

	GESTIÓN DE RECURSOS Y SERVICIOS BIBLIOTECARIOS	Código	FO-SB-12/v0
	ESQUEMA HOJA DE RESUMEN	Página	1/179

## RESUMEN TRABAJO DE GRADO

AUTOR: NOMBRES Y APELLIDOS COMPLETOS

NOMBRE(S): LUSWING RAÚL                      APELLIDOS: RUEDA HERNÁNDEZ

FACULTAD: INGENIERÍA

PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

DIRECTOR:

NOMBRE(S): GLORIA ESMERALDA      APELLIDOS: SANDOVAL MARTÍNEZ

TÍTULO DEL TRABAJO (TESIS): ESTUDIO TÉCNICO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA EL SUMINISTRO AUXILIAR DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE EQUIPOS DE CORTE Y MANIOBRA EN REDES DE DISTRIBUCIÓN DE MEDIA TENSIÓN EN CÚCUTA Y SU ÁREA METROPOLITANA

RESUMEN

Se realizó el diseño de un sistema fotovoltaico autónomo para un equipo de seccionamiento/maniobra de la empresa CENS, se toman datos de radiación solar para poder simular y observar el comportamiento del sistema en condiciones reales, además se realizó un análisis económico para conocer la inversión que se debe realizar para la implementación del proyecto y en cuanto tiempo es el retorno de dicha inversión, con el fin determina si el proyecto puede ser implementado y si este es económicamente viable.

PALABRAS CLAVE: Panel solar, simulación, reconectador, índices de calidad, viabilidad económica del proyecto.

CARACTERÍSTICAS:

PÁGINAS: 179    PLANOS: \_\_\_\_    ILUSTRACIONES: \_\_\_\_    CD ROOM: 1

ESTUDIO TÉCNICO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA  
FOTOVOLTAICO PARA EL SUMINISTRO AUXILIAR DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE  
EQUIPOS DE CORTE Y MANIOBRA EN REDES DE DISTRIBUCIÓN DE MEDIA  
TENSIÓN EN CÚCUTA Y SU ÁREA METROPOLITANA

LUSWING RAÚL RUEDA HERNÁNDEZ

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PLAN DE ESTUDIO DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA  
SAN JOSÉ DE CÚCUTA  
2017

ESTUDIO TÉCNICO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA  
FOTOVOLTAICO PARA EL SUMINISTRO AUXILIAR DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE  
EQUIPOS DE CORTE Y MANIOBRA EN REDES DE DISTRIBUCIÓN DE MEDIA  
TENSIÓN EN CÚCUTA Y SU ÁREA METROPOLITANA

LUSWING RAÚL RUEDA HERNÁNDEZ

Trabajo de grado para optar por el título de ingeniero electromecánico.

Director: Esp. Gloria Esmeralda Sandoval Martínez.  
Ingeniera Electromecánica  
Codirector. Ing. Oscar Eduardo López  
Ingeniero Electromecánico y Electricista

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PLAN DE ESTUDIO DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA  
SAN JOSÉ DE CÚCUTA  
2017



ACTA DE SUSTENTACIÓN PROYECTO DE GRADO  
MODALIDAD TRABAJO DIRIGIDO

FECHA: 6 DE DICIEMBRE DE 2016

HORA: 10:00 AM

LUGAR: Sala de Fotografía del Cread

PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

TITULO DEL TRABAJO DE GRADO: "ESTUDIO TÉCNICO PARA LA IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA EL SUMINISTRO AUXILIAR DE ENERGIA ELECTRICA DE EQUIPOS DE CORTE Y MANIOBRA EN REDES DE DISTRIBUCIÓN DE MEDIA TENSIÓN EN CÚCUTA Y SU ÁREA METROPOLITANA"

JURADOS: Msc. SERGIO BASILIO SEPULVEDA MORA  
Msc. JULIAN FERREIRA JAIMES  
Esp. OSCAR ORLANDO PINILLA MANTILLA

DIRECTOR: Esp. GLORIA ESMERALDA SANDOVAL M.  
Co-director: Ing. OSCAR EDUARDO LOPEZ

NOMBRE DEL ESTUDIANTE:	CÓDIGO	CALIFICACION
LUSWING RAUL RUEDA HERNANDEZ	1090675	4.2

OBSERVACIONES:

**APROBADO**

FIRMA DE LOS JURADOS:

VOBO. COORDINADOR COMITÉ CURRICULAR  
Mery L.

