AUTORES:

NOMBRE(S): WILMER APELLIDOS: CONTRERAS SEPÚLVEDA

NOMBRE(S): MIGAN GIUSEPPE APELLIDOS: GALBAN PINEDA

FACULTAD: INGENIERÍA

PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERÍA ELECTRÓNICA

DIRECTOR:

NOMBRE(S): SERGIO BASILIO APELLIDOS: SEPÚLVEDA MORA

TÍTULO DEL TRABAJO (TESIS): ANÁLISIS DE LOS EFECTOS DE UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO CONECTADO A LA RED ELÉCTRICA DE BAJA TENSIÓN EN LA UFPS

RESUMEN

En este proyecto se realizó una estimación experimental y simulada de los efectos que tiene un sistema solar fotovoltaico conectado a la red eléctrica de baja tensión en la Universidad Francisco de Paula Santander (UFPS) a través de mediciones directas en dicho sistema fotovoltaico; este sistema se instaló en el techo de los laboratorios de ingeniería electrónica, en la UFPS. Posteriormente se realizaron simulaciones con el software DIgSILENT Power Factory el cual es un programa especializado en la simulación de sistemas eléctricos, con lo cual se obtuvieron datos relevantes que permitieron describir los efectos de los sistemas solares fotovoltaicos sobre la redes eléctricas en términos de factor de potencia, Distorsión Total de armónicos (THD), variación de la frecuencia y variación del voltaje; además de permitir comparar con las medidas experimentales que se llevaron a cabo en el desarrollo del presente proyecto.

PALABRAS CLAVE: Efectos en la red eléctrica, sistema fotovoltaico, factor de potencia, variación de voltaje, variación de frecuencia, distorsión total armónica.

CARACTERÍSTICAS:

PÁGINAS: 198 PLANOS: 0 ILUSTRACIONES: 103 CD ROM: 1

ANÁLISIS DE LOS EFECTOS DE UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO CONECTADO A LA RED ELÉCTRICA DE BAJA TENSIÓN EN LA UFPS

MIGAN GIUSEPPE GALBAN PINEDA
WILMER CONTRERAS SEPÚLVEDA

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍA
PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
CÚCUTA
2017

ANÁLISIS DE LOS EFECTOS DE UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO CONECTADO A LA RED ELÉCTRICA DE BAJA TENSIÓN EN LA UFPS

Trabajo de investigación para optar por el título de:

Ingeniero Electrónico

Director:

SERGIO BASILIO SEPÚLVEDA MORA

Master of Science in Electrical and Computer Engineering

MIGAN GIUSEPPE GALBAN PINEDA

WILMER CONTRERAS SEPÚLVEDA

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍA

PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

CÚCUTA

2017

Universidad Francisco de Paula Santander
Vigilada Mineducación

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE UN TRABAJO DE GRADO

Fecha:	CÚCUTA, 22 DE JUNIO DE 2017
Hora:	17:00
Lugar:	LABORATORIO EMPRESARIAL 101
Plan de Estudios:	INGENIERÍA ELECTRÓNICA
Título de la Tesis:	"ANÁLISIS DE LOS EFECTOS DE UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTÁICO CONECTADO A LA RED ELÉCTRICA DE BAJA TENSIÓN EN LA UFPS."
Jurados:	IEM MSc. GLORIA ESMERALDA SANDOVAL MARTINEZ IE ESp. ANGELO JOSEPH SOTO VERGEL
Director:	IE MSc. SERGIO BASILIO SEPULVEDA MORA

Nombre del Estudiante	Código	Calificación
WILMER CONTRERAS SEPULVEDA	1160795	CUATRO, CINCO (4,5)

MERITORIA

GLORIA ESMERALDA SANDOVAL MARTINEZ

ANGELO JOSEPH SOTO VERGEL

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

Universidad Francisco de Paula Santander
Vigilada Mineducación

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE UN TRABAJO DE GRADO

Fecha:	CÚCUTA, 22 DE JUNIO DE 2017
Hora:	17:00
Lugar:	LABORATORIO EMPRESARIAL 101
Plan de Estudios:	INGENIERÍA ELECTRÓNICA
Título de la Tesis:	"ANÁLISIS DE LOS EFECTOS DE UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTÁICO CONECTADO A LA RED ELÉCTRICA DE BAJA TENSIÓN EN LA UFPS."
Jurados:	IEM MSc. GLORIA ESMERALDA SANDOVAL MARTINEZ IE ESp. ANGELO JOSEPH SOTO VERGEL
Director:	IE MSc. SERGIO BASILIO SEPULVEDA MORA

Nombre del Estudiante	Código	Calificación
MIGAN GIUSEPPE GALBAN PINEDA	1160682	CUATRO, CINCO (4,5)

MERITORIA

GLORIA ESMERALDA SANDOVAL MARTINEZ

ANGELO JOSEPH SOTO VERGEL

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

Dedicatoria

Dedicado a todas las “Madres” y “Padres” que se esmeran cada día para que sus hijos tengan un futuro mejor, lleno de oportunidades y éxitos. Dedicado a todas esas personas que siempre están ahí para dar una voz de aliento en los momentos más difíciles, esperando tan solo a cambio una sonrisa. Dedicado a las personas que se preocupan más por los demás, que por ellas mismas. Dedicado aquellas personas que su felicidad, es ver al otro, ser feliz.

