



RESUMEN TRABAJO DE GRADO

AUTOR:

NOMBRES: LEONARDO ALBERTO APELLIDOS: MÉNDEZ MARTÍNEZ

FACULTAD: INGENIERÍA

PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

DIRECTORA:

NOMBRES: GLORIA ESMERALDA APELLIDOS: SANDOVAL MARTÍNEZ

TÍTULO DEL TRABAJO:

DISEÑO DE UN SISTEMA DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA CONECTADO A LA RED PARA LA PLANTA DE LABORATORIOS DE FLUIDOS, NEUMÁTICAS, HIDRÁULICAS Y TÉRMICAS PARA ASÍ APROVECHAR LA ENERGÍA SOLAR

RESUMEN

Se dimensionará un sistema fotovoltaico conectado a la red para ser usado en la ciudad de Cúcuta, Colombia, teniendo en cuenta los dispositivos que hay disponibles en el mercado mundial actualmente para así trabajar y ajustar el sistema a estos dispositivos, ya que realizar un dimensionamiento con valores fuera del rango que hay disponible en el mercado, nos obligaría a dimensionar por aparte cada dispositivo que componen a un sistema fotovoltaico conectado a la red, los cuales son básicamente los módulos fotovoltaicos, el inversor y el medidor bidireccional. Se harán los cálculos de los conductores del sistema fotovoltaico conectado a la red para tener una idea de que normas deben cumplir dichos conductores. Se trabajará con el rango de temperaturas que ha habido en la ciudad de Cúcuta a lo largo de la historia, para proteger al inversor de los cambios bruscos que pueda presentar el generador fotovoltaico por las variaciones de temperatura que el medio ambiente pueda presentar. Se mostrará una recopilación de datos de irradiancia incidente en el punto de instalación teórico para el sistema fotovoltaico conectado a la red de los meses de agosto, septiembre, octubre, noviembre y diciembre.

PALABRAS CLAVE: Voltaje en vacío, desbalance porcentual, paneles fotovoltaicos, medidor bidireccional, temperatura de la célula.

CARACTERÍSTICAS:

PÁGINAS: 204 PLANOS: 1 FIGURAS: 84 TABLAS: 24 CD-ROM: 1

Elaboró		Revisó		Aprobó	
Fecha		Fecha		Fecha	

DISEÑO DE UN SISTEMA DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA CONECTADO A LA RED
PARA LA PLANTA DE LABORATORIOS DE FLUIDOS, NEUMÁTICAS,
HIDRÁULICAS Y TÉRMICAS PARA ASÍ APROVECHAR LA ENERGÍA SOLAR

LEONARDO ALBERTO MÉNDEZ MARTÍNEZ

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍAS

PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

SAN JOSÉ DE CÚCUTA, COLOMBIA

2018

DISEÑO DE UN SISTEMA DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA CONECTADO A LA RED
PARA LA PLANTA DE LABORATORIOS DE FLUIDOS, NEUMÁTICAS,
HIDRÁULICAS Y TÉRMICAS PARA ASÍ APROVECHAR LA ENERGÍA SOLAR

LEONARDO ALBERTO MÉNDEZ MARTÍNEZ

Proyecto de grado para optar por el título de Ingeniero Electromecánico

Directora:

Esp. Ing. Gloria Esmeralda Sandoval Martínez
Ingeniera Electromecánica

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍAS

PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

SAN JOSÉ DE CÚCUTA, COLOMBIA

2018

**FACULTAD DE INGENIERIAS
ACTA DE SUSTENTACIÓN PROYECTO DE GRADO
TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

FECHA: 22 de Febrero de 2018

HORA: 5:00 P.M

LUGAR: AG 101

PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

TÍTULO DEL TRABAJO DE GRADO "DISEÑO DE UN SISTEMA DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA CONECTADO A LA RED PARA LA PLANTA DE LABORATORIOS DE FLUIDOS, NEUMÁTICAS, HIDRÁULICAS Y TÉRMICAS PARA ASÍ APROVECHAR LA ENERGÍA SOLAR".

