

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICO-ECONÓMICO PARA  
IMPLEMENTAR UN SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA EN UN  
GRUPO DE AULAS DE LA UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y  
TECNOLÓGICA DE COLOMBIA SECCIONAL SOGAMOSO.

DANILO ESTEBAN VALDERRAMA HERNÁNDEZ  
JULIAN DAVID MONTERO GOMEZ

UNIVERSIDAD PEDAGOGICA Y TECNOLOGICA DE COLOMBIA  
ESCUELA DE INGENIERIA ELECTROMECHANICA  
DUITAMA  
2016

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICO-ECONÓMICO PARA  
IMPLEMENTAR UN SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA EN UN  
GRUPO DE AULAS DE LA UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y  
TECNOLÓGICA DE COLOMBIA SECCIONAL SOGAMOSO.

DANILO ESTEBAN VALDERRAMA HERNÁNDEZ  
JULIAN DAVID MONTERO GOMEZ

Trabajo presentado para optar por el título de  
INGENIERO ELECTROMECAÁNICO

Director:

Ing.Esp. Edgar Efrén Tibaduiza

UNIVERSIDAD PEDAGOGICA Y TECNOLOGICA DE COLOMBIA  
ESCUELA DE INGENIERIA ELECTROMECAÁNICA  
DUITAMA

2016

*A mi padre, por despertar el interés de un joven en la ingeniería,  
A mi madre, por sembrar en mí el espíritu de perseverancia y lucha  
constante.*

*Danilo Esteban*

***A mi Papi, por despertar mi interés por esta carrera***

***A mi Mami, por su constante apoyo en todas las decisiones que tome a lo  
largo de mi carrera***

***A toda mi familia por sus consejos y apoyo desinteresado.***

***Julián David***

## AGRADECIMIENTOS

A Dios por permitirnos culminar con satisfacción esta etapa en nuestra vida.

A la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia y todos los profesores de la escuela de Ingeniería Electromecánica por aportar en nuestra formación como ingenieros.

Al ingeniero Edgar Efrén Tibaduiza por dirigir con esmero el desarrollo de este proyecto.

Al ingeniero Luis Gabriel Becerra por sus grandes aportes y constante asesoría.

A los ingenieros Adán Bautista y Celso Antonio Vargas por sus acertados consejos a lo largo de este tiempo.

Al ingeniero Alejandro Fonseca por su apoyo desinteresado y por brindarnos herramientas que facilitaron llevar a cabo este proyecto.

A las Alejas por su apoyo y paciencia constante.

## Contenido

GLOSARIO .....	13
RESUMEN.....	15
INTRODUCCION .....	16
JUSTIFICACIÓN.....	17
1. MARCO TEORICO .....	19
1.1 Estado del Arte .....	19
1.2 Proyectos.....	24
1.3 LA RADIACION SOLAR .....	26
1.3.1 Radiación directa.....	26
1.3.2 Radiación difusa.....	26
1.3.3 Radiación reflejada.....	26
1.3.4 Radiación global.....	27
1.4 RECURSO SOLAR.....	28
1.5 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	28
1.5.1 Corriente directa.....	29
1.5.2 Corriente alterna.....	29
1.6 PANEL SOLAR.....	30
1.6.1 Bases de funcionamiento de la célula solar .....	31
1.7 TIPOS DE PANELES FOTOVOLTAICOS .....	32
1.7.1 Tipos de paneles en función de los materiales .....	32
1.7.1.1 Silicio Puro mono cristalino.....	32
1.7.1.2 Silicio puro poli cristalino .....	32
1.7.1.3 Silicio amorfo .....	33
1.7.1.4 Teluro de cadmio .....	33
1.7.1.5 Arseniuro de Galio .....	33
1.7.1.6 Di seleniuro de cobre en indio .....	33
1.8 ORIENTACION DEL PANEL FOTOVOLTAICO .....	33
1.8.1 Angulo de azimut ( $\alpha$ ) .....	33
1.8.2 Angulo de inclinación ( $\beta$ ).....	34
1.9 REGULADOR DE CARGA .....	35

1.10	INVERSOR DE VOLTAJE .....	36
1.11	BATERIAS SOLARES .....	37
1.11.1	Vida útil de una batería de ciclo profundo .....	38
1.11.2	Selección del tamaño de una batería de ciclo profundo .....	38
1.11.3	Mantenimiento de las baterías .....	39
1.12	CONFIGURACIONES DE CONEXIÓN DE SISTEMAS FOTVOLTAICOS.....	39
1.12.1	Sistema solar fotovoltaico aislado (OFF GRID). .....	39
1.12.2	Sistema solar fotovoltaico conectado a red (GRID TIED). .....	40
2.	MARCO LEGAL.....	41
2.1	NORMATIVIDAD INTERNACIONAL .....	41
2.1.1	IEEE 929-2000 .....	41
2.1.1.1	Alcance.....	41
2.1.1.2	Propósito.....	41
2.1.2	ISO 50001 .....	41
2.2	NORMATIVIDAD DE ENERGIA SOLAR FOTVOLTAICA EN COLOMBIA 42	
2.2.1	Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE) .....	42
2.2.2	NTC 5549.....	42
2.2.3	NTC 5287 .....	43
2.2.4	NTC 2959.....	43
2.2.5	NTC 5627.....	44
2.2.6	NTC 4405.....	44
2.2.7	GTC 114.....	44
2.2.8	NTC 5710.....	45
2.2.9	Ley 697 de 2001.....	45
2.2.9.1	Artículo 9.....	45
2.2.9.2	Artículo 10.....	45
2.2.10	Ley 1715 de 2014 .....	45
2.2.11	Decreto 2469 .....	46
2.2.11.1	Artículo 1 - Simetría en condiciones de participación en el mercado mayorista entre los generadores y auto generadores a gran escala.....	46

2.2.11.2	Artículo 2 - Contrato de respaldo.....	46
2.2.11.3	Artículo 3 - Límite mínimo de la autogeneración a gran escala.....	46
2.2.11.4	Artículo 4- Parámetros para ser considerado autogenerador.....	47
2.2.11.5	Artículo 5 - Vigencia y derogatorias.....	47
<b>2.2.12</b>	<b>CREG 084 de 1996.....</b>	<b>48</b>
2.2.12.1	Artículo 1o.- Definiciones.....	48
2.2.12.2	Artículo 2o. Ámbito de Aplicación. ....	49
2.2.12.3	Artículo 3o. Condiciones para la Conexión al SIN. ....	49
2.2.12.4	Artículo 4o. Condiciones para el Acceso al Respaldo.....	49
2.2.12.5	Artículo 5o. Uso del Respaldo. ....	50
2.2.12.6	Artículo 6o. Tarifas para los Servicios de Respaldo.....	50
2.2.12.7	Artículo 7o. Sistemas de Medida. ....	50
2.2.12.8	Artículo 8o. Venta de Excedentes. ....	50
2.2.12.9	Artículo 9o. Otras Reglas Aplicables. ....	51
2.2.12.10	Artículo 10o.....	51
<b>2.2.13</b>	<b>Documento CREG 097 de 2014 .....</b>	<b>51</b>
2.2.13.1	Objetivo.....	51
2.2.13.2	Elementos de análisis.....	51
2.2.13.3	Definición de entrega de energía a la red.....	51
<b>2.2.14</b>	<b>Beneficios Tributarios .....</b>	<b>52</b>
2.2.14.1	Artículo 158-2.....	52
2.2.14.2	Artículo 428.....	53
<b>3.</b>	<b>ESTUDIO TECNICO.....</b>	<b>54</b>
3.1	UBICACIÓN DEL ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TECNICO ECONOMICO	54
3.2	DETERMINACION DE LAS CONDICIONES GEO CLIMATICAS PARA LA CIUDAD DE SOGAMOSO .....	54
3.3	DETERMINACION DE LAS CONDICIONES ARQUITECTONICAS DEL LUGAR DONDE SE IMPLEMENTARIA LA PLANTA DE GENERACION FOTOVOLTAICA.....	56
3.4	METODOLOGIA DE DISEÑO .....	57
3.4.1	Criterios de selección de la carga .....	57



3.4.2	Caracterización de la carga.....	58
3.4.3	Análisis detallado del consumo energético .....	60
3.4.4	Análisis de la calidad de la energía .....	64
3.4.4.1	¿Cómo evaluar los armónicos en un sistema de potencia?.....	64
3.4.4.2	Distorsión Armónica en Tensión .....	66
3.4.4.3	Distorsión Armónica en Corriente .....	67
3.4.5	Dimensionamiento de la instalación fotovoltaica .....	70
3.4.5.1	Criterios de selección de equipos. ....	70
3.4.5.2	Dimensionamiento de los Paneles Solares .....	70
3.4.5.3	Capacidad de la Batería.....	71
3.4.5.4	Regulador de Carga.....	72
3.4.5.5	Sistemas de Protección .....	72
3.4.5.6	Sistema de Puesta a Tierra.....	73
3.4.5.7	Mantenimiento de la Instalación Fotovoltaica .....	73
3.4.5.8	Análisis Energético .....	75
3.4.5.9	Disponibilidad Energética .....	75
	Carga Disponible: .....	76
3.4.5.10	Carga a Suplir .....	76
3.4.5.11	Cantidad de paneles definitivos.....	76
3.4.5.12	Banco de Baterías.....	77
3.4.5.13	Numero de baterías .....	77
3.4.5.14	Regulador de Carga.....	77
3.4.5.15	Inversor .....	78
3.5	ALTERNATIVA PROPUESTA .....	78
3.5.1	Elementos del prototipo .....	82
3.5.1	Esquemas de conexión .....	84
3.5.2	Protecciones .....	85
3.5.3	Transferencia automática.....	86
4.	ESTUDIO FINANCIERO .....	86
4.2	EVALUACIÓN DE PROYECTOS DE INVERSIÓN.....	86
4.2.1	Factibilidad Financiera .....	87

4.2.2	Rentabilidad .....	87
4.3	CRITERIOS EN LA EVALUACIÓN DE PROYECTOS .....	87
4.3.1	Ingresos de los proyectos .....	87
4.4	EL VALOR DEL DINERO A TRAVÉS DEL TIEMPO .....	87
4.4.1	Valor presente neto (VPN) .....	87
4.4.2	Tasa Interna de Retorno (TIR) .....	88
4.5	METODOLOGIA PARA EL ANALISIS FINANCIERO .....	88
4.5.1	Inversiones del proyecto .....	88
4.5.1.1	Inversión Inicial .....	88
4.5.1.2	Inversiones Durante la Vida Útil del Proyecto .....	89
4.5.2	Valor de la Energía Eléctrica .....	90
4.5.3	Evaluación de la inversión .....	90
5	BENEFICIOS AMBIENTALES .....	93
5.2	FACTOR DE EMISION DE CO <sub>2</sub> .....	93
5.3	GENERACION ELECTRICA ANUAL DE LA PLANTA FOTOVOLTAICA .....	93
5.4	REDUCCION DE EMISIONES DE GEI .....	93
	CONCLUSIONES .....	95
	RECOMENDACIONES .....	96
	BIBLIOGRAFIA .....	97
	ANEXOS .....	100

## Lista de figuras

Figura 1: Matriz energética de generación en Colombia.....	17
Figura 2: Tipos de radiación .....	27
Figura 3: esquema residencial de energía solar .....	29
Figura 4: energía solar fotovoltaica corriente directa .....	29
Figura 5: energía solar fotovoltaica corriente alterna .....	30
Figura 6: panel solar .....	31
Figura 8: Angulo de orientación o ángulo de azimut .....	34
Figura 9: Angulo de inclinación .....	34
Figura 10: regulador de carga.....	36
Figura11: símbolo inversor de voltaje .....	37
Figura 12: sistema fotovoltaico GRID TIED .....	40
Figura 16: vista satelital UPTC Seccional Sogamoso .....	54
Figura 17: Promedio Multianual de Radiación Solar Colombia y Convención de Colores .....	55
Figura 18: Plano UPTC Seccional Sogamoso .....	56
Figura 19: Tejado edificio de aulas UPTC Seccional Sogamoso .....	57
Figura 20: Edificios de Aulas UPTC Seccional Sogamoso .....	57
Figura 21: interruptores de 400 A (negro) y 250 A (blanco) conectado al equipo analizador de redes .....	58
Figura 22: Tablero de distribución actual de la instalación objeto de estudio .....	59
Figura 23: Curva de demanda horaria .....	62
Figura 24: Curva de tensión.....	63
Figura 25: Curva de corriente .....	64
Figura: 26 Modelamiento del circuito existente.....	79
Figura 27: Forma de onda de tensión con la presencia del GOS .....	80
Figura 28: Modelo del circuito con el GOS conectado al barraje principal.....	81
Figura 29: Forma de onda de tensión en el barraje de aulas sin el GOS. ....	82
Figura 30: ubicación de la zona de almacenamiento y control .....	86

## Lista de tablas

Tabla 1: Proyectos fotovoltaicos implementados en Colombia.....	25
Tabla 2: Cronograma de expansión tecnología fotovoltaica .....	26
Tabla 3: Potencial Solar en Colombia.....	28
Figura 7: funcionamiento de células fotovoltaicas.....	32
Tabla 3: Valores de radiación e Irradiancia solar global promedio en Sogamoso .	55
Tabla 5: Potencia y Energía Promedio .....	58
Tabla 6: Datos obtenidos con el equipo para cálculo y análisis detallado .....	59
Tabla 7: Calculo de la demanda máxima .....	60
Tabla 8: Cuadro comparativo de valores de THDv .....	65
Tabla 9: Limites de distorsión armónica en tensión .....	67
Tabla 10: Tiempos mínimos de captura de información .....	68
Tabla 11: Límites de distorsión armónica en corriente.....	69
Tabla 12: Porcentaje de distorsión armónica en corriente .....	69
Tabla 13: Energía Disponible.....	76
Tabla 14: Elementos del prototipo .....	82
Tabla 15: Panel Seleccionado .....	82
Tabla 16: Batería Seleccionada.....	83
Tabla 17: Inversor Seleccionado.....	83
Tabla 18. Distancias mínimas para trabajos en o cerca de partes energizadas en corriente alterna.....	85
Tabla 16: Precios Paneles 2016 .....	88
Tabla 17: Valor de la energía.....	90
Tabla 18: Viabilidad financiera del Proyecto .....	91
Tabla 19: flujo de caja anual .....	91
Tabla 20: Factor de emisión de GEI .....	93
Tabla 21: Tipo y Cantidad de Generación .....	94

## GLOSARIO

Estas definiciones fueron tomadas de la Real Academia de la lengua Española

**BATERIAS SOLARES:** Dispositivo que sirve para almacenar la energía eléctrica generada por los paneles fotovoltaicos.

**CARGA:** Conjunto de elementos conectados en una instalación eléctrica.

**CIRCUIT BREAKERS:** Dispositivos encargados de proteger las instalaciones eléctricas ante posibles fallas.

**CONDICIONES GEOCLIMATICAS:** Mediciones efectuadas para evaluar los patrones de variación en temperatura, humedad, presión atmosférica, viento, precipitación, cuenta de partícula atmosférica y otras variables meteorológicas en una región dada sobre periodos largos de tiempo.

**DISTORCION ARMONICA:** Cuando la onda de corriente o de tensión medida en cualquier punto de un sistema eléctrico se encuentra distorsionada, con relación a la onda sinusoidal que idealmente deberíamos encontrar, se dice que se trata de una onda contaminada con componentes armónicas. Para que se considere como distorsión armónica las deformaciones en una señal, se deben de cumplir las siguientes condiciones :

- Que la señal tenga valores definidos dentro del intervalo, lo que implica que la energía contenida es finita
- Que la señal sea periódica, teniendo la misma forma de onda en cada ciclo de la señal de corriente o voltaje.
- Permanente.- Cuando la distorsión armónica se presenta en cualquier instante de tiempo, es decir, que no es pasajera.

**ESTUDIO DE MERCADO:** es un proceso sistemático de recolección y análisis de datos e información acerca de los clientes, competidores y el mercado.

**EVALUACION FINANCIERA:** La evaluación puede considerarse como aquel ejercicio teórico mediante el cual se intentan identificar, valorar y comparar entre sí los costos y beneficios asociados a determinadas alternativas de proyecto con la finalidad de coadyuvar a decidir la más conveniente.

**GENERACION FOTOVOLTAICA:** Es un proceso por el cual la energía solar se transforma directamente en electricidad.

**INVERSOR DE VOLTAJE:** es un dispositivo que convierte la tensión de corriente continua en un voltaje simétrico de corriente alterna, que puede ser de 220V o 120V

**IRRADIANCIA:** magnitud utilizada para describir la potencia incidente por unidad de superficie de todo tipo de radiación electromagnética.

**OPERADOR DE RED:** empresa encargada de la distribución del servicio de energía eléctrica

**BATERIAS SOLARES:** Dispositivo que sirve para almacenar la energía eléctrica generada por los paneles fotovoltaicos.

**PANELES FOTOVOLTAICOS:** Al grupo de células fotoeléctricas o celdas fotovoltaicas se le conoce como panel fotovoltaico.

Los paneles fotovoltaicos consisten en una red de células conectadas como circuito en serie para aumentar la tensión de salida hasta el valor deseado (usualmente se utilizan 12V a 36V) a la vez que se conectan varias redes como circuito paralelo para aumentar la corriente eléctrica que es capaz de proporcionar el dispositivo.

## RESUMEN

El presente trabajo de grado fue realizado con el objetivo de evaluar la factibilidad técnica y económica de implementar una planta de generación fotovoltaica en un grupo de aulas de la Uptc seccional Sogamoso, para ello se empezó por hacer un recuento de los proyectos más significativos realizados por diversas universidades del país relacionados con la energía solar fotovoltaica, luego se elaboró un listado de las normas nacionales e internacionales que rigen el desarrollo de este tipo de proyectos, después se identificaron las condiciones geo climáticas y arquitectónicas de la Uptc seccional Sogamoso, seguido de esto se elaboró una guía metodológica útil para todos aquellos que deseen usar este trabajo como un manual para desarrollar proyectos que involucren este tipo de tecnología.

La metodología empleada en el estudio técnico comprende 5 etapas cruciales para desarrollar este tipo de proyectos, la primera consiste en dar a conocer los criterios más apropiados para seleccionar la carga para la cual se pretende diseñar la planta fotovoltaica, la segunda hace referencia a caracterizar la carga escogida para identificar que elementos se encuentran presentes en la carga seleccionada, la tercera etapa consiste en realizar un análisis detallado del consumo energético para con base en este realizar un dimensionamiento apropiado de los elementos que conforman la instalación fotovoltaica, la siguiente etapa consiste en realizar un estudio de calidad de la energía para asegurar que la planta de generación fotovoltaica no vaya a presentar fallas o sobredimensionamiento por conceptos de distorsión armónica presente en la instalación, para finalizar se realizó un dimensionamiento de todos los elementos necesarios para la construcción de una instalación fotovoltaica.

Para saber si el proyecto es financieramente viable se realizó un análisis de los principales aspectos económicos que definen su factibilidad, después se elaboró una metodología para realizar la evaluación financiera la cual consistió primero en realizar un estudio de mercado para conocer la inversión inicial y a lo largo de la vida útil, a continuación se realizó un promedio del valor de la energía eléctrica ofrecida por el operador de red durante un año y por último se comparó el costo de implementar la planta con el costo del servicio por el operador de red.

Finalmente se dan a conocer los beneficios ambientales que trae implementar plantas de generación fotovoltaica.

## INTRODUCCION

Durante los últimos siglos el mundo ha experimentado los más grandes avances tecnológicos, comenzando con la revolución industrial seguida de la globalización que está latente en nuestros días y que gracias a esta se han aumentado los hallazgos tecnológicos que han disparado la creación de pequeñas, medianas y grandes industrias además de la llegada al país de multinacionales. Este crecimiento constante se ha reflejado en el aumento de la demanda de energía eléctrica; esto sumado a la crisis medioambiental que atraviesa nuestro planeta ha conllevado a la necesidad de acudir a fuentes de energía renovables las cuales son una forma de mitigar las grandes cantidades de carbono emitidas a la atmosfera.

Dentro de las fuentes no convencionales de energía amigables con el medio ambiente encontramos la energía eólica que se origina del movimiento de las masas de aire, es decir, el viento, otra fuente muy conocida es la producción de energía por medio de paneles solares, conformados por celdas fotovoltaicas que captan la energía contenida en la radiación solar y la transforman en una corriente eléctrica, esto se conoce como el efecto fotovoltaico que produce una corriente eléctrica cuando la luz incide sobre algunos semiconductores.

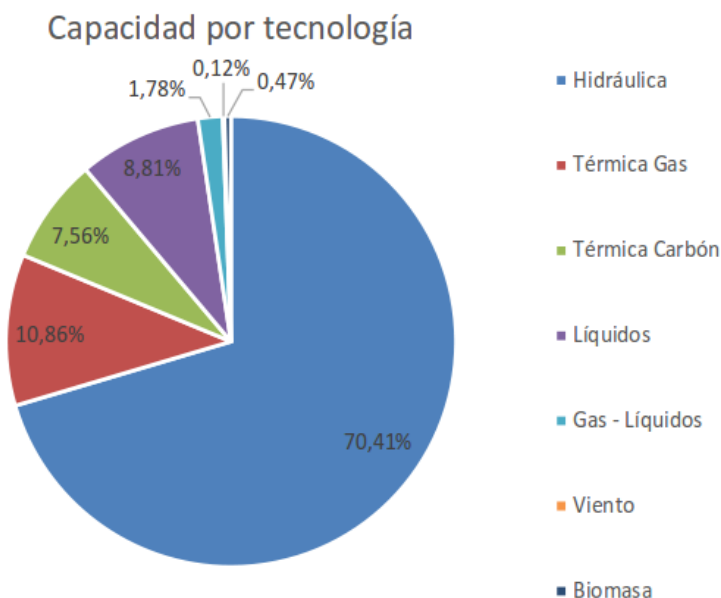
La superioridad de un sistema sobre otro se define por factores como el clima, la eficiencia y la rentabilidad. Gracias a la ubicación geográfica de Colombia la cual está situada sobre la línea ecuatorial los días y las noches son prácticamente de 12 horas cada uno por esto Colombia tiene un enorme potencial para aprovechar la radiación solar y producir energía eléctrica amigable con el medio ambiente.



## JUSTIFICACIÓN

Debido a la alta dependencia energética actual de los combustibles fósiles, la variabilidad en los precios de estos, la inseguridad energética, el uso irresponsable de los recursos energéticos disponibles y la alta contaminación ambiental que genera un incremento en el nivel adecuado de los gases de efecto invernadero producido por las fuentes de generación de electricidad, sumado a esto la variación en las tarifas de energía en Colombia debidas a la necesidad de despachar generadores térmicos (que generan con combustibles fósiles), originado por la baja hidrología producto del fenómeno del niño, las cuales afectan en forma directa al consumidor, son las principales causas que motivaron e hicieron necesaria la investigación en el desarrollo de las energías alternativas.

Figura 1: Matriz energética de generación en Colombia



Fuente: [http://www.siel.gov.co/portals/0/generacion/2015/Seguimiento\\_Variables\\_Enero\\_2015.pdf](http://www.siel.gov.co/portals/0/generacion/2015/Seguimiento_Variables_Enero_2015.pdf)

La generación de energía eléctrica empleando sistemas fotovoltaicos es una alternativa favorable frente a otros sistemas de generación no convencionales en donde los altos costos por mantenimiento y operación, la contaminación auditiva debido a partes y movimientos mecánicos, el impacto visual generado por la necesidad de instalar máquinas y componentes de gran tamaño, hacen que la generación fotovoltaica se presente como una opción más conveniente.

Además del impacto de concientización medioambiental y el análisis técnico y económico de este proyecto se busca también la aplicación de conocimientos

adquiridos a través del desarrollo del programa de pregrado y muchos aportes al desarrollo conceptual y práctico de la profesión.

## 1. MARCO TEORICO

### 1.1 Estado del Arte

En la Universidad Industrial de Santander se han realizado los siguientes trabajos de grado:

- DISEÑO DE UN SISTEMA DE SUMINISTRO DE ENERGIA ELECTRICA CON TECNOLOGIA SOLAR FOTOVOLTAICA.  
Autores: Fabián Camilo Cala González, Carlos Aníbal Rodríguez Sañudo.  
Director: PhD Gerardo Latorre Bayona. Año 2010.

En este trabajo se presentó el potencial solar en la ciudad de Bucaramanga y el aforo de carga del edificio Eléctrica. A partir de esta información se propuso un diseño de ingeniería básica de generación fotovoltaica; diseño basado en normas, criterios y parámetros explicados a lo largo de todo el documento.

