento, irradiación, humedad, la presión atmosférica y la concentración de gases. Son utilizadas en lugares donde se va a realizar el estudio meteorológico como por ejemplo en la agricultura se utiliza para planificar los riegos futuros por medio de la medición de la humedad del suelo y predicen si en realidad se debe o no regar en los cultivos.

A nivel nacional varias Universidades han logrado implementar las estaciones meteorológicas en algunos lugares donde se requiere conocer esas variables, se detalla a continuación:

El autor Byron Toalombo, estudiante de la Universidad Técnica de Ambato realizó el tema “Estudio del espectro de irradiación solar para determinar el potencial de energía aprovechable en la ciudad de Ambato”, emplearon equipos del laboratorio para medir las variables meteorológicas y ellos determinaron que su potencial de energía excede los  $400\text{W}/\text{m}^2$  para un medio día soleado. La probabilidad de que se encuentre el medio día con el sol es del 21% y nublado el 79%. Ellos determinaron que la temperatura promedio es de  $25.3^\circ\text{C}$  para el medio día [7].

Los autores Xavier Proaño y Maldonado, ingenieros de la Universidad Técnica de Cotopaxi, trabajaron en un artículo académico sobre “Radiación solar en Latacunga y su impacto en la generación de energía eléctrica a través de un sistema fotovoltaico”, ellos utilizaron el piranómetro para tomar datos y conocer la radiación en la ciudad de Latacunga, ya que como meta tienen la de diseñar un sistema fotovoltaico conectado a la red del sistema y ellos lograron concluir con ese estudio, que si existe una rentabilidad al implementar el sistema fotovoltaico en esa zona. Ellos determinaron que desde la 9:00 am hasta 9:30 am, alcanza una mayor potencia de  $373\text{W}$  y su menor potencia es  $216,5\text{W}$  en un horario de 8:00am a 8:30am. La irradiancia supera a los  $1000\text{W}/\text{m}^2$  desde las 10:00am hasta las 2:00pm [8].

## 3.2. MARCO REFERENCIAL

### 3.2.1. Energía solar

El sol es la fuente de energía que mantiene con vida a todos los organismos conocidos, debido a que constantemente está suministrando todo el calor y la luz que nuestro planeta recibe [9].

El sol emite constantemente una potencia de 62 mil 600 kW (kilowatts) por cada metro cuadrado de su superficie. Esto ha venido sucediendo desde 4 mil 500 millones de años, y se considera que se mantendrá así por otros 5 mil millones de años, en relación a la existencia que ha tenido el ser humano, es prácticamente ilimitado. De hecho, en solo dos días la Tierra recibe una determinada suma de energía equivalente a todas las reservas probadas que existen de petróleo, gas y carbón. Esto corresponde a casi 60 veces el consumo anual de la sociedad humana, lo que nos da una idea del notable potencial de la energía solar para satisfacer las necesidades energéticas del mundo [10].

### 3.3. El Sol y la Tierra

En la figura 1 se puede observar algunas relaciones entre el Sol la Tierra, se muestra una distancia de  $1495 \times 10^{11}$  metros, sin embargo, puede cambiar en 1,7% debido a la excentricidad de la órbita terrestre [11].

Además, se presenta también el diámetro del Sol y la Tierra, así como también el ángulo de  $32^\circ$  entre ellos.

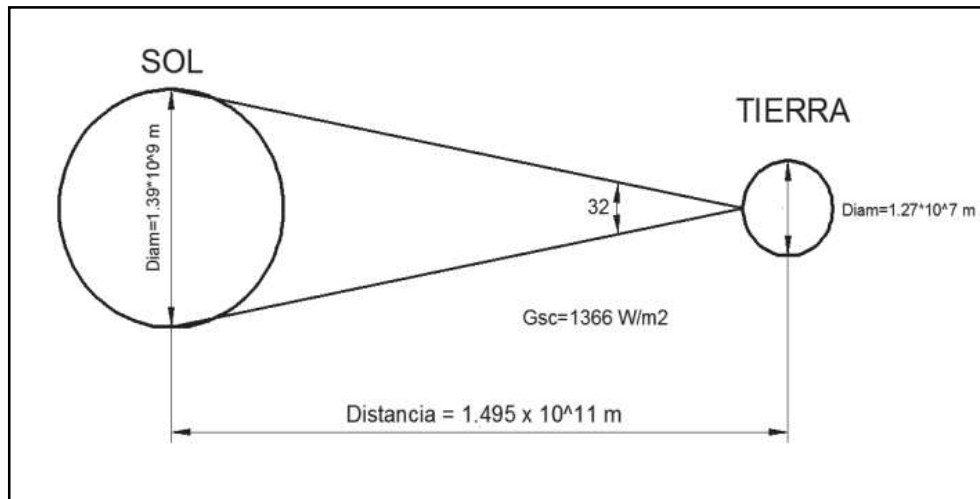
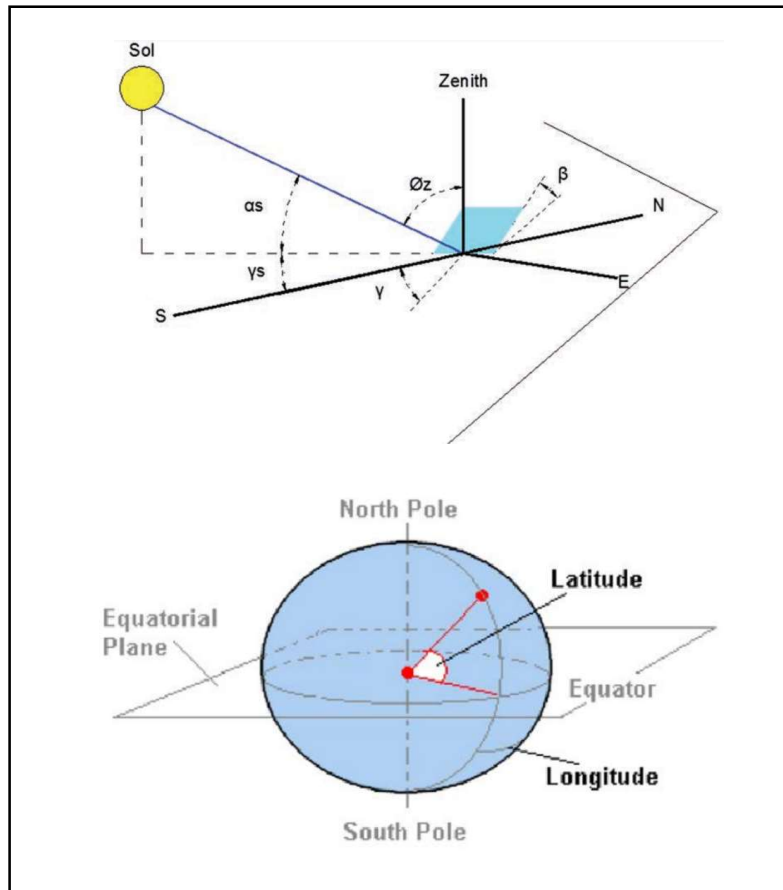


Figura 3.1: Esquema de relación Sol-Tierra [11].

La tabla 3.2, muestra algunos conceptos básicos, pero fundamentales para entender como incide la radiación solar en la Tierra y en determinadas superficies elementales para el estudio en generación eléctrica por medio de sistemas fotovoltaicos; en la Figura 3.2 se establecen algunos conceptos geométricos.



**Figura 3.2:** Esquema de conceptos geométricos Sol-Tierra [11].

**Tabla 3.1:** Definición de relaciones geométricas entre Sol y la Tierra [11]

| Símbolo  | Nombre      | Descripción  |
|----------|-------------|--|
| $\theta$ | Latitud     | Localización angular entre la línea Ecuador y un punto determinado de la Tierra. $-90^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$ .<br>Figura 3.2 |
| $\delta$ | Declinación | Posición angular del Sol al medio día con respecto al plano Ecuador. $-23.45^\circ \leq \delta \leq 23.45^\circ$ .                     |

|            |                                 |  |
|------------|---------------------------------|--|
| $\Omega$   | Ángulo horario                  | Desplazamiento angular del sol con respecto al meridiano local por la rotación de la Tierra en el eje en 15° por hora.                                     |
| $\Theta$   | Ángulo de incidencia            | Ángulo entre la radiación directa en una superficie y la recta normal a dicha superficie.  |
| $\Theta_z$ | Ángulo Zenith                   | Angulo entre la recta vectorial o normal y la línea del Sol a la Tierra. Representa el ángulo de incidencia de la radiación directa en un plano horizontal |
| As         | Ángulo altitud solar            | Angulo entre la línea horizontal y la línea del Sol a la Tierra. Es el complemento del ángulo Zenith   |
| Y          | Ángulo azimut en una superficie | Es la desviación de la proyección en un plano horizontal de la normal a la superficie del meridiano local. $-180^\circ \leq Y \leq 180^\circ$              |

### 3.3.1. Efecto de la rotación terrestre alrededor del sol

El desplazamiento de revolución de la Tierra alrededor del Sol una vez al año se efectúa en una órbita elíptica, de baja excentricidad su alejamiento con relación a una circunferencia es solo 1.7 % (el plano sobre el cual se desarrolla este desplazamiento se llama eclíptica). La Tierra está más próxima al Sol en enero (perihelio) y más alejado en julio (afelio); esta variación en la distancia genera una modificación de tipo sinusoidal en la irradiancia solar (I) que alcanza la atmosfera terrestre. La que puede ser aproximada fácilmente por la formula:

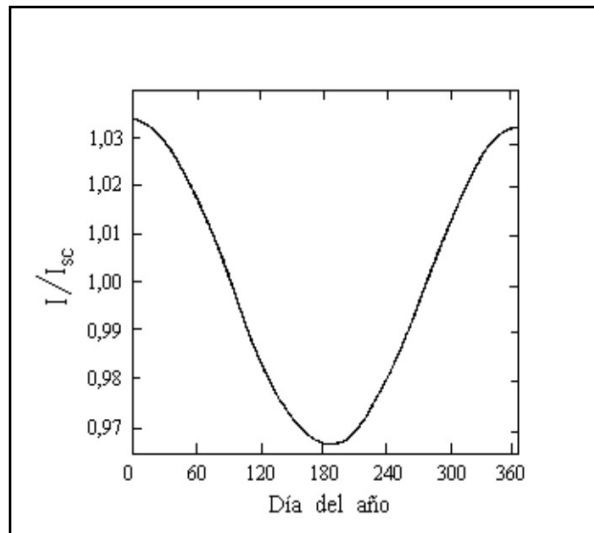
Donde:

$I/I_{CS}$  = relación relativa de la intensidad de radiación solar

$n_d$  = día juliano

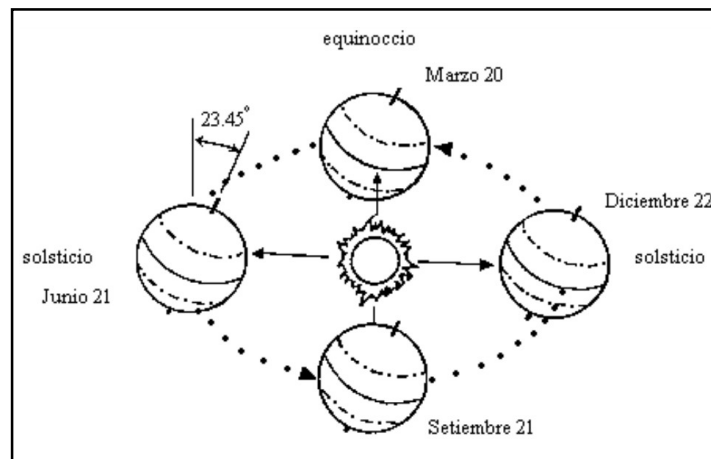
$$I/I_{CS} = 1 + 0.033 \cos [360^\circ (n_d - 2)/365] \quad (2.1)$$

$n_d$  es el día juliano (para 1 de enero,  $n_d=1$ , para el 1 de febrero  $n_d=32$ , y así continuando hasta 365, sin embargo, existen otras expresiones que mejoran la aproximación. En la figura 3.3 se muestra gráficamente esta variación.



**Figura 3.3:** Variación relativa de la intensidad de la radiación solar que alcanza la atmósfera de la Tierra a lo largo del año [9].

Por otro lado, el eje de la Tierra está inclinado  $23.45^\circ$  ( $23^\circ 27'$ ) en relación al plano de la eclíptica. Esto produce un cambio del ángulo comprendido entre la radiación solar y el plano del ecuador, que es denominado como declinación  $\delta$ , causante de las cuatro estaciones (ver Figura 3.4) [9].



**Figura 3.4:** Variación de la posición relativa de la Tierra con respecto a los rayos solares debido a su tránsito por la eclíptica [9].

Los dos solsticios ( $\delta = +23.45^\circ$ , en el momento en que los rayos solares inciden perpendicular al Trópico de Cáncer, y para  $\delta = -23.45^\circ$ , cuando descienden perpendicularmente al Trópico de Capricornio) y los dos equinoccios ( $\delta = 0^\circ$ , días en que los rayos solares descienden perpendicularmente al eje terrestre; ahí en todos los lugares de la Tierra, excepto los polos, el

sol sale por el Este y se pone por el Oeste por tanto el día tiene 12 horas, como para la noche). La máxima variación de la declinación en 24 horas se da en los equinoccios, siendo menor a  $0.5^\circ$ , por lo que se le suele tomar como constante a lo largo del día para la totalidad de aplicaciones.

Estos cambios en la declinación pueden ser aproximado por distintas fórmulas, varias de estas se mencionan a continuación:

Donde:

$$\eta = \eta_o + 0.007133 \text{ sen } \eta_o + 0.032680 \text{ cos } \eta_o - 0.000318 \text{ sen } 2\eta_o + 0.000145 \text{ cos } 2\eta_o$$

$$\eta_o = 360^\circ \times (284 + \eta_d)/365$$

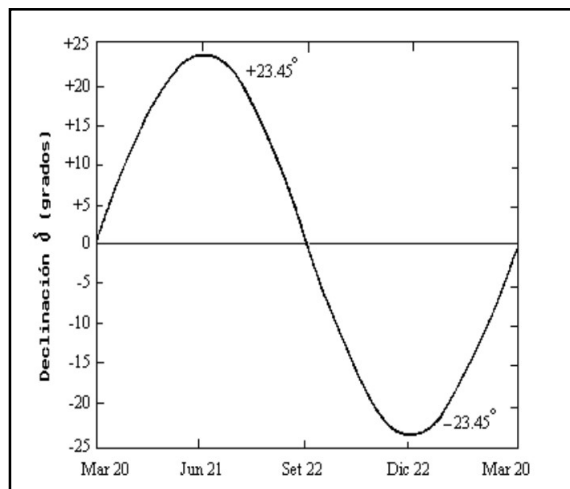
$$\delta = 23.45^\circ \text{ sen } [360^\circ(n_d - 81)/365] \quad (2.2)$$

$$\delta = -23.45^\circ \text{ cos } [360^\circ(n_d + 10)/365.25] \quad (2.3)$$

$$\delta = 23.45^\circ \text{ sen } [360^\circ(284 + n_d)/365] \quad (2.4)$$

$$\delta = 23.45^\circ \text{ sen } \eta \quad (2.5)$$

Esta variación anual se muestra en la Figura 3.5.



**Figura 3.5:** Variación de la declinación a lo largo del año [9].

### 3.4. Definiciones importantes

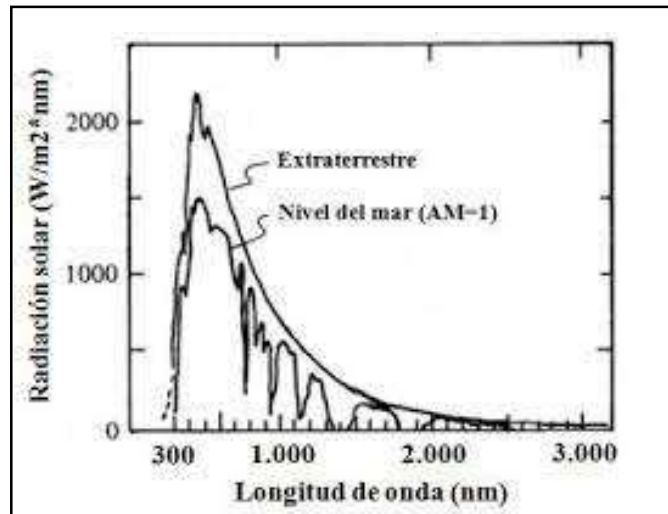
Para entender cualquier sistema fundamentado en energía solar, es importante tener una base en conceptos, terminología y unidades. Aclarar estos tres temas nos permitirá expresarnos con seriedad e interpretar los textos científicos y técnicos vinculados con la energía solar.

Existen graves errores a la hora de definir algunos de los términos relacionados con la energía solar, especialmente entre radiación, irradiancia e irradiación [12].

#### 3.4.1. Radiación solar

“Se conoce por radiación solar al conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el Sol.” [13, p. 14].

La energía del sol llega a la Tierra en forma de radiación solar con una longitud de onda entre 300 y 2.500 nm, ver la Figura (3.6). El área visible se localiza entre 400 y 700 nm, lo que representa aproximadamente el 50 % de la radiación [14].



**Figura 3.6:** Distribución del espectro de la radiación solar sobre la atmósfera y a nivel del mar [14].

La energía recibida por la tierra en un año alcanza la elevada suma de  $5,46 \times 10^{24}$  vatios (W) [14].

La densidad de potencia del sol (potencia por unidad de área) ligeramente por encima de la atmósfera de la Tierra se llama constante solar y es igual a  $1366 \text{ W m}^2$ . Este valor disminuye

en un 30% a medida que atraviesa la atmosfera, proporcionando una insolación a la superficie terrestre de aproximadamente  $1000 \text{ W m}^2$ , a nivel del mar en un día claro [14].

#### 3.4.1.1. Irradiancia

La cantidad a la cual la radiación es recibida por una superficie por unidad de área se llama irradiancia, la misma que se expresa en unidades de potencia por unidad de área,  $\text{W/m}^2$  [15].

También “se define como el flujo de radiación solar que incide sobre una unidad de superficie en un tiempo dado. Se expresa normalmente en  $\text{W/m}^2$ , aunque también se expresa en  $\text{kW/m}^2$ ” [16, p. 16].

#### 3.4.1.2. Irradiación

La cantidad de radiación recibida por una superficie por unidad de área durante un determinado período se llama irradiación y se expresa en unidades de energía por unidad de área,  $\text{Wh/m}^2$  [15].

También “se define como la energía por unidad de superficie a lo largo de un periodo de tiempo. Se expresa en julios (energía) por metro cuadrado ( $\text{J/m}^2$ ), aunque también se expresa en  $\text{Wh/m}^2$  (potencia), mediante la conversión de unidades” [16, p. 16].

La ecuación que relaciona la potencia con la energía, se muestra en (2.6)

Donde:

$\text{kWh} = \text{Unidad de potencia}$

$\text{M/J} = \text{Unidad de energía}$

$$1\text{kWh} = 3.6 \text{ MJ} \quad (2.6)$$

### 3.5. Unidades de medida de la energía solar

Como en cualquier campo de la ingeniería los sistemas de energía cuentan con sus propias unidades de medida las cuales deben ser interpretadas y utilizadas de acuerdo a su naturaleza.

**Tabla. 3.2:** Conversiones útiles para radiación.

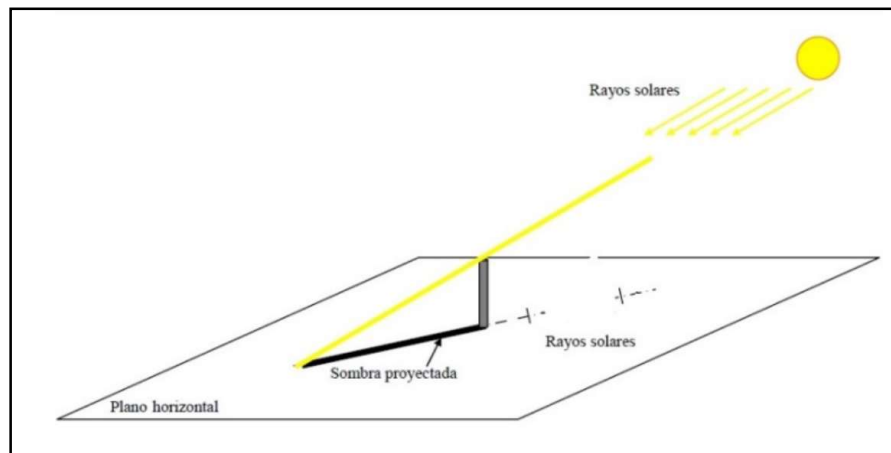
| Unidad     | Equivalencia          |
|------------|-----------------------|
| 1 vatio(W) | 1 Joule/segundo (J/s) |
| 1 W*h      | 3600 J                |
| 1 KW*h     | 3,6MJ                 |



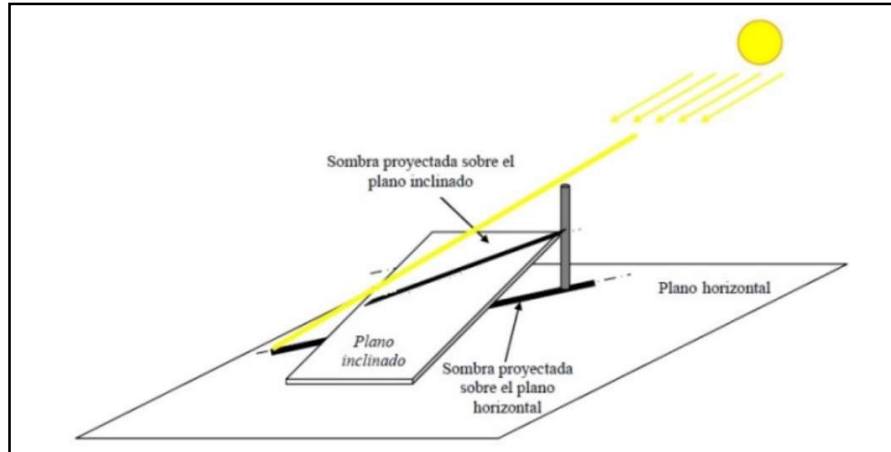
|                              |                             |
|------------------------------|-----------------------------|
| 1 W*h                        | 3,412 Btu                   |
| 1 caloría                    | 0,001163 W*h                |
| 1 caloría                    | 4,187 Joule                 |
| 1 cal/cm <sup>2</sup>        | 11,63 W*h/m <sup>2</sup>    |
| 1 MJ/m <sup>2</sup>          | 0,27778 kW*h/m <sup>2</sup> |
| 1 MJ/m <sup>2</sup>          | 277,78 W*h/m <sup>2</sup>   |
| 1 MJ/m <sup>2</sup>          | 23,88 cal/cm                |
| 1 Btu                        | 252 calorías                |
| 1 Btu                        | 1,05506 kJ                  |
| 1 cal/(cm <sup>2</sup> *min) | 60,29 MJ/m por día          |

### 3.6. Estimación de la radiación solar

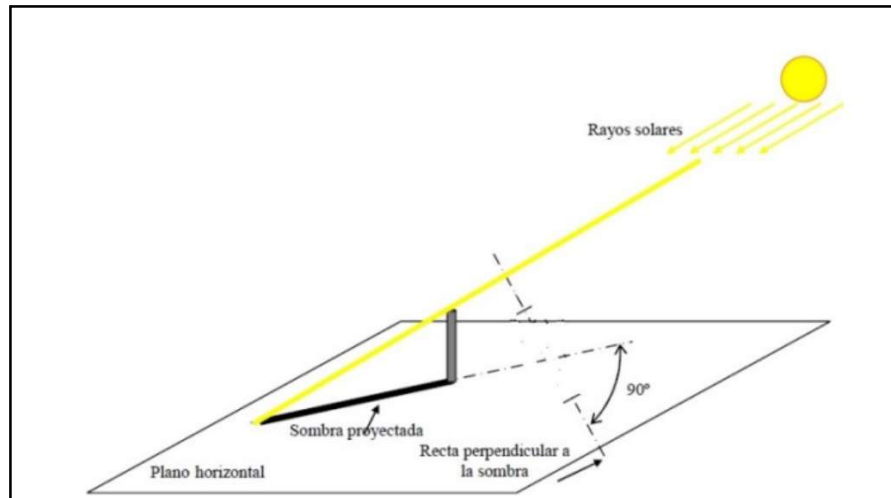
La radiación solar se puede estimar para un plano en específico, puede ser horizontal, inclinado o normal a los rayos del sol. La radiación solar en un plano horizontal simboliza la radiación solar incidente sobre una superficie horizontal. (Figura 3.7). Si se toma en cuenta un plano inclinado, la radiación solar simboliza la radiación solar incidente sobre una superficie inclinada (véase Figura 3.8). También se estima la radiación solar en plano perpendicular a los rayos del sol que representa la radiación solar incidente sobre una superficie perpendicular a los rayos del sol (Figura 3.9) [15].



**Figura 3.7:** Radiación solar sobre un plano horizontal [17].



**Figura 3.8:** Radiación sobre un plano inclinado [17].



**Figura 3.9:** Radiación sobre una superficie perpendicular a los rayos del sol [17].

### 3.7. Componentes de la radiación solar

La radiación solar en la superficie terrestre tiene cuatro componentes: directa, difusa, albedo, y total [11].

#### 3.7.1. Radiación directa

“Es la que se recibe directamente del disco solar, en dirección perpendicular a los rayos solares” [18, p. 15].