Migan Giuseppe Galban Pineda

Dedico este libro al Creador del Cielo y de la Tierra. A mi madre, quien ha estado apoyándome todo el tiempo. A mis amigos, quienes me han brindado su apoyo en la realización de este proyecto. A todos los que me han prestado su ayuda en la realización de este proyecto, Doctores, Ingenieros, Técnicos, Profesores y demás personas que estuvieron cerca de mí, brindándome su colaboración.

Wilmer Contreras Sepulveda.

Agradecimientos

Agradecimientos al creador del cielo y de la tierra por darme la fuerza para realizar este proyecto, a mi madre por darme todo su apoyo durante toda mi vida, a mis amigos por soportar mi personalidad, al Ingeniero Sergio Sepúlveda por brindarnos la oportunidad de trabajar en este proyecto y ayudarnos en todo lo necesario, al grupo de investigación por hospedarnos y prestarnos las herramientas utilizadas, además dar gracias a todos los que nos colaboraron en el desarrollo de este proyecto.

Wilmer Contreras Sepulveda

En primer lugar dar gracias a Dios por cada día de vida y a mis padres que se esfuerzan cada día para que nada me falte; al Ingeniero Sergio Sepúlveda por permitirnos trabajar con él, por colaborarnos y apoyarnos en todo lo que estuvo a su alcance en este proyecto; al Ingeniero Jhon Jairo Ramírez director del grupo de investigación GIDMA por darnos un espacio cómodo para trabajar durante este proyecto; al señor Freddy Florez por acompañarnos en la caracterización de los laboratorios; al Ingeniero David Rodríguez, por su apreciada colaboración en la construcción de la estructura metálica; al Ingeniero Alexander Carabalí por sus asesorías y colaboración con el equipo de medición para puesta a tierra, a todos mis amigos y compañeros que nos apoyaron y nos dieron una mano amiga, en especial a Yesid Rios, Jhan Delgado y Anderson Vera, que siempre tuvieron entera disposición para colaborarnos. Muchas gracias a todos por hacer esto realidad.

Migan Giuseppe Galban Pineda

Tabla de Contenido

Introducción 1
1 Descripción del problema 4
1.1 Planteamiento del problema 5
1.2 Justificación 5
1.3 Objetivos 6
1.3.1 Objetivo general 6
1.3.2 Objetivos específicos. 6
1.4 Delimitación 7
2 Marco referencial 8
2.1 Antecedentes 8
2.1.1 Estado del arte actual científico 8
2.1.2 Estado del arte actual tecnológico 9
2.2 Trabajos similares 10
2.3 Marco teórico 14
2.3.1 Energía solar fotovoltaica 14
2.3.2 Sistemas Fotovoltaicos conectados a la red (On Grid) 14
2.3.3 Variación de frecuencia 16
2.3.4 Variaciones en el voltaje. 16
2.3.4.1 Variaciones de tensión de larga duración 16
2.3.4.2 Sobretensión 16
2.3.4.3 Baja tensión 16
2.3.4.4 Interrupción sostenida 17
2.3.5 Factor de Potencia. 17
2.3.6 Distorsión total de armónicos (THD) 17
2.3.7 Impacto económico de las perturbaciones 19
2.4 Marco legal 19
3 Metodología 21
3.1 Implementación de un sistema fotovoltaico de 980W 21
3.1.1 Estudios realizados anteriormente en la UFPS 21
3.1.2 Conexión de conductores, cálculo de calibres y protecciones 26

