



Implementación de un sistema fotovoltaico Off-The-Grid de 1,5 KW de potencia para alimentar dispositivos electrónicos en la Sala de Cómputo del bloque C de la Universidad Antonio Nariño sede Valledupar.

Bairo Raúl Manchego Hernández

Código: 21131616900

Jairo Alonso Ojeda Arias

Código: 21131611732

Yesid Alberto Peñaloza Córdoba

Código: 21131614736

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Mecánica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Valledupar, Colombia

2022

Implementación de un sistema fotovoltaico Off-The-Grid de 1,5 KW de potencia para alimentar dispositivos electrónicos en la Sala de Cómputo del bloque C de la Universidad Antonio Nariño sede Valledupar.

Bairo Raúl Manchego Hernández

Jairo Alonso Ojeda Arias

Yesid Alberto Peñaloza Córdoba

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

Ingeniero Electromecánico

Director (a):

(Esp, Ingeniero.) Ricardo Pino Díaz

Coodirector. Nairo José Cavieles Rojas

Línea de Investigación:

Ayudas educativas o de diseño y construcción de equipos que tengan por finalidad mejorar la docencia.

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Mecánica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Valledupar, Colombia

2022

NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado titulado

Cumple con los requisitos para optar

Al título de _____.

Firma del Tutor

Firma Jurado

Firma Jurado

Valledupar, 08/06/2022

Contenido

Pág.

Preliminares.....	XIII
Resumen.....	1
Abstract.....	2
Introducción	3
Definición del problema.	5
Descripción del problema.....	6
Formulación del problema	8
Objetivos	9
Objetivo general	9
Objetivos específicos	9
Justificación.....	10
1. Marco Teórico.....	11
2. Sistemas Fotovoltaicos.....	12
3. Clasificación de sistemas fotovoltaicos	13

3.1	Sistema fotovoltaico autónomos o aislado.	13
3.1.1	<i>Aplicaciones de los sistemas aislados</i>	15
3.2	Sistemas conectados a la red	16
3.2.1	<i>Aplicaciones para un sistema conectado a red.</i>	17
4.	Componente de un Sistemas Fotovoltaico	18
4.1	Regulador de carga	18
4.2	Inversor	20
4.2.1	<i>Tipos Y Clasificación</i>	21
4.3	Generador o módulo fotovoltaico	22
4.4	Parámetros fundamentales de la célula solar.	24
4.5	Parámetros o estándares sobre la estructura mecánica en lo Generador o módulos fotovoltaicos.	26
4.5.1	<i>Tipos de Celdas Solares</i>	29
4.5.2	<i>Asociación de células en serie y paralelo</i>	32
4.6	Banco de baterías	33
4.6.1	<i>Tipos de Baterías</i>	34
4.7	Consumos	35
5.	Radiación o insolación	36
5.1	Medición de la radiación solar	36
5.2	Tipos de radiación	37
6.	NTC 2050 sistemas solares fotovoltaicos	39
6.1	NTC 2050 (sección 690) sistemas solares fotovoltaicos	39

6.2	Puesta a tierra del sistema de potencia.....	40
6.3	Electrodos de puesta a tierra.....	43
7.	Agentes relevantes del sector energético en Colombia.....	44
8.	Políticas energéticas.....	47
9.	Marco ambiental.....	49
9.1	Ventajas Medioambientales	50
10.	Metodología.....	51
10.1	Diseño y tipo de investigación.	51
10.1.1	<i>Investigación de Campo:</i>	51
10.2	Diseño de un sistema de iluminación alimentado por paneles fotovoltaicos.	52
11.	Análisis y cálculo de campo experimental.....	53
11.1	Criterios y funcionalidades técnicas del sistema solar fotovoltaica.....	55
11.2	Dimensionamiento del sistema fotovoltaico.....	56
11.3	Perfil de carga.....	57
11.4	Estimación de consumo.....	58
11.5	Estimaciones de pérdida.....	59
11.6	Eficiencia total del sistema (η_T).....	60
11.7	Angulo de inclinación.....	60
11.8	Nivel de tensión del arreglo fotovoltaico.....	61
11.9	Dimensionamiento del Bloque de Generación.....	62
11.10	Criterios para la selección de módulos fotovoltaicos.....	64
11.11	Dimensionamiento del bloque de acumulación ($Banco_{Bat}$).....	65

11.12	Criterios de selección del banco de batería.	68
11.13	Dimensionamiento del Inversor.	71
11.14	Criterios de selección del inversor	71
11.14.1	<i>Memoria del cálculo eléctrico</i>	73
11.14.2	<i>Entrada De Corriente Alterna Del Sistema Cargador Del Inversor.</i>	73
11.14.3	<i>Salida De Ac Del Inversor Hacia El Tablero Tdl.</i>	74
11.14.4	<i>Totalizador de la salida AC del Inversor.</i>	74
11.14.5	<i>Entrada Dc De Los Modulos Fotovoltaico Hacia El Inversor.</i>	77
11.15	Estructura del soporte de los modulos fotovoltaico.	78
11.16	Puesta a tierra del Sfv	79
11.17	Resumen De Funcionalidad	82
11.18	Protecciones y cableado eléctrico.	83
11.18.1	<i>Protección en la Entrada</i>	83
11.18.2	<i>Protección en la Salida</i>	84
11.18.3	<i>Protección en la entrada de los Paneles</i>	84
11.19	Determinación de la potencia y energía de consumo para el sistema de iluminación.	86
	Conclusiones	88
	Recomendaciones	90
	Anexos	91
	Referencias Bibliográficas	104

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1.	13
<i>Componentes de una Instalación de sistemas Fotovoltaicos.</i>	13
Figura 2.	14
<i>Esquema de instalación híbrida aislada para vivienda aislada</i>	14
Figura 3.	17
<i>Esquema de instalación híbrida conectada a red para vivienda</i>	17
Figura 4.	18
Conexiones de regulador en una Instalación de Sistemas Fotovoltaico.	18
Figura 5.	20
Regulador Victron 20A PWM-Light 12/24V Regulador MPPT 250V 85A LCD 12/24/48V	20
Figura 6.	21
Inversor inteligente	21
Figura 7.	23
Constitución de un panel solar	23
Figura 8.	24
<i>Estructura de la célula solar</i>	24
Figura 9.	27
<i>Estructura o Soporte Ajustable</i>	27
Figura 10.	28
<i>Soporte Ajustable con Anclaje de Superficie</i>	28
Figura 11.	30
<i>módulo Policristalino</i>	30
Figura 13.	32
<i>Curva de corrientes</i>	32

Figura 14.	33
<i>Asociación de células solares I</i>	33
Figura 15.	37
<i>Atlas de radiación solar, ultravioleta y ozono de Colombia</i>	37
Figura 16.	54
<i>Diseño de distribución de la luminaria de la sala de computo</i>	54
Figura 17.	57
<i>Perfil de carga</i>	57
Figura 18.	57
<i>Perfil de carga o perfil de consumo</i>	57
Figura 19.	65
<i>Diagrama de paneles fotovoltaicos.</i>	65
Figura 20.	66
<i>Características a diferentes irradiaciones</i>	66
Figura 21.	67
<i>Características según la temperatura</i>	67
Figura 22.	69
<i>Tiempo de vida según temperatura</i>	69
Figura 23.	69
<i>Tiempo de descarga</i>	69
Figura 24.	70
<i>Efectos de la temperatura en la carga</i>	70
Figura 25.	70
<i>Características de la carga</i>	70
Figura 26.	77
<i>Diagrama Unifilar TDI</i>	77
Figura 27. Toma de Lectura etapa practica.....	81
Figura 28.	87
<i>Instalación de Paneles Solares.</i>	87

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1.	15
Ventajas y des ventajas de los sistemas fotovoltaicos autónomos.....	15
Tabla 2.	23
Comparación de los módulos monocristalinos y policristalinos.....	23
Tabla 3.	29
Parámetros eléctricos fabricante	29
Figura 11.	30
<i>módulo Policristalino</i>	30
Tabla 4.	30
Diferencias entre los paneles según la tecnología de fabricación.....	30
Tabla 5.	34
Características de los Principales de Baterías.....	34
Tabla 6.	35
Modelos de Baterías.....	35
Tabla 7.	41
Norma de colores de los conductores	41
Tabla 8.	42
Factor de ajuste por temperatura Tabla 310-16 de la norma NTC 2050	42
Tabla 9.	43
Tipo de electrodo puesta a tierra.....	43
Tabla 10.	59

Consumo de dispositivos a alimentar	59
Tabla 11	74
Cuadro de Carga.	74
Tabla 12.	85
Colores según RETIE	85

Lista de Símbolos y Abreviaturas

Símbolo	Término	Magnitud Física
<i>I</i>	amperio	Intensidad de corriente eléctrica
~	c.a	Corriente Alterna
°C	Grados Celsius	Temperatura
=	c.c.	Corriente continua
<i>h</i>	Hora	Tiempo
<i>kWh</i>	Kilovatio hora	Energía activa
<i>Lm</i>	Lumen	Luminosidad
<i>m</i>	Minuto	Tiempo
<i>s</i>	Segundo	Tiempo
<i>V</i>	Voltio	Tensión o potencial eléctrico
<i>W</i>	Vatio (o Watt en inglés)	Potencia activa

Preliminares

(Dedicatoria)

*A Dios por ser mi guía y ayuda en cada momento de la vida
y me fortalece para cumplir cada meta y reto que me proponga.
A mi padre Bairo Manchego Zabala (Q. E. P. D) quien a pesar de que
ya no se encuentra físicamente a mi lado, sé que espiritualmente
aun me apoya y a mi madre Dilia Hernández Nieto que junto
a mi padre me motivaban en todo momento a seguir estudiando.*

Bairo Raúl Manchego Hernández

*Dedico este trabajo primeramente a DIOS por crearme,
por hacerme a tu imagen y semejanza, dándome la vida
y una familia única con valores y principios en tu Amor.
Seguidamente a mis padres que siempre me han dado
las herramientas para crecer en la vida, como una persona
de bien, agradezco de todo corazón el que estén a mi lado.*

Jairo Alonso Ojeda Arias

*A Dios por regalarme sabiduría y llevarme de su mano en este camino,
a mis padres y hermanos que son mi principal motor, quienes
siempre me brindaron su amor y apoyo incondicional,
a mis compañeros Bairo y Jairo por su entrega y sacrificio
y finalmente a esas personas que me dieron
el impulso para culminar esta etapa.*

Yesid Alberto Peñaloza Córdoba

Agradecimientos

Gracias a los docentes y compañeros de la Universidad Antonio Nariño sede Valledupar quienes fueron vital apoyo para el cumplimiento de las actividades propuestas en el plan de estudio universitario. Y a todas las personas que contribuyeron en mi formación profesional.

Bairo Raúl Manchego Hernández

Agradezco a los docentes y compañeros por confiar en mí, por acompañarme en esta travesía, agradezco con todo mi corazón a todas las personas que hicieron posible el cumplimiento de esta meta, sin ustedes no lo hubiera logrado, tantas desveladas sirvieron de mucho, aquí está el fruto.

Jairo Alonso Ojeda Arias

Resumen

La energía eléctrica es un factor importante en el mundo de hoy, ya que el ser humano se ha venido acostumbrando a su uso en casi todo, por ello la convierte en un producto de consumo masivo y con alta demanda. Teniendo en cuenta lo anterior, se ha vuelto casi indispensable que las personas la obtengan de muchas maneras; una de ellas es la captación de los rayos solares mediante paneles fotovoltaicos, ya que son renovables y libres de contaminantes tanto para las personas como para el medio ambiente.

A través de este proyecto la Universidad Antonio Nariño en su sede Valledupar, tiene como propósito encontrar espacios que brinde la oportunidad de tener un contacto hacia la conciencia humana con respecto hacia la naturaleza, mediante el uso de la tecnología renovable sin afectar la Biodiversidad. Por esta razón este proyecto impulsa el medio y la forma de implementar recursos que son usados para los servicios de la sala de cómputo del bloque C. como efecto se adquiere el diseño estructural, el diseño del sistema fotovoltaico y la instalación eléctrica interna, con su conforme estudios. A través, de este documento se consolida datos exactos, los cuales resaltan con mayor precisión la investigación en temas de energías renovables, impulsando el desarrollo sostenible y mitigación en el cambio climático, garantizando el uso adecuado de estas energías en la sociedad del alma mater de la universidad Antonio Nariño sede Valledupar.

Palabras clave: Energía eléctrica, paneles solares, renovable, fotovoltaico, cambio climático.

Abstract

Electric power is an important factor in today's world, since human beings have been getting used to its use in almost everything, which is why it becomes a mass consumption product with high demand. Considering the above, it has become almost essential for people to obtain it in many ways; One of them is the capture of solar rays through photovoltaic panels, since they are renewable and free of contaminants for both people and the environment.

Through this project, the Antonio Nariño University at its Valledupar headquarters, aims to find spaces that provide the opportunity to have contact with human consciousness with respect to nature, through the use of renewable technology without affecting Biodiversity. For this reason, this project promotes the means and the way to implement resources that are used for the services of the computer room of block C. As an effect, the structural design, the design of the photovoltaic system and the internal electrical installation are acquired, with its according to studies. Through this document, exact data is consolidated, which highlights with greater precision the research on renewable energy issues, promoting sustainable development and climate change mitigation, guaranteeing the adequate use of these energies in the society of the alma mater of the Antonio Nariño University in Valledupar. **Keywords:** Electric energy, solar panels, renewable, photovoltaic, climate change.

Key words: Electric power, solar panels, lumens.

Introducción

Cuando se habla en la actualidad de las energías renovables, seguramente ya se nos hace muy común, porque cada día que pasa tenemos mucha información al respecto por todos los medios de comunicación, además de que se nos ha convertido en un bien necesario, debido a que todo se usa o maneja con energía.

A lo largo de la historia el ser humano siempre, a medida que ha ido evolucionado intelectualmente como científicamente ha hecho lo necesario para hacer uso de la tecnología en el ámbito de la salud ya que así se provee y se garantiza una mejor calidad en el sector. Ya que, como todos sabemos la tecnología y los dispositivos electrónicos hacen una gran labor en dicho campo, a continuación, hablaremos un poco sobre algunos dispositivos.

Cuellar, W. A. Ñ., & Rodríguez, S. R. R. (2017) describe que: “La energía eléctrica en Colombia en su gran mayoría, es generada en centrales a través del sistema hidráulico esta con un 68,3% y por centrales térmicas en 28%, el restante por sistemas renovables, como el fotovoltaico y el eólico, por lo que es catalogado como un país con una matriz eléctrica más limpia con respecto a otros países del hemisferio occidental” (Pág.1).

A pesar de que Colombia es un país rico en biodiversidad, y con una extensión territorial, medianamente poblada y que cuenta con disponibilidad para poder generar sus propias energías renovables, dentro de sus políticas de estado y economía no se está haciendo provecho de estas fuentes que permitirían reducir sus costos de producción de la misma. Desde que nació la idea de generar energía eléctrica de manera renovable e inagotable, han surgido múltiples ideas, de éstas, las que cobran mayor importancia son las

producidas por los rayos solares y por el viento. Desde la Universidad Antonio Nariño se nos dan enfoques para que se investigue y se ponga en práctica las técnicas de generación de energía usando estas tecnologías que se vislumbra será en un futuro cercano.

El desarrollo de tecnologías para la generación de energía eléctrica, alcanzado por la energía solar fotovoltaica en los últimos veinte años, es sorprendente, por sus niveles de eficiencia, razón por la cual se ha dispuesto la implementación de este tipo de generación para implementarlo en la Universidad Antonio Nariño sede Valledupar, en el ambiente de la sala de cómputo, con el interés de que se pueda contar con elementos de última generación y que se puedan realizar estudios de medición y de adaptación en los ambientes de formación especializado. El aumento de esta tecnología, en el país solo es posible, si se cuenta con los recursos necesarios para la implementación de la misma. Es así como el ministerio de Minas Y energía, mediante La ley 1715 (2014). *“Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional.”* y sus beneficios nos debe animar a realizar proyectos que se encaminen a la masificación de generación del preciado servicio, no solo dentro de La Universidad Antonio Nariño, sino también en toda Colombia. (Pág.1-24)

Definición del problema.

Antecedentes del problema

La mayor parte de energía eléctrica que se produce en el mundo proviene de las centrales generadoras térmicas, hidráulicas y nucleares; representado en las centrales termoeléctricas un renglón bastante importante dentro de la matriz energética mundial equivalente a aproximadamente el 50% de la energía total generada, desafortunadamente este tipo de centrales requieren quemar combustibles fósiles tales como el carbón, gas y petróleo que ocasionan un daño y un costo ambiental muy elevado que tienen efectos directos en el cambio climático a nivel mundial y en el deterioro de recursos tales como el agua, la tierra y el aire.

Se suma a lo anterior, el conflicto entre el incremento de la demanda energética progresiva y el agotamiento del tipo de combustibles fósiles, lo cual permite prever una crisis energética a futuro si no se desarrollan nuevas alternativas de generación, razón por la que actualmente cada vez se hacen más fuertes las energías alternativas renovables, de las cuales hace parte la generación de energía eléctrica por medio de paneles fotovoltaicos y que gracias al desarrollo experimentado durante las últimas décadas hoy por hoy es una de las alternativas más reales para ayudar a soportar las necesidades energéticas y aportar a una gradual independencia frente a los combustibles fósiles y de esta forma garantizar también la conservación del medio ambiente permitiendo un desarrollo sostenible.

Descripción del problema

Colombia no es ajena al desarrollo energético del mundo y su deseo es esforzarse por estar a la vanguardia de las nuevas tendencias construyendo alternativas que fortalezcan su matriz energética y que le permita consolidar criterios de sostenibilidad medioambiental, social y económica mediante una gestión eficiente de la energía; además, es consciente del potencial que tiene en el área de las energías renovables y es por ello que hace actualmente un esfuerzo por regular la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional a través de la ley 1715 del 13 de Mayo de 2014, ya que con dicha ley se desea no solo reglamentar sino también promover la penetración de las fuentes alternativas de energías renovables al mercado eléctrico nacional.

El departamento del Cesar en Colombia se encuentra ubicado al noreste, en la región caribe del país y energéticamente depende de la generación de energía de otros departamentos, no posee plantas de generación relevantes y por tanto se consolida dentro de la cadena de energía principalmente como consumidor.

Valledupar, la capital del departamento se ha visto igualmente afectada por los problemas en la calidad de la energía eléctrica, así como por las dificultades que ha tenido en la prestación del servicio ya que, el operador de red, “*afinia EPM*” quien es su proveedor actualmente se encuentra en etapa de liquidación; esta es una ciudad con un nivel de demanda de energía alto en la zona urbana debido al uso de aires acondicionados y equipos de refrigeración en el sector residencial y comercial. Actualmente a pesar de toda la problemática mencionada no es notorio el aprovechamiento de energías renovables en

cuanto al alto potencial que se tiene en la zona a cerca de los niveles de radiación benéficos para la obtención de energía mediante el uso de sistemas fotovoltaicos.

Esta problemática parece no ser de gran preocupación para sus habitantes ya que existe un adormecimiento lo cual permite observar cierto contraste con otras zonas del país donde los sistemas fotovoltaicos han comenzado poco a poco a implementarse, destacándose ciudades como Medellín y Bogotá.

En el ámbito universitario de la ciudad de Valledupar, tampoco se evidencia interés por promover investigaciones e implementación de sistemas de generación fotovoltaica que permitan incentivar y ayuden a fortalecer el conocimiento sobre estas fuentes alternativas de generación de energía, en la sede de la Universidad Antonio Nariño Valledupar se evidenció la existencia de un banco didáctico alimentado por energía solar, sin embargo es el único proyecto que se relaciona con los sistemas fotovoltaicos.

Es importante mencionar que en la sede Valledupar de la Universidad Antonio Nariño se evidencia un gasto considerable en cuanto al consumo de la energía eléctrica, sobre todo en sus horas pico, que normalmente son los días en lo que los estudiantes se encuentran en los ambientes recibiendo las tutorías.

Formulación del problema

¿Cómo se puede contribuir para la reducción del consumo de energía eléctrica y generar un impacto positivo para la comunidad educativa de la sede Valledupar de la Universidad Antonio Nariño?

Objetivos

Objetivo general

Implementar un sistema fotovoltaico Off-The-Grid máximo de 1,5 KW de potencia para alimentar dispositivos electrónicos en la Sala de Cómputo del bloque C de la Universidad Antonio Nariño sede Valledupar.

