

	GESTIÓN DE RECURSOS Y SERVICIOS BIBLIOTECARIOS	Código	FO-SB-12/v0
	ESQUEMA HOJA DE RESUMEN	Página	1/92

RESUMEN TRABAJO DE GRADO

AUTOR(ES): NOMBRES Y APELLIDOS COMPLETOS

NOMBRE(S): MARIA ALEJANDRA APELLIDOS: ROMERO BUSTOS

FACULTAD: INGENIERÍA

PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERÍA ELECTRÓNICA

DIRECTOR:

NOMBRE(S): SERGIO BASILIO APELLIDOS: SEPÚLVEDA MORA

NOMBRE(S): MARIO JOAQUIN APELLIDOS: ILLERA BUSTOS

TÍTULO DEL TRABAJO (TESIS): ANÁLISIS DE MODELOS DE PREDICCIÓN SOLAR PARA SU IMPLEMENTACIÓN EN SISTEMAS DE GESTIÓN FOTOVOLTAICA EN LA CIUDAD DE CÚCUTA, COLOMBIA.

RESUMEN

UN ESTUDIO QUE PERMITE ANALIZAR LOS DIFERENTES TIPOS DE MODELOS PARA LA PREDICCIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR EN TIEMPO REAL UTILIZANDO REDES NEURONALES CON DATOS METEOROLÓGICOS DE FÁCIL ACCESO PARA SU IMPLEMENTACIÓN EN UN SISTEMA DE GESTIÓN FOTOVOLTAICA COMO LOS HEMS

PALABRAS CLAVE: REDES NEURONALES, RADIACIÓN SOLAR, PREDICCIÓN SOLAR, SISTEMAS DE GESTIÓN FV

CARACTERÍSTICAS:

PÁGINAS: 92 PLANOS: 0 ILUSTRACIONES: 33 CD ROOM: 1

ANÁLISIS DE MODELOS DE PREDICCIÓN SOLAR PARA SU IMPLEMENTACIÓN EN
SISTEMAS DE GESTIÓN FOTOVOLTAICA EN LA CIUDAD DE CÚCUTA, COLOMBIA.

MARIA ALEJANDRA ROMERO BUSTOS

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍA

PLAN DE ESTUDIOS INGENIERÍA ELECTRÓNICA

SAN JOSE DE CÚCUTA

2019

ANÁLISIS DE MODELOS DE PREDICCIÓN SOLAR PARA SU IMPLEMENTACIÓN EN
SISTEMAS DE GESTIÓN FOTOVOLTAICA EN LA CIUDAD DE CÚCUTA, COLOMBIA.

MARIA ALEJANDRA ROMERO BUSTOS

Trabajo de grado presentado como requisito para optar por el título de

INGENIERO ELECTRÓNICO

DIRECTOR

M.Sc. I.E. SERGIO BASILIO SEPÚLVEDA MORA

CO-DIRECTOR

M.Sc. I.E. MARIO JOAQUIN ILLERA BUSTOS

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍA

PLAN DE ESTUDIOS INGENIERÍA ELECTRÓNICA

SAN JOSÉ DE CÚCUTA

2019

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE UN TRABAJO DE GRADO

Fecha: CÚCUTA, 16 DE DICIEMBRE DE 2019
Hora: 09:00
Lugar: LABORATORIO EMPRESARIAL LE 203
Plan de Estudios: INGENIERÍA ELECTRÓNICA
Título de la Tesis: "ANÁLISIS DE MODELOS DE PREDICCIÓN SOLAR PARA SU IMPLEMENTACIÓN EN SISTEMAS DE GESTIÓN FOTOVOLTAICA EN LA CIUDAD DE CÚCUTA, COLOMBIA"
Jurados: IE PhD. BYRON MEDINA DELGADO
IE JHON JAIRÓ RAMÍREZ MATEUS
Director: IE MSc. SERGIO BASILIO SEPÚLVEDA MORA
Codirector: IE MSc. MARIO ILLERA BUSTOS

Nombre del Estudiante	Código	Calificación
MARIA ALEJANDRA ROMERO BUSTOS	1161106	CUATRO, CINCO (4,5)

MERITORIA



BYRON MEDINA DELGADO



JHON JAIRÓ RAMÍREZ MATEUS



DINAEL GUEVARA IBARRA, IE PhD
Coordinador Comité Curricular
Ingeniería Electrónica

Dedicatoria

A mi madre, Amanda Bustos por su amor, dedicación y sacrificio; me enseñó a ser valiente ante cualquier adversidad. A mi familia, por su apoyo y enseñanzas de vida. A César Ramírez, por su amor e incondicional apoyo.

Agradecimientos

A mi director de tesis, Msc IE Sergio Basilio Sepúlveda Mora, por su orientación y dedicación a lo largo de mi trabajo de grado.

Al Msc IE Alejandro Parada quien con su experiencia, conocimiento y motivación me oriento en el desarrollo de mi trabajo de grado.

De manera especial a mi Codirector, M.Sc IE Mario Joaquín Illera Bustos, por la paciencia e incondicional apoyo siempre brindado tanto en la elaboración de este proyecto, en mi carrera profesional y en nuestra vida como primos. Gracias por creer y confiar en mí.

