

COMPORTAMIENTO METEOROLÓGICO PARA GENERACIÓN FOTOVOLTAICA EN LA CIUDAD DE PASTO



EDITORIAL
Universidad CESMAG



COMPORTAMIENTO METEOROLÓGICO PARA GENERACIÓN FOTOVOLTAICA EN LA CIUDAD DE PASTO

Francisco Javier Eraso Checa

Olger Ferledy Erazo de la Cruz

Producto de la investigación denominada *Caracterización del comportamiento de las variables meteorológicas que inciden en la generación de energía fotovoltaica en diferentes zonas geográficas de la ciudad de Pasto*

2020



Eraso Checa, Francisco Javier

Comportamiento meteorológico para generación fotovoltaica en la ciudad de Pasto. / Francisco Javier Eraso Checa y Olger Ferledy Erazo de la Cruz-- 1 ed. – San Juan de Pasto: Universidad Cesmag, 2020. 75 p.: il. color.

Referencias Bibliográficas: 72

ISBN: 978-958-5171-70-1

E-ISBN: 978-958-5171-69-5

DOI: 10.15658/CESMAG20.12010138

1. ENERGIA SOLAR – INVESTIGACIONES 2. IRRADIACIÓN 3. METEOROLOGÍA
4. RADIACIÓN SOLAR 5. REDES NEURALES I. Erazo de la Cruz, Olger Ferledy II. Título.

CDD

333.792 3

22 ed.

CEP – Universidad Cesmag. Biblioteca Remigio Fiore Fortezza.

Comportamiento meteorológico para generación fotovoltaica en la ciudad de Pasto.

Primera edición, 2020

© Francisco Javier Eraso Checa, 2020

© Olger Ferledy Erazo De La Cruz, 2020

© Universidad CESMAG, 2020

Editorial Universidad CESMAG, 2020

Carrera 20^a 14-54

Tel: +572 – 7216535 Ext. 218 - 377

E-mail: editorial@unicesmag.edu.co

Website: www.unicesmag.edu.co/editorial

San Juan de Pasto, Nariño, Colombia

CP: 520003

©Grupo de investigación: RAMPA.

Carrera 20^a 14-54, CP: 520003

Tel: +572 – 7216535 Ext. 310 - 257

E-mail: feraso@unicesmag.edu.co,

oferazo@unicesmag.edu.co

San Juan de Pasto, Nariño, Colombia

ISBN: 978-958-5171-70-1

e-ISBN: 978-958-5171-69-5

Doi: 10.15658/CESMAG20.12010138

Rector

Fray Daniel Omar Sarria, OFM. Cap.

Director

Javier Alejandro Jiménez Toledo

Edición

Diana Milena Betancourth Castillo

Edición impresa

Impreso y hecho en Colombia

Printed and made in Colombia

Diseño de cubierta y diagramación

Francisco Javier Castro

APA

Eraso, F., y Erazo, O. (2020). *Comportamiento meteorológico para generación fotovoltaica en la ciudad de Pasto*. San Juan de Pasto, Colombia:

Editorial Universidad CESMAG.

doi: 10.15658/CESMAG20.12010138

El pensamiento que se expresa en esta obra es responsabilidad exclusiva de los autores y no compromete la ideología de la Universidad CESMAG.

Se permite la citación del texto nombrando la fuente.

Todos los derechos reservados. Esta publicación no puede ser reproducida totalmente y en partes por ningún medio mecánico, fotoquímico, electrónico, magnético, digital, fotocopia o cualquier otro, sin el permiso previo por escrito de la editorial o sus autores.

Agradecimientos

Los autores quieren expresar sus agradecimientos a las personas y entidades que hicieron posible el desarrollo de esta investigación, en especial a:

La Universidad Cesmag, por financiar y acompañar el proceso investigativo.