Se estudió la viabilidad financiera del diseño, mostrando como obstáculo el alto costo de la tecnología fotovoltaica. Países como España, tienen políticas gubernamentales de incentivar las energías renovables, son pioneros en el ejercicio de la fotovoltaica. [1]

- PLAN DE NEGOCIO PARA LA CREACION DE UNA EMPRESA DEDICADA AL MONTAJE Y MANTENIMIENTO DE SISTEMAS DE OPTIMIZACION ENERGETICOS FOTOVOLTAICOS EN EL AREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA.  
Autor: Oscar Sebastián Hincapié Flórez. Director: Magister Pascual Rueda Forero. Año 2011.

El presente documento fue realizado en base a la energía solar fotovoltaica como una fuente alternativa energética para el sector residencial de Bucaramanga, tanto en términos económicos como ambientales, otorgando eficiencia energética, valorización de inmuebles, disminución en emisiones de gases perjudiciales para el medio ambiente y sostenibilidad energética a largo plazo. El proyecto buscaba mostrar un modelo de negocio que atienda un nicho de mercado ofreciendo una fuente relevante de energía alternativa mediante aplicaciones residenciales, que permitan mejorar la sustentabilidad energética en los hogares de Bucaramanga.

Dentro de la metodología desarrollada, se inició con la formulación del proyecto, donde se definen objetivos y justificación. Se realizó un análisis de los entornos locales, nacionales e internacionales, para finalmente describir detalladamente la tecnología solar fotovoltaica. A continuación se mostró un diseño de sistema fotovoltaico aplicado a una unidad residencial para mostrar el beneficio económico que conlleva el uso de esta tecnología, seguido de un estudio de mercados y un estudio técnico en el que se definió la operación,

el requerimiento de recursos y la distribución del lugar de acuerdo a los requerimientos del mercado; así mismo se contempló el análisis administrativo y el análisis financiero, en el que se proyectan los estados financieros para un periodo de cinco años.

Finalmente, se muestra el impacto ambiental y social que conllevaría el funcionamiento de la empresa en el entorno de ese entonces. [2]

- **DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA LA ALIMENTACION DE CARGAS DE ILUMINACION EN UN PROYECTO RESIDENCIAL.**

Autores: Julio Alfonso Molina Ureche, Alfonso Franco de Arco. Director: MIE. Manuel José Ortiz Rangel. Año 2014.

La aplicación de este proyecto permitió crear un precedente de generación de energía eléctrica en viviendas multifamiliar de estrato tres por medio de energías alternativas, con el fin de disminuir la contaminación ambiental y crear edificaciones auto-sostenibles energéticamente hablando.

En este trabajo se presentó la evaluación del potencial de generación de energía eléctrica por medio de paneles fotovoltaicos en los apartamentos del conjunto Brijales.

La metodología establecida para la elaboración de este trabajo de grado comprende cuatro etapas: La primera consistió en establecer la incidencia de radiación solar en Lebrija Santander. La segunda consistió en la identificación de las áreas disponibles para la implementación de paneles fotovoltaicos en los tejados de las torres del conjunto Brijales en Lebrija Santander, teniendo en cuenta las principales características que debe poseer una zona para este fin. La tercera etapa consistió en la selección de los distintos equipos que conforman un sistema de paneles fotovoltaicos para cada una de las zonas aptas para la implementación de este tipo de sistemas, teniendo en cuenta las características y la cantidad de consumo de energía eléctrica de cada torre del conjunto residencial Brijales; la cuarta etapa consistió en la comparación de los presupuestos de inversión del sistema fotovoltaico con el sistema inicial para evaluar la viabilidad del proyecto.[3]

En la Universidad Autónoma de Occidente se han llevado a cabo los siguientes trabajos de grado por parte de la facultad de ingeniería departamento de energética y mecánica:

- **DISEÑO DE UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO DE 20 KWp CONECTADO A RED.**

Autores: Jairo Alonso Gutiérrez Bolaños, Jhon Freddy Franco Patiño. Director: Dr. Yuri Ulianov López. Año 2011.

De acuerdo con lo requerido, para este proyecto se propuso por primera vez una metodología que permitió la implementación de un sistema solar

fotovoltaico conectado a red (SSFCR), el cual alimentaría eléctricamente uno de los edificios de aulas de la Universidad Autónoma de Occidente Cali, Colombia.

Partiendo de lo anterior y para llevar a cabo este proyecto, se tomaron varios criterios existentes en libros y experiencias de proyectos implementados en diferentes países, así como la investigación de precios en el mercado internacional de los diferentes componentes que forman parte para este diseño, para lograr que a un bajo costo se cumpliera con los objetivos aquí plasmados.

Por consiguiente, y teniendo en cuenta las investigaciones realizadas, se determinó que para el diseño de los Sistema Solar Fotovoltaico conectado a red no existe una metodología estandarizada que permita el dimensionamiento. Es por tal motivo que a la hora de diseñar estos sistemas se hizo uso de la reglamentación existente en cada país. Después de estudiar las diferentes metodologías aplicadas, por reconocidas universidades a nivel mundial, se pudieron obtener los ocho pasos que se deben seguir para el dimensionado (como el planteado en este proyecto). Con base en los conocimientos adquiridos en el curso de energías renovables tomado en la Universidad Autónoma de Occidente, surgió la idea de implementar un SSFCR para la institución. Se inició con el estudio en el mundo sobre el estado del arte de los SSFCR y los avances tecnológicos de los diferentes elementos que lo componen. Partiendo de estas bases se procedió con la investigación de los precios de los diferentes elementos, realizando un presupuesto que permita su viabilidad. Para tal fin, se hizo uso de la herramienta de simulación HOMER, para la evaluación económica y técnica del proyecto. Los datos requeridos por el software, fueron suministrados por la estación meteorológica instalada en la Universidad, la cual tomo datos durante un año y genero un informe de la cantidad de recurso solar disponible en el sitio de la instalación final del SSFCR. Los demás datos fueron encontrados mediante la investigación de componentes y precios, los cuales fueron proporcionados por fabricantes y proveedores.

De igual forma se procedió con el dimensionado del sistema, realizando paso a paso los cálculos necesarios para obtener un óptimo diseño que permitió la implementación del proyecto. Con las investigaciones, el presupuesto y la simulación realizada, se logró el dimensionamiento final de un SSFCR para una de las aulas de la Universidad Autónoma de Occidente.

De hecho, este proyecto estuvo direccionado al diseño y dimensionado de un (SSFCR) ubicado en una de las aulas de la Universidad Autónoma de Occidente, Cali Colombia, con el cual se deseaba suministrar 20kWp a la carga, dejando de tomarlos de la red de distribución local.

Los resultados obtenidos son la presentación y propuesta final de una metodología que permitió el dimensionado de un sistema solar fotovoltaico conectado a red a 20kWp, para una de las aulas de la Universidad Autónoma de Cali, Colombia. El diseño arrojo resultados muy satisfactorios, el análisis de las variables que lo componen tales como costo, confiabilidad, seguridad

y funcionalidad, permite alcanzar los objetivos que se plantearon al inicio del proyecto, contando con un sistema de producción de energía eléctrica óptimo. [4]

- ESTUDIO TECNICO-ECONOMICO PARA LA IMPLEMENTACION MASIVA DE SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS PARA LOS ESTRATOS CINCO Y SEIS DE LA CIUDAD DE CALI.

Autor: Deyvit Issa Escobar. Director: Dr. Yuri Ulianov Lopez. Año 2013.

Este proyecto propuso reducir el consumo de energía proveniente del sistema interconectado, con la implementación de sistemas fotovoltaicos de manera masiva a nivel domiciliario en la ciudad de Cali.

Según el mapa de radiación solar de Colombia, el Valle del Cauca, cuenta con una radiación solar adecuada a los requerimientos de los sistemas fotovoltaicos, ya que sobre cada metro cuadrado de suelo, se presentan de 4,5 a 5,0 KWh/m<sup>2</sup> de energía, (UPME, 2005). Entre las ventajas se tiene que, después de la inversión inicial representada en la instalación del sistema de generación con paneles solares, sólo hay que aprovechar la energía que suministra el sol de forma natural, contemplando que el mantenimiento del sistema es mínimo. Por consiguiente este proyecto propuso realizar un análisis técnico - económico para la implementación masiva de sistemas solares fotovoltaicos en predios residenciales de estrato 5 y 6 de la ciudad de Cali, para lo cual se dispuso de tres alternativas, estas son: sistema solar fotovoltaico (SSFV) de autoconsumo, SSFV aislado y, SSFV conectado a red. Se pretendió evaluar la implementación de sistemas, estudiando los siguientes puntos:

- Costos de energía en el sector (valor del KW/h)
- Calcular la carga promedio en los estratos cinco y seis.
- Diseño del sistema solar FV
- Dimensionado del sistema (paneles y demás componentes).
- Análisis técnico, económico y social.

Se realizaron las investigaciones correspondientes a los consumos presentados en los estratos 5 y 6, se verificaron los costos tanto de facturación como el precio del \$KW/h de los diferentes estratos, información obtenida de las empresas a cargo del suministro eléctrico, de esta manera se pudieron establecer criterios para realizar los cálculos del sistema a diseñar.

Con lo anterior, se realizaron los cálculos requeridos para la implementación del SSFV, se incluyeron los costos de los diferentes componentes del sistema, se ingresó la información obtenida de las empresas del sector eléctrico, elaborando una simulación con la ayuda del software Homer (HybridOptimization Micro PowerEnergiesRenewable), se realizó un estudio técnico económico del proyecto, el cual permitió establecer los costos de la instalación y el dimensionado del sistema.

Con la información obtenida, se establecieron las ventajas económicas de la instalación, los retornos de inversión y la reducción de gases que el sistema evita al operar con SSFV, los resultados obtenidos fueron la presentación final de una metodología que permitió aplicar este mismo concepto a todas las viviendas en los estratos 5 y 6.

Igualmente se indicaron algunos aspectos generales de la forma como se aprovecha la energía solar, por medio de diferentes medios de abastecimiento con sistemas solares fotovoltaicos. Se referenciaron algunas de las instalaciones domiciliadas que se han realizado tanto en Colombia como en otros países, en los cuales se pudo apreciar que el recurso solar es suficiente para la implementación de este novedoso sistema, siendo una alternativa muy útil como la realizada en Santa Marta, donde los resultados son satisfactorios, según el reporte encontrado.

La implementación masiva del sistema contemplo la reducción y en algunos casos la eliminación de facturas de energía en las viviendas. Por otro lado se suma a ello, el aporte ecológico que se hace al medio ambiente al dejar de consumir parte de la energía que se produce con combustibles fósiles. No menos importante, es la baja temperatura al interior de las viviendas, por la eliminación directa de la radiación solar sobre las casas que al instalar las placas solares, reducen significativamente la temperatura sobre la cubierta y por ende en su interior, reduciendo en buena medida la utilización de aires acondicionados, altos consumidores de energía eléctrica en la actualidad.[5]

Por su parte en la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia se han realizado los siguientes trabajos de grado por parte de la escuela de Ingeniería Electromecánica:

- ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TECNICA Y ECONOMICA PARA IMPLEMENTAR EL USO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA EN EL SUMINISTRO ELECTRICO DEL ALUMBRADO PÚBLICO EN EL MUNICIPIO DE LA UVITA (BOYACA).

Autores: Fredy Orlando Agudelo Torres, Favio Anderson Martínez Albarracín.  
Director: Ing. Dr. Mont. Carlos Carreño Bodensiek. Año 2010.

El objetivo de este trabajo fue realizar el estudio de factibilidad técnica y económica para implementar el uso de energía fotovoltaica en el suministro eléctrico del alumbrado público, buscando determinar si era posible física y materialmente desarrollarlo; además buscaba definir mediante la comparación de los beneficios y costos si era rentable la inversión que demanda su implementación, teniendo en cuenta aspectos legales, políticos, de gestión y ambientales, en cuanto a la normatividad vigente, la administración y decisión de ejecución, independientemente de su rentabilidad, determinando el impacto que ocasiona sobre las variables del entorno ambiental.

Una vez se identificó el problema, se definió el horizonte del proyecto, su clasificación y el sistema económico que utiliza, permitiendo dar paso a la realización de los estudios o análisis que determinaron su factibilidad.

El estudio de mercado fue el punto de partida y el más importante a considerar, pues su objetivo era demostrar la existencia de la necesidad del servicio que se pretendía implementar, es decir proporcionar los elementos de juicio necesarios para tomar la decisión de llevar a cabo una iniciativa de inversión.

El estudio técnico buscaba diseñar la función que mejor utilizara los recursos disponibles para obtener el servicio deseado, determinando la necesidad de capital y mano de obra necesaria para la ejecución del proyecto. La realización del proyecto, necesito del diseño de una estructura administrativa que permitiera la acción conjunta y coordinada de elementos materiales, humanos y financieros, a fin de alcanzar los objetivos propuestos.

Finalmente se especificaron las necesidades de los recursos a invertir, su forma de financiación y se realizaron las estimaciones de ingresos y egresos durante el periodo de vida útil del proyecto, evaluando los factores concurrentes, cuya naturaleza permitiera definir la factibilidad de ejecución, mediante indicadores que permitieran cuantificar y valorar los impactos del proyecto sobre el entorno ambiental, económico, financiero y social. [6]

Para el desarrollo de este proyecto se hizo un recuento de los proyectos más importantes en Colombia para a través de la experiencia, decidir el tipo de sistema más apropiado para las condiciones con las que se cuenta en la universidad y en Boyacá.

## **1.2 Proyectos**

Estos son algunos proyectos sobre energía solar que han sido propuestos e implementados en el país. La mayoría de estos proyectos son gestionados por el Instituto de Planeación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas No Interconectadas (IPSE), ya que las regiones más propicias para la implementación de estos proyectos en Colombia son las zonas rurales o zonas no interconectadas, donde no se tiene un adecuado suministro de energía. El aislamiento de estas poblaciones se debe principalmente a que la interconexión a la red de distribución se hace muy costosa.





Por otra parte, Según el banco de proyectos del Fondo Nacional de Regalías (FNR) actualizado al 30 de noviembre de 2011 y publicado por el Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas No interconectadas – IPSE, se han presentado 20 proyectos para la implementación de sistemas fotovoltaicos en todo el territorio colombiano, de los cuales sólo el 5% de los proyectos han sido aprobados, el 20% ha sido viabilizado técnica y económicamente (devueltos para realizar correcciones) y el restante 75% ha sido rechazado.



De los procesos rechazados la mayoría han sido técnicamente favorables, pero financieramente no cumplieron con los requisitos, por lo que han sido devueltos para realizar correcciones. [7]

La Tabla 1 muestra el listado de los proyectos desarrollados por el IPSE en algunas regiones del territorio nacional.

Tabla 1: Proyectos fotovoltaicos implementados en Colombia.

Proyecto	Descripción	Ubicación	Fecha inicio	Imagen
Generación con sistema híbrido Solar – Diesel Titumate	El proyecto que se desarrolla incluye estudio de demanda, instalación del sistema de generación fotovoltaica, diseño y construcción de redes de baja tensión, acometidas y luminarias ahorradoras.	localidad de Tituma - municipio de Ungía - Choco	Junio de 2008	
construcción y puesta en operación de 125 kw de energía solar fotovoltaica	Se está implementando una instalación de 10 seguidores solares de dos ejes, ocho de los cuales estarán ubicados en la Alta Guajira y dos en Isla Fuerte, con una capacidad de 12.5 kW cada uno, para un total de 125 kW.	La Guajira y Bolívar (Isla Fuerte)	Septiembre 2009	
Generación con sistema híbrido Solar – Eólico, Nazareth.	El proyecto que se desarrolla incluye estudio de demanda, de potencial de generación de organización comunitaria y generación de energía eléctrica.	Nazareth, departamento de La Guajira	Junio de 2008	
Implementación de energía solar en edificaciones	Incluye Implementación de tecnologías de sistemas solares con evaluación del comportamiento en instalaciones residenciales y comerciales, igualmente se contempla la implementación de energía solar térmica.	San Andrés	Enero de 2009	

Fuente: IPSE

La Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) en el PLAN DE EXPANSIÓN DE REFERENCIA GENERACIÓN – TRANSMISIÓN 2015 – 2029 muestra la proyección a los próximos 15 años, en este documento se encuentra la información correspondiente a la capacidad de generación con tecnología solar fotovoltaica proyectada para el año 2028. [8]

La tabla 2 muestra el cronograma de expansión para la tecnología solar fotovoltaica.

Tabla 2: Cronograma de expansión tecnología fotovoltaica

FECHA ENTRADA	CAPACIDAD MW
Ene-15	5
Ene-16	9
Ene-20	53,6
Ene-24	143,5
Ene-28	239,2

Fuente: UPME 2015

### 1.3 LA RADIACION SOLAR

Conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el Sol. El Sol se comporta prácticamente como un Cuerpo negro que emite energía siguiendo la ley de Planck a una temperatura de unos 6000 K. La radiación solar se distribuye desde el infrarrojo hasta el ultravioleta. No toda la radiación alcanza la superficie de la Tierra, pues las ondas ultravioletas, más cortas, son absorbidas por los gases de la atmósfera fundamentalmente por el ozono. La magnitud que mide la radiación solar que llega a la Tierra es la irradiancia, que mide la energía que, por unidad de tiempo y área, alcanza a la Tierra. Su unidad es el  $W/m^2$  (vatio por metro cuadrado).

El Sol es la estrella más cercana a la Tierra y está catalogada como una estrella enana amarilla. Sus regiones interiores son totalmente inaccesibles a la observación directa y es allí donde ocurren temperaturas de unos 20 millones de grados necesarios para producir las reacciones nucleares que producen su energía. [9]

#### 1.3.1 Radiación directa

Es aquella que llega directamente del Sol sin haber sufrido cambio alguno en su dirección. Este tipo de radiación se caracteriza por proyectar una sombra definida de los objetos opacos que la interceptan. [9]

#### 1.3.2 Radiación difusa

Parte de la radiación que atraviesa la atmósfera es reflejada por las nubes o absorbida por éstas. Esta radiación, que se denomina difusa, va en todas direcciones, como consecuencia de las reflexiones y absorciones, no sólo de las nubes sino de las partículas de polvo atmosférico, montañas, árboles, edificios, el propio suelo, etc. Este tipo de radiación se caracteriza por no producir sombra alguna respecto a los objetos opacos interpuestos. Las superficies horizontales son las que más radiación difusa reciben, ya que ven toda la bóveda celeste, mientras que las verticales reciben menos porque sólo ven la mitad. [9]

#### 1.3.3 Radiación reflejada

La radiación reflejada es, como su nombre indica, aquella reflejada por la superficie terrestre. La cantidad de radiación depende del coeficiente de reflexión de la

superficie, también llamado albedo. Las superficies horizontales no reciben ninguna radiación reflejada, porque no ven ninguna superficie terrestre y las superficies verticales son las que más radiación reflejada reciben. [9]

### 1.3.4 Radiación global

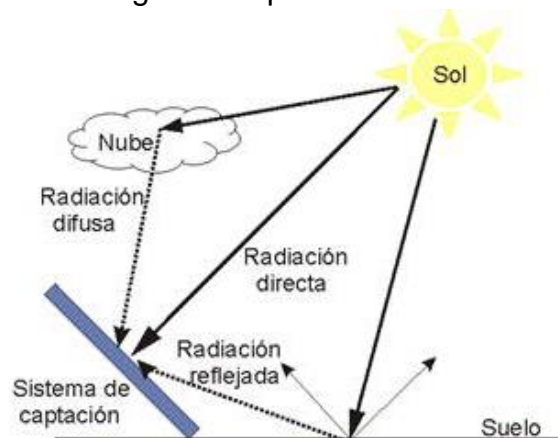
Es la radiación total. Es la suma de las tres radiaciones.

En un día despejado, con Cielo limpio, la radiación directa es preponderante sobre la radiación difusa. Por el contrario, en un día nublado no existe radiación directa y la totalidad de la radiación que incide es difusa.

Los distintos tipos de colectores solares aprovechan de forma distinta la radiación solar. Los colectores solares planos, por ejemplo, captan la radiación total (directa + difusa), sin embargo, los colectores de concentración sólo captan la radiación directa. Por esta razón, los colectores de concentración suelen situarse en zonas de muy poca nubosidad y con pocas brumas, en el interior, alejadas de las costas. Los colectores solares planos pueden colocarse en cualquier lugar, siempre que la Insolación sea suficiente.

La tasa de irradiación depende en cada instante del ángulo que forman la normal a la superficie en el punto considerado y la dirección de incidencia de los rayos solares. Por supuesto, dada la lejanía del Sol respecto de nuestro planeta se puede suponer, con muy buena aproximación, que los rayos del Sol inciden esencialmente paralelos sobre el planeta. No obstante, en cada punto del mismo, localmente considerado, la inclinación de la superficie respecto a dichos rayos depende de la latitud y de la hora del día para una cierta localización en longitud. Dicha inclinación puede definirse a través del ángulo que forman el vector normal a la superficie en dicho punto y el vector paralelo a la dirección de incidencia de la radiación solar. [9]

Figura 2: Tipos de radiación



Fuente: Karina Pacco Ramírez (2010) La energía solar fotovoltaica y sus aplicaciones. Recuperado de: trabajos82/energia-solar-fotovoltaica-y-sus-aplicaciones/energia-solar-fotovoltaica-y-sus-aplicaciones2.shtml

#### 1.4 RECURSO SOLAR

En general, Colombia tiene un buen potencial energético solar en todo el territorio, con un promedio diario cercano a 4,5 kWh/m<sup>2</sup> (destacándose la península de La Guajira, con un valor promedio de 6,0 kWh/m<sup>2</sup> y la Orinoquia, con un valor un poco menor), propicio para un adecuado aprovechamiento. [10]

Una aproximación a la disponibilidad promedio multianual de energía solar por regiones se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 3: Potencial Solar en Colombia

REGIÓN	kWh/m <sup>2</sup> /año
GUAJIRA	2.190
COSTA ATLÁNTICA	1.825
ORINOQUIA	1.643
AMAZONIA	1.551
ANDINA	1.643
COSTA PACÍFICA	1.278

Fuente: ATLAS DE RADIACION SOLAR DE COLOMBIA (2005)  
RECUPERADO DE: [http://www.upme.gov.co/Docs/Atlas\\_Radiacion\\_Solar/1-Atlas\\_Radiacion\\_Solar.pdf](http://www.upme.gov.co/Docs/Atlas_Radiacion_Solar/1-Atlas_Radiacion_Solar.pdf)

#### 1.5 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

La energía fotovoltaica es la transformación directa de la radiación solar en electricidad. Esta transformación se produce en unos dispositivos denominados paneles fotovoltaicos. En los paneles fotovoltaicos, la radiación solar excita los electrones de un dispositivo semiconductor generando una pequeña diferencia de potencial. La conexión en serie de estos dispositivos permite obtener diferencias de potencial mayores.

Aunque el efecto fotovoltaico era conocido desde el siglo XIX, fue en la década de los 50, en plena carrera espacial, cuando los paneles fotovoltaicos comenzaron a experimentar un importante desarrollo. Inicialmente utilizados para suministrar electricidad a satélites geoestacionarios de comunicaciones, hoy en día constituyen una tecnología de generación eléctrica renovable.

Una de las principales virtudes de la tecnología fotovoltaica es su aspecto modular, pudiéndose construir desde enormes plantas fotovoltaicas en suelo hasta pequeños paneles para tejados. [11]

Figura 3: esquema residencial de energía solar

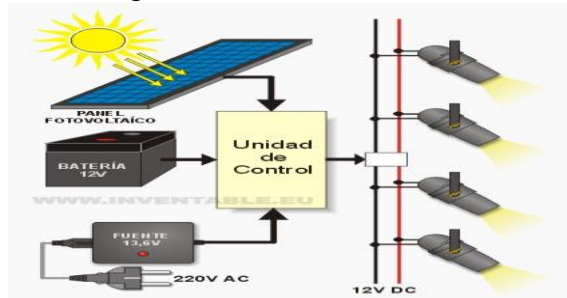


Fuente: energía solar (2016)  
Recuperado de: <http://daprose.net/energia/>

### 1.5.1 Corriente directa

Esta aplicación incorpora como equipos básicos: paneles solares fotovoltaicos, regulador, batería y equipos de consumo en 12Vdc, como son luminarias, televisiones, radios y cualquier equipo que requiera 12 o 24Vdc. [12]

Figura 4: energía solar fotovoltaica corriente directa



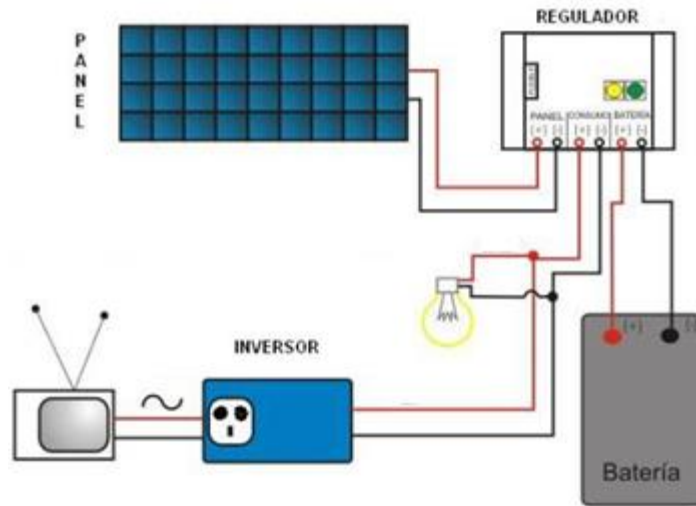
Fuente: instalaciones a 12vdc (2012) algunos aspectos técnicos  
Recuperado de: <http://www.inventable.eu/2012/01/06/instalaciones-a-12v-dc-algunos-aspectos-tecnicos/>

### 1.5.2 Corriente alterna

Esta aplicación incorpora como equipos básicos: paneles solares fotovoltaicos, regulador, batería, inversor y equipos de consumo tanto en 110Vac como en 12Vdc.