CONTENIDO

	Pág.
Introducción	15
1. Descripción del problema	17
1.1 Planteamiento del problema	20
1.2 Justificación	20
1.2.1 Beneficios tecnológicos	20
1.2.2 Beneficios económicos	21
1.2.3 Beneficios sociales	21
1.2.4 Beneficios institucionales	21
1.3 Objetivos	22
1.3.1 Objetivo general	22
1.3.2 Objetivos específicos	22
1.4 Alcances, limitaciones y delimitaciones	22
1.4.1 Alcances	22
1.4.2 Limitaciones	23
1.4.3 Delimitaciones	23
2. Marco referencial	24
2.1 Antecedentes	24
2.1.1 Una estrategia de gestión del lado de la demanda basada en la previsión de fuentes renovables residenciales: un sistema de casa inteligente en Turquía	24
2.1.2 Predicción de la irradiancia solar horizontal global en Zimbabwe utilizando redes neuronales artificiales	25
2.1.3 Hogares inteligentes, sistemas de gestión de energía doméstica y retroalimentación en tiempo real: lecciones para influir en el consumo de energía de los hogares de un estudio de campo sueco.	26
2.1.4 Nuevas herramientas de modelado y pronóstico de energía para redes de energía inteligentes	27
2.2 Marco teórico	28
2.2.1 Energía solar fotovoltaica	28
2.2.2 Eficiencia de la energía solar fotovoltaica	29
2.2.3 Métodos de predicción solar	30
2.2.4 Red neuronal	31
2.2.5 Ventajas que ofrece la red neuronal	32

2.2.6 Elementos básicos de una red neuronal artificial	32
2.2.7 Funciones de activación	33
2.2.7.1 Escalón	33
2.2.7.2 Escalón simétrico	33
2.2.7.3 Lineal	34
2.2.7.4 Continua (sigmoideal)	34
2.2.8 Algoritmo de aprendizaje	34
2.2.9 Topologías para una red neuronal artificial	35
2.2.9.1 Red neuronal Monocapa	35
2.2.9.2 Red neuronal Multicapa	36
2.2.9.3 Red neuronal Convolutacional (CNN)	37
2.2.9.4 Red neuronal recurrente (RNN)	37
2.2.9.5 Redes de base radial (RBF)	38
2.2.10 Sistema de gestión energética del hogar (HEMS)	39
2.3 Marco legal	40
2.3.1 Ley 1715 del 2014	40
2.3.2 Ley 1665 de 2013	40
2.3.3 NTC 6017-1	41
2.3.4 Decreto 2492 del 2014	41
2.3.5 CREG Resolución 030 de 2018	42
3. Metodología	42
3.1 Desarrollo en Matlab del modelo de predicción basado en inteligencia artificial, que permite evaluar la disponibilidad energética solar en periodos cortos de tiempo en la ciudad de Cúcuta	42
3.1.1 Definición de los datos relevantes para la red neuronal	42
3.1.2 Obtención de los datos para la red neuronal	43
3.1.3 Pre-procesado de los datos que serán usados en la red neuronal	44
3.1.3.1 Análisis de estándares residuales	45
3.1.3.2 Criterio de Chauvenet	45
3.1.3.3 Integración de los datos	46
3.1.4 Definición de la estructura de la red neuronal	47
3.1.5 Proceso de entrenamiento de la red neuronal y evaluación de errores	47
3.1.6 Simulación de la red neuronal y evaluación de errores	50

3.2 Comparación del modelo de predicción solar desarrollado con propuestas similares en la literatura académica, con el objeto de evaluar su rendimiento	52
3.2.1 Investigar sobre propuestas similares al modelo desarrollado en bases de datos académicas	52
3.2.2 Identificar los parámetros utilizados en los resultados y errores de cada propuesta similar encontrada	52
3.2.3 Recopilar información sobre investigaciones que no usen redes neuronales artificiales, pero que busquen predecir la radiación con otra metodología	53
3.2.4 Identificar los parámetros utilizados en los resultados y errores de cada propuesta con las características anteriormente mencionadas	53
3.2.5 Realizar dos tablas en donde se exponga la información recopilada anteriormente, una para cada caso de análisis	54
3.2.6 Evaluar el rendimiento del modelo de predicción desarrollado con base en las tablas desarrolladas anteriormente	54
3.3 Diseño de sistema de integración en Matlab que enlace el modelo de predicción solar con un HEMS para un sistema FV estándar en la ciudad de Cúcuta	54
3.3.1 Investigar en la literatura académica proyectos de investigación que implementen un HEMS para la ciudad de Cúcuta	54
3.3.2 Definir la función y criterios para implementación del HEMS	55
3.3.2.1 Pico de potencia positivo y negativo de la red	55
3.3.2.2 Derivada de la potencia máxima (MPD)	56
3.3.2.3 Derivada de potencia promedio (APD)	56
3.3.2.4 Dependencia energética con la red (EDG)	56
3.3.2.5 Variabilidad del perfil de potencia (PPV)	57
3.3.3 Definir un esquema general de configuración para la micro red	57
3.3.4 Diseño del bloque de integración del modelo de predicción de radiación solar	58
3.4 Evaluación del rendimiento del sistema de integración propuesto con respecto a una implementación de predicción tradicional en un HEMS	59
3.4.1 Análisis de la sensibilidad al error de predicción	60
3.5 Presentación y divulgación de los resultados ante la comunidad científica	62
4. Resultados	63
4.1 Resultados del modelo de predicción solar desarrollado	63
4.2 Comparación del modelo de predicción solar desarrollado con propuestas similares	74
4.3 Sistema de integración del modelo de predicción solar con HEMS para sistema FV	78

4.4 Evaluación del rendimiento del sistema de integración propuesto con respecto a una implementación de predicción tradicional	83
4.5 Divulgación de resultados	85
5. Conclusiones	87
6. Recomendaciones	88
Referencias	89