## **DEDICATORIA**

A Dios por brindarme sabiduría, confianza, fortaleza y paciencia para afrontar todas las dificultades que se me presentaron en el camino.

A mi madre por su apoyo incondicional, comprensión, por todo el amor brindado porque ha sido la persona que ha guiado mis pasos, es el motor de mi vida y la que me brindó la ayuda para mi formación como profesional.

A mis demás familiares por su apoyo incondicional, por el amor brindado por los buenos consejos y ayuda para mi formación como persona y profesional.

Luswing Raúl Rueda Hernández

## **AGRADECIMIENTOS**

El autor expresa su agradecimiento a:

Esp. Ingeniera y directora de trabajo de grado Gloria Esmeralda Sandoval Martínez.  
Muchas gracias por su apoyo confianza incondicional a la hora de alcanzar los objetivos trazados.

Ingeniero y codirector Oscar Eduardo López por la ayuda y el apoyo brindado, por sus asesorías y disponibilidad de tiempo.

Ingeniero Gilberto Alonso Vera por toda la colaboración brindada, disponibilidad de tiempo y consejos en momentos necesarios.

## CONTENIDO

	Pág.
Introducción	20
1. Problema	21
1.1 Título	21
1.2 Planteamiento del problema	21
1.3 Formulación del Problema	22
2. Justificación	23
3. Objetivos	25
3.1 Objetivo general	25
3.2 Objetivos específicos	25
4. Alcances y limitaciones	26
4.1 Alcances	26
4.2 Limitaciones	26
5. Delimitaciones	27
5.1 Delimitación espacial	27
5.2 Delimitación temporal	27
5.3 Profundidad del tema	27
5.4 Software	27

6. Marco referencial	28
6.1 Antecedentes	28
6.2 Marco teórico	30
6.2.1 Que es una red de distribución de energía eléctrica	30
6.2.2 Redes de distribución de energía eléctrica	30
6.2.3 Clasificación de los niveles de tensión	31
6.2.4 Redes de distribución de energía eléctrica según su tipo de construcción	31
6.2.4.1 Redes de distribución aéreas	31
6.2.5 Redes de distribución de energía eléctrica según el tipo de usuarios finales	31
6.2.5.1 Redes de distribución para cargas residenciales	32
6.2.5.2 Redes de distribución para cargas comerciales	32
6.2.5.3 Redes de distribución para cargas industriales	32
6.2.6 Redes aéreas de distribución eléctrica	32
6.2.6.1 Armados de media tensión	32
6.2.7 Interruptores, Reconectores y Seccionadores de media tensión	33
6.2.8 Características funcionales de dispositivos inteligentes para automatización de la distribución	33
6.2.9 Radiación solar	36
6.2.9.1 Tipos de radiación solar sobre una superficie	37
6.2.9.2 Irradiación e irradiancia	37