Sistemas básicos para uso doméstico que utilizan luminarias o equipos que funcionan en 110 o 220 VAC, con frecuencias de 50 o 60 Hz. Se incorpora al sistema un inversor de corriente. Es preferible que la iluminación continúe en 12Vdc y se utilice el menor número de equipos en 110Vac. [12]

Figura 5: energía solar fotovoltaica corriente alterna



Fuente: investigación energética aplicada s.a.s (2012)

Recuperado de:

<http://environmentalresearch.blogspot.com.co/2012/10/aprovechamiento-de-energias-y.html>

## 1.6 PANEL SOLAR

Un panel solar es un módulo que aprovecha la energía de la radiación solar. El término comprende a los colectores solares utilizados para producir agua caliente (usualmente doméstica) mediante energía solar térmica y a los paneles fotovoltaicos utilizados para generar electricidad mediante energía solar fotovoltaica.

Un calentador solar de agua usa la energía del Sol para calentar un líquido, el cual transfiere el calor hacia un compartimento de almacenamiento de calor. En una casa, por ejemplo, el agua caliente sanitaria puede ser calentada y almacenada en un depósito de agua caliente.

Los paneles tienen una placa receptora y tubos por los que circula líquido adheridos a ésta. El receptor (generalmente recubierto con una capa selectiva utilizado o almacenado). El líquido calentado es bombeado hacia un aparato intercambiador de energía (una bobina dentro del compartimento de almacenamiento o un aparato externo) donde deja el calor y luego circula de vuelta hacia el panel para ser recalentado. Esto provee una manera simple y efectiva de transferir y transformar la energía solar.

Los paneles fotovoltaicos: están formados por numerosas celdas que convierten la luz en electricidad. Las celdas a veces son llamadas células fotovoltaicas, del griego "fotos", luz. Estas celdas dependen del efecto fotovoltaico por el que la energía

luminosa produce cargas positiva y negativa en dos semiconductores próximos de diferente tipo, produciendo así un campo eléctrico capaz de generar una corriente.

Silicio cristalino y arseniuro de galio son la elección típica de materiales para celdas solares. Los cristales de arseniuro de galio son creados especialmente para uso fotovoltaico, mientras que los cristales de Silicio están disponibles en lingotes estándar más baratos producidos principalmente para el consumo de la industria microelectrónica. El Silicio poli cristalino tiene una menor eficacia de conversión, pero también menor coste.

Cuando es expuesto a luz solar directa, una celda de silicio de 6 cm de diámetro puede producir una corriente de alrededor 0,5 amperios a 0,5 voltios (equivalente a un promedio de  $90 \text{ W/m}^2$ , en un rango de usualmente  $50\text{-}150 \text{ W/m}^2$ , dependiendo del brillo solar y la eficacia de la celda). El arseniuro de galio es más eficaz que el silicio, pero también más costoso. [13]

Figura 6: panel solar



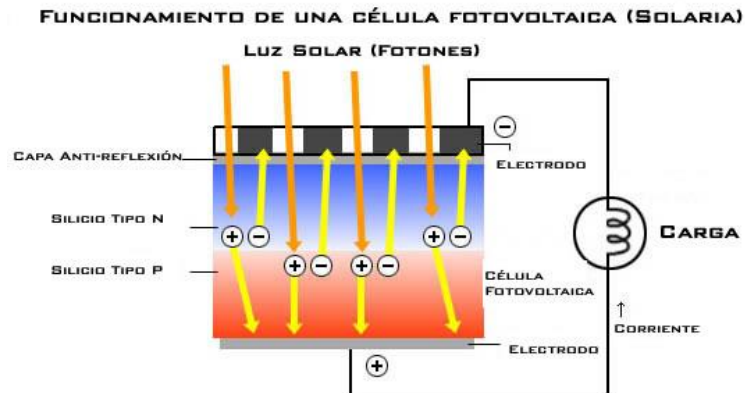
Fuente: el blog verde (2015) paneles solares. Recuperado de: <http://elblogverde.com/paneles-solares/>

### **1.6.1 Bases de funcionamiento de la célula solar**

Cuando el conjunto queda expuesto a la radiación solar, los fotones contenidos en la luz transmiten su energía a los electrones de los materiales semiconductores que pueden entonces romper la barrera de potencial de la unión P-N y salir del semiconductor a través de un circuito exterior, produciéndose así corriente eléctrica.

El modulo más pequeño de material semiconductor con unión P-N y por lo tanto con capacidad de producir electricidad, es denominado célula fotovoltaica. Estas células fotovoltaicas se combinan de determinadas maneras para lograr la potencia y el voltaje deseados. Este conjunto de células sobre el soporte adecuado y con los recubrimientos que le protejan convenientemente de agentes atmosféricos es lo que se denomina panel fotovoltaico. [14]

Figura 7: funcionamiento de células fotovoltaicas



Fuente: energías limpias (2006). Recuperado de:  
<http://energiaslimpias.webcindario.com/solar.htm>

## 1.7 TIPOS DE PANELES FOTOVOLTAICOS

### 1.7.1 Tipos de paneles en función de los materiales

Existen diferentes tipos de paneles solares en función de los materiales semiconductores y los métodos de fabricación que se empleen. Los tipos de paneles solares que se pueden encontrar en el mercado son:

**1.7.1.1 Silicio Puro mono cristalino-** Basados en secciones de una barra de silicio perfectamente cristalizado en una sola pieza. En laboratorio se han alcanzado rendimientos máximos del 24,7% para éste tipo de paneles siendo en los comercializados del 16%. [14]

**1.7.1.2 Silicio puro poli cristalino-** Los materiales son semejantes a los del tipo anterior aunque en este caso el proceso de cristalización del silicio es diferente. Los paneles poli cristalinos se basan en secciones de una barra de silicio que se ha estructurado desordenadamente en forma de pequeños cristales. Son visualmente muy reconocibles por presentar su superficie un aspecto granulado. Se obtiene con ellos un rendimiento inferior que con los mono cristalinos (en laboratorio del 19.8% y en los módulos comerciales del 14%) siendo su precio también más bajo. [14]

Por las características físicas del silicio cristalizado, los paneles fabricados siguiendo esta tecnología presentan un grosor considerable. Mediante el empleo del silicio con otra estructura o de otros materiales semiconductores es posible conseguir paneles más finos y versátiles que permiten incluso en algún caso su adaptación a superficies irregulares. Son los denominados paneles de lámina delgada



Así pues, los tipos de paneles de lámina delgada son:

- 1.7.1.3 Silicio amorfo-** (TFS) Basados también en el silicio, pero a diferencia de los dos anteriores, este material no sigue aquí estructura cristalina alguna. Paneles de este tipo son habitualmente empleados para pequeños dispositivos electrónicos (Calculadoras, relojes) y en pequeños paneles portátiles. Su rendimiento máximo alcanzado en laboratorio ha sido del 13% siendo el de los módulos comerciales del 8%.
- 1.7.1.4 Teluro de cadmio-** Rendimiento en laboratorio 16% y en módulos comerciales 8%
- 1.7.1.5 Arseniuro de Galio-** Uno de los materiales más eficientes. Presenta unos rendimientos en laboratorio del 25.7% siendo los comerciales del 20%
- 1.7.1.6 Di seleniuro de cobre en indio-** con rendimientos en laboratorio próximos al 17% y en módulos comerciales del 9%

Existen también los llamados paneles Tándem que combinan dos tipos de materiales semiconductores distintos. Debido a que cada tipo de material aprovecha sólo una parte del espectro electromagnético de la radiación solar, mediante la combinación de dos o tres tipos de materiales es posible aprovechar una mayor parte del mismo. Con este tipo de paneles se ha llegado a lograr rendimientos del 35%. Teóricamente con uniones de 3 materiales podría llegarse hasta rendimientos del 50%. [14]

## **1.8 ORIENTACION DEL PANEL FOTOVOLTAICO**

Para que la producción del generador fotovoltaico sea óptima es necesario situar los paneles fotovoltaicos con una determinada inclinación (determinada por el ángulo beta) y una orientación específica o azimut (determinada por el ángulo alpha). [15]

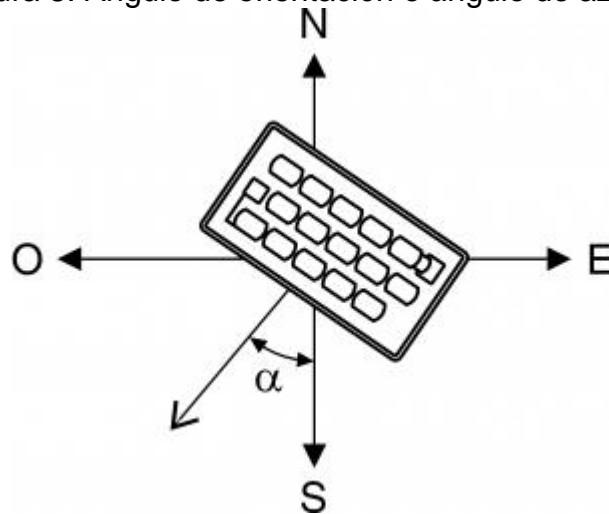
### **1.8.1 Angulo de azimut ( $\alpha$ )**

Es el ángulo que forma la proyección sobre el plano horizontal de la normal a la superficie del módulo y el meridiano (orientación sur) del lugar.

Toma el valor  $0^\circ$  para módulos orientados al sur,  $-90^\circ$  para módulos orientados al este,  $+90^\circ$  para módulos orientados al oeste.

La orientación de los paneles solares será tal que éstos se dispongan siempre "mirando" hacia el ecuador terrestre. Esto supone orientación sur para aquellas instalaciones situadas en el hemisferio norte terrestre, y orientadas hacia el norte para las instalaciones situadas en el hemisferio sur. No obstante, son admisibles unas desviaciones de hasta  $\pm 20^\circ$  respecto del ecuador del observador sin que se produzcan grandes pérdidas de rendimiento. [16]

Figura 8: Angulo de orientación o ángulo de azimut



Fuente: inbradi (2013)

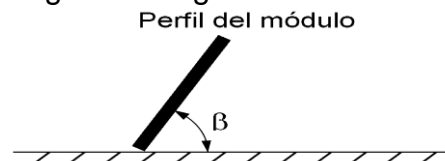
Recuperado de: <http://inbradi.com/perdidas-en-la-produccion-por-inclinacion-y-orientacion-en-instalaciones-de-energia-solar-fotovoltaica/>

### 1.8.2 Angulo de inclinación ( $\beta$ )

Es aquel que forma la superficie del módulo con el plano horizontal. Su valor es  $0^\circ$  para módulos horizontales y  $90^\circ$  si son verticales.

El valor de la inclinación de los paneles solares con respecto a la horizontal, cuando se pretende que la instalación se use todo el año con un rendimiento aceptable, coincide aproximadamente con la latitud del lugar donde se instale. Si la instalación se usa principalmente en invierno, entonces la inclinación óptima de los módulos sería la obtenida de sumarle a la latitud  $10^\circ$ . Y por el contrario, si la instalación va a usarse básicamente en verano, la inclinación que habría que proporcionarle a los módulos sería el resultado de restar a la latitud del lugar  $20^\circ$ . Por último, si se pretende un diseño óptimo que funcione para todo el año, la inclinación que habrá que proporcionarle al panel solar será igual a la latitud del lugar. [16]

Figura 9: Angulo de inclinación



Fuente: inbradi (2013)

Recuperado de: <http://inbradi.com/perdidas-en-la-produccion-por-inclinacion-y-orientacion-en-instalaciones-de-energia-solar-fotovoltaica/>

## 1.9 REGULADOR DE CARGA

Es un aparato electrónico utilizado para evitar que se sobrecarguen las baterías. Los reguladores de carga pueden ser encontrados por separado o incorporados en los aparatos eléctricos.

Los reguladores de carga tienen la función de evitar las sobrecargas de las baterías. Una sobrecarga no sólo puede llevar a una disminución de la vida útil de una batería. Se corre el riesgo incluso de incendio o explosión.

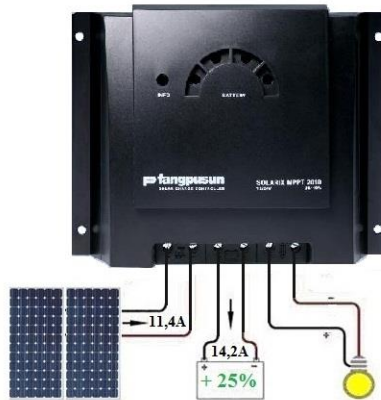
Además de proteger de potenciales sobrecargas, los reguladores de carga evitan que las baterías de ciclo profundo sufran una descarga excesiva. Esto se logra mediante un corte automático de la corriente emanada desde las baterías o mediante la emisión de una señal visual o audible.

En el caso de los sistemas fotovoltaicos, los arreglos, módulos y paneles solares pueden ser completa o parcialmente desconectados de las baterías, sin que éstas se vean perjudicadas. A medida que las baterías de ciclo profundo alcanzan el máximo nivel de carga, el regulador de carga va, gradualmente, desconectando el paso de la energía proveniente de las celdas solares.

. Adicionalmente, los reguladores de carga pueden tener incorporados fusibles o diferenciales que permitan centralizar las conexiones eléctricas de un sistema fotovoltaico.

La mayoría de los reguladores de carga actuales están dotados con indicadores de luz que señalan si éste se encuentra operando normalmente. Sin embargo, es posible verificar el funcionamiento de un cargador a través de un medidor de corriente continua (CC). Para ello, se mide la corriente en los terminales de salida de la batería los cuales deben registrar un valor inferior a 14,4 volts mientras que en los terminales de los paneles solares el voltaje debe ser algunas décimas superior a la lectura anterior. Esta medición se debe hacer sólo en la medida que los tres componentes – paneles solares, baterías y regulador de carga – están conectados entre sí. [17]

Figura 10: regulador de carga



Fuente: mppsolar (2016)

Recuperado de: <http://www.mpptsolar.com/es/regulador-de-carga-solar-mppt.html>

### 1.10 INVERSOR DE VOLTAJE

Los inversores de voltaje transforman la corriente continua (CC) de baja tensión (12V, 24V, 32V 36V o 48V) en corriente alterna (AC) de baja tensión (110V, 220V). El cambio de voltaje es necesario dado que los aparatos eléctricos se alimentan de uno u otro tipo de corriente. Como referencia, la gran mayoría de los aparatos eléctricos presentes en hogares y oficinas requieren de corriente alterna.

Los inversores de voltaje presentes en un sistema fotovoltaico transforman la corriente continua generada en los paneles solares en corriente alterna para que pueda ser utilizada por los distintos aparatos eléctricos.

Una vez que la corriente continua entra al inversor de voltaje, ya sea proveniente de la celda solar o desde una batería de ciclo profundo, ésta es conducida por medio de un oscilador mediante la interrupción permanente de la corriente continua; pasándola a través de dos o más transistores que se encienden y apagan continuamente y otros elementos electrónicos los cuales generan una onda cuadrada que entra al transformador que se encuentra almacenado dentro del inversor de voltaje.

Existen dos tipos de inversores los cuales son de onda modificada en los que al transformador entra por su lado primario una onda cuadrada que este transforma en sinusoidal modificada y los de onda sinusoidal pura en los que antes de entrar al lado primario del transformador la onda cuadrada es pasada por una serie de filtros para convertirla en una onda senoidal pura para que en el lado secundario del transformador se obtenga una onda senoidal de 110-220 Vac.

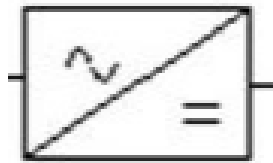
Los inversores de voltaje de sistemas “off grid” (que son absolutamente independientes del suministro eléctrico proporcionado por compañías eléctricas),

por lo general, no se encuentran protegidos contra la influencia de factores climáticos. Por ello, se sugiere que los inversores de voltaje sean siempre instalados en las proximidades de las baterías de ciclo profundo.

Aquellos inversores de voltaje presentes en sistemas fotovoltaicos “ongrid” pueden ser instalados en ambientes exteriores. Pero se debe tener la precaución de que éstos sean instalados bajo la protección de sombra.

El tamaño de un inversor de voltaje está dado por el valor máximo de watts continuos que puede proveer el inversor de corriente o de voltaje. Por ello, el tamaño o capacidad de inversor de voltaje requerido guarda directa relación con la demanda de electricidad que exijan los aparatos eléctricos a los que desee proveer de energía eléctrica. Se debe tener en consideración que el inversor de voltaje deberá abastecer con electricidad continuamente a más de un aparato a la vez. Por ello, se debe asegurar elegir un inversor de voltaje que provea una cantidad de vatios levemente superior a la requerida en un momento del tiempo y que obviamente sea capaz de hacer frente a potenciales picos de demanda de energía. [17]

Figura11: símbolo inversor de voltaje



Fuente: IEC 60617

## 1.11 BATERIAS SOLARES

La batería es un artefacto electroquímico que convierte la energía eléctrica y la almacena en forma química. Las baterías no generan electricidad.

Las baterías de ciclo o descarga profunda están diseñadas para hacer frente a las exigencias de continuos procesos de carga y descarga. Estas suministran cargas de electricidad medianamente altas en forma continua durante varias horas. En general, las baterías de ciclo profundo, en sus estados máximos de carga, pueden llegar a proveer de energía eléctrica durante 20 horas continuas.

Se conoce como “ciclo” al tiempo que demora una batería recargable en descargarse a sus límites mínimos de carga para luego volver a cargarse en un 100% de su capacidad. Una batería de ciclo profundo está diseñada para poder llegar a descargarse, como su nombre lo dice, en forma “profunda” hasta en un 80% de su capacidad total de carga.

Las baterías sirven para almacenar electricidad y suministrar dicha energía eléctrica a un sistema o a un aparato eléctrico (o varios) cuando ellos lo requieran.

Las baterías de ciclo profundo convierten la energía eléctrica en energía química. Esto se logra mediante un proceso electroquímico de oxidación/reducción. El proceso electroquímico es reversible permitiendo que se regrese al estado de corriente eléctrica cuando sea necesario.

El Ampere es la unidad de medición utilizada para medir la corriente eléctrica. Se mide la cantidad de electrones que pasan por un circuito en una hora: definiendo el estándar de “amperes por hora (Ah)”.

Así como las baterías miden su capacidad de almacenaje en amperes los aparatos eléctricos demandan y consumen amperes. Si, por ejemplo, se cuenta con un aparato eléctrico que demanda 10 Ah y se cuenta además con una batería con capacidad de almacenaje de 55 Ah ésta podrá abastecer de electricidad al aparato durante 5,5 Horas aproximadamente considerando las pérdidas propias del proceso electroquímico.

Existen varios tipos de baterías. Las más conocidas son de zinc-carbón, alcalinas, níquel-cadmio (Ni-Cd), níquel-hidruro metálico (Ni-MH) y las baterías de ácido-plomo. Las baterías de ciclo profundo son por lo general baterías del tipo ácido-plomo. [17]

#### **1.11.1 Vida útil de una batería de ciclo profundo**

La vida útil de una batería de ciclo profundo posee una relación directa de que tanto porcentaje de su capacidad de carga llega a descargarse. Mientras menos profunda se llegue a descargar la batería de ciclo profundo mayor será la vida útil de la batería. Una batería de ciclo profundo que sea descargada en un 50% en forma permanente tendrá una vida útil mayor a aquella de similares características que se descargue en un 80%.

En promedio, una batería de ciclo profundo puede llegar a cumplir 2000 ciclos durante su vida útil; descargando y cargando su energía lenta, pero constantemente. Esto equivale a aproximadamente 5-10 años de vida útil. Sin embargo, cada caso es particular. En general, las variables que determinan la vida útil de una batería de ciclo profundo viene dada por:

- Para qué y en qué condiciones son usadas.
- Las labores de mantención a la que es sometida.
- Cuál y cómo han sido los procesos de carga y descarga a lo largo del tiempo. [17]

#### **1.11.2 Selección del tamaño de una batería de ciclo profundo**

La primera recomendación para seleccionar el tamaño de batería requerida es dotar al sistema fotovoltaico con una batería que almacene al menos el doble de capacidad de la cantidad que demandará en un momento del tiempo.

Aunque las baterías de ciclo profundo pueden descargarse hasta un 80% mientras menor o menos profunda sea la descarga de la batería mayor será la vida útil de la batería por lo que no se recomienda que se descargue a su límite mínimo de carga.

La segunda recomendación es seleccionar un tamaño de batería que tenga una capacidad de almacenamiento de amperios suficiente para abastecer de electricidad a los aparatos eléctricos asumiendo que en el peor de los casos existan entre 1-3 días nublados. [17]

### **1.11.3 Mantenimiento de las baterías**

Las baterías de ciclo profundo cerradas o de gel no requieren mayor mantención. Sin embargo, las baterías abiertas o líquidas si requieren de mantención para lograr que operen en óptimas condiciones. Las labores de mantención son similares a la que se realiza a la batería de un auto. Estas son:

- Limpie el exterior de la batería de ciclo profundo sólo cuando sea necesario. Para ello puede utilizar agua de la llave. Procure eso sí que los tapones de la batería estén puestos y cerrados para evitar que el agua entre en contacto con el electrolito (el líquido conductivo al interior de las baterías compuesto por ácido sulfúrico y agua destilada). No debe utilizarse ningún tipo de solvente o limpiadores para limpiar la superficie externa.
- Revise periódicamente (al menos una vez al mes) el nivel de electrolito. El nivel lo definen las placas de plomo las cuales deben estar totalmente cubiertas (se recomienda 1 centímetro de nivel sobre las placas). Por lo general existe un indicador visual en una de las caras señalando el nivel de electrolito necesario.
- Recuerde que en cada compartimiento debe existir el mismo nivel de electrolito. Si es necesario aumentar el nivel utilice sólo agua destilada para rellenar. Para ello retire el tapón superior y vierta agua destilada hasta cubrir las placas y vuelva a colocar el tapón.
- Mantenga los bornes libre de suciedad y de restos sulfatados. Para limpiar los bornes de la batería de ciclo profundo utilice solo un cepillo de metal y agua o una solución de agua con bicarbonato (una cucharada por un litro de agua). [17]

## **1.12 CONFIGURACIONES DE CONEXIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS**

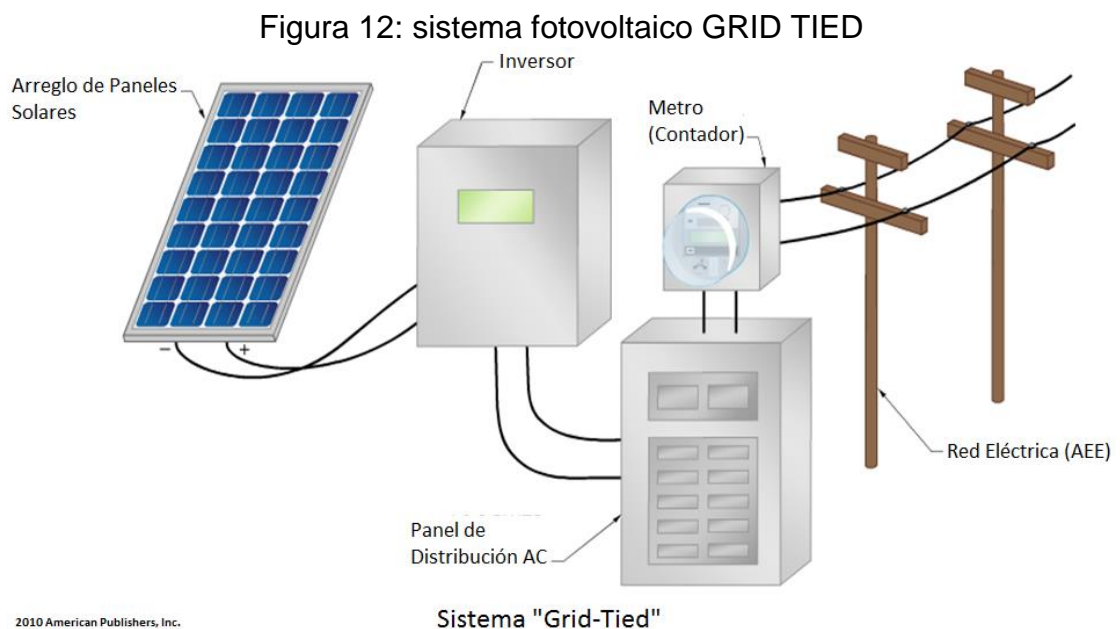
### **1.12.1 Sistema solar fotovoltaico aislado (OFF GRID).**

Se llama aislado, ya que la utilización de la energía solar es transformada en energía eléctrica y esta es consumida o almacenada por la vivienda por medio de bancos de baterías, la diferencia de este sistema, es que no cuenta con ningún nexo con

las líneas de distribución eléctrica locales, y solo contempla la autonomía tanto del banco de baterías como la del SSFV. [6]

### 1.12.2 Sistema solar fotovoltaico conectado a red (GRID TIED).

Al igual que el anterior sistema, la producción de energía es realizada por el SSFV, la diferencia de este sistema, se ve reflejada en la posibilidad de entregar energía eléctrica a la redes de distribución, esto debido a los elementos instalados en el sistema, que permite tanto consumir o distribuir energía, así, el sistema inyecta energía en la red cuando su producción supera al consumo local, y extrae energía de ella en caso contrario. En Europa, por ejemplo, según la legislación, el sistema no podrá contar con banco de baterías, puesto que se cuenta con medidores bidireccionales que permiten conocer que tanta energía se produce y que tanta se consume de la red de alimentación, de esta manera al no tener energía almacenada no genera venta de esta en horas picos en la que la comercialización eléctrica presenta costos elevados. [6]



Fuente: paneles solares. Recuperado de: <http://panelessolarespr.com/solar101.html>



## 2. MARCO LEGAL

### 2.1 NORMATIVIDAD INTERNACIONAL

Un buen número de las normas técnicas que se han escrito hasta aquí han tomado por referencia la norma europea de la International Electrotechnical Comisión – IEC, que cuenta con un comité dedicado a emitir normas internacionales sobre sistemas de energía solar fotovoltaica (el comité TC 82).