### 3.7.2. Radiación difusa

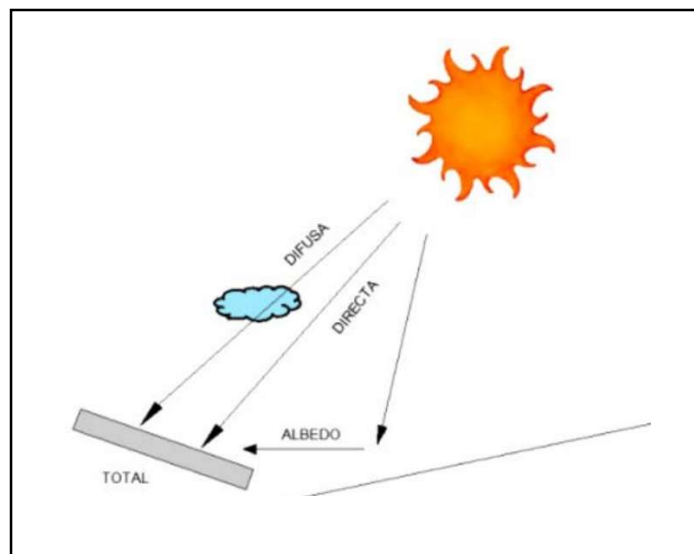
“Es la radiación solar recibida sobre una superficie horizontal que proviene de la bóveda celeste y que ha sido dispersada por las moléculas de aire, polvo o gotas de agua antes de alcanzar la superficie terrestre” [19, p. 8].

### 3.7.3. Albedo

“Radiación reflejada por la superficie terrestre” [14, p. 2].

### 3.7.4. Radiación total

La radiación total o global es la suma de las tres componentes antes mencionadas. La Figura 3.10 resume las componentes de la radiación solar.



**Figura 3.10:** Componentes de la radiación solar [11].

### 3.8. Instrumental de medición

La radiación global al ser la suma de la radiación directa y difusa la convierte en la medición más común de la radiación solar (radiación total sobre una superficie horizontal).

Los instrumentos que están destinados a medir la radiación global se les denomina piranómetros ver Figura 3.11. La medida de la radiación global se puede realizar también mediante una célula calibrada [16].



**Figura 3.11:** Piranómetro [20].

### 3.8.1. Piranómetro

“Los piranómetros, denominados algunas veces solarímetros o radiómetros, están destinados a la medición de la radiación global en diferentes planos y de la radiación difusa” [9, p. 80].

Este instrumento cuenta con varias características sobre las cuales debe procurarse especial atención, con el objetivo de determinar la calidad del mismo:

- Respuesta a la ley del coseno, la que se encuentra limitada por probables errores a consecuencia de la variación en la absorción de la superficie receptora con el ángulo de incidencia, a desequilibrios y variaciones de la misma y de la cobertura de vidrio.
- Variación en la salida eléctrica a causa de la degeneración del elemento sensible o de las características ópticas de la cúpula protectora a lo largo del tiempo.
- Selectividad espectral en el rango de las longitudes de onda que se requiere medir (de 0.3 a 3  $\mu\text{m}$ ), y esto depende de las características del sensor, de la pintura que cubre al receptor o de la transmitancia de la cúpula.
- Tiempo de respuesta
- Depresión o corrimiento del cero, debido a la emisión nocturna
- Linealidad, es decir, independencia del factor de calibración con la irradiancia.
- Respuesta a la influencia de fenómenos externos como los cambios de temperatura (a falta de compensación), el viento entre otros [9].

Según como se comporten frente a estas características los piranómetros se clasifican como primera clase o segunda clase [9].

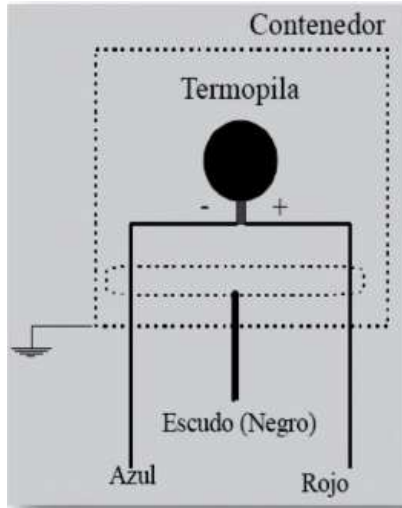
Por otro lado, tomando en cuenta el principio activo del receptor, los piranómetros pueden ser de termopila (termoeléctricos) o fotodiodos (fotovoltaicos); siendo los más precisos y más caros los de termopila [16].

### 3.8.1.1. Piranómetro termoelectrico.

Estos sensores tienen como elemento sensible una termopila de Möll, nombrándose así a un grupo de pares termoelectricos o termocuplas en serie [9].

La pila termoelectrica está conformada por una serie de termopares colocados horizontalmente, sus extremos se encuentran soldados con unas barras de cobre verticales unidas a una placa de latón maciza. El conjunto está pintado con un barniz negro para absorber la radiación. El flujo de calor causado por la radiación se transfiere a la termopila generando una tensión proporcional a la irradiancia [21].

Este valor de tensión se puede medir con un milivoltímetro o un sistema de adquisición de datos para almacenar los valores obtenidos [16].



**Figura 3.12:** Conexión piranómetro [16].

Con lo que se refiere a la conexión del piranómetro, se suele contar con dos cables que son conectados al sistema de adquisición de datos o medidor de tensión continua. Se debe tener en cuenta de que existe polaridad, es decir se dispone de conexión positiva y negativa [16].

En la figura 3.12 se observa la conexión de un equipo comercial, así como también el código de color que se muestra a continuación:

- Negro: su conexión va al contenedor (carcasa)
- Rojo: Positivo de la señal ocasionada por el detector.
- Azul: positivo de la señal ocasionada por el detector.

Los piranómetros termoelectricos que usualmente son utilizados se les encuentra en dos tipos:

- El primero de ellos tiene una superficie completamente oscurecida, en contacto térmico con las juntas calientes, en cuanto las soldaduras frías lo están con un bloque de metal de elevada capacidad térmica, incrustado internamente a resguardo de la radiación solar. Estos sensores se singularizan por contener dos cúpulas semiesféricas concéntricas y con un plato acondicionado a nivel del detector con el fin de sombrear la parte inferior del sensor en la que se encuentra el sumidero de calor [9].

Los más conocidos de este tipo son los producidos en Estados Unidos de América por la Eppley o en Holanda por Kipp & Zonen. La estabilidad de ambos se encuentra entre el 1 al 5% por año, aunque debe tenerse en cuenta que su constante de calibración puede cambiar en general con el ángulo de operación [9].

#### **3.8.1.1.1. El Eppley PSP (Piranómetro de precisión espectral)**

Este tipo de piranómetro posee una termopila circular de varios elementos. Sustituyendo la cúpula exterior por dos hemisferios pulidos de precisión de vidrio Schott WG295 (Figura 3.13), que emiten la radiación solo en intervalos de longitudes de onda se logra realizar medidas de tipo espectral [18].

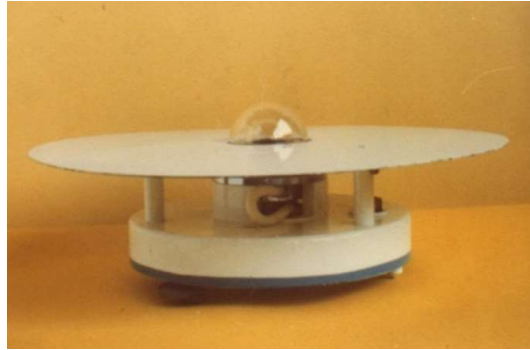


**Figura 3.13:** Piranómetro Eppley modelo PSP [9].

#### **3.8.1.1.2. El C-M6**

El piranómetro tipo C-M6 de la Kipp & Zonen posee una termopila demasiado simple, de 14 elementos de manganina-constantán en una estructura rectangular, sin compensación de temperatura; sus cupulas están elaboradas en vidrio Schott K5 y su comportamiento a lo largo del tiempo ha sido extraordinario (Figura 3.14) [9].

Existe un modelo CM-6B el cual posee de un sensor equipado de 64 termopares [18].



**Figura 3.14:** Piranómetro Kipp & Zonen CM-6 [18].

### 3.8.1.1.3. El CM-11

Este modelo es uno de los más difundidos, es utilizado para precisión y su termopila está conformada por cien termocuplas impresas en un sustrato cerámico ver Figura 3.15 [9].

El CM-11 emplea la tecnología de detección con compensación de temperatura, posee un superior rendimiento en comparación al CM-6. Es específicamente apropiado para las redes meteorológicas y su tiempo de respuesta es de 1,66 segundos (63 %) además cumple con los requerimientos para las aplicaciones en instalaciones de energía solar [22].



**Figura 3.15:** Piranómetro Kipp & Zonen modelo CM-11 [23].

- El segundo tipo de piranómetros termoelectricos contiene en la totalidad de los modelos el detector pintado de negro y blanco alternativamente, en superficies como coronas circulares concéntricas o como estrella (en esta última superficie se encuentra el piranómetro de procedencia rusa M-80, el cual no se encuentra compensado por temperatura) [9].

Los piranómetros 8-48 “Black and White” de la Eppley (Figura 3.16), el CE-180 de la Cimel francesa y el “Star” 8101 de la Schenk austriaca. El austriaco y el norteamericano tienen un diseño de tipo estrella, este último se encuentra compensado con temperatura al igual que el francés, y este presenta una estructura en coronas. En este tipo de piranómetros la estabilidad es algo menor (3% en el año) por lo que necesitan mayor frecuencia de contrastación [9].



**Figura 3.16:** Piranómetro Eppley modelo 8-48 “Black and White” [24].

### **3.8.1.2. Piranómetro tipo fotodiodo o células fotovoltaicas**

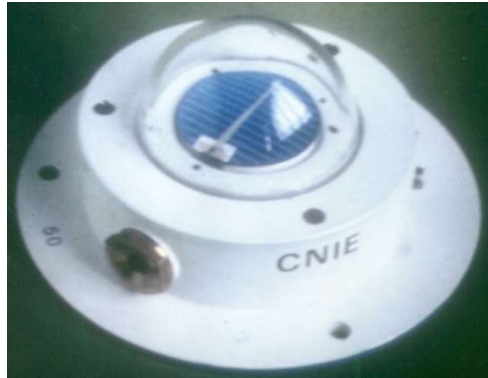
Su funcionamiento se justifica al generar una corriente proporcional a la irradiancia recibida. Su funcionamiento es igual que al emplear una célula calibrada [16].

Este tipo de piranómetros no poseen una elevada precisión, pero si cuentan con una respuesta instantánea y su costo es más reducido en comparación con los otros tipos. Pese a eso su difusión se ha visto limitado por sus problemas de calibración [18].

Su bajo costo, su salida eléctrica elevada (un rango mayor a la de los termoelectricos) y su respuesta instantánea los permiten ser utilizado para formar una red de bajo costo, como piranómetros provisionales para interpolar estaciones termoelectricas o para la localización de pequeñas fluctuaciones rápidas [9].

La Figura 3.17 muestra el sensor fotovoltaico Rho-Sigma modelo 1008, elaborado en los EEUU y rectificado por el grupo de la Red Salarimétrica de la Comisión Nacional de investigaciones Espaciales (CNIE) de Argentina [9]. |





**Figura 3.17:** Piranómetro fotovoltaico Rho-Sigma modelo 1008 modificado [9].

### **3.9. Estadística**

La estadística es una técnica de aprender en función de los datos, está vinculada con la compilación de datos, su descripción continua y su análisis, lo que nos conduce a formular conclusiones [25].

En algunas situaciones un análisis estadístico inicia con un conjunto de datos. La estadística se emplea para describir, organizar y analizar esos datos [25].

#### **3.9.1. Medidas de tendencia central**

Las medidas de tendencia central son mediciones estadísticas que buscan resumir en un solo dato valor a un conjunto de datos. Simbolizan un dato medio en el cual se encuentra localizado el conjunto de datos. Las medidas de tendencia central más empleadas son: media mediana y moda. [26]

##### **3.9.1.1. Promedio o media**

Es la más conocida y más utilizada. Se simboliza con la letra  $\mu$  cuando se refiere al promedio de la población o el universo y por  $\bar{Y}$  (se lee Y barra) cuando se refiere al promedio de la muestra. Es importante mencionar que  $\mu$  es un valor fijo y por otro lado el promedio de la muestra es variable debido a que distintas muestras sacadas de la misma población tienen a presentar distintas medidas. Su unidad se expresa en la misma unidad de los datos originales [26].

### **3.9.1.2. Mediana**

Es el dato medio de la variable que se encuentra en la parte central, cuando los valores se organizan en orden de magnitud. De modo que el 50 % de los análisis poseen valores iguales o inferiores a la mediana y el otro 50 % posee valores iguales o superiores a la mediana. [26]

### **3.9.1.3. Moda**

La moda se define como el dato de la variable que más se repite. Una muestra suele tener más de una moda [26].

## **3.9.2. Medias de dispersión**

Son aquellas que proporcionan información sobre la variación de la variable. Intentar resumir en un solo dato la dispersión que posee un conjunto de datos. Las medidas de dispersión más empleadas tenemos: Rango de variación, varianza, desviación estándar, coeficiente de variación [26].

### **3.9.2.1. Rango de variación**

Se define como la resta entre el valor máximo y el valor mínimo de una variable [27].

### **3.9.2.2. Varianza**

Está determinada por como la suma de las desviaciones al cuadrado divididas por el tamaño de la muestra menos 1 [27].

### **3.9.2.3. Desviación estándar**

Es un dato de la dispersión de los análisis a la media. Es un promedio del alejamiento de los análisis a la media [27].

### **3.9.2.4. Coeficiente de variación**

Se interpreta como la desviación estándar de los datos expresado como porcentaje de la media muestral [26].

## 4. MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1. Materiales

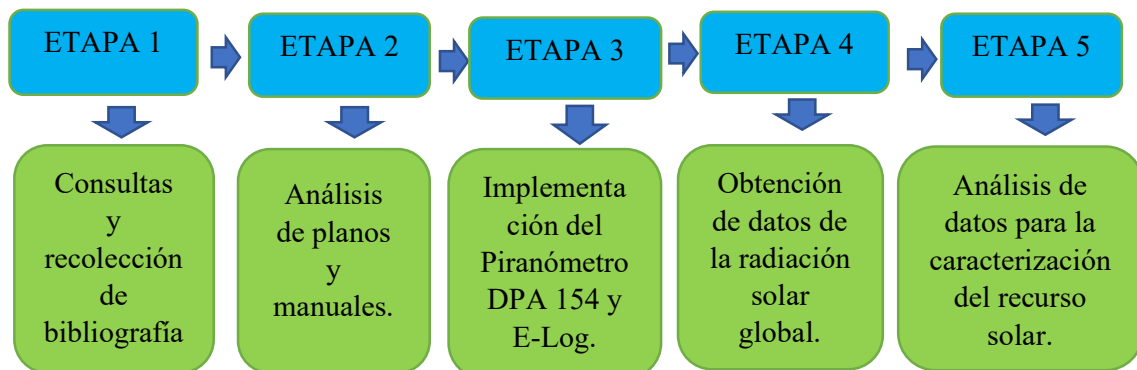
El estudio ha sido ejecutado con datos proporcionados por la estación Meteorología del campus Matriz de la Universidad Técnica de Cotopaxi ubicada en la ciudad de Latacunga, latitud  $-0.91789$ , longitud  $-78.632856$ , durante una semana desde el 4 al 19 del mes de agosto del año 2022, recabando datos de la radiación solar global medido por un piranómetro de clase B, con una estimación de la precisión alcanzable del  $\pm 5\%$  y un rango de medición de  $0-4000\text{W/m}^2$ .y un registrador de datos E-Log debido a que tiene características que lo hacen un equipo confiable y seguro y por último la utilización del software Excel 2020, donde se determinaron las tendencias diarias durante una semana de la radiación global durante todo el tiempo.

### 4.2. Métodos y tipos de investigación

En el proceso de elaboración del presente trabajo de tesis, se empleó el método científico debido a que se ha usado un grupo de medidas que permite tener un conocimiento científico. Y el tipo de investigación es aplicativo, denominado así ya que intervienen las unidades de estudio, de tal forma que existan resultados positivos. Asimismo, el estudio no es muestral debido a que todos los datos serán utilizados y este tipo no es necesario, desarrollando un estudio donde se realice un análisis estadístico y descriptivo de nuestra variable.

### 4.3. Secuencia en el desarrollo de la investigación

En la caracterización del recurso solar se realizó los siguientes pasos.



**Figura 4.1:** Secuencia de la Metodología.

#### 4.4. Declaratoria de Variables

##### Variable independiente

Tiempo

##### Variable dependiente

Potencial energético.

#### 4.5. Operacionalización de las variables

##### Variable dependiente

| Variable dependiente | Definición conceptual   | Indicador        | Unidades         | Instrumentos |
|----------------------|---|------------------|------------------|--------------|
| Potencial energético | Energía renovable que pueden ser usadas y aprovechadas de manera eficiente para diversas tecnologías. | Radiación global | W/m <sup>2</sup> | Piranómetro  |

##### Variable independiente

| Variable Independiente | Definición conceptual  | Indicador         | Unidades                     | Instrumentos |
|------------------------|--|-------------------|------------------------------|--------------|
| Tiempo                 | Es una magnitud física que mide la duración o separación de acontecimientos. | Porcentaje diario | Horas<br>Minutos<br>segundos | Reloj        |

#### 4.6. Sitio de estudio

El sitio de estudio es la estación meteorológica de la Universidad Técnica de Cotopaxi (la Matriz) ubicada en la ciudad de Latacunga, cuyas coordenadas geográficas corresponden a latitud 0° 55' 04" S, longitud 78° 37' 58" O. La ciudad pertenece a la provincia de Cotopaxi, situada en la Sierra central del país, cerca del volcán Cotopaxi a 2750 metros sobre el nivel

del mar. Es la ciudad más grande y poblada la cual es atravesada por los ríos Cutuchi y Pumacunchi.



**Figura 4.2:** Vista de la ubicación de la estación meteorológica de la Universidad Técnica de Cotopaxi (la Matriz).

#### 4.7. Opciones de equipos para la selección

Para la selección del equipo se buscó información en algunos lugares hasta encontrar la empresa DELTA 0hm, la cual nos proporcionaba el piranómetro modelo LP PYRA 103 cuyas características son más bajas a comparación del piranómetro DPA154 por la empresa LSI Lastem como se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 4.1:** Características y comparación entre piranómetros.

| CARACTERISTICA       | DPA 154<br>(LSI Lastem)             | LP PYRA 103<br>(DELTA 0hm)            |
|----------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|
| Sensibilidad $W/m^2$ | $10 \div 15 \mu V/W/m^2$            | $10 \mu V/W/m^2$                      |
| Rango de medición    | $0 \div 4000 W/m^2$                 | $0 \div 2000 W/m^2$                   |
| Rango espectral      | $285 \div 300 \text{ nm}$           | $305 \div 2800 \text{ nm}$            |
| Inestabilidad        | $< \pm 1\%$<br>(Diferencia por año) | $< \pm 1.5\%$<br>(Diferencia por año) |

|                              |                                   |               |
|------------------------------|-----------------------------------|---------------|
| <b>Tiempo de respuesta</b>   | 16 segundos                       | < 28 segundos |
| <b>No linealidad</b>         | < ±1% (100÷100 W/m <sup>2</sup> ) | < ±1%         |
| <b>Temperatura operativa</b> | -40÷80°C                          | -40÷80°C      |

#### **4.8. Consideración para la selección del equipo**

En averiguación de un nivel de precisión en la que pueda generar información que sea útil y confiable para la comunidad científica u otros campos de la educación. Se ha partido de recomendaciones de la OMM (Organización Meteorológica Mundial), manual que expresa la presión de los datos y sus redondeos de las normales climáticas.

Para la mayoría de los parámetros que son necesarios, los valores generalmente deben tener una precisión de un decimal. Por lo general, las estaciones que en su precisión superen estos valores no son las más aptas para proyectos que necesiten una precisión y robustez en sus datos, debido que los datos son analizados de manera diaria, semanal, mensual y anual que servirán para generar proyectos.

#### **4.9. Actividades para el desarrollo de la investigación**

- Para realizar las diferentes actividades antes de la instalación de los equipos se desarrolló un serie de pasos como:
- Análisis de manuales y planos sobre los instrumentos de medición proporcionado por la empresa LSI Lastem.
- Armado de los instrumentos según las especificaciones del fabricante.
- Pruebas de los equipos de medición previo su conexión eléctrica.
- Configuraciones ente el registrador de datos(E-Log)) y la PC.
- Tratamiento de los datos del recurso solar.

#### **4.10. Requisitos previos para la instalación del piranómetro DPA 154**

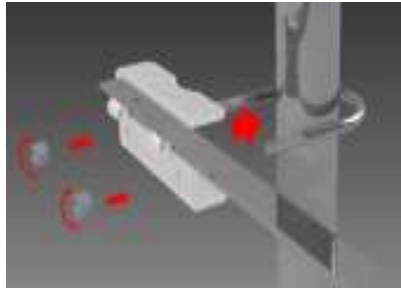
Existe recomendaciones por parte del fabricante para la previa instalación del sensor en la estructura de la estación meteorológica, de tal forma que pueda trabajar correctamente y los datos arrojados sean los más precisos.

Entre los más principales tenemos que el sensor DPA 154 debe ser instalado en un lugar libre de sombras o algún otro objeto que obstaculice la captación del recurso solar.

Si el sensor es instalado en otro país que no fuera el Ecuador este debe ser instalado y direccionado hacia el país antes mencionado. Asimismo, debe tenerse en cuenta que el piranómetro tiene que estar instalado a no menos de 2 metros de altura si el lugar donde se lo colocara existiera espacios herbosos.

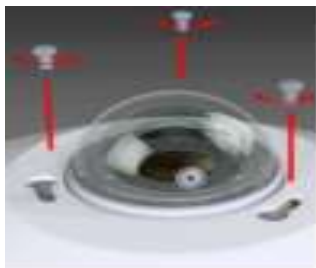
#### 4.10.1. Instalación mecánica del piranómetro DPA 154

Una vez seguido las recomendaciones del fabricante, se instala en el poste el collarín DYA 049 y a su vez el soporte DYA032-034-035 y al finalizar girarlo en dirección al Ecuador, como se observa en la siguiente figura.



**Figura 4.3:** Soporte DYA 032-034-035 y collarinDYA049.

Siguiente paso con cuidado retire los 3 tornillos y quite la pantalla protectora radiante del cuerpo del piranómetro.



(a) Remover los tornillos



(b) Quitar tapa

**Figura 4.4:** Retiro de la tapa protectora del piranómetro.

Montar el cuerpo del sensor en el soporte DYA032- 34-035, teniendo cuidado de nivelar el sensor horizontalmente usando el dos pies niveladores y el nivel de burbuja como se puede observar en la figura 4.5.



**Figura 4.5:** Montaje del sensor en el soporte.

Fijar el piranómetro al disco de soporte con los dos tornillos más largos y utilizando una llave Allen #4 para ajustarlos como indica la figura 4.6.



**Figura 4.6:** Colocación del disco de soporte.

Como último paso vuelva a montar el protector pantalla en el cuerpo del piranómetro como se presenta en la figura 4.7.



**Figura 4.7:** Montar el protector solar.



#### 4.10.2. Características técnicas

El piranómetro clase B consta de las siguientes características que son descritas en la tabla 4.2

Tabla 4.2: Características técnicas del piranómetro PDA 154.

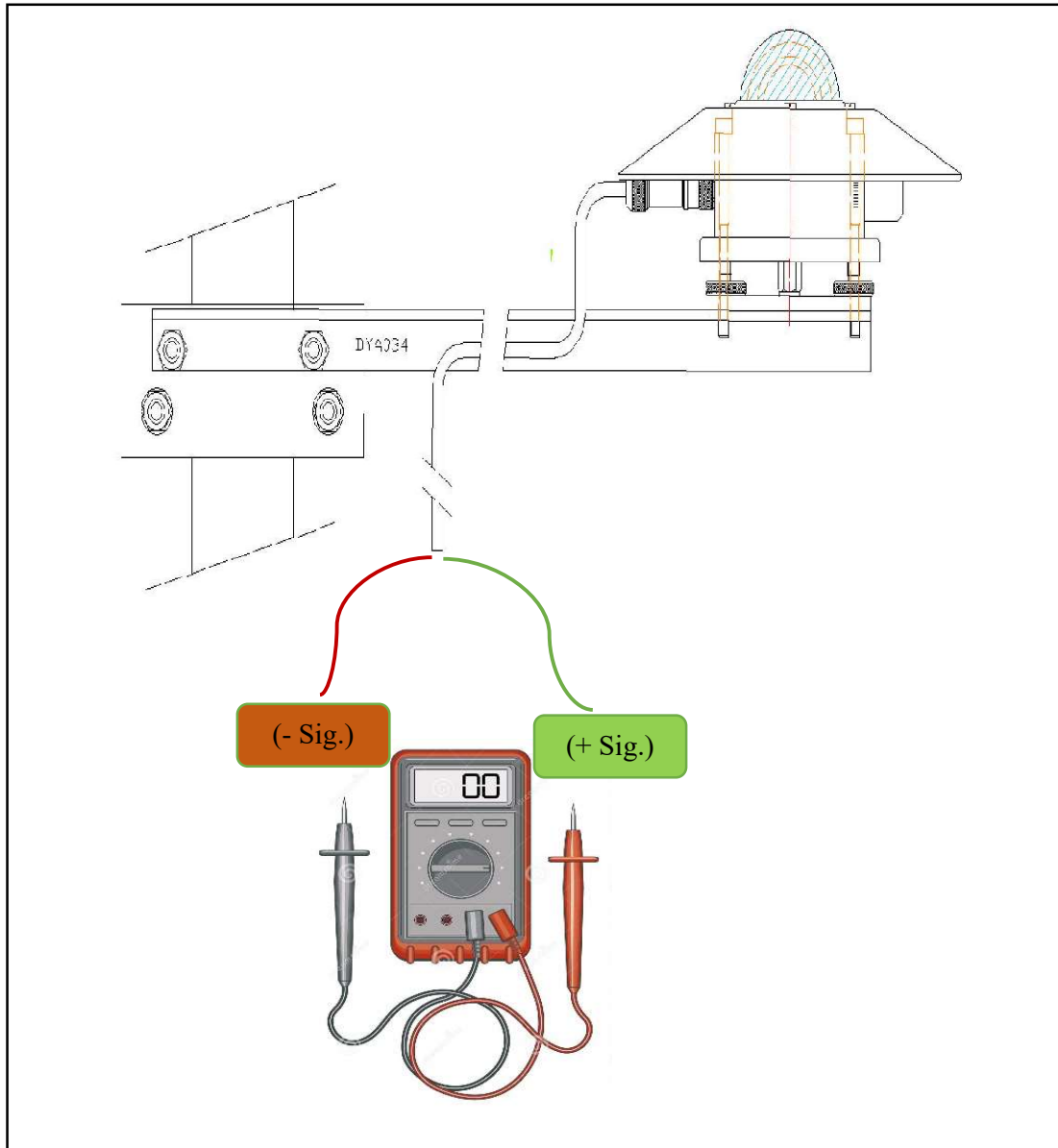
| PN   | DPA 154                                      |
|--|--|
| Sensibilidad   | 10÷15 $\mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$      |
| Registrador de datos   | Registro M(ELO008)                           |
| Rango de medición  | 0÷4000 $\text{W}/\text{m}^2$                 |
| Clasificación IEC 61724-1:2017   | Clase B                                      |
| Nivel de rendimiento de la OMM   | Piranómetro de buena calidad                 |
| Rango espectral  | 285÷300 nm                                   |
| Inestabilidad  | < $\pm 1\%$ (Diferencia por año)             |
| Tiempo de respuesta  | 16 segundos                                  |
| No linealidad  | < $\pm 1\%$ (100÷100 $\text{W}/\text{m}^2$ ) |
| Respuesta direccional  | < $\pm 20\text{W}/\text{m}^2$                |
| Offset cero (respuesta a una radiación térmica neta de 200W/m <sup>2</sup> ) | < 12 $\text{W}/\text{m}^2$                   |
| Compensación cero b (Respuesta a un cambio térmico de 5k/h)                  | < $\pm 3\text{W}/\text{m}^2$                 |
| Temperatura operativa  | -40÷80°C                                     |
| Trazabilidad de calibración  | WRR  |

#### 4.10.3. Comprobación operativa del piranómetro DPA 154

Para la conexión eléctrica del piranómetro al registrador de datos, primero se debe verificar la salida del sensor para ello es necesario el uso de un multímetro el mismo que debe estar configurado en escalas de voltaje en  $\mu\text{V}$ .