Objetivos específicos

- Estimar la cantidad de dispositivos a los cuales es viable alimentar con 1,5 KW de potencia en la Sala de Computo.
- Realizar el levantamiento eléctrico de la sala de cómputo de la Universidad Antonio Nariño sede Valledupar.
- Proveer los Paneles Solares para disminuir el consumo de energía de la Sala de Computo.
- Implementar un sistema solar fotovoltaico que alimente el sistema de iluminación interno de la sala de cómputo de la Universidad Antonio Nariño sede Valledupar

Justificación

Las necesidades son claras, se necesita energía eléctrica, la demanda energética aumenta, los combustibles fósiles se agotan y la sociedad enfrenta una problemática ambiental por contaminación y cambio climático. Sumado a lo anterior, en el departamento del Cesar no se produce energía conllevando esto a depender de otros departamentos para abastecerse de electricidad.

El presente proyecto pretende promover una gestión eficiente de la energía, generando ahorro en el costo de la misma, pero también, mejorar la eficiencia mediante uso de luminarias de menor consumo y mayor eficiencia; es un proyecto que promueve la energía limpia con un impacto positivo al medio ambiente y que se encuentra alineado con el interés nacional por fortalecer su matriz energética desde las energías renovables, así como también es una respuesta a las necesidades que existen en el departamento del Cesar y la ciudad de Valledupar en materia del autoabastecimiento de energía eléctrica pero también del aprovechamiento de ese potencial tan importante que se tiene para generar energía mediante sistemas fotovoltaicos. Por último, este proyecto persigue avivar el interés desde la academia por un tema de relevancia y de actualidad tanto para la universidad como para la región y el país. Este trabajo espera poder ser un pequeño grano de arena en dirección de los cambios necesarios dentro del sector energético y eléctrico tanto para el presente como para el futuro.

1. Marco Teórico

Para el presente capítulo, se ostentará de manera breve una introducción acerca de la importancia y el uso de la generación mediante la implementación de los sistemas de fotovoltaicos, si bien Colombia cuenta actualmente con un potencial positivo de sistemas de energía solar fotovoltaica frente al resto del mundo. A pesar, de que se observan variaciones, los análisis de datos mediante estudios demuestran que en todo la región o territorio nacional el cociente de irradiación solar es alto.

Ahora bien, es importante añadir que los fundamentos teóricos puntualizados en el lapso de este libro, expone conceptos que están determinados para los sistemas fotovoltaicos. Tales conceptos o principios fundamentales nos acercan al contexto real de la iniciativa por una nueva generación de energías renovables como medio principal objetivo del contexto nacional, como bien sabemos a través del IDEAM, C. (2005), “en Colombia en regiones como la Costa Atlántica y Pacífica, la Orinoquía y la Región Central. Actualmente se encuentra el Mapa de Emisión Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia. Gracias a estos benefactores es por esta razón que el país cuenta con 550 estaciones automáticas satelitales y convenciones localizadas en la extensión de país, de las cuales: 71 son directas, 383 se dedican a realizar medidas rutinarias de brillo solar y 96 se dedican a realizar mediciones” (pág. 13–22).

2. Sistemas Fotovoltaicos

Los sistemas fotovoltaicos cada vez más juegan un papel importante en las nuevas implementaciones de generación de energías y es que sin lugar a duda en el contexto mundial este medio de energético está convirtiéndose en la nueva promesa de las energías seguras y limpias.

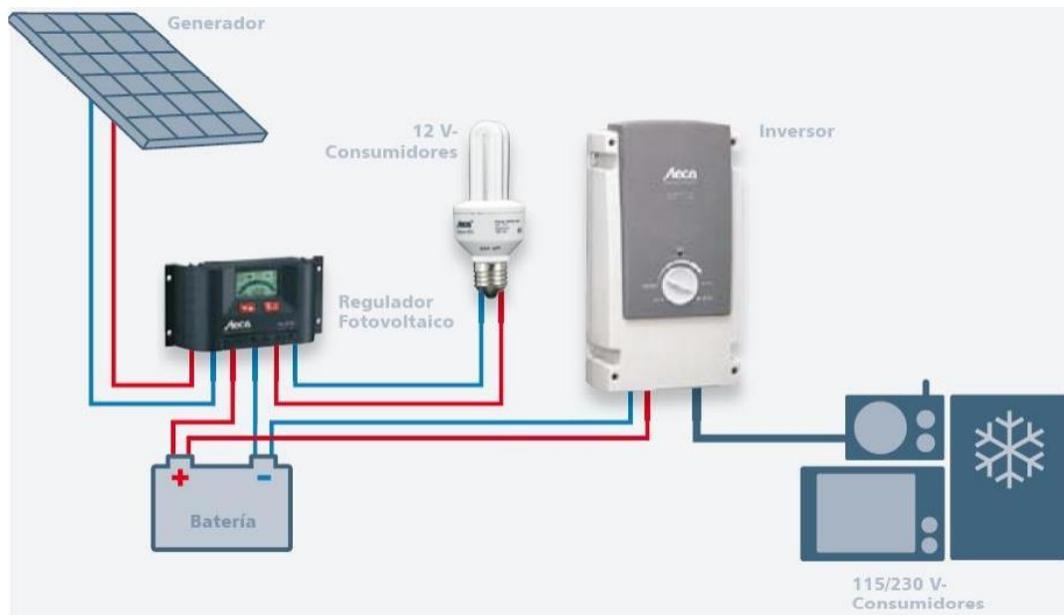
Como se menciona en el texto anterior cada vez son más habituales las redes de generación de energías o electrificación fotovoltaica. El abastecimiento eléctrico mediante corriente alterna presume una incuestionable superioridad en términos del servicio proporcionado a los consumidores, ya que éstos pueden convenir a las prosperidades del normalizado y extendido mercado de la red eléctrica convencional.

En este sentido, la implementación de un sistema de energía fotovoltaica está dada o conformada por los siguientes elementos:

- Regulador de carga
- Inversor
- Generador o Modulo fotovoltaico
- Banco de Baterías
- El consumo

Figura 1.

Componentes de una Instalación de sistemas Fotovoltaicos.



Fuente: En la imagen de la Unidad 1. Componentes de una instalación solar fotovoltaica <https://www.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448171691.pdf>

3. Clasificación de sistemas fotovoltaicos

Ahora bien, unas de las principales características de la generación de energía mediante sistemas fotovoltaicos, es la forma en cómo podemos clasificarlos en función de cómo está directamente conectados a la red eléctrica convencional:

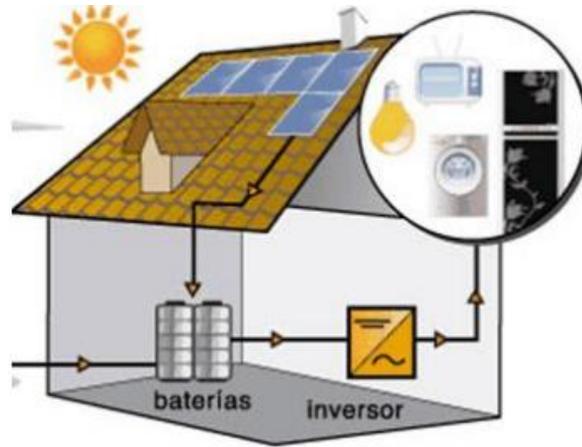
3.1 Sistema fotovoltaico autónomos o aislado.

Son aquellos que están aislados de la red eléctrica convencional, regularmente esta clase de sistemas de generación eléctrica son usados para cubrir la necesidad en lugares

donde son de difícil acceso o lugares remotos en el que, el acceso de energía convencional no suele ser tan competitivos.

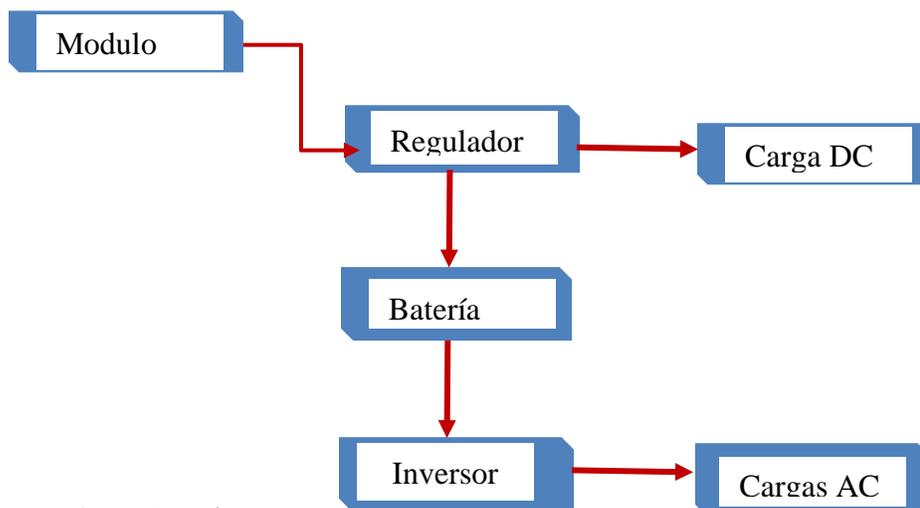
Figura 2.

Esquema de instalación híbrida aislada para vivienda aislada



Fuente: Sistema fotovoltaico autónomo para casa rural.

Diagrama de los principales componentes que forman un sistema fotovoltaico “Aislado O Autónomo”



Fuente: Autor Propio

3.1.1 Aplicaciones de los sistemas aislados

Existen múltiples y numerosos ejemplos de aplicaciones de los sistemas autónomo o aislados de la red eléctrica sin embargo unas de las grandes aplicaciones de estos sistemas son: Satélites Y Naves Espaciales

- La Señalización marítima, terrestre Y de aeropuertos.
- Red Eléctrica en campos de cultivo o fincas aisladas por su difícil acceso por su tamaño, para servir energía a el bombeo.

Tabla 1.

Ventajas y des ventajas de los sistemas fotovoltaicos autónomos

Las ventajas de las instalaciones aisladas son:	Los inconvenientes de la instalación aislada son:
Puede dar servicio en horas nocturnas.	Necesita baterías que son caras.
Cuando producimos más de lo que consumimos no inyectamos energía a la red	El rendimiento del sistema baja en periodos de baja radiación solar.
Todo lo consumimos del sistema es gratis.	Si falla la batería, el usuario se queda sin servicio
Es ampliable en función de las necesidades de la carga.	

Fuente: Autor propio.

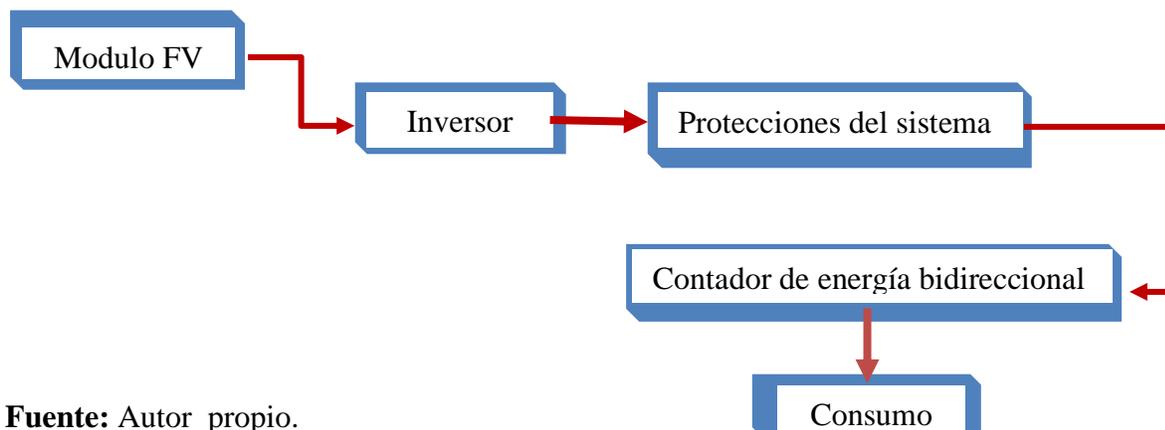
3.2 Sistemas conectados a la red

Son aquellos que están directamente conectados a la red eléctrica, usados en las horas de irradiación solar escasa o nula, generalmente en horas nocturnas, cuando el generador fotovoltaico no produce energía suficiente para cubrir la demanda de electricidad, es la red la que suministra la energía solicitada. Viceversa, si durante las horas de Sistema Fotovoltaico irradiación solar el sistema fotovoltaico produce más energía de la que gasta, ésta se vierte a la red común.

Elementos propios del sistema conectado a red. Los principales componentes que forman un sistema fotovoltaico “grid connected” son:

- Módulos fotovoltaicos
- Inversor para la conexión a red.
- Protecciones del sistema.
- Contador de energía bidireccional

Diagrama de los principales componentes que forman un sistema fotovoltaico “grid connected”



Fuente: Autor propio.

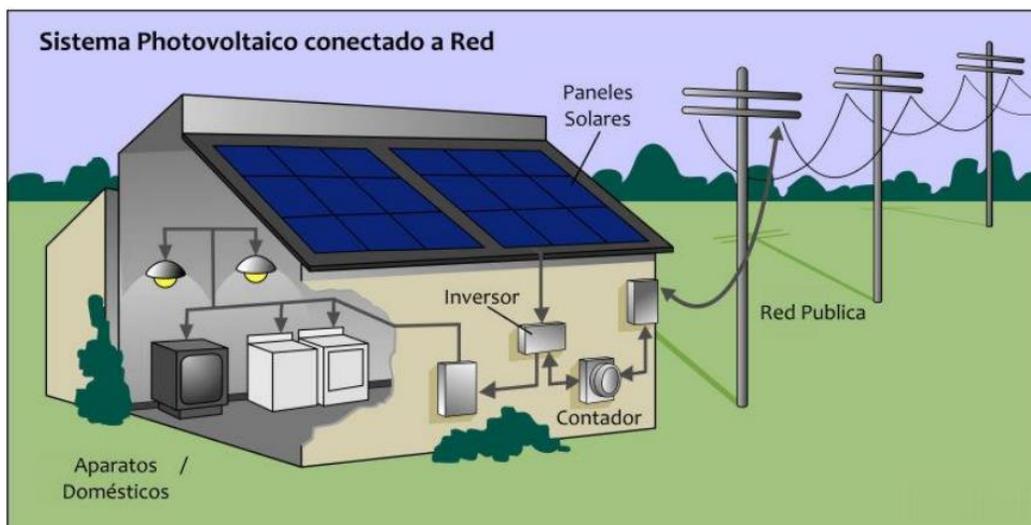
3.2.1 Aplicaciones para un sistema conectado a red.

Las principales aplicaciones de los sistemas conectados a la red eléctrica común son:

- En viviendas de fácil instalación donde se aprovecha la superficie del propio tejado existente para sobreponer los módulos fotovoltaicos.
- Sistema Fotovoltaico Autónomo para Casa Rural

Figura 3.

Esquema de instalación híbrida conectada a red para vivienda



Fuente: Sistema fotovoltaico autónomo para casa rural

Para ofrecer una solución más económica se están utilizando prefabricados que reducen notablemente el tiempo de realización de la instalación del sistema y aumentan su fiabilidad. Una vez terminada la instalación del sistema fotovoltaico, es un componente más de la vivienda, aportando una fuente adicional de electricidad y un valor ecológico añadido.

4. Componente de un Sistemas Fotovoltaico

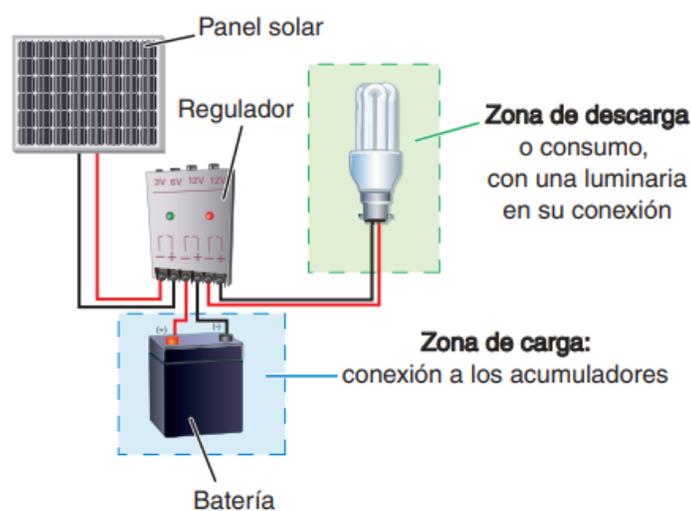
4.1 Regulador de carga

Este módulo es el encargado de proteger a los acumuladores expuestos a sobrecargas eléctricas, proporcionando una salida a la tensión generada, de esta manera fijando la tensión a su estado de valor de nominal de carga.

Su propósito es garantizar la estabilidad suficiente en las cargas eléctricas, asimismo evitar fluctuaciones excesivas de cargas que puedan provocar un daño irremediable en los equipos finales en la infraestructura, a continuación, la *figura 4* ilustra las conexiones de regulador en una Instalación de Sistemas Fotovoltaico.

Figura 4.

Conexiones de regulador en una Instalación de Sistemas Fotovoltaico.



Fuente: Componentes de una instalación solar fotovoltaica

En la *figura 4*, podemos observar que el regulador como pieza importante, se sitúa entre los paneles y la batería y es el encargado de controlar la tensión e intensidad con la que se cargan las baterías.

Es importante describir que existen dos tipos de reguladores y estos poseen distintos criterios de funcionalidades como se menciona a continuación:

- Regulador de carga MPPT o regulador placa solar MPPT
- Reguladores de carga PWM.

Regulador de carga MPPT o regulador placa solar MPPT: la singularidad de este regulador es tener la capacidad de entregar la tensión a la batería que mejor le conviene para sacar su mejor rendimiento.

Reguladores de carga PWM: este regulador posee la capacidad de acotar o limitar los excesos de cargar o descargas de la batería. Es decir, cuando la batería está en su 100% el regulador limita la carga de entrega de la celda solar hacia la batería.

Figura 5.

Regulador Victron 20A PWM-Light 12/24V

Regulador MPPT 250V 85A LCD 12/24/48V



Fuente: Regulador Victron 20A PWM-Light 12/24V | al Mejor Precio (autosolar.es)

4.2 Inversor

Este dispositivo es el encargado de proporcionar la energía suficiente y eficiente, también tiene la capacidad de convertir la corriente de entrada directa en corriente alterna. En Colombia el nominal o eficaz común es 110 V Y La frecuencia es 60 Hz, igual a la de la red eléctrica, para así alimentar a los dispositivos o aparatos eléctricos. Los paneles solares, por las características propias de sus materiales, generan potencia en corriente directa, el inversor es la interfaz para interconectarlos a las cargas o a la red eléctrica, las cuales funcionan con corriente alterna.

Figura 6.

Inversor inteligente



Fuente: En la imagen de Potosinos (2019) podemos ver con claridad la Energía solar fotovoltaica *revupotosinos Universitarios*.

Existen diversos fabricantes de renombre mundial como SMA, Fronius, Huawei, SolarEdge, SunGrow, ABB, Enphase y Schneider Electric, que comercializan inversores para emplearse en instalaciones fotovoltaicas, que van desde equipos pequeños que sirven para convertir la energía proporcionada por uno o dos paneles (200 W-500 W), los que manejan arreglos de cuatro a 40 paneles (1 kW-10 kW).

4.2.1 Tipos Y Clasificación

Actualmente existen dos grandes grupos de inversores: los **auto conmutados** y los **conmutados** de línea para Horikoshi, I. (2009) los describe de la siguiente manera:

- “Los inversores conmutados de línea usan pulsadores basados en tiristores, estos inversores poseen la capacidad de controlar el tiempo de activación de la conducción,

pero no el tiempo de parada. Para detener la conducción precisan de una fuente o circuito adicional que reduzca hasta cero la corriente que lo atraviesa.

- Los inversores auto conmutados parámetros de conmutación que poseen la capacidad de intervenir los estados de conducción y no conducción, dentro de estos están los transistores IGBT y MOSFET” (Pág. 62).

4.3 Generador o módulo fotovoltaico

Elemento principal en la implementación de los sistemas fotovoltaicos, este convierte la energía solar en energía eléctrica, este módulo está formado por la unión de diversos paneles, para dotar a la instalación de la potencia requerida. La potencia que puede suministrar el módulo fotovoltaico dependerá del número de células que posea. Un valor típico para módulos compuestos por 36 células conectadas en serie oscila entre los 50 y 100 W, dependiendo del área de cada una de las células.

