

| | | | |
|--|--|--------|-------------|
| | GESTIÓN DE RECURSOS Y SERVICIOS BIBLIOTECARIOS | Código | FO-SB-12/v0 |
| | ESQUEMA HOJA DE RESUMEN | Página | 1/163 |

RESUMEN TRABAJO DE GRADO

AUTORES:

NOMBRE(S) ERICK APELLIDOS DURÁN ALVAREZ
 NOMBRE(S) FERNANDO ANDRES APELLIDOS LANCHEROS ORTEGA

FACULTAD: INGENIERIAS

PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERIA ELECTROMECAÁNICA

DIRECTOR (S):

NOMBRE(S) GLORIA ESMERALDA APELLIDOS SANDOVAL MARTÍNEZ

TÍTULO DEL TRABAJO (TESIS): DISEÑO DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA CONECTADO A RED EN LA EMPRESA CERÁMICAS COLMENA S.A.S EN EL MUNICIPIO DE ARAUCA

RESUMEN. En el proceso de diseño del Sistema Generación Fotovoltaica para la empresa Cerámicas Colmena S.A.S. se establece la metodología usada para dimensionar el sistema fotovoltaico, aplicando la normativa Código Eléctrico Colombiano para cumplir con los estándares de seguridad de instalaciones eléctricas, por medio del proceso de simulación del sistema propuesto se avalan los datos establecidos en la etapa de diseño y se determina la viabilidad técnica para la conexión del SGFV a la red de baja Tensión, se identifican los parámetros que permiten establecer la viabilidad económica del sistema propuesto

PALABRAS CLAVES: sistema, proceso simulación, cerámicas, electricidad, viabilidad económica

CARACTERÍSTICAS

PÁGINAS: 163 **PLANOS:** **ILUSTRACIONES:** **CD ROOM:** 1

| Elaboró | | Revisó | | Aprobó | |
|------------------------------|------------|-------------------|------------|-------------------|------------|
| Equipo Operativo del Proceso | | Comité de Calidad | | Comité de Calidad | |
| Fecha | 24/10/2014 | Fecha | 05/12/2014 | Fecha | 05/12/2014 |

DISEÑO DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA
CONECTADO A RED EN LA EMPRESA CERÁMICAS COLMENA S.A.S EN EL
MUNICIPIO DE ARAUCA

ERICK DURÁN ALVAREZ
FERNANDO ANDRES LANCHEROS ORTEGA

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERIA ELECTROMECAÁNICA
SAN JOSÉ DE CÚCUTA
2017

DISEÑO DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA
CONECTADO A RED EN LA EMPRESA CERÁMICAS COLMENA S.A.S EN EL
MUNICIPIO DE ARAUCA

ERICK DURÁN ALVAREZ
FERNANDO ANDRES LANCHEROS ORTEGA

Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título de Ingeniero Electromecánico

Director
GLORIA ESMERALDA SANDOVAL MARTÍNEZ
Especialista Gerencia de recursos energéticos

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

**FACULTAD DE INGENIERIAS
ACTA DE SUSTENTACIÓN PROYECTO DE GRADO
MODALIDAD TRABAJO DIRIGIDO**

FECHA: 05 de junio 2017 **HORA:** 9:00 A.M
LUGAR: SALAS CREAD 3
PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA.

TITULO DEL TRABAJO DE GRADO: "DISEÑO DE UN SISTEMA DE GENERACION DE ENERGIA FOTOVOLTAICA CONECTADO A RED EN LA EMPRESA CERAMICAS COLMENA S.A.S. EN EL MUNICIPIO DE ARAUCA".

JURADOS: Msc JOSE ARMANDO BECERRA VARGAS,
Msc.SERGIO BASILIO SEPULVEDA MORA
Esp. JUAN CARLOS RAMIREZ BERMUDEZ

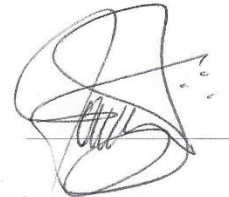
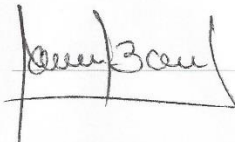
DIRECTOR: Esp. GLORIA ESMERALDA SANDOVAL MARTINEZ

CO-DIRECTOR: Doc. LUIS DOMINGO VAGEON RODRÍGUEZ.

APROBADO

| NOMBRE DEL ESTUDIANTE | CÓDIGO | CALIFICACIÓN |
|----------------------------------|---------------|---------------------|
| ERICK DURAN ALVAREZ | 1090671 | 4.2 |
| FERNANDO LANCHEROS ORTEGA | 1090464 | 4.2 |

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 dedico principalmente a Dios por darme sabiduría, fortaleza para seguir adelante; a mi madre Liliana Elizabeth Álvarez Villarreal quien me brindó todo el apoyo para que este sueño se hiciera realidad, a mi hermana que fue mi motor para seguir adelante, mi tío Jhon Robinson Álvarez quien fue un gran apoyo, confianza y fortaleza durante toda la carrera infinitas gracias a todos los que estuvieron conmigo en este proceso; por último agradecer al gran compañero que conocí durante el camino como ingenieros electromecánicos, espero este sea el comienzo de un futuro prometedor para ambos.