Seguido se toma la punta positiva de prueba del multímetro y se conecta al alambre de señal positivo (+ Sig. – color Verde) del sensor, después se hace el mismo procedimiento con la otra punta del multímetro conectando al alambre del sensor de señal negativa (- Sig. - color Marrón), cabe recalcar que no es necesario desconectar del registrador de datos para realizar la medición.

Por último, con un paño oscuro; tapamos el sensor y procedemos a medir, el manual especifica que el multímetro debe medir un valor de  $0 \mu\text{V}$  si el sensor está cubierto y debe marcar más de  $0 \mu\text{V}$  si este se encuentra expuesto.



**Figura 4.8:** Comprobación operativa del piranómetro.

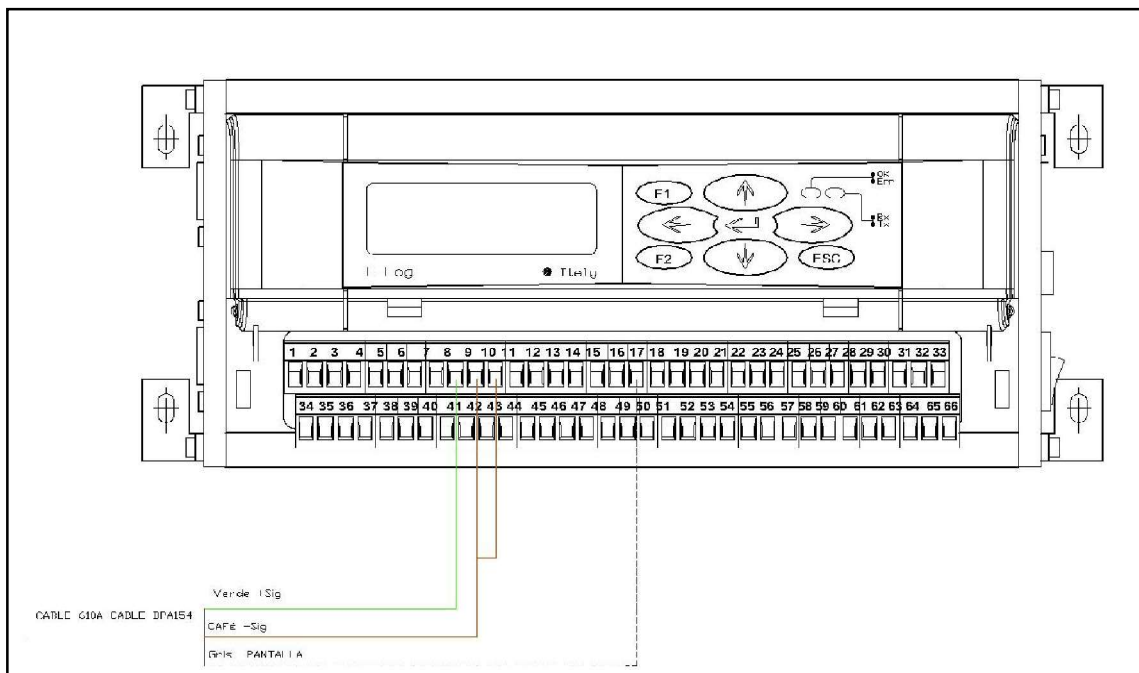
#### 4.10.4. Conexión eléctrica del piranómetro

La conexión que deben tener en cuenta mediante el uso de colores son las que se muestran en la tabla 4.3.

**Tabla 4.3:** Conexión por colores del sensor DPA 154.

| Color cable | Nombre   |
|-------------|----------|
| Marron      | Sig -    |
| Verde       | Sig +    |
| Gris        | Pantalla |

Para la conexión eléctrica del sensor DPA 154 hay que tener en cuenta el esquema de colores y los planos que el fabricante nos proporciona, donde nos detalla en que puerto ira ubicado cada uno de ellos como se muestra en la figura 4.9.



**Figura 4.9:** Esquema de la conexión al registrador de datos.

Como se muestra en la figura 4.9 la conexión debe tener el siguiente orden, el cable verde ira conectado al puerto 8 el cable color marrón al puerto 9 el mismo que debe hacer un puente al puerto 10 y el cable de la pantalla ira al puerto 18 del registrador de datos, el E-Log tiene todos sus puertos numerados de tal forma que no exista confusión al realizar la conexión eléctrica y utilizando los puertos correctos, como se puede apreciar en la figura 4.10



**Figura 4.10:** Conexión eléctrica.

#### **4.11. Registrador de datos E-Log**

E-Log es un sistema de adquisición y procesamiento de datos para aplicaciones ambientales equipado con entradas específicas para una amplia gama de sensores. El E-log tiene la capacidad de almacenar los datos en diferentes protocolos de comunicación tanto en sus entradas como salidas haciendo que sus datos sean confiables y robustos.

Siendo capaz de realizar los cálculos y almacenar los datos de los sensores conectados y con la facilidad de admitir diferentes protocolos de comunicación tanto en la entrada como en la salida. Es un instrumento que está fabricado para trabajar en condiciones climáticas severas.

##### **4.11.1. Características principales del registrador de datos E.log.**

El E-log consta de características que lo hacen un equipo fiable entre las que más destacan son las siguientes:

Consta de 8 entradas analógicas, 4 entradas digitales 1 entrada RS232.

Se puede realizar una ampliación mediante una configuración MASTER/LAVE.

Es un instrumento que utiliza muy poca energía.

Mediciones N.99 considerando canales para adquisición de sensores y magnitudes derivadas.

Tiene la capacidad de calcular derivadas y más cálculos matemáticos.

Dispone de una memoria flas de 8 MB.

Permite las comunicaciones en sus protocolos de tipo Modbus-RTU y TTY.

Transmisión de datos en formato ASCII.

Dispone de dos puertos RS 232.

Posee una tasa de adquisición y elaboración de datos en un rango desde 1s a 12h.

Se puede establecer comunicación con la PC mediante el puerto RS 232.

Dispone de una pantalla y un teclado para las diferentes tareas en los que sea necesario.

#### **4.11.2. Etapas de configuración del registrador de datos E-log.**

Para que nuestro equipo funcione correctamente hay que seguir una serie de pasos después de su instalación como:

- Instalar el software 3DOM en la PC.
- Realizar la configuración entre el datalogger y el software 3DOM.
- Se debe crear un informa de configuración.
- Conexión de las sondas al datalogger.
- Visualización de medidas en modo de adquisición de datos.

#### **4.12. Software 3DOM**

El software 3DOM es el software que permite al usuario en realizar las diferentes configuraciones en el instrumento ya su vez guardar los datos procesados en diversos formatos.

##### **4.12.1. Configuración del datalogger con el Software 3DOM**

Para poder lograr la configuración entre el software y el datalogger hay que tener en cuenta lo siguiente:

El reloj interno del instrumento debe estar sincronizado con el reloj interno de nuestra PC.

Se debe crear una nueva configuración que nos permita agregar la cantidad de instrumentos de medición que dispongamos, el software ya viene cargado con los registros de todos los modelos de sensores del fabricante, que en nuestro estudio es el piranómetro modelo DPA 154. Por defecto el datalogger tiene una tasa de adquisición de 10 minutos, pero estos parámetros pueden ser cambiados.

#### **4.12.2. Alternativas de almacenamiento de datos**

La estación meteorológica consta de un programa incluido denominado 3 DOM, el mismo que brinda la facilidad de poder almacenar los datos obtenidos de diferentes alternativas entre ellas tenemos:

- Guardar en archivo de texto ASCII.
- Guardar en archivo en binario (más comprimido)
- Ahorre en la base de datos Gidas que puede ser utilizada por Gidas Viewer programa para la visualización de los datos descargados.
- Guardar en FTPXlogFile para un formato compatible con los datos enviados por los instrumentos X-Log directamente a un área FTP

En nuestro caso de estudio se utilizó la tercera opción la cual nos brinda una facilidad al momento de guardar nuestros datos procesados, teniendo en cuenta que la base de datos de Gidas requiere por lo minino un SQL Server 2005 y un archivo de licencia específico para cada instrumento que se vaya a utilizar para lograr habilitar la base de datos y de esta manera almacenar los datos y poder descargarlos.

#### **1.13. Almacenamiento de los datos**

Para poder lograr transferir los datos que han sido procesados por nuestro instrumento de medición DPA 154 con la PC se debe seguir una serie de procedimientos.

- Seleccionar una fecha de inicio desde donde se necesitan los datos o a su vez se intente descargar datos anteriores y no exista confusiones.
- Seleccionar la casilla Mostar vista previa, la misma que nos muestra una vista preliminar de los datos procesados antes que sean guardados.
- Pulsar la tecla Descargar de tal forma que inicie la descarga y todos los datos puedan ser archivados.

## 5. ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS

### 5.1. Análisis de las tablas de radiación diarias

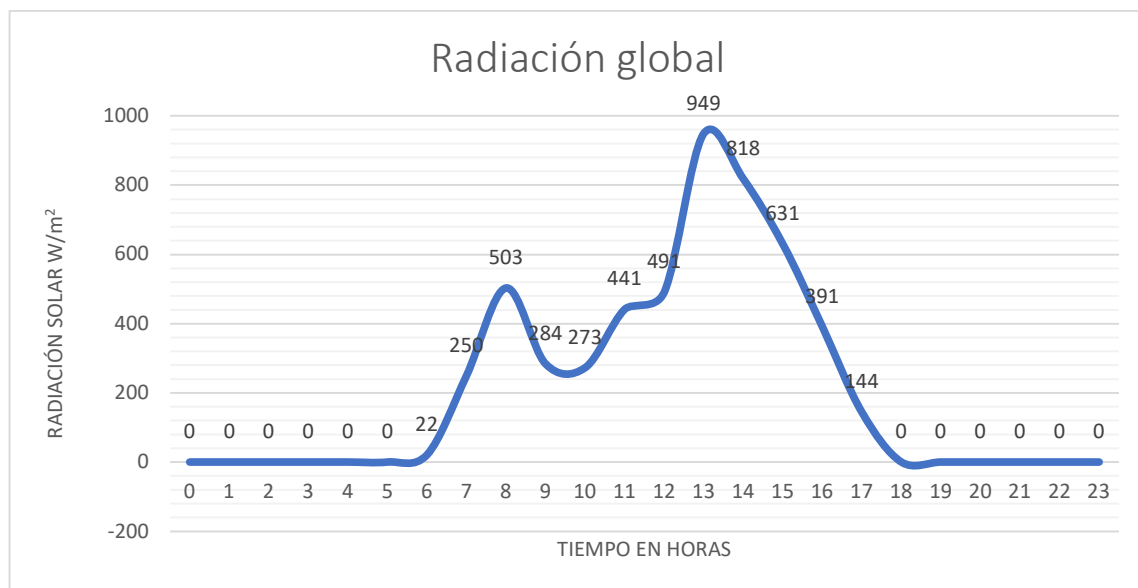
Se desarrolló el estudio del potencial energético que existe en el sector, y para que el estudio del potencial energético sea confiable y viable se logró adquirir datos de la estación meteorológica ubicada en la misma zona, la información recopilada ayudara a la caracterización del recurso solar.

En los datos obtenidos por la estación meteorológica ubicada en la Universidad Técnica de Cotopaxi en su campus matriz, se puede observar que en la semana del 04/08/2022 hasta 19/08/2022, se tiene índices de radiación moderados, influenciados por las condiciones climáticas típicos de la zona.

#### 5.1.1. Análisis de la radiación global día 1

Se puede observar también un intervalo máximo de radiación solar en una hora específica del día que comprendía desde las 12:00:00 hasta las 12:59:59 que representa el 71.4285% del total de la muestra obtenida.

En índice mínimo de la radiación solar diaria se presenta en horas de la mañana desde las 06:00:00 hasta las 06:59:59, donde el 100% de la muestra presenta una baja tendencia la que oscila entre 12 y 25  $W/m^2$  como se muestra en la figura 5.1.



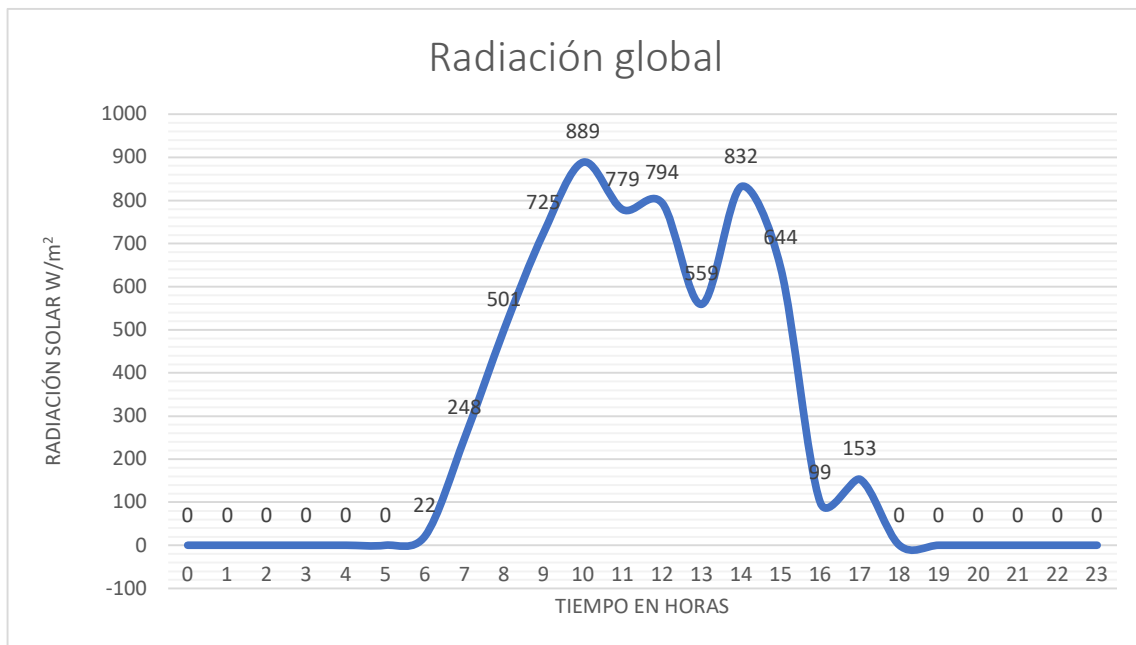
**Figura 5.1:** Radiación solar global en el primer día

En la gráfica de radiación solar correspondiente al día 1 de la toma de muestras, presenta una tendencia de crecimiento casi en su totalidad pudiendo destacar que a las 08:00:00 presenta ya una máxima de  $503 \text{ W/m}^2$ , para posteriormente presentar un declive en el incremento de  $230 \text{ W/m}^2$  a las 09:00:00 a las 10:59:59. Seguidamente se aprecia un crecimiento a partir de las 11:00:00 hasta alcanzar su valor más alto a las 13:00:00 con  $949 \text{ W/m}^2$ .

### 5.1.2. Análisis de la radiación global día 2

En la gráfica de radiación solar correspondiente al día 2 de la toma de muestras, presenta una tendencia de crecimiento casi en su totalidad pudiendo destacar que a las 10:00:00 presenta ya una máxima de  $110 \text{ W/m}^2$ , para posteriormente presentar un declive en el incremento de  $230 \text{ W/m}^2$  a las 11:00:00 a las 12:00: se presenta un incremento de  $15 \text{ W/m}^2$ , seguidamente se presenta un decrecimiento de  $235 \text{ W/m}^2$  a las 13:00:00.

A las 14:00:00 nuevamente se vuelve a alcanzar otro pico en la radiación con un máximo de  $832 \text{ W/m}^2$ , para presentar un nuevo de crecimiento significativo de  $733 \text{ W/m}^2$ , para volver alcanzar un último pico de  $153 \text{ W/m}^2$  a las 17:00:00, antes de comenzar a decrecer por completo debido al factor climático presentado. como se muestra en la figura 5.2.



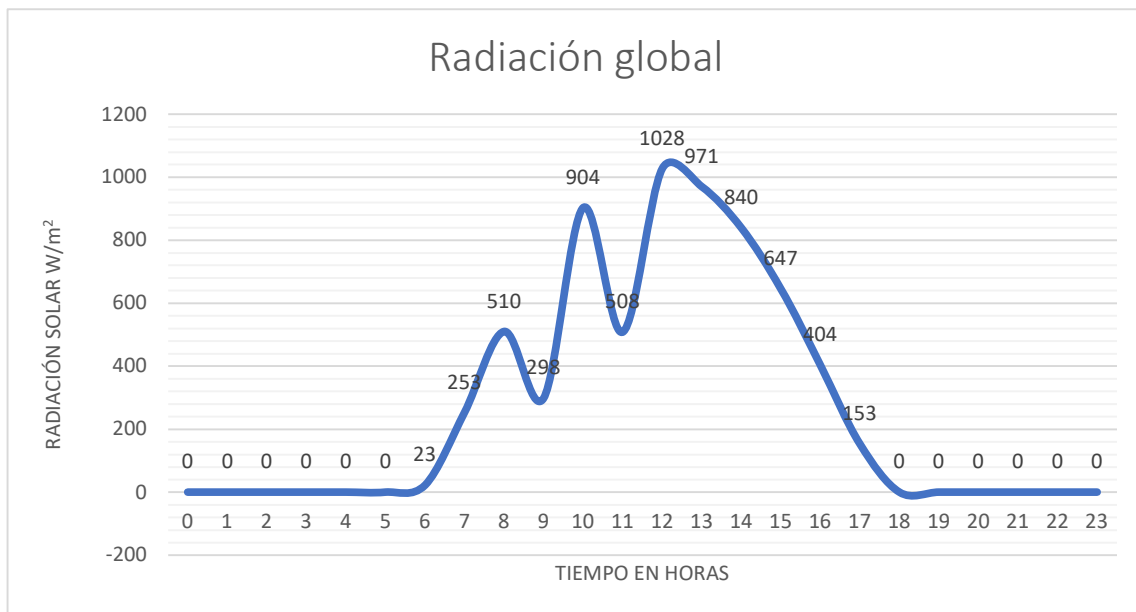
**Figura 5.2:** Radiación solar global en el segundo día.



### 5.1.3. Análisis de la radiación global día 3

En la gráfica de radiación solar correspondiente al día 3 de la toma de muestras, presenta una tendencia de crecimiento pudiendo destacar que a las 08:00:00 un primer pico de radiación de  $510 \text{ W/m}^2$ , para posteriormente presentar un declive de  $212 \text{ W/m}^2$ , a las 10:00:00 alcanza nuevamente un máximo de  $904 \text{ W/m}^2$ , seguidamente se puede evidenciar un declive de  $396 \text{ W/m}^2$ , para finalmente alcanzar un máximo de  $1028 \text{ W/m}^2$  a las 12:00:00.

En la tarde se observa un decrecimiento paulatino en el nivel de radiación de la zona de estudio como esta indica en la figura 5.3.

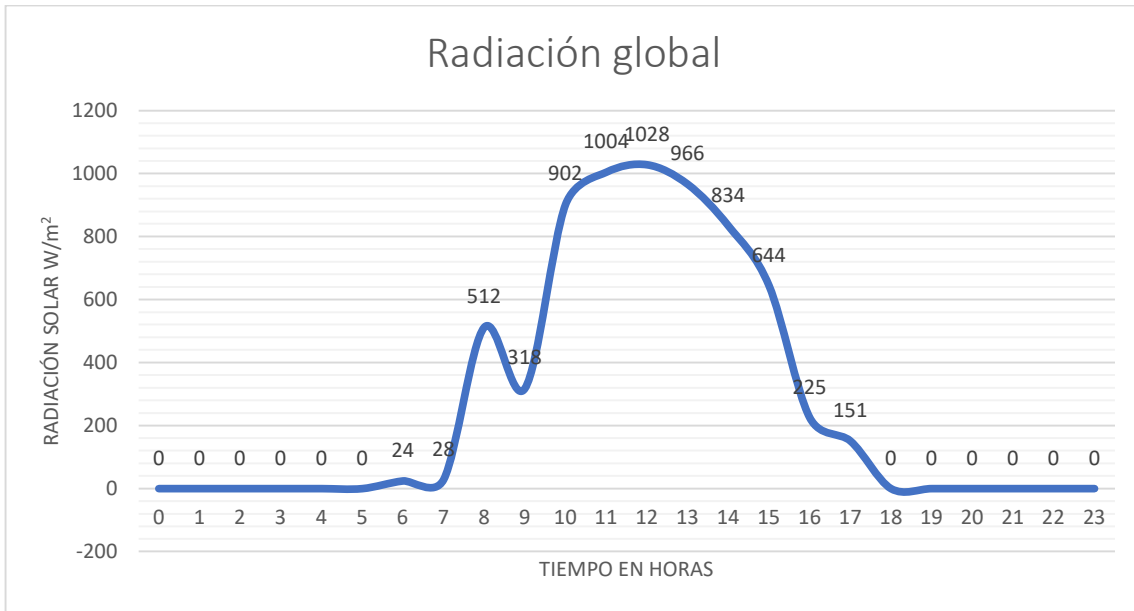


**Figura 5.3:** Radiación solar global en el tercer día.

### 5.1.4. Análisis de la radiación global día 4

En la gráfica de radiación solar correspondiente al día 4 de la toma de muestras, se evidencia dos picos máximos del nivel de radiación, el primero a las 08:00:00 con una máxima de  $512 \text{ W/m}^2$  y segundo pico máximo a las 12:00:00 con una máxima de  $1028 \text{ W/m}^2$ , se evidencia también que a las 09:00:00 existe un decrecimiento alcanzando los  $318 \text{ W/m}^2$  de radiación.

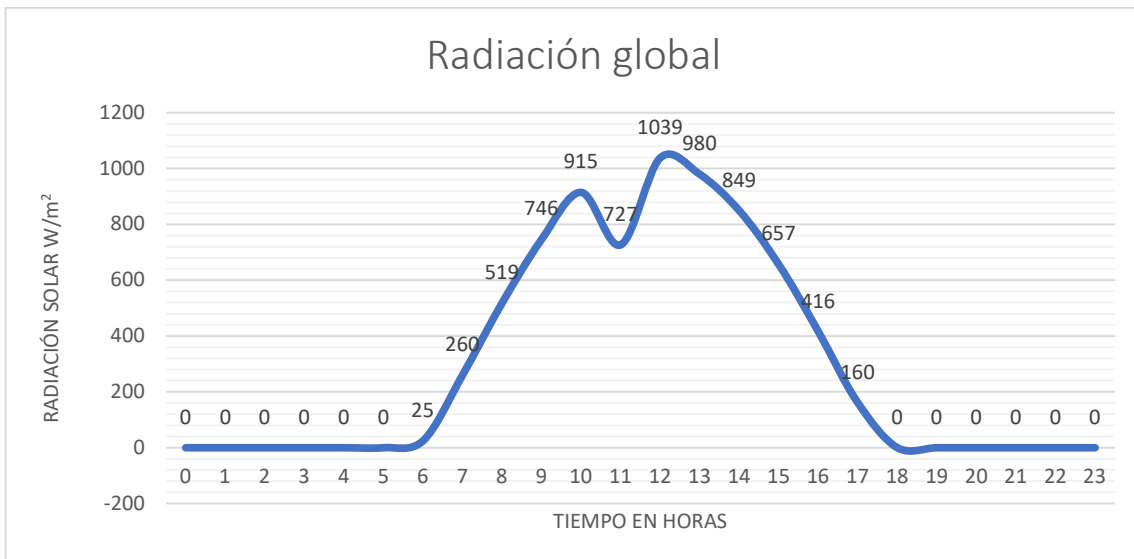
Desde las 12:00:00 comienza el decrecimiento paulatino en el nivel de radiación percibido en la zona de estudio como indica en la figura 5.4.



**Figura 5.4:** Radiación solar global en el cuarto día.

### 5.1.5. Análisis de la radiación global día 5

En la gráfica de radiación solar día 5, a las 10:00:00 se presenta ya un máximo de radiación con  $915 \text{ W/m}^2$ , seguidamente se puede observar una caída en la radiación de  $188 \text{ W/m}^2$  a las 11:00:00, a las 12:00:00 presenta un pico máximo de  $1039 \text{ W/m}^2$ , para iniciar en el periodo de la tarde un decrecimiento a cero a las 18:00:00 como indica la figura 5.5.



