

	GESTIÓN DE RECURSOS Y SERVICIOS BIBLIOTECARIOS	Código	FO-SB-12/v0
	HOJA DE RESUMEN		Página

RESUMEN TRABAJO DE GRADO

AUTORES:

NOMBRE(S): JHAN CARLOS APELLIDOS: DELGADO ARIZA

NOMBRE: ANDERSON GUILLERMO APELLIDOS: VERA DÁVILA

FACULTAD: INGENIERÍA

PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERÍA ELECTRÓNICA

DIRECTOR:

NOMBRE(S): SERGIO BASILIO APELLIDOS: SEPÚLVEDA MORA

TÍTULO DEL TRABAJO (TESIS): ESTIMACIÓN DE LA CANTIDAD DE ENERGÍA GENERADA POR UN PANEL SOLAR UTILIZANDO INTELIGENCIA ARTIFICIAL

RESUMEN:

En este trabajo se estimó la cantidad de energía producida por un panel solar de 90 W mediante el uso de redes neuronales; inicialmente se realizaron mediciones experimentales de la potencia generada por el panel solar y de las variables que influyen en esta como la radiación solar, la temperatura de operación del panel y la temperatura ambiente. Con lo anterior se construyó una base de datos para entrenar una red neuronal con el objetivo de modelar y predecir el comportamiento de la potencia. Posteriormente se realizó la simulación del panel solar mediante su modelo matemático permitiendo comparar los resultados con los obtenidos por la técnica de inteligencia artificial. Además de esto se compararon los resultados conseguidos con el modelo teórico de Osterwald, utilizado para calcular la potencia generada por un panel solar. Finalmente se realizó la selección de la red neuronal que consiguió la estimación de la potencia más aproximada a la realidad con base en el coeficiente de correlación obtenido y se calculó matemáticamente la energía producida. A partir de los resultados de esta investigación, se estableció que el porcentaje de correlación de la red neuronal es del 96.3 % y de la simulación del panel del 99,4% en comparación con las mediciones experimentales realizadas.

PALABRAS CLAVE: Inteligencia artificial, coeficiente de correlación, panel solar, redes neuronales.

CARACTERÍSTICAS:

PÁGINAS: 136 PLANOS: 0 ILUSTRACIONES: 53 CD ROM: 1

ESTIMACIÓN DE LA CANTIDAD DE ENERGÍA GENERADA POR UN PANEL SOLAR
UTILIZANDO INTELIGENCIA ARTIFICIAL

JHAN CARLOS DELGADO ARIZA
ANDERSON GUILLERMO VERA DÁVILA

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍA
PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
SAN JOSE DE CÚCUTA

2017

ESTIMACIÓN DE LA CANTIDAD DE ENERGÍA GENERADA POR UN PANEL SOLAR
UTILIZANDO INTELIGENCIA ARTIFICIAL

Trabajo de investigación para optar por el título de:

Ingeniero Electrónico

JHAN CARLOS DELGADO ARIZA
ANDERSON GUILLERMO VERA DÁVILA

DIRECTOR: Mg. SERGIO SEPÚLVEDA

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍA
PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
SAN JOSE DE CÚCUTA

2017

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE UN TRABAJO DE GRADO


Fecha: CÚCUTA, 01 DE SEPTIEMBRE DE 2017
Hora: 17:00
Lugar: AULA LE101, LABORATORIOS EMPRESARIALES
Plan de Estudios: INGENIERÍA ELECTRÓNICA
Titulo de la Tesis: "ESTIMACIÓN DE LA CANTIDAD DE ENERGÍA GENERADA POR UN PANEL SOLAR UTILIZANDO INTELIGENCIA ARTIFICIAL"
Jurados: IE MSc. YESENIA RESTREPO CHAUSTRE
IE MSc. JOHNNY OMAR MEDINA DURÁN
Director: IE MSc. SERGIO BASILIO SEPÚLVEDA MORA

Nombre de los Estudiantes	Código	Calificación
JHAN CARLOS DELGADO ARIZA	1160501	CINCO, CERO (5.0)