Erick Durán

A Rosa Albina Ortega Caicedo y José del Carmen Lancheros mis padres, quienes me brindaron su apoyo incondicional, los que con su ejemplo me impulsaron a ser cada día mejor, a los cuales le debo la oportunidad de alcanzar mi mayor logro ser Ingeniero Electromecánico, a quienes la mejor forma de agradecerles es brindándoles mi amor, a ellos infinitas Gracias por ser mis padres.

Fernando Andrés

Agradecimientos

Este proyecto de grado fue desarrollado gracias al convenio realizado entre la empresa Cerámicas Colmena S.A.S y la Universidad Francisco de Paula Santander; por lo que debemos agradecer a todas las personas que hicieron posible alcanzar las metas propuestas, de manera muy especial.

A la Ing. Esp. Gloria Esmeralda Sandoval directora de nuestro proyecto; quien con sus aportes técnicos y humanos nos brindó su confianza para lograr los objetivos propuestos de la forma más idónea.

Al doctor Luis Domingo Vageon Rodríguez codirector quien nos proporcionó todo el apoyo y confianza para desarrollar todas las actividades necesarias en la empresa Cerámicas Colmena S.A.S.

Al cuerpo docente del programa de Ingeniería Electromecánica, cuyas enseñanzas se aplicaron en el desarrollo de este trabajo.

A nuestros compañeros de estudios que siempre nos dieron un mensaje de apoyo y ánimo.

Contenido

| | pág. |
|---|-------------|
| Resumen | 21 |
| Introducción | 23 |
| 1 Problema | 25 |
| 1.1 Título | 25 |
| 1.2 Planteamiento del problema | 25 |
| 1.3 Formulación del problema | 27 |
| 1.4 Justificación | 27 |
| 1.5 Objetivos | 31 |
| 1.5.1 Objetivo general | 31 |
| 1.5.2 Objetivos específicos | 31 |
| 1.6 Alcances. | 32 |
| 1.6.1 Tipo de proyecto | 32 |
| 1.7 Limitaciones y delimitaciones | 32 |
| 1.7.1 Limitaciones | 32 |
| 1.7.2 Delimitaciones | 33 |
| 2 Marco referencial | 35 |
| 2.1 Antecedentes | 35 |
| 2.2 Marco Teórico | 36 |
| 2.2.1 Radiación solar | 36 |
| 2.2.1.1 Tipos de radiación solar sobre una superficie | 36 |
| 2.2.1.2 Irradiación e irradiancia | 37 |

| | |
|--|----|
| 2.2.2 Panel solar fotovoltaico | 38 |
| 2.2.3 Convertidor CD/CA o Inversor | 40 |
| 2.2.4 Métodos de control en inversores con conexión a red | 41 |
| 2.2.5 Estrategias de control en inversores Trifásicos | 43 |
| 2.2.5.1 Sistema de referencia síncrono – control dq | 43 |
| 2.2.5.2 Sistema de referencia estacionaria | 43 |
| 2.2.5.3 Sistema de control abc | 44 |
| 2.2.6 Topologías de conexión a red de inversores fotovoltaicos | 45 |
| 2.2.6.1 Inversor centralizado | 45 |
| 2.2.6.2 Inversor descentralizado | 47 |
| 2.2.6.3 Topología multi-rama (multi-string) | 48 |
| 2.3 Marco conceptual. | 49 |
| 2.4 Marco Legal | 50 |
| 2.5 Marco Contextual | 51 |
| 3 Metodología | 53 |
| 3.1 Tipo de investigación | 53 |
| 3.2 Modalidad de la investigación | 53 |
| 3.3 Población | 53 |
| 3.4 Metodología de recopilación de datos | 53 |
| 4 Resultados | 55 |
| 4.1 Características del recurso solar y el comportamiento del consumo eléctrico de la empresa Cerámicas Colmena S.A.S, en Arauca | 55 |
| 4.1.1 Ubicación de la empresa | 55 |
| 4.1.2 Datos meteorológicos | 55 |
| 4.1.2.1 Temperatura | 56 |

