

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

JULIO ALFONSO MOLINA URECHE
ALFONSO FRANCO DE ARCO



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA

2014

DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA LA ALIMENTACION
DECARGAS DE ILUMINACION EN UN PROYECTO RESIDENCIAL

JULIO ALFONSO MOLINA URECHE
ALFONSO FRANCO DE ARCO

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO
ELECTRÓNICO Y ELÉCTRICO

DIRECTOR
MIE. MANUEL JOSE ORTIZ RANGEL

CODIRECTOR
PHD. GABRIEL ORDOÑEZ PLATA



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA

2014

DEDICATORIA

A Dios nuestro señor por haberme guiado por el camino correcto y haber forjado en mí la persona que soy hoy día.

A mis padres Onelis María Ureche Rosado y Julio Cesar Molina Fuentes por regalarme la vida, por haber estado a mi lado en los momentos en que más los necesité y por haberme ayudado a dar mis primeros pasos en mi formación personal.

A mi grupo de estudio y a todas aquellas personas que de una u otra manera influyeron en mi formación personal y me ayudaron a culminar esta etapa de mi vida.

A mis hermanos Cesar Molina Ureche y María Guadalupe Molina Ureche también a mis primas Mónica Ureche y Diana Ureche por enseñarme el verdadero significado de una amistad

A mi compañero de tesis porque en esta armonía grupal lo hemos logrado y a mi director de tesis quién nos ayudó en todo momento, Msc. Manuel Ortiz.

A mis profesores a quienes les debo gran parte de mis conocimientos, gracias a su paciencia y enseñanza. Alá universidad la cual abre sus puertas a jóvenes como nosotros, preparándonos para un futuro competitivo y formándonos como personas de bien.

A mi Grupo de amigos que me acompañaron durante esta etapa universitaria

JULIO ALFONSO MOLINA URECHE

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de tesis a Dios porque ha estado conmigo en cada paso que doy, cuidándome y dándome fortaleza para continuar.

A mis padres, quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación, siendo mi apoyo en todo momento, depositando su entera confianza en cada reto que se me presenta sin dudar ni un solo momento en mi inteligencia y capacidad. Es por ellos que soy lo que soy ahora. Los amo con mi vida.

A mis profesores a quienes les debo gran parte de mis conocimientos, gracias a su paciencia y enseñanza.

A mis hermanos que han sido y serán parte importante en mi vida y finalmente un eterno agradecimiento a esta prestigiosa universidad la cual abre sus puertas a jóvenes como nosotros, preparándonos para un futuro competitivo y formándonos como personas de bien.

ALFONSO FRANCO DE ARCO

AGRADECIMIENTOS

Los autores de éste documento expresan sus más sinceros agradecimientos a:
Dios nuestro señor por guiarnos por el camino correcto y ofrecernos las herramientas necesarias para la culminación de éste proyecto.

A Manuel José Ortiz Rangel, Ingeniero Electricista y Director del Proyecto, por sus orientaciones, consejos y apoyo incondicional durante la elaboración del proyecto.

Al Doctor Gabriel Ordoñez, Codirector del proyecto, por su confianza y orientaciones en la elaboración del proyecto.

A la Universidad Industrial de Santander por facilitarnos toda la información necesaria para la elaboración de este trabajo y por la excelente formación educativa brindada durante nuestro transcurso en ella, la cual nos ayudó a consolidar nuestros conocimientos y a forjarnos como profesionales.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	19
1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE GRADO	21
1.1 OBJETIVO GENERAL	21
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	21
2. MARCO LEGAL.....	22
2.1 LEY 697 DE 2001	22
2.2 RESOLUCIÓN 84 DE 1996 CREG	24
2.3 RESOLUCIÓN 85 DE 1996 CREG	25
2.4 ISO 50001	27
2.5 CÓDIGO ELÉCTRICO COLOMBIANO NTC 2050.....	28
2.6 REGLAMENTO TECNICO DE ILUMINACIÓN Y ALUMBRADO PÚBLICO- RETILAP	29
3. FUNDAMENTOS TEORICOS DE LA ENERGÍA SOLAR (FOTOVOLTAICOS) 30	
3.1 ENERGÍA SOLAR	30
3.2 RADIACIÓN SOLAR EN COLOMBIA	33
4. TECNOLOGÍA FOTOVOLTAICA.....	36
4.1 CELDA FOTOVOLTAICA	36
4.2 ESTRUCTURA DE UNA CELDA FOTOVOLTAICA.....	36
4.3 COMPORTAMIENTO DE UNA CELDA FOTOVOLTAICA.....	37
4.4 CURVA CARACTERISTICA DE FUNCIONAMIENTO DE UNA CELDA FOTOVOLTAICA.....	40
4.5 EFICIENCIA DE UNA CELDA FOTOVOLTAICA	42
4.6 CONEXIÓN DE LOS PANELES FOTOVOLTAICOS	42

5. COMPONENTES DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA.....	47
5.1 ACUMULADORES	47
5.2 REGULADOR.....	51
5.2.1 Serie.	53
5.2.2 Paralelo.	54
5.3 INVERSORES	55
6. DIMENSIONAMIENTO DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA	58
6.1 SELECCION DE LOS PANELES SOLARES	58
6.1.1 Inclinación de los Paneles Solares.....	59
6.1.2 Orientación de los paneles solares.	64
6.1.3 Número de paneles solares.	65
6.1.4 Distancia Entre Paneles.....	66
6.2 ESTRUCTURA DE SOPORTE Y ANCLAJE.....	67
6.2.1 Capacidad de la batería.	68
6.3 DISEÑO DEL BANCO DE BATERÍAS	68
6.3.1 Regulador De Carga.	70
6.3.2 Inversor.....	70
6.3.3 Sistemas de Protección	71
6.3.4 Sistema de puesta a tierra	72
6.3.5 Mantenimiento de la instalación fotovoltaica	72
6.4 SIMULACIÓN DEL SISTEMA FOTOVOLTAICA.....	74
6.5 PVSYST	74
6.6 ILUMINACIÓN TECNOLOGÍA LED	77
6.7 APLICACIONES DE LOS LEDS	78
7. CRITERIOS DE DISEÑO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO EN EL CONJUNTO RESIDENCIAL BRIJALES.....	81
7.1 DATOS DEL CONJUNTO RESIDENCIAL BRIALES Y SU CONSUMO ENERGETICO.....	83

7.1.1 Disponibilidad Energética.....	90
7.1.2 Carga a suplir	96
7.2 CANTIDAD DE PANELES DEFINITIVOS Y BANCO DE BATERÍAS PARA CADA DISEÑO SEGÚN EL TIPO DE PANEL	96
7.3 REGULADOR DE CARGA.....	98
7.4 INVERSOR	98
7.5 CRITERIO DE SELECCIÓN	99
7.6 ESQUEMAS DE CONEXIÓN.....	100
8. PRESUPUESTO.....	102
9. CONCLUSIONES	104
10. OBSERVACIONES.....	107
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	108
BIBLIOGRAFIA.....	110
ANEXOS	113

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Espectro Electromagnético.....	30
Figura 2. Irradiación Directa y Difusa.....	31
Figura 3. Día solar de 5 horas	33
Figura 4. Mapa de Radiación Solar Global	34
Figura 5. Estructura de una celda fotovoltaica	37
Figura 6. Curva característica de una celda fotovoltaica.....	41
Figura 7. Celdas fotovoltaicas conectadas en serie	43
Figura 8. Celdas fotovoltaicas conectadas en paralelo	44
Figura 9. Celdas fotovoltaicas conectadas en paralelo con diodo de bloqueo	45
Figura 10. Celdas fotovoltaicas conectadas en Mixta	46
Figura 11. Celdas fotovoltaicas conectadas en Mixta.....	47
Figura 12. Regulador de carga.....	51
Figura 13. Esquema de conexión del regulador en un sistema fotovoltaico	54
Figura 14. Angulo de inclinación de un panel fotovoltaico	59
Figura 15. Angulo de la radiación solar extraterrestre	62
Figura 16. Orientación de un panel fotovoltaico	64
Figura 17. Distancia mínima entre paneles	66
Figura 18. Estructura de soporte comercial	68
Figura 19. Menú de inicio de Pvsyst.....	75
Figura 20. Trayectoria solar en Lebrija.....	76
Figura 21. Datos de irradiación en Lebrija	77
Figura 22. Evolución histórica de la eficiencia luminosa de los LEDs del espectro visible	78
Figura 23. Aplicaciones de la tecnología LED.....	79
Figura 24. Conjunto residencial Brijales.....	81
Figura 25. Iluminación segmentada apartamento tipo 1.....	85
Figura 26. Iluminación segmentada apartamento tipo 2.....	86

Figura 27. Demanda diaria con el consumo de iluminación de un apartamento del complejo Brijales87

Figura 28. Horas picos solares de carga del sistema de almacenamiento89

Figura 29. Vista frontal de la torre de apartamentos del complejo Brijales91

Figura 30. Corriente en función de la tensión de operación a diferentes temperaturas95

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Mapa de radiación solar precisiones	35
Tabla 2 Tecnología para celdas fotovoltaicas	38
Tabla 3. Tecnología para celdas fotovoltaicas	51
Tabla 4. Descripción eléctrica de los apartamentos del complejo Brijales.....	82
Tabla 5 .Demanda diaria de un apartamento del complejo Brijales.....	86
Tabla 6. Irradiación anual de lebrija	88
Tabla 7. Cálculo de la Carga Eléctrica del Sistema.....	90
Tabla 8. Paneles para el diseño.....	92
Tabla 9. Cálculo PDU de cada panel	93
Tabla 10. Cálculo de Carga disponible por los paneles	94
Tabla 11. La variación de los ángulos con respecto a la irradiación recibida.....	96
Tabla 12. Carga a suplir.....	96
Tabla 13. Parámetros de batería a utilizar	97
Tabla 14. Número de baterías	97
Tabla 15. Especificaciones del controlador de carga	98
Tabla 16. Características del inversor del diseño.....	98
Tabla 17 Presupuesto de inversión inicial (sin el sistema fotovoltaico)	102
Tabla 18. Presupuesto de inversión inicial (con el sistema fotovoltaico)	102
Tabla 19 Costos de inversión del sistema FV	103

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. Paneles Fotovoltaicos	113
ANEXO B. Baterías	114
ANEXO C Inversores	115
ANEXO D Controlador de carga	116

RESUMEN

TÍTULO:

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

AUTORES:

Julio Alfonso Molina Ureche, Alfonso Franco De Arco

PALABRAS CLAVES:

Energía solar, radiación solar, paneles fotovoltaicos, energías renovables, sistema fotovoltaico, presupuesto, Ley URE

DESCRIPCIÓN:

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

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

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

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones. Director: Msc. Manuel José Ortiz Rangel. Codirector: Dr. Gabriel Ordoñez Plata.

ABSTRACT

TITLE:

DESIGN OF A PHOTOVOLTAIC SYSTEM FOR FEEDING LOADS OF LIGHTING IN A RESIDENTIAL PROJECT.

AUTHORS:

Julio Alfonso Molina Ureche
Alfonso Franco De Arco

KEY WORDS:

Solar energy, solar radiation, photovoltaic panels, renewable energy, photovoltaic system, budget, URE Law

DESCRIPTION:

The implementation of this project creates a precedent of power generation in multifamily dwellings three strata through alternative energy, in order to reduce pollution and create self-sustaining energetically buildings.

In this paper we evaluate the potential of electricity generation comes through photovoltaic panels in the apartments set Brijales.

The established methodology for the preparation of this graduation project comprises four steps: The first is to establish the incidence of solar radiation in Lebrija Santander. The second is the identification of available for the implementation of photovoltaic panels on the roofs delas towers set in Lebrija, Santander Brijales areas, taking into account the main features that should have an area for this purpose. The third step is the selection of the various teams that make up a photovoltaic system for each of the areas suitable for the implementation of such systems panels, taking into account the features and the amount of energy consumption of each tower Brijales the residential complex; The fourth step is to compare the investment budgets of the system with emphasis on the detailed engineering of the photovoltaic system to assess its economic viability, the data is to calculate the market value of the output of a PV system to make an comparison between the value of the network company and our photovoltaic system

*Work Degree

**Faculty of Physics Mechanical Engineering. School of Electrical Engineering, Electronics and Telecommunications.
Directress: Msc. Manuel Jose Ortiz Rangel. Codirectress: Gabriel Ordoñez Plata

INTRODUCCIÓN

Desde principios del siglo XX el desarrollo industrial y tecnológico de la humanidad ha ocasionado una crisis que ha perjudicado en algunos casos de manera irreversible con sus emisiones y residuos al medio ambiente. La necesidad de energía se ha suplido de una excesiva dependencia del petróleo, del carbón y del gas que provienen de materiales fósiles y que se están agotando en la misma dinámica que crecen los costos de explotación y procesamiento.

La crisis ambiental ha propiciado la investigación y el desarrollo de otras fuentes de energía, como la eólica, la hidráulica y la solar, que sean renovables y respetuosas con el medio ambiente. En nuestra latitud una de las opciones energéticas más favorable es la energía solar fotovoltaica especialmente considerando que el sol es una fuente inagotable de energía y permite suplir necesidades energéticas de pequeña a gran escala con sistemas que no producen emisiones nocivas ni gases causantes del efecto invernadero.

Adicionalmente la energía solar fotovoltaica se puede obtener en el mismo sitio de consumo, lo cual reduce las pérdidas por transmisión y las inversiones asociadas al transporte de energía desde los grandes centros de generación hasta los centros de consumo. Otra ventaja importante de los sistemas fotovoltaicos para la producción de energía es la ausencia de partes móviles, lo cual se refleja en el mínimo mantenimiento y en períodos de vida útil entre veinticinco y cuarenta años.

Colombia presenta condiciones favorables por su ubicación geográfica para la aplicación de tecnologías de producción de energía limpia y renovable como la solar, por tal razón, el Ministerio de Minas y Energía (MME) mediante la ley 697 de 2001 (Ley URE) promulgó el uso de sistemas fotovoltaicos para suplir la demanda

de energía en el ámbito nacional. Esta ley estructuró un programa para el uso racional y eficiente de energías convencionales y no convencionales (PROURE). Este trabajo de grado aporta hacia la dinámica de adoptar un sistema de energía limpia en usuarios residenciales. El alcance incluye definir el procedimiento para suplir parcialmente la demanda energética de unidades residenciales en un conjunto residencial de estrato socioeconómico tres. El impacto esperado es la reducción de los consumos individuales con el beneficio de reducir la facturación y el impacto en el medio ambiente mediante la instalación de un arreglo de paneles fotovoltaicos en la cubierta de cada edificación.[1][2].

El propósito de este trabajo de grado es diseñar un estudio técnico de paneles solares con un análisis de presupuesto en un conjunto residencial que consta de cinco bloques de torres dobles de cinco pisos, para suplir la demanda energética de la iluminación y de esta manera reducir los costos de operación, así como las limitaciones de presupuesto de rentabilidad y amortización de la inversión. Se presenta el procedimiento realizado para dimensionar de manera adecuada un sistema de generación de energía eléctrica por medio de paneles fotovoltaicos, teniendo en cuenta el criterio de cuantificar la energía eléctrica que se puede generar con arreglos de paneles fotovoltaicos ubicados en las áreas disponibles de los edificios del conjunto residencial de estrato tres.

Al finalizar este trabajo se ofrece una visión sobre el tema para futuros proyectos en donde se desee utilizar la energía solar como alternativa al agotamiento de los combustibles fósiles y de paso contribuir al mejoramiento del medio ambiente sin dejar a un lado el análisis técnico y financiero que este diseño requiere.

1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE GRADO

En este trabajo de grado se plantea realizar el rediseño del sistema de iluminación del conjunto residencial Brijales, para evaluar la viabilidad de la autosuficiencia del sistema de iluminación residencial a partir de la alimentación por medio de un sistema de paneles solares.

1.1 OBJETIVO GENERAL

Rediseño de un sistema eléctrico residencial para la incorporación de un sistema de paneles solares para suplir la demanda de iluminación.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

El cumplimiento del objetivo general del trabajo de grado comprende:

- Ajustar el diseño segmentando el sistema de iluminación
- Identificar la fuente en DC para la iluminación y los componentes que permitan el funcionamiento de forma simultánea a la red normal
- Elaborar la ingeniería de detalle, ajustando el presupuesto de inversión, las especificaciones técnicas y la memoria del cálculo
- Comparar el funcionamiento del sistema inicial con el sistema modificado y la incidencia en el presupuesto de acuerdo al perfil de carga por estrato y la sustitución de la energía convencional por solar fotovoltaica.

2. MARCO LEGAL

En esta sección se presentaran las leyes y decretos a favor de las energías renovables, profundizando en la tecnología fotovoltaica.

2.1 LEY 697 DE 2001

Esta ley, también llamada ley URE (Uso racional de energía) formaliza, facilita y promueve la utilización de energías renovables y limpias como la electricidad generada por paneles fotovoltaico.

Son objetivos de esta ley:

Promover y asesorar los proyectos **URE**, presentados por personas naturales o jurídicas de derecho público o privado, de acuerdo con los lineamientos del programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía y demás formas de energía no convencionales (**PROURE**), estudiando la viabilidad económica, financiera, tecnológica y ambiental.

Promover el uso de energías no convencionales dentro del programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía y demás formas de Energía no Convencionales (**PROURE**), estudiando la viabilidad tecnológica, ambiental y económica.[2]

Para la realización de proyectos de energías no convencionales, el Ministerio de Minas y Energía ha creado el programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía (PROURE), el cual pretende hacer cumplir todas las normativas expuestas en la Ley URE, con el fin de velar por la protección del medio ambiente, el uso apropiado de los recursos renovables y el cumplimiento con los niveles mínimos de eficiencia energética. Con la puesta en marcha de la ley URE, todos los usuarios que se vean beneficiados por este tipo de iniciativas, deben ser

capacitados por las empresas prestadoras de servicio de energía eléctrica y gas, en programas URE con el fin de adquirir conocimientos financieros y técnicos de la implementación de este tipo de proyectos.[2][3]

Para hacer accesible la implementación de proyectos de energías renovables, el gobierno nacional ha dispuesto para los usuarios una serie de garantías, que ayuden en la puesta en marcha de proyectos de esta índole. Los proyectos relacionados con la investigación y la educación, serán los más beneficiados. Colciencias deberá crear programas de investigación que vinculen el uso de energías alternativas, según lo establecido en la Ley 29 de 1990 y el decreto 393 de 1991.

Por otra parte, el ICETEX respaldado por el gobierno nacional, está obligado a otorgar préstamos a los estudiantes que deseen cursar programas académicos de educación superior o especializaciones que tengan que ver con el Uso Racional y Eficiente de la Energía. Esto garantiza de cierta manera, que las generaciones futuras mantengan el interés en la preservación del medio ambiente y busquen la manera de contrarrestar la contaminación ambiental que se presenta en la actualidad, presentando proyectos innovadores en este campo, los cuales serán Formulados utilizando los conocimientos intelectuales adquiridos durante su formación académica.

Las personas que logren proyectos URE y se destaquen a nivel nacional por implementar este tipo de iniciativas, serán galardonadas por el Gobierno Nacional, el cual dará a conocer esta condecoración en los medios de comunicación más importantes del país. Los galardones mencionados anteriormente serán entregados una vez por año.

El MME y las empresas de carácter público y privado, son los encargados de promover el uso de estas iniciativas por medio de todos medios de comunicación

posible, y a su vez, de inculcar en todos los ciudadanos una cultura de uso correcto de los recursos renovables. Para esto se incentivará a las empresas encargadas de la importación de equipos que se utilicen para la implementación de proyectos de energías no convencionales, con el fin de facilitar la ejecución de los proyectos URE y de este modo masificar esta iniciativa a nivel nacional. Todos los acuerdos medio ambientales expuestos anteriormente se han elaborado con el fin de asegurar un futuro y la supervivencia a largo plazo de todos los seres vivos, de infundir una conciencia ambientalista en las personas y de promover el uso de energías renovables.

En cuanto a la implementación de proyectos de energías renovables, los gobiernos han determinado una serie de pautas para garantizar que éstos se lleven a cabo de una manera apropiada, protegiendo de esta forma los intereses de los usuarios y evitando el uso indebido de recursos naturales. Algunas de las normas de este tipo que rigen a los usuarios en Colombia son las resoluciones 84 y 85 de 1996 de la CREG (Comisión Reguladora de Energía y GAS) y el capítulo 6, sección 690-1 de la NTC 2050 (Código Eléctrico Colombiano).[4]

2.2 RESOLUCIÓN 84 DE 1996 CREG

La resolución 84 de 1996 de la CREG (Comisión Reguladora de Energía y Gas) indica las pautas que debe seguir una persona natural o jurídica para generar energía eléctrica bajo la denominación de autogenerador, con el fin de satisfacer su consumo energético diario.

Esta resolución se plantea todas las normas, derechos y deberes que posee un autogenerador en procura de su bienestar y el de los otros consumidores del servicio energético.

Los autogeneradores procuran abastecer su consumo de energía eléctrica y solo utilizan la red pública en caso de necesitar respaldo del SIN (Sistema de interconexión Nacional) para satisfacer su consumo energético, y por ende, tienen que estar conectados al SIN. Algunos aspectos importantes de la resolución se describen a continuación.