Este comité ha publicado un total de 64 normas técnicas disponibles en varios idiomas (inglés, francés y español), por mencionar las más relevantes tenemos:

#### 2.1.1 IEEE 929-2000

##### **RECOMENDED PRACTICE FOR UTILITY INTERFACE OF PHOTOVOLTAIC (PV) SYSTEMS (PRACTICAS RECOMENDADAS PARA LA UTILIZACION DE INTERFAZ DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS).**

Esta práctica recomendada contiene orientación con respecto a los equipos y funciones necesarias para garantizar el funcionamiento compatible de sistemas fotovoltaicos (SFV) que son conectados en paralelo con la red eléctrica.

**2.1.1.1 Alcance:** Esta práctica aplica para el servicio interconectado de sistemas de energía fotovoltaica (SFV) que operan en paralelo con la red y utilizan inversores estáticos para la conversión de DC a AC.

**2.1.1.2 Propósito:** proporcionar herramientas para el personal involucrado con SFV, incluyendo servicios de ingeniería, diseñadores e instaladores de SFV y los dueños de SFV. Se centra en proporcionar prácticas para el servicio de interconexión de SFV de una manera adecuada a un costo razonable sin comprometer la seguridad o problemas de operación.[18]

#### 2.1.2 ISO 50001

Tiene como propósito permitir a las organizaciones a establecer los sistemas y procesos necesarios para mejorar el rendimiento energético, incluyendo la eficiencia energética, uso y consumo. La aplicación de esta norma tiene la finalidad de conducir a reducciones de las emisiones de gases de efecto invernadero, el costo de la energía, y otros impactos ambientales relacionados, a través de la gestión sistemática de la energía.

Esta norma internacional es aplicable a todos los tipos y tamaños de organizaciones, independientemente de las condiciones geográficas, culturales o sociales. [19]

## **2.2 NORMATIVIDAD DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA EN COLOMBIA**

Dentro de la ejecución del diseño y para contar con los criterios más apropiados para el desarrollo del proyecto se hace necesaria la recopilación de toda la normatividad vigente en cuanto a diseño e implementación de plantas de generación de energía solar fotovoltaica.

A continuación se presenta un resumen de las normas técnicas colombianas (NTC) publicadas por el ICONTEC y los organismos regulatorios nacionales. Seguidamente se discute el marco regulatorio que contempla beneficios tributarios para quienes implementen sistemas de energía solar y fotovoltaicos.

### **2.2.1 Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE)**

En él se establecen las medidas tendientes a garantizar la seguridad de las personas, de la vida tanto animal como vegetal y la preservación del medio ambiente; previniendo, minimizando o eliminando los riesgos de origen eléctrico. Sin perjuicio del cumplimiento de las reglamentaciones civiles, mecánicas y fabricación de equipos.

Adicionalmente, señala las exigencias y especificaciones que garanticen la seguridad de las instalaciones eléctricas con base en su buen funcionamiento; la confiabilidad, calidad y adecuada utilización de los productos y equipos, es decir, fija los parámetros mínimos de seguridad para las instalaciones eléctricas.

Igualmente es un instrumento técnico – legal para Colombia, que sin crear obstáculos innecesarios al comercio o al ejercicio de la libre empresa, permite garantizar que las instalaciones, equipos y productos usados en la generación, transmisión, transformación, distribución y utilización de la energía eléctrica, cumplan con los siguientes objetivos legítimos:

- La protección de la vida y la salud humana.
- La protección de la vida animal y vegetal.
- La preservación del medio ambiente.
- La prevención de prácticas que puedan inducir a error al usuario. [20]

### **2.2.2 NTC 5549**

**SISTEMAS FOTOVOLTAICOS TERRESTRES. GENERADORES DE POTENCIA. GENERALIDADES Y GUÍA:**

Esta norma brinda una visión general de los sistemas fotovoltaicos (fv) terrestres generadores de potencia y de los elementos funcionales que los constituye. *Alerta Tecnológica Normatividad sobre energía solar térmica y fotovoltaica.* [21]

### **2.2.3 NTC 5287**

#### **CELIDAS Y BATERÍAS SECUNDARIAS PARA SISTEMAS DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA. REQUISITOS GENERALES Y MÉTODOS DE ENSAYO (15/07/2009):**

Esta norma suministra la información necesaria referente a los requisitos de las baterías que se utilizan en los sistemas solares fotovoltaicos y de los métodos de ensayo típicos utilizados para verificar la eficiencia de las baterías. No se incluye información acerca del tamaño de las baterías, el método de carga o al diseño en sí de los sistemas solares fotovoltaicos.

Las condiciones generales en las que se encuentran las baterías funcionando normalmente en un sistema fotovoltaico, pueden ser: de autonomía, corrientes típicas de carga y descarga, ciclo diario, ciclo estacional, periodo de estado de carga alta, periodo prolongado en estado de carga baja, estratificación del electrolito, almacenamiento, temperatura de funcionamiento, control de carga, protección física, entre otras.

Los ensayos típicos utilizados para verificar la eficiencia de las baterías son los siguientes: ensayo de capacidad, ensayo de capacidad de ciclaje, ensayo de conservación de la carga, ensayo de capacidad de ciclaje para condiciones extremas y por ultimo están los ensayos de tipo y aceptación. [22]

### **2.2.4 NTC 2959**

#### **GUÍA PARA CARACTERIZAR LAS BATERÍAS DE ALMACENAMIENTO PARA SISTEMAS FOTOVOLTAICOS (18/09/1991):**

##### ***Alerta Tecnológica Normatividad sobre energía solar térmica y fotovoltaica***

La presente norma tiene como objeto mostrar una metodología para la presentación de la información técnica relacionada con la selección de baterías para el almacenamiento de energía en sistemas fotovoltaicos. Además, se presenta un procedimiento para verificar la capacidad, eficiencia y duración de las baterías de acumulación.

Se muestran algunos ensayos para la aplicación propia de los sistemas fotovoltaicos como: ensayo de capacidad y de eficiencia en amperios - hora y ensayos cíclicos. [23]

### **2.2.5 NTC 5627**

#### **COMPONENTES DE ACUMULACIÓN, CONVERSIÓN Y GESTIÓN DE ENERGÍA DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS. CALIFICACIÓN DEL DISEÑO Y ENSAYOS AMBIENTALES (29/10/2008):**

La actual norma establece algunos requisitos para la clasificación del diseño, de los componentes de acumulación, conversión y gestión de energía de sistemas fotovoltaicos. Se centra principalmente en componentes solares específicos tales como baterías, inversores (onduladores), controladores de carga, conjuntos de diodos, radiadores, limitadores de tensión, cajas de conexiones y dispositivos de rastreo del punto de máxima potencia, pero puede aplicarse a otros componentes complementarios del sistema.

Por otro lado se presenta la calificación de los sistemas fotovoltaicos, basado en lo especificado por la norma NTC 2883 y NTC 5464.

La norma también muestra una secuencia de ensayos para determinar las características de funcionamiento de cada componente, como: inspección visual, ensayo de funcionamiento, de comportamiento, de aislamiento, exposición a la intemperie, vibración, choque, radiación ultravioleta, húmeda – congelación, entre otros. [24]

### **2.2.6 NTC 4405**

#### **EFICIENCIA ENERGÉTICA. EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LOS SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS Y SUS COMPONENTES (24/06/1998):**

La presente norma hace referencia a la metodología para la evaluación de la eficiencia de los sistemas solares fotovoltaicos, distribuyéndose en tres etapas: etapa de paneles o módulos, etapa de regulación y etapa de acumulación.

Por otro lado, se contienen algunas definiciones referentes a sistemas solares como: área efectiva del panel, carga de un acumulador, celda fotovoltaica, eficiencia del panel o módulo, energía consumida, irradiancia solar incidente, entre otras. [25]

### **2.2.7 GTC 114**

#### **GUIA DE ESPECIFICACIONES DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA SUMINISTRO DE ENERGÍA RURAL DISPERSA EN COLOMBIA (01/12/2004):**

Esta norma establece algunas pautas sobre las especificaciones y características técnicas que se deberían tener en cuenta en el proceso de selección, instalación, operación y mantenimiento de sistemas fotovoltaicos (SFV) que se emplean para suministrar energía a las zonas rurales presentes en Colombia. [26]

### **2.2.8 NTC 5710**

#### **PROTECCIÓN CONTRA LAS SOBRETENSIONES DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PRODUCTORES DE ENERGÍA (30/09/2009):**

Esta norma establece algunos métodos para proteger los sistemas fotovoltaicos productores de energía de sobretensiones, independiente de si son autónomos o si están conectados a la red de distribución del sistema de potencia.

A continuación se evidenciara la legislación vigente emitida por el gobierno nacional y las instituciones regulatorias, tomaremos los aspectos más relevantes de cada uno de los decretos y leyes vigentes para enmarcar la reglamentación vigente para el desarrollo de este proyecto.[27]

### **2.2.9 Ley 697 de 2001**

**“Mediante el cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía, se promueve la utilización de energías alternativas y se dictan otras disposiciones” contempla lo siguiente:**

**2.2.9.1 Artículo 9:** Promoción del uso de fuentes no convencionales de energía.

El Ministerio de Minas y Energía formulará los lineamientos de las políticas, estrategias e instrumentos para el fomento y la promoción de las fuentes no convencionales de energía, con prelación en las zonas no interconectadas.

**2.2.9.2 Artículo 10.** El Gobierno Nacional a través de los programas que se diseñen, incentivará y promoverá a las empresas que importen o produzcan piezas, calentadores, paneles solares, generadores de biogás, motores eólicos, y/o cualquier otra tecnología o producto que use como fuente total o parcial las energías no convencionales, ya sea con destino a la venta directa al público o a la producción de otros implementos, orientados en forma específica a proyectos en el campo URE, de acuerdo a las normas legales vigentes.[28]

### **2.2.10 Ley 1715 de 2014**

**Por medio de la cual se integran las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional**

El 13 de mayo de 2014 el congreso de la república sanciono la ley por medio de la cual establece el marco legal y los instrumentos para la promoción del aprovechamiento de las fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable, lo mismo que para el fomento de la inversión, investigación y desarrollo de tecnologías limpias para producción de energía, la eficiencia energética y la respuesta de la demanda, en el marco de la política

energética nacional. Igualmente, tiene por objeto establecer líneas de acción para el cumplimiento de compromisos asumidos por Colombia en materia de energías renovables, gestión eficiente de la energía y reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, tales como aquellos adquiridos a través de la aprobación del estatuto de la Agenda Internacional de Energías Renovables (Irena) mediante la Ley 1665 de 2013. De la Misma manera delego al Ministerio de Minas y Energía y a la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) para que determine los lineamientos para el uso y comercialización de las energías renovables en Colombia. [29]

El 2 de diciembre de 2014 el Ministerio de Minas y Energía publicó:

#### **2.2.11 Decreto 2469**

**2.2.11.1 Artículo 1 - Simetría en condiciones de participación en el mercado mayorista entre los generadores y auto generadores a gran escala.-** Al expedir la regulación para la entrega de excedentes de los auto generadores, la CREG tendrá en cuenta estos tengan las mismas reglas aplicables a una planta de generación con condiciones similares en cuanto a la cantidad energía que entrega a la red. Esto incluye los derechos, costos y responsabilidades asignados en el reglamento de información, de participación en el mercado mayorista, en el central y en el esquema de Cargo por Confiabilidad, entre otros.

Esta reglamentación será expedida en un período (3) meses después de la entrada en vigencia de este decreto.

**2.2.11.2 Artículo 2 - Contrato de respaldo.-** Los auto generadores a gran escala estarán obligados a suscribir un contrato de respaldo con el operador o transportador al cual se conecten. Los operadores de red o transportadores según sea el caso, diseñaran estos contratos los cuales serán estándar y deberán estar publicados en la página web de la empresa.

La CREG dará los lineamientos y contenidos mínimos de estos contratos y establecerá las metodologías para calcular los valores máximos permitidos en metodologías tarifarias para remunerar la actividad distribución y transmisión.

**2.2.11.3 Artículo 3 - Límite mínimo de la autogeneración a gran escala.-** La UPME establecerá, en un período de seis (6) meses, el límite máximo de potencia de la autogeneración a pequeña escala, el cual se podrá actualizar si las variables que se tuvieran en cuenta para su determinación cambian significativamente. Este tendrá en cuenta criterios técnicos y económicos y no podrá ser superior al límite

mínimo de potencia establecido por regulación para que una planta de generación pueda ser despachada centralmente.

Parágrafo Transitorio: Hasta tanto la UPME no determine este valor y se expida por el Ministerio de Minas y Energía la política aplicable para la autogeneración a pequeña escala, así como por la CREG la reglamentación correspondiente, todos los autogeneradores serán considerados como autogenerador a gran escala.

**2.2.11.4 Artículo 4- Parámetros para ser considerado autogenerador.-** El autogenerador de energía eléctrica deberá cumplir cada uno de los siguientes parámetros:

1. La energía eléctrica producida por la persona natural o jurídica se entrega para su propio consumo, sin necesidad de utilizar activos de uso del Sistema de Transmisión Nacional y/o sistemas de distribución.
2. La cantidad de energía sobrante o excedente puede ser superior en cualquier porcentaje al valor de su consumo propio.
3. El autogenerador deberá someterse a las regulaciones establecidas por la CREG para la entrega de los excedentes de energía a la red. Para lo anterior el autogenerador a gran escala deberá ser representado ante el mercado mayorista por un agente comercializador o por un agente generador.
4. Los activos de generación pueden ser de propiedad de la persona natural o jurídica o de terceros y la operación de dichos activos puede ser desarrollada por la misma persona natural o jurídica o por terceros.

**2.2.11.5 Artículo 5 - Vigencia y derogatorias.-** El presente decreto rige a partir de la fecha de su publicación en el Diario Oficial.

Por su parte la comisión de regulación de energía y gas CREG en el documento 097 del 23 de Diciembre de 2014 definió que para realizar las conexiones al sistema interconectado nacional, los autogeneradores deberán cumplir con la normatividad vigente que aplica a los generadores. En esta medida se deberá seguir lo dispuesto en la Resolución CREG 106 de 2006, y en el anexo que define el Código de Conexión en el Código de Redes en la Resolución CREG 025 de 1995 para las conexiones al Sistema de Transmisión Nacional (STN).

Para la conexión a los STR o SDL se deberán cumplir con las especificaciones contenidas en la Resolución CREG 106 de 2006 y en el numeral 4 del anexo general de la resolución CREG 070 de 1998.

Las condiciones técnicas de la conexión deberán sujetarse a los códigos y reglamentos vigentes. El contrato de conexión entre el transmisor o distribuidor y el autogenerador se acordara libremente entre las partes. [30]

La reglamentación para autogeneradores está contemplada en la resolución

### **2.2.12 CREG 084 de 1996**

La cual define los siguientes lineamientos:

**2.2.12.1 Artículo 1o.- Definiciones.** Para efectos de la presente Resolución y en general para interpretar las disposiciones aplicables a la actividad de Autogeneración, se adoptan las siguientes definiciones:

**Autogenerador:** Es aquella persona natural o jurídica que produce energía eléctrica exclusivamente para atender sus propias necesidades. Por lo tanto, no usa la red pública para fines distintos al de obtener respaldo del SIN, y puede o no, ser el propietario del sistema de generación.

**Demanda Suplementaria:** Es la demanda adicional máxima (MW) que puede requerir un Autogenerador conectado al SIN para cubrir el 100% de sus necesidades de potencia.

**Energía Suplementaria:** Es la energía adicional (MWh) que puede requerir un Autogenerador conectado al SIN para cubrir el 100% de sus necesidades de energía.

**Red Pública:** Aquella que utilizan dos o más personas naturales o jurídicas, independientemente de la propiedad de la red.

**Sistema Interconectado Nacional (SIN) :** Es el sistema compuesto por los siguientes elementos conectados entre sí: las plantas y equipos de generación, la red de interconexión, las redes regionales e interregionales de transmisión, las redes de distribución y las cargas eléctricas de los usuarios, conforme a lo definido en la Ley 143 de 1994.

**Sistema de Transmisión Nacional (STN):** Es el sistema interconectado de transmisión de energía eléctrica compuesto por el conjunto de líneas, con sus correspondientes módulos de conexión, que operan a tensiones iguales o superiores a 220 kV.

**Sistema de Transmisión Regional (STR) :** Sistema interconectado de transmisión de energía eléctrica compuesto por redes regionales o interregionales de transmisión; conformado por el conjunto de líneas y subestaciones, con sus equipos asociados, que operan a tensiones menores de 220 kV y que no pertenecen a un sistema de distribución local.

**Sistema de Distribución Local (SDL):** Sistema de transmisión de energía eléctrica compuesto por redes de distribución municipales o distritales; conformado por el conjunto de líneas y subestaciones, con sus equipos asociados, que operan a tensiones menores de 220 kV que no pertenecen a un sistema de transmisión regional por estar dedicadas al servicio de un sistema de distribución municipal, distrital o local.



**2.2.12.2 Artículo 2o. Ámbito de Aplicación.** Esta Resolución se aplica al Auto generador, con categoría de usuario regulado o no regulado, que se encuentra conectado al SIN.

**Parágrafo 1o. Auto generador Usuario Regulado.** Un Auto generador tiene la categoría de Usuario Regulado si su demanda máxima es igual o inferior al límite de potencia establecido por la CREG con el fin de clasificar a los usuarios.

**Parágrafo 2o. Auto generador Usuario No Regulado.** Un Auto generador tiene la categoría de Usuario No Regulado si su demanda máxima es superior al límite de potencia establecido por la CREG con el fin de clasificar a los usuarios.

**Parágrafo 3o.** La calidad de Usuario Regulado o No Regulado no se determina con base en la demanda suplementaria que el Auto generador contrata con un comercializador o generador para cubrir parte de su consumo.

**2.2.12.3 Artículo 3o. Condiciones para la Conexión al SIN.** Las condiciones para la conexión al STN del Auto generador son las contenidas en las Resoluciones CREG-001 de Noviembre de 1994 (Artículos No: 21, 22 y 23), y para la conexión a los STR o SDL son las contenidas en la Resolución CREG-003 de Noviembre de 1994 (Artículos No: 18, 19 y 20).

El transportador (STN, STR o SDL) tiene la obligación de suministrar toda la información técnica requerida por el Auto generador para realizar los estudios de conexión de su planta generadora. El plazo máximo que tiene el transportador para entregar la información solicitada a partir del momento en que recibe la solicitud, es de dos (2) meses.

Cuando el estudio de conexión del Auto generador lo realice el transportador, éste no podrá tomar un tiempo mayor a tres (3) meses para entregar los resultados. En todo caso el costo del estudio será a cargo del Auto generador.

Las condiciones técnicas de la conexión deben sujetarse a los códigos y reglamentos vigentes. El contrato de conexión entre el transportador y el auto generador se acuerda libremente entre las partes.

**2.2.12.4 Artículo 4o. Condiciones para el Acceso al Respaldo.** El auto generador que tiene la categoría de Usuario Regulado, debe ser respaldado por el comercializador del mercado regulado donde se encuentre localizada la planta de generación del auto generador.

El auto generador que tiene la categoría de Usuario No Regulado,

debe contratar su respaldo con cualquier comercializador del mercado.

**2.2.12.5 Artículo 5o. Uso del Respaldo.** Para el caso del auto generador que suple parte de sus necesidades con compras a un comercializador, se entenderá que usa el servicio de respaldo cuando la potencia eléctrica promedio que toma de la red en cualquier hora particular, es mayor a la Demanda Suplementaria contratada. La energía del Servicio de Respaldo es la energía adicional a la energía suplementaria.

**2.2.12.6 Artículo 6o. Tarifas para los Servicios de Respaldo.** El comercializador que atiende a un auto generador con categoría de Usuario Regulado, para efectos de cobrar el Servicio de Respaldo, aplicará tarifas reguladas como a cualquier otro usuario de su mercado regulado.

Para el auto generador con categoría de Usuario No Regulado, las tarifas correspondientes a Servicio de Respaldo se acuerdan libremente entre las partes y podrán considerar entre otros los siguientes conceptos de costos: Cargos por Uso del STN, Cargos por Uso de los STR y SDL, Costos por Pérdidas de Energía en el STN y en los STR y SDL (acumuladas hasta el nivel de tensión en que se preste el servicio), Costo de la Energía Suministrada y los demás cargos que enfrente quien preste el respaldo por concepto de otros servicios tales como: despacho, reconciliaciones y adicionalmente un cargo por concepto de comercialización.

Cuando se establezcan Cargos Horarios por uso de los STR y SDL se podrán acordar tarifas horarias por Servicio de respaldo.

**2.2.12.7 Artículo 7o. Sistemas de Medida.** El auto generador debe contar con equipos de medición horaria de energía.

**2.2.12.8 Artículo 8o. Venta de Excedentes.** El auto generador, de acuerdo con la definición consignada en el Artículo 1o. de la presente Resolución, no puede vender parcial o totalmente su energía a terceros si quiere mantener la categoría de auto generador. No obstante, en situaciones de racionamiento declarado de energía, los Autogeneradores podrán vender energía a la Bolsa en los términos comerciales que se definan en el respectivo estatuto.

**2.2.12.9 Artículo 9o. Otras Reglas Aplicables.** En cuanto a los productores para uso particular, los propietarios u operadores de las plantas a que se refiere la presente Resolución, darán cumplimiento a lo ordenado en el Artículo 16o. de la Ley 142 de 1994.

**2.2.12.10 Artículo 10o.** La presente Resolución rige a partir de la fecha de su publicación en el Diario Oficial y deroga las disposiciones que le sean contrarias.[31]

### **2.2.13 Documento CREG 097 de 2014**

En concordancia con la ley 1715 de 2014 el documento 097 de la CREG publicado el 23 de Diciembre de 2014 estipula las siguientes pautas para el uso de las FNCER.

#### **2.2.13.1 Objetivo**

Adoptar la reglamentación que se aplicara a agentes que lleven a cabo la actividad de autogeneración, a gran escala, defendiendo los principales requisitos para ejercer la misma en Colombia.

Establecer el mecanismo para que los agentes que se constituyan como autogeneradores, clasificados como de gran escala, puedan entregar los excedentes de energía a terceros.

#### **2.2.13.2 Elementos de análisis.**

Teniendo en cuenta los principios de la eficiencia económica, suficiencia financiera, estabilidad, neutralidad, transparencia, simplicidad, exigibilidad y consistencia que se definen en la ley 142 y 143 de 1994 y los elementos definidos por el decreto 2469 del 2014 se busca establecer la normatividad de la actividad de autogeneración y entrega de excedentes de energía a los agentes que se constituyan en autogeneradores en el mercado colombiano.

La reglamentación propenderá por generar incentivos para la participación de dichos agentes en un marco de competencia en el mercado, sin generar distorsiones en el mismo. En esta medida, el propósito es utilizar los recursos más eficientes en la actividad de generación de energía eléctrica.