Los paneles solares o Módulos fotovoltaico vienen dados por la tecnología de fabricación de las células, y son fundamentalmente hechos en silicio cristalino “monocristalino y policristalino” y silicio amorfo.

En unos de los libros utilizados como fuente para este proyecto, “Handbook of Photovoltaic Science and Engineering” se presenta una tabla que, aunque no está actualizada, sirve para comparar los costes de fabricación de los módulos de silicio monocristalino y policristalino.

Tabla 2.

Comparación de los módulos monocristalinos y policristalinos

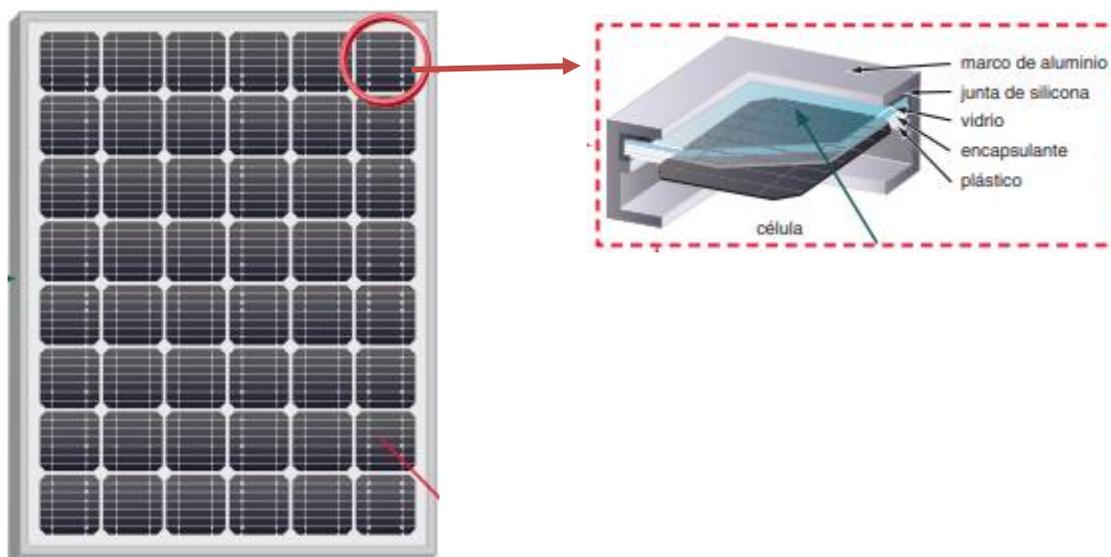
DATOS	SX	MC
Pure Si	38	38
Ingot formation	115	35
Sawing	77	77
Wafer cost	230	150
Cell fabrication	80	80
Total components	310	230
Yield	0.95	0.9
Cell cost	326	256
Module assembling	75	75
Lamination	75	75
Module cost (Euro m⁻²)	476	406
Efficiency	0.14	0.12
Module cost (Euro Wp⁻¹)	3.40	3.38

Fuente: Handbook of Photovoltaic Science and Engineering

En la *figura 7.* a continuación se observa la descripción de los principales componentes de una celda solar

Figura 7.

Constitución de un panel solar

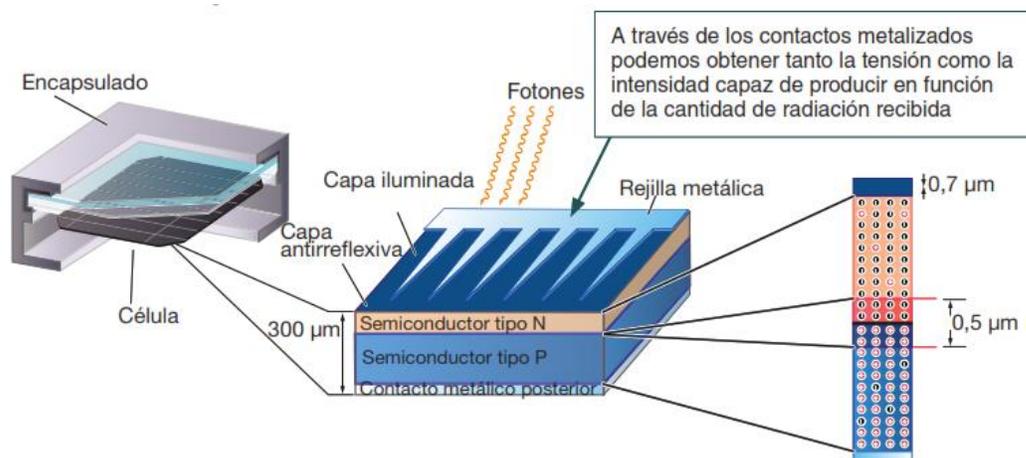


Fuente: Componentes de una instalación solar fotovoltaica

La *figura 8*, a continuación describe o expone la forma de la funcionalidad de la célula solar. Se caracteriza por función es tomarlos fotones provenientes de la luz del sol en electricidad. Una célula solar se comporta como un diodo, la parte expuesta a la radiación solar es la N, y la parte situada en la zona de oscuridad, la P. Los terminales de conexión de la célula se hallan sobre cada una de estas partes del diodo, la cara correspondiente a la zona P se encuentra metalizada por completo (no tiene que recibir luz), mientras que en la zona N el metalizado tiene forma de peine, a fin de que la radiación solar llegue al semiconductor.

Figura 8.

Estructura de la célula solar



Fuente: LA - Instalaciones solares fotovoltaicas.

4.4 Parámetros fundamentales de la célula solar.

- *Corriente de iluminación.*
- *Corriente de oscuridad.*
- *Tensión de circuito abierto.*
- *Corriente de cortocircuito.*

Cuando la célula solar es conectada a una carga, los valores de tensión e intensidad varían. Existirán dos de ellos para los cuales la potencia entregada sea máxima: V_m (tensión máxima) e I_m (intensidad máxima), que siempre serán menores que V_{OC} e I_{SC} . En función de estos valores, la potencia máxima que puede entregar la célula solar será:

Ecuación 1. Potencia máxima

- P_m (potencia máxima)
- V_m (tensión máxima)
- I_m (intensidad máxima)

$$P_m = V_m * I_m$$

Esto nos permite definir un parámetro de la célula solar que recibe el nombre de factor de forma (FF) y que se calcula mediante la fórmula:

Ecuación 2. Factor de forma

- Tensión de circuito abierto (V_{OC})
- Corriente de cortocircuito (I_{SC})
- V_m (tensión máxima)
- I_m (intensidad máxima)

$$FF = \frac{V_m I_m}{V_{OC} I_{SC}}$$

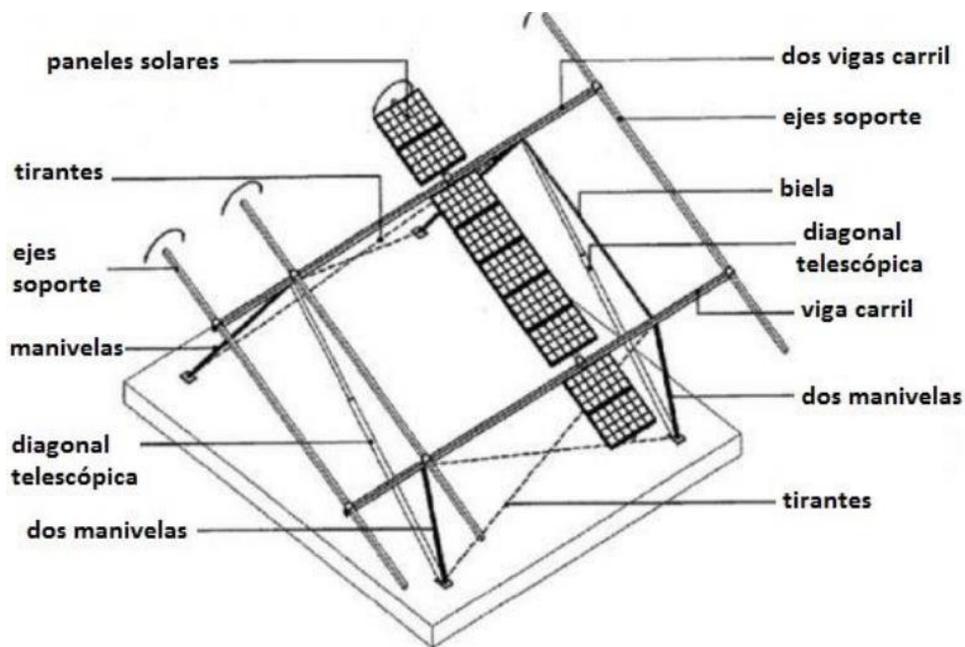
Así pues, el factor de forma es el cociente entre la máxima potencia que puede entregar la célula a la carga y el producto de la tensión de circuito abierto y la corriente de cortocircuito.

En las células solares más habituales, los valores típicos de FF son 0,7 o 0,8. En una célula solar la producción de corriente depende de la irradiancia (nivel de iluminación), de tal forma que a medida que aumenta la irradiancia, aumenta la intensidad a través de la célula.

4.5 Parámetros o estándares sobre la estructura mecánica en lo Generador o módulos fotovoltaicos.

En la generación de energía mediante sistemas fotovoltaicos sea conectados a la red o autónomo es importante los parámetros de inclinación para buscar la mayor insolación para obtener el mejor resultado del generador, estos módulos fotovoltaicos están montados sobre una estructura mecánica capaz de sujetarlos y que está orientada para optimizar la radiación solar, en la imagen se muestra un esquema del soporte del módulo.

En la siguiente *Figura 9*. Se observa una perspectiva con las partes principales del seguidor, Sistema de paneles sobre ejes; ejes paralelos sobre dos vigas carril y estructura soporte articulada.

Figura 9.*Estructura o Soporte Ajustable*

Fuente: Sistema fotovoltaico autónomo para casa rural (1)

Parámetros o estándares óptimos son:

- Angulo > de 15 ° de inclinación, en condiciones normales.
- Angulo > 45° de inclinación en condiciones adversas.

La cuantía de energía originada por un generador fotovoltaico varía durante el año en función de dos circunstancias significativas:

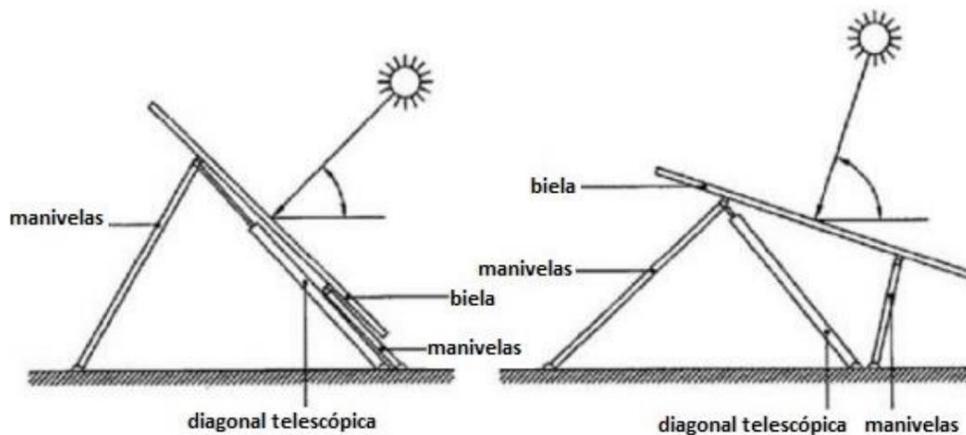
- La insolación de la localidad.
- La latitud.

Es importante que señalar que, mediante el uso de cada aplicación, el generador tendrá que ser dimensionado teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- Potencia de pico.
- Posibilidad de conexión a la red eléctrica.
- Latitud del lugar y radiación solar media anual del mismo.
- Características arquitectónicas específicas del edificio.
- Características eléctricas específicas de la carga

Figura 10.

Soporte Ajustable con Anclaje de Superficie



Fuente: Sistema fotovoltaico autónomo para casa rural (2)

Figura (Izquierda): soporte en posición plegada, corresponde a máxima inclinación de ejes y por tanto a período de invierno. Figura (Derecha) Igual que la figura 3 pero para posición de verano, con estructura abierta y ejes menos inclinados.

Tabla 3.

Parámetros eléctricos fabricante

ELECTRICAL DATA (STC)					
Model Number	RSM72-6-330M	RSM72-6-335M	RSM72-6-340M	RSM72-6-345M	RSM72-6-350M
Rated Power in Watts-Pmax(Wp)	330	335	340	345	350
Open Circuit Voltage-Voc(V)	46.3	46.7	46.8	46.9	47.0
Short Circuit Current-Isc(A)	9.29	9.32	9.35	9.38	9.41
Maximum Power Voltage-Vmpp(V)	37.6	37.9	38.2	38.5	38.8
Maximum Power Current-Impp(A)	8.78	8.83	8.91	8.97	9.03
Module Efficiency (%)	17.1	17.3	17.5	17.8	18.0

STC: Irradiance 1000 W/m², Cell Temperature 25°C, Air Mass AM1.5 according to EN 60904-3.**Fuente:** Ficha técnica de los paneles fotovoltaicos.

4.5.1 Tipos de Celdas Solares

Silicio Policristalino: Esta tecnología presenta una estructura interna ordenada, pero por sectores separados, esto hace que los enlaces irregulares de las fronteras cristalina tengan menores niveles de rendimiento, su eficiencia esta entre 11-14%.

policristalinas: Se caracteriza por ser de alta potencia y rendimiento, con una mínima polución química y nula contaminación acústica, posee varias capas en su parte posterior como adhesión, aislamiento eléctrico, cuenta con una pintura externa que lo protege del anodizado típico.

Figura 11.*módulo Policristalino*

Fuente: <http://www.sitiosolar.com/los-paneles-solares-fotovoltaicos>

Silicio Amorfo: Esta estructura está completamente desordenada y por ende se podrá obtener una flexibilidad en el módulo, pero una muy poca eficiencia en su conversión, para el cual tiene 10.

Tabla 4.

Diferencias entre los paneles según la tecnología de fabricación

Células	Silicio	Rendimiento laboratorio	Rendimiento directo
	Monocrystalino	24 %	15 - 18 %
	Policristalino	19 - 20 %	12 - 14 %
	Amorfo	16 %	< 10 %

Fuente: Componentes de una instalación solar fotovoltaica.

Paneles de células monocristalinas: El silicio monocristalino es el tipo de célula más común y el primero que se ha fabricado industrialmente, el procedimiento de fabricación parte de la obtención de silicio muy puro el cual es fundido en un crisol acompañado de una pequeña cantidad de boro.

Figura 12.

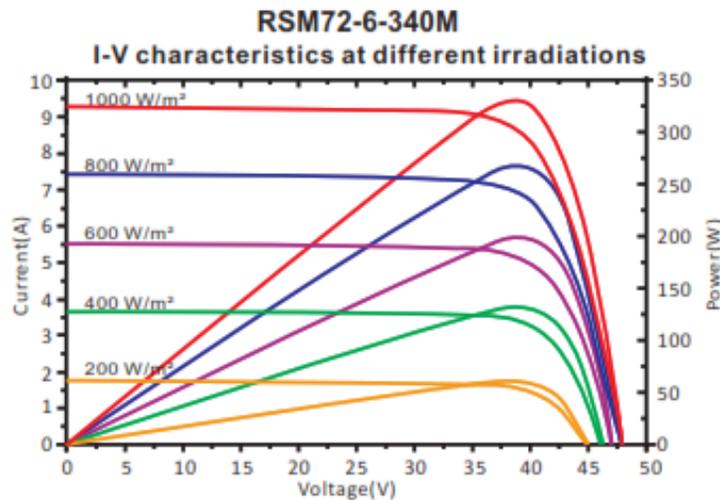
Panel solar monocristalino



Fuente: <https://adnsolar.com.ar/producto/panel-solar-monocristalino-170w-12v-36-celdas-renogen/>

potencia máxima de una célula solar.

En la presente figura se establece el corte de voltaje entre corrientes y como esta es indirectamente proporcional con la Irradiación, es decir entre mayor irradiación mayor flujo de fotones lo que significa mayor cantidad de corriente.

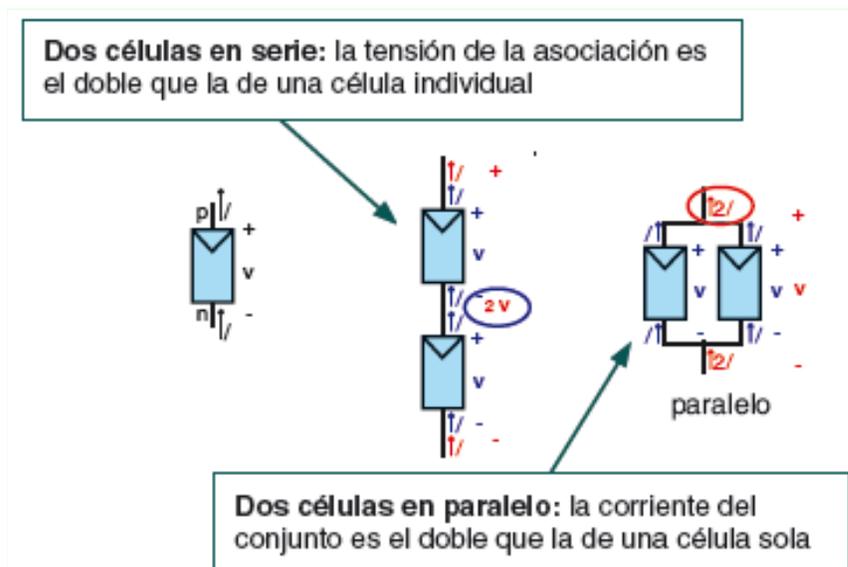
Figura 13.*Curva de corrientes*

Fuente: Componentes de una instalación solar fotovoltaica.

4.5.2 Asociación de células en serie y paralelo

Potencia de la célula solar. La potencia que proporciona una célula de tamaño estándar, por lo que generalmente será necesario tener que asociar varias de ellas con el fin de proporcionar la potencia necesaria al sistema fotovoltaico de la instalación. Según la conexión eléctrica que hagamos de las células, nos podemos encontrar con diferentes posibilidades:

- La conexión en serie de las células permitirá aumentar la tensión final en los extremos de la célula equivalente.
- La conexión en paralelo permitirá aumentar la intensidad total del conjunto.

Figura 14.*Asociación de células solares I*

Fuente: Componentes de una instalación solar fotovoltaica

4.6 Banco de baterías

Este módulo se requiere en instalaciones autónomas proporciona energía a las instalaciones durante los periodos en que no haya periodos de luz solar o insuficiencia de luminosidad.

Los bancos de baterías toman la energía producida por los paneles solares a través de un regulador de carga y de esta forma entrega la carga a la salida de la instalación. Unas de las principales funcionalidades del banco de batería son las siguientes:

- Almacenar energía
- Proporcionar la energía
- Fijar la tensión

Para realizar la selección de un banco de batería se debe analizar varios parámetros que determinan el principio de uso de la capacidad de almacenamiento, que se entiende como la cantidad eléctrica que puede alcanzar.

Principales características de parámetros deseables para el uso de las baterías en el sistema fotovoltaico:

- Baja Resistencia
- Profundidad de Descarga
- Vida útil
- Poco mantenimiento
- Capacidad funcional hacia corrientes bajas
- Amplia reserva de electrolito

4.6.1 Tipos de Baterías

Una primera clasificación es en abiertas y cerradas, pero la distinción más importante es si son monoblock o estacionarias.

Tabla 5.

Características de los Principales de Baterías

Tipo de batería	Tensión por vaso (V)	Tiempo de recarga	Autodescarga por mes	N.º de ciclos	Capacidad (por tamaño)	Precio
Plomo-ácido	2	8-16 horas	< 5 %	Medio	30-50 Wh/kg	Bajo
Ni-Cd (níquel-cadmio)	1,2	1 hora	20 %	Elevado	50-80 Wh/kg	Medio
Ni-Mh (níquel-metal hydride)	1,2	2-4 horas	20 %	Medio	60-120 Wh/kg	Medio
Li ion (ión litio)	3,6	2-4 horas	6 %	Medio - bajo	110-160 Wh/kg	Alto

Fuente: Componentes de una instalación solar fotovoltaica.

En la siguiente **tabla 5**, nos describe los diferentes tipos de baterías con sus respectivos parámetros de funcionalidades y modelo de fabricación.

Tabla 6.

Modelos de Baterías.