6.2.9.3 Hora solar pico	38
6.2.10 Panel Fotovoltaico	38
6.2.10.1 Tipos de paneles Fotovoltaico	38
6.2.10.2 Curva característica	40
6.2.10.3 Influencia de la radiación en la eficiencia de una Celda Solar	41
6.2.10.4 Influencia de la temperatura en la eficiencia de una Celda Solar	41
6.2.10.5 Orientación de un panel solar	42
6.2.11 Sistemas fotovoltaicos	43
6.2.11.1 Reguladores de carga	44
6.2.11.2 Acumuladores o Baterías	45
6.2.12 Seguimiento del punto de máxima potencia	46
6.2.12.1 Algoritmo del seguimiento del punto de máxima potencia P&O	47
6.2.13 Convertidor de potencia DC/DC	48
6.2.13.1 Convertidor DC-DC tipo Buck	48
6.2.13.2 Convertidor DC-DC tipo Boost	49
6.2.14 Convertidor de potencia DC/AC	49
6.2.14.1 Convertidor de onda completa	50
6.2.15 Técnica de control PWM	50
6.2.16 VAN, TIR y periodo de recuperación	51
6.2.16.1 VAN	51

6.2.16.2 TIR	51
6.2.16.3 Tasa de recuperación	51
6.2.17 SAIDI Y SAIFI	51
6.2.17.1 SAIDI	52
6.2.17.2 SAIFI	52
6.3 Marco legal	52
7. Diseño metodológico	53
7.1 Tipo de investigación	53
7.2 Recolección de la información	53
7.2.1 Fuentes primarias	53
7.2.2 Fuentes secundarias	53
7.3 Actividades metodológicas	53
8. Desarrollo del proyecto	56
8.1 Selección del equipo de estudio	56
8.1.1 Equipos de protección y maniobra utilizados por la empresa CENS en sus redes de media tensión en Cúcuta y su área metropolitana	56
8.1.2 Conclusión para la selección del equipo de estudio	63
8.2 Selección de la zona de estudio dentro de Cúcuta y su área metropolitana	64
8.2.1 Cúcuta y su área metropolitana	64
8.2.2 Zona de estudio	64

8.2.2.1 Identificación de los equipos que fueron seleccionados	65
8.3 Diseño del sistema fotovoltaico autónomo y estructura mecánica	72
8.3.1 Dimensionado del sistema fotovoltaico	72
8.3.1.1 Radiación solar disponible	74
8.3.1.2 Cálculo de los paneles solares	76
8.3.1.3 Dimensionado de las baterías	77
8.3.1.4 Selección del regulador	78
8.3.1.5 Selección del inversor	79
8.3.1.6 Conexión de los paneles fotovoltaicos	80
8.3.1.7 Dimensionado del cableados	81
8.3.1.8 Cálculo de las protecciones del sistema	84
8.3.1.9 Sistema de puesta a tierra	85
8.3.1.10 Mantenimiento del sistema fotovoltaico	85
8.3.2 Ángulo de inclinación del panel fotovoltaico	86
8.3.3 Estructura mecánica	86
8.3.4 Diseño de la estructura utilizando un software CAD	87
8.3.4.1 Diseño de los equipos de CENS	87
8.3.4.2 Diseño del sistema fotovoltaico	89
8.3.4.3 Cálculo de esfuerzo de la estructura	90
8.4 Simulación	92

8.4.1 Equipos que conforman el sistema fotovoltaico autónomo	93
8.4.1.1 Panel fotovoltaico	93
8.4.1.2 Convertidor CD-DC tipo BUCK con MPPT	95
8.4.1.3 Convertidor DC-DC tipo boost.	97
8.4.1.4 Convertidor DC/AC	98
8.4.1.5 Baterías o almacenadores	101
8.4.2 Estudio de costos beneficios del proyecto	103
8.4.2.1 Análisis de la demanda no atendida (DNA) por CENS a los usuarios cuando el equipo salió de funcionamiento y cálculo de las pérdidas económicas por la no prestación del servicio	104
8.4.2.2 Plan económico financiero	108
9. Resultados	112
9.1 Resultados de la simulación	112
9.1.1 Regulador de carga y batería	112
9.1.2 Sistemas sin almacenamiento de energía	113
9.1.3 Almacenadores como fuentes de energía para alimentar la carga	115
9.2 Sistema fotovoltaico acoplado a la estructura de CENS	119
9.3 Viabilidad económica	121
Conclusiones	123
Recomendaciones	124

Referencias

125

Anexos

129