LAUREADA


IE MSc YESENIA RESTREPO CHAUSTRE


IE MSc JOHNNY OMAR MEDINA DURÁN

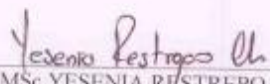

Vo.Bo. BYRON MEDINA DELGADO, IE MSc
Coordinador Comité Curricular
Ingeniería Electrónica

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE UN TRABAJO DE GRADO

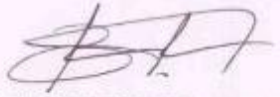
Fecha: CÚCUTA, 01 DE SEPTIEMBRE DE 2017
Hora: 17:00
Lugar: AULA LE101, LABORATORIOS EMPRESARIALES
Plan de Estudios: INGENIERÍA ELECTRÓNICA
Título de la Tesis: "ESTIMACIÓN DE LA CANTIDAD DE ENERGÍA GENERADA POR UN PANEL SOLAR UTILIZANDO INTELIGENCIA ARTIFICIAL"
Jurados: IE MSc. YESENIA RESTREPO CHAUSTRE
IE MSc. JOHNNY OMAR MEDINA DURÁN
Director: IE MSc. SERGIO BASILIO SEPÚLVEDA MORA

Nombre de los Estudiantes	Código	Calificación
ANDERSON GUILLERMO VERA DÁVILA	1160767	CINCO, CERO (5,0)

LAUREADA


IE MSc YESENIA RESTREPO CHAUSTRE


IE MSc JOHNNY OMAR MEDINA DURÁN


Vo.Bo. BYRON MEDINA DELGADO, IE MSc
Coordinador Comité Curricular
Ingeniería Electrónica

DEDICATORIA

Dedicado a Dios:

Por regalarme la vida y acompañarme en cada día de ella.

A mi madre, Nancy Ariza:

Por su gran amor y abnegación.

A mi padre, Juan Carlos Delgado:

Por su confianza y sus sabios consejos.

A mi hermana, Kelly Delgado:

Por su apoyo incondicional.

A toda mi familia:

Los llevo siempre en mi corazón.

Jhan Carlos Delgado Ariza

A Dios por brindarme la vida y darme la sabiduría necesaria.

A mis padres, Martha Dávila y Guillermo Vera:

Por ser incondicionales conmigo y darme todo lo que necesito,

Mis triunfos son para ustedes.

A mi abuela Estela Molina:

Por su dedicación y entrega en este largo camino.

A mi familia:

Por creer siempre en mí, los quiero a todos.

Anderson Guillermo Vera Dávila

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar a Dios por brindarme la vida y colmarme de salud, en especial a mis padres, abuela y tía por darme siempre un apoyo incondicional, por todos sus esfuerzos para que nunca me falta nada; al ingeniero Sergio Sepúlveda por dejarnos trabajar con él en este proyecto de investigación, por las asesorías y consejos brindados durante este proceso; al grupo de investigación GIDMA y compañeros, por permitirnos un espacio y materiales de trabajo para el desarrollo de este proyecto; a mis amigos que siempre nos brindaron una mano amiga y la colaboración, en especial a Migan Galban por ser incondicional en todo momento, al ingeniero Luis Bustos por los consejos y colaboración prestada; A mi pareja Andrea Leal por estar siempre cuando la necesité en este largo camino.

Anderson Guillermo Vera Dávila

Le agradezco a Dios por ayudarme a culminar este trabajo, a mi director, el ingeniero Sergio Sepúlveda por permitirme trabajar en este proyecto de investigación y por brindarnos su apoyo en todo lo que necesitamos. Al grupo de investigación GIDMA y todos sus integrantes, por permitirnos el espacio necesario para realizar esta investigación, en especial a nuestro compañero Migan Galban por su apoyo constante y palabras de aliento. A los ingenieros Byron Medina y Karla Puerto por su gran sentido humano y sus enseñanzas. A todos mis compañeros de estudio por todo lo que aprendimos en este camino y en especial a Jeiny González por su gran amistad en todos estos años.