**Figura 5.5:** Radiación solar global en el quinto día.

### 5.1.6. Análisis de la radiación global día 6

En la gráfica de radiación solar correspondiente al día 6, se puede evidenciar dos picos máximos en el nivel de radiación presente el sector, el primer máximo registrado a las 12:00:00 con 1032 W/m<sup>2</sup>, a las 12:00:00, de ahí presenta un decaimiento del 769 W/m<sup>2</sup>, registrado a las 15:00:00, seguidamente se presenta un segundo pico máximo alcanzando los 407 W/m<sup>2</sup> a las 16:00:00 para nuevamente descender hasta alcanzar el nivel de radiación 0 a las 18:00:00 como se muestra en la figura 4.6

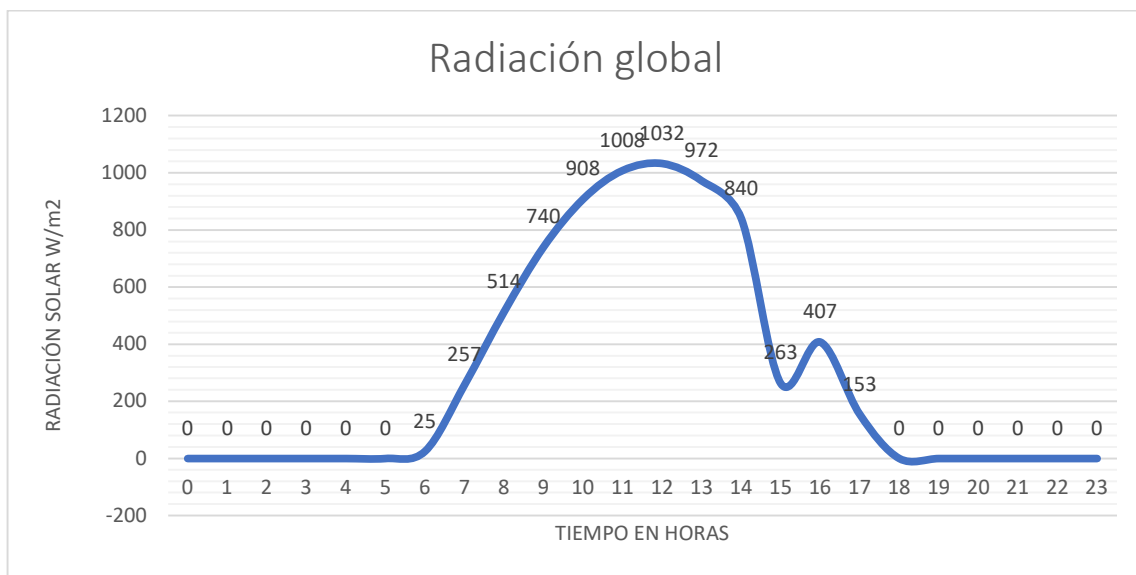
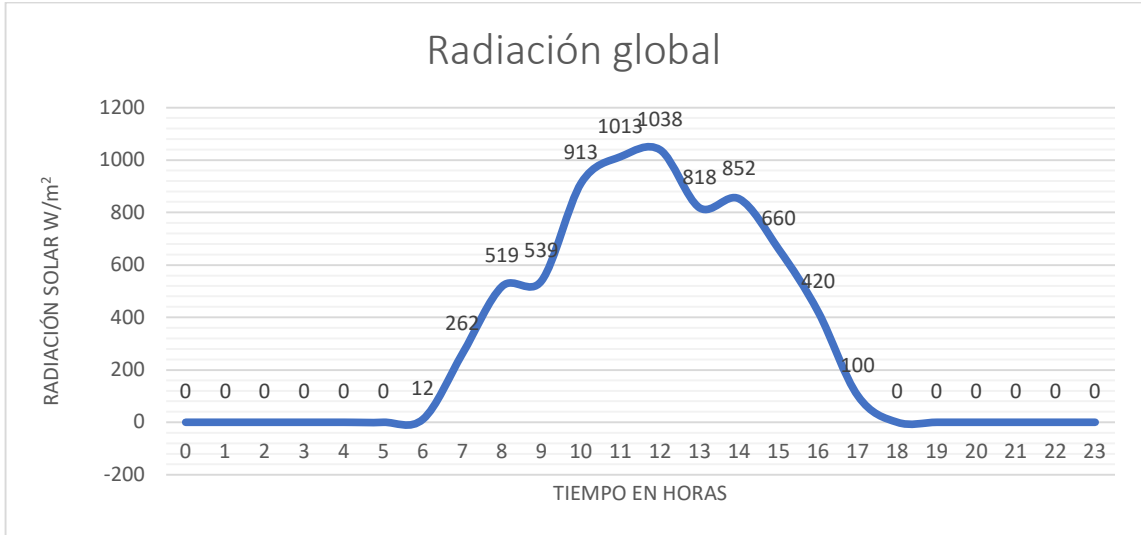


Figura 5.6: Radiación solar global en el sexto día.

### 5.1.7. Análisis de la radiación global día 7

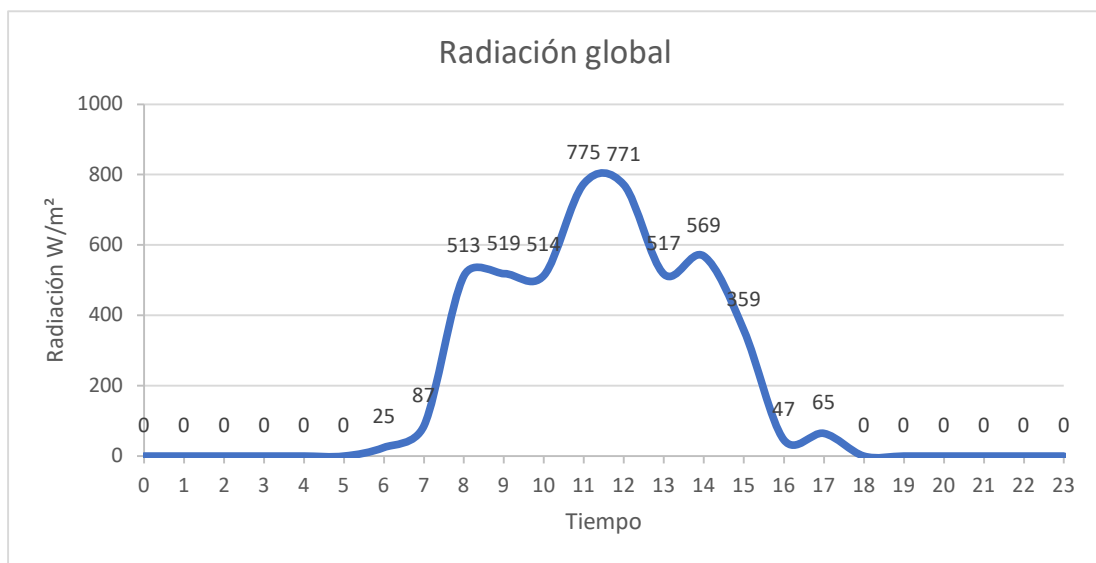
En la gráfica de radiación solar correspondiente al día 7, se puede evidenciar 3 picos máximos en el nivel de radiación presente el sector, en intervalos de tiempo que corresponden al 08:00:00 con un máxima de 519 W/m<sup>2</sup>, seguidamente presenta un decrecimiento, para posterior incrementar el nivel de radiación hasta llegar alcanzar una máxima de 1038 W/m<sup>2</sup> a las 12:00:00, presenta una pérdida de 220 W/m<sup>2</sup> a las 13:00:00, para alcanzar finalmente una máxima de 852 W/m<sup>2</sup>, a las 14:00:00, seguidamente tiende a descender el nivel de radiación hasta alzar el valor de 0 a las 18:00:00 como se presenta en la figura 5.7.



**Figura 5.7:** Radiación solar global en el séptimo día.

### 5.1.8. Análisis de la radiación global día 8

Se puede evidenciar tres picos máximos en el nivel de radiación presente el sector, en intervalos de tiempo que corresponden al 08:00:00 con un máxima de  $513 \text{ W/m}^2$ , seguidamente presenta un decrecimiento, para posterior incrementar el nivel de radiación hasta llegar alcanzar una máxima de  $775 \text{ W/m}^2$  a las 12:00:00, presenta una pérdida de  $258 \text{ W/m}^2$  a las 13:00:00, para alcanzar finalmente una  $569 \text{ W/m}^2$ , a las 14:00:00, seguidamente tiende a descender el nivel de radiación hasta alzar el valor de 0 a las 18:00:00 como se presenta en la figura 5.8.



**Figura 5.8:** Radiación solar global en el octavo día.

### 5.1.9. Análisis de la radiación global día 9

En la gráfica de radiación solar correspondiente al día 9, se puede evidenciar tres picos máximos presentes en el sector, en intervalos de tiempo que corresponden al 08:00:00 con un máxima de  $279 \text{ W/m}^2$ , posterior incrementar el nivel de radiación hasta llegar alcanzar una máxima de  $467 \text{ W/m}^2$  a las 11:00:00, presenta una pérdida de  $256 \text{ W/m}^2$  a las 12:00:00, para alcanzar finalmente un pico máximo de  $617 \text{ W/m}^2$ , a las 15:00:00, seguidamente tiende a descender el nivel de radiación hasta alzar el valor de 0 a las 18:00:00 como se presenta en la figura 5.9.

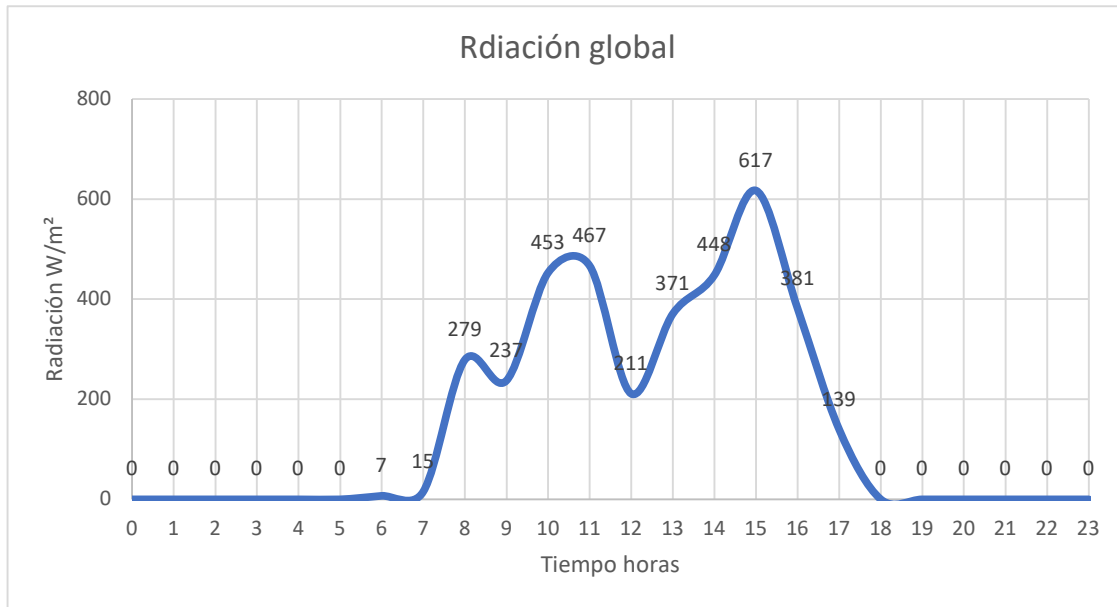
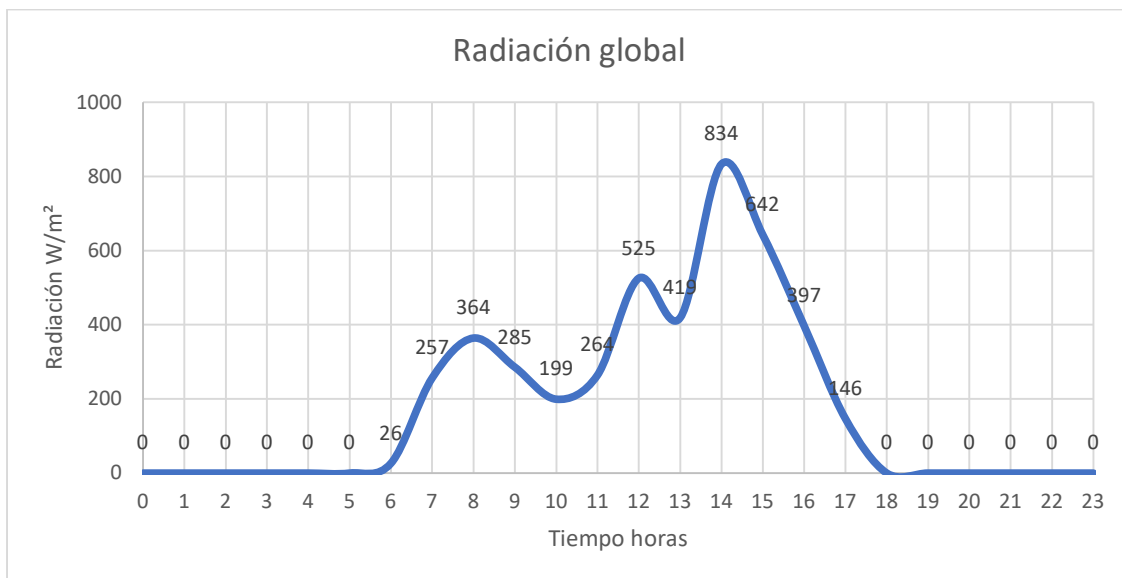


Figura 5.9: Radiación solar global en el noveno día.

### 5.1.10. Análisis de la radiación global día 10

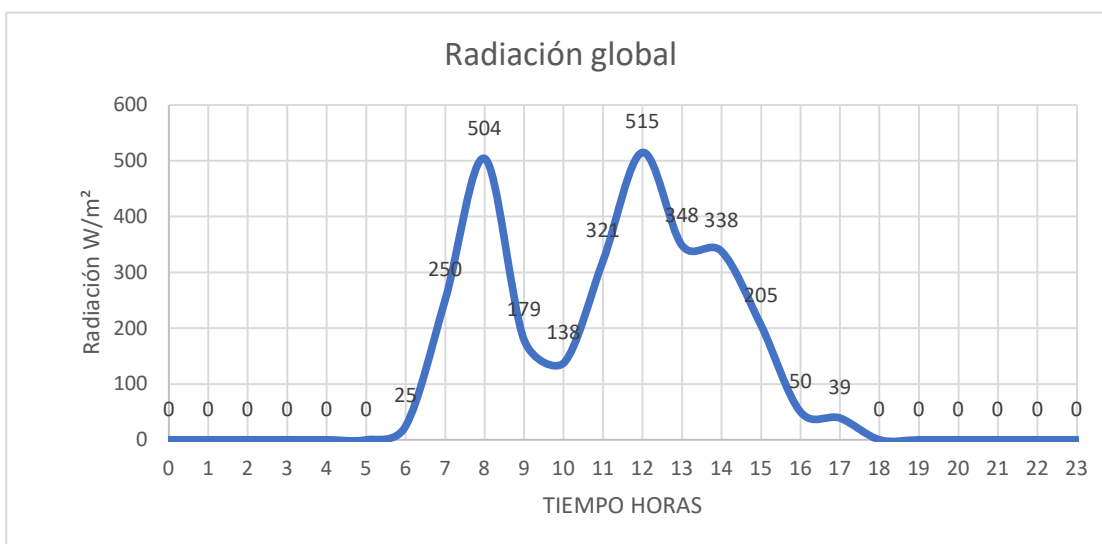
En la gráfica de radiación solar correspondiente al día 10, se puede evidenciar tres picos máximos presente el sector, en intervalos de tiempo que corresponden al 08:00:00 con un máxima de  $364 \text{ W/m}^2$ , posterior incrementar el nivel de radiación hasta llegar alcanzar de  $525 \text{ W/m}^2$  a las 12:00:00, presenta una pérdida de  $256 \text{ W/m}^2$  a las 12:00:00, para alcanzar finalmente un pico máximo de  $834 \text{ W/m}^2$ , a las 14:00:00, seguidamente tiende a descender el nivel de radiación hasta alzar el valor de 0 a las 18:00:00 como se presenta en la figura 5.10.



**Figura 5.10:** Radiación solar global en el décimo día

### 5.1.11. Análisis de la radiación global día 11

Se puede evidenciar dos picos máximos presente el sector, en intervalos de tiempo que corresponden al 08:00:00 con un máxima de 504 W/m<sup>2</sup>, posteriormente un decremento de 366 W/m<sup>2</sup>, posteriormente incrementa el nivel de radiación hasta llegar alcanzar 515 W/m<sup>2</sup> a las 12:00:00, seguidamente tiende a descender el nivel de radiación hasta alzar el valor de 0 a las 18:00:00 como se presenta en la figura 5.11.



**Figura 5.11:** Radiación solar global en el décimo primer día

### 5.1.12. Análisis de la radiación global día 12

Se puede evidenciar dos picos máximos presente el sector, que corresponden al 08:00:00 con un máxima de  $511 \text{ W/m}^2$ , posteriormente un decremento de  $328 \text{ W/m}^2$ , luego incrementa el nivel de radiación hasta llegar alcanzar un pico máximo de  $1023 \text{ W/m}^2$  a las 12:00:00, seguidamente tiende a descender el nivel de radiación hasta alzar el valor de 0 a las 18:00:00 como se presenta en la figura 5.12.

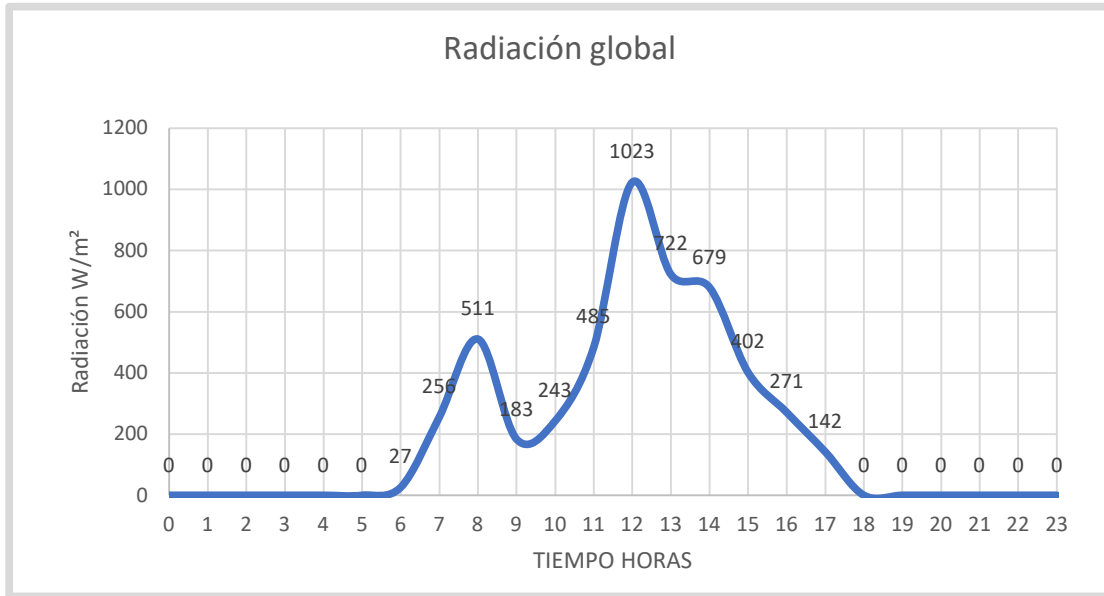
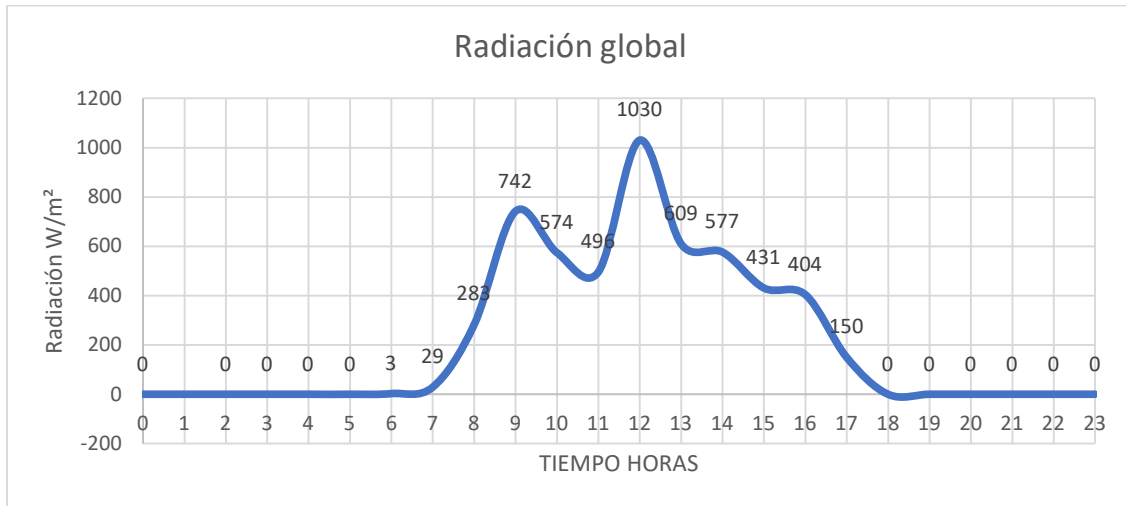


Figura 5.12: Radiación solar global en el décimo segundo día.

### 5.1.13. Análisis de la radiación global día 13

Se puede evidenciar dos picos máximos presente el sector, que corresponden al 09:00:00 con un máxima de  $742 \text{ W/m}^2$ , posteriormente un decremento de  $246 \text{ W/m}^2$ , luego incrementó el nivel de radiación hasta llegar alcanzar un pico máximo de  $1030 \text{ W/m}^2$  a las 12:00:00, seguidamente tiende a descender el nivel de radiación hasta  $577 \text{ W/m}^2$ , y en el transcurso de la 13:00 y 16:00 tiene descender y llegar a  $404 \text{ W/m}^2$ .

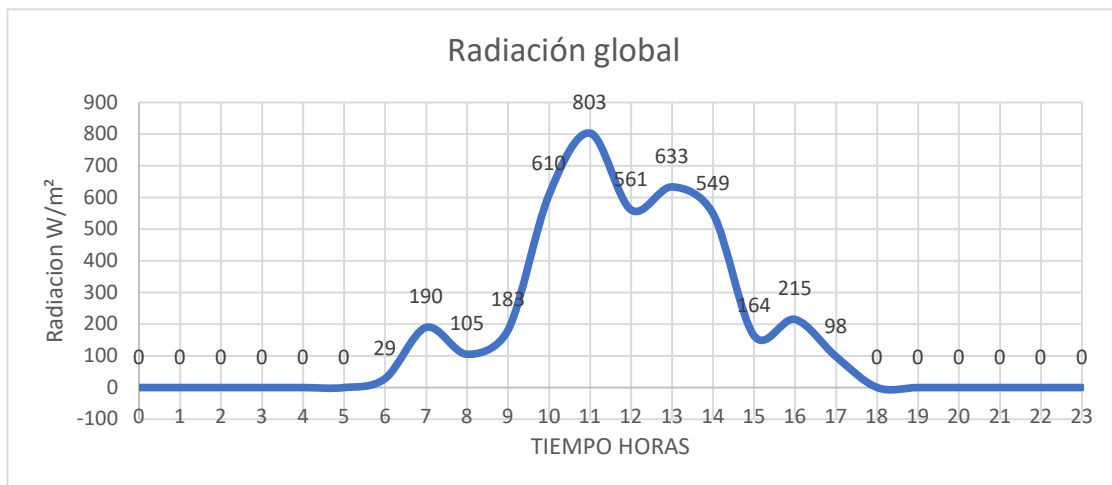
Por último, descendió considerablemente hasta alcanzar un valor de 0 a las 18:00:00 como se presenta en la figura 5.13.



**Figura 5.13:** Radiación solar global en el décimo tercer día.

#### 5.1.14. Análisis de la radiación global día 14

En la gráfica de radiación solar correspondiente al día 14, se puede evidenciar 4 picos máximos en el nivel de radiación presente el sector, en intervalos de tiempo que corresponden al 07:00:00 con un máxima de 190 W/m<sup>2</sup>, seguidamente incrementa hasta llegar alcanzar una máxima de 803 W/m<sup>2</sup> a las 11:00:00, presenta una pérdida de 242 W/m<sup>2</sup> desde 11:00:00 a 12:00:00, para alcanzar una máxima de 633 W/m<sup>2</sup>, a las 13:00:00, seguidamente tiende a descender el nivel de radiación hasta 164 W/m<sup>2</sup>, luego incrementa a 215 W/m<sup>2</sup> para alcanzar el valor de 0 a las 18:00:00 como se presenta en la figura 5.14.