Para garantizar una conexión adecuada del autogenerador, el STN (Sistema de transmisión Nacional), STR (Sistema de Transmisión Regional) o SDL (Sistema de Distribución Local), suministra toda la información solicitada por este fin, en un periodo máximo a 2 meses a partir de la fecha de la solicitud. Por otra parte, la resolución establece que cuando el transportador (STN, STR o SDL) solicite un estudio de la conexión, el autogenerador tendrá un máximo de 3 meses para presentar dicho estudio a partir de la fecha de la solicitud y asumirá los gastos para la realización del mismo.

El autogenerador instalará equipos de medida horaria de energía eléctrica entre su Conexión, para controlar el suministro de energía eléctrica que está generando. Para mantener la categoría de autogenerador, el autogenerador solo podrá vender Energía a la bolsa, especialmente en caso de racionamiento declarado de energía.

2.3 RESOLUCIÓN 85 DE 1996 CREG

La Resolución 85 de 1996 de la CREG (Comisión Reguladora de Energía y Gas) indica las pautas que debe atender una persona natural o jurídica para realizar un proceso de producción de energía eléctrica y energía térmica bajo la figura de cogenerador, con el fin de satisfacer su consumo energético propio o el de terceros que se encuentran conectados al SIN. La resolución plantea las normas, derechos y deberes de un cogenerador procurando su bienestar y el de los otros usuarios consumidores del servicio energético. Para garantizar una conexión adecuada de la planta generadora del cogenerador, el STN (Sistema de

transmisión Nacional), STR (Sistema de Transmisión Regional) o SDL (Sistema de Distribución Local), debe suministrar toda la información que sea solicitada por el cogenerador para dicho fin, en un periodo máximo a 2 meses a partir de la fecha la solicitud. Cuando el transportador (STN, STR o SDL) solicite un estudio de la conexión del cogenerador, este tendrá un máximo de 3 meses para presentar dicho estudio a partir de la fecha de recibimiento de la solicitud y deberá costear todos los gastos para la realización del mismo. Un cogenerador regulado es aquel cuya demanda máxima es inferior o igual al límite de potencia que establece la CREG para dicho fin.

De acuerdo a esta resolución, el cogenerador debe cumplir con las siguientes condiciones:

- Todas las conexiones realizadas por el cogenerador deben estar de acuerdo a los códigos y reglamentos vigentes al momento de realizar dicha conexión.
- El Cogenerador con categoría de Usuario No Regulado, debe contratar su

Respaldo con cualquier comercializador del mercado mayorista.

- El Cogenerador con categoría de Usuario Regulado será respaldado por el comercializador del mercado regulado donde se encuentre localizada la planta de Cogeneración.
- El Cogenerador tendrá en cuenta el comportamiento de la Bolsa de Energía, ya que este es el escenario donde los comercializadores y generadores realizan intercambios de ofertas y demandas de energía, por medio de contratos de compra y venta de energía eléctrica.
- Los cogeneradores pueden vender energía eléctrica en la Bolsa de Energía si cumplen con las normativas establecidas en la resolución 85 de 1996 de la CREG.[1][2][3]

2.4 ISO 50001

La norma ISO 50001 fue creada por el comité ISO/PC242 para normalizar los procesos enfocados al uso racional y eficiente de la energía. Su propósito es el reducir el uso de los recursos naturales y mitigar el cambio climático causado por la contaminación ambiental y el excesivo uso del recurso energético. Este estándar establece unas pautas para las empresas industriales y comerciales para gestionar la energía eléctrica. Se prevé que su alcance logre influir en un 60% del consumo energético mundial.

La norma busca que las empresas enfocadas en la gestión energética de sus procesos, certifiquen el modelo de gestión en un marco de referencia genérico y global. Ha sido adecuada con los mismos estándares de las normas ISO 9001 (gestión de calidad) e ISO 14001 (gestión ambiental) con el fin que tengan una amplia compatibilidad entre estas 3 normativas. Las empresas que se acojan al estándar de la ISO 50001 podrán lograr beneficios como:

- Unas pautas para la integración de la eficiencia energética en las prácticas de gestión.
- Mejorar el uso de los equipos que consumen energía eléctrica.
- Evaluar comparativamente, medir, documentar y presentar informes de mejoras en la gestión energética y su impacto sobre la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.
- Mejores las prácticas de la gestión de la energía y las buenas conductas en la gestión de la misma.

2.5 CÓDIGO ELÉCTRICO COLOMBIANO NTC 2050

Las disposiciones de la Sección 690 de la NTC 2050 Sección 690. SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS 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. Los sistemas solares fotovoltaicos a los que se refiere esta Sección pueden estar interconectados con otras fuentes de generación de energía eléctrica o ser autónomos y tener o no acumuladores. La salida de estos sistemas puede ser de corriente continua o de corriente alterna (ICONTEC NTC 2050).[4] Los literales que se tratan en esta sección son los siguientes:

- Generalidades: Artículos 690-1 a 690-5
- Requisitos de los Circuitos: Artículos 690-7 a 690-9
- Medios de Desconexión: Art. 690-13 a 690-18
- Métodos de Alambrado: Art. 690-31 a 690-34
- Puesta a Tierra: Art. 690-41 a 690-47
- Rotulado: Art. 690-51 a 690-52
- Conexión a Otras Fuentes de Energía: Art. 690-61 a 690-64
- Baterías de Acumuladores: Art. 690-71 a 690-74

Los sistemas solares fotovoltaicos que funcionen interconectados a otras fuentes de generación de energía eléctrica se deben instalar de acuerdo con lo establecido en la Sección 705. Fuentes de Generación de Energía Eléctrica Interconectadas.

2.6 REGLAMENTO TECNICO DE ILUMINACIÓN Y ALUMBRADO PÚBLICO-RETILAP

El reglamento técnico de iluminación y alumbrado público tiene como objeto fundamental establecer los requisitos y medidas que deben cumplir los sistemas de iluminación y alumbrado público. Los requerimientos que este reglamento tiene en cuenta son: la instrumentación, las reglas generales, el confort, los parámetros de diseño y la seguridad para que sea legítima la propuesta de iluminación a llevar a cabo. Las bases de este reglamento son por ende propicias para llevar a cabo esta propuesta de diseño[3]

3. FUNDAMENTOS TEORICOS DE LA ENERGÍA SOLAR (FOTOVOLTAICOS)

En este capítulo se muestra los conceptos principales de la energía solar y los parámetros que indican cuanta energía solar se puede aprovechar.

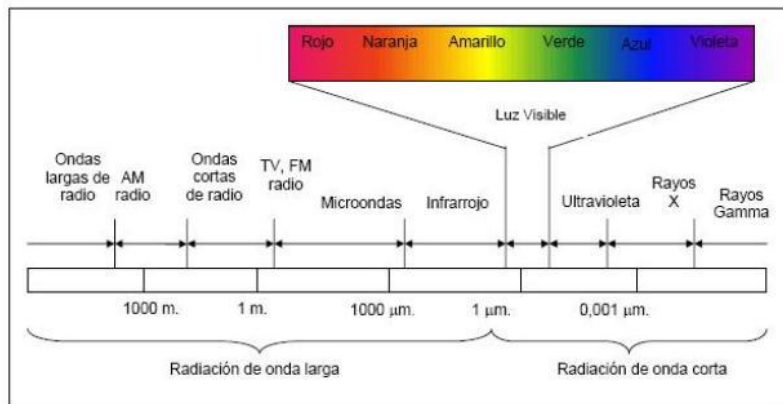
3.1 ENERGÍA SOLAR

La tierra intercepta una pequeña cantidad de la luz emitida por el sol ,el 70% de esa energía es el recurso energético perteneciente a la tierra ya que pierde el 30% al entrar a la atmosfera por causa de la dispersión y absorción .[5]

LA RADIACIÓN SOLAR

La mayoría de la radiación solar se encuentra en la luz visible, esta se forma en la incidencia de varios colores con la particularidad de que cada color tiene una longitud de onda en un rango entre 0.43 y 0.69 μm .[5] Otra cantidad de las se ubica en el infrarrojo entre 0,7 a 5 μm , otra parte mas pequeña se esaciona en el rango ultravioleta entre 0,3 a 0,4 μm [6]. como se puede observar en la Figura 1

Figura 1. Espectro Electromagnético

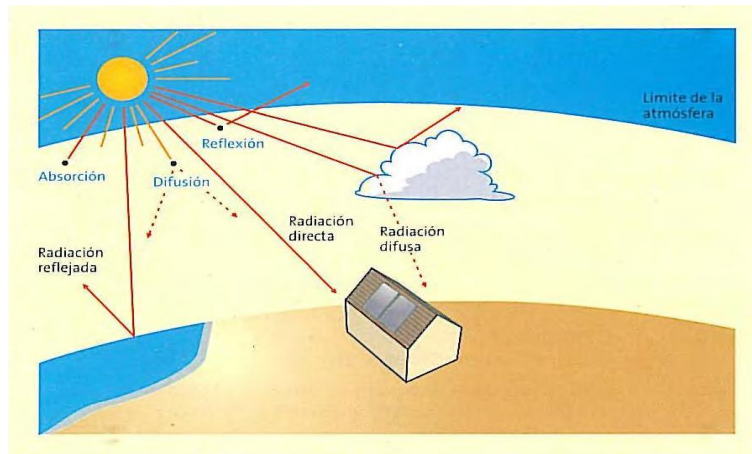


FUENTE. Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente (DAMA), Informe mensual de Red Calidad de Aire de Bogotá.

La radiación solar se puede dividir en tres tipos de radiación de acuerdo a como se recibe en la superficie terrestre, los cuales constituyen la radiación global (H):

- Radiación directa (H_b): es aquella radiación que es percibida por la superficie terrestre directamente del Sol, sin haber sufrido ningún cambio.
- Radiación difusa (H_d): es aquella radiación que al momento de atravesar la atmósfera es absorbida o reflejada por las nubes y por ende, se dirige en todas las direcciones.
- Radiación reflejada: es aquella al momento de llegar a la superficie terrestre, es reflejada por la misma. La cantidad de radiación reflejada depende únicamente del coeficiente de reflexión de la superficie, al cual se le denomina Albedo.[5] Esto se muestra en la figura 2.

Figura 2. **Irradiación Directa y Difusa**



FUENTE: Agencia Andaluza de la Energía

Irradiación (G)

Es la potencia instantánea de radiación solar recibida por unidad de superficie, su unidad según el Sistema Internacional de medidas (SI) es kW/m^2 .

Con la irradiación se puede calcular la generación de energía eléctrica proveniente de un panel fotovoltaico teniendo en cuenta la potencia de este. Para calcular dicha generación se debe expresar el día solar como un valor promedio fijo, el cual de tener las variaciones de la irradiación para el lugar donde se va a instalar el sistema fotovoltaico.[5][7]

Irradiación o Insolación (H)

Corresponde al valor obtenido al integrar la irradiación en un determinado periodo, y se define como la potencia incidente por unidad de superficie en determinado tiempo. Según el sistema internacional de medidas, su unidad es el kWh/m². Se usa (H) para referirse a la insolación diaria e (I) para la insolación horaria.[8]

Hora Solar Pico (HSP)

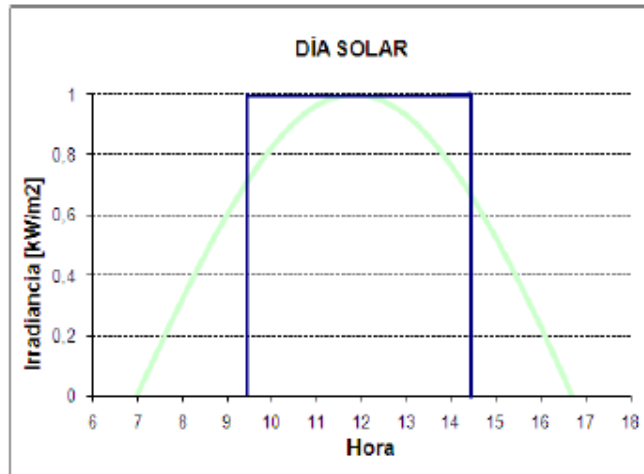
La Hora Solar Pico se define como la energía recibida durante el periodo de una hora a una irradiación promedio de 1000 [W/m²].

Para determinar el número de horas en el que el panel fotovoltaico es capaz de generar la potencia máxima especificada por el fabricante, los paneles son evaluados teniendo en cuenta un valor de intensidad luminosa de 1 [kW/m²] y la duración del día solar promedio.[5][9]

Día Solar (DS)

Es el valor promedio de horas en el cual un panel (con radiación constante de 1[kW/m²]) Es capaz de generar la misma energía entregada por el sol, en cierto tipo de zona[8]. Esto se muestra figura 3.

Figura 3. **Día solar de 5 horas**



Fuente. Romero, Susana. Metodología para la formulación de proyectos de generación de energía eléctrica por medio de paneles fotovoltaicos.

Constante Solar (ISC)

Es la energía solar incidente sobre una superficie normal a los rayos del sol a una distancia de una unidad astronómica (1 UA) en todas las longitudes de onda. Su valor según la escala del WRC (World Radiation Reference Centre) es de 1367 [W/m²]. [5]

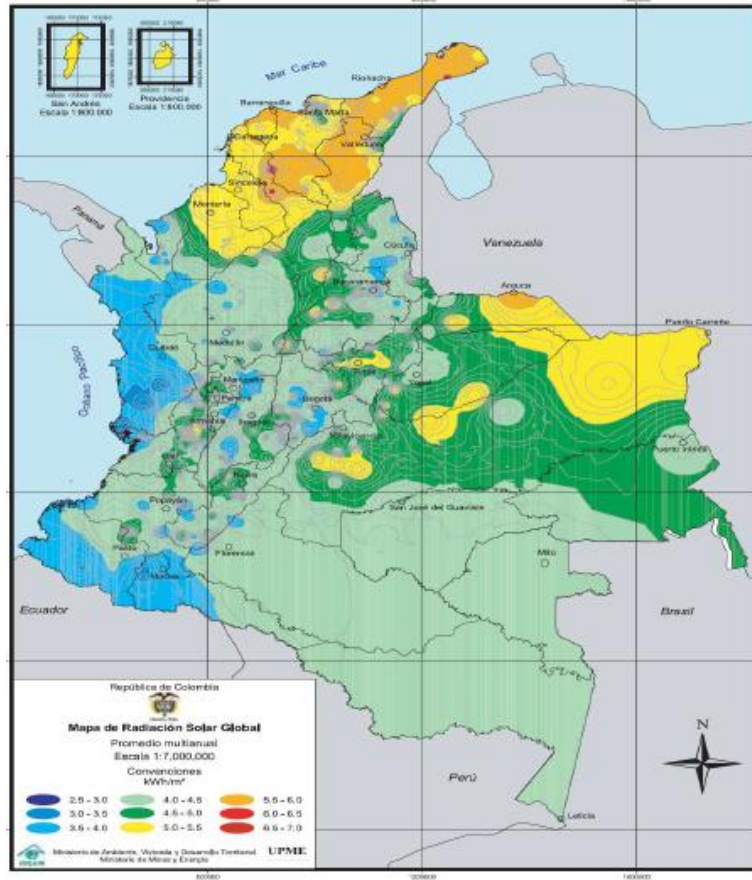
3.2 RADIACIÓN SOLAR EN COLOMBIA

La radiación solar es de suma importancia para Colombia, específicamente para la costa atlántica y la Guajira debido a que el territorio nacional tiene un promedio de 4,5 kWh/m² y la Guajira 6 kWh/m² lo cual habilita a este país como zona adecuada y favorable para el uso de la energía solar. Esto debido a su posición geofísica Ecuatorial.

Lo anterior confirma que Colombia es un país adecuado para la producción de electricidad en la ciudad mediante el aprovechamiento de la energía solar, mediante la aplicación de paneles fotovoltaicos.

Observando el mapa de radiación solar figura 4 .[10]

Figura 4. Mapa de Radiación Solar Global



Fuente: Mapas de Radiación Solar Global Sobre una Superficie Plana. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM, y la Unidad de Planeación Minero Energética, UPME.

Observando el mapa de radiación solar figura 4 se obtienen las siguientes precisiones

Tabla 1. Mapa de radiación solar precisiones

ZONA	PROMEDIO RADIACION
GUAJIRA	2190 kWh/m2/año
COSTA ATLANTICA	1825 kWh/m2/año
REGION ANDINA	1643 kWh/m2/año
ORINOQUIA	1643 kWh/m2/año
AMAZONIA	1551 kWh/m2/año
PACIFICA	1278 /m2/año

4. TECNOLOGÍA FOTOVOLTAICA

Entre las formas de aprovechamiento de la energía solar las fuentes fotovoltaicas son las que han logrado una evolución significativa en las industrias y por lo tanto serán expuestas en este capítulo.

4.1 CELDA FOTOVOLTAICA

Las celdas fotovoltaicas son semiconductores sensibles a la luz solar los cuales cuando se exponen a esta clase de radiación producen una circulación de corriente eléctrica entre sus dos caras por la generación de una pequeña diferencia de potencial entre éstas. Luego cuando sobre una celda fotovoltaica que está conformada por semiconductores tipo “p” y tipo “n” inciden fotones estos pueden ser absorbidos o reflejados o pueden pasar a través de la celda; los fotones absorbidos son los que tienen la capacidad de hacer que se genere electricidad ya que su energía es transmitida a los electrones y éstos a su vez son los que originan la corriente eléctrica entre los dos tipos de semiconductor.[8] Cabe recordar que la energía de los fotones absorbidos debe ser mayor que la frecuencia umbral para que esta energía sea aprovechada por los electrones, luego en un material como el silicio para radiaciones cuya longitud de onda sea mayor a $1,1 \mu\text{m}$ esta energía se convertirá en calor; el incremento de temperatura en una celda hace que se pierda rendimiento en ésta.[7]

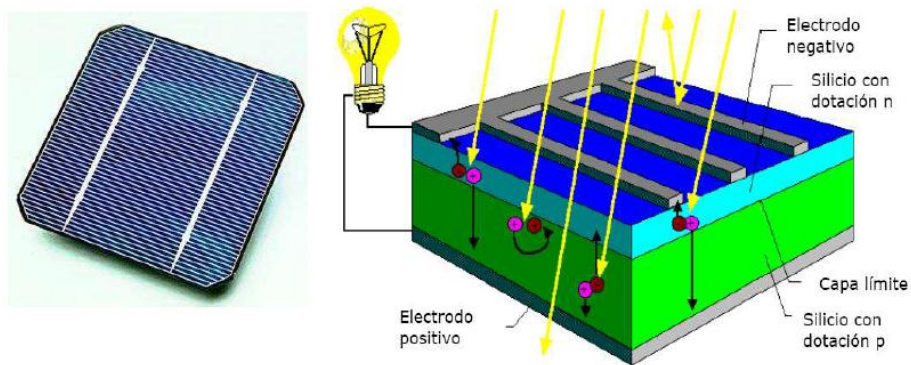
4.2 ESTRUCTURA DE UNA CELDA FOTOVOLTAICA

Una celda fotovoltaica de silicio está compuesta de dos discos de silicio tipo n y tipo p uno encima del otro, el disco superior es más delgado que el inferior (tan delgado que es casi translucido), esto con el fin de que la mitad de la radiación sea absorbida por el disco superior y la otra mitad por el disco inferior; el disco

superior tiene unos contactos metálicos en forma de rejilla (muy delgadas con el fin de que dejen pasar la luz) que se encargan de recoger la corriente eléctrica, el disco inferior también se encuentra situado sobre un contacto metálico, estos contactos son los encargados de llevar y traer la corriente eléctrica a una carga o a un acumulador cuando incide radiación solar sobre la celda. Que el disco delgado (superior) sea tipo n y el inferior tipo p o viceversa solo influye en la dirección de la corriente ya que los electrones se mueven del material tipo n al tipo p y la corriente eléctrica se mueve en sentido contrario al de los electrones.[7].Esto se ilustra en la siguiente figura

Figura 5. Estructura de una celda fotovoltaica

Celdas fotovoltaicas



Fuente Curso de Energía y Medio Ambiente UIS

4.3 COMPORTAMIENTO DE UNA CELDA FOTOVOLTAICA

Cuando incide radiación solar sobre una celda fotovoltaica existe un bombardeo de fotones sobre este material, si la energía de estos es mayor que la frecuencia umbral los electrones son atraídos por el silicio tipo p con lo que se carga

negativamente y los huecos son atraídos por el silicio tipo n con lo cual éste se carga positivamente apareciendo una diferencia de potencial de aproximadamente 0,5 voltios entre los terminales de la celda, por esta razón cuando se necesita un voltaje determinado se colocan celdas en serie que encapsuladas en un material transparente forman un panel solar. Cuando se necesita incrementar la corriente de un panel solar se colocan arreglos de celdas fotovoltaicas serie conectados en paralelo. Generalmente estas celdas están hechas a partir de silicio monocristalino o policristalino; lo cual determina su eficiencia[11], como lo muestra la siguiente tabla:

Tabla 2 Tecnología para celdas fotovoltaicas

CELDAS DE SILICIO			
TIPO CARACTERÍSTICA	SILICIO MONOCRISTALINO	SILICIO POLICRISTALINO	SILICIO AMORFO
RENDIMIENTO	15-18%	12-14%	<10%
ANCHO DE BANDA (eV)	1,14		1,12-1,7
ESTRUCTURA	Completamente ordenada	Ordenada por regiones separadas	Alta grado de desorden
ÁREA (m ²) PARA 1KW _{pico}	7-9	8-11	16-20
OBTENCIÓN	de silicio puro fundido y dopado con boro	de silicio puro fundido.	de silicio fundido
VISUALIZACIÓN	Monocromía azulada oscura y metálica	Distintos tonos azules y grises metálicos.	Color marón homogéneo.
VENTAJAS	Su comportamiento uniforme la hace buen conductor	Fabricación más económica comparada con el silicio monocristalino. Los enlaces	Es eficiente bajo iluminación artificial
DESVENTAJAS	Es de compleja fabricación y costos elevados.	irregulares de las fronteras cristalinas disminuyen el rendimiento de la célula	Contiene un gran número de defectos estructurales.