Jhan Carlos Delgado Ariza

Tabla de contenido

Introducción	19
1 Descripción del problema	21
1.1 Planteamiento del problema	22
1.2 Justificación	22
1.3 Objetivos	22
1.3.1 Objetivo general	22
1.3.2 Objetivos específicos	22
1.4 Delimitaciones	23
2 Marco referencial	24
2.1 Antecedentes	24
2.1.1 Estado del arte actual.	24
2.1.2 Trabajos similares.	25
2.2 Marco teórico	26
2.2.1 Energía solar fotovoltaica.	26
2.2.2 Célula solar.	27
2.2.3 Efecto fotoeléctrico.	29
2.2.4 Panel solar fotovoltaico.	29
2.2.5 Radiación solar.	31

2.2.6	Parámetros característicos de un panel solar.	31
2.2.6.1	Corriente de corto circuito (I_{sc}).	32
2.2.6.2	Voltaje de circuito abierto (V_{oc}).	33
2.2.6.3	Punto de máxima potencia (P_m).	33
2.2.6.4	Factor de llenado (FF).	33
2.2.6.5	Eficiencia (η).	33
2.2.7	Inteligencia artificial (IA).	33
2.2.7.1	Lógica difusa.	34
2.2.7.2	Algoritmos genéticos.	34
2.2.7.3	Redes neuronales artificiales.	34
2.2.7.3.1	Estructura y elementos de una red neuronal.	35
2.2.7.3.2	Función de activación.	36
2.2.7.3.3	Topologías de redes neuronales.	39
2.2.7.3.4	Aprendizaje de una red neuronal.	39
2.2.7.3.5	Algoritmos de entrenamiento.	41
2.2.7.3.6	Transformación de datos.	42
2.2.7.3.7	Diagramas de dispersión.	43
2.2.7.3.8	Parámetros iniciales de red neuronal	44
2.2.7.3.9	Análisis de resultados del entrenamiento y mejoramiento de la red neuronal.	45
2.2.8	Energía eléctrica.	46

2.3 Marco legal	46
3 Metodología	48
3.1 Recopilar información acerca de las diferentes técnicas de inteligencia artificial aplicadas para la estimación de la energía.	48
3.2 Caracterizar el panel solar a utilizar para el desarrollo del proyecto.	48
3.3 Simular el comportamiento del panel solar bajo condiciones estándar mediante un software especializado.	53
3.3.1 Selección del software de simulación especializado	53
3.3.2 Búsqueda de tutoriales	54
3.3.3 Simulación del panel solar en condiciones estándar	55
3.3.3.1 Simulación del panel mediante modelo matemático	55
3.3.3.2 Simulación del panel solar mediante bloque PV Array de Simulink.	61
3.4 Seleccionar e implementar la técnica de inteligencia artificial para estimar la energía producida mediante un modelo matemático.	63
3.4.1 Consultar y analizar acerca de las técnicas de inteligencia artificial usadas en aplicaciones de energía solar fotovoltaica	63
3.4.2 Seleccionar la técnica de inteligencia artificial para la realización del algoritmo de predicción de la energía producida de un panel solar	63
3.4.3 Implementar la técnica de inteligencia artificial mediante un software de simulación especializado	64
3.4.3.1 Organización de los datos de entrada en Excel.	65

3.4.3.2 Transformación lineal de los datos.	66
3.4.3.3 Entrenamiento de la red neuronal y análisis de los resultados.	68
3.4.3.4 Transformación lineal inversa de los datos.	81
3.4.4 Estimar la energía producida mediante un modelo matemático aproximado.	82
3.5 Comparar los resultados experimentales con los simulados y los obtenidos con la técnica de inteligencia artificial.	83
3.5.1 Comparación de resultados experimentales con los simulados.	83
3.5.2 Análisis de resultados obtenidos de la red neuronal.	84
3.6 Divulgar los resultados obtenidos a la comunidad académica y científica.	84
4 Resultados	85
4.1 Simulación de un panel solar.	85
4.1.1 Simulación de un panel solar de 90 W mediante el modelo matemático	85
4.1.2 Simulación de un panel solar mediante el bloque PV Array de Simulink	87
4.2 Estimación de la red neuronal.	90
4.3 Comparación de los resultados de la red neuronal	95
5 Conclusiones	100
6 Recomendaciones	102
Bibliografía	103
Anexos	108