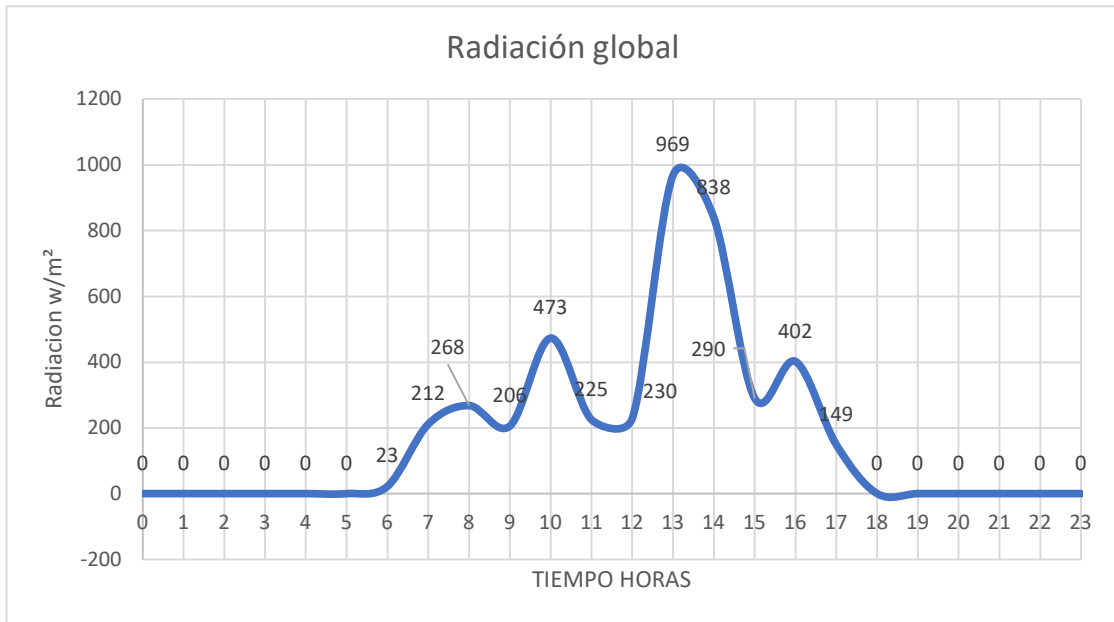


**Figura 5.14:** Radiación solar global en el décimo cuarto día.



### 5.1.15. Análisis de la radiación global día 15

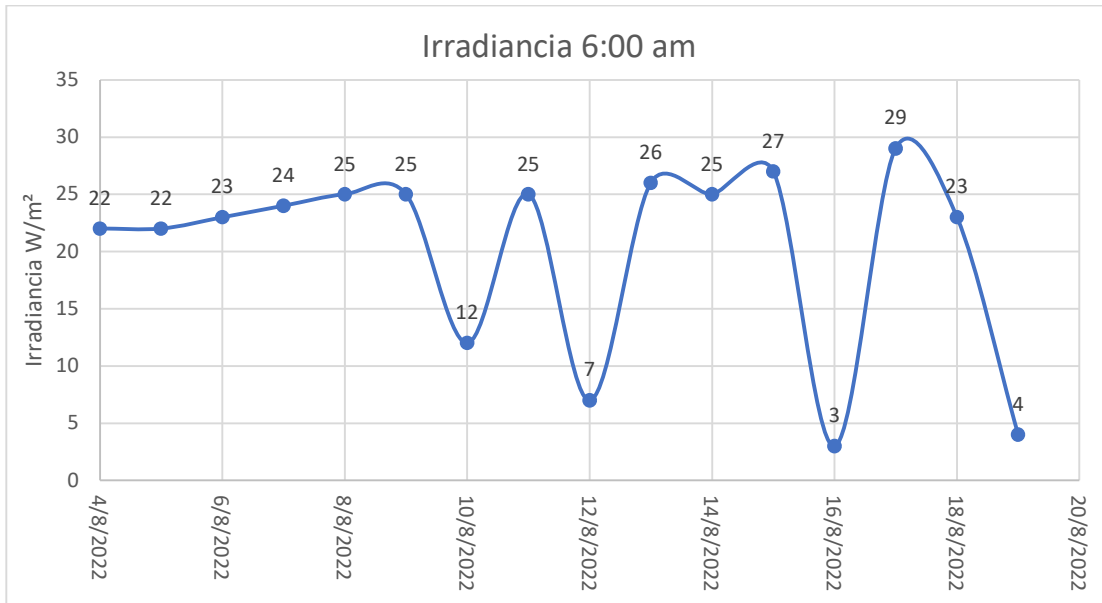
En la gráfica de radiación solar correspondiente al día 15, se puede evidenciar 4 picos máximos en el nivel de radiación presente el sector, en intervalos de tiempo que corresponden al 08:00:00 con un máxima de  $268 \text{ W/m}^2$ , seguidamente incrementa hasta llegar alcanzar  $473 \text{ W/m}^2$  a las 10:00:00, para luego llegar a un pico máximo de  $969 \text{ W/m}^2$ , a las 14:00:00, seguidamente tiende a descender el nivel de radiación hasta  $290 \text{ W/m}^2$ , luego incrementa a  $402 \text{ W/m}^2$  para alcanzar el valor de 0 a las 18:00:00 como se presenta en la figura 5.14.



**Figura 5.15:** Radiación solar global en el décimo quinto día.

### 5.2. Análisis Estadístico

Se realizó un análisis estadístico de la radiación de una misma hora de cada uno de los dieciséis días, para ello se desarrolló un estudio de los cálculos de las medidas de tendencia central y medidas de dispersión a su vez la gráfica, para analizar el comportamiento de la irradiancia, es decir que tan constante es esta variable en una hora específica de cada uno de los días, como se muestra a continuación.



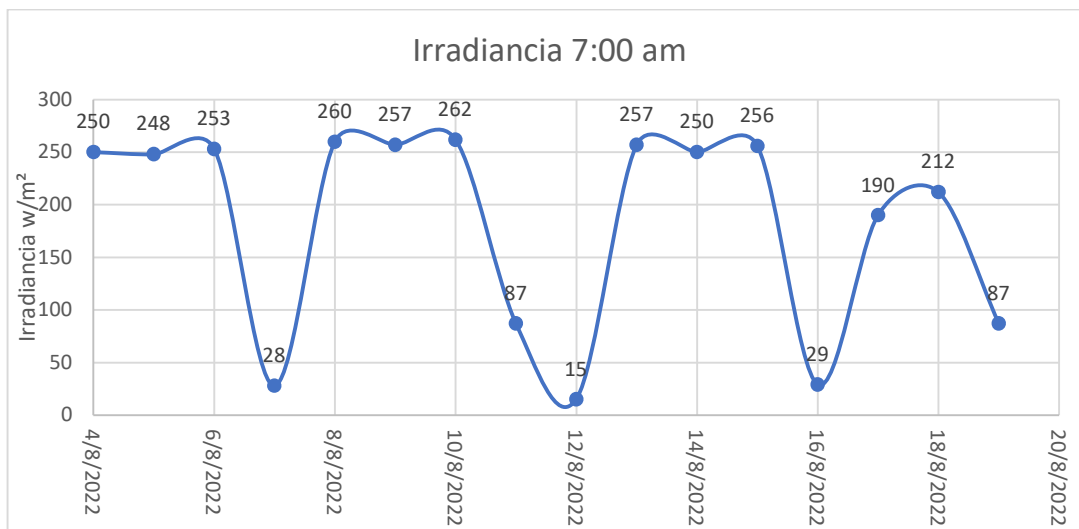
**Figura 5.16:** Comportamiento de la irradiancia 6:00 am.

Con los datos obtenidos de la radiación y el análisis estadístico de las tendencias centrales y de dispersión se realizó la figura 5.16, en donde se describe el comportamiento de la irradiancia a las 6:00 am, de cada uno de los 16 días, detallando que existe una desviación estándar en los días 10, 12, 16 y 19 del mes de agosto mientras que en los demás días la dispersión no es significativa.

**Tabla 5.1:** Irradiancia 6:00 am

| Irradiancia 6:00 am    |            |
|------------------------|------------|
| Media                  | 20,125     |
| Mediana                | 23,5       |
| Moda                   | 25         |
| Desviación estándar    | 8,50783952 |
| Varianza de la muestra | 72,3833333 |
| Mínimo                 | 3          |
| Máximo                 | 29         |
| Cuenta                 | 16         |

Como se presenta en la tabla 5.1 el análisis de muestras de las 6:00 am dio como resultado en las medidas de dispersión, que existe una desviación estándar de 8,50783952 y una varianza de 72,3833333. Asimismo, en las medidas de tendencia central la media con un valor de 20,125 y una mediana de 23,5 a su vez se obtuvo el valor de irradiancia máxima de 29 y un valor mínimo de 3.



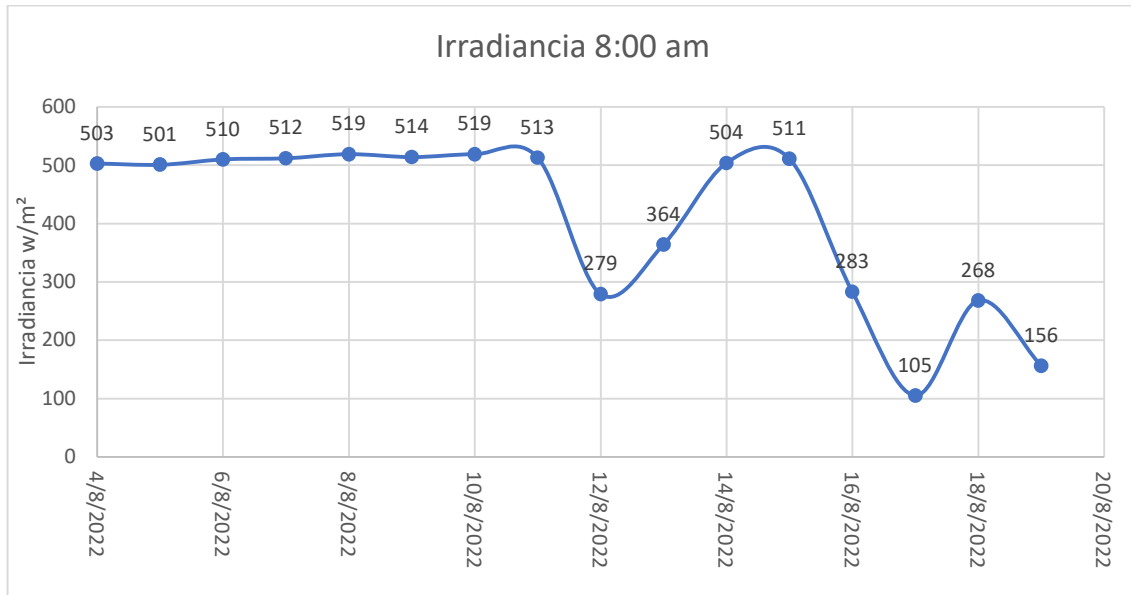
**Figura 5.17:** Comportamiento de la irradiancia 7:00 am.

En la siguiente figura 5.17 se nota claramente que los datos obtenidos de la irradiancia son un poco más dispersos, en donde describe el comportamiento de la irradiancia a las 7:00 am, detallando que existe una desviación estándar en los días 7, 12, 16 y 19 del mes de agosto mientras que en los demás días la dispersión según el grafico no es significativa con respecto a la media de la muestra.

**Tabla 5.2:** Irradiancia 7:00 am

| Irradiancia 7:00 am    |            |
|------------------------|------------|
| Media                  | 183,8125   |
| Mediana                | 249        |
| Moda                   | 250        |
| Desviación estándar    | 97,2386883 |
| Varianza de la muestra | 9455,3625  |
| Rango                  | 247        |
| Mínimo                 | 15         |
| Máximo                 | 262        |
| Cuenta                 | 16         |

Como se presenta en la tabla 5.2 el análisis de muestras de las 7:00 am dio como resultado en las medidas de dispersión, que existe una desviación estándar de 97,23 y una varianza de 9455,36. Asimismo, en las medidas de tendencia central la media con un valor de 183,8125 y una mediana de 249 a su vez se obtuvo el valor de irradiancia máxima de 262 y un valor mínimo de 15.



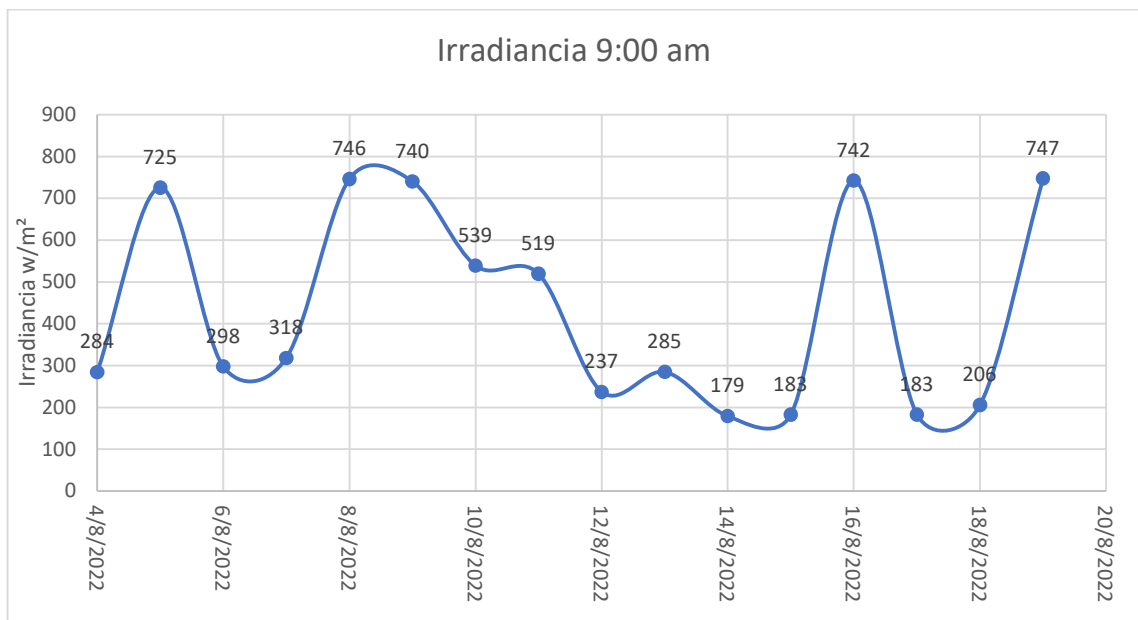
**Figura 5.18:** Comportamiento de la irradiancia 8:00 am.

En la figura 5.18 describe el comportamiento de la irradiancia a las 8:00 am, donde se puede notar que durante los primeros días el comportamiento de los datos de la irradiancia se asemeja y en los días 12, 17 y 18 del mes de agosto los datos obtenidos son más dispersos debido a la desviación estándar que existe entre los datos a esa hora.

**Tabla 5.3:** Irradiancia 8:00 am

| Irradiancia 8:00 am    |            |
|------------------------|------------|
| Media                  | 410,0625   |
| Mediana                | 503,5      |
| Moda                   | 519        |
| Desviación estándar    | 144,837596 |
| Varianza de la muestra | 20977,9292 |
| Rango                  | 414        |
| Mínimo                 | 105        |
| Máximo                 | 519        |
| Cuenta                 | 16         |

Como se presenta en la tabla 5.3 el análisis de muestras de las 8:00 am, dio como resultado en las medidas de dispersión que existe una desviación estándar de 144.8375 y una varianza de 20977,9292. Asimismo, en las medidas de tendencia central la media con un valor de 410,0625 y una mediana de 503.5 a su vez se obtuvo el valor de irradiancia máxima de 519 y un valor mínimo de 105.



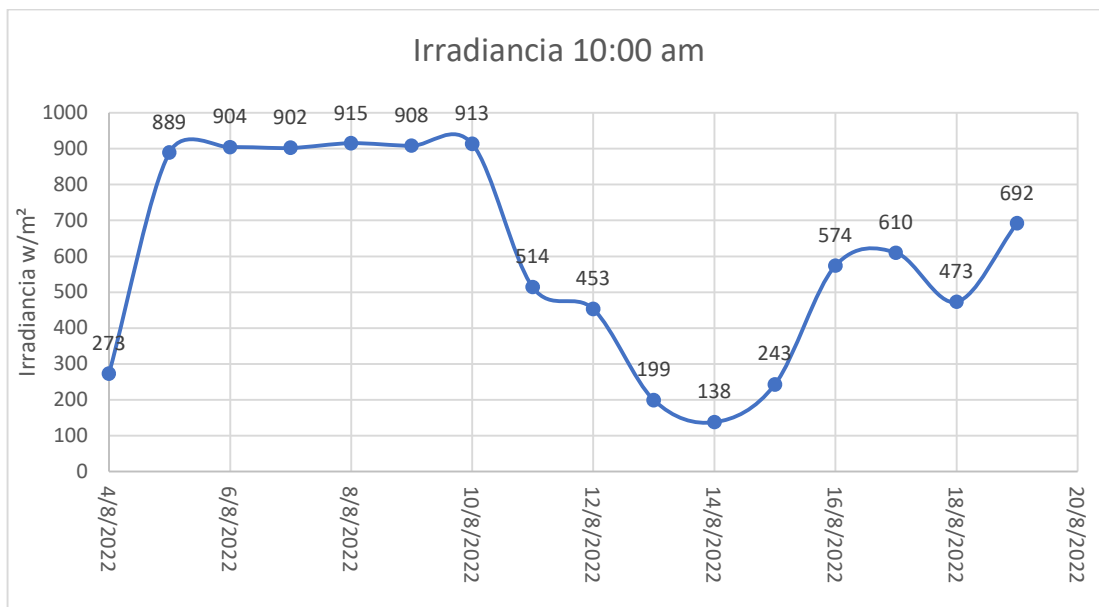
**Figura 5.19:** Comportamiento de la irradiancia 9:00 am.

En la figura 5.19 se puede apreciar que el comportamiento de la irradiancia a las 9:00 am, es más dispersa la misma que puede ser justificada a factores externos del ambiente, como puede ser la nubosidad entre otros factores. Asimismo, los días que tiene más dispersión con respecto a la media de esa hora son el 14,17,7 del mes de agosto.

**Tabla 5.4:** Irradiancia 9:00 am

| Irradiancia 9:00 am    |            |
|------------------------|------------|
| Media                  | 433,1875   |
| Mediana                | 308        |
| Moda                   | 183        |
| Desviación estándar    | 237,375432 |
| Varianza de la muestra | 56347,0958 |
| Rango                  | 568        |
| Mínimo                 | 179        |
| Máximo                 | 747        |
| Cuenta                 | 16         |

Como se presenta en la tabla 5.4 el análisis de muestras de las 9:00 am, dio como resultado en las medidas de dispersión que existe una desviación estándar de 237.375432 y una varianza de 56347,0958. Asimismo, en las medidas de tendencia central la media con un valor de 433,1875 y una mediana de 308 a su vez se obtuvo el valor de irradiancia máxima de 747 y un valor mínimo de 179.



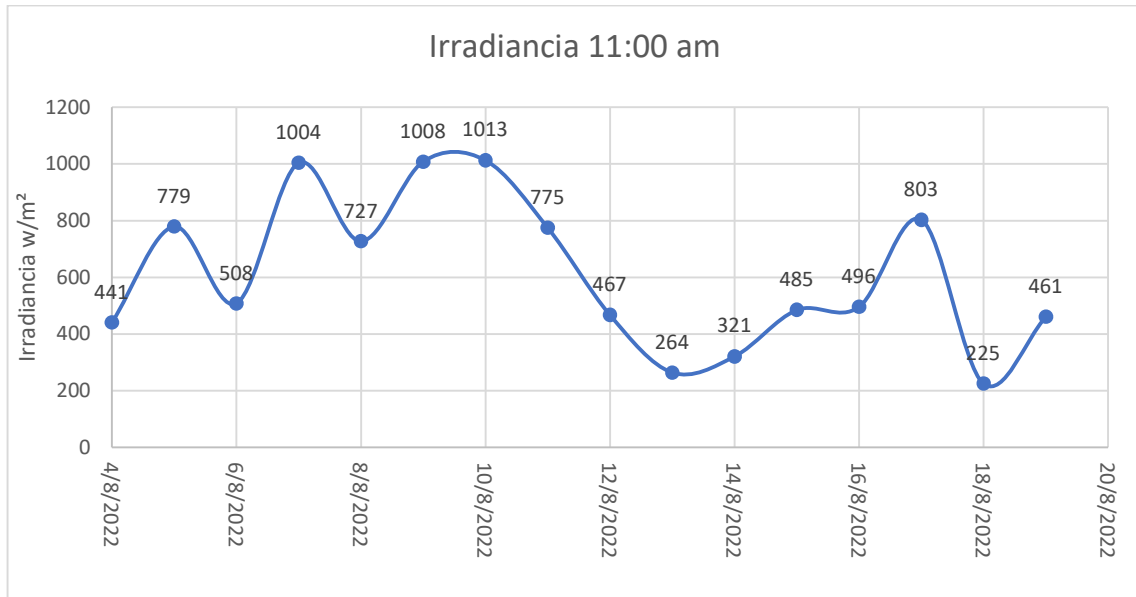
**Figura 5.20:** Comportamiento de la irradiancia 10:00 am.

En la figura 5.20 describe el comportamiento de la irradiancia a las 10:00 am, donde se puede notar que el primer día ya comienza con una dispersión significativa, y los siguientes días el comportamiento de la irradiancia se asemejan, mientras tanto en los días 11 y 19 del mes de agosto, existe una desviación estándar mínima con respecto a la media de ese día.

**Tabla 5.5:** Irradiancia 10:00 am

| Irradiancia 10:00 am   |            |
|------------------------|------------|
| Media                  | 600        |
| Mediana                | 592        |
| Moda                   | 0          |
| Desviación estándar    | 285,446551 |
| Varianza de la muestra | 81479,7333 |
| Rango                  | 777        |
| Mínimo                 | 138        |
| Máximo                 | 915        |
| Cuenta                 | 16         |

Como se presenta en la tabla 5.5 el análisis de muestras de las 10:00 am dio como resultado, en las medidas de dispersión que existe una desviación estándar de 285,446551 y una varianza de 81479,7333. Asimismo, en las medidas de tendencia central la media con un valor de 600 y una mediana de 592 a su vez se obtuvo el valor de irradiancia máxima de 915 y un valor mínimo de 138.



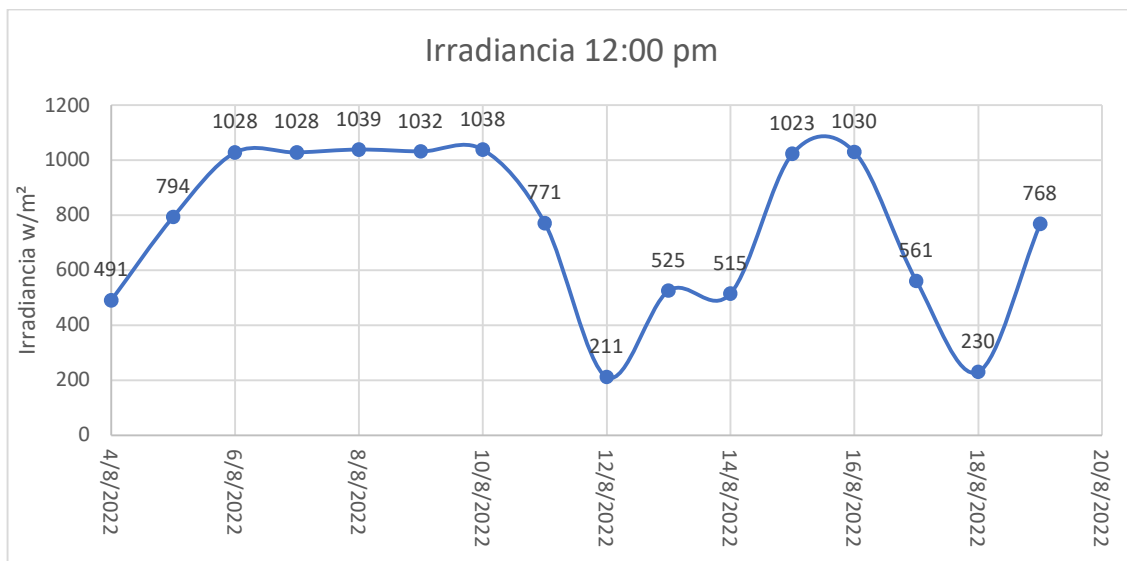
**Figura 5.21:** Comportamiento de la irradiancia 11:00 am.

En la figura 5.21 se puede apreciar que el comportamiento de la irradiancia a las 11:00 am, es más dispersa la misma que puede ser debido a factores externos del ambiente, como la nubosidad entre otros factores.

**Tabla 5.6:** Irradiancia 11:00 am

| Irradiancia 11:00 am   |            |
|------------------------|------------|
| Media                  | 611,0625   |
| Mediana                | 502        |
| Moda                   | 0          |
| Desviación estándar    | 263,875341 |
| Varianza de la muestra | 69630,1958 |
| Rango                  | 788        |
| Mínimo                 | 225        |
| Máximo                 | 1013       |
| Cuenta                 | 16         |

Como se presenta en la tabla 5.6 el análisis dio como resultado en las medidas de dispersión que existe una desviación estándar de 263,875341 y una varianza de 69630,1958. Asimismo, en las medidas de tendencia central la media con un valor de 611,0625 y una mediana de 502 a su vez se obtuvo el valor de irradiancia máxima de 1013 y un valor mínimo de 225.



**Figura 5.22:** Comportamiento de la irradiancia 12:00 pm.

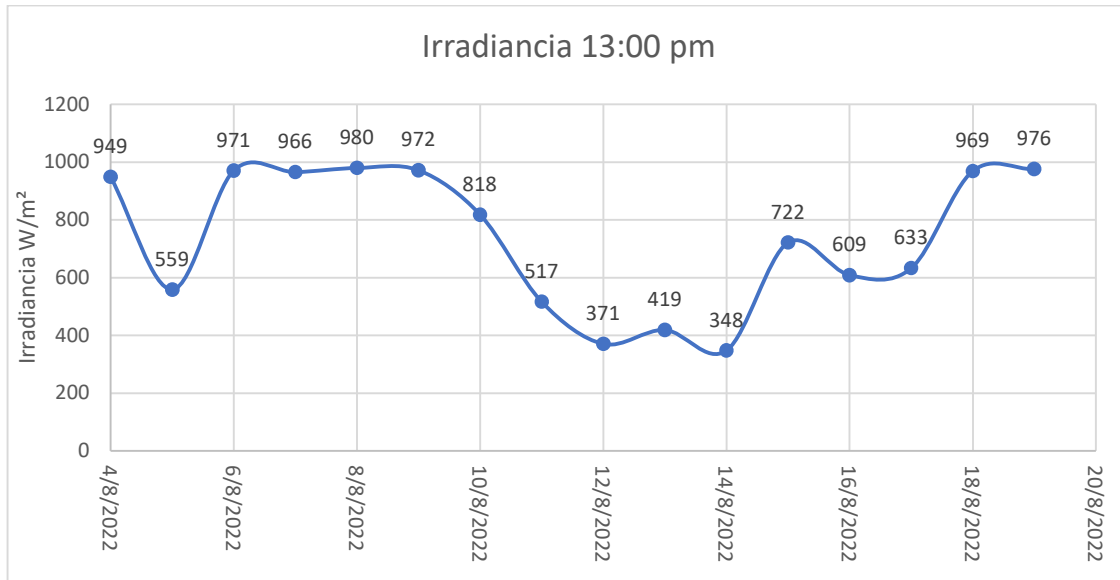
En la figura 5.22 describe el comportamiento de la irradiancia a las 12:00 pm, donde se puede notar que los primeros días tiene una dispersión mínima en sus datos y los siguientes días el comportamiento de la irradiancia tiene relación entre sí, hasta el día 10 del mes de agosto, de ahí en adelante tiene a tener una desviación estándar en sus datos, tal es el caso de los días 12 y 18 del mes de agosto que su desviación es mayor a comparación de otros datos.