Jurados: Esp. JORGE ALBERTO RUÍZ
Msc. JOSE RICARDO BERMÚDEZ SANTAELLA
Esp. JUAN CARLOS RAMÍREZ BERMÚDEZ

DIRECTOR: Esp. GLORIA ESMERALDA SANDOVAL MARTÍNEZ

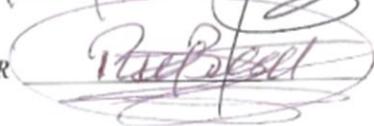
APROBADO

NOMBRE DEL ESTUDIANTE	CÓDIGO	CALIFICACIÓN
LEONARDO ALBERTO MÉNDEZ MARTÍNEZ	1090749	4.4

FIRMA DE LOS JURADOS:



VOBO. COORDINADOR COMITÉ CURRICULAR



Avenida Gran Colombia No. 12E-96 Barrio Colsag
Teléfono (057)(7) 5776655 - www.ufps.edu.co
oficinadeprensa@ufps.edu.co San José de Cúcuta - Colombia

Creada mediante decreto 323 de 1970

Dedicatoria

Este trabajo lo pude llevar a cabo gracias a Dios, a las Virgencitas, a Jesús, a los Ángeles y a los Arcángeles que son quienes han cuidado mi camino y quienes me ayudaron a mantenerme enfocado durante el desarrollo de este proyecto.

A mi madre, por ser quien me inspiró a tomar mis estudios universitarios y por brindarme todo lo necesario para poder cumplir mi carrera de pregrado.

A mi padre, por ser un buen ejemplo como persona y por sus enseñanzas en los valores que se deben de tener para el buen trato con la sociedad.

A mi abuelo y a mi abuela maternos, por ser un gran ejemplo de amor entre ellos, por las enseñanzas y valores familiares que me transmiten día a día.

A mi abuela paterna, por el amor que me brinda, sus enseñanzas y lo poco que me ha transmitido pero que ha sido muy excelente.

Por último, a la señorita Jerly Bianey Rodríguez Ramírez, la persona que me dio motivos para seguir adelante con mis proyectos de vida, recuperar mi alegría y enseñarme a que nunca más debo rendirme pese a cualquier circunstancia.

Leonardo Alberto Méndez Martínez.

Agradecimientos

A Dios por darme el don de entendimiento, de la paciencia, y de la capacidad para retener lo aprendido, ya que con esto logré culminar este proyecto.

A mi Directora de proyecto de grado, Esp. Ing. Gloria Esmeralda Sandoval Martínez, Especialista en Gerencia de Recursos Energéticos e Ingeniera Electromecánica; por sus conocimientos, orientaciones y recomendaciones dadas para el desarrollo de este proyecto.

Al Director del Departamento de E. & E. de la UFPS, M.Sc. Ing. Byron Medina Delgado, Magíster en Ingeniería Electrónica e Ingeniero Electrónico; por facilitarme una estación de trabajo en el Laboratorio de Tesistas LG-108 y aprobarme el préstamo de implementos de laboratorio para la realización documental de mi proyecto.

Al Ph.D. M.Sc. Ing. Francisco Ernesto Moreno García, Doctorado en Ingeniería Mecánica, Magister en Ingeniería Mecánica e Ingeniero Electrónico; por prestarme un piranómetro para así poder tomar los datos de irradiancia solar durante los 5 meses de trabajo exterior que llegué a realizar.

A los tres laboratoristas del Departamento de E. & E. de la UFPS, José Fernando Escalante Becerra, Freddy Leonardo Flórez y José Fernando Fuentes; por estar atentos al préstamo de materiales que se pidieron durante todo el desarrollo del proyecto.

Por último, a todas mis amistades que trabajaron conmigo durante mi carrera universitaria y aquellos con los que compartí sin ninguna obligación educativa dentro de la institución, porque con ellos fue que logré adquirir conocimientos tanto educativos como valores buenos y malos.