3.1.3 Puesta a tierra 30
3.1.4 Selección de tubería para canalización de conductores 33
3.2 Medición de parámetros eléctricos de la red 35
3.2.1 Medición de la red sin la conexión del sistema fotovoltaico. 36
3.2.1.1 Solicitud al LDEE de la UFPS, los instrumentos de medida necesarios 36
3.2.1.2 Se tomaron las medidas de seguridad necesarias 36
3.2.1.3 Se realizaron toma de datos de forma manual y digital 37
3.2.2 Medición de la red con la conexión del sistema fotovoltaico. 40
3.2.2.1 Se adoptaron las medidas de seguridad necesarias 41
3.2.2.2 Se conectó el SSFV a la red eléctrica de baja tensión en la UFPS. 41
3.2.2.3 Se realizaron toma de datos de forma manual y digital 41
3.3 Simulación del sistema fotovoltaico conectado a la red 41
3.3.1 Se simuló el SSFV conectado a la red eléctrica de baja tensión en la UFPS. 41
3.3.1.1 Se buscaron tutoriales online, para complementar los conocimientos 43
3.3.1.2 Se simuló el SSFV conectado a la red eléctrica de baja tensión en la UFPS 44
3.4 Procesamiento, comparación y análisis de las mediciones y emisión de un juicio. 50
3.4.1 Procesamiento, comparación y análisis de las mediciones en la red eléctrica 50
3.4.1.1 Evaluación de las características que ofrecen los software matemáticos 50
3.4.1.2 Procesamiento de los datos obtenidos 51
3.4.2 Emisión de un juicio con base al análisis de la conexión del sistema fotovoltaico 52
3.5 Divulgación de resultados 52
4 Resultados 54
4.1 Implementación de un sistema fotovoltaico de 980W 54
4.1.1 Beneficios económicos 54
4.1.2 Beneficios Ambientales 57
4.2 Análisis y Medición de parámetros eléctricos de la red 60
4.2.1 Análisis y Medición de parámetros eléctricos de la red sin la conexión del SSFV 60
4.2.1.1 Análisis del factor de potencia 60
4.2.1.1.1 Resultados para el factor de potencia promedio 61
4.2.1.1.2 Análisis del factor de potencia por fase 63
4.2.1.2 Análisis de la variación de frecuencia 66

4.2.1.3 Análisis de la variación del voltaje 69
4.2.1.4 Análisis de la distorsión armónica de corriente THDi 72
4.2.2 Análisis y Medición de parámetros eléctricos de la red con la conexión del SSFV.... 76
4.2.2.1 Análisis del factor de potencia 76
4.2.2.1.1 Análisis del factor de potencia promedio 76
4.2.2.1.2 Análisis del factor de potencia por fase 79
4.2.2.2 Análisis para la variación de frecuencia 81
4.2.2.3 Análisis de la variación del voltaje 84
4.2.2.4 Análisis de la distorsión armónica de corriente THDi 87
4.2.2.4.1 Análisis del THDi en el barraje cuando el SSFV está conectado 88
4.2.2.4.2 Análisis del THDi en el SSFV cuando el SSFV está conectado 91
4.2.2.5 Análisis experimental de la distorsión total de armónicos de voltaje (THDv) 94
4.3 Simulación del sistema fotovoltaico 96
4.3.1 Análisis del FP cuando el sistema se encuentra desconectado de la red 100
4.3.2 Análisis del FP cuando el sistema se encuentra conectado a la red 105
4.3.3 Análisis de la variación de frecuencia para los datos obtenidos en Power Factory... 109
4.3.3.1 Análisis de la simulación cuando el SSFV se encuentra desconectado 110
4.3.3.2 Análisis de la simulación cuando el sistema se encuentra conectado a la red 112
4.3.4 Análisis de la variación de voltaje de manera simulada 112
4.3.4.1 Análisis de la variación de voltaje cuando el SSFV esta desconectado 112
4.3.4.2 Análisis para cuando el sistema solar fotovoltaico se encuentra conectado 116
4.4 Procesamiento, comparación y análisis de las mediciones y emisión de un juicio. 118
4.4.1 Procesamiento, comparación y análisis de las mediciones en la red eléctrica 118
4.4.1.1 Análisis de los resultados experimentales 119
4.4.1.1.1 Análisis de los resultados del factor de potencia. 119
4.4.1.1.2 Análisis de los resultados de la variación de frecuencia 121
4.4.1.1.3 Análisis de los resultados de la variación de voltaje 122
4.4.1.1.4 Análisis para el THDi en el barraje 125
4.4.1.1.5 Análisis del THDi en el SSFV 126
4.4.1.2 Análisis de los resultados Simulados 127
4.4.1.2.1 Análisis de los resultados para el factor de potencia simulado 127

4.4.1.2.2 Análisis de los resultados de la variación de frecuencia simulada 129
4.4.1.2.3 Análisis de los resultados de la variación de variación de voltaje. 129
4.4.2 Emisión de un juicio con base al análisis de la conexión del sistema fotovoltaico. .. 130
4.4.3 Comparación de los resultados con otras investigaciones 131
4.5 Divulgación de resultados 133
5 Conclusiones 134
6 Recomendaciones 137
Referencias 140
Anexos 143