**Tabla 5.7:** Irradiancia 12:00 pm

| Irradiancia 12:00 pm   |            |
|------------------------|------------|
| Media                  | 755,25     |
| Mediana                | 782,5      |
| Moda                   | 1028       |
| Desviación estándar    | 297,245017 |
| Varianza de la muestra | 88354,6    |
| Rango                  | 828        |
| Mínimo                 | 211        |
| Máximo                 | 1039       |
| Cuenta                 | 16         |

Como se presenta en la tabla 5.7 el análisis de muestras de las 12:00 pm, dio como resultado en las medidas de dispersión que existe una desviación estándar de 297,245017 y una varianza de 88354,6. Asimismo, en las medidas de tendencia central la media con un valor de 755,25 y una mediana de 782,5 a su vez se obtuvo el valor de irradiancia máxima de 1039 y un valor mínimo de 211.





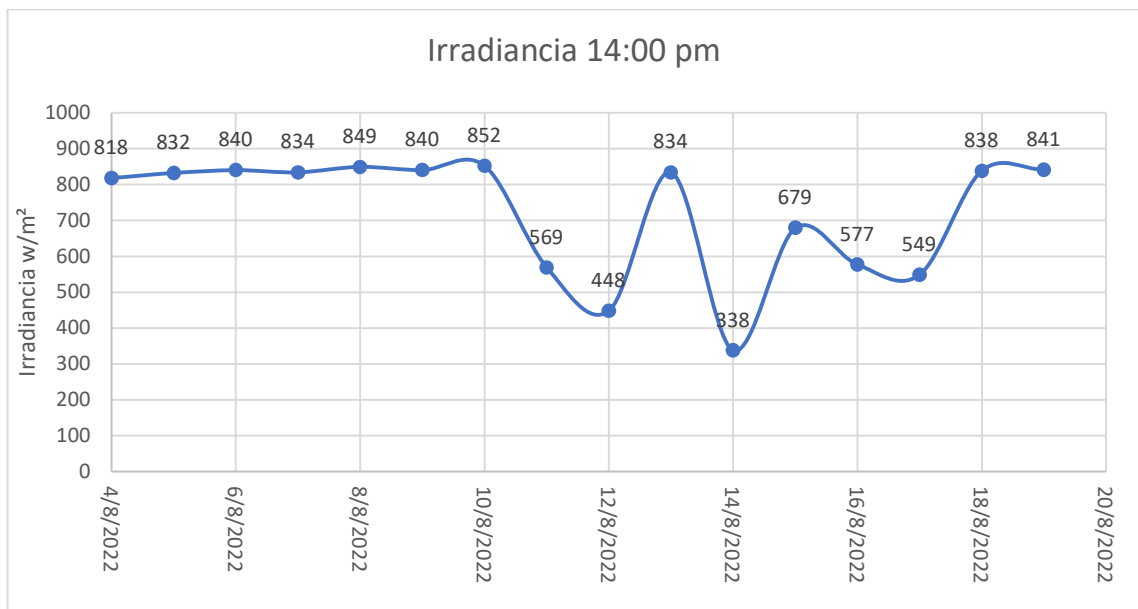
**Figura 5.23:** Comportamiento de la irradiancia 13:00 pm.

En la figura 5.23 describe el comportamiento de la irradiancia a las 13:00 pm, donde se puede apreciar que entre los días 6 y 9 del mes de agosto el comportamiento de la irradiancia es igual en esos días, pero existe dispersión de sus datos en los demás días los cuales pueden haber sucedido por algún factor externo.

**Tabla 5.8:** Irradiancia 13:00 pm

| Irradiancia 13:00 pm   |            |
|------------------------|------------|
| Media                  | 736,1875   |
| Mediana                | 770        |
| Moda                   | 0          |
| Desviación estándar    | 241,91189  |
| Varianza de la muestra | 58521,3625 |
| Rango                  | 632        |
| Mínimo                 | 348        |
| Máximo                 | 980        |
| Cuenta                 | 16         |

Como se presenta en la tabla 5.8 el análisis dio como resultado en las medidas de dispersión que existe una desviación estándar de 241,91189 y una varianza de 58521,3625. Asimismo, en las medidas de tendencia central la media con un valor de 736,1875 y una mediana de 770 a su vez se obtuvo el valor de irradiancia máxima de 980 y un valor mínimo de 348.



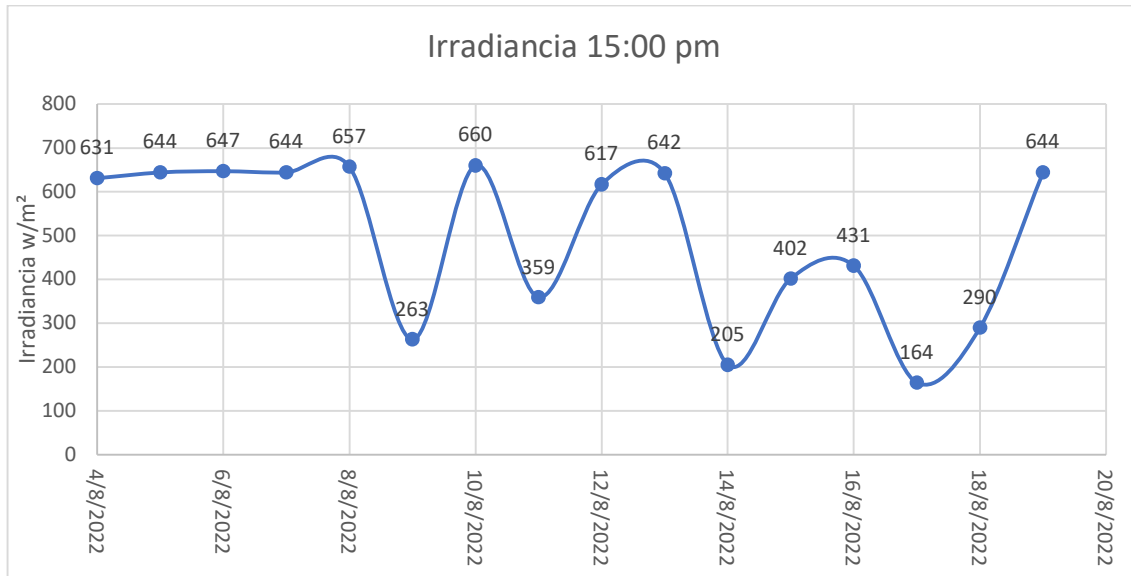
**Figura 5.24:** Comportamiento de la irradiancia 14:00 pm.

En la figura 5.24 describe el comportamiento de la irradiancia a las 14:00 pm, donde se puede observar que durante los primeros días el comportamiento de la irradiancia se asemeja, los días siguientes existe una desviación estándar de sus datos con respecto a la media es considerable como es el caso de los días 12 y 14 del mes de agosto donde los datos se encuentran dispersos.

**Tabla 5.9:** Irradiancia 14:00 pm

| Irradiancia 14:00 pm   |            |
|------------------------|------------|
| Media                  | 721,125    |
| Mediana                | 833        |
| Moda                   | 840        |
| Desviación estándar    | 170,025439 |
| Varianza de la muestra | 28908,65   |
| Rango                  | 514        |
| Mínimo                 | 338        |
| Máximo                 | 852        |
| Cuenta                 | 16         |

Como se presenta en la tabla 5.9 el análisis dio como resultado en las medidas de dispersión que existe una desviación estándar de 170,025439 y una varianza de 28908,65. Asimismo, en las medidas de tendencia central la media con un valor de 721,125 y una mediana de 833 a su vez se obtuvo el valor de irradiancia máxima de 852 y un valor mínimo de 338.



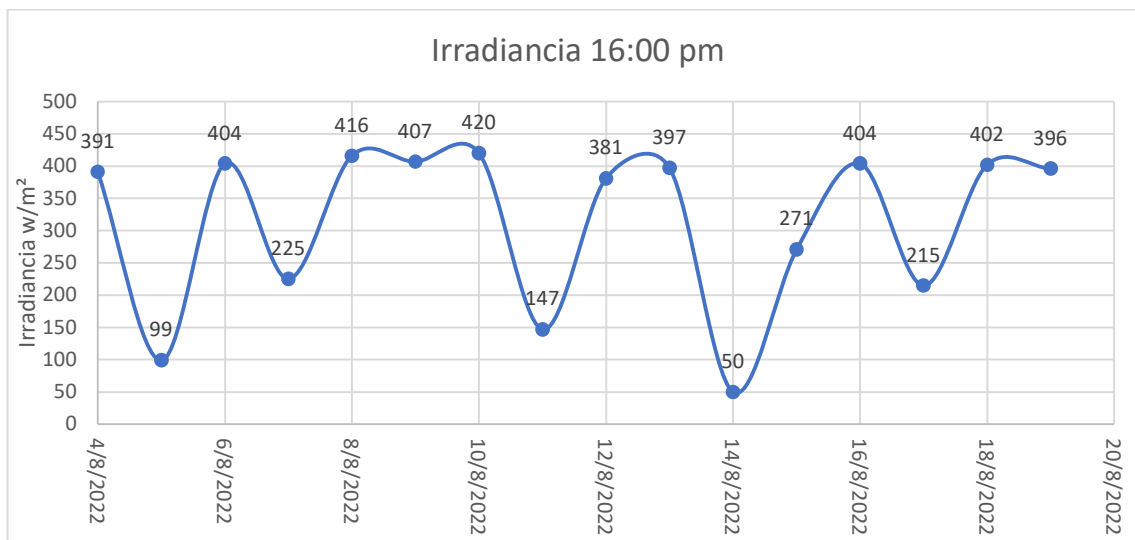
**Figura 5.25:** Comportamiento de la irradiancia 15:00 pm.

En la figura 5.25 describe el comportamiento de la irradiancia a las 15:00 pm, donde se puede notar que durante los primeros días el comportamiento de los datos de la irradiancia se asemeja y en los días siguientes los datos tienen a tener desviación estándar con respecto a la media de ese día, como son el caso de los días 7, 14, 17, 18 del mes de agosto los cuales son los días que tienen más dispersión.

**Tabla 5.10:** Irradiancia 15:00 pm

| Irradiancia 15:00 pm   |            |
|------------------------|------------|
| Media                  | 493,75     |
| Mediana                | 624        |
| Moda                   | 644        |
| Desviación estándar    | 185,991218 |
| Varianza de la muestra | 34592,7333 |
| Rango                  | 496        |
| Mínimo                 | 164        |
| Máximo                 | 660        |
| Cuenta                 | 16         |

Como se presenta en la tabla 5.10 el análisis de muestras de las 15:00 pm, dio como resultado en las medidas de dispersión que existe una desviación estándar de 185,991218 y una varianza de 34592,7333. Asimismo, en las medidas de tendencia central la media con un valor de 493,75 y una mediana de 624 a su vez se obtuvo el valor de irradiancia máxima de 660 y un valor mínimo de 164.



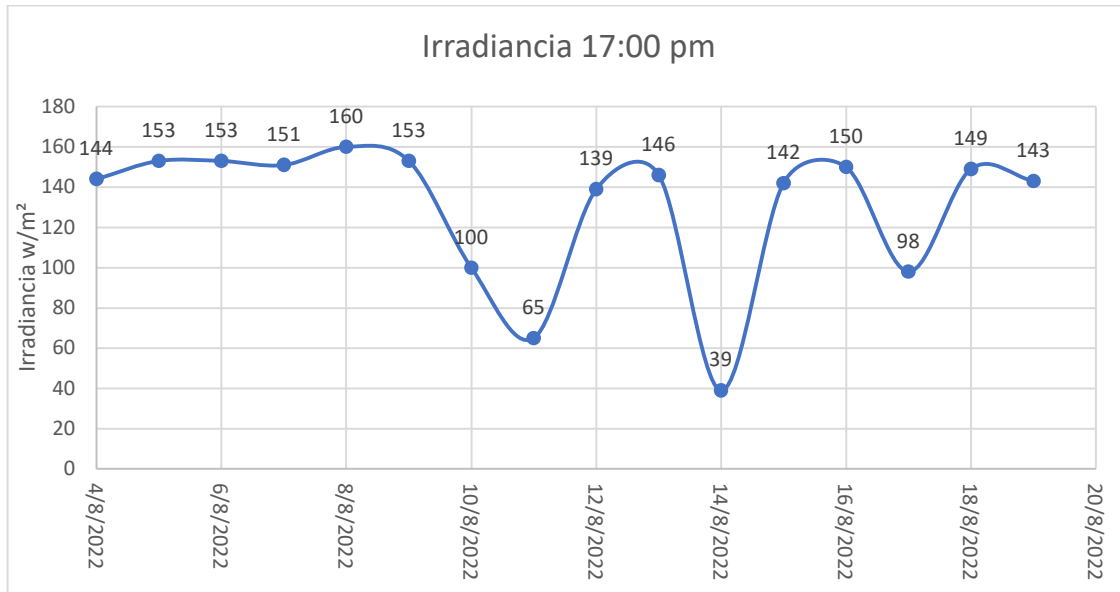
**Figura 5.26:** Comportamiento de la irradiancia 16:00 pm.

En la figura 5.26 describe el comportamiento de la irradiancia a las 16:00 pm, donde se puede notar que algunos datos están alejados con respecto a la media de esa hora, entonces podemos decir que existe una desviación estándar de datos muy considerable en esta hora del día como son el caso de los días 5,11y14 del mes de agosto.

**Tabla 5.11:** Irradiancia 16:00 pm

| Irradiancia 16:00 pm   |            |
|------------------------|------------|
| Media                  | 332,8125   |
| Mediana                | 393,5      |
| Moda                   | 404        |
| Desviación estándar    | 99,0563602 |
| Varianza de la muestra | 9812,1625  |
| Rango                  | 273        |
| Mínimo                 | 147        |
| Máximo                 | 420        |
| Cuenta                 | 16         |

Como se presenta en la tabla 5.11 el análisis de muestras de las 16:00 pm, dio como resultado en las medidas de dispersión que existe una desviación estándar de 99,0563602 y una varianza de 9812,1625. Asimismo, en las medidas de tendencia central la media con un valor de 332,8125 y una mediana de 393,5 a su vez se obtuvo el valor de irradiancia máxima de 420 y un valor mínimo de 147.



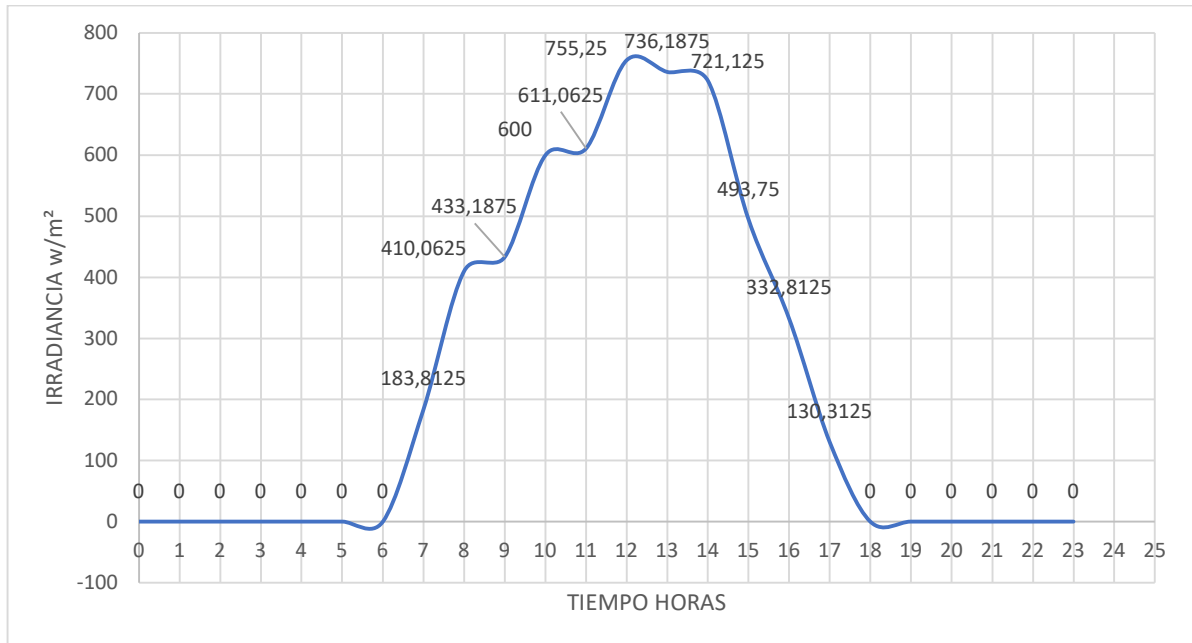
**Figura 5.27:** Comportamiento de la irradiancia 17:00 pm.

En la figura 5.27 describe el comportamiento de la irradiancia a las 17:00 pm, donde se puede notar que durante los primeros días el comportamiento de los datos de la irradiancia se asemeja a los de la media de esa hora y en los días siguientes los datos tienen a tener desviación estándar con respecto a la media como es el caso de los días 10,11,14,17 del mes de agosto.

**Tabla 5.12:** Irradiancia 17:00 pm

| Irradiancia 17:00 pm   |            |
|------------------------|------------|
| Media                  | 130,3125   |
| Mediana                | 145        |
| Moda                   | 153        |
| Desviación estándar    | 35,5560004 |
| Varianza de la muestra | 1264,22917 |
| Rango                  | 121        |
| Mínimo                 | 39         |
| Máximo                 | 160        |
| Cuenta                 | 16         |

Como se presenta en la tabla 5.12 el análisis de muestras de las 16:00 pm, dio como resultado en las medidas de dispersión que existe una desviación estándar de 35,5560004 y una varianza de 1264,22917. Asimismo, en las medidas de tendencia central la media con un valor de 130,3125 y una mediana de 145 a su vez se obtuvo el valor de irradiancia máxima de 160 y un valor mínimo de 39.

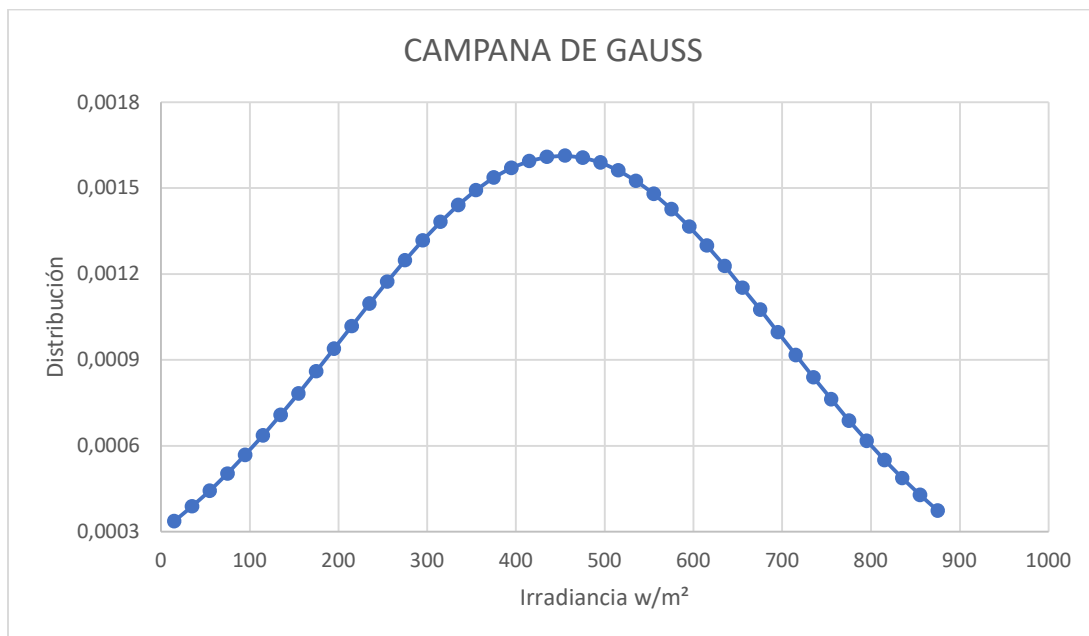


**Figura 5.28:** Comportamiento de la Irradiancia.

Un elemento muy importante que se necesita es saber cómo se distribuye los datos que se compilo de la estación meteorológica, de tal forma que se puede graficar utilizando un histograma como se puede ver en la figura 5,28. Donde la irradiancia promedio se obtiene del cálculo promedio de cada una de las horas de los 16 días obtenido así una curva.

### 5.3. Análisis mediante la campana de GAUSS

Para nuestro análisis se tomó en cuenta que el método de campana de GAUSS, es una herramienta para el tratamiento de datos y no es más que una representación gráfica de la distribución de datos, y está al ser dividida por la mitad al eje de simetría debe coincidir con los datos de la media, mediana de nuestros datos de irradiancia, es decir se utilizara la gráfica de irradiancia promedio y desarrollara un tratamiento aplicando este método.



**Figura 5.29:** Campana de Gauss.

Para desarrollar la figura 5.29 se tomó en cuenta algunos factores muy importantes:

- Se deben tener los todos los datos del promedio general de cada día de todos los 16 días.
- Se debe hacer un análisis a estos datos determinando las medidas de tendencia central y medidas de dispersión, es decir la media y la desviación.
- Se elige un dato arbitrario asumiendo los datos mínimos y máximos.

**Tabla 5.13:** Irradiancia promedio

| Irradiancia Promedio   |             |
|------------------------|-------------|
| Media                  | 452,3072917 |
| Mediana                | 463,46875   |
| Desviación estándar    | 247,228252  |
| Varianza de la muestra | 61121,80856 |
| Rango                  | 735,125     |
| Mínimo                 | 20,125      |
| Máximo                 | 755,25      |

Los datos de la tabla 5.13 pertenece al cálculo de irradiancia promedio de cada hora de los 16 días, mismos que se utilizaron para el tratamiento de la curva de la irradiancia promedio y así poder realizar el método de Gauss.

#### 5.4. Cálculo de la integral diaria de la irradiación solar

La radiación cambia a cada instante por ende hay que tener en cuenta, más que el valor de radiación en potencia medida lo más conveniente es conocer la cantidad de energía que llega a la tierra, para obtener la energía lo que se debe determinar es el área que existe bajo la curva.

Para ello se debe realizar la conversión de  $W/m^2$  a MJ y luego a  $kWh/m^2$ . como se muestra en las siguientes tablas.

**Tabla 5.14:** Irradiación acumulada día 4

| DIA 4 |         |        |           |
|-------|---------|--------|-----------|
| hora  | $W/m^2$ | MJ     | $kWh/m^2$ |
| 6     | 22      | 0,0792 | 0,022     |
| 7     | 250     | 0,9    | 0,25      |
| 8     | 503     | 1,8108 | 0,503     |
| 9     | 284     | 1,0224 | 0,284     |
| 10    | 273     | 0,9828 | 0,273     |
| 11    | 441     | 1,5876 | 0,441     |
| 12    | 491     | 1,7676 | 0,491     |
| 13    | 949     | 3,4164 | 0,949     |
| 14    | 818     | 2,9448 | 0,818     |
| 15    | 631     | 2,2716 | 0,631     |
| 16    | 391     | 1,4076 | 0,391     |
| 17    | 144     | 0,5184 | 0,144     |
| TOTAL |         |        | 5,197     |

Como se muestra en la tabla 5.14 se realizó el cálculo de irradiación acumulada por debajo de la curva de nuestro día 4. Estos cálculos se lo realizaron con cada hora del día, teniendo como resultado que nuestra irradiación acumulada en el día 4 es de  $5,197 kWh/m^2$ .



**Tabla 5.15:** Irradiación acumulada día 5

| DIA 5 |                  |        |                    |
|-------|------------------|--------|--------------------|
| hora  | W/m <sup>2</sup> | MJ     | kWh/m <sup>2</sup> |
| 6     | 22               | 0,0792 | 0,022              |
| 7     | 248              | 0,8928 | 0,248              |
| 8     | 501              | 1,8036 | 0,501              |
| 9     | 725              | 2,61   | 0,725              |
| 10    | 889              | 3,2004 | 0,889              |
| 11    | 779              | 2,8044 | 0,779              |
| 12    | 794              | 2,8584 | 0,794              |
| 13    | 559              | 2,0124 | 0,559              |
| 14    | 832              | 2,9952 | 0,832              |
| 15    | 644              | 2,3184 | 0,644              |
| 16    | 99               | 0,3564 | 0,099              |
| 17    | 153              | 0,5508 | 0,153              |
| TOTAL |                  |        | 6,245              |

Como se muestra en la tabla 5.14 se realizó el cálculo de irradiación acumulada por debajo de la curva de nuestro día 5. Estos cálculos se lo realizaron con cada hora del día, teniendo como resultado que nuestra irradiación acumulada en el día 5 es de 6,245 kWh/m<sup>2</sup>.

**Tabla 5.16:** Irradiación acumulada día 6

| DIA 6 |                  |        |                    |
|-------|------------------|--------|--------------------|
| hora  | W/m <sup>2</sup> | MJ     | kWh/m <sup>2</sup> |
| 6     | 23               | 0,0828 | 0,023              |
| 7     | 253              | 0,9108 | 0,253              |
| 8     | 510              | 1,836  | 0,51               |
| 9     | 298              | 1,0728 | 0,298              |
| 10    | 904              | 3,2544 | 0,904              |
| 11    | 508              | 1,8288 | 0,508              |
| 12    | 1028             | 3,7008 | 1,028              |
| 13    | 971              | 3,4956 | 0,971              |
| 14    | 840              | 3,024  | 0,84               |
| 15    | 647              | 2,3292 | 0,647              |
| 16    | 404              | 1,4544 | 0,404              |
| 17    | 153              | 0,5508 | 0,153              |
| TOTAL |                  |        | 6,539              |

Como se muestra en la tabla 5.16 se realizó el cálculo de irradiación nuestro día 6. Estos cálculos se lo realizaron con cada hora del día, teniendo como resultado que nuestra irradiación acumulada en el día 6 es de 6,539 kWh/m<sup>2</sup>.