Doctores María Eugenia Córdoba, Armando Quijano y Manuel Calvache, por creer en los trabajos que adelanta el Grupo de Investigación y por animarnos a continuar con los proyectos.

Profesor John Barco, por acompañarnos en el desarrollo de los modelos de detección de radiación solar.

Profesor Edison Escobar, por ser coautor del libro: *Energía solar, modelos y respuestas a condiciones climatológicas*, que se realizó en paralelo a este trabajo y fueron ejercicios complementarios.

A Tania Lizeth Córdoba, Diego Fernando Paz y Miller Ruales, monitores de investigación, que acompañaron la investigación en la fase de implementación y recolección de datos.

A los egresados Daniel Escobar y Sebastián Insuasty, cuyo trabajo de grado hizo parte de uno de los objetivos de este trabajo.

A Cristian Fernando Vega, John Evert Barco, Aura Cristina Martínez, Juan Benavides, Mateo Córdoba y Elier Rosero, al igual que a las entidades Club del Comercio y Universidad Antonio Nariño, por permitirnos usar sus instalaciones para la instalación y marcha de las estaciones meteorológicas.

Contenido

Introducción	10
Marco teórico	13
Antecedentes	14
Caracterizaciones Climatológicas	14
Diseños de sensores para variables climáticas	16
Aspectos climatológicos en Pasto	17
Enunciados de los supuestos teóricos	18
Fenómenos Meteorológicos	19
Radiación Solar	20
Índice UV	21
Luz solar	23
Irradiancia	24
Horas Sol	25
Temperatura Ambiente	25
Presión atmosférica	25
Humedad	25
Viento	26
Estaciones meteorológicas	27
Metodología	30
Paradigma	31
Enfoque	31
Método	31
Tipo de Investigación.....	31
Diseño de Investigación.....	31

Universo y Muestra.....	32
Técnicas de recolección de información.....	32
Validez de las técnicas recolección de información.....	33
Confiabilidad de las técnicas de recolección de información	33
Estaciones meteorológicas ESMERA	34
Sistema de Sensores	35
Etapa de procesamiento.....	38
Alimentación alterna	40
Sistema de transmisión.....	40
Desarrollo de software	43
Acondicionamiento de la señal de irradiancia	45
Método de aproximación polinomial	46
Método de redes neuronales.....	49
Implementación de las estaciones.....	51
Análisis de variables	54
Temperatura	55
Humedad.....	57
Velocidad del viento.....	59
Irradiancia	62
Conclusiones	65
Recomendaciones	68
Referencias.....	70

Lista de figuras

Figura 1. Espectro Electromagnético	21
Figura 2. Radiación UV y el espectro de acción del eritema (NOAA, s.f.).....	22
Figura 3. Fenómenos de dispersión de la luz solar	24
Figura 4. Estación meteorológica DAVIS Vantage Pro 2.	29
Figura 5. Diagrama de bloques de la estación ESMERA	35
Figura 6. Respuesta típica de HS 1101, humedad con respecto a capacitancia.....	36
Figura 7. Cazoletas de medición de viento – Estación ESMERA	37
Figura 8. Respuesta espectral del sensor LX1972	37
Figura 9. Respuesta del corriente del sensor GUVA-S12SD	38
Figura 10. Estación meteorológica ESMERA	39
Figura 11. Módulo de transmisión Xbee.....	41
Figura 12. Diagrama de bloques del M95.....	42
Figura 13. Módulo de generación de promedios diarios de variables.	45
Figura 14. Radiación solar e índice UV medidos el 11 de octubre de 2014.....	47
Figura 15. Resultado de la aproximación polinomial y la irradiancia medida	48
Figura 16. Red Neuronal Artificial multicapa para la estimación de radiación solar	49
Figura 17. Resultado de la irradiancia aproximada por redes neuronales	51
Figura 18. Estaciones ESMERA ensambladas.....	52
Figura 19. Ubicación de las estaciones en el mapa de Pasto	54