#### **2.2.13.3 Definición de entrega de energía a la red**

De acuerdo a lo establecido en el artículo 1 del Decreto 2469 del Ministerio de Minas y Energía “La CREG tendrá en cuenta que estos tengan las mismas reglas aplicables a una planta de generación con condiciones similares en cuanto a la cantidad de energía que entrega a la red “por lo tanto se hace necesario tener una definición de entrega de energía a la red para lo cual se evaluaron tres posibilidades.

Primero, definir la cantidad entregada para realizar el despacho con la información declarada por el agente por día en este sentido se llevara a cabo el proceso de despacho con la información más cercana a la real. No obstante, siendo una medida diaria y dado que con base en la cantidad de energía se definiría si la planta accede al despacho centralizado o no, se identifica que con esta alternativa se afectaría los procesos definidos para las plantas que se encuentran en el despacho centralizado como son la programación de mantenimientos, la realización de pruebas de estatismo, las pruebas de energía reactiva que requieren procesos con un periodo de duración mayor a un periodo diario.

Como segunda medida se analizó la posibilidad de realizar una medida mensual de la cantidad de energía entregada a la red. Sin embargo, en esta alternativa se seguirían presentando las mismas dificultades mencionadas para la primera alternativa, si bien la posibilidad de cambio se reduciría a un periodo mensual, la organización y programación de los procedimientos del despacho central seguirán presentando los mismos inconvenientes.

En tercer lugar se consideró la alternativa de la declaración realizada por el agente autogenerador de la cantidad de energía que entrega a la red. Esta opción presenta algunas ventajas frente a las anteriores. Permite establecer con certitud la forma en la que va a estar despachada una planta, facilitando la programación de los procedimientos respectivos al despacho centralizado. No requiere un proceso de medición periódico de la energía que entrega a la red el autogenerador, en esta medida el proceso de medición es más sencillo para el operador del sistema. En esta alternativa, se reconoce la posibilidad de realizar cambios de declaración, para lo cual el auto generador deberá presentar los mismos con una anticipación de seis meses al CND. [32]

#### **2.2.14 Beneficios Tributarios**

Son muy pocos los beneficios que hasta ahora se han otorgado en el país para la implementación de sistemas basados en energía solar, se han propuesto algunos incentivos para la promoción de estas tecnologías e ir afianzando la energía solar en el territorio colombiano, como un método de divulgación y aceptación técnica y comercial.

A continuación se presentan algunos beneficios que se han otorgado para la implementación de energías renovables o limpias en Colombia.

En el Estatuto Tributario se hace relación a lo siguiente:

##### **2.2.14.1 Artículo 158-2. Deducción por inversiones en control y mejoramiento del medio ambiente:**

Las personas jurídicas que realicen directamente inversiones en control y mejoramiento del medio ambiente, tendrán derecho a deducir anualmente de su renta el valor de dichas inversiones que hayan realizado en el respectivo año gravable, previa acreditación que efectúe la autoridad ambiental respectiva, en la cual deberán tenerse en cuenta los beneficios ambientales directos asociados a dichas inversiones.

El valor a deducir por este concepto en ningún caso podrá ser superior al veinte por ciento (20%) de la renta líquida del contribuyente, determinada antes de restar el valor de la inversión.

#### **2.2.14.2 Artículo 428.** Importaciones que no causan impuesto:

i) La importación de maquinaria y equipos destinados al desarrollo de proyectos o actividades que sean exportadores de certificados de reducción de emisiones de carbono y que contribuyan a reducir la emisión de los gases efecto invernadero y por lo tanto al desarrollo sostenible.

Por otra parte, el proyecto de acuerdo No. 162 de 2008, "Por medio del cual se establecen unos incentivos tributarios para quienes modifiquen sus fuentes de generación de energía tradicional a energías alternativas renovables y limpias para generar energía eléctrica y para quienes implementen mecanismos de aprovechamiento óptimo y uso racional y eficiente de energía tradicional que disminuyan el impacto ambiental", hace referencia a lo siguiente: *Alerta Tecnológica Normatividad sobre energía solar térmica y fotovoltaica*

*Para los usuarios directos (que tengan celdas solares en su poder), el beneficio está en que una vez adquiridas las celdas, no se volverá a pagar más dinero (a excepción del mantenimiento) por kWh, contrario a lo que pasa con la energía eléctrica normal, la cual tiene un costo mensual de acuerdo al número de kWh consumidos.[33]*

El Ministerio de Minas y Energía, el Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas No Interconectadas – IPSE y la Unidad de Planeación Minero Energética – UPME, en años anteriores han realizado publicaciones con el objetivo no solo de promocionar los Fondos de Apoyo Financiero del sector sino de enseñar cómo deben presentarse los proyectos de acuerdo con la normatividad de cada uno de ellos y así contribuir al mejoramiento en la cobertura de los servicios públicos de Energía Eléctrica y Gas Combustible.

Los beneficios tributarios otorgados por el Ministerio de Hacienda y Crédito público no cobijan a las instituciones públicas como la uptc ya que estas no declaran renta y los beneficios contemplados por este están enfocados a un descuento del 50% en la declaración de renta durante 5 años. Para acceder a financiación de este tipo de proyectos podemos acceder a los siguientes fondos de apoyo a proyectos.

### 3. ESTUDIO TECNICO

#### 3.1 UBICACIÓN DEL ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TECNICO ECONOMICO

La universidad pedagógica y tecnológica de Colombia seccional Sogamoso se encuentra ubicada en la Calle 4 A Sur No. 15-134, a 5°42'16" latitud Norte y 72°56'32,96" longitud Oeste, su altura es de 2569 msnm y la temperatura promedio diaria es de 18°C.

Figura 16: vista satelital UPTC Seccional Sogamoso

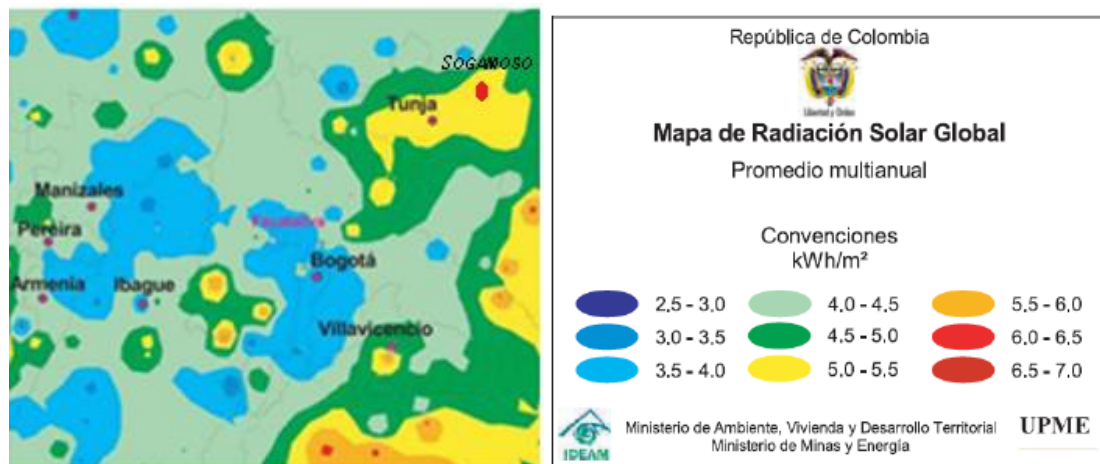


Fuente : Google Earth

#### 3.2 DETERMINACION DE LAS CONDICIONES GEO CLIMATICAS PARA LA CIUDAD DE SOGAMOSO

Para determinar el valor promedio de radiación Solar en Sogamoso se debe acudir al Atlas de Radiación Solar de Colombia desarrollado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM) y la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), en dicho Atlas se observa el valor promedio dado, el cual está determinado por un color específico de acuerdo a la convención, que para el caso puntual de Sogamoso que está ubicado a 75,8 km de Tunja es de entre 4,6 kWh/m<sup>2</sup> como se observa en la figura 17.[10]

Figura 17: Promedio Multianual de Radiación Solar Colombia y Convención de Colores



Fuente: UPME e IDEAM

Para obtener un dato más actualizado, puesto que el Atlas de Radiación Solar de Colombia fue publicado en el año 2005 se puede acudir a la base de datos ofrecida por la NASA, en la cual indicando las coordenadas del lugar que se desea consultar se determina el valor de la radiación Solar promedio mensual y con estos valores se obtienen los datos de Irradiancia promedio mensual como se muestra en la tabla 3 y el anexo A.

Tabla 3: Valores de radiación e Irradiancia solar global promedio en Sogamoso

PERIODO	RADIACION SOLAR MENSUAL PROMEDIO EN kWh/m2	IRRADIANCIA SOLAR MENSUAL PROMEDIO EN W/m2
Enero	5,59064516	465,887097
Febrero	5,26894118	439,078431
Marzo	4,61021505	384,184588
Abril	4,05703297	338,037037
Mayo	4,25290323	354,408602
Junio	4,35813187	362,388889
Julio	4,21967742	351,639785
Agosto	4,41408602	367,840502
Septiembre	4,72626374	393,25
Octubre	4,50301075	375,250896
Noviembre	4,52725275	377,157407
Diciembre	4,65978495	388,315412

Fuente: Los Autores





Figura 19: Tejado edificio de aulas UPTC Seccional Sogamoso



Fuente: Los Autores

Figura 20: Edificios de Aulas UPTC Seccional Sogamoso



Fuente: Los Autores

### 3.4 METODOLOGIA DE DISEÑO

A continuación se presentaran los aspectos a tener en cuenta en un diseño de esta categoría.

#### 3.4.1 Criterios de selección de la carga

Una institución educativa como la Uptc, tiene dentro de su carga instalada circuitos de alimentación correspondientes a los edificios de aulas, laboratorios, talleres, bibliotecas y edificios de oficinas en las cuales el consumo de energía eléctrica corresponde principalmente a computadores de escritorio los cuales son agentes que aumentan la distorsión armónica de la red. Por tal motivo se decidió que el estudio desarrollado en el presente proyecto se enfocara a los bloques de aulas en donde se desarrollan clases magistrales principalmente puesto que estos en su mayoría presentan consumos únicamente por iluminación que son relativamente lineales y los cuales son altos en casi todas las horas del día por tanto se

recomienda que sean usados únicamente en horas en las que no se pueda hacer aprovechamiento de la luz natural y además tienen un alto factor de potencia, se encontró que en el circuito analizado existe presencia de una oficina de organización y sistemas la cual se analizará más adelante.

### 3.4.2 Caracterización de la carga

La Uptc seccional Sogamoso cuenta con tres subestaciones diferentes: una aérea de 150 kVA, una de tipo interior de 125 kVA y una tipo pad mounted de 225 kVA y una carga instalada total de 150000 vatios.

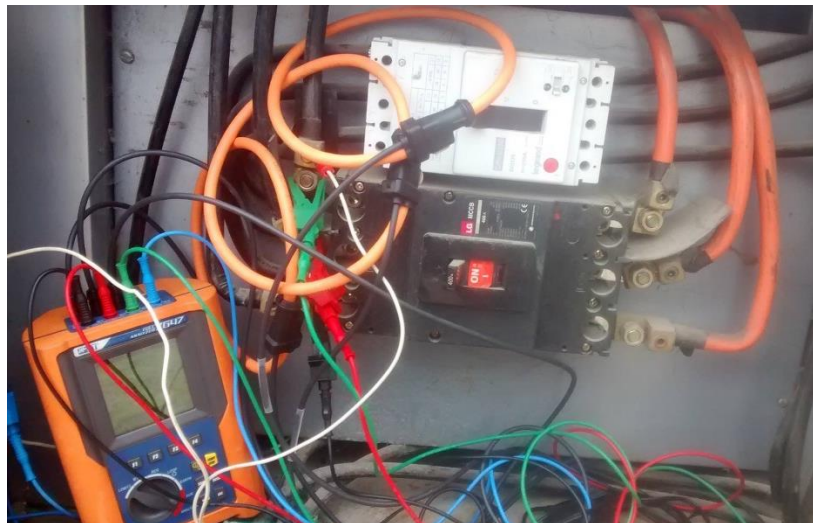
Se tomaron medidas en el medidor de marca ELSTER A # 00086781 correspondiente a la subestación aérea de 150 kVA el cual presenta un consumo promedio de energía de 17440 kWh mensua según datos del recibo de energía. De allí se evidencian dos circuitos ramales los cuales están controlados por dos totalizadores; uno de 250 A que protege la instalación eléctrica del edificio de artes y un segundo de 400 A que controla los bloques de aulas, talleres, laboratorios edificio de bienestar, cafetería y cubículos de profesores del cual se puede observar la siguiente información.

Tabla 5: Potencia y Energía Promedio

P [W]	Q [VAR]	S [VA]	E [Wh]
26980	467,25	26984	6133,083

Fuente: Los Autores

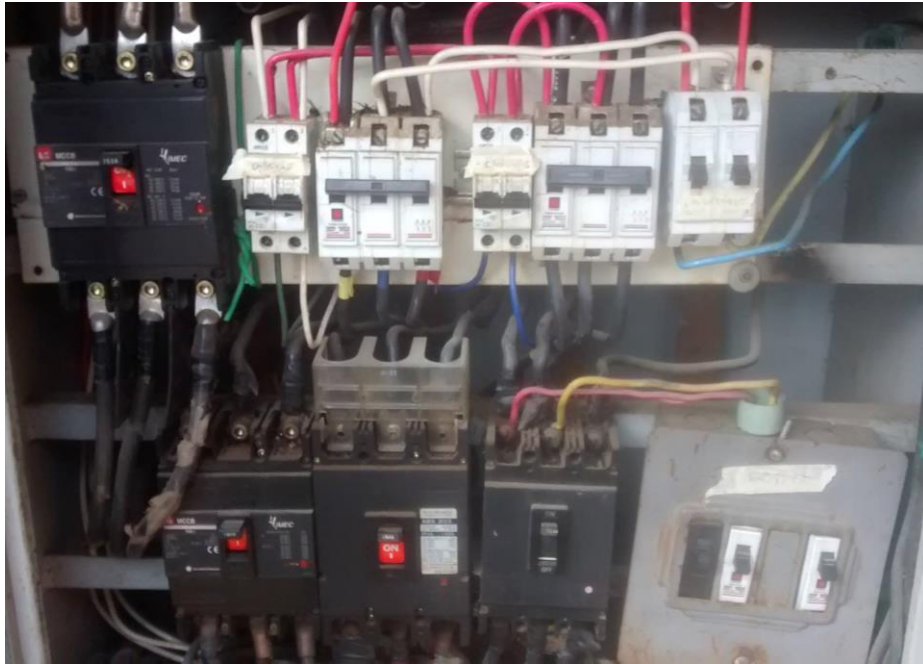
Figura 21: interruptores de 400 A (negro) y 250 A (blanco) conectado al equipo analizador de redes



Fuente: Los Autores

En seguida se realizó la identificación de los circuitos presentes en el armario de control, evidenciando la siguiente configuración, documento en pdf legible disponible en anexo B

Figura 22: Tablero de distribución actual de la instalación objeto de estudio



Fuente: Los Autores

Una vez identificado cada uno de los circuitos presentes, se realizó la medición de todos los parámetros en el breaker de 150A ubicado en la esquina superior izquierda de la figura 23, correspondiente al circuito de aulas de clase, iluminación de pasillos, iluminación de baños y una oficina de organización y sistemas. La información obtenida de dicha medición se presenta en la tabla 6 y a partir de esta información se dio inicio a la fase de diseño del proyecto.

Tabla 6: Datos obtenidos con el equipo para cálculo y análisis detallado.

<b>V1[V]</b>	<b>V2 [V]</b>	<b>V3[V]</b>	<b>V12[V]</b>	<b>V23[V]</b>	<b>V31[V]</b>	<b>In[A]</b>	<b>I1[A]</b>	<b>I2[A]</b>
139,1	139,4	139,1	241,1	241,2	240,9	11,4385	13,7455	14,63
	<b>I3[A]</b>	<b>Pt[W]</b>	<b>Eat[Wh]</b>	<b>Qtc[VAR]</b>	<b>St[VA]</b>	<b>Pftc</b>		
	12,6785	4903,85	17930,495	2611	5551,65	0,884		

Fuente: Los Autores

En estas tablas se muestran los parámetros básicos del circuito los cuales serán el insumo de análisis posteriormente.

### 3.4.3 Análisis detallado del consumo energético

Para realizar el diseño de una planta de generación fotovoltaica es indispensable tener una aproximación lo más exacta posible del consumo energético del lugar donde se piensa instalar dicha planta.

Una alternativa para tener la aproximación del consumo energético es realizar una estimación de la carga instalada para la cual se deben tener en cuenta todos los equipos conectados y el tiempo que estos permanecen encendidos.

Otra alternativa más acertada cuando no se pretende alimentar toda la carga con la planta de generación fotovoltaica es tomar medidas a través del tiempo con la ayuda de un analizador de red, este equipo de medida arroja información de suma importancia ya que entrega el comportamiento de todas las variables que influyen en el sistema tales como: potencia activa, potencia reactiva, potencia aparente, factor de potencia, energía y distorsión armónica tanto de tensión como de corriente.

Para el desarrollo del presente trabajo de grado se optó por la opción de conectar el analizador de redes pues debido a que todos los equipos tales como computadores, servidores para internet, iluminación entre otros no se encuentran en funcionamiento al mismo tiempo es más acertado tomar medidas en un periodo de 24 horas que hacer una estimación del número de equipos y la cantidad de tiempo que estos permanecen en funcionamiento.

Se hizo también un breve estudio de cargas del circuito elegido a partir de la demanda máxima y la carga instalada.

En el circuito se encontró:

- 24 aulas cada una con 8 lámparas de 24W y un toma corriente en cada una de ellas.
- 8 pasillos cada uno con 2 lámparas de 24W.
- 2 baños cada uno con dos lámparas de 24 W.
- Un rack de comunicaciones de 1600 W.
- Una central de datos de 1000 W.

Tabla 7: Calculo de la demanda máxima

	Cantidad	NºTomas	NºLámparas	P lámparas	P tomas	Total
Aulas	24	1	4	24 W	162 W	6192 W
Pasillos	2	0	8	24 W	162W	384 W
Baños	2	0	2	24 W	162W	96 W
Rack	1	0	0	0	0	1100 W
Central	1	0	0	0	0	1000 w
Pc's	5	0	0	0	0	500 W
W					Total	9272 W

Fuente: Los autores

$$D_{max} = 3000 + (6272 * 0,35) = 5195 W$$

A continuación se presenta el cálculo de la demanda máxima sin tener en cuenta los equipos conectados en la oficina de organización y sistemas (por ser no lineales) lo cual demuestra lo siguiente:

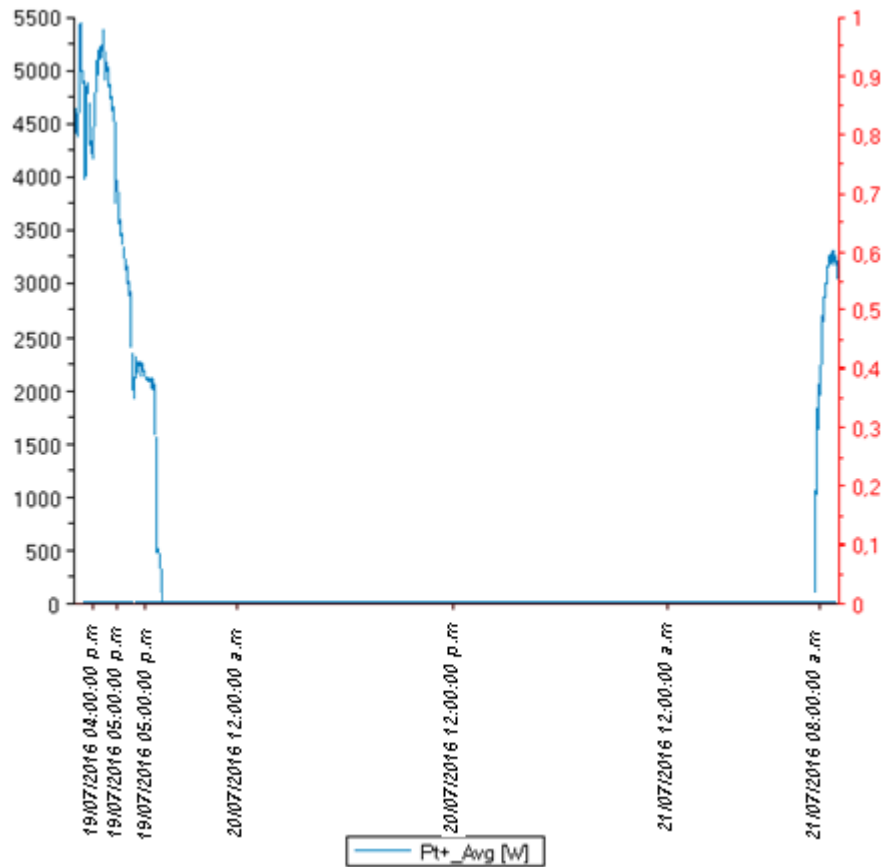
$$D_{max} = 3000 + (3672 * 0,35) = 4285 W$$

Este cálculo será importante una vez se conozca la distorsión armónica generada por dicha oficina.

Teniendo en cuenta que al realizar la conexión del analizador de red y el cálculo de la demanda máxima se evidencio que el consumo energético del grupo de aulas es de aproximadamente 5kW es conveniente realizar el estudio para la implementación de un sistema aislado (OFF GRID), ya que así se suplirá una parte importante de la energía entregada por el operador de red y los costos por prestación del servicio disminuirán considerablemente, se descarta la opción conectado a red( GRID TIE )debido a que la reglamentación actual de nuestro país no es clara, además el mayor consumo en la universidad se da en la noche momento en el que no se puede generar energía eléctrica con la planta solar fotovoltaica y se hace necesario contar con un sistema de almacenamiento de energía.

Con los datos obtenidos del analizador de red (anexo C) y el recibo de pago correspondiente al medidor de energía (anexo D) se construyen las gráficas de demanda horaria del bloque de aulas objeto de estudio.

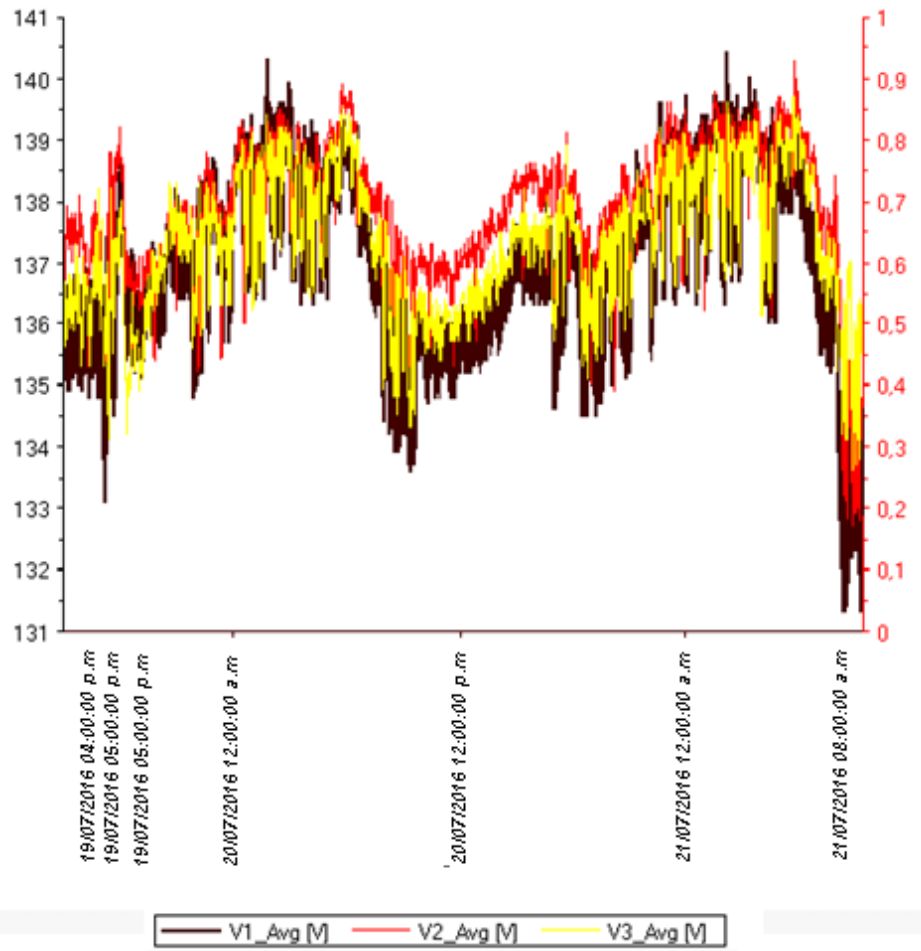
Figura 23: Curva de demanda horaria



Fuente: Los Autores

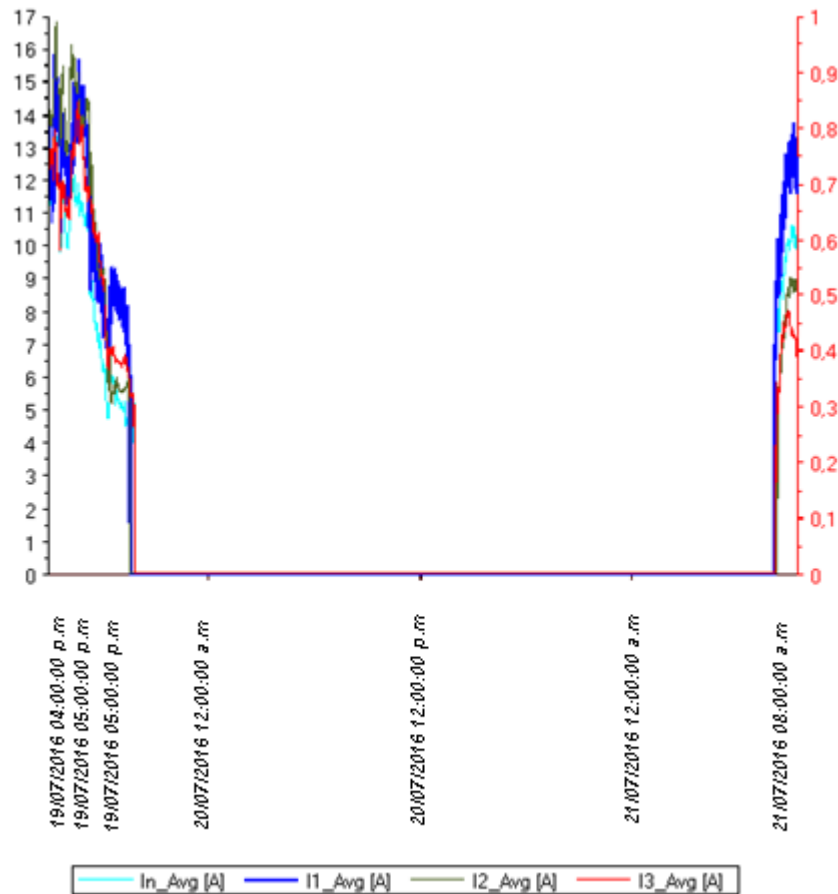
Debido a que las gráficas de tensión y corriente muestran un comportamiento irregular en su forma de onda es importante realizar un análisis de la distorsión armónica de tensión y de corriente para así comparar con los límites de dichas distorsiones permitidos por la norma IEEE 519 y de ser necesario tomar medidas correctivas y realizar un correcto dimensionamiento del sistema fotovoltaico.