**Tabla 5.17:** Irradiación acumulada día 7

| DIA 7 |                  |        |                    |
|-------|------------------|--------|--------------------|
| hora  | W/m <sup>2</sup> | MJ     | kWh/m <sup>2</sup> |
| 6     | 24               | 0,0864 | 0,024              |
| 7     | 28               | 0,1008 | 0,028              |
| 8     | 512              | 1,8432 | 0,512              |
| 9     | 318              | 1,1448 | 0,318              |
| 10    | 902              | 3,2472 | 0,902              |
| 11    | 1004             | 3,6144 | 1,004              |
| 12    | 1028             | 3,7008 | 1,028              |
| 13    | 966              | 3,4776 | 0,966              |
| 14    | 834              | 3,0024 | 0,834              |
| 15    | 644              | 2,3184 | 0,644              |
| 16    | 225              | 0,81   | 0,225              |
| 17    | 151              | 0,5436 | 0,151              |
| TOTAL |                  |        | 6,636              |

En la tabla 5.17 se realizó el cálculo de irradiación acumulada. Estos cálculos se lo realizaron con cada hora del día, teniendo como resultado que nuestra irradiación acumulada en el día 7 es de 6,636 kWh/m<sup>2</sup>.

**Tabla 5.18:** Irradiación acumulada día 8

| DIA 8 |                  |        |                    |
|-------|------------------|--------|--------------------|
| hora  | W/m <sup>2</sup> | MJ     | kWh/m <sup>2</sup> |
| 6     | 25               | 0,09   | 0,025              |
| 7     | 260              | 0,936  | 0,26               |
| 8     | 519              | 1,8684 | 0,519              |
| 9     | 746              | 2,6856 | 0,746              |
| 10    | 915              | 3,294  | 0,915              |
| 11    | 727              | 2,6172 | 0,727              |
| 12    | 1039             | 3,7404 | 1,039              |
| 13    | 980              | 3,528  | 0,98               |
| 14    | 849              | 3,0564 | 0,849              |
| 15    | 657              | 2,3652 | 0,657              |
| 16    | 416              | 1,4976 | 0,416              |
| 17    | 160              | 0,576  | 0,16               |
| TOTAL |                  |        | 7,293              |

En la tabla 5.18 se realizó el cálculo de irradiación acumulada. Estos cálculos se lo realizaron con cada hora del día, teniendo como resultado que nuestra irradiación acumulada en el día 8 es de 7,293 kWh/m<sup>2</sup>.

**Tabla 5.19:** Irradiación acumulada día 9

| DIA 9 |                  |        |                    |
|-------|------------------|--------|--------------------|
| hora  | W/m <sup>2</sup> | MJ     | kWh/m <sup>2</sup> |
| 6     | 25               | 0,09   | 0,025              |
| 7     | 257              | 0,9252 | 0,257              |
| 8     | 514              | 1,8504 | 0,514              |
| 9     | 740              | 2,664  | 0,74               |
| 10    | 908              | 3,2688 | 0,908              |
| 11    | 1008             | 3,6288 | 1,008              |
| 12    | 1032             | 3,7152 | 1,032              |
| 13    | 972              | 3,4992 | 0,972              |
| 14    | 840              | 3,024  | 0,84               |
| 15    | 263              | 0,9468 | 0,263              |
| 16    | 407              | 1,4652 | 0,407              |
| 17    | 153              | 0,5508 | 0,153              |
| TOTAL |                  |        | 7,119              |

En la tabla 5.19 se realizó el cálculo de irradiación acumulada. Estos cálculos se lo realizaron con cada hora del día, teniendo como resultado que nuestra irradiación acumulada en el día 9 es de 7,119 kWh/m<sup>2</sup>.

**Tabla 5.20:** Irradiación acumulada día 10

| DIA 10 |                  |        |                    |
|--------|------------------|--------|--------------------|
| hora   | W/m <sup>2</sup> | MJ     | kWh/m <sup>2</sup> |
| 6      | 12               | 0,0432 | 0,012              |
| 7      | 262              | 0,9432 | 0,262              |
| 8      | 519              | 1,8684 | 0,519              |
| 9      | 539              | 1,9404 | 0,539              |
| 10     | 913              | 3,2868 | 0,913              |
| 11     | 1013             | 3,6468 | 1,013              |
| 12     | 1038             | 3,7368 | 1,038              |
| 13     | 818              | 2,9448 | 0,818              |
| 14     | 852              | 3,0672 | 0,852              |
| 15     | 660              | 2,376  | 0,66               |
| 16     | 420              | 1,512  | 0,42               |
| 17     | 100              | 0,36   | 0,1                |
| TOTAL  |                  |        | 7,146              |

En la tabla 5.20 se realizó el cálculo de irradiación acumulada. Estos cálculos se lo realizaron con cada hora del día, teniendo como resultado que nuestra irradiación acumulada en el día 10 es de 7,146 kWh/m<sup>2</sup>.

**Tabla 5.21:** Irradiación acumulada día 11

| DIA 11 |                  |        |                    |
|--------|------------------|--------|--------------------|
| hora   | W/m <sup>2</sup> | MJ     | kWh/m <sup>2</sup> |
| 6      | 25               | 0,09   | 0,025              |
| 7      | 87               | 0,3132 | 0,087              |
| 8      | 513              | 1,8468 | 0,513              |
| 9      | 519              | 1,8684 | 0,519              |
| 10     | 514              | 1,8504 | 0,514              |
| 11     | 775              | 2,79   | 0,775              |
| 12     | 771              | 2,7756 | 0,771              |
| 13     | 517              | 1,8612 | 0,517              |
| 14     | 569              | 2,0484 | 0,569              |
| 15     | 359              | 1,2924 | 0,359              |
| 16     | 147              | 0,5292 | 0,147              |
| 17     | 65               | 0,234  | 0,065              |
| TOTAL  |                  |        | 4,861              |

En la tabla 5.21 se realizó el cálculo de irradiación acumulada. Estos cálculos se lo realizaron con cada hora del día, teniendo como resultado que nuestra irradiación acumulada en el día 11 es de 4,861 kWh/m<sup>2</sup>.

**Tabla 5.22:** Irradiación acumulada día 12

| DIA 12 |                  |        |                    |
|--------|------------------|--------|--------------------|
| hora   | W/m <sup>2</sup> | MJ     | kWh/m <sup>2</sup> |
| 6      | 7                | 0,0252 | 0,007              |
| 7      | 15               | 0,054  | 0,015              |
| 8      | 279              | 1,0044 | 0,279              |
| 9      | 237              | 0,8532 | 0,237              |
| 10     | 453              | 1,6308 | 0,453              |
| 11     | 467              | 1,6812 | 0,467              |
| 12     | 211              | 0,7596 | 0,211              |
| 13     | 371              | 1,3356 | 0,371              |
| 14     | 448              | 1,6128 | 0,448              |
| 15     | 617              | 2,2212 | 0,617              |
| 16     | 381              | 1,3716 | 0,381              |
| 17     | 139              | 0,5004 | 0,139              |
| TOTAL  |                  |        | 3,625              |

En la tabla 5.22 se realizó el cálculo de irradiación acumulada. Estos cálculos se lo realizaron con cada hora del día, teniendo como resultado que nuestra irradiación acumulada en el día 12 es de 3,625 kWh/m<sup>2</sup>.

**Tabla 5.23:** Irradiación acumulada día 13

| DIA 13 |                  |        |                    |
|--------|------------------|--------|--------------------|
| hora   | W/m <sup>2</sup> | MJ     | kWh/m <sup>2</sup> |
| 6      | 26               | 0,0936 | 0,026              |
| 7      | 257              | 0,9252 | 0,257              |
| 8      | 364              | 1,3104 | 0,364              |
| 9      | 285              | 1,026  | 0,285              |
| 10     | 199              | 0,7164 | 0,199              |
| 11     | 264              | 0,9504 | 0,264              |
| 12     | 525              | 1,89   | 0,525              |
| 13     | 419              | 1,5084 | 0,419              |
| 14     | 834              | 3,0024 | 0,834              |
| 15     | 642              | 2,3112 | 0,642              |
| 16     | 397              | 1,4292 | 0,397              |
| 17     | 146              | 0,5256 | 0,146              |
| TOTAL  |                  |        | 4,358              |

En la tabla 5.23 se realizó el cálculo de irradiación acumulada. Estos cálculos se lo realizaron con cada hora del día, teniendo como resultado que nuestra irradiación acumulada en el día 13 es de 4,358 kWh/m<sup>2</sup>.

**Tabla 5.24:** Irradiación acumulada día 14

| DIA 14 |                  |        |                    |
|--------|------------------|--------|--------------------|
| hora   | W/m <sup>2</sup> | MJ     | kWh/m <sup>2</sup> |
| 6      | 25               | 0,09   | 0,025              |
| 7      | 250              | 0,9    | 0,25               |
| 8      | 504              | 1,8144 | 0,504              |
| 9      | 179              | 0,6444 | 0,179              |
| 10     | 138              | 0,4968 | 0,138              |
| 11     | 321              | 1,1556 | 0,321              |
| 12     | 515              | 1,854  | 0,515              |
| 13     | 348              | 1,2528 | 0,348              |
| 14     | 338              | 1,2168 | 0,338              |
| 15     | 205              | 0,738  | 0,205              |
| 16     | 50               | 0,18   | 0,05               |
| 17     | 39               | 0,1404 | 0,039              |
| TOTAL  |                  |        | 2,912              |

En la tabla 5.24 se realizó el cálculo de irradiación acumulada. Estos cálculos se lo realizaron con cada hora del día, teniendo como resultado que nuestra irradiación acumulada en el día 14 es de 2,912 kWh/m<sup>2</sup>.

**Tabla 5.25:** Irradiación acumulada día 15

| DIA 15 |                  |        |                    |
|--------|------------------|--------|--------------------|
| hora   | W/m <sup>2</sup> | MJ     | kWh/m <sup>2</sup> |
| 6      | 27               | 0,0972 | 0,027              |
| 7      | 256              | 0,9216 | 0,256              |
| 8      | 511              | 1,8396 | 0,511              |
| 9      | 183              | 0,6588 | 0,183              |
| 10     | 243              | 0,8748 | 0,243              |
| 11     | 485              | 1,746  | 0,485              |
| 12     | 1023             | 3,6828 | 1,023              |
| 13     | 722              | 2,5992 | 0,722              |
| 14     | 679              | 2,4444 | 0,679              |
| 15     | 402              | 1,4472 | 0,402              |
| 16     | 271              | 0,9756 | 0,271              |
| 17     | 142              | 0,5112 | 0,142              |
| TOTAL  |                  |        | 4,944              |

En la tabla 5.25 se realizó el cálculo de irradiación acumulada, teniendo como resultado que nuestra irradiación acumulada en el día 15 es de 4,944 kWh/m<sup>2</sup>.

**Tabla 5.26:** Irradiación acumulada día 16

| DIA 16 |                  |        |                    |
|--------|------------------|--------|--------------------|
| hora   | W/m <sup>2</sup> | MJ     | kWh/m <sup>2</sup> |
| 6      | 3                | 0,0108 | 0,003              |
| 7      | 29               | 0,1044 | 0,029              |
| 8      | 283              | 1,0188 | 0,283              |
| 9      | 742              | 2,6712 | 0,742              |
| 10     | 574              | 2,0664 | 0,574              |
| 11     | 496              | 1,7856 | 0,496              |
| 12     | 1030             | 3,708  | 1,03               |
| 13     | 609              | 2,1924 | 0,609              |
| 14     | 577              | 2,0772 | 0,577              |
| 15     | 431              | 1,5516 | 0,431              |
| 16     | 404              | 1,4544 | 0,404              |
| 17     | 150              | 0,54   | 0,15               |
| TOTAL  |                  |        | 5,328              |

En la tabla 5.26 se realizó el cálculo de irradiación acumulada. Estos cálculos se lo realizaron con cada hora del día, teniendo como resultado que nuestra irradiación acumulada en el día 16 es de 5,328 kWh/m<sup>2</sup>.

**Tabla 5.27:** Irradiación acumulada día 17

| DIA 17 |                  |        |                    |
|--------|------------------|--------|--------------------|
| hora   | W/m <sup>2</sup> | MJ     | kWh/m <sup>2</sup> |
| 6      | 29               | 0,1044 | 0,029              |
| 7      | 190              | 0,684  | 0,19               |
| 8      | 105              | 0,378  | 0,105              |
| 9      | 183              | 0,6588 | 0,183              |
| 10     | 610              | 2,196  | 0,61               |
| 11     | 803              | 2,8908 | 0,803              |
| 12     | 561              | 2,0196 | 0,561              |
| 13     | 633              | 2,2788 | 0,633              |
| 14     | 549              | 1,9764 | 0,549              |
| 15     | 164              | 0,5904 | 0,164              |
| 16     | 215              | 0,774  | 0,215              |
| 17     | 98               | 0,3528 | 0,098              |
| TOTAL  |                  |        | 4,14               |

En la tabla 5.27 se realizó el cálculo de irradiación acumulada. Estos cálculos se lo realizaron con cada hora del día, teniendo como resultado que nuestra irradiación acumulada en el día 17 es de 4,14 kWh/m<sup>2</sup>.

**Tabla 5.28:** Irradiación acumulada día 18

| DIA 18 |                  |        |                    |
|--------|------------------|--------|--------------------|
| hora   | W/m <sup>2</sup> | MJ     | kWh/m <sup>2</sup> |
| 6      | 23               | 0,0828 | 0,023              |
| 7      | 212              | 0,7632 | 0,212              |
| 8      | 268              | 0,9648 | 0,268              |
| 9      | 206              | 0,7416 | 0,206              |
| 10     | 473              | 1,7028 | 0,473              |
| 11     | 225              | 0,81   | 0,225              |
| 12     | 230              | 0,828  | 0,23               |
| 13     | 969              | 3,4884 | 0,969              |
| 14     | 838              | 3,0168 | 0,838              |
| 15     | 290              | 1,044  | 0,29               |
| 16     | 402              | 1,4472 | 0,402              |
| 17     | 149              | 0,5364 | 0,149              |
| TOTAL  |                  |        | 4,285              |

En la tabla 5.28 se realizó el cálculo de irradiación acumulada. Estos cálculos se lo realizaron con cada hora del día, teniendo como resultado que nuestra irradiación acumulada en el día 18 es de 4,285 kWh/m<sup>2</sup>.

**Tabla 5.29:** Irradiación acumulada día 19

| DIA 19 |                  |        |                    |
|--------|------------------|--------|--------------------|
| hora   | W/m <sup>2</sup> | MJ     | kWh/m <sup>2</sup> |
| 6      | 4                | 0,0144 | 0,004              |
| 7      | 87               | 0,3132 | 0,087              |
| 8      | 156              | 0,5616 | 0,156              |
| 9      | 747              | 2,6892 | 0,747              |
| 10     | 692              | 2,4912 | 0,692              |
| 11     | 461              | 1,6596 | 0,461              |
| 12     | 768              | 2,7648 | 0,768              |
| 13     | 976              | 3,5136 | 0,976              |
| 14     | 841              | 3,0276 | 0,841              |
| 15     | 644              | 2,3184 | 0,644              |
| 16     | 396              | 1,4256 | 0,396              |
| 17     | 143              | 0,5148 | 0,143              |
| TOTAL  |                  |        | 5,915              |

En la tabla 5.29 se realizó el cálculo de irradiación acumulada por debajo de la curva de nuestro día 19. Estos cálculos se lo realizaron con cada hora del día, teniendo como resultado que nuestra irradiación acumulada en el día 19 es de 5,915 kWh/m<sup>2</sup>.

#### 5.4.1. Irradiación acumulada

Se puede observar en la figura tabla 5.30 la cantidad de irradiación total que existe en cada uno de los 16 días tomados del mes de agosto, llegando alcanzar un promedio de 5,4 kWh/m<sup>2</sup>

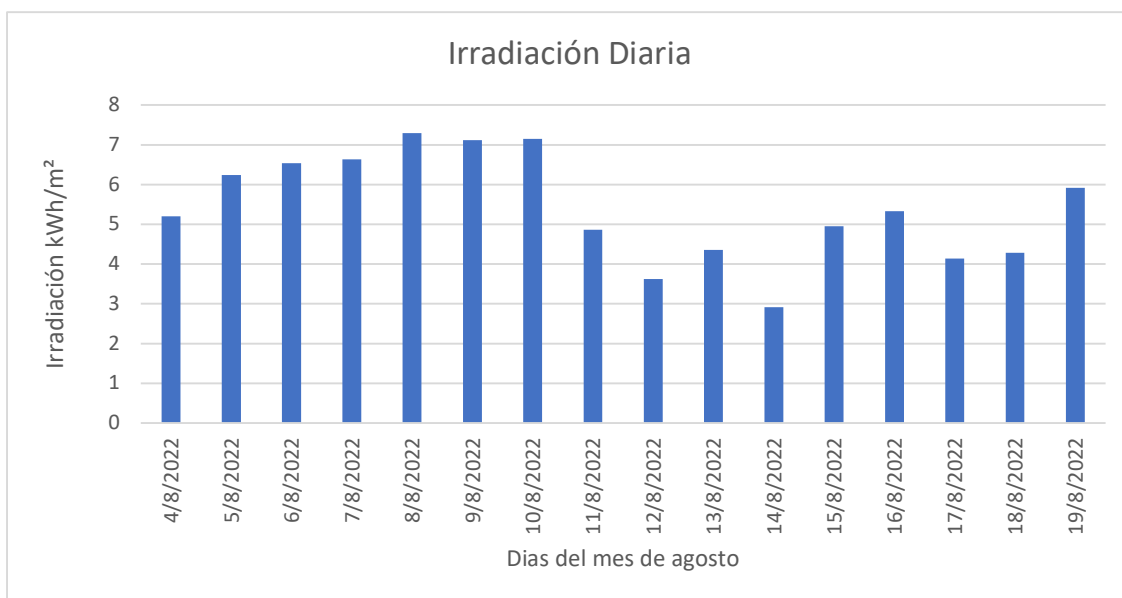
**Tabla 5.30:** Irradiación acumulada de los 16 días

| Día       | Irradiación kWh/m <sup>2</sup> |
|-----------|--------------------------------|
| 4/8/2022  | 5,2                            |
| 5/8/2022  | 6,2                            |
| 6/8/2022  | 6,5                            |
| 7/8/2022  | 6,6                            |
| 8/8/2022  | 7,3                            |
| 9/8/2022  | 7,1                            |
| 10/8/2022 | 7,1                            |
| 11/8/2022 | 4,9                            |
| 12/8/2022 | 3,6                            |



|                 |            |
|-----------------|------------|
| 13/8/2022       | 4,4        |
| 14/8/2022       | 2,9        |
| 15/8/2022       | 4,9        |
| 16/8/2022       | 5,3        |
| 17/8/2022       | 4,1        |
| 18/8/2022       | 4,3        |
| 19/8/2022       | 5,9        |
| <b>Promedio</b> | <b>5,4</b> |

En la gráfica 5.30 podemos observar la cantidad de energía existente en cada día y podemos interpretar que la irradiación es casi constante entre los días 4 y 10, posteriormente a partir del día 11 esta energía comienza a variar.



**Figura 5.30:** Irradiación acumulada general

## 5.5. PRESUPUESTO

El presupuesto de este proyecto se describe de la siguiente manera:

**Tabla 5.31:** Recursos Materiales

| MATERIALES |                        |          |          |          |
|------------|------------------------|----------|----------|----------|
| NUM        | ITEM                   | CANTIDAD | VALOR U. | VALOR T. |
| 1          | Materiales instalación | 1        | \$ 17,00 | \$ 17,00 |

|   |             |   |             |             |
|---|-------------|---|-------------|-------------|
| 2 | DHL         | 1 | \$ 2.050,00 | \$ 2.050,00 |
| 3 | Compuertas  | 2 | \$ 10,00    | \$ 20,00    |
| 4 | Adaptadores | 2 | \$ 6,50     | \$ 13,00    |
|   |             |   | TOTAL:      | \$ 2100,00  |

**Tabla 5.32:** Costos Directos

| COSTOS DIRECTOS |                        |          |             |             |
|-----------------|------------------------|----------|-------------|-------------|
| NUM             | DESCRIPCION            | CANTIDAD | VALOR U.    | VALOR T.    |
| 1               | Estación meteorológica | 1        | \$ 6.270,00 | \$ 6.270,00 |
|                 |                        |          | TOTAL       | \$ 6.270,00 |

**Tabla 5.33:** Costos Indirectos

| COSTOS INDIRECTOS |                 |          |           |           |
|-------------------|-----------------|----------|-----------|-----------|
| NUM               | DESCRIPCION     | CANTIDAD | VALOR U.  | VALOR T.  |
| 1                 | Transporte      | 1        | \$ 10     | \$ 10     |
| 2                 | Certificaciones | 1        | \$ 385,00 | \$ 385,00 |
| 3                 | Documentos      | 1        | \$ 13,00  | \$ 13,00  |
| 4                 | Mano de obra    | 1        | \$ 500,00 | \$ 500,00 |
|                   |                 |          | TOTAL     | \$ 908,00 |

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1. CONCLUSIONES

- Se pudo obtener información que permitió la selección adecuada de equipos de medición existentes en el mercado que se adapten a las necesidades requeridas y calificadas por la OMM, es decir su nivel de precisión en la recolección de datos que en nuestro caso es un piranómetro con una estimación de  $\pm 5\%$ .
- La caracterización del recurso solar que se desarrolló en la zona, se lo realizó obteniendo datos promedios desde el 4 al 19 del mes de agosto del 2022, donde se obtiene una irradiancia promedio de  $452,307 \text{ W/m}^2$ .
- La medición de la radiación solar es la única manera con la se puede evaluar con certeza el recurso solar en una determinada localidad, llegando a tener en nuestro lugar de estudio valores mínimos de irradiancia de  $20,125 \text{ W/m}^2$  en las mañanas y en las tardes picos máximos de  $755,25 \text{ W/m}^2$ .
- En síntesis, se escogió un método estadístico para el seguimiento solar, que está dado entre las horas 6h00 am y 17h00 pm de los 16 días del mes de agosto, donde se obtiene las curvas de irradiancia correspondiente a una determinada hora de cada día con el fin de conocer su comportamiento.
- Una vez analizada el área bajo la curva se puede demostrar que, en el lugar de estudio, existe una irradiación acumulada en los 16 días de  $86,5 \text{ kWh/m}^2$  y con un promedio de  $5,4 \text{ kWh/m}^2$ , potencial que puede ser aprovechado en un determinado proyecto de energía solar.

## **6.2.RECOMENDACIONES**

- Se recomienda tener en cuenta las características técnicas de los equipos, de tal forma que puedan brindar al proyecto confiabilidad y respaldo, una característica fundamental es el nivel de precisión en cuanto a la toma de datos.
- Se recomienda revisar la planificación de las actividades para no tener problemas de logística en cuanto a los tiempos que se plantea manejar.
- Revisar los manuales del fabricante y manuales de OMM para respetar los lineamientos y requerimientos en el proceso de instalación.
- Se recomienda obtener una base de datos de por lo menos un año para tener más certeza el potencial energético que puede existir en un determinado lugar
- Es recomendable comparar la base de datos obtenida con datos históricos del lugar ya que de esta manera podremos interpretar si la base de datos es confiable para caracterizar el recurso solar.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] E. NS, «Los cinco países con mayor capacidad de energía solar del mundo,» 23 marzo 2021. [En línea]. Available: <https://www.worldenergytrade.com/energias-alternativas/energia-solar/los-cinco-paises-con-mayor-capacidad-de-energia-solar-del-mundo>.
- [2] Statista, «Capacidad instalada de energía solar en América Latina y el Caribe en 2021,» [En línea]. Available: <https://es.statista.com/estadisticas/1238163/capacidad-instalada-energia-solar-america-latina-caribe/> . [Último acceso: 10 mayo 2022].
- [3] Arconel, «Ubicación de centrales de generación con fuentes de energía renovable 2016,» [En línea]. Available: [https://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/10/6\\_UBICACIONCENTRALESGENERACIONENERGIARENOVABLE2016\\_1.pdf](https://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/10/6_UBICACIONCENTRALESGENERACIONENERGIARENOVABLE2016_1.pdf).
- [4] D. I. Hora, «La inversión en energía fotovoltaica se cuadruplicará en Ecuador hasta 2023,» 13 10 2021. [En línea]. Available: <https://www.lahora.com.ec/pais/solar-fotovoltaica-inversion-ecuador/#:~:text=Ecuador%20tiene%20una%20alta%20radiaci%C3%B3n,parte%20de%20a%20empresa%20privada>.
- [5] A. J. Segarra Poma, «UPS,» febrero 2022. [En línea]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/21904/1/UPS%20-%20TTS612.pdf>.
- [6] E. Huanca Callata, «Caracterización de los recursos Eólico y solar de la ciudad de Juliaca,» 2017. [En línea]. Available: <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/6306>.
- [7] B. Toalombo, «ESTUDIO DEL ESPECTRO DE IRRADIACIÓN SOLAR PARA DETERMINAR EL POTENCIAL DE ENERGÍA APROVECHABLE EN LA CIUDAD DE AMBATO,» 2011. [En línea]. Available: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/1169/1/Tesis%20I.%20M.%2013%20-%20Toalombo%20Rojas%20Byron%20Miguel.pdf>.
- [8] X. Proaño y Maldonado, «Radiación solar en Latacunga y su impacto en la generación de energía eléctrica a través de un sistema fotovoltaico,» *UTCiencia Cien. Tecnol. Al Serv. Pueblo*, vol. 1, n° 3, 2017 junio.
- [9] H. Gallegos, «Notas sobre radiación solar,» 2002. [En línea]. Available: [https://www.researchgate.net/profile/Hugo-Grossi-Gallegos/publication/311375862\\_Notes\\_on\\_Solar\\_Radiation\\_en\\_espanol/links/584338c208ae2d2175637d92/Notes-on-Solar-Radiation-en-espanol.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Hugo-Grossi-Gallegos/publication/311375862_Notes_on_Solar_Radiation_en_espanol/links/584338c208ae2d2175637d92/Notes-on-Solar-Radiation-en-espanol.pdf).
- [10] C. Arancibia y R. Best, «Energía del sol,» 2010. [En línea]. Available: [https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/61\\_2/PDF/EnergiaSol.pdf](https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/61_2/PDF/EnergiaSol.pdf).
- [11] J. Constante y E. Palacios, «EL RECURSO SOLAR PARA GENERACIÓN DE ENERGÍA,» 2014. [En línea]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/6791/1/El%20recurso%20solar%20para%20generacion%20de%20energia.pdf>.
- [12] Helioesfera, «Helioesfera,» 20 octubre 2020. [En línea]. Available: <https://www.helioesfera.com/irradiancia-irradiacion-y-radiacion-solar/>.
- [13] C. Chacón, O. Cely y F. Guerrero, «DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MEDIDOR DE RADIACIÓN SOLAR,» 2008. [En línea]. Available: <https://www.redalyc.org/pdf/2570/257020605003.pdf>.
- [14] M. Martínez, «RADIACIÓN SOLAR – CONCEPTOS Y APLICACIONES,» 2016. [En línea]. Available: [https://puntoganadero.cl/imagenes/upload/\\_5cc085baa668a.pdf](https://puntoganadero.cl/imagenes/upload/_5cc085baa668a.pdf).