TIPO	VENTAJAS	INCONVENIENTES	ASPECTO
Tubular estacionaria	<ul style="list-style-type: none"> • Ciclado profundo. • Tiempos de vida largos. • Reserva de sedimentos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Precio elevado. • Disponibilidad escasa en determinados lugares. 	
Arranque (SLI, automóvil)	<ul style="list-style-type: none"> • Precio. • Disponibilidad. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mal funcionamiento ante ciclado profundo y bajas corrientes. • Tiempo de vida corto. • Escasa reserva de electrolito. 	
Solar	<ul style="list-style-type: none"> • Fabricación similar a SLI. • Amplia reserva de electrolito. • Buen funcionamiento en ciclados medios. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tiempos de vida medios. • No recomendada para ciclados profundos y prolongados. 	
Gel	<ul style="list-style-type: none"> • Escaso mantenimiento. 	<ul style="list-style-type: none"> • Deterioro rápido en condiciones de funcionamiento extremas de VI. 	

Fuente: Componentes de una instalación solar fotovoltaica.

4.7 Consumos

Es la carga que ha de satisfacer (luminarias, batidoras, radio, TV, motores, etc.), pueden ser DC o AC. Se considera a los consumos como una parte central del método fotovoltaico ya que estos son los que establecen el tamaño del sistema.

5. Radiación o insolación

La radiación solar es el flujo de energía que recibimos del sol en forma de ondas electromagnéticas de diferentes frecuencias (luz visible, infrarroja y ultravioleta). La luz visible son las radiaciones comprendidas entre $0,4\mu\text{m}$ y $0,7\mu\text{m}$ pueden ser detectadas por el ojo humano. Existen radiaciones situadas en la parte infrarroja del espectro de la cual una parte es ultravioleta.

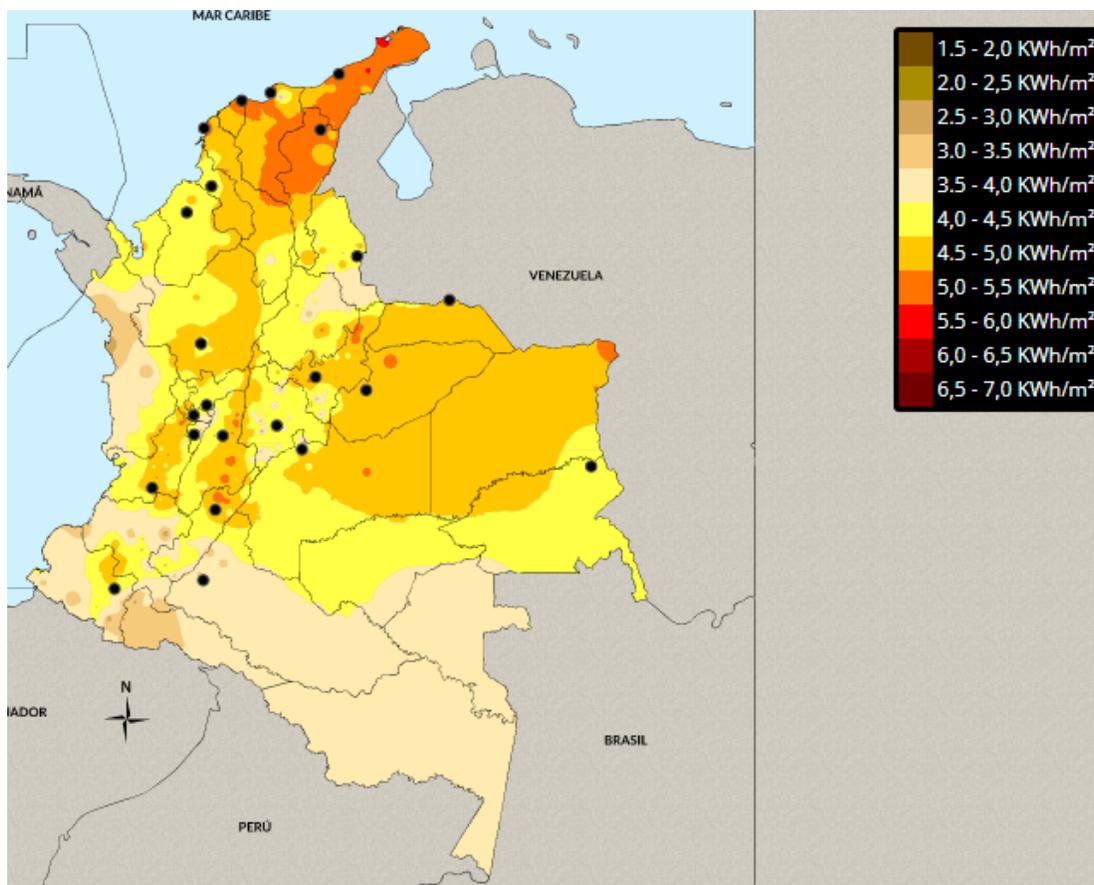
Según el Atlas de radiación solar de Colombia, a través del análisis de Castillo, Y., Castrillón Gutiérrez, M., Vanegas-Chamorro, M., Valencia, G., & Villicaña, E. (2015) arguyen al referir que: “el país cuenta con un recurso solar importante, se estima una irradiación promedio mensual que varía entre los 4 y 6 kWh/m²día, siendo las regiones de La Guajira, Arauca, parte del Vichada, las regiones de los valles del Río Cauca y del Río Magdalena y San Andrés y Providencia las de mayor recurso. Comparado con los porcentajes mundiales, Colombia se encuentra entre el 58 y 84% de los máximos registrados”.

5.1 Medición de la radiación solar

La radiación solar se mide normalmente con un instrumento denominado piranómetro. En función de cómo reciben la radiación solar los objetos situados en la superficie terrestre, se pueden distinguir estos tipos de radiaciones.

Figura 15.

Atlas de radiación solar, ultravioleta y ozono de Colombia



Fuente: <http://atlas.ideam.gov.co/>

5.2 Tipos de radiación

- Radiación directa: Llega directamente del sol sin haber sufrido cambio alguno en su dirección. Se caracteriza por proyectar una sombra definida de los objetos opacos que la interceptan.
- Radiación difusa: Parte de la radiación que atraviesa la atmósfera es reflejada por las nubes o absorbida por éstas. Esta radiación se denomina difusa, va en todas las

direcciones, como consecuencia de las reflexiones y absorciones, no solo de las nubes sino de las partículas de polvo atmosférico, montañas, etc. Este tipo de radiación se caracteriza por no producir sombra alguna respecto a los objetos opacos interpuestos.

- Radiación reflejada: Es aquella reflejada por la superficie terrestre. La cantidad de radiación depende del coeficiente de reflexión de la superficie. Las superficies verticales son las que más radiación reflejada reciben.
- Radiación global: Es la radiación total. Es la suma de las tres radiaciones.

Efectos de la radiación solar sobre los gases de la atmósfera. La energía solar tiene longitudes de onda entre 0,15 micras y 4 micras por lo que puede ionizar un átomo (0,1 micra), excitar electrones (0,1 micra y 1 micra), disociar una molécula o hacerla vibrar (1 micra a 50 micra). La energía térmica de la tierra (radiación infrarroja) se extiende desde 3 micras a 80 micras por lo que sólo puede hacer vibrar o rotar moléculas.

6. NTC 2050 sistemas solares fotovoltaicos

Las disposiciones de esta sección se aplican a los sistemas fotovoltaicos de generación de energía eléctrica, incluidos los circuitos eléctricos, unidad o unidades de regulación y controladores de dichos sistemas, en este sentido el Código Eléctrico Colombiano NTC 2050, es una medida afín de controlar y a la vez garantizar la invención de tecnologías en un ámbito global tocantes a la eficacia energética, sin dejar de lado las técnicas y materiales que se pueden implementar en las infraestructuras eléctricas.

Estos estándares o protocolos de control son aplicados para cualquier sistema de generación eléctrico, en este caso específico dispone también para sistemas solares fotovoltaicos interconectados con otras fuentes de generación de energía eléctrica o ser autónomos y tener o no acumuladores.

6.1 NTC 2050 (sección 690) sistemas solares fotovoltaicos

Expone los estándares y políticas del uso de celda solar, circuito de entrada y salida del inversor, modulo, panel, sistema autónomo, inversor, diodo de bloqueo, circuito de entrada del inversor entre otros términos muy usuales. Unas de los estándares o políticas de los cuales aplica la sección 690-1 hasta la 690-5 de acuerdo con el código eléctrico colombiano (1998) NTC 2050. Estas son algunos de los parámetros establecidos por el código:

- *Alcance de los sistemas fotovoltaicos*
- *Detección e interrupción de fallas a tierra*
- *Definiciones concernientes a los sistemas fotovoltaicos*
- *Instalación*

Requerimientos o estándares establecidos colombiano (1998) NTC 2050. para circuitos desde la sección 690-7 hasta 690-9 de acuerdo a las siguientes generalidades como:

- *“Tensión máxima, Dimensionamiento y corriente de circuitos*
- *Protección contra sobre corriente:* Establece los protocolos para proteger contra sobre corriente de modo que brinden protección desde todas las fuentes”. (Pág.627)

6.2 Puesta a tierra del sistema de potencia.

Tiene como propósito y objetivo garantizar que la instalación eléctrica sea segura garantizando la protección contra los choques eléctricos y los incendios producto de las sobretensiones transitorias enormes inmersas en el fenómeno del rayo y de las corrientes de falla a tierra. Esta sección presenta reglas que identifican los métodos de instalación que deben ser seguidos para garantizar la seguridad de la instalación.

La mayoría de los sistemas eléctricos son puestos a tierra en su fuente para:

- ✓ Estabilizar las tensiones del sistema.
- ✓ Limitar las diferencias de potencial.
- ✓ Minimizar las tensiones que ocurren durante una falla a tierra.
- ✓ Proporcionar un camino de retorno para las corrientes de falla.

Los sistemas puestos a tierra por resistencias altas se utilizan como sustitutos de los sistemas no puestos a tierra donde se requiere alta disponibilidad del sistema eléctrico. Según colombiano (1998) NTC 2050. “Es importante entender la distinción entre el

conductor puesto a tierra y el conductor de puesta a tierra de los equipos. El conductor puesto a tierra, comúnmente referido como neutro, y siempre debe ser de color blanco o gris natural. El conductor de puesta a tierra de los equipos está unido. Este conductor puede ser desnudo, pero si está aislado, su aislamiento debe presentar un color verde cuando su calibre es 13,29 mm² (6 AWG) o menos. Los conductores con aislamiento verde no pueden utilizarse para otro propósito distinto. En general, los sistemas puestos a tierra sólidamente se utilizan en donde las cargas se conectan entre línea y neutro” (Pág.100).

Tabla 7.

Norma de colores de los conductores

SISTEMA	MONOFASICO		TRIFASICO				
			(Y)ESTRELLA		(Δ-)DELTA	(Δ)DELTA	
Tensión (V)	120	120/240	208/120	480/277	240/208/120	240	480
Fases	1	2	3	3	3	3	3
Neutro	1	1	1	1	1	N/A	N/A
Fases	Negro	Negro	Amarillo	Amarillo	Negro	Negro	Amarillo
		Rojo	Azul	Naranja	Naranja	Azul	Naranja
			Rojo	Café	Azul	Rojo	Café
Neutro	Blanco	Blanco	Blanco	Gris	Blanco	N/A	N/A
Tierra de Protección	Desnudo o Verde	Desnudo o Verde	Desnudo o Verde	Desnudo o Verde	Desnudo o Verde	Desnudo o Verde	Desnudo o Verde
Tierra Aislada	Verde amarillo	Verde amarillo	Verde amarillo	N/A	Verde amarillo	N/A	N/A

Fuente: Código eléctrico colombiano (NTC 2050).

Protección Contra Rayos: sistema encargado de reducir los impactos de las altas tensiones, asimismo también contra rayos el más sencillo está conformado básicamente por el conductor de puesta a tierra del equipo, el electrodo de puesta a tierra y el suelo que lo rodea.

Acometida: Es la distribución de los enlaces que une la red

Conductores: cables o alambres usados para transmitir la energía eléctrica.

Calibre De Los Conductores: El calibre de los conductores esta estandarizado segun AWG (American Wire Gage) o en mils de circunferencia (kcmil) como nos expresa el artículo 110-6 de la NTC 2050

Capacidad De Corriente De Los Conductores Eléctricos: La capacidad de corriente de los conductores de 0 a 2 000 V nominales debe ser la especificada en las Tablas de capacidad de corriente, 310-16 a 310-19.

Tabla 8.

Factor de ajuste por temperatura Tabla 310-16 de la norma NTC 2050

Número de conductores en tensión	Porcentaje del valor de los cuadros, ajustados para la temperatura si fuera necesario.
De 4 a 6	80
De 7 a 9	70
De 10 a 20	50
De 21 a 30	45
De 31 a 40	40
41 y mas	35

Fuente: Tabla 310-16 de la norma NTC 2050

6.3 Electrodo de puesta a tierra.

Para cumplir con el Retie se hace obligatorio que los electrodos de puesta tierra cumplan con los requisitos estipulados en la tabla 23 del Retie

Tabla 9.

Tipo de electrodo puesta a tierra

Tipo de Electrodo	Materiales	Dimensiones Mínimas			
		Diámetro mm	Área mm ²	Espesor mm	Recubrimiento μm
Varilla	Cobre	12,7			
	Acero inoxidable	10			
	Acero galvanizado en caliente	16			70
	Acero con recubrimiento electrodepositado de cobre	14			100
	Acero con recubrimiento total en cobre	15			2000
Tubo	Cobre	20		2	
	Acero inoxidable	25		2	
	Acero galvanizado en caliente	25		2	55
Fleje	Cobre		50	2	
	Acero inoxidable		90	3	
	Cobre cincado		50	2	40
Cable	Cobre	1,8 para cada hilo	25		
	Cobre estañado	1,8 para cada hilo	25		
Placa	Cobre		20000	1,5	
	Acero inoxidable		20000	6	

Fuente: Norma NTC 2050

7. Agentes relevantes del sector energético en Colombia

En la actualidad Colombia camina es uno de los países con la mayor tasa de generador de emisiones de CO₂, por esta razón en la agenda económica del país se habla de desarrollo sostenible con la industria extractiva, si bien Colombia es un país conocido como uno de los más grandes extractivista, como lo es el sector minero y petrolero, lo cual tiene una connotación complicada ya que es la principal fuente de ingreso del PIB del país, por esta razón la transición de hacia un nuevo modelo de sistema económico es más que predecible para esta nueva era, que está definida por impulsar un nuevo modelo económico sostenible y amigable con el medio ambiente para mitigar los impactos ambientales y sociales ocasionados.

En este orden de ideas en Colombia han actuado grandes agendas relevantes para el sector energético a través de la energía renovable. Uno de estos grandes actores es el ministerio de Minas y Energía (MME), el cual es el órgano designado por el gobierno para dirigir la política nacional en cuanto a minería esta si bien se encarga de Formular, adoptar, dirigir y coordinar la política en materia de generación, transmisión, distribución y comercialización de energía eléctrica. Unas de las funciones principales del ministerio de minas y energía es desarrollar los planes de impulso del sector minero-energético del país en correlación con los planes sostenibles y ambientales en busca una política del Gobierno Nacional.

En este orden de ideas es importante mencionar también la Unidad de Planeación Minero Energético (UPME) la cual es la unidad Administrativa Especial del orden Nacional, de carácter técnico, adscrita al Ministerio de Minas y Energía, regida por la Ley 143 de 1994

y por el decreto número 255 de enero 28 de 2004. Este tiene entre sus funciones proyectar en forma exhaustiva, indicativa, indeleble y sistematizada con los agentes del sector minero energético, el progreso y explotación de los recursos mineros y energéticos; con el propósito de producir y divulgar la información requerida con base a las proyecciones de la demanda, los requerimientos energéticos de la población y los agentes económicos del país bajo el fundamento de un sistema de planeación dirigido por la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) es la entidad colombiana adscrita al Ministerio de Minas y Energía encargada de regular los servicios de electricidad y gas según se establece en la ley 142 y 143 de 1994. Es así como, Castillo, Y., Castrillón Gutiérrez, M., Vanegas-Chamorro, M., Valencia, G., & Villicaña, E. (2015). Describe en dicho oficio, “el cual reside en la ordenación de las dispensas para la prestación de los servicios públicos y por último la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD) la cual desempeña funciones específicas de control y vigilancia. En otras palabras, es la que se encarga de que los servicios de energía eléctrica, gas natural, gas licuado de petróleo (GLP) y combustibles líquidos se presten al mayor número posible de personas, al menor costo posible para los usuarios y con una remuneración adecuada para las empresas” (Pág.39-51).

En Colombia el sector energético está regularizado por distintos entes oficiales que figuran como encargadas de la generación, transmisión, comercialización y distribución de la energía eléctrica tal es el caso del Ministerio.

El crecimiento de la generación y demanda de la energía eléctrica en Colombia ha hecho que el congreso de la república con iniciativas del ministerio de minas y energías

asuma compromiso, desde el año 1990 a través de leyes brinda la reformación de los sistemas energético a través de mecanismos de nuevas ciencias y proyectos, con la ley 29 del mismo año se implementó el Sistema Nacional de Innovación, recientemente, mediante ley 1286 de 2008 “por la cual se modifica la ley 29 de 1990, se transforma a COLCIENCIAS en Departamento Administrativo, se fortalece el Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación en Colombia y se dictan otras disposiciones”, en una mayor apuesta del país, se definió el Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación, en el cual Colciencias, adquiere carácter de Departamento Nacional, con un mayor presupuesto y mayores compromisos con el tema.

De igual manera, Rodríguez Murcia, H. (2008). Demuestra como a través del IPSE (Instituto para la Promoción de Soluciones Energéticas) es en la actualidad la institución que lidera las acciones del Estado en la energización del campo colombiano. “El enorme crecimiento de la demanda ha hecho que halla en desarrollo soluciones innovadoras como sistemas híbridos, en donde se combinan por ejemplo la energía solar fotovoltaica y las plantas diésel” (pág.83-89).

Como puede apreciarse, el crecimiento energético ha llevado al país a tener un papel estratégico en el control de los recursos lo cual es de vital importancia para no poner en riesgo la seguridad energética. Todo esto referido por los investigadores: Silva Ortega, J. I., Grimaldo Guerrero, J. W., Ospino, A., & Gomez Mesino, E. (2020). Al describir que la “la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME) tiene dentro de sus funciones velar por la seguridad energética y la planeación y desarrollo del sector minero energético (Ley 143 Art 16, 1994). Según UPME, 2015” (Pág.1).

8. Políticas energéticas

Un problema global como lo es; el cambio climático, es una situación que debe afrontarse con acciones a corto y largo plazo, por esta razón instituciones como la UPME, CREG, CIURE y el MME toman un rol importante en el país, promoviendo la investigación en centros educativos y otros agentes públicos y privados cuyo objetivo es plantear soluciones convenientes económicamente y a su vez eficientes dejando de lado los combustibles fósiles e implementando recursos hídricos, solares o eólicos, todo esto respaldado por la ley 143 de 1994 que establece a estas entidades la función de planeación de la utilización de las fuentes no convencionales de energía, el análisis tecnológico, la regulación del sector eléctrico en general, la ejecución de proyectos en sitios aislados y la adopción de planes.

El Gobierno Nacional creó la Ley 29 de 1990 y el Decreto 393 de 1991, para impulsar la investigación en el URE (Uso Racional de la Energía) a través de Colciencias.

La presente LEY 1715 (2014) “tiene por objeto promover el desarrollo y la utilización de las fuentes no convencionales de energía, sistemas de almacenamiento de tales fuentes y uso eficiente de la energía, principalmente aquellas de carácter renovable, en el sistema energético nacional, mediante su integración al mercado eléctrico, su participación en las zonas no interconectadas, en la prestación de servicios públicos domiciliarios, en la prestación del servicio de alumbrado público y en otros usos energéticos como medio necesario para el desarrollo económico sostenible, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la seguridad de abastecimiento energético. Con los mismos propósitos

se busca promover la gestión eficiente de la energía y sistemas de medición inteligente, que comprenden tanto la eficiencia energética como la respuesta de la demanda” (pág.1).

Mediante la Ley 164 de octubre de 1994 y el artículo 1º de la Ley 7ª de 1994. Gómez Ramírez, J. (2017). Evidencia la importancia de como “El Congreso de la República aprobó la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático de 1992. Encaminado a enfrentar los GEI (Gases de efecto Invernadero) y el cambio climático por medio de una política global.