FUENTE. ROMERO, Susana. Metodología para la formulación de proyectos de Generación de energía eléctrica por medio de paneles fotovoltaicos.

Cada panel solar cuenta generalmente entre 33 a 72 celdas conectadas en serie, dependiendo del voltaje que se requiera que generalmente es de 12 y 24 voltios, tienen aproximadamente 1 metro cuadrado de área (1 m²), pueden generar entre

40 y 150 Wp y tienen 12 kg/m² de peso aproximado, con baterías de 12 voltios cuando se presentan ambientes con temperaturas muy altas se colocan paneles que tengan 44 celdas (lo que daría una tensión de alrededor de 20 voltios) dado que a estas temperaturas se pierde eficiencia y por lo tanto la tensión nominal se reduce.[12]

Las celdas multicapa de Arseniuro de Galio alcanzan eficiencias del 30% y en el laboratorio se han alcanzado eficiencias del 42% con paneles experimentales (Célula, 2009). Actualmente se están elaborando paneles solares mejorando la eficiencia a base de lentes convergentes que multiplican la potencia irradiada por el sol sobre las celdas o utilizando espejos que concentran la energía solar sobre celdas bifaciales las cuales están compuestas de silicio tipo p y las dos caras externas por silicio tipo n o viceversa, aquí los espejos se utilizan para reflejar los rayos del sol sobre la cara inferior de la celda bifacial mientras que la cara superior es irradiada directamente por el sol, aunque el uso de estos lentes y espejos requiere un sistema de seguimiento del sol. Las celdas de película delgada fabricadas a base de silicio amorfo son más baratas y menos eficientes porque utilizan menor cantidad de silicio, además presentan el problema de que se empiezan a degradar cuando son expuestas a la radiación solar con lo que su eficiencia disminuye aún más, pero tienen la ventaja de afectarse menos cuando hay niveles de radiación bajos, con lo que aprovechan más la radiación difusa; las celdas de película delgada de diseleniuro de indio y cobre (CIS) conocidas como de tercera generación tienen eficiencias más bajas que las monocristalinas y policristalinas pero se espera alcanzarlas e incluso superarlas en los próximos años.[13][14]

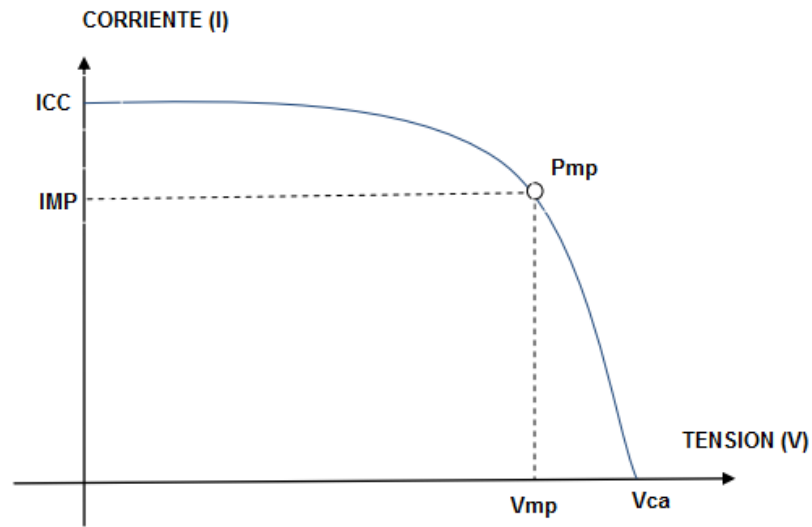
4.4 CURVA CARACTERISTICA DE FUNCIONAMIENTO DE UNA CELDA FOTOVOLTAICA

Todo equipo eléctrico se caracteriza por una corriente, una tensión y una potencia de funcionamiento; cuando se le practican pruebas a una celda fotovoltaica se puede observar que la tensión de circuito abierto es independiente de la intensidad de la irradiación que incide sobre ésta, por lo que la tensión se mantiene para diferentes valores de irradiación pero depende de la temperatura de la celda fotovoltaica la cual es producto de la energía del sol que no es aprovechada por el material semiconductor.

Al practicar la prueba de cortocircuito a la celda se observa que la intensidad de corriente aumenta a medida que se aumenta la intensidad de la irradiación, además, esta intensidad de corriente es independiente de la temperatura de la fotocelda.[15]

Al producto de la intensidad de corriente por la tensión en un dispositivo eléctrico se le conoce como potencia, esta se le entrega a otro dispositivo eléctrico conectado en las terminales de la fotocelda como un acumulador o una carga de DC. En una prueba de circuito abierto la potencia es nula porque no hay corriente eléctrica, en una prueba de cortocircuito la potencia también es nula porque no hay diferencia de potencial entre los terminales del dispositivo. Las condiciones óptimas de funcionamiento de una celda fotovoltaica se presentan cuando el producto de la intensidad de corriente eléctrica y la tensión es máximo, este punto óptimo recibe el nombre de potencia pico, esto se puede observar en la figura6:

Figura 6. Curva característica de una celda fotovoltaica



En donde:

Corriente de cortocircuito (ICC): Máxima corriente que puede entregar un dispositivo, correspondiendo a tensión nula y consecuentemente a potencia nula.

Tensión de circuito abierto (VCA): Máxima tensión que puede entregar un dispositivo, correspondiendo a circulación de corriente nula y consecuentemente a potencia nula.

Potencia Pico (PMP): Es el máximo valor de potencia que puede entregar el dispositivo. Corresponde al punto de la curva en el cual el producto $V \times I$ es máximo, $PMP = VMP \times IMP$.

Corriente a máxima potencia (IMP): Corriente que entrega el dispositivo a potencia máxima. Es la corriente nominal del panel solar.

Tensión a máxima potencia (VMP): tensión que entrega el dispositivo a potencia máxima. Es la tensión nominal del panel solar.

4.5 EFICIENCIA DE UNA CELDA FOTOVOLTAICA

Cuando se adquiere un panel solar comercial el fabricante en la hoja de características define una potencia máxima (PMP), la tensión y la corriente en el punto de máxima potencia (IMP y VMP), corriente de cortocircuito (ICC) y tensión de circuito abierto (VCA) cuyas pruebas se realizan con una irradiancia, temperatura de la celda y masa del aire determinadas (bajo condiciones estándar 1000 W/m², 25 °C y AM 1,5). El rendimiento de las celdas fotovoltaicas depende de la radiación solar y la temperatura la cual por cada grado Celsius de aumento ocasiona en la potencia de salida de los módulos una reducción del 0.5%, con esto se hace necesario refrigerar el sistema de paneles solares para obtener una mejor eficiencia, pero por lo general un sistema de refrigeración se usa cuando se calientan las celdas debido al aumento de la intensidad luminosa mediante lentes y espejos.[16]

Luego la eficiencia de una celda fotovoltaica viene dada por la ecuación:

$$\eta = \frac{P_{mp}}{S \times E} \quad 5.1$$

Dónde:

PMP = Potencia pico en W

S = Superficie de la celda en M²

E = Irradiación en W/M²

4.6 CONEXIÓN DE LOS PANELES FOTOVOLTAICOS

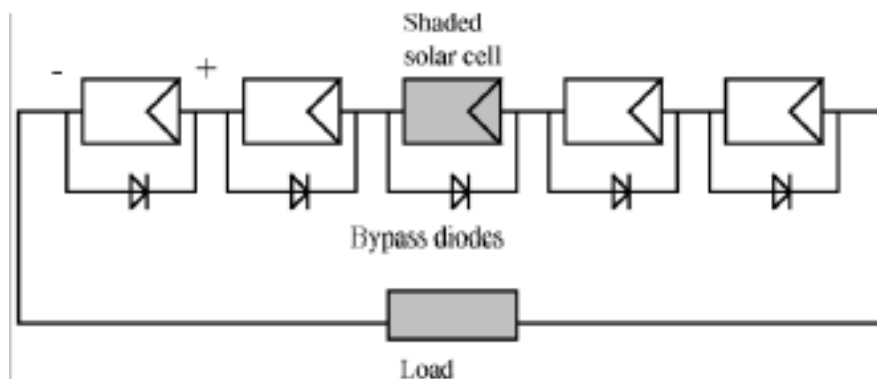
Normalmente los paneles utilizados, están diseñados para trabajar en combinación con baterías de tensiones múltiplo de 12 V, como veremos más adelante en la sección dedicada a las baterías. Un conjunto de módulos conectados entre ellos junto con el cableado, y (en su caso) los soportes de la instalación constituyen un generador fotovoltaico. La conexión de módulos

fotovoltaicos sigue las reglas básicas de la electricidad. Los módulos se pueden conectar en serie o en paralelo, con la combinación más adecuada para obtener la corriente y el voltaje necesario para una determinada aplicación. Todos los paneles conectados deben tener las mismas características eléctricas.

CONEXIÓN EN SERIE

Este tipo de conexión se basa en conectar el terminal positivo de un módulo con el negativo del siguiente, y así sucesivamente hasta completar la serie como se muestra en la Figura 5. Lo terminales del grupo generador estarán en el terminal positivo del último modulo conectado y el negativo del primero. Cuando los paneles se conectan en serie la tensión resultante es la suma de todos los paneles, mientras que la intensidad será la proporcionada por uno solo de ellos. Si falla uno de los paneles conectado en serie, puede hacer que el conjunto deje de funcionar. Para evitar que esto suceda, los diodos de bloqueo puentean ese modulo, haciendo que la corriente siga su camino. Normalmente se conectan módulos en serie para conseguir voltajes de 24 V o 48 V, en instalaciones autónomas de electrificación, y superiores, 96 V a 144 V, en instalaciones conectadas a la red o de alimentación para bombeos directos.[17] El voltaje de un módulo fotovoltaico puede llegar a ser 1,4 veces el voltaje nominal, cuando funciona en el punto de máxima potencia. Como se muestra en la figura 7

Figura 7. Celdas fotovoltaicas conectadas en serie

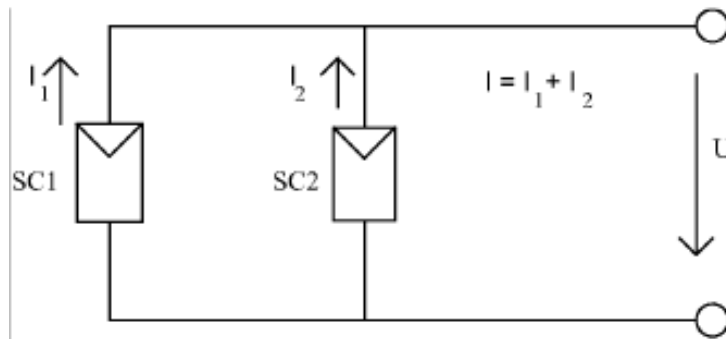


Fuente: A GOETZBERGER y V.U. HOFFMAN. Solar Cells and Solar Modules

CONEXIÓN EN PARALELO

Este tipo de conexión consiste en conectar por un lado los terminales positivos de todos los paneles fotovoltaicos, y por otro, los terminales negativos. La salida del grupo generador la forman el terminal positivo común y el terminal negativo, también común como se muestra en la Figura 8.

Figura 8. **Celdas fotovoltaicas conectadas en paralelo**



Fuente: A GOETZBERGER y V.U. HOFFMAN. Solar Cells and Solar Modules

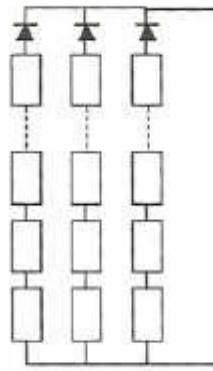
Cuando los módulos se conectan en paralelo, la tensión coincidirá con la que proporcione un solo modulo, pero la intensidad será la suma de las intensidades de todos los módulos, de manera que el aumento de potencia se basa en mantener la potencia de un módulo y la suma de intensidades que proporcionen los módulos conectados. Normalmente se hacen conexiones en paralelo para conseguir intensidades de 20 A o 25 A, en instalaciones autónomas de electrificación o bombeo, superiores en instalaciones de conexión a la red de elevada potencia. [17]

Hay que recordar que el aumento de intensidad produce un aumento de pérdidas por efecto joule (calentamiento de los conductores) de forma cuadrática, ya que obliga a utilizar conductores de mayor sección para que puedan soportar intensidades elevadas, aunque siempre teniendo en cuenta que no superen las establecidas en la NTC 2050 para cada sección de conductor.

CONEXIÓN EN PARALELO CON DIODO DE BLOQUEO

La misma idea de bloquear la corriente al panel completo se puede usar para bloquear grupos grandes que podrían absorber corriente de los otros grupos cuando se conectan en paralelo. Como se puede observar en la figura 9

Figura 9. **Celdas fotovoltaicas conectadas en paralelo con diodo de bloqueo**



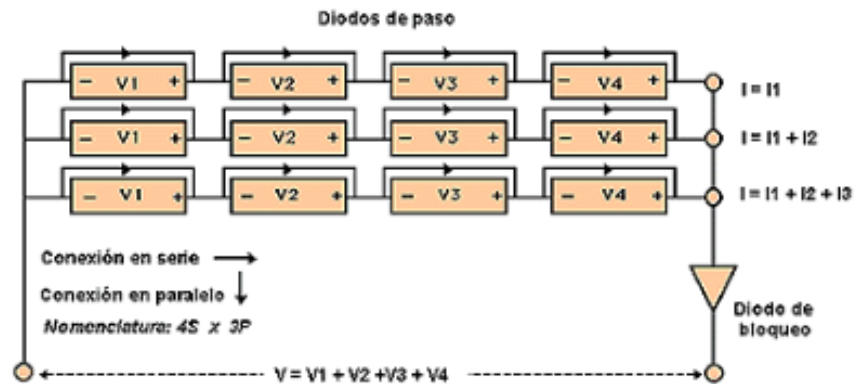
Fuente: A GOETZBERGER y V.U. HOFFMAN. Solar Cells and Solar Modules

CONEXIÓN MIXTA

Para satisfacer diferentes necesidades de tensión y potencia, los módulos pueden combinarse en agrupaciones serie-paralelo como se muestra en la Figura 6. Desde el punto de vista del rendimiento; es decir, el que procura minimizar las pérdidas de energía por calentamiento de los conductores y/o de los equipos de regulación. Según este criterio, se diseñarían instalaciones a 48 V, ya que cuanto mayor voltaje, menor es la intensidad para un valor de potencia constante. El problema de trabajar tensiones altas es el costo del sistema de baterías que debe emplearse.[17][15]

Desde el punto de vista económico, es decir el que procura el mínimo costo de la instalación. Se recomienda instalaciones de 12 V, con lo que se requiere baterías de menor tamaño, pero con intensidades de paso altas en los conductores y controladores, a medida que aumenta la potencia de la instalación. Esto se muestra en la figura 10

Figura 10. **Celdas fotovoltaicas conectadas en Mixta**

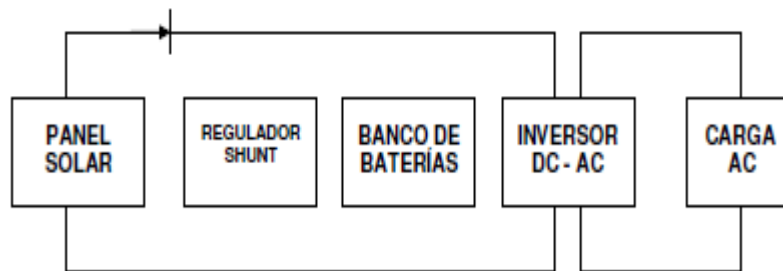


Fuente: A GOETZBERGER y V.U. HOFFMAN. Solar Cells and Solar Modules

5. COMPONENTES DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA

Los sistemas fotovoltaicos pueden diseñarse para alimentar carga DC o AC. Los sistemas DC consisten del panel, diodo de by-pass y de bloqueo, regulador de carga, banco de batería y carga. [13] Los sistemas para las cargas AC incluyen adicionalmente un inversor DC- AC. Como se muestra en la figura 11.

Figura 11. **Celdas fotovoltaicas conectadas en Mixta**



Fuente: A GOETZBERGER y V.U. HOFFMAN. Solar Cells and Solar Modules

5.1 ACUMULADORES

Como fácilmente se comprende, la presencia del acumulador es necesaria ya que los paneles solo generan energía eléctrica en los momentos que incide sobre ellos luz (bien sea directa o difusa) pero a menudo dicha energía se requiere precisamente en los momentos en que no existe incidencia luminosa o es demasiado débil.

Además el acumulador cumple también dos importantes misiones:

Suministrar un potencia instantánea, o durante breves momentos, superior a la que el campo de paneles podría generar aun en los momentos más favorables posibles. Tal es el caso de los arranques de los motores, por ejemplo el de los

frigoríficos, que requieren durante unos segundos una potencia varias veces superior a la de su normal funcionamiento.[18]

Mantener un nivel de tensión estable. Como hemos visto, la tensión de salida del panel varía en función de la intensidad radiante. Lo cual puede no ser adecuado para el funcionamiento de los aparatos. El acumulador proporciona una tensión estable y constante (dentro de un cierto rango) independiente de las condiciones de incidencia luminosa.

Al conectar los bornes del banco de acumuladores a los correspondientes terminales de los paneles (uniendo polos del mismo signo), la tensión de la batería que es aproximadamente constante, determinará la tensión de funcionamiento de los paneles, es decir, en la curva $i-v$ de respuesta eléctrica del panel, la tensión será aquella que la batería le imponga y nunca al revés. Esto significa que al conectar una batería de 12V a un grupo de paneles capaz de suministrar 19V, la tensión de operación de estos será de 12V.[5]

Como la tensión de una batería puede variar más o menos uno o dos volts de su valor nominal según su estado y otros factores, para poder cargar perfectamente una batería de 12V únicamente son necesarios unos 14.5V; este pequeño margen de seguridad es conveniente pues, si la temperatura de trabajo de las células aumenta, la tensión caerá, pero todavía el panel estará en condiciones de cumplir su cometido. Si se ajustademasiado la salida máxima teórica de tensión al valor idóneo para cargar la batería en condiciones de temperatura media (por ejemplo 250C), cuando las condiciones fueran desfavorables el panel no podría generar suficiente energía para introducir corriente en la batería. Este pequeño margen de seguridad supondrá una pequeña pérdida respecto a la potencia máxima que el panel puede teóricamente suministrar y que normalmente se alcanzaría a tensiones algo mayores a los que en realidad trabaja el panel (la tensión que determina la propia batería). Globalmente dicha pérdida puede representar

alrededor de un 10% con respecto a la potencia máxima del panel, que de forma más bien optimista, los fabricantes anuncian en su catálogo.

Las clases de baterías que se utilizan para aplicaciones fotovoltaicas son las de níquel-cadmio y las de plomo ácido.

Las primeras son más caras pero ofrecen una excelente fiabilidad y resistencia ya que pueden soportar descargas de hasta el 90% de su capacidad teórica recuperándose totalmente y aguantar temperaturas extremadamente bajas. El tipo de acumulador más adecuado para instalaciones fotovoltaicas es el estacionario, apto para servicios semicontinuos o intermitentes sin que se vea en ningún momento forzado a producir intensidades elevadas por cortos de tiempo. Por ejemplo el acumulador de Pb-Sb (plomo antimonio) de placas tubulares es el más utilizado para instalaciones medias o grandes, ya que admite descargas moderadamente altas, aunque el número de ciclos de carga- descarga, y por tanto la vida útil será mayor cuanto menor sea la profundidad de descarga a la que es regularmente sometido.

Otro tipo de baterías adecuadas para pequeñas instalaciones es la de Pb-Ca (plomo-calcio) que presenta la ventaja de no necesitar mantenimiento y tener baja autodescarga; estas baterías se venden en estructuras compacta tipo monoblocs (como las baterías de automóviles) y su reducido tamaño permite un transporte cómodo, unido esto a su precio relativamente moderado, hace que sean bastante utilizadas en pequeñas instalaciones.[18]

- **Ciclos de carga-descarga de la batería de acumuladores.**

Si partimos de una instalación fotovoltaica típica que suministra electricidad para iluminación y otras necesidades básicas de una vivienda, tenemos que durante el día, los paneles generan energía que se empleará, por una parte, en satisfacer los

consumos que se efectúen en los momentos coincidentes con los de la producción. La energía sobrante será la que absorberá la batería, a menos que esta se encuentre plenamente cargada, en cuyo caso se disipará en forma de calor o se impedirá el paso de corriente mediante algún dispositivo automático.