Figura 24: Curva de tensión



Fuente: Los Autores

Figura 25: Curva de corriente



Fuente: Los Autores

### 3.4.4 Análisis de la calidad de la energía

#### 3.4.4.1 ¿Cómo evaluar los armónicos en un sistema de potencia?

Se presenta el análisis de aplicación práctica de la referencia IEEE 519-92 tomada por las actuales regulaciones para la calidad de la energía suministrada por un Operador de Red.

Se calcularon los valores de THDv y TDD y fueron comparados con los valores límite definidos por el IEEE 519-92, con el propósito de definir criterios de mejoramiento de las señales o sobredimensionamiento de la planta de generación planteada en el presente proyecto.

Desde el año 1995 se han venido desarrollando en Colombia regulaciones dirigidas a garantizar la calidad de la energía eléctrica, dentro de este proceso la comisión



de regulación de energía y gas (CREG) introdujo a la IEEE 519-92 [34] como referencia para el control de las distorsiones armónicas en tensión y corriente, sin embargo, hasta el momento la aplicación práctica del estándar por parte de los operadores de red y los clientes ha sido limitada debido a restricciones en su contenido identificadas a través por literatura técnica.[35]

Definición del valor de THDv a ser utilizado para la comparación de los límites.

Con el fin de determinar cuál es el valor de THDv que debe ser utilizado para la evaluación de las distorsiones armónicas en tensión respecto del límite definido por IEEE se analizaron cuatro valores estadísticos: El valor mínimo, el valor medio, el valor máximo y el valor del percentil del 95% del total de la muestra para cada caso, de lo cual se elaboró la tabla 8 (para 8 mediciones).

Los análisis indican que el valor mínimo o el valor máximo no reflejan en manera alguna el comportamiento de las distorsiones armónicas debido a que estos valores pueden corresponder a estados no permanentes de la carga y por tanto se puede subestimar el efecto de los armónicos (caso del valor mínimo) o bien sobrevalorarlos (en el caso del valor máximo). [34]

Tabla 8: Cuadro comparativo de valores de THDv.

ID	Tipo Cliente	Nivel de tensión	Valor de THDv			
			Máx	Media	Min	[95%]
88	Industrial	34500	6.4%	5.0%	3.8%	6.0%
81	Industrial	34500	5.7%	4.5%	3.3%	5.3%
99	Industrial	11400 - 13200	5.4%	3.1%	2.4%	5.2%
45	Industrial	208-220	7.5%	6.6%	5.5%	7.3%
42	Comercial	208-220	5.9%	4.4%	3.5%	5.3%
64	Industrial	208-220	5.7%	4.2%	3.1%	5.3%
14	Industrial	440	7.1%	6.0%	4.8%	6.7%
62	Industrial	440	10.2%	5.4%	1.3%	10.0%

Fuente:

<http://www.waterymex.org/contenidos/rtecnicos/Optimizando%20la%20Operacion%20y%20el%20Mantenimiento/Distorsion%20Armonica.pdf>

El valor medio (percentil del 50%) tiene el problema que no refleja un valor que permita definir un espectro real de puntos en donde se presentan valores altos de armónicos. En la tabla 6 se muestra que evaluando el percentil del 50% sólo se detectan la mitad de los clientes en cuyos PCC se presentan valores altos de THD.

El valor del percentil del 95% no solo refleja la misma cantidad de valores que evaluar los valores máximos sino que permite eliminar el efecto de valores instantáneos sobre una valoración de las contaminaciones armónicas en un punto, y por tanto es el valor recomendado por el autor para la comparación contra los límites definidos por el estándar IEEE. Este mismo valor estadístico fue aplicado durante el análisis para los valores de TDD de las muestras. Finalmente se recomienda que para las valoraciones de las distorsiones armónicas se utilice la expresión THDv [95%] o TDD [95%], las cuales indican que el valor corresponde al valor del percentil del 95%.

Con base en la información suministrada por el analizador de redes eléctricas HT analyzer ZG 47 se realizó un análisis detallado de cada una de las variables presentes en el circuito de aulas objeto de estudio en el cual se dio especial importancia a la información sobre la distorsión armónica presente en la red, se realizó un análisis matemático para determinar el porcentaje de armónicas tanto de tensión como de corriente el cual se presenta a continuación.

#### 3.4.4.2 Distorsión Armónica en Tensión

$$\beta = \frac{V_{12}^4 + V_{23}^4 + V_{13}^4}{(V_{12}^2 + V_{23}^2 + V_{13}^2)^2}$$

Donde beta es:

$$\beta = \frac{241,1 V^4 + 241,2 V^4 + 240,9 V^4}{(241,1 V^2 + 241,2 V^2 + 240,9 V^2)^2} = 0,3333$$

$$\%V = \frac{\sqrt{1 - \sqrt{3 - 6\beta}}}{\sqrt{1 + \sqrt{3 - 6\beta}}}$$

$$\%V = \frac{\sqrt{1 - \sqrt{3 - 6 * 0,333}}}{\sqrt{1 + \sqrt{3 - 6 + 0,333}}} = 0,49790229\%$$

Al comparar estos valores con la información ofrecida por la IEEE 519 contenida en la tabla 9 tenemos que este valor no excede el 5% de distorsión armónica en tensión permitida por la norma por lo cual se continuó en el diseño de la planta

Tabla 9: Límites de distorsión armónica en tensión

<b>Límites de Distorsión Armónica en Voltaje en % del voltaje nominal</b>		
<b>Nivel de tensión en la Acometida (<math>V_n</math>)</b>	<b>Distorsión armónica individual</b>	<b>Distorsión armónica total THD <math>V_n</math></b>
$V_n \leq 69$ kV	3.0%	5.0%
$69$ kV < $V_n \leq 161$ kV	1.5%	2.5%
$V_n > 161$ kV	1.0%	1.5%

Fuente: IEEE 519 Recuperado de:

<http://www.waterygymex.org/contenidos/rtecnicos/Optimizando%20la%20Operacion%20y%20el%20Mantenimiento/Distorsion%20Armonica.pdf>

### 3.4.4.3 Distorsión Armónica en Corriente

Se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$TDD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_L} \times 100\%$$

Dónde:

TDD: Tasa total de distorsión en corriente demandada.

I<sub>h</sub>: Magnitud de componente armónico individual (rms)

h: Orden del armónico

I<sub>L</sub>: Máxima corriente de demanda (rms)

O bien a partir de la siguiente ecuación teniendo en cuenta los valores de THDi capturados por un analizador de red:

$$TDD_i = \frac{THD_i * I_{1i}}{I_L} \times 100\%$$

Dónde:

TDD<sub>i</sub>: Tasa de distorsión total de la corriente demandada en el instante i

THD<sub>i</sub>: Tasa de distorsión de la señal de corriente en el instante i calculada por el analizador de red

I<sub>1i</sub>: Corriente fundamental de la señal de corriente en el instante i

I<sub>L</sub>: Corriente máxima demandada, calculada como la corriente máxima sostenida en un 95% del tiempo de la medida

Donde I<sub>L</sub> se reemplaza por el valor máximo de corriente en cualquiera de las líneas y que corresponde a 14,63 A. [34]

Se recomienda utilizar el valor del percentil del 95% de la corriente medida según los tiempos de medida mínimos descritos en la tabla 10.

Tabla 10: Tiempos mínimos de captura de información.

<i>Tipo de cliente</i>	<i>Tiempo mínimo de medida</i>	<i>Tiempo mínimo entre mediciones</i>	<i>Tiempo óptimo entre mediciones</i>
Residencial	24 Horas	00:01:30	00:00:30
Comercial	48 Horas	00:03:00	00:01:00
Industrial	72 Horas	00:04:30	00:01:30

Fuente: Fredy A Castro R. Ingeniero electricista Universidad Nacional 1997.

Se estudió como instalación de tipo residencial ya que las cargas conectadas son en su mayoría de iluminación y tomas.

Para la aplicación de los límites de TDD propuestos por IEEE se tiene una dependencia directa de los valores de corriente de cortocircuito en el Punto de Conexión Común (PCC), los cuales no son de fácil acceso para los evaluadores debido a restricciones o inexistencia de esta información por parte de los operadores de red y por tanto se realizó el cálculo del porcentaje de distorsión con miras a un criterio de diseño de la planta.

Definir valores mínimos de capacidad de cortocircuito en las redes, que deben ser cumplidas por los operadores de red reduce el efecto que la presencia de armónicos sobre las redes de menor capacidad y que en ocasiones son las más desatendidas por los operadores de red.

Establecer la obligatoriedad de la publicación o disponibilidad oportuna de los valores de cortocircuito permitirá contar con la información suficiente para determinar de forma objetiva el cumplimiento o no de los límites establecidos en una regulación de carácter obligatorio.

Los límites permitidos son los mostrados en la tabla 11.

Tabla 11: Límites de distorsión armónica en corriente

$I_{ce}/I_L$	TDD	$h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$h \geq 35$
$V_n \leq 69 \text{ kV}$						
<20	5.0%	4.0%	2.0%	1.5%	0.6%	0.3%
20-50	8.0%	7.0%	3.5%	2.5%	1.0%	0.5%
50-100	12.0%	10.0%	4.5%	4.0%	1.5%	0.7%
100-1000	15.0%	12.0%	5.5%	5.0%	2.0%	1.0%
>1000	20.0%	15.0%	7.0%	6.0%	2.5%	1.4%
$69 \text{ kV} < V_n \leq 161 \text{ kV}$						
<20*	2.5%	2.0%	1.0%	0.75%	0.3%	0.15%
20-50	4.0%	3.5%	1.75%	1.25%	0.5%	0.25%
50-100	6.0%	5.0%	2.25%	2.0%	0.75%	0.35%
100-1000	7.5%	6.0%	2.75%	2.5%	1.0%	0.5%
>1000	10.0%	7.5%	3.5%	3.0%	1.25%	0.7%
$V_n > 161 \text{ kV}$						
<50	2.5%	2.0%	1.0%	0.75%	0.3%	0.15%
$\geq 50$	4.0%	3.5%	1.75%	1.25%	0.5%	0.25%

Fuente: IEEE 519

Después de calcular el porcentaje de distorsión de corriente TDD y teniendo en cuenta que el estudio tuvo como finalidad el diseño de una planta solar fotovoltaica se decidió con base en la experiencia utilizar un inversor que fuese capaz de soportar la distorsión armónica existente que se muestra en la tabla 12.

Tabla 12: Porcentaje de distorsión armónica en corriente

Fuente: Los Autores

Tiempo	V12 prom [V]	V23 prom [V]	V31 prom [V]	%V (%de Distorsión)	In[promA]	TDD1	TDD2	TDD3
24 horas	241,1	241,2	240,9	0,4979	11,438	35,779	35,213	34,131

Con base en los resultados obtenidos en el estudio de calidad de la energía se decidió trasladar el aula de organización y sistemas al barraje principal de la instalación puesto que es la única carga no lineal en el circuito que podría generar los altos niveles de distorsión armónica en la red.

Siendo así se tendría una demanda máxima estimada de 4285 W en iluminación y tomas; y una demanda máxima de 4903 W medida por el analizador de redes por lo que atendiendo a un criterio muy conservador se tomó como valor de diseño los 4903 W.

### **3.4.5 Dimensionamiento de la instalación fotovoltaica**

#### **3.4.5.1 Criterios de selección de equipos.**

La metodología de diseño utilizada para el cálculo de algunos de los componentes del sistema fotovoltaico se tomó del proyecto de grado “Estudio técnico y financiero de implementación de paneles solares enfocado a centros comerciales” [35] también se tomaron en cuenta opiniones de expertos en el tema los cuales fue de gran ayuda en el desarrollo de este capítulo.

#### **3.4.5.2 Dimensionamiento de los Paneles Solares**

Ahora se verán las principales características a definir al momento de dimensionar e instalar los paneles solares.

##### **Inclinación de los Paneles Solares**

El valor de irradiación que incide sobre un módulo fotovoltaico depende de la inclinación que adopte el panel y por lo tanto del ángulo de incidencia  $\theta$  entre la normal a la superficie del módulo y el haz de radiación solar [35]. Normalmente, si se pretende un diseño óptimo la inclinación que habrá que proporcionarle al panel solar será igual a la latitud del lugar siempre y cuando no sea inferior a  $10^\circ$ , como se puede ver en este caso esta corresponde a  $5^\circ 42' 16''$  por lo cual la inclinación del panel será de  $10^\circ$ .

##### **Orientación de los Paneles Solares**

En países del hemisferio norte la orientación debe ser directamente hacia el sur, en los países del hemisferio sur la orientación debe ser directamente hacia el norte. Las desviaciones hacia el oriente o hacia el occidente (medidos a partir del sur o del norte dependiendo de la ubicación del lugar) en un ángulo no mayor a  $30^\circ$  hacen que el valor de irradiación diaria disminuya en un valor inferior al 5%; si la desviación es mayor a  $30^\circ$  las pérdidas de irradiación pueden ser considerables. Colombia se encuentra en el hemisferio norte por lo cual la orientación de los paneles será hacia el sur.

##### **Aporte Diario de potencia de Paneles Solares en la zona.**

La intensidad de corriente de un panel solar varía con el nivel de radiación, y ya que la tensión es constante siempre y cuando incida radiación sobre el panel, es suficiente conocer este valor para obtener la potencia eléctrica que se proporciona, pues la intensidad de corriente eléctrica es proporcional a la radiación que incide sobre el panel solar.

Los fabricantes de paneles solares en la hoja de características nominales suministran la intensidad de corriente que proporcionan sus paneles a una irradiancia de  $1000 \frac{W}{m^2}$  y 25 °C de temperatura en el panel y masa de aire de 1,5.

### Número de Paneles Solares

El número de paneles solares necesarios se puede determinar conociendo el aporte individual de cada panel y el valor de la carga eléctrica en A \* h diario que se necesita suplir, es decir el consumo medio diario del lugar en el cual se va a instalar el sistema fotovoltaico; se debe tener en cuenta que este consumo en A \* h es en corriente continua (CC), y en caso de tener cargas en corriente alterna (CA) acopladas mediante un inversor se debe hallar el equivalente en corriente continua mediante la fórmula:

$$IDC = VAC * IAC / VDC * \eta$$

Dónde:

$\eta$ : es el rendimiento del inversor.

Teniendo la carga total diaria en A \* h se halla el número de paneles necesario, como un factor de seguridad se agrega un 40%, para cubrir las pérdidas y garantizar la carga de las baterías después de un período de baja radiación.

$$N_p = 1,4 * \frac{\text{Consumo medio diario en A * h}}{\text{Aporte de un panel en A * h diario}}$$

O con potencias:

$$N_p = 1,4 * \frac{\text{Consumo medio diario en kWh día}}{\eta * \text{Aporte de un panel en kWh día}}$$

Donde el consumo medio diario en kWh día es el consumo de la carga en AC.

#### 3.4.5.3 Capacidad de la Batería

Dimensionar baterías para un sistema fotovoltaico requiere conocer factores como el consumo medio diario o la cantidad de carga que se requiere abastecer diariamente, además de que cada tipo de batería posee una profundidad de descarga y los días de autonomía de la batería para los días nublados y de lluvia donde la captación de energía es baja.

La capacidad de la batería se determina con la siguiente ecuación:

$$C = C_{sa} + C_a$$

Donde  $C_{sa}$  es la capacidad de la batería en A \* h sin tener en cuenta la descarga y  $C_a$  es la auto descarga en A \* h, las cuales se calculan con las siguientes ecuaciones:

$$C_{sa} = \frac{\text{Consumo medio diario en A * h * Número de días de autonomía}}{\text{Profundidad de descarga}}$$

La auto descarga en A\*h se calcula de la siguiente forma:

$$C_a = \frac{C_{sa} * \text{Número de días de autonomía} * \text{Autodescarga mensual}}{30}$$

El número 30 de la anterior ecuación corresponde a los días del mes. Si  $C_a$  equivale a menos del 5% de  $C_{sa}$ , se puede despreciar.

### **Diseño del Banco de Baterías**

Al tener la capacidad nominal de la batería que se va a utilizar, así como su tensión nominal y el número de baterías necesarias se debe confrontar la tensión nominal de la batería con la tensión nominal del sistema en DC para determinar el número de baterías que van a ser conectadas en serie así como también la cantidad de grupos de baterías en serie que van a existir.

#### **3.4.5.4 Regulador de Carga**

Los principales factores para escoger un regulador de carga son la tensión nominal y la capacidad de corriente, para hallar el nivel de corriente requerido se procede de la siguiente forma sin olvidar el factor de seguridad de 1,25 para manejar la corriente excesiva ocasional:

$$I_{regulador} = 1,25 * ICC * NPR$$

Dónde:

NPR = número de paneles conectados al regulador. [35]

#### **3.4.5.5 Sistemas de Protección**

Se debe instalar interruptores aisladores de circuitos (circuit breakers) y fusibles apropiados, estos pueden o no estar incluidos dentro de la caja del regulador.

Los conjuntos fotovoltaicos instalados en el tejado deben tener protección contra fallas a tierra para reducir el riesgo de incendio. El circuito de protección contra fallas a tierra debe ser capaz de detectar una falla a tierra, abrir el circuito y desactivar el conjunto (Art. 690-5 Norma NTC 2050). [37]

Los fusibles e interruptores o interruptores automáticos deben cumplir con los Artículos 690-16 y 690-17 de la Norma NTC 2050 respectivamente. [37]



Los medios de desconexión de los conductores no puestos a tierra deben consistir en uno o varios interruptores o interruptores automáticos accionables manualmente y:

- a) Ubicarse donde sean fácilmente accesibles,
- b) Ser accionables desde el exterior sin que el operador se exponga al contacto con partes energizadas,
- c) Estar claramente rotulados para indicar cuando están en posición de abierto o cerrado y,
- d) Tener una corriente nominal de interrupción suficiente para la tensión nominal del circuito y para la corriente disponible en los terminales de línea de los equipos. [37]

### **3.4.5.6 Sistema de Puesta a Tierra**

Según el Artículo 690-41 de la Norma NTC 2050 en todas las fuentes de energía fotovoltaica debe haber un conductor de un sistema bifilar de más de 50 V nominales y el conductor del neutro de un sistema trifilar que estén sólidamente puestos a tierra. [37]

La conexión a puesta a tierra del circuito de c.c. se debe hacer en cualquier punto del circuito de salida fotovoltaico, ubicando este punto lo más cerca posible a la fuente fotovoltaica, el sistema quedara mejor protegido contra las posibles subidas de tensión producidas por los rayos.

Todas las partes expuestas metálicas no portadoras de corriente de los bastidores de los módulos, equipos, y encerramientos de conductores, independientemente de su tensión se deben poner a tierra según lo expuesto en el Artículo 690-43 de la Norma NTC 2050. [37]

La instalación del electrodo del sistema de puesta a tierra debe cumplir con los Artículos 250-81 a 250-86 de la Norma NTC 2050. [37]

### **3.4.5.7 Mantenimiento de la Instalación Fotovoltaica**

Se debe realizar un mantenimiento preventivo de la instalación 3 veces al año para detectar y corregir pequeños problemas de componentes eléctricos y mecánicos antes de que se pueda presentar una falla total en la operación del sistema. La revisión se puede realizar por medio de un multímetro y de observación:

- Revisar todas las conexiones del sistema, tener especial cuidado con la corrosión.
- Revisar continuidad del cableado.

- Verificar el nivel de gravedad específica del electrolito en la batería de acuerdo con las recomendaciones del fabricante después de una recarga completa al banco de baterías.
- Observar el nivel de electrolito en cada vaso de la batería y llenar hasta el nivel adecuado cerciorándose de que las placas estén siempre sumergidas.
- Inspeccionar ventilación apropiada de las baterías, verificar que no hayan conexiones sueltas ni corrosión, engrasar bornes de las baterías con regularidad.
- Tomar muestras de la tensión de cada batería bajo carga, si se presenta una diferencia de tensión en una batería mayor al 10% del promedio de tensión de las demás baterías ésta tiene un problema y se debe consultar al fabricante o distribuidor.
- Realizar mediciones de corriente y tensión en los módulos, preferiblemente en condiciones cercanas a IMP y VMP.
- Revisar el sistema de cableado, especialmente el que está expuesto a la intemperie al sol y a la corrosión, ya que si se forman grietas en el cableado se puede presentar pérdidas de energía.
- Inspeccionar que las cajas de conexiones de los paneles, reguladores e inversores estén correctamente selladas.
- Verificar que la estructura de soporte y anclaje de los módulos se encuentre en buen estado, sin corrosión y sin piezas flojas o sueltas.
- Inspeccionar el estado de los módulos y verificar si hay celdas rotas o descoloradas. En caso de módulos rotos reemplazarlos inmediatamente.
- Revisar la operación de los interruptores y fusibles como también el estado de los contactos y fusibles corroborando que no se presente corrosión.

Adicionalmente se deben lavar los paneles esporádicamente con agua y un trapo suave al amanecer, al atardecer o en la noche cuando éstos no estén calientes para evitar choque térmico. En países tropicales ubicados sobre la línea del ecuador como Colombia donde el ángulo de inclinación varía entre 10 y 15 ° con respecto a la horizontal se deben limpiar los paneles con más frecuencia ya que esta leve inclinación no permite un auto lavado efectivo por lluvia. [36]

### 3.4.5.8 Análisis Energético

Cuando se habla de análisis energético se trata de definir la carga que se va a suplir con el sistema FV basándose en la disponibilidad energética solar que haya y el consumo del sistema a suplir como ya se mostró en capítulos anteriores.

### Energía Consumida

En sistemas FV es necesario tener un registro o estimación de la energía consumida lo más exacto posible para cuestiones de dimensionamiento de los elementos del mismo.

### 3.4.5.9 Disponibilidad Energética

Ahora se verá cuanta energía puede llegar a generarse. Esta capacidad depende del área que se tenga disponible para usar tanto como del tipo de panel que se vaya a usar.

### Dimensionamiento de los equipos:

- a) **Área Disponible:** Se puede considerar como área disponible para uso en la instalación de paneles fotovoltaicos toda aquella zona del tejado que no reciba sombra alguna, que posea la orientación adecuada y que no esté siendo utilizada para otros fines como lo son los techos de los bloques de aulas suman  $1500 \text{ m}^2$
- b) **Tipo de Panel Usado:** Se escoge un panel policristalino (por su eficiencia aproximada 16 % y por presentar un precio por Wp bajo) con dimensiones aproximadas de  $1.5 * 1 \text{ m}$  y potencia nominal de 210 Wp (a radiación de  $1000 \text{ W/m}^2$ )  $\pm 5\%$ .