Figura 20. Distribución de temperatura promedio por horas en Pasto	55
Figura 21. Temperatura mensual promedio, mínima y máxima en la ciudad de Pasto	57
Figura 22. Distribución de la humedad promedio por horas en Pasto	58
Figura 23. Humedad mensual promedio, mínima y máxima en la ciudad de Pasto	59
Figura 24. Distribución de la velocidad del viento promedio por horas en Pasto	61
Figura 25. Velocidad del viento mensual en la ciudad de Pasto	61
Figura 26. Distribución de la irradiancia promedio por horas en Pasto.....	63
Figura 27. Irradiancia mensual promedio, mínima y máxima en la ciudad de Pasto	64

Lista de tablas

Tabla 1. Categorización del índice UV	22
Tabla 2. Referenciación de los puntos cardinales	27
Tabla 3. Ubicación de la muestra	32
Tabla 4. Técnicas de recolección de información	33
Tabla 5. Relación entrada-salida sensor DS1820	36
Tabla 6. Tabla de lectura de las estaciones.....	44
Tabla 7. Coeficientes del polinomio.....	48
Tabla 8. Parámetros de la red neuronal	50
Tabla 9. Zonas de ubicación de las estaciones	52
Tabla 10. Altura sobre el nivel del mar de la ubicación de las estaciones.....	53
Tabla 11. Distribución promedio de la temperatura (°C) por hora y estación	56
Tabla 12. Distribución promedio de la humedad (%h) por hora y estación.....	58
Tabla 13. Distribución promedio de la velocidad del viento (m/s) por hora y estación	60
Tabla 14. Distribución promedio de la irradiancia (W/m ²) por hora y estación	63

Introducción



El Grupo de Investigación en Ingeniería Electrónica RAMPA inició en el año 2012 el desarrollo de trabajos enfocados en el marco de las energías renovables, principalmente en procesos de generación eléctrica a partir de la fuente solar fotovoltaica, por ser portable, de fácil instalación y con elementos de disponibilidad en el mercado.

Con el desarrollo del libro *Energía Fotovoltaica: Modelos y respuestas a condiciones meteorológicas* se comparó la energía eléctrica producida por las tecnologías basadas en silicio: policristalino, monocristalino y amorfo, de acuerdo a las condiciones meteorológicas de la ciudad de Pasto, a través de un modelo extrapolable a cualquier ubicación que contenga la cantidad de datos suficientes para representar el comportamiento estacional del modelo durante un tiempo definido por el usuario. La recopilación de estos datos se realizó utilizando una estación meteorológica DAVIS Vantage Pro 2.0.

Debido a que los datos que alimentaron el modelo se realizaron con información de la zona de ubicación de la estación, correspondiente a la terraza del edificio Holanda de la Universidad Cesmag, se decidió desarrollar este trabajo investigativo, en el que se tomaron datos en ocho puntos de la ciudad, para determinar de manera más precisa las condiciones meteorológicas de la ciudad, a través de un modelo climático con la distribución de las variables humedad, temperatura, velocidad del viento e irradiancia; partiendo de la hipótesis que en la ciudad de Pasto la temperatura ambiente promedio es de 14 °C, la insolación promedio es de 3,5 kWh/m², el brillo solar es igual a 3,5 horas de luz por día y la humedad relativa promedio equivale al 79%. En este sentido el comportamiento de la energía producida por sistemas fotovoltaicos será la misma en cualquier punto de la ciudad.

Este proceso permitió diseñar y construir ocho estaciones meteorológicas, cada una con un costo significativamente bajo en comparación con la estación DAVIS, la cual sirvió de patrón de calibración. En seguida, se recopilaron datos que se analizaron estadísticamente, para finalmente determinar las diferencias entre las variables para una misma época. La estación se denominó ESMERA (Estación Meteorológica RAMPA) y se catalogó como prototipo industrial.