Al atardecer y durante la noche, que suelen ser los momentos en los que, debido a necesitarse iluminación artificial, los consumos son mayores, la energía es extraída de la batería, disminuyendo el nivel de carga de esta. Así, el ciclo carga-descarga se repite diariamente, siempre que la intensidad incidente sea suficiente (días claros o parcialmente nubosos) Cuando se producen dos o más días consecutivos cubiertos de nubes, con una escasa luminosidad, prácticamente todo el consumo se hace a expensas de la energía almacenada en la batería, sin que esta pueda reponer la energía gastada mediante la energía solar.[18]

Terminado el período de condiciones meteorológicas desfavorables y volviendo la intensidad a alcanzar unos valores suficientes, los paneles van cargando la batería hasta su máxima capacidad, operación que tardará varios días en completarse, ya que el consumo diario continúa, haciendo que solo una parte de la energía captada pueda destinarse a ser almacenada. Se completa de esta forma un ciclo autónomo. Llamado así porque la batería depende únicamente de su propia capacidad útil para satisfacer la demanda de energía durante dicho periodo. La profundidad de descarga en el periodo de autonomía debe ser rigurosamente determinada según el tipo de batería, siguiendo las recomendaciones del fabricante. En ningún caso debe ser superior al 80% (límite para baterías de Ni-Cd y la estacionaria Pb-Sb). Como se resume en la tabla 2

Tabla 3. Tecnología para celdas fotovoltaicas

Tipo de batería	Descargas máximas (%)
Plomo-antimonio	80
Plomo/arranque	15-50
Plomo-calcio	60
Níquel-cadmio	90

5.2 REGULADOR

Para el funcionamiento satisfactorio de la instalación en cuanto a la unión de los paneles fotovoltaicos con las baterías debe instalarse un sistema de regulación de carga. Este sistema es siempre necesario, salvo en el caso de los paneles autorregulados. El regulador tiene como función fundamental impedir que la batería continúe recibiendo energía del panel fotovoltaico una vez que este llegue a su carga máxima.[19]El es quema del regulador se muestra en la figura

Figura 12. Regulador de carga



Fuente: www.reeditor.com

Otra función del regulador es la prevención de la sobre descarga, con el fin de evitar que se agote en exceso la carga de la batería, siendo éste un fenómeno, que como ya se ha dicho, puede provocar una sensible disminución en la capacidad de carga de la batería en sucesivos ciclos. Dado que los módulos solares tienen una tensión nominal mayor que la de la batería, si no existiera regulador se podrían producir sobrecargas. Las razones que justifican esta tensión nominal son:

- Atenuar posibles disminuciones de tensión por el aumento de la temperatura.
- Asegurar la carga correcta de la batería. Para ello la tensión Voc del panel deberá ser mayor que la tensión nominal de la batería. Algunos reguladores incorporan una alarma sonora o luminosa previa a la desconexión para que el usuario pueda tomar medidas adecuadas, como reducción del consumo u otras. Los reguladores más modernos integran las funciones de prevención de la sobrecarga y la sobre descarga en un mismo equipo, que además suministra información del estado de carga de la batería, la tensión existente en la misma además de ir provistos de sistemas de protección tales como fusibles, diodos, etc. Como se observa en la Figura 29, para prevenir daños en los equipos debidos a excesivas cargas puntuales. Estos reguladores también pueden incorporar sistemas que sustituyan a los diodos encargados de impedir el flujo de electricidad de la batería a los paneles solares en la oscuridad, con un costo energético mucho menor. También es interesante incorporar modelos de regulación que introducen modos de carga —en flotación— lo cual permite una carga más completa de las baterías y un mejor aprovechamiento de la energía de los paneles.[19]

El dimensionamiento de la instalación solar se realiza de manera que se asegure el suministro de energía en las peores condiciones de luminosidad del Sol. Por ello, se toman como referencia los valores de irradiación en invierno. Puede provocar que en verano la energía aportada por los módulos solares sea en ocasiones

mucho mayor que los cálculos estimados, por lo que, si no se conecta el regulador entre los paneles y las baterías, el exceso de corriente podría llegar incluso a hacer hervir el electrolito de los acumuladores, con el riesgo que conlleva.[18] Los reguladores se pueden clasificar de la siguiente forma:

- Según la tecnología del interruptor: Estos pueden ser de reléelectromagnético o de estado sólido (MOSFET, IGBT, etc.).
- Según la estrategia de desconexión del consumo: Pueden ser por tensiónpor algoritmo de cálculo del estado de carga.
- Según posición del interruptor de control de generación: Pueden ser en serie o en paralelo.

Los dos tipos fundamentales de reguladores, serie y paralelo (shunt) tienen las siguientes características principales se describen a continuación:

5.2.1 Serie. El control de sobrecarga se efectúa interrumpiendo la línea campo de generación batería, mientras que el control de sobre descargas se efectúa interrumpiendo la línea batería-consumo. Cuando el interruptor de control es de tipo electrónico (transistor) éste evita que se pueda producir la descarga inversa de la batería hacia el campo de generación eléctrica (paneles FV, aerogeneradores). Este interruptor no disipa potencia cuando está interrumpiendo la corriente de carga, por lo que este tipo de reguladores es adecuado para instalaciones de cualquier potencia. Durante el funcionamiento normal del regulador, el interruptor de control genera una pequeña caída de tensión en la línea campo de generación-batería [19][18]

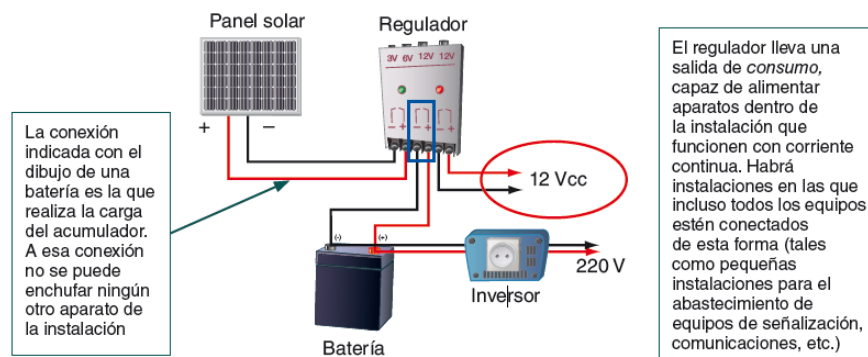
5.2.2 Paralelo. El control de sobrecarga se efectúa cortocircuitando el campo generador. Mientras que el control de sobre cargas se efectúa interrumpiendo la línea batería consumo, al igual que el regulador tipo serie. Independiente del tipo de interruptor (electrónico o electromecánico), es necesario un diodo interno que impida que el cortocircuito afecta a la batería, evitando así también la descarga inversa de la batería hacia el campo de generación eléctrica. Este interruptor disipa potencia cuando está cortocircuitando la corriente de carga, por lo que este tipo de regulador se limita a instalaciones de baja potencia. Al igual que en el regulador tipo serie, durante su funcionamiento, el diodo interno genera una pequeña caída de tensión en la línea campo de generación-batería.

Los fabricantes proporcionan los valores de trabajo del regulador sobre una hojita de características así:

- Características físicas del regulador, como peso, dimensiones, material empleado en su construcción, etc.
- Características eléctricas.
- Normas de seguridad que cumple.

A continuación se puede observar un esquema de conexión del regulador en un sistema fotovoltaico aislado.

Figura 13. Esquema de conexión del regulador en un sistema fotovoltaico



Fuente: A GOETZBERGER y V.U. HOFFMAN. Solar Cells and Solar Modules

5.3 INVERSORES

Los inversores son dispositivos que transforman la corriente continua, suministrada por el generador de energía (paneles fotovoltaicos, sistemas eólicos, mini hidroeléctricas u otros) o sus componentes de almacenamientos (baterías), en corriente alterna CA, necesaria para alimentar la mayoría de los receptores domésticos e industriales. Este elemento se denomina también convertidor, su denominación recomendable es ondulator.

Los parámetros característicos de un inversor son:

Tensión nominal: es la que se debe aplicar a los terminales de entrada del inversor. Los inversores disponibles para uso fotovoltaico y/o eólico, se ofrecen con tensiones nominales características de estos sistemas.

Potencia nominal: es aquella que puede suministrar el inversor de forma continuada. Su rango comercial oscila normalmente entre los 100 W y 5000 W, existen de potencias superiores.

Capacidad de sobre descarga: se refiere a la capacidad del inversor para suministrar una potencia considerablemente superior a la nominal, así como al tiempo que puede mantener esta situación.

Forma de onda, en los terminales de salida del inversor aparece una señal alterna caracterizada principalmente por su forma de onda y los valores de tensión eficaz y frecuencia de la misma.

Eficiencia o rendimiento, relación expresada en tanto por ciento, entre las potencias presentes a la salida y a la entrada del inversor. Su valor depende de

las condiciones de carga del mismo, es decir, de la potencia total de los aparatos de consumo alimentados por el inversor en relación con su potencia nominal.

Además de las ya mencionadas, los modernos inversores disponibles para sistemas aislados, disponen de toda serie de características, entre ellas: protección contra sobrecargas, protección contra cortocircuitos, protección térmica, protección contra inversión de polaridad, estabilización de la tensión de salida, arranque automático, señalización de funcionamiento y estado.

Inversores autónomos: utilizados en los sistemas fotovoltaicos y/o eólicos de baja potencia autónomos o aislados de la red eléctrica externa. Hay algunas variantes de este tipo en el mercado:

- ❖ Entrada de batería, es el más común, en el que la entrada del inversor se conecta única y directamente a la batería o acumulador. Este tipo de inversores suele disponer de la función de protección contra la sobre descarga de la batería, ya que esta conexión directa constituye una línea de consumo no controlada por el regulador
- ❖ Entradas de batería y generador auxiliar: permite la conexión directa de un grupo electrógeno o un sistema eólico auxiliar, o de la propia red externa, posibilitando la carga de las baterías y la alimentación directa del consumo.
- ❖ Salida alterna y continua: hay inversores que disponen de doble salida, continua y alterna, diseñados especialmente para su utilización en sistemas que precisan estos dos tipos de alimentación.

Las características de la tensión alterna generada por un inversor (forma de onda, armónicos presentes, frecuencia, tensión, etc.) es uno de los parámetros de calidad más relevantes, se puede determinar el tipo de receptores a los que puede alimentar.

La forma de onda es una representación gráfica de la tensión suministrada por el inversor en función del tiempo, de la que pueden extraerse los valores de la amplitud y la frecuencia de la tensión alterna generada.

Los inversores de forma de onda senoidal generan una tensión idéntica a la que se produce en las centrales eléctricas de las compañías suministradoras de energía eléctrica y son aptos para alimentar cualquier tipo de receptor de corriente alterna, incluidos los más sensibles a la presencia de componentes armónicas.

La mayoría de los inversores aceptan tensiones continuas de entrada de 12 V, 24 V, 32 V ó 48 V y suministran en la salida tensión alterna de 230 V y 50 Hz (110 V y 60 Hz en Norteamérica, Centroamérica y algunos otros países). Las potencias nominales abarcan desde los 50 W hasta los 5 kW.

Los inversores de menor potencia suelen suministrar tensión alterna monofásica, mientras que los de mayor potencia pueden ser también monofásicos o suministrar directamente tensión trifásica. Igualmente pueden realizar un suministro trifásico a partir de tres inversores monofásicos conectados y sincronizados convenientemente.

Aunque actualmente los inversores han evolucionado de una manera importante. La avanzada electrónica de la que se dispone hoy en día permite conseguir una electricidad casi igual a la que hay disponible en la red eléctrica. El inversor depende de la potencia de la instalación, de la calidad de onda senoidal que se precise, si se desea que además de inversor sea cargador, de la frecuencia, de la potencia simultánea máxima, y del voltaje. La elección final depende, como todo, de las necesidades y accesibilidad.

6. DIMENSIONAMIENTO DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA

A continuación se darán los principales lineamientos para el dimensionamiento de los elementos que componen un sistema solar fotovoltaico.

6.1 SELECCION DE LOS PANELES SOLARES

Las principales características a definir al momento de dimensionar e instalar los paneles solares son:

P_m = Su potencia máxima.

V_m = Voltaje máximo.

I_m = Corriente máxima.

V_{oc} = Voltaje de circuito abierto.

I_{sc} = corriente de corto circuito.

A partir de estos parámetros de paneles y conociendo la insolación en kilo Watt por metro cuadrado al día, se establecen las horas picos solares hps , teniendo en cuenta los datos de energía por metro cuadrado al día en el mes de menor insolación y la cantidad estándar de insolación de energía por metro cuadrado que es presentado por el valor de 1000 W/m^2 .

De la tabla de insolación proporcionada por la NASA de la zona de estudio se toma el valor de insolación a tratar y hps se calcula.

$$hps = \frac{\text{Insolacion}}{1000 \text{ W/m}^2} \quad 7.1$$

Se tiene en cuenta el valor de la energía diaria que se toma del valor promedio de la potencia promedio por día y se multiplica por 24 horas que corresponde el día, el valor de la potencia promedio se toma del estudio de la curva de demanda de la

carga. En este caso como la vivienda no está en construcción la carga promedio se toma como la demanda máxima que representa a la iluminación de los apartamentos.

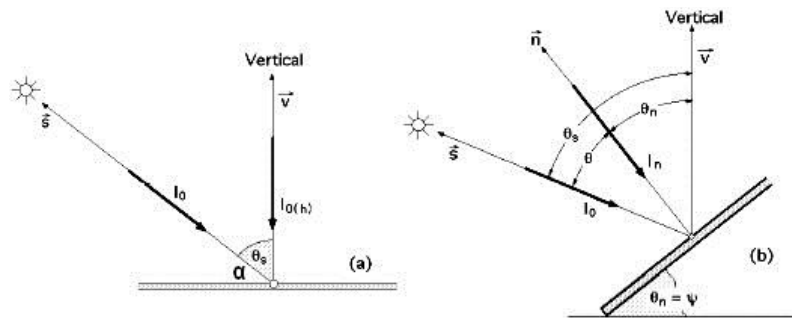
$$Energia\ diaria = Potencia\ promedio * 24h$$

Se tiene en cuenta los valores iniciales de eficiencia del inversor y del controlador de carga. Para establecer los amperios hora por día del panel previamente considerando el valor de voltaje DC del sistema que varían entre 6, 12, 24,48,120V

$$Ah/dia = \frac{\left(\frac{Demanda\ de\ energia\ Wh/dia}{eficiencia\ del\ inversor * eficiencia\ del\ controlador} \right)}{Voltaje\ del\ sistema\ en\ DC} \quad 7.2$$

6.6.1 Inclinación de los Paneles Solares. El valor de irradiación que incide sobre un módulo fotovoltaico depende de la inclinación que adopte el panel y por lo tanto del ángulo de incidencia θ entre la normal a la superficie del módulo y el haz de radiación solar.

Figura 14. Angulo de inclinación de un panel fotovoltaico



Fuente: A GOETZBERGER y V.U. HOFFMAN. Solar Cells and Solar Modules

Si la radiación solar es perpendicular a la superficie del módulo fotovoltaico la captación de energía será máxima; para recolectar la mayor cantidad posible de energía se puede recurrir a sistemas de seguimiento del sol para hacer que la superficie de los paneles siempre esté perpendicular a la radiación solar, pero es un sistema costoso que requiere de mantenimiento continuo, en su lugar aunque

no con la misma eficiencia se puede optar por sistemas estáticos, en los cuales se puede fijar la inclinación de los paneles solares para cada época del año o una sola inclinación óptima para todo el año y de este modo la potencia media anual recibida sea la máxima posible.

En países tropicales se acostumbra a utilizar una inclinación fija para paneles solares durante todo el año igual a la latitud del lugar pero no menor a 10°, esto con el fin de que no se acumule polvo y agua sobre la superficie del panel. En Colombia donde la latitud varía entre 4° 12' 19" Sur en Leticia y 12° 26' 46" Norte en Punta Gallina en la península de la Guajira se inclinan los paneles entre 10 y 15 ° con respecto a la horizontal, con lo que se puede fijar una sola inclinación para todo el año ya que el sol no se aparta mucho del zenit en el medio día solar. Ya que los paneles se deben colocar inclinados a cierto ángulo, se debe calcular a que ángulo es mayor la incidencia de radiación solar, con el fin de que los paneles generen la mayor cantidad de energía. Para lograr este cometido es necesario definir los parámetros y aplicar las fórmulas que se encuentran en este capítulo, con el fin de comparar los resultados a distintos ángulos de inclinación para escoger el ángulo que arroje los resultados más favorables.

- **Cálculo de la radiación solar extraterrestre H₀**

Corresponde a la cantidad de energía solar que incide sobre la atmósfera y también se conoce como la parte superior de la radiación ambiente. Este parámetro indica la cantidad de energía solar que incidiría en la tierra en ausencia de una atmósfera. La radiación solar varía debido a la órbita elíptica que describe la tierra alrededor del sol.

$$H_0 = \frac{24}{\pi} * I_{SC} * E_0 * \left[\cos L * \cos \delta * \sin W_s + W_s * \left(\frac{2 * \pi}{360} \right) * \sin L * \sin \delta \right] \quad 7.3$$

Donde,

I_{SC} = Constante Solar

W_s = Ángulo horario el cual es el desplazamiento angular del sol hacia el este o el oeste del meridiano local, debido al movimiento de rotación de la tierra alrededor de su eje.

E_0 = Factor de corrección

L = Latitud de la zona donde se va a implementar el sistema fotovoltaico

δ = Es la posición angular del sol al medio día con respecto al plano del ecuador

- **Cálculo del factor de corrección E_0**

Para calcular la radiación solar extraterrestre se incluye un factor de corrección de la excentricidad, para incluir la variación diaria de la misma. Entonces, el factor de corrección está definido como:

$$E_0 = 1 + 0.033 * \cos\left(\frac{360 * n}{365}\right) \quad 7.4$$

Donde n es el número del día del año en el cual se va a calcular el factor de corrección. $1 \leq n \leq 365$.

El eje de la tierra está inclinado 23.58° con respecto al plano de su órbita alrededor del sol. Debido a lo anterior, los días resultan más largos en el hemisferio norte desde el equinoccio de primavera (aproximadamente el 23 de marzo) hasta el equinoccio de otoño (alrededor del 22 de septiembre) y posteriormente, los seis siguientes meses son más largos en el hemisferio sur. En los equinoccios de marzo y septiembre, el sol está directamente sobre el ecuador, lo que da como resultado que los polos sean equidistantes al sol y que la tierra experimente luz diurna y oscuridad de 12 horas cada una.

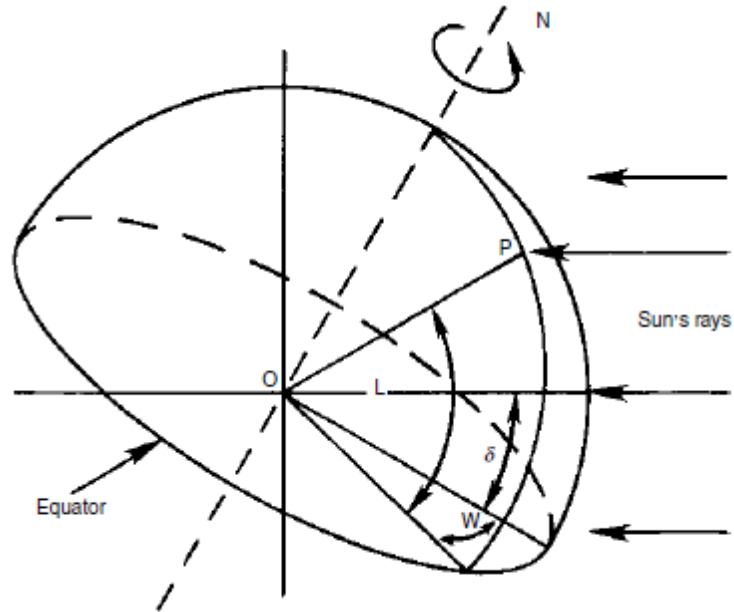
- **Declinación del Sol δ**

Es la posición angular en la que se encuentra el sol al medio día con respecto al plano del ecuador. Su valor varía entre -23.45° y $+23.45^\circ$, siendo positivo en el hemisferio norte.

$$\delta = 23.45 * \sin\left[\frac{360^\circ * (284 + n)}{365}\right] \quad 7.5$$

En donde n corresponde al número del día del año con $1 \leq n \leq 365$.

Figura 15. Angulo de la radiación solar extraterrestre



Fuente: TWIDELL, John y WEIR, Tony. RenewableEnergyResources

- **Coefficiente de transparencia de la atmósfera Kt**

Se le conoce a Kt como el coeficiente de transparencia de la atmósfera, puesto que es el cociente entre la radiación global terrestre y la radiación extraterrestre. En un día totalmente despejado, los valores de Kt tienden a 1 y en un día nublado, los valores de Kt tienden a 0.

$$Kt = \frac{H}{H_0} \quad 7.6$$

Al conocer el coeficiente de transparencia de la atmósfera Kt , se obtienen los valores de la radiación directa H_b y la radiación difusa H_d por medio del modelo de Liu-Jordan. Según este modelo, se establece que:

$$\frac{H_d}{H} = 1.39 - 4.027 * Kt + 5.331 * Kt^2 - 3.108 * Kt^3 \quad 7.7$$

$$H_b = H - H_d \quad 7.8$$

Donde,

H_d = Radiación difusa

H_b = Radiación directa

H = Radiación global terrestre Horizontal

- **Cálculo de la radiación en un plano inclinado**

La radiación solar en un plano inclinado HB puede calcularse como

$$H_B = H - H_d \quad 7.9$$

En la cual H es la radiación global terrestre horizontal y R está definida como

$$R = \left(1 - \frac{H_d}{H}\right) * R_B + \frac{H_d}{H} * \left(\frac{1 + \cos \beta}{2}\right) + \rho_g * \left(\frac{1 - \cos \beta}{2}\right) \quad 7.10$$

Donde,

R_B = Razón del promedio diario para cada mes de la radiación directa sobre una superficie inclinada.