Para hallar el aporte de potencia diaria de cada panel fotovoltaico de forma similar a como se hizo anteriormente se tiene que:

$$PDU = \frac{RD * Pn}{1 \text{ kW/m}^2} = \frac{4\text{kWh/m}^2\text{diario} * 210\text{W}}{1 \text{ kW/m}^2} = 840 \text{ Wh diario}$$

Dónde:

PDU: Potencia diaria aportada por un panel.

RD: Radiación solar en la zona tomando un factor conservador de 4 y no  $4,6 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$  que corresponde a la zona.

Pn: Potencia pico nominal del panel.

Esto quiere decir que se van a tener 840 Wh diario para un área de  $1,5 \text{ m}^2$ .

**Carga Disponible:** La carga disponible está determinada por el número máximo de paneles (NMP) que pueden usarse. Este número máximo se calcula con el área disponible y el área de un solo panel, de la siguiente forma:

$$NMP = \frac{\text{Área disponible}}{\text{Área de un panel}}$$

$$NMP = \frac{1500\text{m}^2}{1,5\text{m}^2} = 1000 \text{ paneles}$$

Entonces:

$$\text{Carga Disponible} = \frac{NMP * PDU}{1,3}$$

$$\text{Carga Disponible} = \frac{1000 * 0,84 \text{ kWh} * \text{día}}{1,3} = 646,15 \text{ kWh} * \text{día}$$

**Aclaración:** Suponiendo que el sistema presenta unas pérdidas del 30%, se divide en 1,3 para cobijarlas; estas pérdidas dependen del rendimiento del inversor, baterías y cableado.

#### 3.4.5.10 Carga a Suplir

Para determinar la carga a suplir se hace un contraste entre la energía consumida y la energía disponible para ver si se alcanza a suplir toda la energía necesitada o parte de ella.

Para continuar el diseño que se está trabajando se puede ver que la carga disponible puede suplir la totalidad de la carga consumida en el grupo de aulas de la uptc seccional Sogamoso. [36]

Tabla 13: Energía Disponible

Energía disponible [kWh*día]	Energía a suplir [kWh]
646,15	17,930

Fuente: Los Autores

La energía a suplir corresponde al percentil 95 de los datos obtenidos en una medición de un día. Y se evidencia que si es posible suplir la carga demandada en la universidad.

#### 3.4.5.11 Cantidad de paneles definitivos

$$N_p = \frac{17,93\text{kWh} * 1000 \text{ paneles}}{646,15 \text{ kWh}} = 27,74 \text{ paneles} \cong 28 \text{ paneles}$$

Los cuales se ubicaran en 4 grupos de 7 paneles en paralelo debido a que la corriente total que circularía al ubicar todos los paneles en un solo grupo seria de

245 A y las borneras de conexión comerciales para estos sistemas no soportan este nivel de corriente.

#### 3.4.5.12 Banco de Baterías

**Tipo de Batería Seleccionada:** Batería estacionaria abierta, bajo mantenimiento, de 12 V y 150 Ah, Se selecciona esta batería porque el sistema estará bajo continua supervisión además de ser el un tipo de batería económico respecto a otros, se hará un banco de baterías para cada grupo de paneles.

**Capacidad del Banco de Baterías:** Para dimensionar el banco de baterías en la instalación fotovoltaica es necesario calcular la corriente que la carga en AC va a tomar de la batería con la fórmula:

$$\text{Corriente de cada banco de baterias} = \frac{210 \text{ Wp} * 7 \text{ paneles}}{24 \text{ V}} = 61,25 \text{ A}$$

$$\text{Capacidad de cada banco de baterias} = 61,25 \text{ A} * \frac{4,6 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}}{0,3} = 939,16 \text{ Ah}$$

#### 3.4.5.13 Numero de baterías

$$\text{Numero de baterias} = \frac{939,16 \text{ Ah}}{150 \text{ Ah}} * 2 = 12,52 \cong 14 \text{ baterias}$$

Nota: El resultado de la ecuación anterior se aproxima al número par inmediatamente superior para garantizar 24 V en grupos de dos baterías conectadas en serie ,debido a que los paneles funcionan a 24 V y las baterías a 12 V.

Debido a que son 4 bancos de baterías el número total es 56 baterías para todo el sistema.

#### 3.4.5.14 Regulador de Carga

La corriente de los paneles solares utilizados es de 8,75 A. Luego el dimensionamiento del regulador o de los reguladores se hace de la siguiente manera

$$I_{\text{regulador}} = 1,25 * I_{\text{panel}} * NPR$$

$$I_{\text{regulador}} = 1,25 * 8,75 * 7 = 76,56 \text{ A} \cong 80 \text{ A}$$

Dónde:

NPR = número de paneles conectados al regulador.

Debido a que se hizo un arreglo de 4 grupos de 7 paneles cada uno con su respectivo regulador; el cálculo anterior corresponde a cada grupo de paneles por lo que serán 4 reguladores cada uno de 80 A.

#### **3.4.5.15 Inversor**

Para el dimensionamiento del inversor se deben sumar todas las potencias nominales de las cargas que puedan funcionar al mismo tiempo por situaciones no previstas como aumento de la demanda; para el caso del presente estudio se elegirá el pico de demanda más alto obtenido en las mediciones de la instalación eléctrica y de un periodo relevante y teniendo en cuenta que la planta se dividió en 4 grupos el inversor de cada uno de estos grupos corresponderá a un aproximado comercial del valor más alto de demanda registrado, además estos deben ser capaces de corregir la distorsión armónica presente en la instalación para evitar mayores sobredimensionamientos.

Si se tiene una potencia máxima instantánea de 5,634 kW la potencia de régimen del inversor será de 5 kW.

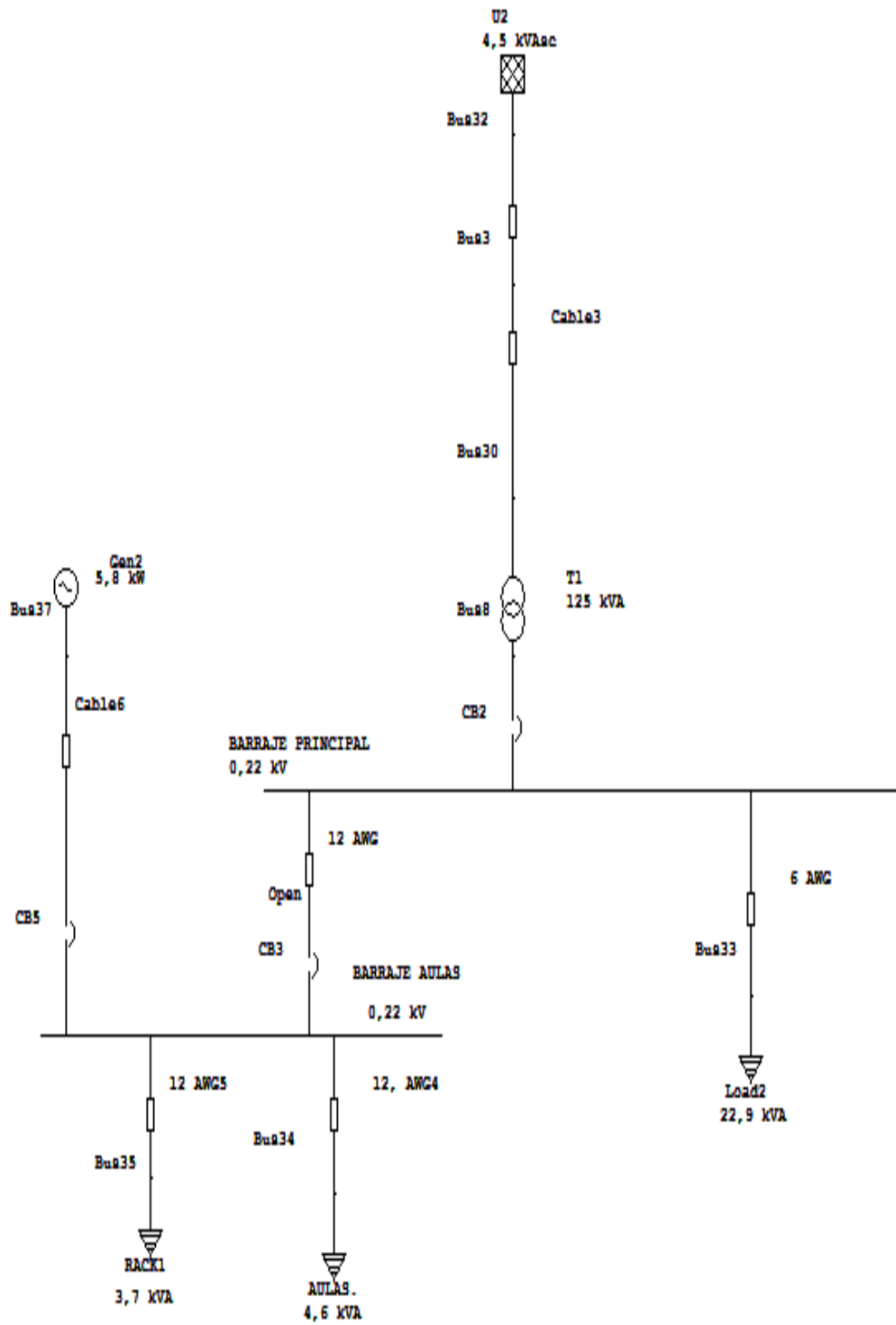
Es importante saber el tipo de carga que se tiene en la instalación para seleccionar un inversor con una forma de onda sinusoidal modificada o sinusoidal pura ya que este último tiene un precio elevado. Además tener en cuenta el tiempo en el que el inversor puede funcionar a estos 5 kW de capacidad máxima, la tensión de entrada y de salida, frecuencia y rendimiento, así como la capacidad de sobre potencia transitoria por ejemplo que este mismo inversor pueda soportar una potencia de 6 kW durante 2 minutos o 10 kW durante 50 segundos.

### **3.5 ALTERNATIVA PROPUESTA**

A continuación se presentara una alternativa para el diseño de la red de alimentación del bloque de aulas de la Uptc sede Sogamoso en donde se encontrarán los aspectos básicos y necesarios para la implementación de una planta de generación solar fotovoltaica además del modelamiento de la red por medio del software ETAP de gran utilidad para respaldar todos los planteamientos hechos en el desarrollo del diseño.

A continuación se presenta el modelo del circuito y la forma de onda que se obtiene en el barraje del bloque de aulas cuando está presente el grupo de organización y sistemas.

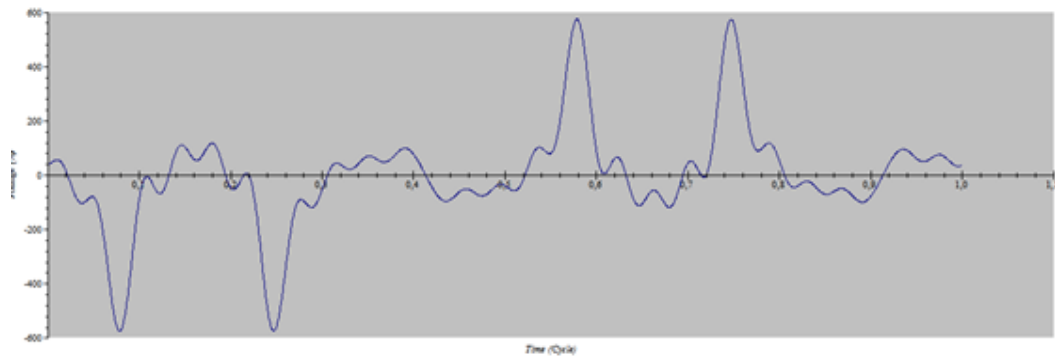
Figura: 26 Modelamiento del circuito existente.



Fuente: Los autores

Figura 27: Forma de onda de tensión con la presencia del GOS

*-BARRAJE DE ALAS (0,22KV)*

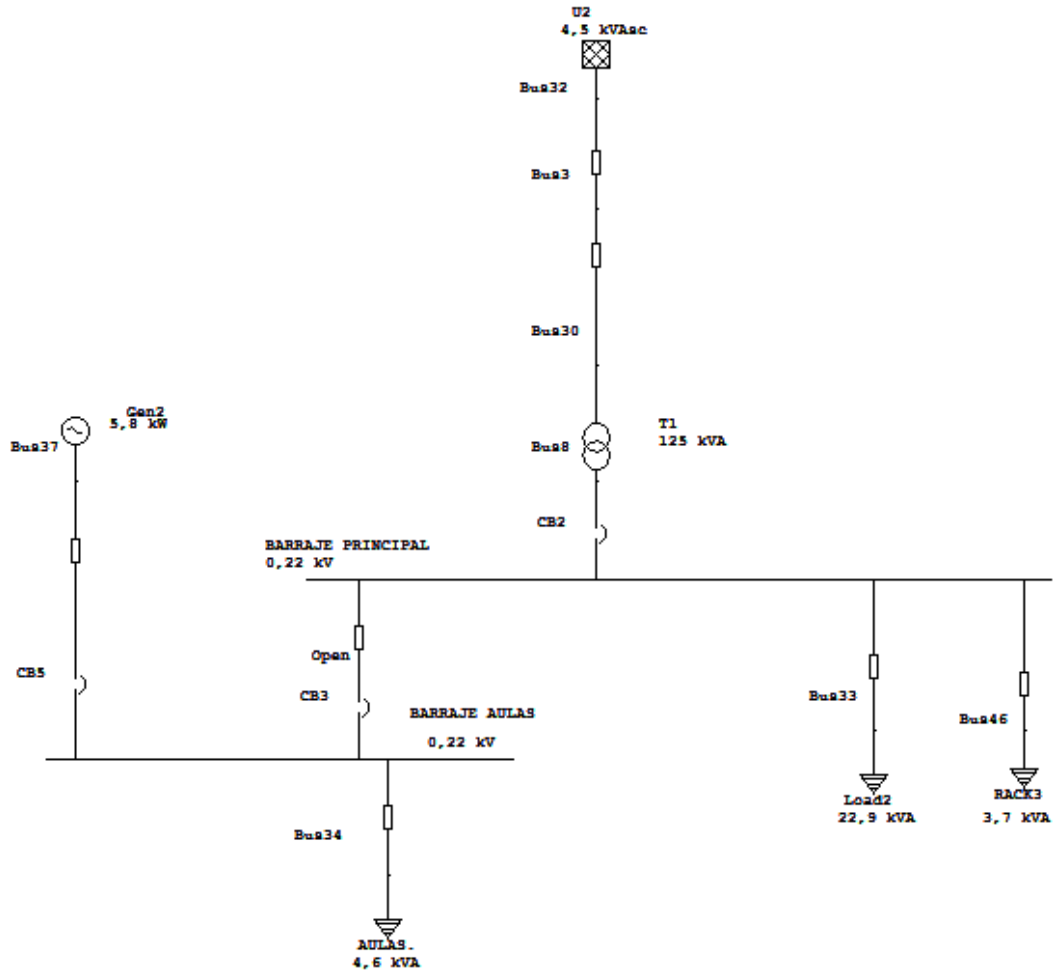


Fuente: Los autores

A continuación y como se planteó anteriormente las cargas correspondientes al grupo de organización y sistemas se trasladaron al barraje principal de la instalación puesto que generan demasiados ruidos en la señal como se muestra en las gráficas siguientes.

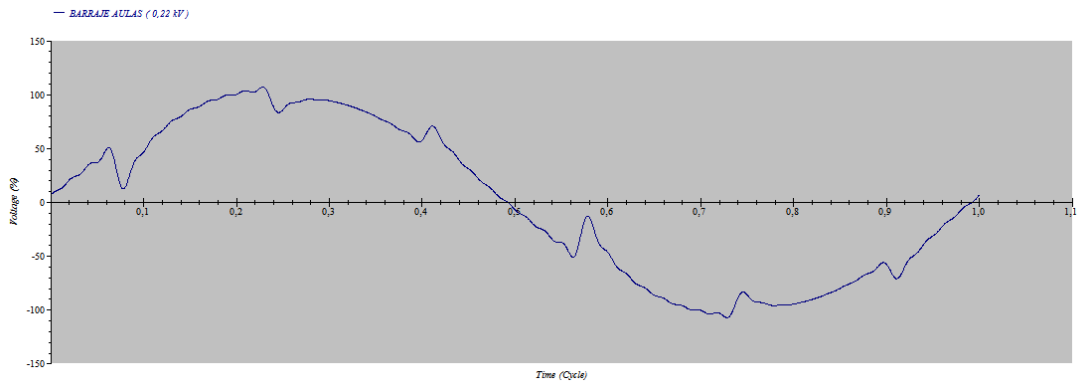


Figura 28: Modelo del circuito con el GOS conectado al barraje principal.



Fuente: Los autores

Figura 29: Forma de onda de tensión en el barraje de aulas sin el GOS.



Fuente. Los autores

En este gráfico se observa que al retirar la carga no lineal del sistema se elimina en gran medida los ruidos presentes en la señal de entrada del sistema, por lo que se comprueba que en este tipo de instalaciones una de las mejores decisiones es no conectar cargas no lineales para evitar sobredimensionamientos del sistema.

A continuación se presenta el diagrama unifilar de la instalación estudiada con las modificaciones necesarias planteadas a través del diseño para la construcción de la planta solar fotovoltaica. (se encuentra legible en el Anexo J)

### 3.5.1 Elementos del prototipo

Tabla 14: Elementos del prototipo

Elemento del Sistema	Cantidad	Total Elementos	Valor Nominal
Paneles	7 x 4	28	210 Wp
Baterías	14 x 4	56	150 Ah
Inversor	1 x 4	4	5 kW
Regulador	1 x 4	4	0,08 kA

Fuente: Los Autores

Equipos necesarios para suplir una potencia de **4903 (W)**.

**Panel seleccionado:** El panel seleccionado presenta diodo de bloqueo.

Tabla 15: Panel Seleccionado

Característica Panel	Valor
Potencia nominal	210 Watt (+5%/-5%)
Tensión a máxima potencia	46 V
Corriente a potencia nominal	8,75 A
Corriente de corto circuito	5,15 A
Tensión de circuito abierto	33,2 V

Dimensiones	1500 x 1000 x 50 mm
-------------	---------------------

Fuente: Los Autores

**Batería seleccionada:** Batería estacionaria de bajo mantenimiento de plomo ácido se optó por usar baterías puesto que la normativa colombiana no contempla la generación distribuida para pequeños generadores (tampoco contamos con medidores bidireccionales) además nos ofrecen alta confiabilidad en el suministro de energía en los momentos que no hay generación.

Tabla 16: Batería Seleccionada

Característica Batería	Valor
Capacidad	150 Ah
Tensión a 100% de la carga	12 V
Profundidad de descarga sin sufrir daño en los electrodos	40%
Autodescarga mensual	3%
Dimensiones (LxAxA en Cm)	48 x 17 x 24
Máxima corriente de carga	45 A
Máxima corriente de descarga	1.

Fuente: Los Autores

## Inversor

Tabla 17: Inversor Seleccionado

Característica Inversor-cargador	Valor
Potencia nominal	5 kVA
Tensión de salida modo inversor	120/240 VAC (trifásico)
Tensión de salida modo cargador	120 VAC nominal (ajustable)
Tensión de entrada	25,2 V (+10%/-10%)
Corriente nominal de entrada (del grupo generador)	178 A
Corriente nominal de salida modo cargador	150 A (carga)/250 A (descarga)
Corriente nominal de salida modo inversor	83,33 A
Dimensiones (cm)	58x41x23

Fuente: Los Autores

Protecciones incorporadas, sobretensión en todas las salidas, sobre corriente, temperatura, sobrecarga.

**Transferencia automática:** Trifásica Schneider Electric NSX 100 A. Que se active con la presencia de tensión en el lado del sistema FV con protección contra sobre corriente y temperatura que recupera su estado inicial de reposo con base en el nivel de corriente obtenido al simular el circuito con el software ETAP. El mando de

los aparatos está asegurado mediante un interclavamiento mecánico que protege de cualquier mal funcionamiento eléctrico e impide una maniobra manual errónea. El gráfico mostrado en el anexo J presenta en detalle el mecanismo de funcionamiento en el diseño de la planta FV.

### 3.5.1 Esquemas de conexión

**a) Paneles:** los paneles fotovoltaicos se conectarán en 4 grupos de 7 paneles en paralelo para lograr una tensión DC de 24 V aproximados. Cada grupo de paneles tendrán su estructura de soporte metálica, estarán inclinados  $10^{\circ}$  y tendrán una orientación hacia el sur.

**b) Baterías:** Las baterías se conectarán en grupos de 2 baterías en serie y 7 en paralelo para lograr una tensión DC de 24V nominales. Estas baterías estarán almacenadas en estructuras metálicas agrupadas en bloques de 14 baterías por estructura, para un total de 4 estructuras y deben cumplir con los siguientes requisitos:

Las partes energizadas de los sistemas de baterías en las edificaciones deben estar resguardadas para evitar el contacto accidental con personas u objetos, independientemente de la tensión o tipo de batería.

- Cuando la corriente disponible de cortocircuito de una batería o banco de baterías de un sistema de generación sea mayor que la capacidad nominal de interrupción o la de soporte de los demás equipos instalados en el circuito, en cada uno de los circuitos y cerca de las baterías se debe instalar un dispositivo limitador de corriente o dispositivo de protección contra sobre corriente.
- Deberán instalarse equipos que indiquen el estado de carga de las baterías. Todos los medios de ajuste para control del estado de la carga deben ser accesibles exclusivamente a personas calificadas.
- Cuando la carga de acumulación en las baterías supere los 1000 A/h, se deben instalar en un espacio cerrado que posea ventilación, independiente al lugar donde se alojen los demás equipos del sistema solar, debido a que existe riesgo de inflamación por altas temperaturas.
- Debe disponerse de un sistema de lavado de ojos.

Estas baterías estarán guardadas en un cuarto ventilado respetando los espacios de trabajo que se muestran a continuación.

- El límite de aproximación segura debe ser señalizado ya sea con una franja visible hecha con pintura reflectiva u otra señal que brinde un

cerramiento temporal y facilite al personal no autorizado identificar el máximo acercamiento permitido.

- Cumplir las distancias mínimas de aproximación a equipos energizados de la Tabla y la Figura según corresponda, las cuales son adaptadas de la NFPA 70 e IEEE 1584. Estas distancias son barreras que buscan prevenir lesiones al trabajador y son básicas para la seguridad eléctrica [37].

Tabla 18. Distancias mínimas para trabajos en o cerca de partes energizadas en corriente alterna

Tensión nominal del sistema (fase – fase)	Límite de aproximación seguro [m]		Límite de aproximación restringida (m) Incluye movimientos involuntarios.	Límite de aproximación técnica (m)
	Parte móvil expuesta	Parte fija expuesta		
50 V – 300 V	3,0	1,0	Evitar contacto	Evitar contacto
301 V – 750 V	3,0	1,0	0,30	0,025
751 V – 15 kV	3,0	1,5	0,7	0,2
15,1 kV – 36 Kv	3,0	1,8	0,8	0,3
36,1 kV – 46 Kv	3,0	2,5	0,8	0,4
46,1 kV - 72,5 kV	3,0	2,5	1,0	0,7
72,6 kV – 121 Kv	3,3	2,5	1,0	0,8
138 kV - 145 Kv	3,4	3,0	1,2	1,0
161 kV - 169 kV	3,6	3,6	1,3	1,1
230 kV - 242 Kv	4,0	4,0	1,7	1,6
345 kV - 362 Kv	4,7	4,7	2,8	2,6
500 kV – 550 kV	5,8	5,8	3,6	3,5

Fuente: (RETIE)

En la tabla se resaltan las distancias mínimas de seguridad teniendo en cuenta el nivel de tensión de funcionamiento de la planta.

Los circuitos de conexión y los planos de la estructura de soporte de los paneles se encuentran en el anexo F y G respectivamente.

### 3.5.2 Protecciones

Las siguientes son las protecciones que presenta cada uno de los elementos del sistema fotovoltaico.

**1. Paneles:** Cada grupo de paneles contará con un interruptor automático de 15 A. para protección contra cortocircuitos.

**2. Baterías:** Cada grupo de baterías contará con un interruptor automático de 20 A. para protección individual contra cortocircuito y sobrecarga.