Para 1994 se reformó la expedición de las Leyes 142 y 143; en la cuales se instauraron límites en cuanto a acciones de ejercicio del sector energía eléctrica: generación, transmisión, distribución y comercialización para las SIN y ZNI. Se le asignó a la UPME elaborar el Plan Energético Nacional (PEN) y el Plan de Expansión del sector eléctrico.” (pág.1).

9. Marco ambiental

El mundo ha venido en una transformación en las fuentes de energías a las que hemos estado acostumbrado y que se viene estudiando hace más de doscientos años, se dice que se está agotando, o al menos que por la cantidad de consumo con respecto a su producción, es cada vez más deficiente y que generan impactos nocivos para el medio ambiente y el planeta tierra.

Los grandes cambios de evolución del ser humano y su deseo del consumismo y sobre población ha llevado que los procesos físicos ambientales del planeta tierra tengas grandes cambios, es por esta razón que los grandes países desarrollados tienen en sus agendas de desarrollo económico la importancia del cambio climático y la importancia que se requiere de implementar un nuevo modelo de sistemas energético que sea mucho más amigable sostenible para dar un enfoque más integral según la definición de desarrollo sostenible entregada por las Naciones Unidas (UN, 2018).

Estudios del Instituto de Ciencias Nucleares y Energías Alternativas (INEA). (1996). Manifiesta que “Los efectos del sistema invernadero ha puesto a muchos países a figurar con nuevas políticas de cambio en sus sistemas de producción. Por esta razón Colombia ha venido implementando un nuevo esquema de suministro de electricidad.” (Pág.1).

Es así como a partir de este momento se ha comenzado a ver un crecimiento uso de esta tecnología principalmente en las zonas rurales y no conectadas a la red de energía nacional mediante el apoyo institucional que brinda el Estado.

La lucha por la extracción de sistemas fósiles para sistemas energéticos hoy día, es insostenible ya que, la emisión de estos minerales forja una gran degradación ambiental generando de esta forma un drástico cambio climático, calentamiento global, contaminación del aire, Lluvia acida (Gomez-Ramirez, Murcia-Murcia, & Cabeza-Rojas, 2016).

9.1 Ventajas Medioambientales

- ✓ la energía solar no necesita ser extraída, o transportada al sitio de generacion, que está cerca de la carga, lo que significa una disminución en los costes de producción
- ✓ un recurso inagotable y no produce emisiones en su producción
- ✓ es modular y se puede producir aun con luz difusa.

Según Herrera Beltrán, L. F. (2019). En su análisis manifiesta que: “Para determinar el beneficio ambiental de un sistema solar fotovoltaico se tiene en cuenta el factor de emisión marginal y el ministerio de ambiente de Colombia determina en su (RESOLUCION 91304, 2014), a través del artículo 1 "Adoptar el factor marginal de emisión de gases de efecto invernadero del Sistema Interconectado Nacional de 0,374 Ton CO₂/KWh, pan realizar el cálculo de las reducciones de emisiones de gases de efecto invernadero de los proyectos aplicables al Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL)" (Pág.4).

A través de este análisis se logra se realizar o predecir el nivel de emisiones de dióxido de carbono de Colombia entre los años 2008 y 2011 la cual fue de 142 gramos de CO₂ por cada KWh. En este sentido, Colombia apenas representa el 0,4 % de las emisiones mundiales.

10. Metodología

10.1 Diseño y tipo de investigación.

10.1.1 Investigación de Campo:

Dentro del estudio diseño e implementación de este proyecto, se determinó la factibilidad para la implementación de un sistema Off The Grid (Fuera de la Red o Autónomo) de energía fotovoltaico que permita suministrar energía eléctrica de hasta 1,5 KW de potencia para mejorar la prestación del servicio de algunos dispositivos en la sala de cómputo de la sede Valledupar de la Universidad Antonio Nariño.

El proyecto de grado realizado en la sala de cómputo de la sede Valledupar, se enfoca en una de las últimas tecnologías, donde cada dispositivo busca mejorar el ambiente de formación para tener una mejor utilidad disminuyendo así el consumo de energía eléctrica del claustro universitario.

Anteriormente este ambiente de formación dependía únicamente del suministro de energía que proporciona la empresa de servicios públicos de la ciudad, al momento de cualquier falla eléctrica o suspensión del fluido, los usuarios de la sala de cómputo se veían obligados a suspender las actividades académicas, por la falta del servicio de energía en los dispositivos. Las luces son muy importantes en las aulas de clases porque ayudan en la visualización y en la disminución del esfuerzo de la vista por parte del ser humano al momento de tomar apuntes en la libreta mientras se dispone a recibir clases por parte del docente.

Para determinar qué cantidad y cuales dispositivos tenían mayor relevancia de acuerdo a su impacto positivo, el análisis del proyecto contempló dentro de su objetivo los siguientes parámetros medibles:

- Cambio de cableado eléctrico y luminaria para disminuir el consumo de energía.
- Instalación de luminaria tipo panel LED de incrustación en cielo raso acorde al RETILAP.
- Instalación de equipo Inversor solar de baja frecuencia Off The Grid y banco de baterías para almacenar convertir y suministrar energía eléctrica.
- Instalación de paneles concentradores de energía solar fotovoltaica en la parte superior del techo del bloque C. Instalación de Interruptores y tomacorrientes para los dispositivos de la sala de cómputo.

10.2 Diseño de un sistema de iluminación alimentado por paneles fotovoltaicos.

Teniendo en cuenta que la infraestructura de la sala de cómputo con la que cuenta la sede Valledupar de la Universidad Antonio Nariño, carece de los planos eléctricos con los que se energizan los dispositivos, se realizó el plano eléctrico para la conexión de estos.

El sistema de generación solar fotovoltaica ubicada en la Universidad de Antonio Nariño sede Valledupar, fue diseñado para suministrar constantemente energía a los equipos de iluminación y proyección, debido a que la energía entregada por la empresa distribuidora presenta cortes y fluctuaciones en su servicio, haciendo que la formación sea interrumpida en diferentes ocasiones y por consecuencia los equipos sufren por los cambios de los nivel de tensión en la red, produciendo así una disminución en su vida útil.

11. Análisis y cálculo de campo experimental.

El diseño del sistema de iluminación se realizará para un ambiente educativo, para este proyecto es la sala de cómputo que está ubicado en el bloque C de la sede Valledupar de la Universidad Antonio Nariño.

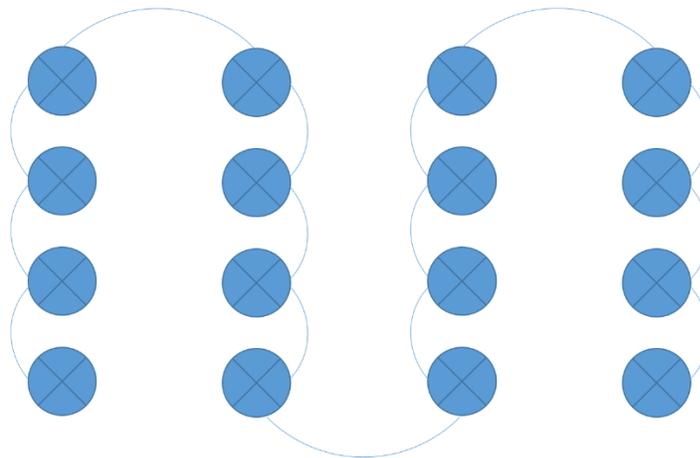
Se garantizan los niveles de iluminancia, el cumplimiento del reglamento técnico de Iluminación y alumbrado público RETILAP y normas complementarias que le apliquen.

Para realizar los cálculos de iluminación, se utilizará el método del flujo total para el cálculo del alumbrado de interiores, para lo cual es necesario definir lo siguiente:

- E. Iluminancia promedio que se pretende (Lux).
- FL. Flujo lumínico de la lámpara que se desea utilizar (Lumen).
- S. Superficie de la habitación (m²).
- μ . Factor de utilización, el cual indica la eficiencia luminosa del conjunto lámpara, luminaria y local, por lo tanto, depende del sistema de iluminación, de las características de la luminaria, del índice del local (K), del factor de reflexión del techo, piso y paredes de la habitación.

Figura 16.

Diseño de distribución de la luminaria de la sala de computo



Fuente: Elaboración propia.

A la altura de esta parte del proyecto, para iniciar con el proceso de la instalación de los artefactos tecnológicos, se procedió con la desinstalación del cielo raso con el que contaba la sala de cómputo, siempre manteniendo las medidas de seguridad con los elementos y herramientas de protección en seguridad industrial.

Para efectuar los cambios necesarios en la construcción del proyecto se requirió hacer una inversión en la compra de la mayor parte de todos los elementos descritos anteriormente, como también el proveer de los servicios de instalación de algunos de los mismos por personal calificado.

Para Murcia, H. R. (2008). Los datos suministrados por Ideam en el Atlas de radiación solar de Colombia, con el que se determina la disponibilidad de la luz solar en la región donde se instalará el sistema. Para Colombia, obtenemos de 4.5-6 horas de sol por día, es suficiente si consideramos el peor mes, el de diciembre, que es de 4.5. se relaciona el

potencial de la energía solar por regiones para Colombia, basado en el Atlas de radiación colombiano del Ideam y del UPME. Se muestran los datos insolación y radiación solar por regiones (Pág.83-89)

El diseño de esta etapa se fundamenta en el peor dato de radiación establecido para la región andina, según un modelo hecho en el Matlab por los autores, con datos geográficos de Google Earth con el que se obtiene la radiación mínima $R_{admin} = 463.97 \text{ W/m}^2$. El método utilizado es el equivalente solar que consiste en definir la energía total de un día y hallar el tiempo equivalente si se estableciera una radiación promedio $R_{adprom} = 1000 \text{ W/m}^2$, con el fin de medir la potencia que se ha de instalar, con la potencia nominal por panel que entrega el fabricante. Las horas de sol diaria (T_{sd}) aproximada para Colombia son $T_{sd}=10$ horas

11.1 Criterios y funcionalidades técnicas del sistema solar fotovoltaica.

El sistema funciona con un Inversor On line cargador, el cual hará que se mantengan constantemente los niveles de tensión en su salida, en momentos cuando esta llegase a aumentar o a bajar en su entrada de red y generación, así mismo cuando se presente una interrupción en la red de energía, los equipos conectados al sistema no dejan de funcionar.

De igual manera en caso donde el consumo ha sido constante durante todo el día y parte de la noche y agregando además el agotamiento de las baterías, el inversor podrá tomar la corriente de la red normal para suplir la necesidad de la carga conectada.

Es importante aclarar que se está utilizando un Inversor-Cargador, el cual convertirá la corriente continua generada por los paneles a corriente alterna para su uso comercial, sin

embargo, por ser cargador, este deberá alimentarse por la red normal para que en ocasiones críticas cuando las baterías estén descargadas menos del 50% y la carga esté conectada, la red pueda suplir la corriente de los equipos conectado y a su vez cargar paulatinamente las baterías.

11.2 Dimensionamiento del sistema fotovoltaico.

Para el dimensionamiento del sistema haremos una secuencia en el diseño para determinar el perfil adecuado de la instalación, sabiendo ya las características de los equipos a utilizar, es importante ahora conocer las dimensiones de cada uno de los bloques para definir la capacidad de cada uno de ellos.

Para el dimensionamiento del sistema lo haremos mediante una secuencia que veremos a continuación.

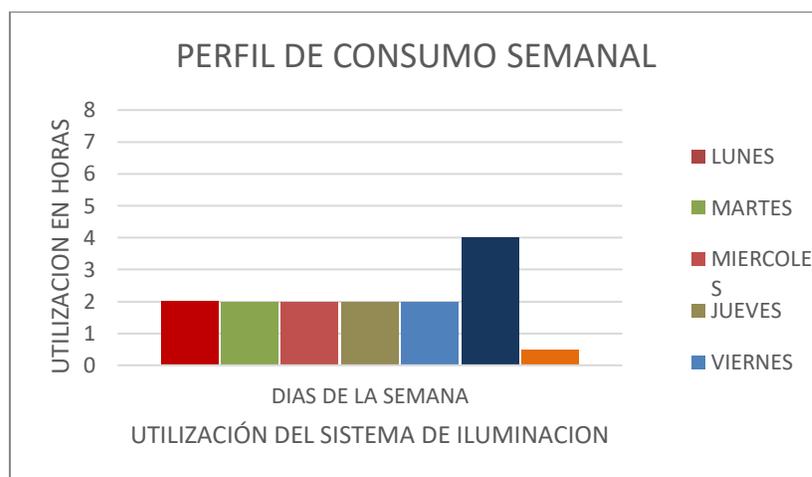
- Perfil de carga
- Estimación del consumo
- Estimaciones de perdidas
- Angulo de inclinación para los módulos fotovoltaico
- Seleccionar el nivel de tensión nominal de la instalación.
- Dimensionamiento del bloque de generación
- Dimensionamiento del bloque de acumulación
- Dimensionamiento del Inversor
- Dimensionamiento del cableado.

11.3 Perfil de carga.

Identificando el perfil de carga nos dará información de los consumos simultáneos y con esto las potencias y las distribuciones de carga.

Figura 17.

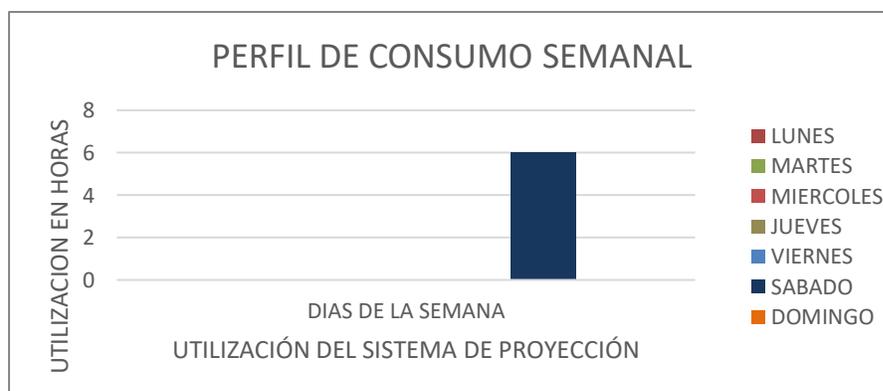
Perfil de carga



Fuente: Elaboración propia.

Figura 18.

Perfil de carga o perfil de consumo



Fuente: Elaboración propia.

11.4 Estimación de consumo.

El consumo eléctrico del salón de cómputo del bloque C, estará dado por los sistemas de iluminación y proyección, estos según el perfil de consumo están mejor representado el día sábado cuando la universidad presenta la mayor afluencia de estudiantes, sabiendo así que la formación llevada en el salón de cómputo podría ser de seis horas y una utilidad de iluminación de dos horas ya que el salón cuenta con excelente iluminación natural y el régimen de utilización comienza a verse entre las 4:00 pm a 6:00 pm y en algunas veces de 6:00am a 8:00 am.

Con esto podemos sacar el consumo promedio del salón de cómputo, sin embargo, como vemos en las tablas de perfil de consumo los días de semana de lunes a viernes su consumo es bajo o nulo, por esto el cálculo de consumo lo haremos con el día sábado, ya que es cuando tenemos el mayor pico de consumo, y así estaríamos desestimando los días anteriores porque vamos a estar por debajo del consumo.

Las cargas utilizadas en este proyecto son alimentadas por corriente alterna.

Ecuación 3. Cálculo de consumo

$$E_{\text{carga}_{AC}} = \text{Cantidad} \times \text{Horas} \times P_{\text{nom. equipo}_{AC}}$$

- ✓ $E_{\text{carga}_{AC}}$: Consumo energético diario de la carga en AC (Wh/Día)
- ✓ Cantidad: Numero de equipos que tengan las mismas características.
- ✓ Horas: Tiempo en que se prevé la utilización de los equipos.
- ✓ $P_{\text{nom. equipo}_{AC}}$: Potencia nominal de los equipos conectados Wh

Tabla 10.

Consumo de dispositivos a alimentar

Dispositivo	Cantidad	Potencia Wh	Horas por dia	Consumo total por dia Wh/Dias
Led redondo	20	24	2	960
Video Beam	1	210	4	840
Laptop	1	65	4	260
Total, Wh/Dia				2,060

Fuente: Elaboración propia.

Recordemos que los equipos que estarán conectados en simultanea son el video beam y laptop.

11.5 Estimaciones de perdida.

Los equipos eléctricos y electrónicos dentro de su proceso de transformación de la energía tienen un consumo interno aparte del trabajo que debe realizar, a esto le llamaremos perdida que al final definirá la eficiencia de cada uno, estos valores son tomados de la ficha técnicas de los equipos, tendiendo como referencia el Factor de potencia (F.P). Pero no solo los equipos presentan perdidas, los conductores eléctricos y conectores también la poseen.

11.6 Eficiencia total del sistema (n_T).

En base a la eficiencia de cada uno de los componentes podemos sacar la eficiencia total.

Ecuación 4. Eficiencia Total

$$NT = n_B \times n_{Inversor} \times n_x$$

- ✓ n_B : Eficiencia del rendimiento de las baterías que típicamente puede oscilar entre 75% y 90%.
- ✓ $n_{Inversor}$: Eficiencia del rendimiento del inversor 95%.
- ✓ n_x : Eficiencia dada para aquellas pérdidas como, temperatura, pérdida por dispersión de parámetros o suciedad, pérdidas por errores del MPPT y cableado.

11.7 Angulo de inclinación.

La inclinación y la orientación de los módulos fotovoltaico obedecen a la ubicación geográfica donde se realice el proyecto, teniendo en cuenta el hemisferio y la latitud. Con el hemisferio definimos la orientación de los módulos y con la latitud el ángulo de inclinación.

Ubicación geográfica de la Ciudad de Valledupar.

Nuestro país, Colombia, se encuentra ubicado en el noroccidente de América del Sur, sobre la línea equinoccial, en la zona tórrida sabiendo así que nos encontramos con gran porcentaje en el hemisferio Norte.

Valledupar, Cesar, se encuentra $10^{\circ}27'44.6''N$ $73^{\circ}16'41.1''W$.

Sabiendo entonces el hemisferio donde nos encontramos podemos orientar nuestros módulos fotovoltaico hacia el Sur, así mismo conociendo la latitud de Valledupar, inclinamos nuestros paneles a 10° .

La inclinación es importante para que los módulos puedan autolimpiarse y también no queden bajo la superficie de incidencia solar. La orientación de módulos se hace necesaria cuando la estructura donde se encuentra es fija, dado a que el sol viene en el amanecer desde el este y se oculta al oeste, con esto tendremos una incidencia solar a lo largo del tiempo.

11.8 Nivel de tensión del arreglo fotovoltaico.

En Colombia las normatividades sobre instalaciones solar fotovoltaicas son pocas, hemos de orientarnos un poco con las normas internacionales, en ellas nos dan unas series de pautas técnicas para la realización de los montajes de los sistemas.

Citado de la “Universal Technical Standard for Solar Home Systems”, nos indican que para los sistemas de.

- ✓ 12Vcc para potencia menor igual a 1.5Kw.
- ✓ 24Vcc para potencias entre 1.5Kw a 5 Kw
- ✓ 48 0 120Vcc para potencias mayores a 5 Kw

En este proyecto trabajaremos con tensión de **24Vcc** para obtener una menor corriente, con esto disminuimos los costos, ya que el cableado a utilizar cuando tengamos **12Vcc** debe ser de mayor calibre por que la corriente aumenta y las dimensiones de las protecciones son mayores.

11.9 Dimensionamiento del Bloque de Generación.

Ecuación 5. Carga total de Carga en CA

- $E_{cargaAC}$: Consumo energético diario de la carga en AC (Wh/Dia)
- Cantidad: Numero de equipos que tengan las mismas características.
- Horas: Tiempo en que se prevé la utilización de los equipos.
- $P_{nom.equipoAC}$: Potencia nominal de los equipos conectados Wh
- $E_{cargaAC} = 2,060W$

Ecuación 6. Cálculo de eficiencia

- (n_T) . Eficiencia total del sistema
- n_B : Eficiencia del rendimiento de las baterías que típicamente puede oscilar entre 75% y 90%.
- $n_{Inversor}$: Eficiencia del rendimiento del inversor 95%.
- n_X : Eficiencia dada para aquellas perdidas como, temperatura, perdida por dispersión de parámetros o suciedad, perdidas por errores del MPPT y cableado.
- $N_T = n_B * n_{Inversor} * n_X$
- $N_T = 0.88 * 0.95 * 0.95 = 0.79 = 0.80$

Ecuación 7. Energía generada de los módulos (E_{gene}).