β = Inclinación del panel (su valor se encuentra entre 10° y 15°)

ρ_g = Reflectancia del piso

$$R_B = \frac{\cos(L - \beta) * \cos \delta * \sin W'_s + \frac{\pi}{180} * W'_s * \sin(L - \beta) * \sin \delta}{\cos L * \cos \delta * \sin W_s + \frac{\pi}{180} * W_s * \sin L * \sin \delta} \quad 7.11$$

Donde el ángulo horario W_s está definido por

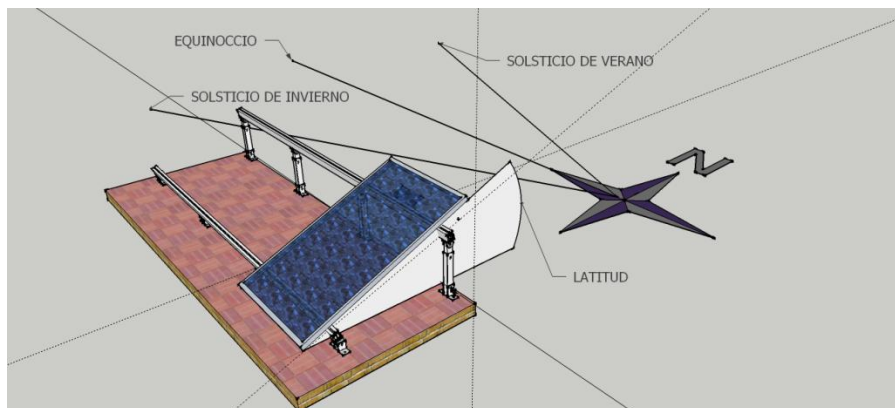
$$W_s = \cos^{-1}(-\tan L * \tan \delta) \quad 7.12$$

Y W'_s está definido por

$$W'_s = \text{minimo}(w_s, \cos^{-1}(-\tan(L - \beta) * \tan \delta)) \quad 7.13$$

6.1.2 Orientación de los paneles solares. En países del hemisferio norte la orientación debe ser directamente hacia el sur, en los países del hemisferio sur la orientación debe ser directamente hacia el norte. Las desviaciones hacia el oriente o hacia el occidente (medidos a partir del sur o del norte dependiendo de la ubicación del lugar) en un ángulo no mayor a 30° hacen que el valor de irradiación diaria disminuya en un valor inferior al 5%; si la desviación es mayor a 30° las pérdidas de irradiación pueden ser considerables. Un ejemplo de las consideraciones al momento de orientar el panel se muestra en la siguiente figura

Figura 16. Orientación de un panel fotovoltaico



Fuente: Energia-solar.com.mx

Ya que los paneles se deben colocar inclinados a cierto ángulo, se debe calcular aque ángulo es mayor la incidencia de radiación solar, con el fin de que los paneles generen la mayor cantidad de energía. Para lograr este cometido es necesario definir los parámetros y aplicar las fórmulas que se encuentran en este capítulo, con el fin de comparar los resultados a distintos ángulos de inclinación para escoger el ángulo que arroje los resultados más favorables.

6.1.3 Número de paneles solares. El número de paneles solares necesarios para la instalación fotovoltaica se puede determinar conociendo el aporte individual de cada panel, el voltaje máximo, voltaje del sistema y el valor de la carga eléctrica en A * h diario que se necesita suplir.

NÚMERO DE PANELES EN PARALELO

Se necesita la corriente total del arreglo fotovoltaico en Ah/día, la corriente máxima del panel y se necesita la cantidad de horas picos solares.

$$Panelesenparalelo = \frac{\left(\frac{\text{Corriente total del arreglo fotovoltaico}}{hps} \right)}{\text{Corriente maxima en el panel solar}} \quad 7.3$$

$$Paneles en paralelo = \llbracket \text{Valor de la relacion anterior} \rrbracket$$

Se entiende que se redondea el valor de la relación para tener un número entero de dispositivos en el arreglo.

NÚMERO DE PANELES EN SERIE

Para determinar el número de paneles en serie. Con el valor de tensión del sistema en DC y con el voltaje máximo en cada panel se puede hacer una relación para constituir la cantidad de paneles en serie a ubicar.

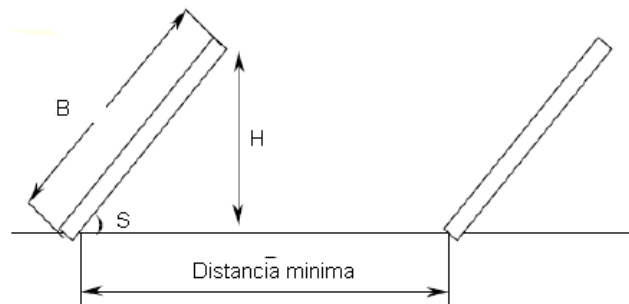
$$Paneles en serie = \frac{\text{Voltaje del sistema}}{\text{Voltaje maximo del panel fotovoltaico}} \quad 7.4$$

$$Paneles en serie = \llbracket \text{Valor de la relacion anterior} \rrbracket$$

A cada valor con número decimal se le saca la parte entera ya que esta estimación necesita ser redondeada. Este valor determina el número real de paneles.

6.1.4 Distancia Entre Paneles. Cuando se dispone de una gran cantidad de área para la instalación de los paneles solares se puede ubicar cada fila de paneles con una gran separación para evitar que durante el año la sombra de una fila se proyecte sobre otra; pero cuando el espacio para la ubicación de los paneles es reducido, entre filas de paneles solares debe haber una separación tal que al medio día solar en el día más desfavorable del año (solsticio de invierno el 21 de diciembre día en el que al medio día solar el sol se aleja más del zenit en los países del hemisferio norte) la sombra de la arista superior de una fila se proyecte como máximo sobre la cresta inferior de la siguiente:

Figura 17. Distancia mínima entre paneles



La distancia mínima se determina de la siguiente forma:

$$\tan\varphi = \frac{H}{L} = \frac{B * \sin S}{DISTANCIA MINIMA - B * \cos S} \quad 7.5$$

$$DISTANCIA MINIMA = B * \cos S + \frac{B * \sin S}{\tan\varphi_{min}} \quad 7.6$$

Dónde:

S = inclinación del panel

B = longitud del panel

φ_{min} = ángulo mínimo de incidencia entre el haz de radiación y la horizontal

6.2 ESTRUCTURA DE SOPORTE Y ANCLAJE

La función de la estructura de soporte como función principal es mantener los paneles solares fijos en la inclinación y orientación elegida. Es muy importante tener un buen sistema de sujeción previendo situaciones que causen el desplazamiento en las condiciones óptimas calculadas de la ubicación de los paneles. Estas situaciones de los paneles, pues al ser estos ligeros pueden ser arrastrados por la fuerza del viento, la estructura debe soportar vientos de 120 km/h, también facilitar una altura mínima del panel al suelo de 30 cm. Se debe tener el respectivo cuidado para no dañar la impermeabilización en terrazas al anclar la estructura de soporte, además debe dejarse el espacio suficiente para realizar las conexiones, el mantenimiento y para que el aire circule fácilmente y de esta manera suministre ventilación a los módulos fotovoltaicos.

La estructura de soporte debe resistir como mínimo 10 años de exposición a la intemperie sin corrosión, debe estar conectada a una tierra común y debe ser preferiblemente de acero inoxidable, hierro galvanizado o aluminio anodizado y la tornillería de acero inoxidable pues estos materiales son apropiados para ambientes corrosivos y uso en la intemperie. Para los anclajes o empotramiento de la estructura se utiliza bloques de hormigón y tornillos roscados. Esto se puede observar en la figura

Figura 18. **Estructura de soporte comercial**



Fuente: Empres SouthwestPhotovoltaicsSystemInc

6.2.1 Capacidad de la batería. Dimensionar una batería para un sistema fotovoltaico requiere conocer factores como el consumo medio diario o la cantidad de carga que se requiere abastecer diariamente, además no olvidar que cada tipo de batería posee una profundidad de descarga, una tensión de operación y un porcentaje de auto descarga mensual y que se debe tener en cuenta los días de autonomía de la batería para los días nublados y de lluvia donde la captación de energía es baja.

6.3 DISEÑO DEL BANCO DE BATERÍAS

Al tener la capacidad nominal de la batería que se va a utilizar, así como su tensión nominal, se debe confrontar la tensión nominal de la batería con la tensión nominal del sistema en DC para determinar el número de baterías que van a ser conectadas en serie así como también la cantidad de grupos de baterías en serie que van a existir. El cuarto donde va a estar este grupo de baterías debe permitir el acceso a todas y cada una de ellas respetando las distancias de trabajo establecidas por el RETIE, con su debida señalización y ventilación.[RETIE]

Se realizará el diseño del banco con ciertas consideraciones de un tipo de batería como:

Voltaje nominal

Carga energía almacenada

Capacidad de descarga

$$\text{Correccion por capacidad de la carga} = \frac{\text{Ah/dia}}{\text{Capacidad de descarga}} \quad 7.7$$

Corección por autonomía

$$= \text{Correccion por capacidad de carga} * N^{\circ} \text{ de autonomía} \quad 7.8$$

NUMERO DE FÍLAS EN PARALELO Y SERIE DE LAS BATERÍAS

A continuación se indican las expresiones con las cuales se puede dimensionar el banco de baterías para el almacenamiento de la energía de uso y de reserva del sistema en los días de independencia netamente de reservas.

$$N^{\circ} \text{ de filas en paralelo} = \frac{\text{Correccion por autonomia}}{\text{Capacidad de energía almacenada}} \quad 7.9$$

$$N^{\circ} \text{ de bateria en serie} = \frac{\text{Tension DC del sistema}}{\text{Voltaje Bateria}} \quad 7.10$$

$$N^{\circ} \text{ Total de baterias} = N^{\circ} \text{ de filas en paralelo} * N^{\circ} \text{ Total de baterias en serie}$$

6.3.1 Regulador De Carga. Los principales factores para escoger un regulador de carga son la tensión nominal y la capacidad de corriente, el número de paneles, cada uno con una corriente de cortocircuito la cual toca indicar en [A] se procede de la siguiente forma sin olvidar el factor de seguridad de 1,25 para manejar la corriente excesiva ocasional:

$$I_{regulador} = 1,25 * I_{SC} * NPR \quad 7.11$$

Dónde:

NPR = números de paneles conectados al regulador.

I_{SC} = Corriente de corto circuito

Por lo que se puede escoger un regulador de carga gracias a los valores encontrados con las ecuaciones anteriores o el siguiente en capacidad que exista en el mercado a una tensión nominal DC de operación del sistema. Si se requiere aumentar la confiabilidad del sistema se puede optar por mas reguladores que cumplan con la corriente solicitada por el sistema en paralelo a a la tensión de operación, cada uno actuara sobre los paneles a los que pueda soportar la corriente. Se debe tener en cuenta también las tensiones de corte superior e inferior para impedir las sobrecargas y las descargas excesivas en la batería.

6.3.2 Inversor . Para el dimensionamiento del inversor se deben sumar todas las potencias nominales de las cargas que puedan funcionar al mismo tiempo y después multiplicar esa potencia por un factor de seguridad de 1,25 para situaciones no previstas como aumento de la demanda; se debe tener en cuenta que un inversor sobredimensionado presenta un bajo rendimiento en la conversión de potencia.

Si se tiene una potencia máxima instantánea de 1,2 kW la potencia de régimen del inversor se puede calcular como:

$$P_{regimen} = 1.25 * Carga_{pico}$$

7.12

Es importante saber el tipo de carga que se tiene en la instalación para seleccionar un inversor con una forma de onda senoidal modificada o senoidal pura ya que este último tiene un precio elevado. Además tener en cuenta el tiempo en el que el inversor puede funcionar a estos 1,5 kW de capacidad máxima, la tensión de entrada y de salida, frecuencia y rendimiento, así como la capacidad de sobre potencia transitoria por ejemplo que este mismo inversor pueda soportar una potencia de 1,8 kW durante 2 minutos o 2,8 kW durante 50 segundos.

6.3.3 Sistemas de Protección. Se debe instalar interruptores aisladores de circuitos (circuitbreakers) y fusibles apropiados, estos pueden o no estar incluidos dentro de la caja del regulador. Los conjuntos fotovoltaicos instalados en el tejado deben tener protección contra fallas a tierra para reducir el riesgo de incendio. El circuito de protección contra fallas a tierra debe ser capaz de detectar una falla a tierra, abrir el circuito y desactivar el conjunto (Art. 690-5 Norma NTC 2050).

Los fusibles e interruptores o interruptores automáticos deben cumplir con los Artículos 690-16 y 690-17 de la Norma NTC 2050 respectivamente. Los medios de desconexión de los conductores no puestos a tierra deben consistir en uno o varios interruptores o interruptores automáticos accionables manualmente y:

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

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

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

Todas las partes expuestas metálicas no portadoras de corriente de los bastidores de los módulos, equipos, y encerramientos de conductores, independientemente de su tensión se deben poner a tierra según lo expuesto en el Artículo 690-43 de la Norma NTC 2050. La instalación del electrodo del sistema de puesta a tierra debe cumplir con los Artículos 250-81 a 250-86 de la Norma NTC 2050.

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

- Revisar todas las conexiones del sistema, tener especial cuidado con la corrosión.
- Revisar continuidad del cableado.
- Verificar el nivel de gravedad específica del electrolito en la batería de acuerdo con las recomendaciones del fabricante después de una recarga completa al banco de baterías.

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

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

6.4 SIMULACIÓN DEL SISTEMA FOTOVOLTAICA

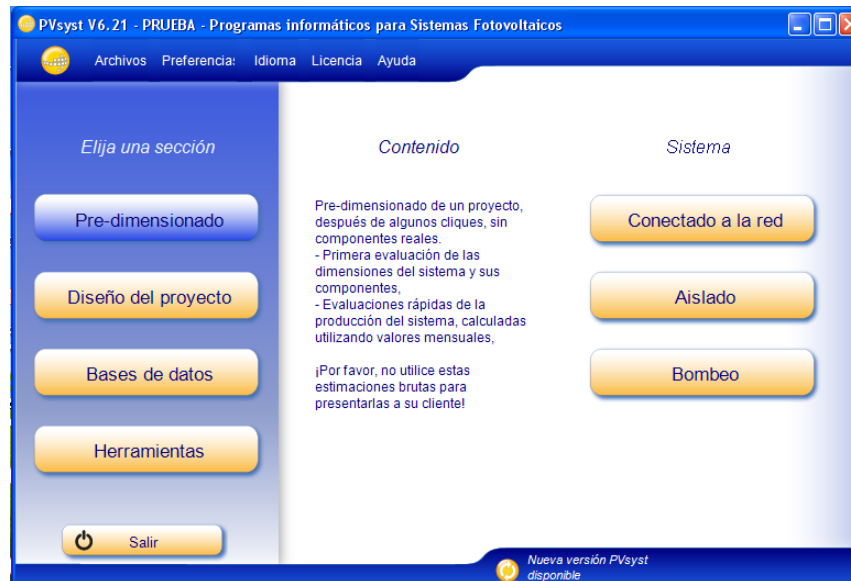
Es importante, para poder describir de una manera más detallada todo lo contado en el apartado anterior de la integración fotovoltaica, poder poner un ejemplo para ver todas las características que tiene la integración fotovoltaica, estudiando todos los parámetros que este nos puede hacer tomar ésta como una solución válida. No obstante, el proyecto también trata colateralmente de un estudio de los simuladores más destacados que existen para la energía fotovoltaica o para tecnología solar en general, para después poder determinar cuál de estos simuladores es el más interesante para nuestro proyecto, orientado a la integración fotovoltaica para el edificio Brijales.

6.5 PVSYST

El PVSyst es otro programa de simulación de energía fotovoltaica que es muy más completo. A continuación destacaremos sus características principales, así como sus ventajas e inconvenientes de uso y las distintas opciones que nos permiten un desarrollo correcto en lo que a la integración fotovoltaica se refiere.

Para comenzar, el programa nos ofrece un menú de inicio (figura 16) dónde disponemos de varias opciones para elegir una situación global del proyecto, ya sea conectado a red, de corriente continua o aislada. La opción que la mayoría de las aplicaciones fotovoltaicas tendrán será la de conectado a red, dado que dicha aplicación es la más común, y sobre la que se centrará.

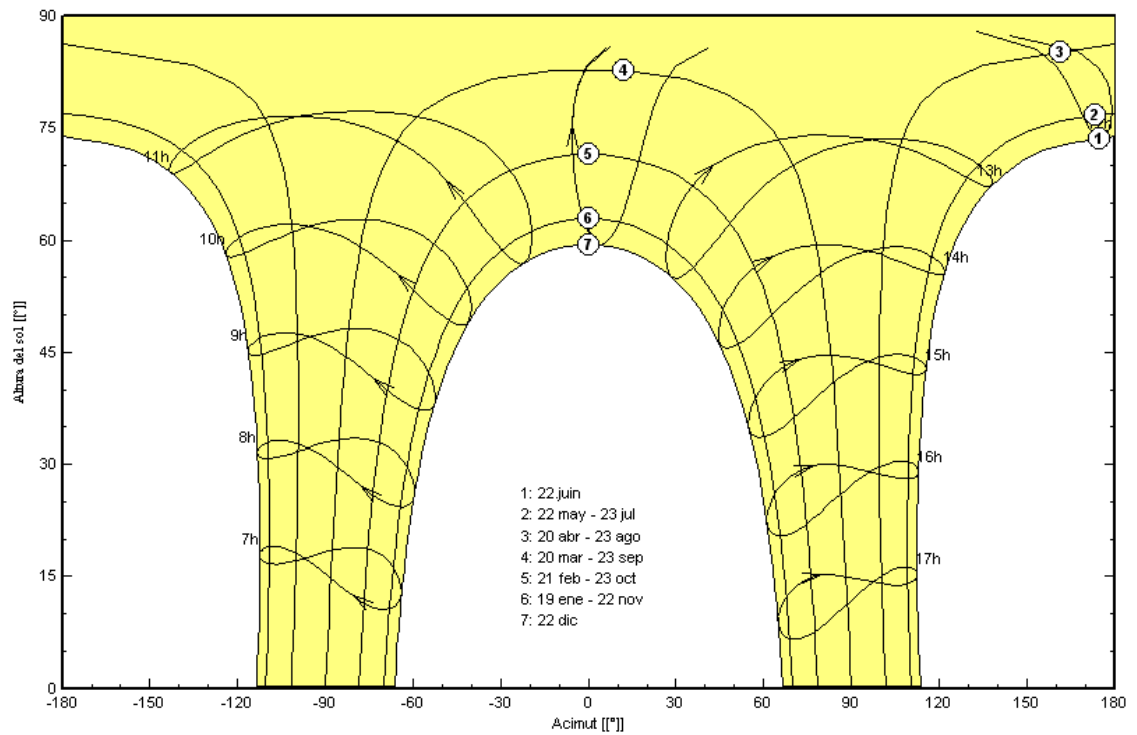
Figura 19. Menú de inicio de Pvsyst



A continuación tras coger las opciones deseadas, aparecerá un menú principal dónde tendremos distintas opciones y parámetros para el diseño de simulación, en la cual se mostrará a continuación una gráfica que ofrece el software introduciéndole las coordenadas de Lebrija que son 7.11,-73.22 de latitud y longitud respectivamente. Esta se observa en la figura 17 de la trayectoria solar.