- [15] S. Guevara, «ESTIMACIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR,» 2003. [En línea]. Available: <http://www.ingenieroambiental.com/4014/xxii.pdf>.
- [16] M. Aparicio Pareja, Radiación solar y su aprovechamiento energético, Barcelona: Marcombo, 2010.
- [17] O. Álvarez, T. Montañó y J. Maldonado , «La radiación solar global en la provincia de Loja, evaluación preliminar utilizando el método de Hottel,» 2014. [En línea]. Available: <https://doi.org/10.17163/ings.n11.2014.03>.
- [18] A. Mestre, «¿COMO SE MIDE LA RADIACIÓN SOLAR?,» 1994. [En línea]. Available: [https://repositorio.aemet.es/bitstream/20.500.11765/2372/1/TyC\\_1994\\_16\\_03.pdf](https://repositorio.aemet.es/bitstream/20.500.11765/2372/1/TyC_1994_16_03.pdf).
- [19] O. Simbaqueva, «Instrumentos solarimétricos y mediciones básicas de radiación solar,» 1987. [En línea]. Available: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/013320/InstrumentosSolarimetricos.pdf>.
- [20] I. d. medición, «Piranómetro: Descubre todo sobre este instrumento,» [En línea]. Available: <https://instrumentosdemedicion.org/radiacion/piranometro/>. [Último acceso: 14 agosto 2022].
- [21] J. Marrodán Fernandez, «Piranómetro fotovoltaico,» 10 febrero 2012 . [En línea]. Available: <https://core.ac.uk/download/pdf/10850903.pdf>.
- [22] DILUS, «CMP11 Piranómetro | DILUS,» Enero 2020. [En línea]. Available: <https://dilus.com/es/instrumentacion/cmp11-piranometro-2/>.
- [23] kippzonen, «CMP 11 Piranómetro, CMP11 - Kipp & Zonen,» [En línea]. Available: <https://www.kippzonen.es/Product/210/CMP11-Piranometro#.YwcYN3bMLIU>. [Último acceso: 2022].
- [24] EPLAB, «The Eppley Laboratory, EPLAB,» [En línea]. Available: <http://www.eppleylab.com/instrument-list/black-white-pyranometer/>. [Último acceso: 2022].
- [25] S. Ross, Introducción a la Estadística, Barcelona : REVERTÉ, 2018.
- [26] F. Quevedo, «neuroclínica,» 2011. [En línea].
- [27] H. Salinas, «Estadística y Probabilidades,» 2009. [En línea]. Available: <http://www.mat.uda.cl/hsalinas/cursos/2009/estadistica/semestre%202/estadistica-descriptiva.pdf>.

# **ANEXOS**

**ANEXO A:**

**Informe Urcund**



## Document Information

|                          |  |
|--------------------------|--|
| <b>Analyzed document</b> | Tesis . pasado el URCUND.docx (D143454438) |
| <b>Submitted</b>         | 2022-08-31 22:48:00                        |
| <b>Submitted by</b>      | Cristian Gallardo                          |
| <b>Submitter email</b>   | cristian.gallardo@utc.edu.ec               |
| <b>Similarity</b>        | 4%   |
| <b>Analysis address</b>  | cristian.gallardo.utc@analysis.arkund.com  |

## Sources included in the report

|           |  |  |
|-----------|--|--|
| <b>SA</b> | <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI / TESIS_Cristian Cadena.docx</b><br>Document TESIS_Cristian Cadena.docx (D143446867)<br>Submitted by: luis.cruz@utc.edu.ec<br>Receiver: luis.cruz.utc@analysis.arkund.com   |  <b>9</b>   |
| <b>SA</b> | <b>PLAN DE INVESTIGACION TESINA OYOS.pdf</b><br>Document PLAN DE INVESTIGACION TESINA OYOS.pdf (D110714518)  |  <b>2</b>   |
| <b>W</b>  | URL: <a href="https://www.helioesfera.com/irradiancia-irradiacion-y-radiacion-solar/">https://www.helioesfera.com/irradiancia-irradiacion-y-radiacion-solar/</a><br>Fetched: 2022-08-31 22:48:00   |  <b>1</b> |
| <b>W</b>  | URL: <a href="http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/caracteristicas-de-la-radiacion-solar">http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/caracteristicas-de-la-radiacion-solar</a><br>Fetched: 2020-11-14 10:10:40   |  <b>2</b> |
| <b>W</b>  | URL: <a href="https://dilus.com/es/instrumentacion/cmp11-piranometro-2/">https://dilus.com/es/instrumentacion/cmp11-piranometro-2/</a><br>Fetched: 2022-08-31 22:49:00   |  <b>1</b> |
| <b>SA</b> | <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI / Tesis irradiacion Iza Brayan.docx</b><br>Document Tesis irradiacion Iza Brayan.docx (D143450564)<br>Submitted by: brayan.iza5417@utc.edu.ec<br>Receiver: segundo.cevallos.2.utc@analysis.arkund.com                       |  <b>1</b> |
| <b>W</b>  | URL: <a href="https://es.statista.com/estadisticas/1238163/capacidad-instalada-energia-solar-america-latina-caribe/">https://es.statista.com/estadisticas/1238163/capacidad-instalada-energia-solar-america-latina-caribe/</a><br>Fetched: 2022-08-31 22:48:00 |  <b>1</b> |
| <b>SA</b> | <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI / Tesis Toaquiza Wilmer.docx</b><br>Document Tesis Toaquiza Wilmer.docx (D143420040)<br>Submitted by: luis.cruz@utc.edu.ec<br>Receiver: luis.cruz.utc@analysis.arkund.com   |  <b>3</b> |

## Entire Document

100%

**MATCHING BLOCK 1/20**

**SA**

TESIS\_Cristian Cadena.docx (D143446867)

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS TÍTULO: "

CARACTERIZACIÓN DEL RECURSO SOLAR PARA EVALUAR EL POTENCIAL ENERGÉTICO EN EL CAMPUS MATRIZ DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI” Autores: Quinchiguango Ayala Edgar German Quispe Curay Edwin Fernando  
RESUMEN

La presente propuesta tecnológica realiza una caracterización del recurso solar, enfocado en el objetivo de conocer el potencial energético que existe en la ciudad de Latacunga, barrio San Felipe. Para conseguir este propósito se utilizó un instrumento denominado piranómetro con el propósito de adquirir datos y averiguar la radiación solar en la zona de estudio. Teniendo un historial de la información, posteriormente se plantea el análisis cuantitativo y estadístico para describir y explicar el comportamiento de la irradiancia en función del tiempo. Una vez analizada esta variable, se genera una conversión de unidades, utilizadas en el cálculo de la energía solar para determinar la cantidad de irradiación que existe en un día. Al concluir la investigación se evidencio que en el lugar de estudio existe una irradiancia promedio de 452,31 W/m<sup>2</sup> y una irradiación promedio de 5,4 kWh/m<sup>2</sup>, potencial que puede ser aprovechado en un determinado proyecto de energía solar.

Palabra clave: radiación solar, piranómetro, potencial energético.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI FACULTY OF ENGINEER AND APPLIED SCIENCES TITLE: “CHARACTERIZATION OF THE SOLAR RESOURCE TO EVALUATE THE ENERGY POTENTIAL IN THE PARENT CAMPUS TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI”

AUTHORS: Quinchiguango Ayala Edgar German Quispe Curay Edwin Fernando

ABSTRACT

This technological proposal makes a characterization of the solar resource, focused on the objective knowing the energy potential that exists in the city of Latacunga, San Felipe neighborhood. To achieve this purpose, an instrument called a pyranometer was used for the purpose of acquiring data and finding out the solar radiation in the study area. Having a history of the information, subsequently the quantitative and statistical analysis is proposed to describe and explain the behavior of irradiance as a function of time. Once this variable is analyzed, a conversion of units is generated, used in the calculation of solar energy to determine the amount of irradiation that exists in a day. At the end of the research, it was evidenced that at the study site there is an average irradiance of 452,31 W/m<sup>2</sup> and an average irradiation of 5,4 kWh/m<sup>2</sup> potential that can be harnessed in a given solar energy project.

Keywords: solar radiation, pyranometer, energy potential.

1. INFORMACIÓN GENERAL Titulo: Caracterización del recurso solar para evaluar el potencial energético en

69%

**MATCHING BLOCK 2/20**

SA TESIS\_Cristian Cadena.docx (D143446867)

el Campus Matriz de la Universidad Técnica de Cotopaxi Tipo de proyecto: Proyecto tecnológico Fecha de inicio: 27 de abril del 2022 Fecha de finalización: 26 de agosto del 2022 Lugar de ejecución: Zona 3, Provincia de Cotopaxi, Cantón Latacunga, Barrio san Felipe, Campus matriz de la Universidad Técnica de Cotopaxi Facultad que auspicia: Facultad de ciencia de la ingeniería y aplicadas Proyecto de investigación vinculado: Propuesta tecnológica Equipo de trabajo: Ing. MsC. Cristian Fabian Gallardo Molina

Sr. Edgar German Quinchiguango Ayala Sr. Edwin Fernando Quispe Curay

87%

**MATCHING BLOCK 3/20**

SA TESIS\_Cristian Cadena.docx (D143446867)

Área de conocimiento: 07 Ingeniería industria y construcción 071 Ingeniería y Profesiones a Fines 0713 Electricidad y energía Línea de investigación: Energías alternativas y renovables, eficiencia energética y protección ambiental Sublíneas de investigación de la carrera: Energética en sistemas electromecánicos y uso de fuentes renovables de energía

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS TÍTULO: “CARACTERIZACIÓN DEL RECURSO SOLAR PARA EVALUAR EL POTENCIAL ENERGÉTICO EN EL CAMPUS MATRIZ DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI” Autores: RESUMEN

La propuesta tecnológica tiene como objetivo solucionar el problema del deficit del sistema energético en las instalaciones de la Universidad Técnica de Cotopaxi, se tiene como solución la de evaluar el potencial energético, esto quiere decir que si se emite radiación solar en la mayor parte del tiempo, significa que si existiría una rentabilidad después de implementar un sistema fotovoltaico. Lo que se realizó es la implementación de un sistema meteorológico para evaluar las variables meteorológicas, esto se asemeja a una estación meteorológica que se utiliza para predecir el clima en el tiempo actual y para dentro de un corto tiempo.

Existen estaciones domésticas donde estan enlazadas a una red Wifi, donde sus variables meteorológicas son leidas por un microcontrolador y son enviadas a la nube de un servidor Web. El usuario puede visualizarlas por medio de un celular, computadora o de algún dispositivo que este conectado a Internet. Este es uno de los proyectos IOT más importantes que fue desarrollados por la comunidad Maker y desarrolladores Web.

La estación meteorológica profesional, tiene las mismas características que la doméstica, solo que tiene una mejor precisión y calidad en la medición de las variables. La ventaja es la capacidad de los sensores que son multitarea y puede captar los rayos ultravioleta.

**ANEXO B:**

**Fotografías**

**Fotografía 1.** Colocación de la base para la instalación de la estación meteorológica



**Fotografía 2:** Instalación de internet para el área de energías renovables



**Fotografía 3:** Conexión del data logger



**Fotografía 4:** Conexión del modulo RS232



**Fotografía 5:** Instalación del piranómetro




**Fotografía 6:** Estación meteorológica Profesional LSI LASTEM



**Fotografía 7:** Registrador de datos E-Log


|                                  |  |
|----------------------------------|--|
| Código                           | ELO3305  |
|                                  |  |
| Descripción                      | Registrador de datos E-Log   |
| Tipo de entradas                 | Bloque de terminales   |
| Entradas analógicas              | N.8 Diferencial (N.16 de un solo uso)  |
| Entradas digitales               | N.4 (encendido/apagado o frecuencia/contador)                                      |
| Puerto serial                    | N.2 RS232  |
| Salida de encendido/apagado      | SI   |
| Enchufe para cargador de batería | SI   |
| Accesorios incluidos             | Adaptador RS232/USB, cable RS232, montaje en barra DIN                             |
| Teclado                          | N.4 teclas   |
| Fuente de alimentación           | 8...30 Vcc   |
| Memoria de datos                 | Flash EEPROM 8 Mb  |
| Grado de protección              | IP 40  |
| Peso                             | 720 gramos   |
| Dimensiones                      | 242x108x80mm   |

**Fotografía 8:** Caja IP66 para instalación fija de registradores de datos


|   |                        |  |
|---|------------------------|--|
|  | <b>ELF340</b>          | Caja IP66. Completo con alimentador 110-230Vca-> 13,8 Vcc (50 W) y batería de 2 Ah.<br>Compatibilidad con baterías de 18 o 44 Ah |
|   | Fuente de alimentación | 110-230 Vca -> 13,8 Vcc<br>Interruptor magnético térmico. Potencia: 50W  |
|   | Dimensiones            | H 502 x L 406 x P 160 mm   |
|   | Peso                   | 7 kg   |
|   | Material               | Fibra de vidrio  |
|   | Batería                | Recargable 2Ah, incluido   |
|   | Compatibilidad         | ELO008, ELO515.1, E-Log, Alpha-Log   |
|   |                        |  |




**Fotografía 9:** Sensor combinado de velocidad y dirección del viento

| Orden. Núm.   | ADN121                                       |   |
|---|--|---|
|  | Descripción                                  | Esta gama de sensores incluye, en un solo aparato, transductores para medir tanto la velocidad como la dirección del viento |
|   | Salida de velocidad del viento               | 0...833 Hz  |
|   | Rango de medición de la velocidad del viento | 0...75 m/s (límite de daño)   |
|   | Salida de dirección del viento               | 0...1 Vcc   |
|   | Fuente de alimentación                       | 10...30 Vca/cc  |
|   | El consumo de energía                        | 0,5 vatios  |
|   | Registrador de datos compatible              | M-Log (ELO008), E-Log, Alpha-Log utilizando el modelo ALIEM   |
|   | Conector                                     | Conector hermético IP65 de 7 pines  |
|   | Alojamiento                                  | Aluminio anodizado  |
|   | Copa   | Plástico PA6 y fibra de vidrio  |
|   | Paleta                                       | Aluminio  |
|   | Tipo de protección                           | IP66  |
|   | Peso   | 1,4 kg  |
|   | Temperatura operativa                        | >-30°C (sin hielo)  |
|   | Montaje                                      | Mástil Ø 48...50 mm   |

**Fotografía 10:** Termo higrómetro

|   |                                |  |
|---|--------------------------------|--|
|  | Descripción                    | Adecuado para mediciones meteorológicas continuas también en entornos severos y en presencia de fuertes variaciones térmicas e higrométricas |
|   | Salida                         | RH%:0...1 Vdc  |
|   | Fuente de alimentación         | 5...24 Vcc   |
|   | El consumo de energía          | 2mA  |
|   | Cable y conector               | L=3 m hilos libres (8 hilos)   |
| Información General   | Compatibilidad con Data logger | M-Log (ELO008)<br>A/E-Log (todos los modelos)  |
|   | Tipo de protección             | IP65   |
|   | Temperatura operativa          | -50...100°C  |
|   | Peso / Dimensiones             | 0,44 kg / L=168 mm, Ø 18 mm  |
|   | Tipo de entrada en A/E/M/R-Log | Analógico  |

**Fotografía 11:** Piranómetro de clase B (primera clase)

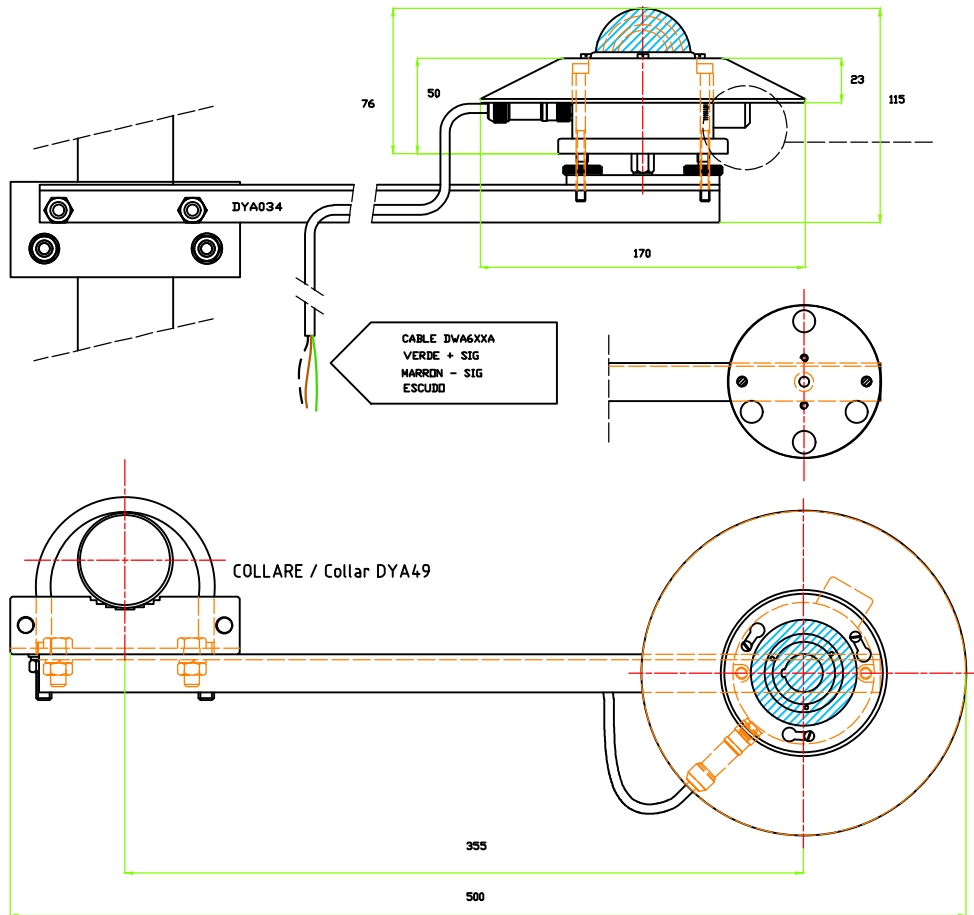
|   |   |  |
|---|---|--|
| Código  | DPA154  |  |
| Descripción   | Piranómetro para la medición de la irradiancia solar, según las normas ISO 9060 y WMO No. 8 |  |
|  | Especificaciones Técnicas   |  |
|   | Salida  | $\mu\text{V}$  |
|   | Sensibilidad  | 10...15 $\mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$                              |
|   | Rango de medición   | 0...4000W/m <sup>2</sup>   |
|   | Impedancia  | 40 $\pm$ 3 $\Omega$  |
|   | Compatibilidad con Data logger  | M-Log (ELO008)<br>Alpha-Log (utilizando el modelo ALIEM)<br>E-Log      |
|   | Especificaciones Generales  |  |
|   | Alojamiento   | Aluminio anodizado   |
|   | Recalibración   | cada 2 años  |
|   | Montaje (poste $\varnothing$ 45...65 mm)  | Uso de brazos DYA034 (horizontal) o DYA035 (inclinable)+ cuello DYA049 |
|   | Tipo de protección  | IP66   |
|   | Escudo anti-radiación   | Incluido   |

# ANEXO C:

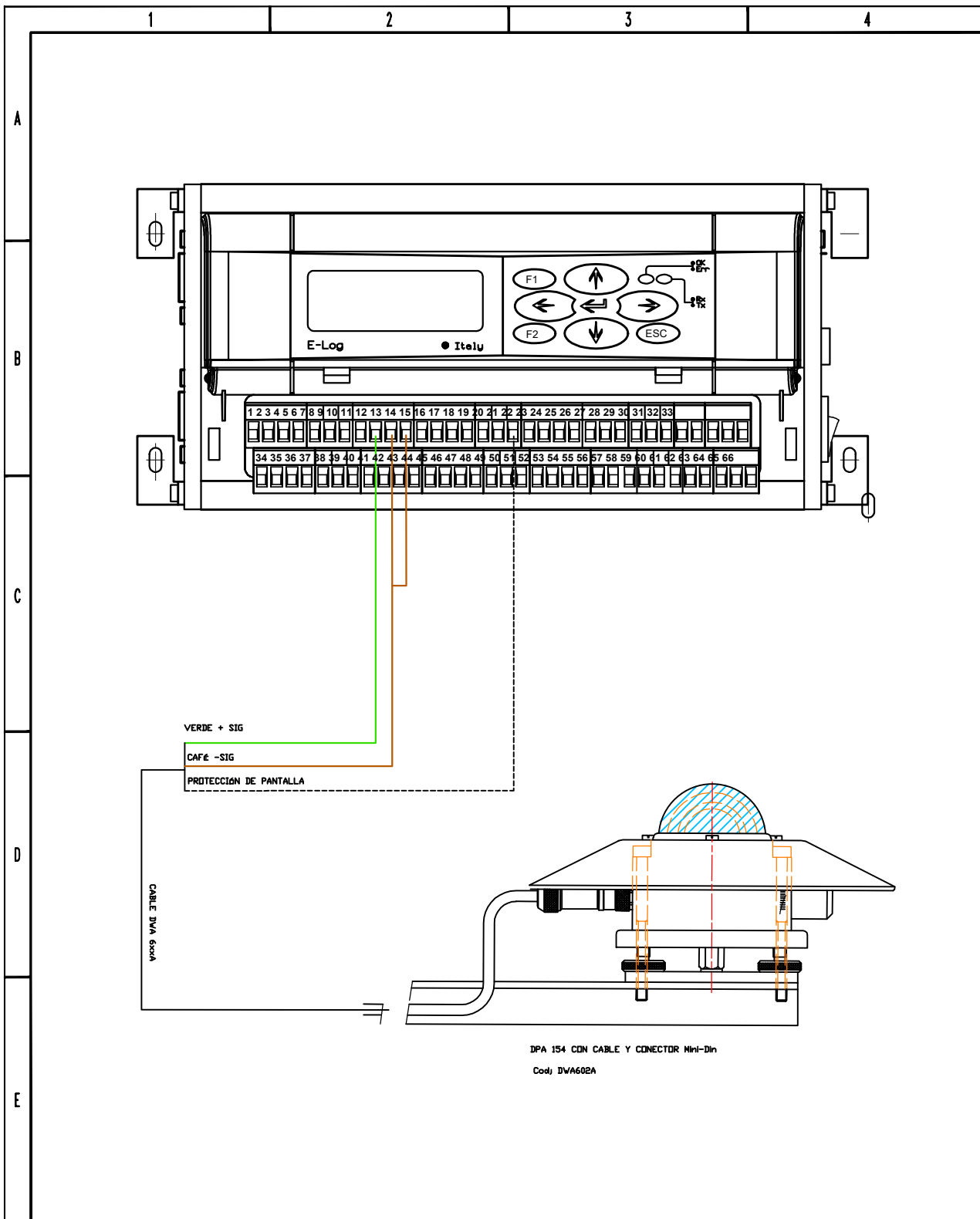
## Planos



RADIOMETRO GLOBAL A TERMOPILA  
CAMPO 300..3000 nm; 0..1500 W/m



|         |              |       |        |             |                     |                             |                            |  |
|---------|--------------|-------|--------|-------------|---------------------|-----------------------------|----------------------------|--|
|         |              |       |        | tolerancias | (Peso)              | INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA |                            |  |
|         |              |       |        |             |                     | PIRANOMETRO DPA154          | Escala<br>2:1              |  |
|         |              |       |        | Dib.        | Fecha<br>22-08-2022 |                             | Nombre<br>Edgar G Edwin G. |  |
|         |              |       |        | Rev.        |                     |                             |                            |  |
|         |              |       |        | Apro.       |                     |                             |                            |  |
|         |              |       |        | UTC         |                     | Fig.1.                      | ISO E                      |  |
| Edición | Modificación | Fecha | Nombre |             |                     | (Sustituye a:)              |                            |  |



|         |              |       |        |             |            |                            |  |
|---------|--------------|-------|--------|-------------|------------|----------------------------|--|
|         |              |       |        | tolerancias | (Peso)     | INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA |  |
|         |              |       |        | Fecha       | Nombre     |                            |  |
|         |              |       |        | Dib.        | 22-08-2022 | Edgar.A Edwin.A.           | Conexión eléctrica del sensor piranometro al Data logger ELO3305 |
|         |              |       |        | Rev.        |            |                            |  |
|         |              |       |        | Apro.       |            |                            | Escala<br>3:1  |
|         |              |       |        | UTC         |            |                            |  |
| Edición | Modificación | Fecha | Nombre |             |            |                            | Fig. 2<br>(Sustituye a:)   |
|         |              |       |        |             |            |                            |  |