Tabla de Contenido

Introducción	19
1 Problema	21
1.1 Planteamiento del problema	21
1.2 Formulación del problema	22
2 Objetivos	23
2.1 Objetivo general	23
2.2 Objetivos específicos	23
3 Justificación	24
4 Beneficios tecnológicos, institucionales y sociales	29
4.1 Beneficios tecnológicos	29
4.2 Beneficios institucionales	29
4.3 Beneficios sociales	29
5 Alcances, limitaciones y delimitaciones	31
5.1 Alcances	31
5.2 Limitaciones	31
5.3 Delimitaciones	32
5.3.1 Delimitación espacial.	32
5.3.2 Delimitación temporal.	33

6	Marco referencial	34
6.1	Antecedentes	34
7	Marco Teórico	36
7.1	¿Qué es la energía eléctrica?	36
7.2	¿Qué es una red de distribución de energía eléctrica?	36
7.3	Clasificación de los niveles de tensión	37
7.4	Mini central solar	38
7.5	Radiación Solar	38
7.5.1	Tipos de radiación solar sobre una superficie.	39
7.5.2	Irradiación e irradiancia.	40
7.6	Unión PN	40
7.7	Célula fotovoltaica (FV)	42
7.8	Módulos fotovoltaicos o paneles solares fotovoltaicos	45
7.8.1	Tipos de módulos fotovoltaicos.	48
7.8.2	Curva característica de un panel.	50
7.8.3	Influencia de la radiación en la eficiencia de una celda fotovoltaica.	51
7.8.4	Influencia de la temperatura en la eficiencia de una celda fotovoltaica.	52
7.8.5	Orientación de un panel solar.	53
7.8.6	Ángulo de inclinación de un panel solar.	54
7.8.7	Factores de pérdidas energéticas de un panel.	55
7.8.8	Pérdidas por no cumplimiento de la potencia nominal.	55

7.8.9	Pérdidas de Mismatch o de conexionado.	55
7.8.10	Pérdidas por polvo y suciedad.	56
7.8.11	Pérdidas angulares y espectrales.	56
7.8.12	Pérdidas por caídas óhmicas en el cableado.	56
7.8.13	Pérdidas por temperatura.	56
7.8.14	Pérdidas por sombreado del generador fotovoltaico.	57
7.8.15	Algoritmo para el Seguimiento del Punto de Máxima Potencia (MPPT).	57
7.8.16	Evolución del punto de trabajo de un panel fotovoltaico.	58
7.9	Inversores fotovoltaicos	61
7.10	Funciones y características de los inversores	63
7.10.1	Rendimiento.	63
7.10.2	Grado de protección de la envolvente del inversor.	66
7.10.3	Características de los inversores conectados a la red.	66
7.11	Tipos de inversores para conexión a la red	67
7.11.1	Inversor central.	68
7.11.2	Inversor de cadena.	68
7.11.3	Inversor multicadena.	70
7.11.4	Inversor integrado en el módulo.	70
7.12	Funcionamiento y configuraciones de un inversor	71
7.13	Dimensionado del inversor	76
7.14	Softwares	78
8	Marco legal	81

9	Diseño Metodológico	87
9.1	Tipo de investigación	87
10	Desarrollo del proyecto	90
10.1	Recopilación de datos de Radiación Global Horizontal Diaria	90
10.2	Datos recopilados del lugar en estudio	100
10.2.1	Determinación del ángulo de inclinación óptimo	105
10.2.2	Factor de Irradiación (FI).	114
10.2.3	Efectos de la irradiancia y temperatura.	116
10.2.4	Células solares fotovoltaicas.	118
10.2.5	Conexión de módulos en serie/paralelo.	120
10.3	Dimensionamiento de un sistema de energía fotovoltaica conectado a la red	121
10.3.1	Proyecto de un sistema fotovoltaico conectado a la red.	121
10.3.2	Potencia de pico del generador por superficie disponible.	122
10.3.3	Análisis y cálculos del área disponible en la superficie de la planta.	126
10.3.4	Comprobación de utilización de área con respecto a la superficie del módulo FV policristalino elegido.	130
10.3.5	Cálculo del inversor a utilizar	136
10.3.6	Cálculo del dimensionamiento del generador fotovoltaico	138
10.4	Dimensionar un sistema de energía fotovoltaica conectado a la red con ayuda de un software de ingeniería	154
10.5	Viabilidad de implementar un sistema de energía fotovoltaica conectado a la red en comparación al sistema actual que está solamente conectado a la red.	173

10.6	Instalación y mantenimiento de los inversores	178
10.6.1	Circuito de utilización	178
10.6.2	Pérdidas en el cableado	179
10.6.3	Cálculo por caída de tensión	182
10.6.4	Cálculo por calentamiento	183
10.6.5	Recopilación de datos	184
11	Terminología	191
12	Recomendaciones generales	196
13	Conclusiones	197
14	Referencias	198
15	Anexos	199