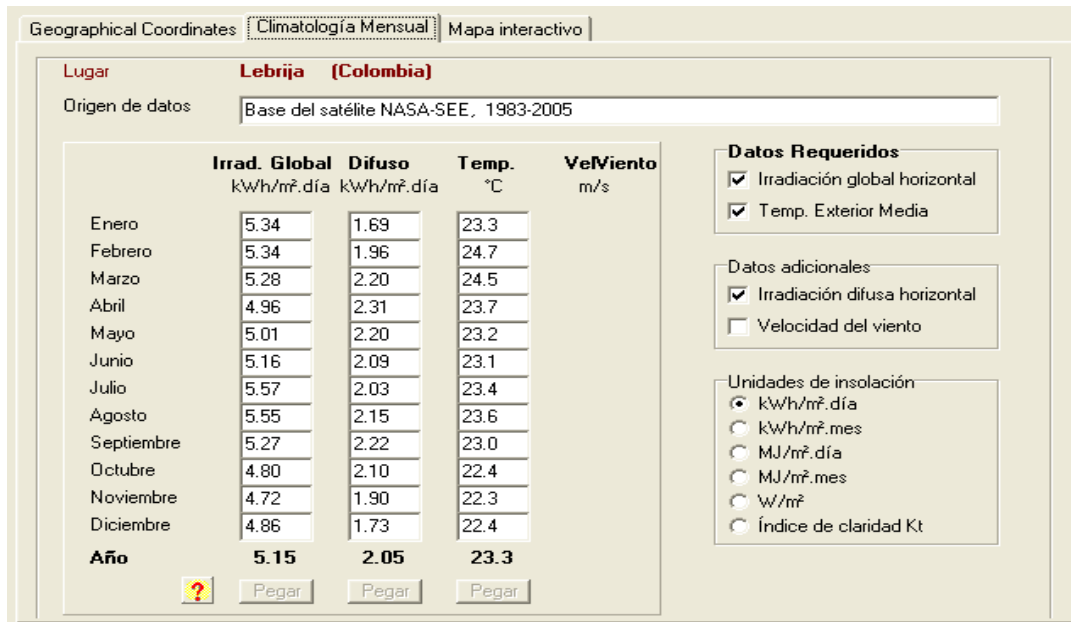
Figura 20. Trayectoria solar en Lebrija

Trayectoria solar en Lebrija, (Lat. 7.1°N, long. 73.2°W, alt. 1015 m)



Utilizando el simulador Pvsyst se puede extraer los datos de la zona en valores de irradiancia gracias a sus bases de datos atmosféricos como son meteonorm y la Nasa ubicando las coordenadas de la zona este puede mostrar los datos de irradiación los cuales se muestra a continuación en la figura 20

Figura 21. Datos de irradiación en Lebrija

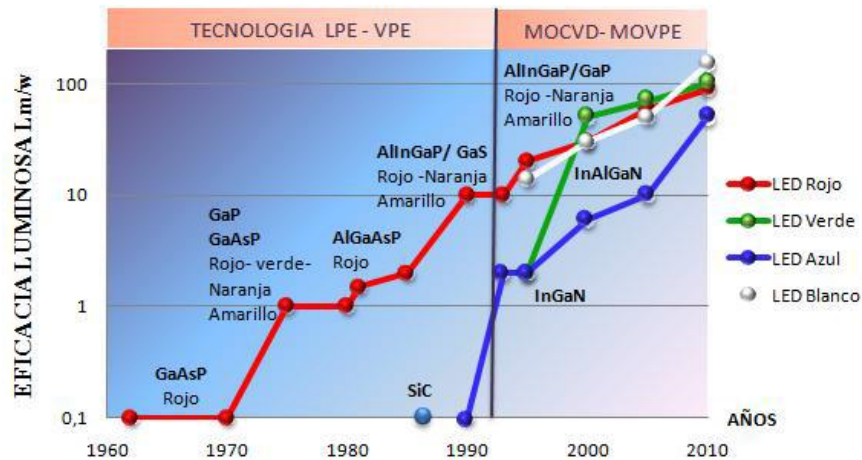


6.6 ILUMINACIÓN TECNOLOGÍA LED

El estudio de algunos materiales semiconductores en los años 40 y el desarrollo de la electrónica de estado sólido, contribuyó a la explicación correcta del fenómeno de la electroluminiscencia, mediante las investigaciones realizadas de las propiedades electrónicas y las características eléctricas de los dispositivos semiconductores. En los años 50's y principios de los 60's, varios investigadores comenzaron a indagar las propiedades de los grupos III y V de la tabla periódica, teniendo presente la probabilidad de emisión de fotones de los semiconductores con directbandgap e indirectbandgap y la teoría de la unión p-n. Lo que permitió el desarrollo de la optoelectrónica y así la creación de dispositivos capaces de conducir y controlar la corriente eléctrica además de emitir luz visible[20]. En la Figura 26 se muestra el desarrollo histórico de la eficacia luminosa de los LEDs de espectro visible, los cuales han tenido un rápido progreso debido a los avances en las técnicas de crecimiento de los semiconductores y los compuestos con los

cuales se han logrado los diferentes colores del espectro[21]. Como se muestra en la figura 21

Figura 22. Evolución histórica de la eficiencia luminosa de los LEDs del espectro visible

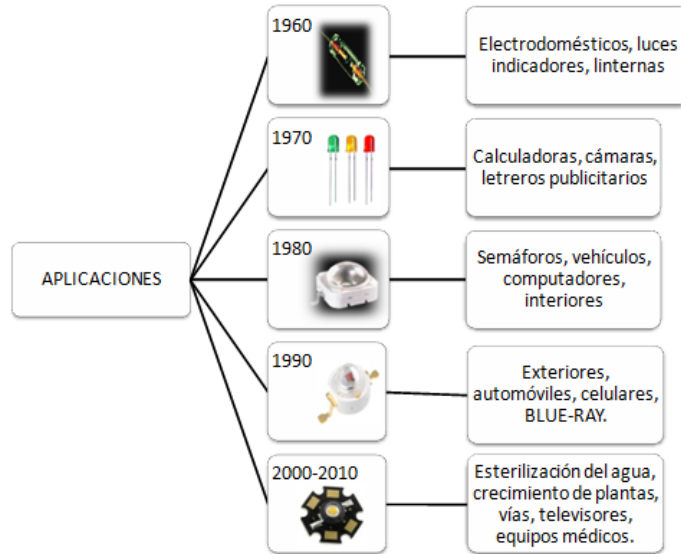


Fuente: www.mpptsolar.com

6.7 APLICACIONES DE LOS LEDs

Los LEDs basados en semiconductores han penetrado en el mercado de la iluminación gracias a la tecnología de crecimiento epitaxial MOCVD permitiendo su producción a gran escala y logrando un amplio desarrollo comercial [16]; esta resina epoxi dentro del encapsulado posibilita la emisión de luz visible cuando por éste circula la corriente eléctrica. Las primeras apariciones de la tecnología LED se reducen a función de señalización de corto alcance visual, emitiendo luz roja e infrarroja, con un nivel de captación visual bajo por sus elevadas longitudes de onda, lo cual limitó sus aplicaciones a linternas, visualizadores y luces indicadoras en electrodomésticos[22] La Figura muestra el desarrollo histórico de las aplicaciones de los LEDs.

Figura 23. Aplicaciones de la tecnología LED



Fuente: tec.nologia.com

Posteriormente, los rápidos avances en el desarrollo de nuevos materiales, permitieron que los LEDs adquirieran ventajas en cuanto a eficiencia energética y brillo, posibilitando su uso en otras aplicaciones donde se requiere luz monocromática como vehículos y semáforos[23].

Más adelante, los LEDs de alta potencia, creados por ShujiNakamura, ampliaron el número de aplicaciones de estos dispositivos de estado sólido, en espacios donde se requiere niveles de alta luminosidad, tal como iluminación de exteriores e interiores en edificaciones y otros espacios arquitectónicos[24].

En la mayoría de los lugares, las fuentes de iluminación convencionales utilizadas son la incandescente y fluorescente; los LEDs compiten con estas tecnologías generando un bajo consumo energético por los pequeños niveles de tensión requeridos para su funcionamiento.

Una de las principales ventajas de los LEDs, es que no tienen problemas de desgaste por la cantidad de encendidos, puesto que no son fabricados con filamentos ni sistemas expuestos a fallos por fundido[22]. El material semiconductor del que están contruidos, proporciona solidez y durabilidad al dispositivo, añadiendo la característica de encendido instantáneo.

Además, esta tecnología es ambientalmente amigable, no contiene mercurio y es más eficiente que otras, igualmente el ahorro de energía que representa es bastante significativo y su bajo consumo se verá reflejado en la disminución de emisiones de CO₂ y otros gases tóxicos[22].

Por otro lado, el desarrollo de la tecnología LED ha permitido revolucionar la industria de la iluminación, la posibilidad de obtener colores saturados¹⁵ en la dirección deseada sin utilizar filtros, depende no solo del CRI¹⁶ sino del binning¹⁷ y de la temperatura del color , estos indicadores garantizan la firmeza, uniformidad y calidad de los colores en los LEDs, haciéndolos una alternativa de iluminación para diferentes ambientes de uso convencional o decorativo, así como en la iluminación de pantallas electrónicas y la retro-iluminación[23].

Los LEDs tienen la posibilidad de proporcionar una amplia gama de colores, cada uno de ellos se obtiene a partir de la variación de sus compuestos. El uso dinámico del color permite crear efectos que anteriormente no se podían lograr con el beneficio de ofrecer al espectador confort visual.

Las características y ventajas de los LEDs han alcanzado un amplio reconocimiento a nivel mundial, no solo en los campos ya mencionados sino en la iluminación de otros medios de transporte como aviones y trenes de levitación magnética, además del alumbrado público[24].

7. CRITERIOS DE DISEÑO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO EN EL CONJUNTO RESIDENCIAL BRIJALES.

DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO: El conjunto residencial Briales se está construyendo en el municipio de Lebrija-Santander con dirección calle 11 con carrera 15 donde se construirá el conjunto se muestra en la figura 23.

Figura 24. Conjunto residencial Briales



Fuente: Google Maps

Este proyecto es realizado por la constructora EME INGENIERAS.A el plano del complejo se muestra en la figura 24. El conjunto residencial consta de cuatro torres y cada torre tiene cuatro apartamentos lo que da un total por torre de veinte apartamentos y para el conjunto residencial un total de ochenta apartamentos de

estrato socio económico 3 constan de un área de aproximadamente 150 m² y el área disponible para la ubicación de los paneles fotovoltaicos es la otorgada por el tejado de la edificación que consta de un área de 219,58 m². para el consumo de cada apartamento se tiene el siguiente cuadro de carga

Tabla 4. Descripción eléctrica de los apartamentos del complejo Brijales

T1-101 - TABLERO NORMAL APARTAMENTO TIPO 1															
CTO	LUCES		TOMAS			FASES			P (W)	F.P.	S (VA)	I (A)	CONDUCTOR (AWG)	PROTECCION (A)	OBSERVACIONES
	EMERGENCIA	Aplicar 80 W	MONOFASICO	BIFASICO	TRIFASICO		B	C							
1		15					1200		1200	0,95	1263	10,5	12	1x20	LUCES
2			5					850	850	0,95	895	7,5	12	1x20	PEQUEÑOS ARTEFACTOS
3			4					680	680	0,95	716	6,0	12	1x20	PLANCHADO
4			9				1530		1530	0,95	1611	13,4	12	1x20	TOMAS
5			9				1530		1530	0,95	1611	13,4	12	1x20	TOMAS
6															RESERVA
7															RESERVA
8															RESERVA
TOTAL		15	27				2730	3060	5790	0,95	6095	29,3	2x10	2x30	A TM1

Fuente: Ing Manuel Jose Ortiz R.

Donde se puede obtener las siguientes precisiones para el circuito 1 que corresponde a iluminación se tiene 1200 [W], para los circuitos dos y tres pequeños artefactos, planchado respectivamente con 850[W] y 680[W] .los circuitos para los tomas son el cuatro y cinco con 1530[W]

Se puede especificar que el consumo de la fase B que incluye los circuitos uno y cuatro es de 2730[W] y para la fase c que incluye los circuitos dos, tres y cinco consumen 3060[W], para un consumo total estimado de 5790[W]

Tomando en cuenta la descripción del proyecto Brijales anteriormente mencionada se pudo hacer el primer grupo de criterios para definir la expectativa energética que se puede suplir mediante un sistema fotovoltaico en el conjunto residencial Brijales, se resume en la continuación.

- Se analizó la demanda energética del conjunto residencial dando como resultado que el sistema de iluminación tiene un rango de consumo constante en su demanda energética y descartando suplir las otras necesidades energéticas por la incertidumbre de su demanda.
- Con el cálculo energético del sistema fotovoltaico para suplir parcialmente la demanda energética del conjunto Brijales, se propone la utilización de luminarias tipo led por su alto rendimiento y su larga vida útil la cual se verá reflejada en la recuperación de la inversión del sistema fotovoltaico.
- Como el Conjunto residencial Brijales es de estrato tres sus torres no poseen bombas de respaldo pero con este sistema se puede garantizar la iluminación de cada Torre. Por eso el sistema puede convertirse en un respaldo de emergencia para el conjunto.
- Se escogió un sistema fotovoltaico por torre por que al hacer el mantenimiento se puede segmentar la torre donde se requiera realizar dicho procedimiento, sin afectar la demanda energética de las demás torres, otra razón para escoger sistemas por torres es por la distancia entre ellas que se puede aprovechar esto para hacer el cuarto donde se depositaran las baterías, reguladores y el inversor.
- Esta idea de satisfacer la demanda de iluminación a partir de un sistema fotovoltaico en un conjunto residencial de estrato tres va enfocado a cumplir con la LEY URE, Además reducir los costos de consumo energético del propietario del apartamento, por último se espera que las constructoras puedan brindar esta opción de apartamento amigable con el medio ambiente en su portafolios de ofertas.

7.1 DATOS DEL CONJUNTO RESIDENCIAL BRIALES Y SU CONSUMO ENERGETICO

Para mostrar la metodología de diseño de un sistema fotovoltaico se realizaron los ajustes de diseño, diseño de la aplicación para la iluminación de un proyecto de

construcción (Conjunto Residencial Brijales), se centrará en el interior de los apartamentos los detalles se irán mostrando el dimensionamiento. A continuación se presentaran los pasos a seguir para hacer el diseño del sistema FV para la edificación, el conjunto residencial se mostrara en la siguiente figura 24.

Figura 24 Plano del Conjunto residencial Brijales



Cuando se realiza un análisis energético se trata de definir la carga que se va a suplir con el sistema FV basándose en la disponibilidad energética solar que haya y el consumo del sistema a suplir, Para identificar la carga a suplir de los apartamentos tipo 1 y tipo 2 se segmentaron las conexiones de iluminación diseñando una tablero solo para iluminación como se puede apreciar en la figura

Figura 25. Iluminación segmentada apartamento tipo 1

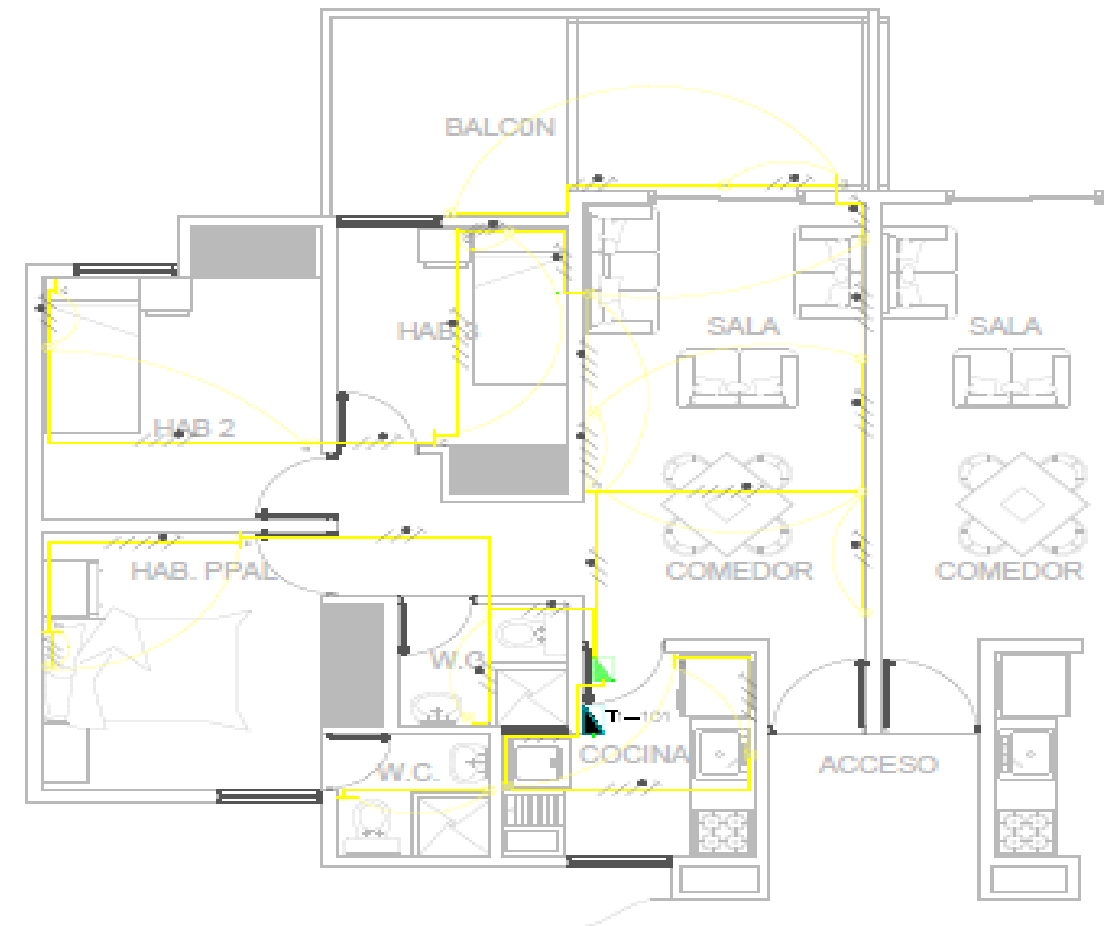
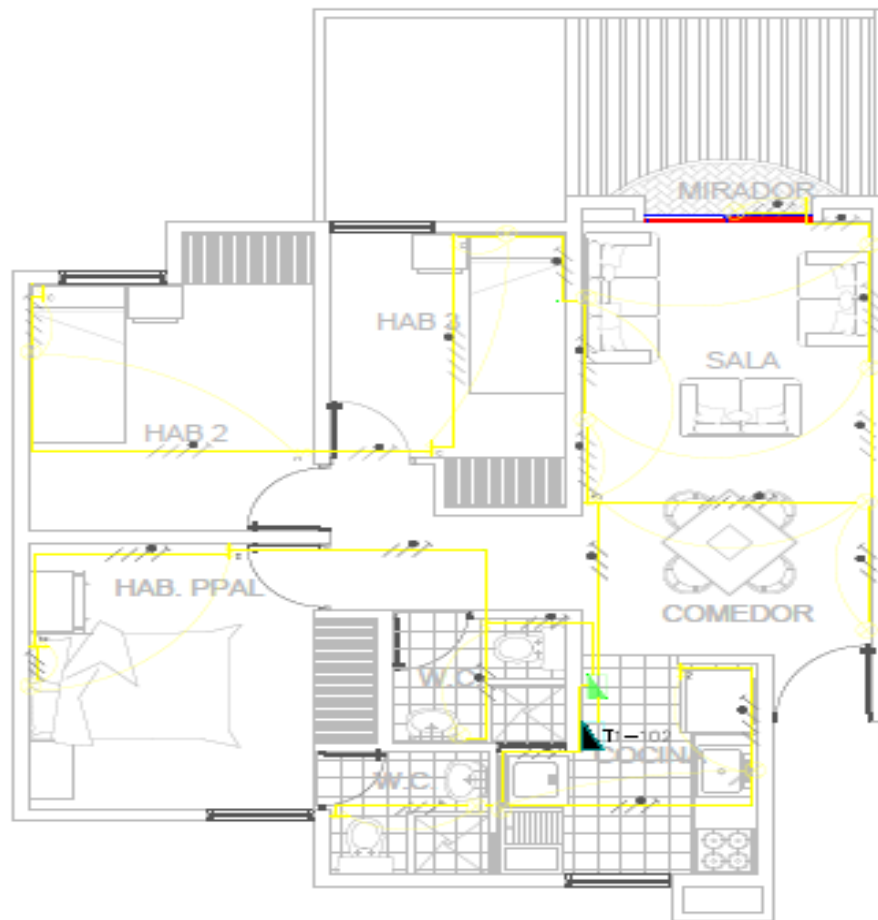


Figura 26. Iluminación segmentada apartamento tipo 2



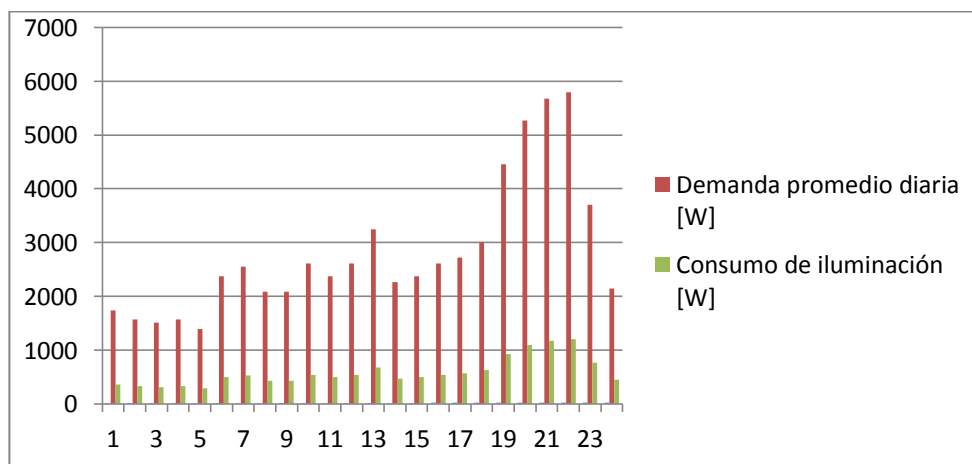
Se segmentó la iluminación en cada tipo de apartamento se identificaron las cargas a suplir. El consumo por apartamento se puede ver en la tabla 3. De la descripción eléctrica de los apartamentos se extrae que la cantidad de energía requerida para suplir un apartamento es de 5790 W, los cuales demandaría en una torre 115,8 kW y el conjunto 463,2 kW de potencia se prefirió suministrar la energía para la iluminación que consta de 1200 W por apartamento, de 24 kW por torre y 92 kW en el conjunto Brijales. Para reducir esta demanda de energía se planteó el uso de las luminarias de alto rendimiento. La cual representa aproximadamente 20% del consumo total de la demanda diaria de un apartamento como lo sugiere la UPME

Tabla 5 .Demanda diaria de un apartamento del complejo Brijales

Hora	Demanda promedio diaria [W]	Consumo de iluminación [W]
1	1737	360
2	1563,3	324
3	1505,4	312
4	1563,3	324
5	1389,6	288
6	2373,9	492
7	2547,6	528
8	2084,4	432
9	2084,4	432
10	2605,5	540
11	2373,9	492
12	2605,5	540
13	3242,4	672
14	2258,1	468
15	2373,9	492
16	2605,5	540
17	2721,3	564
18	3010,8	624
19	4458,3	924
20	5268,9	1092
21	5674,2	1176
22	5790	1200
23	3705,6	768
24	2142,3	444

Fuente: Ing Manuel Jose Ortiz R.