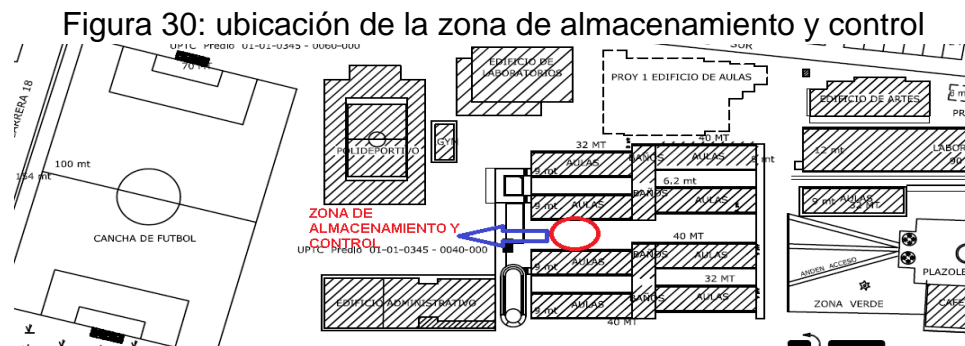
**3. Inversor:** Debe disponer de por lo menos los siguientes mecanismos de protección:

- Protección de isla: - El GD debe cesar la energización de la red del operador local en un tiempo no mayor a 2.0 s contados a partir de la pérdida de la tensión de la red.
- Respuesta a recuperación de la red: El GD debe responder a la recuperación de la red del operador local.
- Protecciones contra corto-circuito
- Puesta a tierra
- Aislamiento y Conmutación (apertura y cierre).

### 3.5.3 Transferencia automática.

Por medio de la transferencia automática Nsx 100 A podemos independizar el circuito de aulas de la Uptc y alimentarlo por medio de la generación de la planta.

Finalmente se construirá una zona de almacenamiento que contendrá las baterías y un armario adicional al existente en donde se ubicaran los dispositivos de control de la planta tales como la transferencia automática, inversores, controladores y demás dispositivos que se hagan necesarios. Su ubicación sería en medio de dos bloques de aulas como se muestra a continuación.



Fuente: los autores

## 4. ESTUDIO FINANCIERO

En el desarrollo de este capítulo se tuvo en cuenta la información contenida en los capítulos MATEMÁTICA FINANCIERA y ESTUDIO FINANCIERO contenidos en proyecto de grado desarrollado por: Arenas Santamaría Oscar Antonio y Oviedo Pinzón Andrés Mauricio.[36]

### 4.2 EVALUACIÓN DE PROYECTOS DE INVERSIÓN

Es un proceso mediante el cual se elabora un análisis para buscar las ventajas y desventajas de asignar recursos a una iniciativa (proyecto) que surge como una solución a una necesidad o problema. A partir de los resultados se decide sobre la ejecución y operación del proyecto, ya que con un análisis que se anticipe al futuro

se pueden evitar posibles problemas a largo plazo; es decir, la evaluación del proyecto determina si la utilización de los recursos se hace en forma eficiente.

#### **4.2.1 Factibilidad Financiera**

En la factibilidad financiera de un proyecto de inversión se evalúa el retorno del dinero, aquí lo que interesa es determinar si la inversión efectuada obtiene la rentabilidad esperada.

#### **4.2.2 Rentabilidad**

La rentabilidad es el rendimiento o beneficio obtenido, que en un período de tiempo produce el capital invertido.

### **4.3 CRITERIOS EN LA EVALUACIÓN DE PROYECTOS**

Ahora se hará mención de los principales criterios que se tienen en cuenta a la hora de evaluar un proyecto.

#### **4.3.1 Ingresos de los proyectos**

Es el ahorro en dinero o el capital que se recibe en el futuro una vez culminado el proyecto.

### **4.4 EL VALOR DEL DINERO A TRAVÉS DEL TIEMPO**

Un proyecto se encuentra en equilibrio cuando los ingresos igualan a los egresos, pero lo que se busca en un proyecto es recuperar los gastos operacionales, recuperar la inversión y además obtener una buena rentabilidad. Para eso existen herramientas de gran utilidad como es el Valor Presente Neto (VPN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR).

#### **4.4.1 Valor presente neto (VPN)**

Todos los ingresos y egresos futuros se deben transformar a pesos de hoy, para saber si los ingresos que deja el proyecto son mayores que los egresos. Si el VPN es mayor que cero se obtiene una ganancia y se puede aceptar el proyecto. Por el contrario, si el VPN es menor que cero existe una pérdida a cierta tasa de interés y por lo tanto se debe rechazar el proyecto. Si el VPN es igual a cero se dice que el proyecto es indiferente y no presenta ganancia ni pérdida.

Para comparar alternativas siempre se debe tener igual número de años, si el tiempo en cada alternativa es diferente se toma como base el mínimo común múltiplo de los años de cada alternativa.

El VPN disminuye a medida que se eleva la tasa de interés.

#### 4.4.2 Tasa Interna de Retorno (TIR)

La tasa interna de retorno es la tasa que está ganando un interés sobre el saldo no recuperado de la inversión en cualquier momento de la duración del proyecto, es la tasa de interés para la cual el valor presente neto (VPN) es igual a cero.

### 4.5 METODOLOGIA PARA EL ANALISIS FINANCIERO

#### 4.5.1 Inversiones del proyecto

Son los recursos invertidos al inicio y durante la vida útil del proyecto, se empezaran a percibir ingresos una vez recuperadas dichas inversiones.

##### 4.5.1.1 Inversión Inicial

La inversión inicial para el caso de proyectos de generación fotovoltaica comprende los elementos que conforman la planta de generación como paneles solares, inversor de corriente, reguladores de carga, baterías, obras civiles y otros elementos necesarios para la puesta en funcionamiento del proyecto, después de hacer un estudio de mercado en el que se cotizo con proveedores nacionales cuya actividad principal está basada en la comercialización de equipos de este tipo de tecnología debido a que estos ya traen en su cotización costos de importación, aranceles impuestos y transporte, además la mayoría de proveedores presentan un comportamiento similar en sus precios, se encontró que los precios de los elementos utilizados en la implementación de una planta de generación fotovoltaica son los siguientes.

#### Paneles Solares

La inversión inicial en cuestión de paneles solares está dada por el producto entre la cantidad y el precio unitario de estos, para la planta del caso de estudio se dimensionaron 28 paneles de 210w a un precio estimado de \$690.000, resulta una inversión inicial de \$19'320.000

Tabla 16: Precios Paneles 2016

PROVEEDOR	VALOR(\$) PANEL 210 W
ERCO	700000
NASA DE COLOMBIA	686075
HELIOTERMICA	710000

Fuente: Los Autores

#### Inversor de Corriente

Para esta inversión se debe tener en cuenta el precio por kW del inversor y el número de inversores necesarios, para adquirir un inversor es indispensable conocer la potencia nominal de este y multiplicar dicho valor por el precio por kW y por el número de inversores. Para el caso de la UPTC Seccional Sogamoso se



evidencio que se requieren 4 inversores de 5kW que a un precio de \$550.000/kW la inversión inicial sería de \$11'000.000.

### **Regulador de carga**

En esta inversión es necesario conocer el valor del kA nominal, para el presente caso de estudio se dimensionaron 4 reguladores de 0,08 kA nominales que a un precio de \$12'500.000/kA daría una inversión inicial de \$4'000.000.

### **Baterías**

La inversión a realizar por cuestión de baterías depende del número y el precio unitario de estas, para el caso de estudio se dimensionaron 14 baterías de 150Ah por cada uno de los 4 bloques de aulas para un total de 56 baterías con un valor unitario de \$700.000 lo que da una inversión inicial en baterías de \$39'200.000.

### **Obra civil**

En esta inversión inicial se deben tener en cuenta aspectos civiles tales como construcción de gabinetes donde se alojaran elementos como baterías, regulador e inversor además de la mano de obra para la puesta en funcionamiento de la planta fotovoltaica, que a un valor propuesto de \$750.000/kW instalado y una potencia instalada de 5,88 kW sería una inversión de \$4'410.000.

### **Otros**

En esta inversión se incluyen los demás elementos que conforman la planta de generación fotovoltaica como estructuras de soporte de los paneles, cableado, protecciones, conectores, tableros de distribución y dispositivos de transferencia automática con un valor aproximado de \$1'600.000/kW instalado y una capacidad instalada de 5,88 kW tendría una inversión de \$9'408.000.

La inversión inicial total tiene un valor de \$87'338.000 lo que sería \$14'853.401 por kW instalado.

#### **4.5.1.2 Inversiones Durante la Vida Útil del Proyecto**

Debido a que la planta solo requiere de mantenimiento preventivo que consiste básicamente en inspección visual, además la operación y administración de esta puede ser realizada sin necesidad de contratar personal adicional se puede decir que para el caso de estudio solo se tendrá en cuenta el reemplazo de baterías como inversión durante la vida útil del proyecto.

Considerando como vida útil de los elementos que componen la instalación fotovoltaica un periodo de 20 años a excepción de las baterías que deben reemplazarse cada 10 años, solo se realizara un cambio de baterías a lo largo de la vida útil del proyecto. Considerando un aumento anual del 5% en el precio de las

baterías en 10 años estas tendrían un valor estimado de \$1'140.226, debido a esto la inversión total durante la vida útil del proyecto sería \$63'852.670 al reemplazar las 56 baterías de 150Ah, lo que resulta un valor de \$3'192.633 anuales durante la vida útil del proyecto.

#### 4.5.2 Valor de la Energía Eléctrica

En el desarrollo de este proyecto se obtuvo como valor de la energía promedio anual por prestación de servicios del operador de red a partir de los datos obtenidos en la página web oficial de la Empresa de Energía de Boyacá (EBSA) para un periodo de un año desde el mes de agosto del 2015 hasta julio del 2016, los cuales se observan en la tabla 17 y muestran un valor promedio de 440,8818 \$/kWh.

Tabla 17: Valor de la energía

PERIÓDO	\$/kWh
Jul-16	452,4615
Jun-16	441,7868
May-16	441,2062
Abr-16	455,7324
Mar-16	472,2547
Feb-16	460,8745
Ene-16	462,6106
Dic-15	435,3443
Nov-15	434,0394
Oct-15	416,5093
Sept-15	413,4969
Ago-15	404,2649
<b>PROMEDIO</b>	<b>440,8818</b>

Fuente: Los Autores

#### 4.5.3 Evaluación de la inversión

Para determinar la factibilidad financiera de la implementación de la planta de generación fotovoltaica en la UPTC Seccional Sogamoso es indispensable realizar la evaluación de la inversión teniendo en cuenta los indicadores financieros. Valor Presente Neto (VPN), Tasa Interna de Retorno (TIR) y el PayBack o tiempo de recuperación de la inversión.

Para la obtención de los indicadores financieros se acudió al uso del software basado en Excel RETScreen 4 (anexo E) en el cual para realizar el análisis financiero comparando costos por prestación de servicio es indispensable seleccionar en tecnología: fotovoltaica y en tipo de red: red central y carga interna o red aislada y carga interna, ya que si se selecciona otro tipo de red el software no realiza el análisis adecuado.

Al ingresar el valor de la inversión inicial y el costo durante la vida útil del proyecto nos muestra los resultados de la tabla 18.

Tabla 18: Viabilidad financiera del Proyecto

TIR antes de impuestos – capital	%	4,3%
TIR antes - impuestos – activos	%	4,3%
TIR luego de impuestos – capital	%	4,3%
TIR luego de impuestos - impuestos – activos	%	4,3%
Pago simple de retorno del capital	Año	13,2
Repago – capital	Año	13,2
Valor Presente Neto (VPN)	COP	45.132.332

Fuente: Los Autores

Como se observa en la tabla 18 la inversión inicial del proyecto de implementación de la planta de generación en la UPTC Seccional Sogamoso se recuperaría en 13,2 años y teniendo en cuenta que la vida útil del proyecto es de 20 años, esto hace que el proyecto sea financieramente factible.

En la tabla 19 se observa el VPN y el flujo de caja anual que muestra el comportamiento financiero del proyecto a lo largo de su vida útil, también se observa que del ahorro anual que se tendría al implementar la planta fotovoltaica y dejar de cancelar el costo por prestación de servicio del operador de red y al descontarle el valor anual de la inversión durante la vida útil se percibirá un ahorro neto de \$6´623.517 anuales.

Tabla 19: flujo de caja anual.

Año #	COP	Acumulado COP
0	-87.337.998	-87.337.998
1	6.623.517	-80.714.481
2	6.623.517	-74.090.965
3	6.623.517	-67.467.448
4	6.623.517	-60.843.932
5	6.623.517	-54.220.415
6	6.623.517	-47.596.899
7	6.623.517	-40.973.382
8	6.623.517	-34.394.866
9	6.623.517	-27.726.349
10	6.623.517	-21.102.833
11	6.623.517	-14.479.316
12	6.623.517	-7.855.800

13	6.623.517	-1.232.283
14	6.623.517	5.391.233
15	6.623.517	12.014.750
16	6.623.517	18.638.266
17	6.623.517	25.261.783
18	6.623.517	31.885.299
19	6.623.517	38.508.816
20	6.623.517	45.132.332

Fuente: Los Autores

Teniendo en cuenta que el precio total de la implementación de la planta fotovoltaica es de \$151'190.670 para realizar una generación de 5,88kW y con una vida útil de 20 años al implementar la planta de generación fotovoltaica el \$/kWh sería \$293,524 lo que representa un ahorro del 33,42% frente al precio de 440,8818 \$/kWh ofrecido por el operador de red.

## 5 BENEFICIOS AMBIENTALES

Debido a que la forma actual de generación eléctrica en Colombia involucra el uso de combustibles fósiles lo que causa un gran impacto negativo en el medio ambiente, debido a la cantidad de gases de efecto invernadero (GEI) que son expulsados a la atmosfera anualmente es necesario cuantificar la reducción de estas emisiones al implementar una planta de generación fotovoltaica amigable con el medio ambiente cuyas emisiones son nulas.

Para realizar la cuantificación de la reducción de GEI emitidos a la atmosfera con la planta de generación fotovoltaica es necesario conocer el factor de emisión de CO<sub>2</sub> de una planta de generación convencional y determinar el valor de la producción de energía eléctrica anual de la planta fotovoltaica y comparar este valor con el de la planta convencional para verificar la reducción de emisiones.

### 5.2 FACTOR DE EMISION DE CO<sub>2</sub>

Es la cantidad de toneladas de CO<sub>2</sub> emitidas a la atmosfera por cada MWh producida en una planta de generación eléctrica que de acuerdo al software RETScreen 4 (anexo E) para el caso del carbón en Colombia es de 1,105tCO<sub>2</sub>/MWh.

### 5.3 GENERACION ELECTRICA ANUAL DE LA PLANTA FOTOVOLTAICA

Para conocer la producción anual de energía eléctrica de la planta fotovoltaica es necesario conocer el número de horas diarias que ésta está generando y con el producto entre esta información, el número de días por mes y los meses del año calcular la generación anual de dicha planta.

### 5.4 REDUCCION DE EMISIONES DE GEI

Con la ayuda del software RETScreen 4 que muestra la información contenida en las tablas 20 y 21 se puede conocer la reducción de emisiones GEI.

Para poder observar estos resultados se hace necesario en la ventana COMENZAR seleccionar en tipo de red: otro, debido a que si no hacemos esta selección los resultados mostrados no son los reales.

Tabla 20: Factor de emisión de GEI

País-Región	Tipo de combustible	Factor emisión de GEI (excl. T y D)	Pérdidas T y D	Factor emisión de GEI
		tCO <sub>2</sub> /MWh	%	tCO <sub>2</sub> /MWh
Colombia	Carbón	1,105		1,105

Fuente: Los Autores

Tabla 21: Tipo y Cantidad de Generación

Tipo de combustible	Consumo de combustible	Factor emisión de GEI	Emisiones GEI tCO <sub>2</sub>
	MWh	tCO <sub>2</sub> /MWh	
Carbón	22	1,105	24,4

Fuente: Los Autores.

La reducción de emisiones totales al implementar la planta de generación fotovoltaica es 24,4 tCO<sub>2</sub>, lo que es equivalente a no utilizar 4,5 autos y camiones livianos durante los 20 años que tiene el proyecto de vida útil.

## CONCLUSIONES

- Según la normatividad vigente en cuánto a sistemas de generación fotovoltaica se estableció que actualmente no existe la reglamentación completa para poder comercializar los excedentes de energía eléctrica resultantes de no consumir toda la energía generada con una planta solar fotovoltaica.
- De acuerdo a mediciones realizadas por la UPME y el IDEAM se evidenció que debido a que Sogamoso se encuentra ubicada a  $5^{\circ}42'16''$  latitud Norte y  $72^{\circ}56'32,96''$  longitud Oeste y su altura es de 2569 msnm es un lugar favorable para implementar proyectos de generación solar fotovoltaica gracias a los altos niveles de irradiancia e irradiación solar presentes en dicha zona.
- La Uptc seccional Sogamoso cuenta con el área disponible suficiente y adecuada en sus techos para instalar los módulos solares necesarios para implementar una planta de generación fotovoltaica de 5,88kW.
- Para garantizar confiabilidad en el suministro de la energía eléctrica se determinó que la planta solar fotovoltaica más conveniente a implementar es la OFF GRID, puesto que las baterías de este tipo de planta permiten un suministro continuo de energía así la planta no esté realizando la generación.
- De acuerdo al análisis financiero realizado para el presente trabajo de grado se encontró que la Tasa Interna de Retorno es de 4,3% la cual determina que es un proyecto viable debido a que el payback se realizara en 13,2 años y la vida útil del proyecto es de 20 años.
- Implementar este tipo de planta le da un valor agregado por el hecho de la notable reducción de emisiones de gases de efecto invernadero que son una amenaza constante para el medio ambiente, la salud y el bienestar de los seres vivos.
- De acuerdo a la simulación realizada con ayuda del software ETAP para disminuir la distorsión armónica generada por el grupo de organización y sistemas es necesario mover esta carga hacia el barraje principal.

## **RECOMENDACIONES**

- El tablero de mando de los circuitos presentes en la instalación estudiada de la universidad ubicado debajo de la subestación aérea, requiere con urgencia un cambio total en su distribución y componentes puesto que no cumple con los requisitos establecidos en la sección 373 de la NTC 2050 y 20.23.1 del RETIE, es necesario realizar un rediseño para que este tablero cumpla con todos los requisitos exigidos por la NTC 2050 y el RETIE.
- Además del atractivo financiero y ambiental que presenta implementar este proyecto un valor agregado lo da el hecho de que permitiría el estudio y el desarrollo de nuevos proyectos de investigación.
- De ser implementada la planta fotovoltaica se hace necesario contar con una persona que esporádicamente este revisando el estado de las conexiones y mantenga aseados los módulos solares ya que por el ángulo de inclinación se dificultado el auto limpiado con la lluvia.



## BIBLIOGRAFIA

- [1] F CALA GONZALEZ, y C RODRIGUEZ SAÑUDO. Diseño de un sistema de suministro de energía eléctrica con tecnología solar fotovoltaica. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2010.
- [2] O HINCAPIE FLOREZ. Plan de negocio para la creación de una empresa dedicada al montaje y mantenimiento de sistemas de optimización energéticos fotovoltaicos en el área metropolitana de Bucaramanga. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2011.
- [3] J MOLINA URECHE, y A FRANCO DE ARCO. Diseño de un sistema fotovoltaico para la alimentación de cargas de iluminación en un proyecto residencial. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2014.
- [4] J GUTIERREZ BOLAÑOS, y J FRANCO PATIÑO. Diseño de un sistema solar fotovoltaico de 20kWp conectado a red. Cali: Universidad Autónoma de Occidente, 2011.
- [5] D ISSA ESCOBAR. Estudio técnico- económico para la implementación masiva de sistemas solares fotovoltaicos para los estratos cinco y seis de la ciudad de Cali. Cali: Universidad Autónoma de Occidente, 2013.
- [6] F AGUDELO TORRES, y F MARTINEZ ALBARRACIN. Estudio de factibilidad técnica y económica para implementar el uso de energía fotovoltaica en el suministro eléctrico del alumbrado público en el municipio de la Uvita (Boyacá). Duitama: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, 2010.
- [7] IPSE. Banco de proyectos del Fondo Nacional de Regalías (FNR), 2011
- [8] UPME. Plan de Referencia de Generación y Transmisión 2015 – 2029, 2015.
- [9] ECURED. Radiación Solar. [Online], 2016. Disponible en: [http://www.ecured.cu/index.php/Radiaci%C3%B3n\\_solar](http://www.ecured.cu/index.php/Radiaci%C3%B3n_solar).
- [10] UPME E IDEAM. Atlas de Radiación Solar para Colombia, 2005.
- [11] APPA. Asociación de Productores de Energías Renovables. [Online], 2009. Disponible en: [http://www.appa.es/09fotovoltaica/09que\\_es.php](http://www.appa.es/09fotovoltaica/09que_es.php)
- [12] RENOVA ENERGIA. Energía solar fotovoltaica en Ecuador – Peru. [Online], 2015. Disponible en: <http://www.renova-energia.com/energia-renovable/energia-solar-fotovoltaica/>
- [13] EDUKAL VITA. Cuál es el Significado de Panel Solar. Concepto, Definición, Qué es Panel Solar: Educación para la Vida. [Online], 2016. Disponible en: <http://edukavital.blogspot.com.co/2013/02/panel-solar.html>

- [14] SITIO SOLAR. Los paneles solares fotovoltaicos. [Online], 2014. Disponible en: <http://www.sitiosolar.com/los-paneles-solares-fotovoltaicos/>
- [15] INBRADI. Pérdidas en la producción por inclinación y orientación en instalaciones de energía solar fotovoltaica. [Online], 2013. Disponible en: <http://inbradi.com/perdidas-en-la-produccion-por-inclinacion-y-orientacion-en-instalaciones-de-energia-solar-fotovoltaica/>
- [16] YUBASOLAR. Tutorial instalación solar fotovoltaica para vivienda datos de partida. [Online], 2015. Disponible en: [http://www.yubasolar.net/2015/01/tutorial-instalacion-solar-fotovoltaica\\_28.html](http://www.yubasolar.net/2015/01/tutorial-instalacion-solar-fotovoltaica_28.html)
- [17] INGENIERIA VERDE. Preguntas frecuentes. [Online], 2016. Disponible en: <http://www.ingenieriaverde.org/preguntas-frecuentes/>
- [18] IEEE 929. Recommended practice for utility interface of photovoltaic (PV) systems. 2000
- [19] ISO. Gana el desafío de la energía con ISO 50001. [Online], 2011. Disponible en: [http://www.iso.org/iso/iso\\_50001\\_energy-es.pdf](http://www.iso.org/iso/iso_50001_energy-es.pdf)
- [20] MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Resolución 9 0708 de 30 de Agosto de 2013. Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE)
- [21] ICONTEC. NTC 5549, Sistemas fotovoltaicos terrestres. Generadores de potencia. Generalidades y guía, 2007
- [22] ICONTEC. NTC 5287, Celdas y baterías secundarias para sistemas de energía solar fotovoltaica. Requisitos generales y métodos de ensayo, 2009
- [23] ICONTEC. NTC 2959, Guía para caracterizar las baterías de almacenamiento para sistemas fotovoltaicos, 1991
- [24] ICONTEC. NTC 5627, Componentes de acumulación, conversión y gestión de energía de sistemas fotovoltaicos. Calificación del diseño y ensayos ambientales, 2008
- [25] ICONTEC. NTC 4405, Eficiencia energética. Evaluación de la eficiencia de los sistemas solares fotovoltaicos y sus componentes, 1998
- [26] ICONTEC. GTC 114, Guía de especificaciones de sistemas fotovoltaicos para suministro de energía rural dispersa en Colombia, 2004
- [27] ICONTEC. NTC 5710, Protección contra las sobretensiones de los sistemas fotovoltaicos productores de energía, 2009
- [28] MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA. Ley 697. 2011

- [29] CONGRESO DE LA REPUBLICA DE COLOMBIA. Ley 1715. 2014
- [30] MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA. Decreto 2469, 2014
- [31] COMISION DE REGULACION DE ENERGIA Y GAS. CREG 084, 1996
- [32] COMISION DE REGULACION DE ENERGIA Y GAS. Documento CREG 097, 2014
- [33] MINISTERIO DE HACIENDA Y CREDITO PÚBLICO. Estatuto tributario, 2008
- [34] IEEE 519-92. Recommended practices and requirements for harmonic control in electrical power systems, 1992
- [35] F CASTRO. ¿Cómo medir los armónicos en un sistema de potencia?: Soluciones en energía. [Online], 2016. Disponible en: <http://www.esolutions.co/index.php/component/k2/item/78-como-evaluar-los-armonicos-en-un-sistema-de-potencia?tmpl=component&print=1>
- [36] O ARENAS SANTAMARIA, y A OVIEDO PINZON. Estudio técnico y financiero de implementación de paneles solares enfocado a centros comerciales. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2009.
- [37] ICONTEC. NTC 2050, Código eléctrico colombiano, 2002

## **ANEXOS**

Anexo A: Análisis de datos de irradiancia.

Anexo B: Diagrama unifilar instalación Uptc.

Anexo C: Datos obtenidos del equipo analizador de redes.

Anexo D: Recibo de pago generado por el operador de red.

Anexo E: Simulación del análisis financiero y de los beneficios ambientales con el software RETScreen 4.

Anexo F: Plano esquemático de conexiones del diseño eléctrico de la planta.

Anexo G: Planos estructuras de soporte de los módulos solares.

Anexo H: Cotizaciones equipos.

Anexo I: Plano Uptc Sogamoso.

Anexo J: Diagrama unifilar del diseño propuesto.