E_{gene} = Energía generada de los módulos (E_{gene}).

(n_T) . Eficiencia total del sistema

$$E_{gene} = 1.1 \frac{E_{carga}}{n_T}$$

$$E_{gene} = 1.1 \frac{2060W}{0.80} = 2,832.5Wh/Dia$$

Ecuación 8. Energía por modulo (E panel).

- ✓ $W_p = P_{max} = 345w$
- ✓ **HSP:** Horas solar pico
- ✓ $V_{np} = 24v =$ Tensión nominal del módulo (panel)
- ✓ $V_p = V_{carga} = 37.95v$

$$E_{panel} = W_p * HSP * \left(\frac{V_{np}}{V_p}\right)$$

$$E_{panel} = 345W * 5.48 * \left(\frac{24V}{37.95V}\right) = 1,195.63 Wh/Dia$$

Ecuación 9. Cantidad total de módulos fotovoltaicos(panel), (Npanel).

$$N_{panel} = \frac{E_{gene}}{E_{panel}}$$

$$N_{panel} = \frac{2,832.5Wh/Dia}{1,195.63 Wh/Dia} = 2.36 = 3$$

El número de módulos a utilizar para este proyecto es de 3 unidades de 345wp, conectados en paralelo para mantener los niveles de tensión en la entrada DC-FV del inversor.

11.10 Criterios para la selección de módulos fotovoltaicos.

Estas quedaron a consideración de nosotros como diseñadores, teniendo en cuenta siempre que las condiciones de los módulos en sus pruebas deben cumplir con los estándares internacionales de generación ideal con temperatura de 25°C- Irradiancia de 1000w/m²- velocidad de viento de 1 m/s, sabiendo esto se comienza a valorar otros aspectos tales como, la disponibilidad del producto en el lugar de la instalación, el tipo de tecnología (mono o policristalino), la vida útil, el reconocimiento del fabricante en el campo laboral y los certificados de conformidad de las normas colombianas.

Este bloque de generación estará conformado por los módulos foto-voltaico de 345wp, estos son de tecnología Monocristalino

Por lo anterior y siguiendo las tablas de comportamiento de la tensión y la corriente en los diferentes momentos del día con respecto a la temperatura, pudimos deducir que el mejor modulo para la aplicación de este proyecto es el Monocristalino por su buen rendimiento eficiencia.

Para nuestro proyecto utilizamos módulos de 345Wp de la marca RISE SOLAR TECHNOLOGY, estos son monos cristalinos, cumpliendo con las normas ISO 9001-14001 y además acreditaciones internacionales.

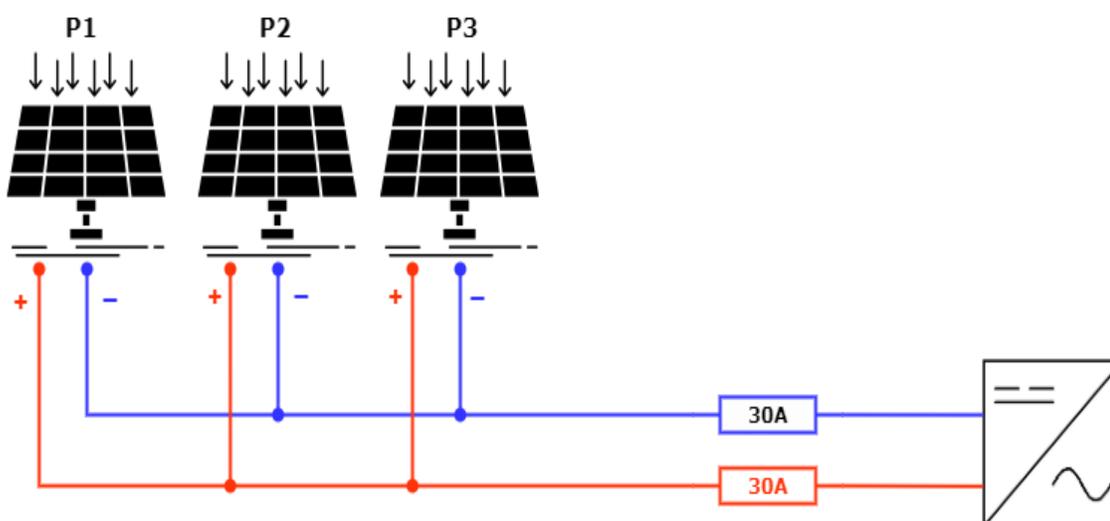
Los módulos fotovoltaicos utilizados en el proyecto, tienen las siguientes características técnicas.

- ✓ Potencia Máxima P_{max}: 345w
- ✓ Tensión con carga V_{carga}: 37.95v

- ✓ Corriente de carga I_{carga} : 9.10Amp
- ✓ Tensión de circuito abierto V_{oc} : 46.30v
- ✓ Corriente de corto circuito C_{sc} : 9.65Amp

Figura 19.

Diagrama de paneles fotovoltaicos.



Fuente: Elaboración propia.

11.11 Dimensionamiento del bloque de acumulación ($Banco_{Bat}$).

$$Banco_{Bat} = \frac{E_{carga} * (D_{aut} + 1)}{V_{nom} * PD_{max} * n_B * n_{Inv}}$$

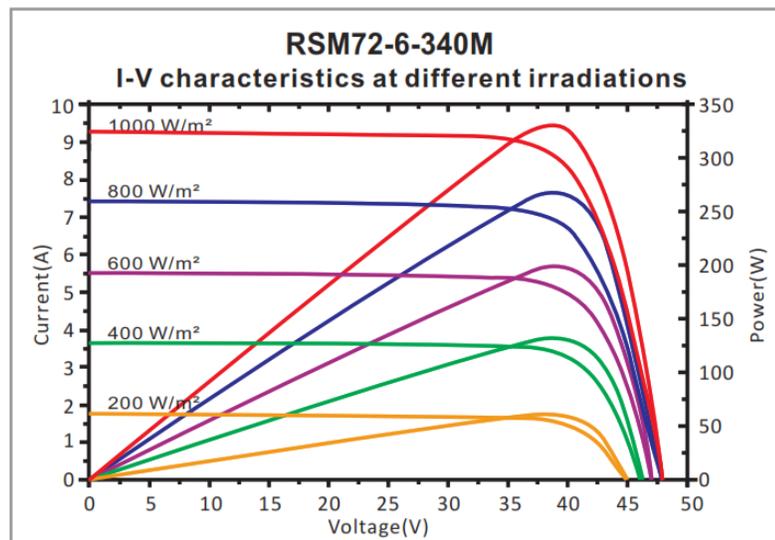
- ✓ D_{aut} = Días de autonomía en casa se utilice de noche o este el día nublado
- ✓ PD_{max} = Profundidad máxima de descarga
- ✓ n_B = Eficiencia de descarga de la batería 85%

Para los días de autonomía tomamos el tiempo por hora en la que se puede utilizar la sala de cómputo, para lo cual utilizamos $4h = 0.16$.

$$\mathbf{BancoBat} = \frac{2,832w * (0.16 + 1)}{24v * 0.80 * 0.85 * 0.98} = 205.44Ah$$

Figura 20.

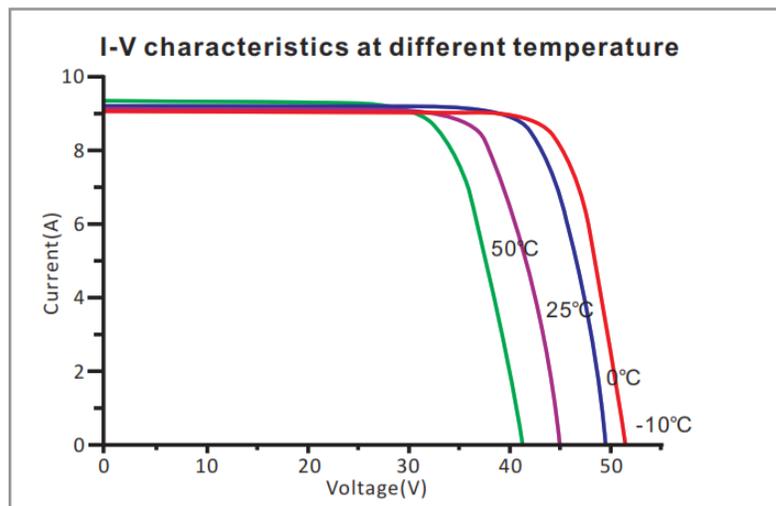
Características a diferentes irradiaciones.



Fuente: Ficha técnica de los paneles.

Figura 21.

Características según la temperatura.



Fuente: Ficha técnica de los paneles.

El resultado es la corriente en horas que debemos tener en nuestro banco de batería, para lo cual utilizaremos baterías de 200Ah.

Cantidad total de batería (N_{BT}).

$$N_{BT} = \frac{V_{nom} * Banco_{BAT}}{V_{nom_{BAT}} * C_{nom_{BAT}}}$$

- ✓ V_{nom} = Tensión nominal del banco de batería.
- ✓ $Banco_{BAT}$ = Banco de batería
- ✓ $V_{nom_{BAT}}$ = Tensión nominal de la batería.
- ✓ $C_{nom_{BAT}}$ = Capacidad nominal de la batería

$$NBT = \frac{24v * 205.44Ah}{12v * 200Ah} = 2.05$$

El número de baterías para este proyecto será de 2 unidades de 200Ah conectadas en serie para que nos arroje 24Vcc en la entrada de batería del inversor.

11.12 Criterios de selección del banco de batería.

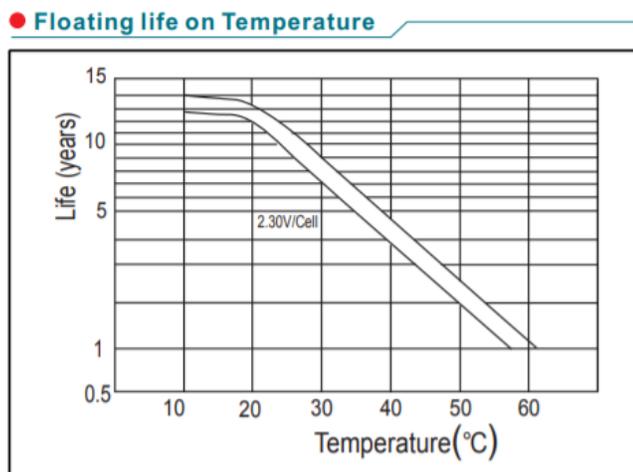
Está conformado por baterías de ciclo profundo, estas tienen la capacidad de acumular energía en términos de (Amperios x horas), pueden soportar profundidades de descarga repetitivas sin dañarse, su vida de útil está determinada por los ciclos de carga y descarga que se le hacen a la batería. Las normas europeas o internaciones como la IEC, indican que las baterías que obtienen una tensión de 10.5Vcc cuando estas son de 12Vcc, se tomaran como descargada, pero en otros casos cuando la configuración del Inversor sea contraria, se podrá utilizar tensión más baja que 10.5Vcc pero se debe tener presente que la vida útil de las baterías comienza a disminuir y el tiempo de carga será mucho más lento y así mismo el bloque de generación tendría que aumentarse para cargar de manera mucho más rápido al bloque de acumulación.

Las baterías seleccionadas para este proyecto son las AGM, ¿Por qué?

- ✓ Soportan mayores abusos en descarga y carga.
- ✓ Su auto descarga es del 3% por mes.
- ✓ No escapan gases tóxicos como las baterías abiertas y con mantenimiento.
- ✓ Son libres de mantenimiento.

Figura 22.

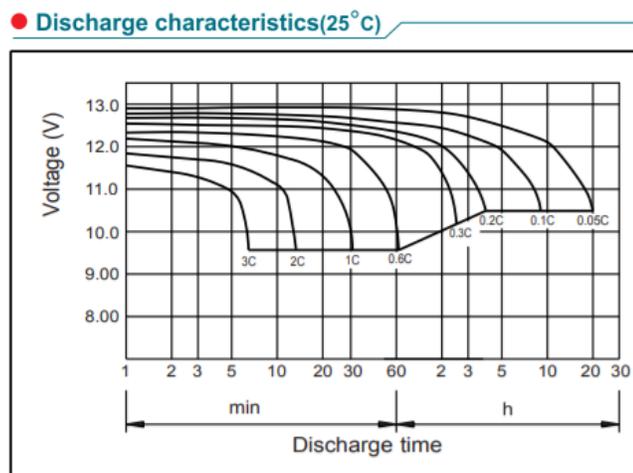
Tiempo de vida según temperatura.



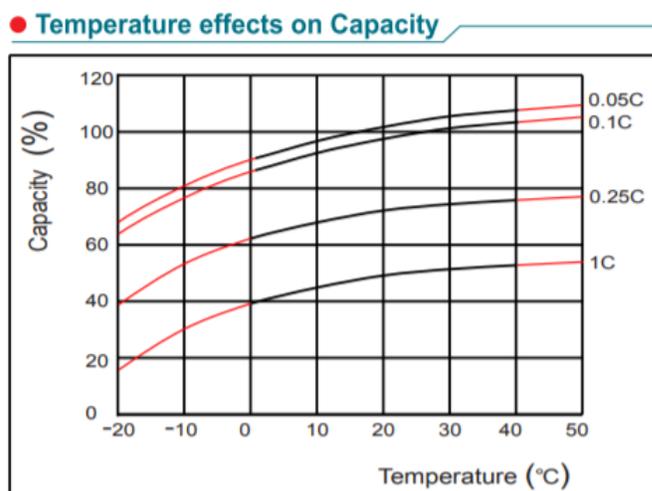
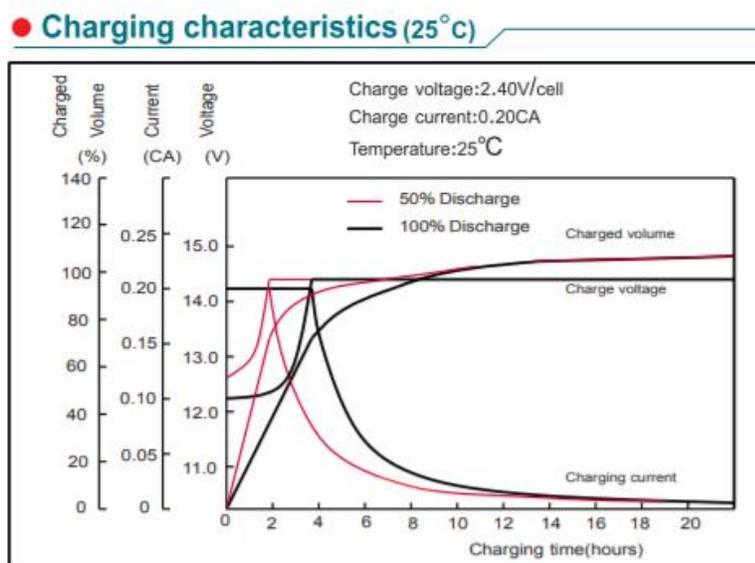
Fuente: Ficha técnica de la batería.

Figura 23.

Tiempo de descarga



Fuente: Ficha técnica de la batería.

Figura 24.*Efectos de la temperatura en la carga.***Fuente:** Ficha técnica de la batería.**Figura 25.***Características de la carga.***Fuente:** Ficha técnica de la batería.

$$C P_{bat} = \frac{L * \text{Dias de autonomia}}{P_{dmax}}$$

$$C P_{bat} = \frac{L * \text{Dias de autonomía}}{P_{dmax}}$$

11.13 Dimensionamiento del Inversor.

Para el dimensionamiento del Inversor trabajaremos con la potencia aparente, el cual nos ayuda a saber la cantidad de energía que nos puede llegar a suministrar dicho equipo, para lo cual dejaremos un margen auxiliar del 10% por posibles cambios en el módulo de generación.

$$S_{inversor} = 1.10 \frac{P_{carga} (Wh)}{F.P}$$

$$S_{inversor} = 1.10 \frac{1,235w}{0.95} = 1430Va = 1.4kW$$

11.14 Criterios de selección del inversor

Los criterios que se tuvieron en cuenta como diseñadores del sistema, elegimos la funcionalidad correcta, de acuerdo a los requerimientos del fabricante, la asesoría técnica del distribuidor, garantía y el aspecto técnico que requerimos, para seleccionar el inversor solo necesitamos saber potencia de generación final que necesitaría la carga alimentar y las

entradas MPPT que este debe tener, sabiendo esto podemos elegir cualquier tipo de marca que cumplan su dimensionamiento.

Para este caso seleccionamos un inversor-cargador para dar un valor agregado de la nuevas tecnologías de sistema de generación, de la marca *MUST-SOLAR SISTEM* de la serie PV3000 LMPK, este inversor agrega otras funcionalidades de inversores convencionales, una de sus ventajas que este ofrece, es cargar las baterías en caso tal los día de generación estén con baja irradiancia y no pueda tener una estabilidad de generación, o en caso tal donde se presente un acontecimiento técnico este podrá ser alimentado desde la red normal de AC de la Universidad, además de esto por ser un equipo que se sincroniza con la red ofrece gran versatilidad al momento de energizar la carga, y contiene una entrada de carga solar MPPT.

Con estas cualidades el Inversor seleccionado ofrecerá un servicio interrumpido de energía para aquellas cargas que estarán conectadas al Inversor. A continuación, sus características principales.

- ✓ Potencia de 1.5Kw
- ✓ Tensión de operación a 110v/127v
- ✓ Potencia máxima de carga hasta 70Amp
- ✓ Controlador de carga MPPT incorporado 40/60
- ✓ Eficiencia el sistema MPPT MAXIMA DE 98%
- ✓ Transformador de aislamiento.
- ✓ Diseño de alta eficiencia y modo “Ahorro de energía”.
- ✓ Onda sinusoidal pura.

11.14.1 Memoria del cálculo eléctrico

Una vez obtenido los resultados de los equipos en el dimensionamiento del sistema solar fotovoltaico y seleccionado la marca o el fabricante de los equipos, procedemos a la selección de las protecciones y el cableado eléctrico a utilizar, se tuvieron en cuenta diferentes aspectos técnicos tales como, corriente de corto circuito de los módulos fotovoltaico, corriente de salida del inversor y la corriente máxima de carga.

11.14.2 Entrada De Corriente Alterna Del Sistema Cargador Del Inversor.

- ✓ **La protección eléctrica** será mediante un breaker monopolar de 30 Amp tal y como lo indica en la ficha técnica del inversor en el apartado de AC CHARGER, conectado al tablero TD1 que viene alimentado del tablero principal del bloque C.

la sección de los cables de corriente alterna del AC CHARGER debe ser dimensionada para una intensidad de al menos el 125% de la corriente máxima del cargador.

Es decir, los cables del cargador deben admitir una corriente $I_{max} > 1,25 \cdot I_{carga}$. Además, se sebera tener en cuenta la tensión del sistema para la elección de los conductores.

$$\mathbf{I_{max}: 25 A * 1.25 = 31.25 A}$$

Teniendo en cuenta la tabla 9 de la N T C 2050, para el cual tomaremos el calibre 10 AWG que soporta 35Amp con aislamiento THHN/THWN de 90°, para este se desprecia el porcentaje de carga continua ya que no funcionará más de 3 horas seguidas.

11.14.3 Salida De Ac Del Inversor Hacia El Tablero Td1.

Para la selección de las protecciones y el cableado debemos tener presente el cuadro de carga del tablero TD1, con esto podemos dar cumplimiento a las exigencias de Los equipos.

Tabla 11 .

Cuadro de Carga.

Fuente: NTC 2050

11.14.4 Totalizador de la salida AC del Inversor.

CUADRO DE CARGA DEL TD1 MONOFASICO BIFILAR													
CTOS	CARGAS			CARGA EN VA		CARGA TOTAL	CORRIENTE POR CTO	Protección en Amp.	CALIBRE DE LOS CONDUCTORES			DUCTO	DESCRIPCION
	ALUMB. 24 w	LAPTO 65 w	TOMAS 210 w	A	B	EN W	EN A	En A	FASES	NEUTRO	PUESTA A TIERRA		
1	20			480		480	4	1x15	12	12	14	1/2"	Sistema de Iluminacion
2		1	1	275		275	2,28	1x15	12	12	14	1/2"	Video Beam-Laptop
3													
SUBTOTAL	20	1	1	755		755	6,28		10	10	12	3/4"	Acometida

Teniendo en cuenta la corriente total de la carga más el porcentaje de seguridad y ampliación del 125% y en caso de obtener una carga lineal agregamos su porcentaje de 125%, sin embargo NTC 2050 en la sesión de instalaciones eléctrica, indica que, para circuitos de alumbrado general y de fuerzas la protección mínima para circuitos ramales será de 15 A, pero no podemos utilizar protección dado que el calibre mínimo para circuito ramal de 15 A es de 14 Awg en cobre, por lo tanto para no dejar limitado el sistema en caso de ampliación de carga utilizaremos **Breaker monopolar de 20 A como totalizador de la salida AC del Inversor.**

$$I_{\text{total}} = 6,28 \text{ A} * 1,56 = 9,79 \text{ A}$$

Este estará conectado de la salida AC del Inversor, hacia el tablero de distribución del salón de cómputo del bloque C llamado TD1, el cual fue instalado solo para energizar los equipos de proyección e iluminación.