Figura 27. Demanda diaria con el consumo de iluminación de un apartamento del complejo Brijales



Los datos de irradiación se consultaron del software PVSYST el cual se muestran los datos de coordenadas, irradiación mensual y trayectoria del sol ,del estudio del mapa de radiación solar se tiene que para Bucaramanga como referencia para

Lebrija al ser zona aledaña a esta sugerencia tomada por funcionario del IDEAM. Esto se muestra en la tabla 5.

Tabla 6. Irradiacion anual de lebrija

Mes	Irradiación [KW/m²]
Enero	5,294
Febrero	5,014
Marzo	4,744
Abril	5,108
Mayo	5,208
Junio	4,600
Julio	4,842
Agosto	5,084
Septiembre	5,314
Octubre	4,785
Noviembre	5,105
Diciembre	4,923

Fuente: IDEAM y UPME atlas de radiación solar de colombia

De acuerdo al mes más desfavorable se establece el número de horas picos solar por día que para el caso de lebrija es de 4,600 Wh/m² como se puede observar en la Tabla 5, para obtener la cantidad de horas por díase divide 4,600 Wh/m² por el numero estándar 1000 Wh/m²/día resultando 4,6 horas por día

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

Figura 28. Horas picos solares de carga del sistema de almacenamiento

Fuente: Autores



Cuando no se tiene registro horario o no se planea alimentar toda la carga del usuario es necesario realizar una estimación de acuerdo a la carga instalada o efectuar las medidas de carga a través del tiempo. Para ejecutar la estimación se deben tener en cuenta los equipos conectados a la instalación y el tiempo que estos duran encendidos durante el periodo de tiempo requerido (días o meses según sea necesario).

Del sistema a alimentar se tiene que el consumo va dirigido a iluminación, añadiendo que el sistema de iluminación tendrá bombillas led de última generación, el consumo de este comprende los valores desde 3W hasta 20W para un apartamento. En donde los apartamentos tienen 10 puntos de iluminación, estas se dimensionarán para estar en uso 12 horas al día con bombillas leds de 7.5 W de potencia de hasta 15000 horas de vida de uso. Como se muestra en la tabla 6.

Tabla 7. Calculo de la Carga Eléctrica del Sistema

Descripción de la carga	Potencia W AC 120	Cantidad por Apartamento	Cantidad por pisos	Cantidad por edificio	Uso Horas /día	Potencia Total [W]	Energía [Wh/día]	Energía [Wh/mes]
Iluminación	7,5	10	40	200	12	1500	18000	540000

7.1.1 Disponibilidad Energética. La capacidad de recolección de energía se ve afectada por el número de paneles a utilizar y por el área que puede ocupar este conjunto de paneles. La disponibilidad para la edificación Brijales, que posee un área de uso aun conservando espacio para vías en caso de reparaciones o extensión del sistema es de aproximadamente 219,58 m².

- a) Área Disponible:** Se puede considerar como área disponible para uso en la instalación de paneles fotovoltaicos toda aquella zona del techo o azotea que no esté siendo utilizada para otros fines.

También puede considerarse como posible área de uso las zonas de techo metálico, siempre y cuando este tenga la capacidad mecánica de soportar los paneles así como la circulación del personal que efectuará el mantenimiento. Hoy en día, con el uso racional de la energía se ha comenzado a implementar techos metálicos con ventanas o tragaluces debidamente espaciados para aprovechar la luz del sol durante el día; este hecho dificulta usar este tipo de techo metálico como área disponible para uso, pues no sería muy eficiente tapar estos tragaluces con los paneles a instalar, pero si la distancia entre los tragaluces permite el espacio para la instalación de los paneles además del cumplimiento de los requerimientos anteriores, por lo tanto esta área puede considerarse como efectiva para los fines tratados.

Para este ejemplo se va a considerar un área disponible de 219,58m². Por cada edificio

Figura 29. Vista frontal de la torre de apartamentos del complejo Brijales



Fuente: Ing Manuel Jose Ortiz R.

b) Tipo de Panel Usado: Se escoge un panel policristalino (con una eficiencia entre 13% a 16 % y por presentar un precio por Wp bajo). En la siguiente tabla se muestra los paneles a tener en cuenta para el diseño.

Criterios de selección para panel solar se tuvo en cuenta la capacidad por área en recolección de energía la corriente de corto circuito que tiene una fuerte relación a la hora de establecer el regulador de carga del sistema.

se tuvo en cuenta la tecnología del panel, conociendo que la tecnología de paneles monocristalino tiene mayor eficiencia pero presume de costos altos en la adquisición de este, y para el caso de los paneles policristalinos si bien no tienen

la eficiencia del previamente nombrado posee una menor corriente de cortocircuito pero la suficiente para lograr un diseño con la capacidad de cargar las baterías en un tiempo justo y lograr un número no extendidos de este en la zona disponible de ubicación de los paneles.

Teniendo en cuenta lo anterior expuesto se determinó la utilización del panel policristalino AEE/HSL60P6-PB-4-255-TW.

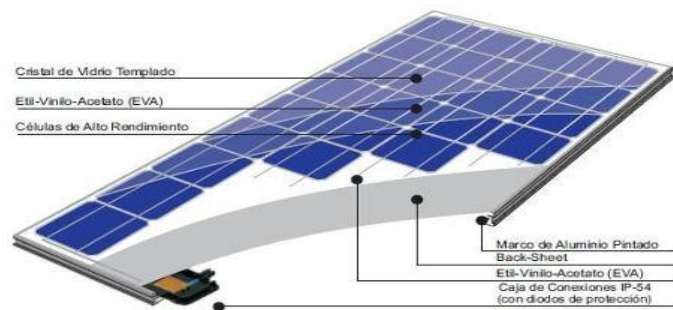


Tabla 8. Paneles para el diseño

Paneles Solares							
Tipo de panel	Marca / serie	Numero de celdas	Potencia Maxima [W]	Voltaje Maximo [V]	Corriente Maxima [A]	Voltaje circuito abierto [V]	Corriente de corto circuito [A]
Policristalino	Kyocera/KD140	36	140	17,7	7,91	22,1	8,68
Policristalino	Kyocera/KD220	54	220	26,6	8,28	33,2	8,98
Policristalino	Kyocera/KD245	60	245	29,8	8,23	36,9	8,91
Policristalino	Kyocera/KD250	60	250	29,8	8,39	36,9	9,09
Policristalino	AEE/HSL60P6-PB-4-250-TW	60	250	30	8,33	37,4	8,89
Policristalino	AEE/HSL60P6-PB-4-255-TW	60	255	30,1	8,47	37,5	8,95
Monocristalino	AEE/OPT265-4-100	60	265	30,7	8,64	38,3	9,12
Monocristalino	AEE/OPT270-4-100	60	270	31,2	8,68	38,5	9,15

Con dimensiones aproximadas de 1.6 * 1.3 m (a radiación de 1000 W/m²) ±5% de tolerancia

Para hallar el aporte de potencia diaria de cada panel fotovoltaico se tiene que:

$$PDU = \frac{RD * Pn}{1kW/m^2}$$

Dónde:

PDU: Potencia diaria aportada por un panel.

RD: Radiación solar en la zona.

Pn: Potencia pico nominal del panel.

Tabla 9. Calculo PDU de cada panel

Marca / serie	PDU Wh diario
Kyocera/KD140	644
Kyocera/KD220	1012
Kyocera/KD245	1127
Kyocera/KD250	1150
AEE/HSL60P6-PB-4-250-TW	1150
AEE/HSL60P6-PB-4-255-TW	1173
AEE/OPT265-4-100	1219
AEE/OPT270-4-100	1242

Se dispone de estos valores deWh diario para un área de 2 m² por cada panel.

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

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

$$NMP = \frac{219,58m^2}{2m^2} = 110\text{paneles}$$

Entonces

$$\text{Carga Disponible} = \frac{NMP * PDU}{1,2}$$

Tabla 10. Calculo de Carga disponible por los paneles

Marca / serie	Carga disponible [Wh/dia]
Kyocera/KD140	59.033,33
Kyocera/KD220	92.766,67
Kyocera/KD245	103.308,33
Kyocera/KD250	105.416,67
AEE/HSL60P6-PB-4-250-TW	105.416,67
AEE/HSL60P6-PB-4-255-TW	107.525,00
AEE/OPT265-4-100	111.741,67
AEE/OPT270-4-100	113.850,00

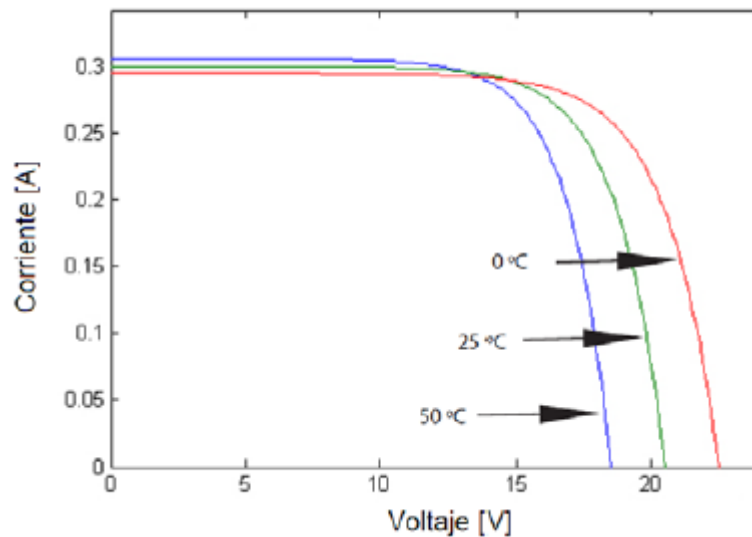
Aclaración: Suponiendo que el sistema presenta unas pérdidas del 20%, se divide en 1,2 para cobijarlas; estas pérdidas dependen del rendimiento del inversor, baterías y cableado.

EFFECTO DE LA TEMPERATURA EN LOS PANELES

La temperatura es un factor que puede afectar el funcionamiento del panel solar al momento de transformar la energía que proporciona el sol por la energía eléctrica, y es propicio analizar el efecto que esto provoca. Los paneles fotovoltaicos se

diseñan para una temperatura ambiente de 25°C como valor estándar, sin embargo en las pruebas que se le hacen a los paneles fotovoltaicos se someten a temperaturas extremas de hasta 50°C y a 0°C para ver la variación de su efecto. Como se muestra en la siguiente grafica se relaciona los niveles de corriente y tensión con el efecto que provoca la temperatura mostrándose en el área de potencia aprovechable su disminución y aumento.

Figura 30. Corriente en función de la tensión de operación a diferentes temperaturas



Fuente: Modelado y simulación de dispositivos fotovoltaicos pvsyst

El efecto de la temperatura en la zona de Lebrija no se encuentra muy separado de la curva de 25°C ya que su temperatura anual es aproximadamente 23.3°C dato obtenido de la simulación del software PVSYST del cual se muestra en la sección 7.6 del Libro.

Tabla 11. La variación de los ángulos con respecto a la irradiación recibida

Mes/ Inclinación	Promedio mensual de insolación para distintos ángulos de inclinación [Wh/m ²]				
	0°	7°	10°	15°	25°
1	5,265	5,294	5,287	5,248	5,067
2	4,986	5,014	5,007	4,971	4,799
3	4,718	4,744	4,738	4,703	4,541
4	5,080	5,108	5,101	5,064	4,889
5	5,179	5,208	5,201	5,163	4,985
6	4,574	4,6	4,594	4,560	4,403
7	4,815	4,842	4,835	4,800	4,635
8	5,056	5,084	5,077	5,040	4,866
9	5,284	5,314	5,307	5,268	5,086
10	4,758	4,785	4,779	4,744	4,580
11	5,077	5,105	5,098	5,061	4,886
12	4,896	4,923	4,916	4,880	4,712
Promedio	4,974	5,002	4,995	4,959	4,788

7.1.2 Carga a suplir

Para determinar la carga a suplir se proporciona la energía consumida y por la cantidad de horas que va a ser consumida

Tabla 12. Carga a suplir

Horas de uso de energía promedio=			12
Energía diaria	18	kWh/día	

7.2 CANTIDAD DE PANELES DEFINITIVOS Y BANCO DE BATERÍAS PARA CADA DISEÑO SEGÚN EL TIPO DE PANEL

De forma similar a como se mostró en la sección 7.2.3 la cantidad de paneles que se disponen se muestra según especificaciones y el tipo de panel a utilizar (Monocristalino-Policristalino).

El Tipo de Batería Seleccionada estacionaria abierta, bajo mantenimiento, de 12 V y capacidad de almacenamiento 265Ah se selecciona porque el sistema estará bajo continua supervisión además de ser el un tipo de batería económico respecto a otros. Con características que se reflejan en la siguiente tabla.

Tabla 13. Parametros de batería a utilizar

MK Sealed HD Gel Solar Batteries									
Model	Volts	Terminal	Capacidad				Dimensions (L"xW"xH")	Weight	Itemcode
			3-hr rate	8-hr rate	20-hr rate	100-hr rate			
8G8DL TP	12V	T975	182 Ah	204 Ah	225 Ah	265 Ah	21x11x10,8	166 lbs	040-03033

La capacidad del Banco de Baterías para dimensionar el banco según la instalación fotovoltaica es necesario calcular la corriente que la carga en AC todos los componentes respectivos de los cálculos fueron expuestos en la sección 7.4, junto con el número de baterías necesario para cubrir cada zona se presenta lo especificado en esta sección en la siguiente tabla

Tabla 14. Numero de baterías

Dimensionamiento de baterías			
Correccion por capacidad de descarga		1160,99071	Ah/dia
Correccion por autonomía		3482,97214	Ah
Nº de filas en paralelo		13	
Nº de baterias en serie		1	
Nº Total de baterías		13	

7.3 REGULADOR DE CARGA

La corriente de cortocircuito de los paneles solares utilizados para el diseño final, necesita determinarse cuanto pasará por el regulador o por el conjunto de ellos. Luego el dimensionamiento del regulador o de los reguladores se hace de la siguiente manera teniendo en cuenta lo visto en la ecuación Véase el numeral 7.4.1:

Tabla 15. Especificaciones del controlador de carga

Mid Nite Solar Classic MPPT Charge Controllers					
Model	Maximum output current at battery voltage 1			Itemcode	
	12VDC	24VDC	48VDC	Lite Version	Full version
Classic 150	96 A	94 A	86 A	020-02412	2002405

Por la franja de nivel de corriente se necesitan 3 reguladores para este sistema de las características ya mostradas.

7.4 INVERSOR

De acuerdo a lo visto en cuanto al dimensionamiento del inversor en la ecuación 7.12 para determinar la corriente más las especificaciones expuestas en el capítulo 7 acerca del apartado del inversor se determina un modelo:

Tabla 16. Características del inversor del diseño

Out off-Grid Inverters								
Sealed/Turbo Cooled Inverters								
Model	Continuou s	Batter y	AC out	No load	Charge r	AC surge	Weigh t	Itemcode
	output	voltage	volts/Hertz	Draw	output	output		
FX2012 T	2000W	12VDC	120V/60Hz	20W	80A	4800W	63lbs	030-04147

El inversor del sistema al ser un sistema off grid no necesita un elemento que lo acople a la secuencia del sistema, cumpliendo con las especificaciones de potencia y tensión a invertir se solicita el inversor Out off-GridInverters modelo FX2012T.

Aunque el sistema es off grid se necesita para los casos de reparación del sistema o mantenimiento de este desconectarlo, sin embargo la carga no puede dejar de ser alimentada. La fuente disponible para esto consta de un sistema tenga un elemento que ayuda a el seccionamiento que es un BasedBatteryInverted este elemento ofrece la oportunidad de al desconectarse la fuente fotovoltaica hace la transferencia atreves del switch automático a la conexión a la red.

7.5 CRITERIO DE SELECCIÓN

La selección de los equipos para el diseño propuesto se basan en las mejores opciones técnicas para que el sistema sea estable y tenga soporte para expansión por lo tanto tiene un sobredimensionamiento gradual, de tal forma que no ocasione sobrecostos extensos en la inversión del sistema.

La selección del resto de los equipos se basó en las características necesarias para el diseño del sistema ,para los paneles fv se tomaron en cuenta las siguientes características: potencia máxima [w] ,voltaje máximo[V] ,corriente máxima[A],voltaje de circuito abierto[V] ,corriente de cortocircuito[A] y el número de celdas por panel estas características fueron tabuladas en la tabla 7 ,el grupo de distribuidores de paneles después de enfocar el diseño, se decretaron dos distribuidores y sus conjunto de paneles donde estos también ofrecen el conjunto completo de los equipos para el montaje, facilitando la conexión de los equipos y un solo manual con el fácil entendimiento del sistema al ser proveedor unitario y tener los equipos de ensamble y montaje estandarizados, por consiguiente del diseño eléctrico se toman los parámetros y se determinó el conjunto de equipos

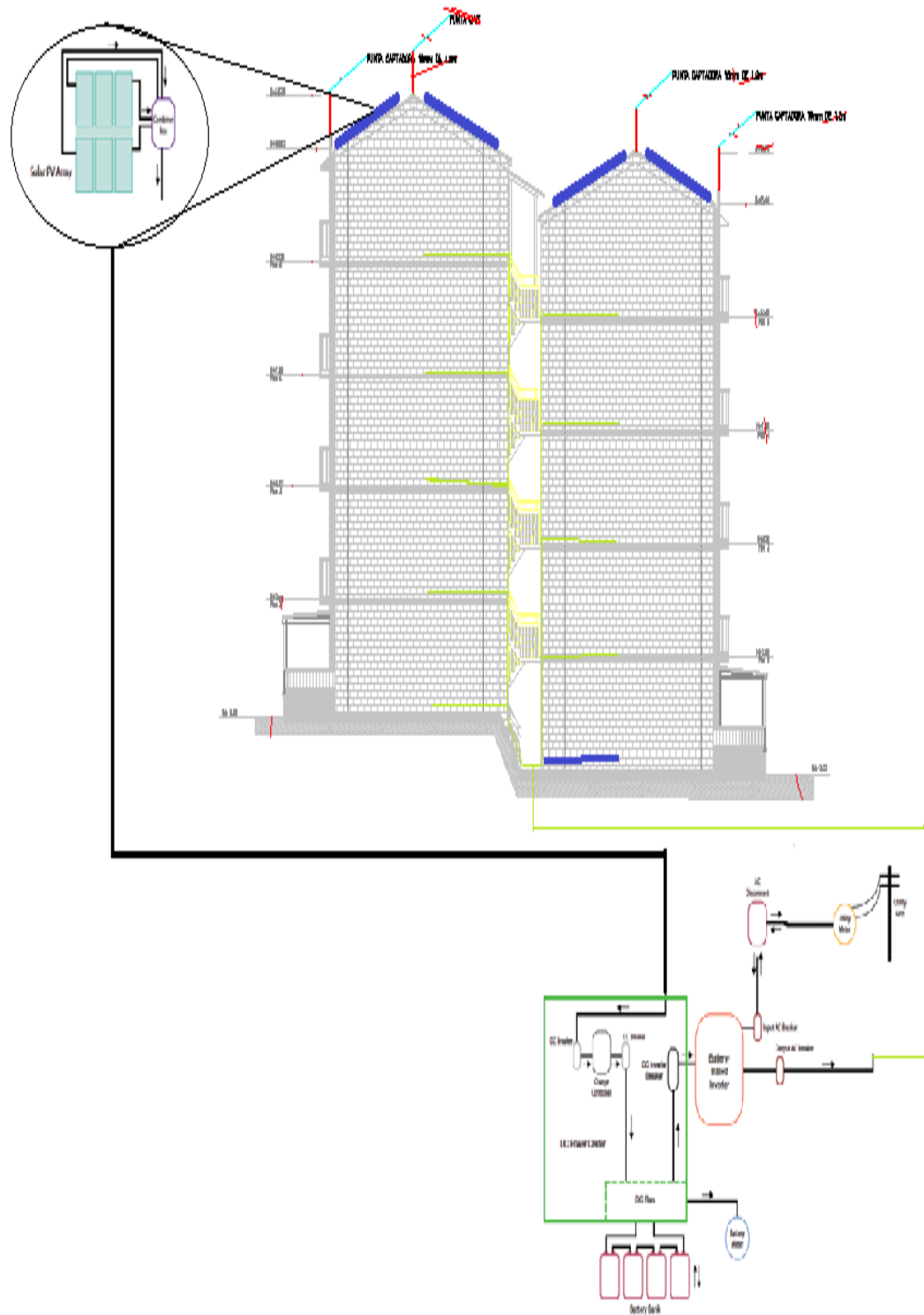
que logren el funcionamiento esperado del sistema. Por esto el conjunto de baterías se escogieron a partir de las siguientes características: Tensión eléctrica, capacidad de almacenamiento esto se puede observar en la tabla 11.