| | |
|---|----|
| 4.1.2.2 Irradiación | 56 |
| 4.1.2.3 Viento | 57 |
| 4.1.2.4 Humedad | 58 |
| 4.1.3 Carga y potencia eléctrica de la planta de producción Cerámicas Colmena | 58 |
| 4.1.3.1 Caracterización de máquinas eléctricas | 58 |
| 4.1.3.2 Cuadro de cargas | 60 |
| 4.1.3.3 Las características de consumo eléctrico de la empresa Cerámicas Colmena | 62 |
| 4.2 Dimensionamiento del SGFV para la empresa Cerámicas Colmena S.A.S. | 63 |
| 4.2.1 Normativa para instalaciones Fotovoltaicas | 63 |
| 4.2.2 Orientación, irradiación y factores de corrección | 65 |
| 4.2.2.1 Irradiación global diaria mensual sobre superficie inclinada con ángulo de inclinación óptimo para Cerámicas Colmena S.A.S. | 66 |
| 4.2.2.2 Factor de Irradiación (FI) | 67 |
| 4.2.3 Generación de Potencia del SGFV | 69 |
| 4.2.4 Elección del Equipo Inversor | 72 |
| 4.2.5 Elección del panel solar | 74 |
| 4.2.6 Dimensionamiento malla fotovoltaica por equipo de inversión | 75 |
| 4.2.6.1 Comportamiento de Parámetros DC de los Paneles Solares | 76 |
| 4.2.6.2 Numero de paneles solares del SGFV | 79 |
| 4.2.6.3 Números de paneles en serie | 80 |
| 4.2.6.4 Paneles solares por MPPT | 82 |
| 4.2.7 Estructura de montaje GFV | 83 |
| 4.2.7.1 Mecanismos de fijación de paneles | 85 |
| 4.2.8 Características Generales del SGFV de acuerdo a las disposiciones en la Sección 690 NTC 2050 | 87 |

| | |
|---|-----|
| 4.2.9 Conductores, sistema de protección y conexión del SGFV | 88 |
| 4.2.9.1 Cableado del lado DC | 88 |
| 4.2.9.2 Sección transversal, capacidad de corriente del conductor y tubería eléctrica del lado DC | 89 |
| 4.2.9.3 Elección del conductor DC | 91 |
| 4.2.9.4 Conectores DC para Paneles Solares | 92 |
| 4.2.9.5 Cableado del lado AC | 93 |
| 4.2.9.6 Sección transversal, capacidad de corriente del conductor y tubería eléctrica del lado AC | 93 |
| 4.2.9.7 Elección del cableado AC | 93 |
| 4.2.9.8 Sistemas de protección | 96 |
| 4.2.9.9 La norma NTC 2050 en la sección 690 establece que los SGFV deben contar con mecanismos de protección contra contactos indirectos y falla eléctricas | 96 |
| 4.2.9.10 Sistema de Medición, conexión y desconexión a la red | 98 |
| 4.2.9.11 En el marco español la conexión de instalaciones fotovoltaicas a la red de baja tensión está regida por el Real Decreto 1663/2000 | 98 |
| 4.2.9.12 Cajas de conexión | 102 |
| 4.2.9.13 Transformador de Aislamiento Puro | 103 |
| 4.2.10 Sistema de Puesta a Tierra (SPT) | 104 |
| 4.2.11 Sistema de Protección contra rayos (SPR) | 107 |
| 4.3 Simulación en la plataforma Simulink de MatLab R2016b. | 108 |
| 4.3.1 Estructura de modelado por bloques del SGFV en Plataforma Simulink | 109 |
| 4.3.2 Configuración de los bloques | 110 |
| 4.3.2.1 Tabla de datos | 110 |
| 4.3.2.2 Matriz Fotovoltaica | 112 |
| 4.3.2.3 Convertidor DC-DC con control MPPT | 114 |

| | |
|---|-----|
| 4.3.2.4 Inversor Convertidor fuente de voltaje (VSC) | 115 |
| 4.3.2.5 Control inversor VSC | 116 |
| 4.3.2.6 Filtro de salida inversor tipo LC | 117 |
| 4.3.2.7 Transformador de aislamiento galvánico | 117 |
| 4.3.2.8 Punto de conexión a la red | 118 |
| 4.3.2.9 Fuente de voltaje trifásica | 118 |
| 4.3.2.10 Transformador de distribución | 118 |
| 4.3.2.11 Carga R-L Serie | 119 |
| 4.3.3 Análisis resultados simulación | 120 |
| 4.3.3.1 Análisis de niveles de tensión DC a radiación y temperatura variable de las matrices fotovoltaicas del SGFV | 121 |
| 4.3.3.2 Análisis de corriente DC a radiación y temperatura variable de las matrices fotovoltaicas del SGFV | 122 |
| 4.3.3.3 Análisis de potencia a radiación y temperatura variable de las matrices fotovoltaicas | 122 |
| 4.3.3.4 Comportamiento del Sistema a radiación y temperatura variable | 123 |
| 4.3.3.5 Comportamiento del sistema a radiación y temperatura constante | 127 |
| 4.3.4 Simulación en la herramienta PVsyst | 129 |
| 4.3.4.1 Ubicación y Orientación del lugar de estudio | 129 |
| 4.3.4.2 Definición del sistema | 130 |
| 4.3.4.3 Análisis de resultados PVsyst | 131 |
| 4.4 Análisis de viabilidad económica. | 135 |
| 4.4.1 Costo de Inversión Inicial | 135 |
| 4.4.2 Proyección de generación de energía | 137 |
| 4.4.3 Costo de mantenimiento, beneficios tributarios y beneficios ambientales | 139 |
| 4.4.4 Viabilidad económica | 140 |

| | |
|-------------------------------|-----|
| 4.5 Divulgación de resultados | 143 |
| 5 Conclusiones | 145 |
| 6 Recomendaciones | 146 |
| Referencias bibliográficas | 148 |
| Anexos | 150 |