- **Protección de los circuitos ramales del tablero TD1** del salón de cómputo, para estos también tomaremos los valores de carga continua del 125% y el porcentaje de ampliación de 125%.

$$I_{\text{cto1}} = 4 \text{ A} * 1,56 = 6,24 \text{ A}$$

$$I_{\text{cto2}} = 2,28 \text{ A} * 1,56 = 3,55 \text{ A}$$

Sabiendo los valores de la corriente de cada uno, es importante decir que no podemos seleccionar la protección de 10 A para cada circuito ramal ya que en la **sección 210.19, de la NTC 2050 en la “EXCEPCIÓN 1 Los conductores en derivación deben tener una capacidad de corriente (ampacity) suficiente para la carga instalada. Además, deben tener una capacidad de corriente (ampacity) no menor de 15 A para circuitos de capacidad nominal de menos de 40 A, y no menor de 20 A para circuitos con capacidad nominal de 40 o 50 A y sólo cuando esos conductores en derivación alimenten cualquiera de las siguientes cargas”**

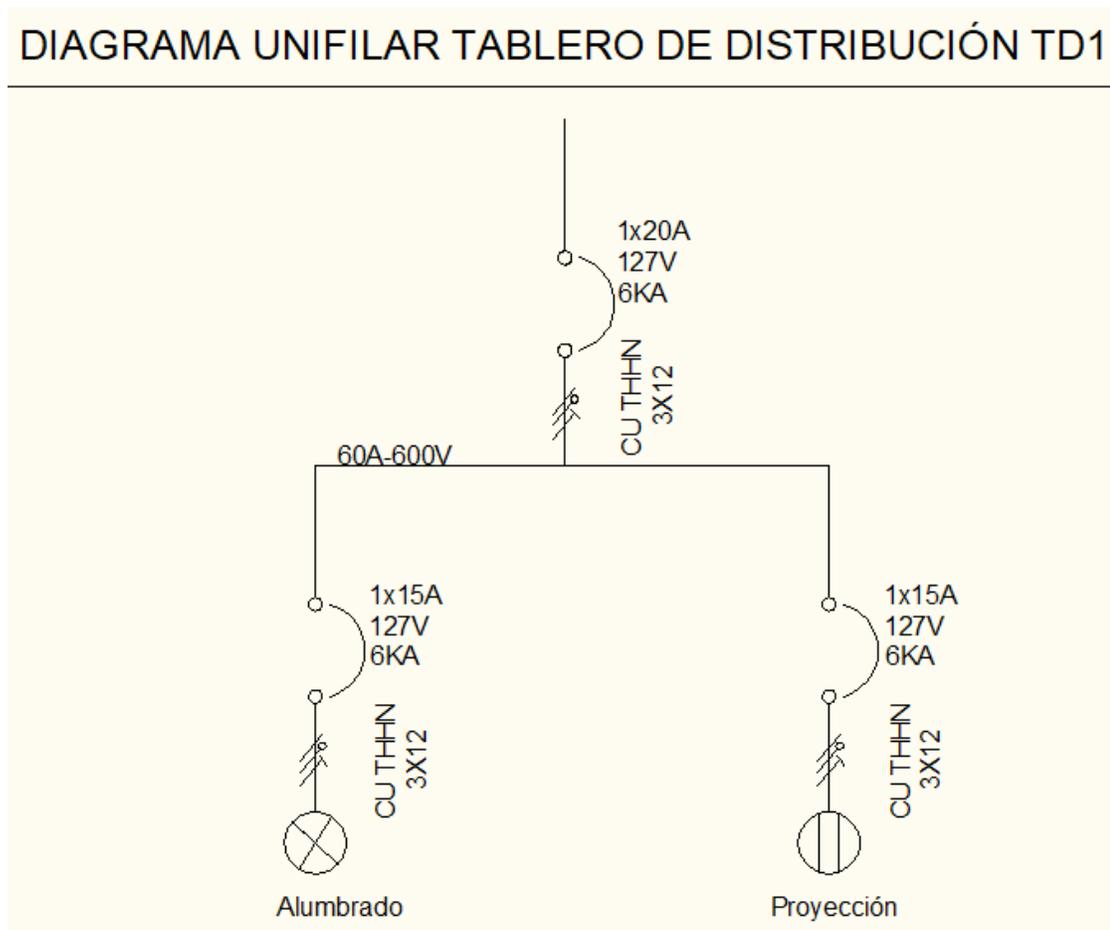
Por tal razón las protecciones para ambos circuitos ramales será de breaker monopolar de 15 A.

- **El cableado,** Para la selección del conductor se tendrá en cuenta el criterio de la intensidad máxima admisible. Se elegirá la sección de cable o conductor de forma tal, que la intensidad máxima admisible sea superior a la intensidad prevista. La correcta elección garantiza que la temperatura máxima alcanzada por el aislamiento, cuando éste trabaja a plena carga, no sea superior a la temperatura máxima admisible por dicho aislamiento.

$$\mathbf{I_{total}: 6,28 A * 1.56 = 9.79 A}$$

Teniendo en cuenta la tabla 310 - 16 de la N T C 2050, para el cual tomaremos el calibre 12 AWG, aunque este sobredimensionado la norma indica en la sección de conductores eléctricos que es el calibre mínimo para instalaciones eléctricas para circuitos de alumbrado general, *Sección 230,23. EXCEPCIÓN* “Los conductores que alimentan solamente cargas limitadas de un circuito ramal individual, tal como potencia polifásica pequeña, calentadores de agua controlados y cargas similares, no deben ser inferiores a 3,30 mm² (12 AWG), en cobre estirado en frío o su equivalente”. este soporta 25Amp con aislamiento THHN/THWN de 90°.

El sistema de distribución de la salida en AC del Inversor es monofásico-Bifilar, Fase y Neutro agregando su Tierra de protección (**1F # 12 + 1N # 12 + 1T # 12**) según RETIE. El código de color que utilizamos es Negro para Fase, Blanco para neutro, Verde para tierra, estos datos fueron obtenidos del capítulo 6.3 del RETIE “CODIGO DE COLORES PARA CONDUCTORES”.

Figura 26.*Diagrama Unifilar TD1***Fuente:** Elaboración propia.*11.14.5 Entrada Dc De Los Modulos Fotovoltaico Hacia El Inversor.*

- **Para la protección**, se tomaron los valores de la corriente de corto circuitos de los módulos y la capacidad máxima de potencia del inversor en la entrada DC. Los módulos foto-voltaico tienen un short circuit current (Csc) de 9.65 Amp, estos módulos están conectados en paralelo para poder mantener los 24Vcc de la entrada de tensión DC del Inversor, sin embargo, este valor de corriente será triplicado ya que

tenemos tres módulos y la corriente en circuitos paralelos tiene diferentes trayectorias por lo tanto se sumará, pero la tensión será la misma.

$$\mathbf{I_{csc_{total}} = 9,65 \text{ A} * 3(\text{números de módulos}) = 28.95 \text{ A}}$$

Se instalarán fusibles para los conductores positivos y negativos, estos fusibles serán de tipo cerámico con su porta fusible de 30 Amp.

La sección de los cables de corriente continua del generador debe ser dimensionada para una intensidad de al menos el 125% de la corriente máxima del generador. Es decir, los cables del generador deben admitir una corriente $I_{total_{gen}} > 1,25 \cdot I_{csc_{total}}$. Además, se sebera tener en cuenta la tensión del sistema para la elección de los conductores.

$$\mathbf{I_{total_{gen}} = I_{csc_{total}} * 1.25}$$

$$\mathbf{I_{total_{gen}} = 28.95 * 1.25 = 36.18 \text{ Amp}}$$

Teniendo en cuenta la tabla 310 - 16 de la N T C 2050, el conductor seleccionado para la conexión entre los módulos foto-voltaicos y el Inversor será el calibre 8 AWG con aislamiento solar, para aumentar a futuro la potencia de la generación y así mismo prevenir deterioros en el aislamiento por temperatura . El código de colores segundo el capítulo 6.3 de la tabla 6.6 del Retie será, Rojo para conductor positivo y azul para el negativo.

11.15 Estructura del soporte de los modulos fotovoltaico.

Los cálculos para la estructura de los módulos fotovoltaica son despreciables por la cantidad y ubicación donde esta estará, ya que solo utilizaremos 3 unidades con un peso de

22kg en la cubierta del bloque C, la incidencia de vientos en la ciudad de Valledupar varía entre los 10km -25km en tiempos con mayor intensidad, *Informacion Tomada De Windfinder.*

En caso donde el bloque de generación posee una gran cantidad de módulos, estos deberán tener una estructura ya sea fija o tracker, según la necesidad del proyecto, se debe tener en cuenta el terreno o el techo, terraza, cubierta o azotea, en este se deberá realizar un cálculo mecánico concienzudos para evitar que estos módulos ejerzan una fuerza de oposición al paso del viento y se cree el efecto de las alas de avión.

11.16 Puesta a tierra del Sfv

El proyecto es realizado en el bloque C de la Universidad Antonio Nariño sede Valledupar, la cual ya cuenta con un sistema eléctrico actualizado hace 5 años gracias a un proyecto de grado, de tal manera y siguiendo la NTC 2050 que nos indica en *la sección 690.47 Sistema del electrodo de puesta a tierra. (A) Edificios o estructuras que soportan un arreglo FV. Un edificio o estructura que soporta un arreglo FV debe tener un sistema de electrodo de puesta a tierra instalado de acuerdo con la Parte III del Artículo 250. Los conductores de puesta a tierra de equipo de arreglo FV deben estar conectados al sistema de electrodo de puesta a tierra del edificio o estructura que soporta el arreglo FV de acuerdo con la Parte VII del Artículo 250. Los conductores de puesta a tierra de equipo de arreglo FV deben tener un calibre, de acuerdo con la sección 690.45*

De tal manera no es necesario la instalación de un sistema nuevo de puesta a tierra dado a que la universidad ya tiene uno en buen estado, además de esto cumplimos con las

siguientes recomendaciones de la NTC 2050 *EN LA SECCION 690.43 Puesta a tierra y conexión equipotencial de equipos*, El inversor o controlador de carga alimentado por el circuito con falla debe dejar de alimentar potencia a circuitos de salida y aislar los circuitos de C.C. del sistema FV de la referencia de tierra en un sistema puesto a tierra funcional.

Equipos asegurados a soportes metálicos aterrizados. Debe permitirse que los dispositivos rotulados e identificados para la conexión equipotencial y puesta a tierra de las partes metálicas de los sistemas FV conecten equipotencialmente el equipo con soportes metálicos puestos a tierra. Las estructuras metálicas de soporte deben tener identificados puentes de conexión equipotencial conectados entre las secciones metálicas separadas o se deben identificar para conexión equipotencial del equipo. La puesta a tierra de la universidad está en un excelente rango, puesto que los valores recomendados de resistencia de puesta a tierra según la NTC 2050 es de 25 ohmios y el sistema cuenta con 1,50 ohmios de resistencia.

Figura 27. Toma de Lectura etapa practica



Fuente: Elaboración propia.

11.17 Resumen De Funcionalidad

El sistema de iluminación y proyección, estarán energizado mediante un Sistema solar Fotovoltaico de 1.5Kva, para el cual utilizaremos un Inversor cargador. La corriente continua generada por los módulos Foto-Voltaico llegaran al inversor y está cargara a la batería. Recordemos que los niveles de carga de la batería se toman con la tensión de salida de ellas.

Las baterías mencionadas anteriormente energizarán al Inversor mediante una tensión de 24Vcc, este convertirá esta corriente continua a una alterna para la utilización de los diferentes equipos. Este inversor recibe una entrada de corriente alterna de la red normal para cuando la red generada y las baterías no puedan suplir la necesidad. El Inversor siempre se encuentra en modo On line para que los equipos conectados a la salida AC del Inversor no sientan la ausencia de tensión y sigan funcionando sin ninguna interrupción.

El circuito ramal de 30Amp que energiza la entrada AC estará en el tablero TD1, ubicado en la entrada del bloque C.

- El inversor se encuentra ubicado en el gabinete de control.
- El sistema de proyección e iluminación, tiene un totalizador de 20Amp Monopolar, ubicado en el gabinete de control previamente señalado.
- La entrada AC que viene del TD1, tiene un breaker de 30Amp ubicado en el gabinete de control previamente señalado.
- Los fusibles de la entra del SFV y del cambo de baterías son de 30Ampr, ubicados en el gabinete de control que están previamente señalado.

- El TD2 se encuentra en el Salón de cómputo, este tiene dos circuitos ramales de 15Amp, uno para la proyección y otro para iluminación.

11.18 Protecciones y cableado eléctrico.

En la selección de las protecciones y el cableado eléctrico a utilizar, se tuvieron en cuenta diferentes aspectos técnicos tales como, corriente de corto circuito de los módulos fotovoltaico, corriente de salida del inversor y la corriente máxima de carga. Estos datos fueron obtenidos de las fichas técnicas de los diferentes equipos a intervenir.

Los breaker, fusibles y conductores eléctricos utilizados según su ampacidad son:

11.18.1 Protección en la Entrada

La protección para la entrada de corriente alterna del sistema cargador, estará conformado por un breaker monopolar de 30 A, conectado al tablero TD1 que viene alimentado del tablero principal del bloque C.

El sistema de distribución de la entrada AC del cargador es monofásico-Bifilar, Fase y Neutro agregando su Tierra de protección según RETIE. El código de color que utilizamos es Negro para Fase, Blanco para neutro, Verde para tierra, estos datos fueron obtenido del capítulo 6.3 del RETIE “CODIGO DE COLORES PARA CONDUCTORES”.

11.18.2 Protección en la Salida

La protección para la salida de AC del Inversor hacia a la carga, estará conformado por un breaker monopolar de 20 A, conectado de la salida AC del Inversor, hacia el tablero de distribución del salón de cómputo del bloque C, el cual fue instalado solo para energizar los equipos de proyección e iluminación. El cableado fue seleccionado según las tablas 310 - 16 y 310 - 17 de la NTC 2050, para el cual tomaremos el calibre 12 AWG que soporta 30A con aislamiento THHN/THWN de 90°.

11.18.3 Protección en la entrada de los Paneles

La protección para la entrada de corriente de los módulos fotovoltaico hacia el Inversor, se tomaron conforme la corriente de corto circuitos de los módulos y la capacidad máxima de potencia del inversor en la entrada DC. Los módulos fotovoltaico tienen una *short circuit current* (CSC siglas en inglés), de 9,65A, estos módulos están conectados en paralelo para poder mantener los 24Vcc de la entrada de tensión DC del Inversor, sin embargo este valor de corriente será triplicado ya que tenemos tres módulos y la corriente en circuitos paralelos tiene diferentes trayectorias por lo tanto se sumara, pero la tensión será la misma, con esto tendremos que la corriente total será de 28.95A en DC, por lo tanto utilizamos fusibles de 30A, con esto protegeremos las líneas positivas y negativas de la salida de los módulos fotovoltaico.

El conductor seleccionado para la conexión entre los módulos fotovoltaicos y el Inversor será el calibre 10 AWG con aislamiento solar, para aumentar a futuro la potencia de la generación y así mismo prevenir deterioros en el aislamiento por temperatura.

Tabla 12.

Colores según RETIE

Sistema c.c.	Con conductor medio		Sin conductor medio	
	TN-S	TN-C y T-T	TN-S	TN-C y T-T
Conductor positivo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo
Conductor negativo	Azul	Azul	Blanco	Blanco
Conductor medio	Blanco	Blanco	No aplica	No aplica
Tierra de protección	Verde o Verde/Amarillo	No aplica	Verde o Verde/Amarillo	No aplica

Fuente: RETIE 2013

El bloque de generación estará conformado por tres módulos fotovoltaicos de 345W, estos son de tecnología Monocristalino, recordando que para hoy existen tres tipos de tecnologías comerciales, el Monocristalino, Policristalino y el Amorfo, cada uno se diferencia en su eficiencia y su apariencia. Por lo anterior y siguiendo las tablas de comportamiento de la tensión y la corriente en los diferentes momentos del día con respecto a la temperatura, pudimos deducir que el mejor modulo para la aplicación de este proyecto es el Monocristalino por su buen rendimiento eficiencia.

Los módulos fotovoltaicos utilizados en el proyecto, tienen las siguientes características técnicas.

- Potencia Máxima P_{max} : 345w
- Tensión con carga V_{carga} : 37.95v
- Corriente de carga I_{carga} : 9.10A
- Tensión de circuito abierto V_{oc} : 46.30v
- Corriente de corto circuito C_{sc} : 9.65A

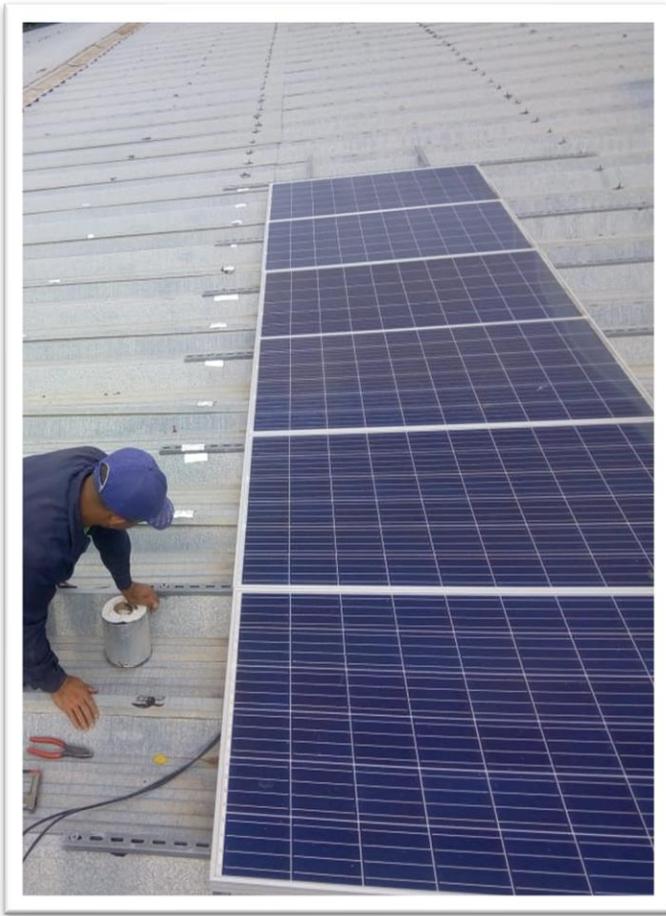
11.19 Determinación de la potencia y energía de consumo para el sistema de iluminación.

En la siguiente tabla se describen los distintos consumos de iluminación para cada una de los salones donde se desea implementar el sistema. La sumatoria de consumos de energía alcanza un valor aproximado de 1026 Watts, a este valor debemos aplicar un factor de diversidad, el cual representa una estimación de la porción de artefactos que se encuentran en funcionamiento en forma simultánea. Para este caso utilizaremos un factor de diversidad igual a un 80%, es decir, se estima que se utilizará en forma simultánea un 80% del consumo total considerado por concepto de iluminación, lo cual corresponde a un consumo aproximado de 911 Watts.

Con base en este presupuesto se procedió a realizar las solicitudes de compra de los artículos en la medida que estos se necesitaban. En este punto se recibió una solicitud de parte de las autoridades de la Universidad, donde se exigía que todas las personas colaboradoras diferentes a estudiantes activos de la sede, contaran con los documentos mínimos de vinculación a EPS y ARL como lo contemplan las leyes de la Nación. Estos documentos se adquirieron y se presentaron a la Coordinación Académica, para continuar con los procedimientos de instalación; además que siempre se veló por cumplir con las normas que establece la ley.

Figura 28.

Instalación de Paneles Solares.



Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones

El sistema de iluminación y proyección, estarán energizado mediante un Sistema solar Fotovoltaico de 1.5Kva, para el cual utilizaremos un Inversor cargador. La corriente continua generada por los módulos fotovoltaico, llegará al inversor y está cargará la batería. Recordemos que los niveles de carga de la batería se toman con la tensión de salida de ellas.

Las baterías mencionadas anteriormente energizarán al Inversor mediante una tensión de 24Vcc, este convertirá esta corriente continua a una alterna para la utilización de los diferentes equipos. Este inversor recibe una entrada de corriente alterna de la red normal para cuando la red generada y las baterías no puedan suplir la necesidad. El Inversor siempre se encuentra en modo On-line para que los equipos conectados a la salida AC del Inversor no sientan la ausencia de tensión y sigan funcionando sin ninguna interrupción.

- ✓ El circuito ramal de 30A que energiza la entrada AC estará en el tablero TD1, ubicado en la entrada del bloque C.
- ✓ El inversor se encuentra ubicado en el gabinete de control.
- ✓ El sistema de proyección e iluminación, tiene un totalizador de 20A Monopolar, ubicado en el gabinete de control previamente señalado.
- ✓ La entrada AC que viene del TD1, tiene un breaker de 30A ubicado en el gabinete de control previamente señalado.
- ✓ Los fusibles de la entra del SFV y del cambo de baterías son de 30Ar, ubicados en el gabinete de control que están previamente señalado.

- ✓ El TD2 se encuentra en el Salón de cómputo, este tiene dos circuitos ramales de 15A, uno para la proyección y otro para iluminación.
- ✓ Se alcanzó a disminuir la potencia del circuito que enlaza el sistema de iluminación del área que enmarca la sala de cómputo de la Universidad Antonio Nariño sede Valledupar.
- ✓ Con el sistema solar fotovoltaico instalado, se alimenta de manera óptima y eficiente el circuito lumínico interno como el de otros dispositivos y soporta hasta 1,5 KW de potencia, de la sala de cómputo de la Universidad Antonio Nariño sede Valledupar.
- ✓ La implementación del sistema de iluminación quedó alimentada con energía solar a través de paneles fotovoltaico, gracias a la alta radiación que genera el sol en la ciudad de Valledupar por su ubicación geográfica.
- ✓ Se concientiza a través de este trabajo sobre la importancia de la energía solar como fuente de energía renovable y que se obtiene del sol que es precisamente nuestra mayor fuente de energía a través de sus rayos solares, teniendo en cuenta que es un recurso limpio y respetuoso con el medio ambiente y que al mismo tiempo es inagotable.

Recomendaciones

Se presentan como una serie de aspectos que se podrían realizar en un futuro para emprender investigaciones similares o fortalecer la investigación realizada, tal como la ampliar y/o aumentar la capacidad de paneles solares para el aprovechamiento de la energía solar fotovoltaica.

- Expandir el banco de baterías donde se almacenaría más corriente, para el suministro a los diferentes dispositivos eléctricos con los que se trabajan en la Universidad.
- Como un factor a tener en cuenta, es realizar la migración a equipos que se puedan conectar directamente a corriente continua, para así disminuir los costos en el almacenamiento de las baterías, ya que esto es la parte que hace un proyecto más costoso.
- Mostrar los resultados de este proyecto para inspirar a todos aquellos profesionales de la Ingeniería Electromecánica y afines a que sigan implementando estos sistemas con paneles solares para el ahorro de energía de una manera óptima y eficiente.
- El sistema instalado es de energía solar fotovoltaica y esta es una energía limitada, por lo tanto, no se deben mantener las luces encendidas innecesariamente.

Anexos

Registro / evidencia fotográfica de armado del proyecto.

BATERIA O ACUMULADOR.



ALAMBRE NUMERO 12



INVERSOR



PANEL DE CIRCUITO DE PROTECCIÓN







INSTRUMENTAZIONE DI UN SISTEMA DI LUMINAZIONE
ALIMENTATO DA ENERGIA SOLARE. È OBBLIGATORIO
USARE IL CAVO PERICOLOSO.
ATTENZIONE: NON TOCCARE LE PARTI
ESPOSTE ALLA TENSIONE ELETTRICA.
MANTENERE LA DISTANZA DI SICUREZZA.
RISERBARE IL CAVO PERICOLOSO.
MANTENERE LA DISTANZA DI SICUREZZA.
MANTENERE IL CAVO PERICOLOSO.

V.P.V. V.OUT

0.00

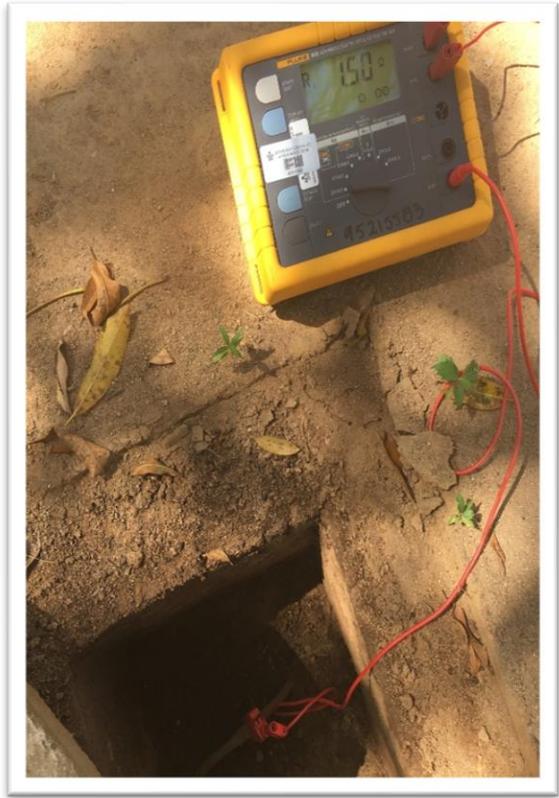
ELECTRICAL HAZARD

RIESGO ELECTRICO

MUST
SOLAR
POWER SYSTEM

solarplus
6GFM200G
12V200Ah/150HR

PUESTA A TIERRA



MODULOS FOTOVOLTAICOS



Las fichas técnicas a continuación nos ayudaran a seleccionar las protecciones y el cableado adecuado para el proyecto, teniendo en cuenta la NTC 2050 y el RETIE según la tabla 310-16.

Tabla 310-16 Capacidad de corriente permisible en conductores aislados para 0 a 2.000 V nominales y 60°C a 90°C. No más de tres conductores **portadores de corriente** en una canalización, cable o tierra (directamente enterrados) y temperatura ambiente de 30°C.

Calibre mm ²	Temperatura nominal del conductor (ver Tabla 310-13)						Calibre AWG o kcmils
	60°C	75°C	90°C	60°C	75°C	90°C	
	TIPOS TW*, UF*	TIPOS FEPW*, RH*, RHW*, THHW*, THW*, THWN*, XHHW*, USE*, ZW*	TIPOS TBS, SA, SIS, FEP*, FEPB*, MI, RHH*, RHW-2, THHN*, THHW*, THW-2*, THWN-2*, USE-2, XHH, XHHW*, XHHW-2, ZW-2	TIPOS TW*, UF*	TIPOS RH*, RHW*, THHW*, THW*, THWN*, XHHW*, USE*	TIPOS TBS, SA, SIS, THHN*, THHW*, THW-2, THWN-2, RHH*, RHW-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2	
	COBRE			ALUMINIO O ALUMINIO RECUBIERTO DE COBRE			
0,82	....	....	14	....	....	....	18
1,31	....	....	18	....	....	....	16
2,08	20*	20*	25	....	....	....	14
3,30	25*	25*	30*	20*	20*	25*	12
5,25	30	35*	40*	25	30*	35*	10
8,36	40	50	55	30	40	45	8
13,29	55	65	75	40	50	60	6
21,14	70	85	95	55	65	75	4
26,66	85	100	110	65	75	85	3
33,62	95	115	130	75	90	100	2
42,20	110	130	150	85	100	115	1
53,50	125	150	170	100	120	135	1/0
67,44	145	175	195	115	135	150	2/0
85,02	165	200	225	130	155	175	3/0
107,21	195	230	260	150	180	205	4/0
126,67	215	255	290	170	205	230	250
152,01	240	285	320	190	230	255	300
177,34	260	310	350	210	250	280	350
202,68	280	335	380	225	270	305	400
253,35	320	380	430	260	310	350	500
304,02	355	420	475	285	340	385	600
354,69	385	460	520	310	375	420	700
380,02	400	475	535	320	385	435	750
405,36	410	490	555	330	395	450	800
456,03	435	520	585	355	425	480	900
506,70	455	545	615	375	445	500	1.000
633,38	495	590	665	405	485	545	1.250
760,05	520	625	705	435	520	585	1.500
886,73	545	650	735	455	545	615	1.750
1.013,40	560	665	750	470	560	630	2.000

Especificaciones técnicas del inversor.

MODEL		PV30-1012		PV30-1024		PV30-1512		PV30-1524		PV30-2012		PV30-2024		PV30-3012		PV30-3024		PV30-3048		PV30-4024		PV30-4048		
		LMPK	LMPK	LMPK	LMPK	LMPK	LMPK	LMPK	LMPK	LMPK	LMPK	LMPK	LMPK	LMPK	LMPK	LMPK	LMPK	LMPK	LMPK	LMPK	LMPK	LMPK	LMPK	LMPK
Nominal Battery System Voltage		12VDC	24VDC	12VDC	24VDC	12VDC	24VDC	12VDC	24VDC	12VDC	24VDC	12VDC	24VDC	48VDC	24VDC	48VDC	24VDC	48VDC	24VDC	48VDC	24VDC	48VDC	24VDC	48VDC
INVERTER OUTPUT	Rated Power	1KW		1.5KW		2KW		3KW		4KW		6KW		9KW		12KW								
	Surge Rating (20ms)	3KW		4.5KW		6KW		9KW		12KW														
	Capable Of Starting Electric Motor			1HP						2HP														
	Waveform	Pure sine wave/ same as input (bypass mode)																						
	Nominal Output Voltage RMS	110V/120VAC																						
	Output Frequency	50Hz/60Hz +/-0.3 Hz																						
	Inverter Efficiency(Peak)	>88%																						
	Line Mode Efficiency	>95%																						
Power Factor	1.0																							
Typical Transfer Time	10ms(max)																							
AC INPUT	Voltage	120VAC																						
	Selectable Voltage Range	80~135VAC(For Personal Computers)																						
	Frequency Range	50Hz/60Hz (Auto sensing) 40-80Hz																						
BATTERY	Minimum Start Voltage	10.0VDC /10.5VDC for12VDC mode (*2 for 24VDC,)														20.0VDC-21.0VDC /40.0VDC-42.0VDC								
	Low Battery Alarm	10.5VDC +/-0.3V for12VDC mode (*2 for 24VDC,)														21.0VDC +/-0.6V /42.0VDC +/-1.2V								
	Low Battery Cutoff	10.0VDC +/-0.3V for12VDC mode (*2 for 24VDC,)														20.0VDC +/-0.6V /40.0VDC +/-1.2V								
	High Voltage Alarm	16.0VDC +/-0.3V for12VDC mode (*2 for 24VDC,)														32.0VDC +/-0.6V /64.0VDC +/-1.2V								
	High Battery Voltage Recover	15.5VDC +/-0.3V for12VDC mode (*2 for 24VDC,)														31.0VDC +/-0.6V / 62.0VDC +/-1.2V								
	Idle Consumption-Search Mode	<25W when power saver on														<50W when power saver on								
AC CHARGER	Output Voltage	Depends on battery type																						
	Charger AC Input Breaker Rating	10A				30A								40A										
	Overcharge Protection S.D.	15.7VDC for 12VDC mode (*2 for 24VDC,)														31.4VDC/62.8VDC								
	Maximum Charge Current	35A	20A	45A	25A	65A	35A	75A	45A	30A	65A	35A												
BYPASS & PROTECTION	Input Voltage Waveform	Sine wave (grid or generator)																						
	Nominal Input Frequency	50Hz or 60Hz																						
	Overload Protection (SMPS Load)	Circuit breaker																						
	Output Short Circuit Protection	Circuit breaker																						
	Bypass Breaker Rating	10A				30A								40A										
	Max Bypass Current	30Amp														40Amp								
SOLAR CHARGER	Maximum PV Array Power	600W	1200W	600W	1200W	600W	1200W	600W	1200W	600W	1200W	600W	1200W	2400W	1600W	3200W								
	Maximum PV Charge Current	40A														45A		60A						
	DC Voltage	12V/24V atuo work														24V/48V atuo work								
	MPPT Range @ Operating Voltage	16~100VDC @12V / 32-145VDC @ 24V														32-145VDC @ 24V / 64-145VDC @ 48V								
	Maximum PV Array Open Circuit Voltage	100VDC/145VDC														145VDC								
	Maximum Efficiency	>98%																						
	Standby Power Consumption	<2W																						
MECHANICAL SPECIFICATIONS	Mounting	Wall mount																						
	Dimensions (W*H*D)	423*247*197mm														597x247x197mm								
	Net Weight (Solar CHG) kg	18.5	18.4	19.5	19.4	23.5	32.2	28.7	27	23.3	41.3	39.4												
	Shipping Dimensions(W*H*D)	570*355*300mm														743*372*312mm								
	Shipping Weight (Solar CHG) kg	21.5	21.4	22.4	22.5	25.8	25.6	31.2	29.6	25.1	44.7	42.8												
OTHER	Operation Temperature Range	0°C to 40°C																						
	Storage Temperature	-15°C to 60°C																						
	Audible Noise	60dB MAX																						
	Display	LED+LCD																						
	Standard Warranty	1 year																						

Fuente: Ficha Técnica del Inversor.

breaker, fusibles y conductores eléctricos utilizados según su capacidad del inversor de 1.5Kw y el módulo fotovoltaico de 345Wp.

ELECTRICAL DATA (STC)					
Model Number	RSM72-6-330M	RSM72-6-335M	RSM72-6-340M	RSM72-6-345M	RSM72-6-350M
Rated Power in Watts-Pmax(Wp)	330	335	340	345	350
Open Circuit Voltage-Voc(V)	46.3	46.7	46.8	46.9	47.0
Short Circuit Current-Isc(A)	9.29	9.32	9.35	9.38	9.41
Maximum Power Voltage-Vmpp(V)	37.6	37.9	38.2	38.5	38.8
Maximum Power Current-Impp(A)	8.78	8.83	8.91	8.97	9.03
Module Efficiency (%)	17.1	17.3	17.5	17.8	18.0

STC: Irradiance 1000 W/m², Cell Temperature 25°C, Air Mass AM1.5 according to EN 60904-3.

ELECTRICAL DATA (NOCT)					
Model Number	RSM72-6-330M	RSM72-6-335M	RSM72-6-340M	RSM72-6-345M	RSM72-6-350M
Maximum Power-Pmax (Wp)	241.3	244.9	248.6	252.4	255.9
Open Circuit Voltage-Voc (V)	43.3	43.4	43.7	43.8	43.9
Short Circuit Current-Isc (A)	7.53	7.58	7.61	7.68	7.73
Maximum Power Voltage-Vmpp (V)	34.6	34.9	35.2	35.5	35.7
Maximum Power Current-Impp (A)	6.97	7.02	7.06	7.11	7.17

NOCT: Irradiance at 800 W/m², Ambient Temperature 20°C, Wind Speed 1 m/s.

Fuente: Ficha del módulo fotovoltaico

Equipos.

Resumen de equipos y materiales utilizados según diseño

- ✓ Inversor de 1.5 kWh.
- ✓ 2 unidades de Baterías de 200Ah.
- ✓ 3 unidades de Módulos Fotovoltaico de 345Wp
- ✓ Conectores MC4
- ✓ Cableado de 10 AWG-THHN/THWN para entrada AC del Inversor
- ✓ Cableado de 10 AWG-THHN/THWN para salida AC del Inversor
- ✓ Cableado de 10 AWG-THHN/THWN para entrada SFV al Inversor
- ✓ Cableado de 8 AWG-THHN/THWN para el banco de batería.
- ✓ Breaker de salida AC de 30A
- ✓ Breaker de entrada AC de 30A
- ✓ Fusible de entrada DC del SFV de 30A
- ✓ Fusible de entrada DC del banco de batería de 30A
- ✓ Tablero de distribución de 2 circuitos a 110v, para el salón de computo
- ✓ Breaker para los circuitos de ramales del sistema de iluminación y proyección, ambos de 15A.
- ✓ Tubería de ¾" PVC y EMT
- ✓ Gabinete para alojar los equipos.

GASTOS DE MATERIALES

CANT	RECURSO	VALOR
1	Inversor de 1.5 kWh.	1,500,000
2	Unidades de Baterías de 200Ah	1,000,000
3	Unidades de Módulos Fotovoltaico de 345Wp	1,500,000
6	Conectores MC4	60,000
1	Cableado de 10 AWG-THHN/THWN para entrada AC del Inversor	120,000
1	Cableado de 10 AWG-THHN/THWN para salida AC del Inversor	120,000
1	Cableado de 10 AWG-THHN/THWN para entrada SFV al Inversor	120,000
1	Cableado de 8 AWG-THHN/THWN para el banco de batería.	120,000
2	Breaker de salida AC de 30A	60,000
2	Breaker de entrada AC de 30A	60,000
1	Fusible de entrada DC del SFV de 30A	20,000
1	Fusible de entrada DC del banco de batería de 30A	20,000
1	Tablero de distribución de 2 circuitos a 110V	40,000
2	Breaker 15A.	40,000
TOTAL		4,780,000

Referencias Bibliográficas

- Cuellar, W. A. Ñ., & Rodríguez, S. R. R. (2017). Colombia: Territorio de inversión en fuentes no convencionales de energía renovable para la generación eléctrica. *Ingeniería Investigación y Desarrollo: I2+ D*, 17(1), 37-48.
- Ministerio de Minas Y energías Ley 1715 integración de las energías renovables no convencionales a los sistemas energético nacional
<https://www.minenergia.gov.co/documents/10180/23517/22602-11506.pdf>
- IDEAM, C. (2005). Atlas de Radiación Solar de Colombia. *Bogotá. UPME (Unidad de*
- POTOSINOS, U. (2019). Energía solar fotovoltaica. *Síguenos: @revupotosinos Universitarios Potosinos*, 25.
- Horikoshi, I. (2009). *Análisis de las componentes armónicas de los inversores fotovoltaicos de conexión a red* (Bachelor's thesis).
- Componentes de una instalación solar fotovoltaica
<https://www.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448171691.pdf>
- Castillo, Y., Castrillón Gutiérrez, M., Vanegas-Chamorro, M., Valencia, G., & Villicaña, E. (2015). Rol de las Fuentes No Convencionales de Energía en el sector eléctrico colombiano. *Prospectiva*, 13(1), 39-51.
- Colombiano, C. E. (1998). NTC 2050. *Bogotá DC: el Instituto*.
- Colombiano, C. E. (1998). NTC 2050. *Bogotá DC: el Instituto*.

Castillo, Y., Castrillón Gutiérrez, M., Vanegas-Chamorro, M., Valencia, G., & Villicaña, E. (2015). Rol de las Fuentes No Convencionales de Energía en el sector eléctrico colombiano. *Prospectiva*, 13(1), 39-51.

Rodríguez Murcia, H. (2008). Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus perspectivas. *Revista de ingeniería*, (28), 83-89.

Silva Ortega, J. I., Grimaldo Guerrero, J. W., Ospino, A., & Gomez Mesino, E. (2020). Valoración de proyectos de instalaciones de sistemas fotovoltaicos en instituciones prestadoras de servicios de salud.

Leyes desde 1992 - Vigencia expresa y control de constitucionalidad [LEY_1715_2014] (secretariassenado.gov.co)

Gómez Ramírez, J. (2017). La energía solar fotovoltaica en Colombia: potenciales, antecedentes y perspectivas.

Instituto de Ciencias Nucleares y Energías Alternativas (INEA). (1996). Censo y evaluación de sistemas solares fotovoltaicos instalados en Colombia. [En línea] disponible en http://www.si3ea.gov.co/si3ea/documentos/documentacion/energias_alternativas/potencialidades/Censo_Solar_Fotovoltaico.pdf

Herrera Beltrán, L. F. (2019). Revisión del diseño de un sistema fotovoltaico como alternativa sostenible en el sur occidente colombiano (Doctoral dissertation, Universidad Santiago de Cali).

Murcia, H. R. (2008). Desarrollo de la energía solar en Colombia. *Revista de Ingeniería Universidad de los Andes*, 83-89.

RETIE Capítulo 1, artículo 6, Tabla 6.6