El regulador de carga se seleccionó a partir de las características de tensión de salida y corriente de cortocircuito por conjunto son necesarios tres de estos para lograr asumir la cantidad de energía en forma de corriente que se va a transportar por el sistema por consiguiente es el MidNite Solar Classic MPPT Charge Controllers con el número de modelo Classic 150, conectando estos en paralelo.

7.6 ESQUEMAS DE CONEXIÓN

Las opciones de diseño determinan que para el conjunto de paneles se necesita un arreglo de una fila en serie y 24 filas en paralelo logrando la corriente necesaria con la cantidad de paneles en paralelo solares manteniendo la tensión del sistema en 12 VDC. Para el banco de baterías la conexión de una fila en serie y trece filas en paralelo. A este diseño son necesarios tres controladores de carga con un inversor de transferencia automática.

Figura 31. Esquema de conexion



Fuente: www.aeesolar.com

8. PRESUPUESTO

Para el presupuesto inicial de inversión se tiene la siguiente tabla con el total de los costos de todos los componentes del proyecto inicial. En el anexo digital se consignara el presupuesto más detallado en la tabla 15 se muestran los resultados del presupuesto

Tabla 17 Presupuesto de inversión inicial (sin el sistema fotovoltaico)

TOTAL COSTO DIRECTO	698.222.824,00
A.I.U (15%)	104.733.424,00
VALOR TOTAL	802.956.248,00
IVA (16% SOBRE UTILIDAD)	2.234.313,00
SUBTOTAL	805.190.561,00

Para el rediseño con iluminación led alimentada por un sistema fotovoltaico se ha establecido el costo de inversión por edificación y el costo total para todo el conjunto, con el mismo sistema el presupuesto de inversión modificado se ha de mostrar en la tabla de costos de inversión con solo el ítem del sistema fotovoltaico.

Tabla 18. Presupuesto de inversión inicial (con el sistema fotovoltaico)

10,00		SISTEMA FOTOVOLTAICO				
10,01	C	Cuadrilla Eléctrica	jnl	0,22	130.000	28.000,00
10,02	C	Herramienta	glb	0,10	10.000	1.000,00
10,03	C	Accesorios	glb	0,50	1.000	500,00
10,04	C	Transporte	aca	0,01	30.000	300,00
10,05	C	Panel AEE/HSL60P6-PB-4-255-TW	un	24,00	679.885	16.317.249,84
10,06	C	Batería 8G8DLTP	un	13,00	930.327	12.094.255,68
10,07	C	Regulador Classic 150	un	3,00	1.781.455	5.344.364,88
10,08	C	Inersor FX2012T	un	1,00	3.836.095	3.836.094,88
10,09	C	Led GE 67867	un	200,00	13.605	2.721.040,00
10-ST		Subtotal				40.342.805,28
		Total fotovoltaico				161.371.221,12
		TOTAL COSTO DIRECTO				859.594.045,12
		A.I.U (15%)				128.939.106,77
		VALOR TOTAL				988.533.151,89
		IVA (16% SOBRE UTILIDAD)				2.234.313,00
		SUBTOTAL				990.767.464,89

La inclusión del sistema fotovoltaico indica un aumento en el presupuesto inicial de 19% el cual puede estar distribuido entre los apartamentos de cada edificación que desee implementar el sistema.

Se especifica los costos de inversión por conjunto, torres y apartamentos en la siguiente tabla.

Tabla 19 Costos de inversión del sistema FV

Costo de inversion del sistema FV	
	Pesos Colombianos
Costo de inversion por cada edificio	40.342.805,28
Costo de inversion por apartamento	2017140,264
Costo de inversion del conjunto Brijales	161.371.221,12

9. CONCLUSIONES

En este proyecto de grado se describen aspectos técnicos y financieros a tener en cuenta cuando se realiza el diseño de generación fotovoltaica en una edificación multifamiliar, con el soporte que brindan las normas de instalaciones colombianas (RETIE y RETILAP). En este se indica una metodología de diseño, el manejo de parámetros de los equipos que componen el diseño de sistema fotovoltaico, la obtención de la energía por parte de la fuente principal (EL SOL) y los criterios de evaluación financiera comparando el costo de inversión inicial con el costo de inversión después de ser diseñado el sistema fotovoltaico.

Debido a la eficiencia de las tecnologías fotovoltaicas, disponibles como lo son: Policristalinos de eficiencias de 14% a 15.8% y Monocristalinos de eficiencias de 16% esto repercute en el área disponible para la obtención de energía del sol ya que si no se dispone de un área amplia implicaría descartar inmediatamente la implementación del sistema.

Se ha encontrado la creación de programas que incentiven la generación eléctrica con tecnología solar por parte del ministerio de minas y energías, ente responsable de la creación de programas PROURE. Debido a la ley URE y ley 1755 que mejora la regulación en esta área, que incentiven a la creación de proyectos que se encargan de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero que ayuden a un desarrollo limpio en la producción de energía en el país. Gracias a los mecanismos de incentivos tributarios, el desarrollo se verá beneficiado automáticamente por la capacidad de técnica en el país en esta rama de la ingeniería.

Los medios de consulta de la lectura de radiación solar en la zona de Santander son limitados, se acudió a la ayuda del programa PVSYST, el atlas de radiación solar en Colombia y la Nasa. Teniendo en cuenta que estos datos no están

actualizados sino que son lecturas de años anteriores sin embargo la variación anual de los datos no son relevantes y por esto se puede diseñar con estas lecturas.

Colombia pese a estar en una posición geográfica estratégica en cuanto a distribución de vientos y radiación solar, no ha desarrollado una infraestructura fuerte en el aprovechamiento de estos recursos como alternativa energética, tal vez las políticas energéticas del país, los asuntos de comercialización, la abundancia de agua en otros tiempos y factores de orden público han relegado la implementación de estos recursos de forma productiva.

La viabilidad del diseño del presente proyecto fotovoltaico se ve afectada por el tipo de carga en la iluminación, en donde se debe diseñar con bombillas tipo LED para garantizar un bajo consumo de energía y reducir los niveles de potencia que necesita brindar el sistema lo que conlleva a la reducción de paneles y esta afecta a los costos de inversión.

La implementación de esta tecnología nos trae excelentes ahorros de energía ya que muchas de las lámparas actuales son capaces de convertir solo una tercera parte de la energía en luz mientras que el resto se disipa en calor. En el caso de los LEDs se invierten los papeles ya que estos son capaces de convertir en luz mas del 90% de la energía suministrada.

La radiación solar es un parámetro para determinar la cantidad de paneles que se requieren para suplir una demanda determinada; Colombia presenta unos valores de radiación solar estable y aceptablemente altos a lo largo del año lo cual es favorable para el diseño de sistemas fotovoltaicos. Una de las condiciones más desfavorables que debe soportar los sistemas fotovoltaicos, es la ausencia de radiación solar durante varios días continuos a causa del invierno, lo cual es compensado con un sobredimensionamiento de los elementos del sistema lo que

permite la autonomía suficiente. En Colombia este inconveniente no es tan importante pues aun en invierno los paneles pueden captar la energía de tal manera que se pueda dimensionar el sistema de forma más económica.

El tipo de inversión de fuentes de generación fotovoltaicas es atractivo debido a que es una inversión de energía limpia la cual ayuda a no dejar huella ecológica que está reglamentada por PROURE.

10. OBSERVACIONES

El sistema se ha diseñado con la disposición de conectarse a la red en caso de: un mal funcionamiento del sistema, mantenimiento del sistema, la no carga del sistema de almacenamiento.

Se ha seleccionado el inversor de tipo Battery-based invertir el cual tiene la función de hacer una transferencia automática para suplir la carga con la energía proporcionada por la red.

Se debe tener en cuenta que el sistema está calculado para bombillos de 7.5 W no se debe alterar la carga del sistema colocando de mayor demanda sino de menor demanda a estos bombillos para asegurar un buen funcionamiento del sistema

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] Ministerio de Minas y Energía, *PROGRAMA DE USO RACIONAL Y EFICIENTE DE ENERGÍA Y FUENTES NO CONVENCIONALES-PROURE*. COLOMBIA, 2010, p. 151.
- [2] MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA, *REGLAMENTO TECNICO DE INSTALACIONES ELECTRICAS-RETIE*. COLOMBIA, 2013, p. 205.
- [3] MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA, *REGLAMENTO TECNICO DE ILUMINACION Y ALUMBRADO PUBLICO . RETILAP*. COLOMBIA, 2010, p. 229.
- [4] N. Técnica, *NORMA TECNICA COLOMBIANA 2050*. COLOMBIA, 1998, p. 847.
- [5] S. WIEDER, *AN INTRODUCTION TO SOLAR ENERGY FOR SCIENTIST AND ENGINEERS*. KRIEGER PUBLISHING COMPANY(APRIL 1, 1992), 1992, p. 316.
- [6] “ATLAS DE RADIACION SOLAR DE COLOMBIA.” book.
- [7] “‘Diseño de una cubierta solar fotovoltaica conectada a la red eléctrica e integrada en un edificio industrial’.” pp. 1–84.
- [8] M. G. Simo, *INTEGRATION OF ALTERNATIVE SOURCES*. 2006, p. 449.
- [9] E. Autor, L. Q. Serrano, and V. Fecha, “Diseño y Cálculo de una Instalación Fotovoltaica en un Municipio de la Isla de Tenerife Diseño y Cálculo de una Instalación Fotovoltaica en un Municipio de la Isla de Tenerife,” 2012.
- [10] UPME, *ATLAS DE RADIACION SOLAR DE COLOMBIA copyright*. 2005, p. 175.
- [11] S. C. R. APARICIO, “METODOLOGÍA PARA LA FORMULACIÓN DE PROYECTOS DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA POR MEDIO DE PANELES FOTOVOLTAICOS,” p. 134, 2010.
- [12] S. C. R. APARICIO, “METODOLOGIA PARA LA FORMULACION DE PROYECTOS DE GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA POR MEDIO

DE PANELES FOTOVOLTAICOS,” UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER, 2010.

- [13] E. S. López, “ESTUDIO TECNICO ECONOMICO DE UNA INSTALACION SOLAR FOTOVOLTAICA CONECTADA A LA RED,” UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID, 2009.
- [14] T. Doctoral, P. Para, J. José, N. Vera, and D. B. Solé, “Inversores Multinivel en Sistemas Fotovoltaicos Conectados a Red,” 2007.
- [15] A GOETZBERGER y V.U. HOFFMAN, *Solar Cells and Solar Modules. En: Photovoltaic Solar Energy Generation*, no. 1. BERLIN, 2005, pp. 4–5.
- [16] L. M. H. HERNANDEZ G, “Energía Fotovoltaica y Celdas Solares, de Alta Eficiencia,” vol. 8, no. 5, pp. 1–26, 2007.
- [17] R. ARCHER, Mary D y HILL, *Clean Electricity From Photovoltaics. Series On Photoconversion Of Solar Energy*, 1st ed. 2001, pp. 65–82.
- [18] R. T. B. LINDEN David, *Handbook Of Batteries*, 2nd ed. New York, 2002.
- [19] J. MESSENGER, Roger y A. VENTRE, *Present and Proposed PV Cells Photovoltaic Systems Engineering*. 2003, pp. 1–14.
- [20] L. H. Koh, Y. K. Tan, Z. Z. Wang, and K. J. Tseng, “An energy-efficient low voltage DC grid powered smart LED lighting system,” *IECON 2011 - 37th Annu. Conf. IEEE Ind. Electron. Soc.*, pp. 2883–2888, Nov. 2011.
- [21] M. Castro, A. J. Jara, and A. F. G. Skarmeta, “Smart Lighting Solutions for Smart Cities,” *2013 27th Int. Conf. Adv. Inf. Netw. Appl. Work.*, pp. 1374–1379, Mar. 2013.
- [22] C. Science, “Smart Lighting Using LED Luminaries Sachin Bhardwaj, Tamr 6z◆elebi, Johan Lukkien,” pp. 654–659.
- [23] A. Sevincer, A. B. Member, and M. B. Member, “LIGHTNETs: Smart LIGHTing and Mobile Optical Wireless NETworks – A Survey,” vol. 15, no. 4, pp. 1620–1641, 2013.
- [24] M. Tariq, Z. Zhou, J. Wu, M. Macuha, T. Sato, and S. Member, “Smart Grid Standards for Home and Building Automation,” pp. 1–6, 2012.

BIBLIOGRAFIA

A GOETZBERGER y V.U. HOFFMAN, Solar Cells and Solar Modules. En: Photovoltaic Solar Energy Generation, no. 1. BERLIN, 2005, pp. 4–5.

“ATLAS DE RADIACION SOLAR DE COLOMBIA.” book.

C. Science, “Smart Lighting Using LED Luminaries Sachin Bhardwaj, Tamr 6z◆elebi, Johan Lukkien,” pp. 654–659.

“Diseño de una cubierta solar fotovoltaica conectada a la red eléctrica e integrada en un edificio industrial’.” pp. 1–84.

E. Autor, L. Q. Serrano, and V. Fecha, “Diseño y Cálculo de una Instalación Fotovoltaica en un Municipio de la Isla de Tenerife Diseño y Cálculo de una Instalación Fotovoltaica en un Municipio de la Isla de Tenerife,” 2012.

E. S. López, “ESTUDIO TECNICO ECONOMICO DE UNA INSTALACION SOLAR FOTOVOLTAICA CONECTADA A LA RED,” UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID, 2009.

J. MESSENGER, Roger y A. VENTRE, Present and Proposed PV Cells Photovoltaic Systems Engineering. 2003, pp. 1–14.

L. H. Koh, Y. K. Tan, Z. Z. Wang, and K. J. Tseng, “An energy-efficient low voltage DC grid powered smart LED lighting system,” IECON 2011 - 37th Annu. Conf. IEEE Ind. Electron. Soc., pp. 2883–2888, Nov. 2011.

L. M. H. HERNANDEZ G, “Energía Fotovoltaica y Celdas Solares, de Alta Eficiencia,” vol. 8, no. 5, pp. 1–26, 2007.

M. Castro, A. J. Jara, and A. F. G. Skarmeta, "Smart Lighting Solutions for Smart Cities," 2013 27th Int. Conf. Adv. Inf. Netw. Appl. Work., pp. 1374–1379, Mar. 2013.

M. G. Simo, INTEGRATION OF ALTERNATIVE SOURCES. 2006, p. 449.

M. Tariq, Z. Zhou, J. Wu, M. Macuha, T. Sato, and S. Member, "Smart Grid Standards for Home and Building Automation," pp. 1–6, 2012.

Ministerio de Minas y Energia, PROGRAMA DE USO RACIONAL Y EFICIENTE DE ENERGÍA Y FUENTES NO CONVENCIONALES-PROURE. COLOMBIA, 2010, p. 151.

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA, REGLAMENTO TECNICO DE ILUMINACION Y ALUMBRADO PUBLICO . RETILAP. COLOMBIA, 2010, p. 229.

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA, REGLAMENTO TECNICO DE INSTALACIONES ELECTRICAS-RETIE. COLOMBIA, 2013, p. 205.

N. Técnica, NORMA TECNICA COLOMBIANA 2050. COLOMBIA, 1998, p. 847.

R. ARCHER, Mary D y HILL, Clean Electricity From Photovoltaics. Series On Photoconversion Of Solar Energy, 1st ed. 2001, pp. 65–82.

R. T. B. LINDEN David, Handbook Of Batteries, 2nd ed. New York, 2002.

S. C. R. APARICIO, "METODOLOGIA PARA LA FORMULACION DE PROYECTOS DE GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA POR MEDIO DE PANELES FOTOVOLTAICOS," UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER, 2010.

S. C. R. APARICIO, "METODOLOGÍA PARA LA FORMULACIÓN DE PROYECTOS DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA POR MEDIO DE PANELES FOTOVOLTAICOS," p. 134, 2010.

S. WIEDER, AN INTRODUCTION TO SOLAR ENERGY FOR SCIENTIST AND ENGINEERS. KRIEGER PUBLISHING COMPANY(APRIL 1, 1992), 1992, p. 316.

Sevincer, A. B. Member, and M. B. Member, "LIGHTNETs: Smart LIGHTing and Mobile Optical Wireless NETworks – A Survey," vol. 15, no. 4, pp. 1620–1641, 2013.

T. Doctoral, P. Para, J. José, N. Vera, and D. B. Solé, "Inversores Multinivel en Sistemas Fotovoltaicos Conectados a Red," 2007.

UPME, ATLAS DE RADIACION SOLAR DE COLOMBIA copyright. 2005, p. 175.

ANEXOS

ANEXO A. Paneles Fotovoltaicos

Solar Module ¹											
Power	Brand/model	Cell type	Frame color	Power tolerance	Vpeak ²	Ipeak	Area efficiency	Dimensions (L" x W" x D")	Weight	Static load rating	Item code
250 W	Hanwha SolarOne HSL60P6-PB-4-250TW	Poly	Black	-0/+5 W	30.0 VDC	8.34 A	15.5%	64.4 x 38.9 x 1.57	42 lbs	84 psf	011-06524
255 W	Hanwha SolarOne HSL60P6-PB-4-255TW	Poly	Black	-0/+5 W	30.1 VDC	8.48 A	15.8%	65.4 x 38.9 x 1.57	42 lbs	84 psf	011-06530
250 W	REC 250PE BLK	Poly	Black	-0/+5 W	30.2 VDC	8.30 A	15.1%	65.55 x 39.02 x 1.5	40 lbs	75 psf	011-02587
255 W	REC 255PE BLK	Poly	Black	-0/+5 W	30.5 VDC	8.42 A	15.5%	65.5 x 39.0 x 1.5	40 lbs	75 psf	011-02592
260 W	REC 260PE BLK	Poly	Black	-0/+5 W	30.7 VDC	8.50 A	15.8%	65.5 x 39.0 x 1.5	40 lbs	75 psf	011-02593
260 W	Suniva OPT260-4-1B0	Mono	Black	±2.5 W	30.5 VDC	8.52 A	16.0%	65.08 x 38.66 x 1.57	40 lbs	113 psf	011-09220
265 W	Suniva OPT265-4-100	Mono	Clear	±2.5 W	30.7 VDC	8.64 A	16.3%	65.08 x 38.66 x 1.57	40 lbs	113 psf	011-09221
270 W	Suniva OPT270-4-100	Mono	Clear	±2.5 W	31.2 VDC	8.68 A	16.6%	65.08 x 38.66 x 1.57	40 lbs	113 psf	011-09222
300 W	Hanwha SolarOne HSL72P6-PB-4-300T	Poly	Clear	-0/+5 W	36.5 VDC	8.22 A	15.5%	77.0 x 38.9 x 1.77	60 lbs	84 psf	011-06529
305 W	Hanwha SolarOne HSL72P6-PB-4-305T	Poly	Clear	-0/+5 W	36.7 VDC	8.32 A	15.8%	77.0 x 38.9 x 1.77	60 lbs	84 psf	011-06531

ANEXO B. Baterías

MK Sealed Gel Solar Batteries									
Model	Volts	Terminal	Capacity				Dimensions (L" x W" x H")	Weight	Item code
			3-hr rate	8-hr rate	20-hr rate	100-hr rate			
8GU1	12 V	T874	25.5 Ah	28.5 Ah	31.2 Ah	36.1 Ah	7.8 x 5.2 x 7.3	24 lbs	040-03015
8G22NF	12 V	T881	40 Ah	46 Ah	50 Ah	57 Ah	9.38 x 5.5 x 9.25	38 lbs	040-03018
8G24UT	12 V	T881	59 Ah	66 Ah	73.6 Ah	84 Ah	10.9 x 6.8 x 9.9	53.6 lbs	040-03022
8G27	12 V	T876	70 Ah	78 Ah	86.4 Ah	99 Ah	12.75 x 6.75 x 9.75	63.2 lbs	040-03024
8G30H	12 V	T876	79 Ah	88 Ah	97.6 Ah	108 Ah	12.94 x 6.75 x 9.75	71.7 lbs	040-03027
8G5SHP	12 V	T876	88 Ah	104 Ah	125 Ah	137 Ah	13.58 x 6.77 x 11.42	85 lbs	040-03029
MK Sealed HD Gel Solar Batteries									
8G4DLTP	12 V	T975	148 Ah	166 Ah	183 Ah	210 Ah	21.0 x 8.5 x 10.8	137 lbs	040-03030
8G8DLTP	12 V	T975	182 Ah	204 Ah	225 Ah	265 Ah	21.0 x 11 x 10.8	166 lbs	040-03033
8GGC2	6 V	DT	136 Ah	160 Ah	180 Ah	198 Ah	10.3 x 7.2 x 10.9	68 lbs	040-03036

ANEXO C Inversores

OutBack Off-Grid Inverters								
Model	Continuous output	Battery voltage	AC out volts/hertz	No load draw	Charger output	AC surge output	Weight	Item code
US Models – can be connected in series 120/240, parallel or 3-phase Y 208 VAC								
Ventilated Cooled Inverters								
VFX2812	2,800 W	12 VDC	120 V/60 Hz	20 W	125 A	4,800 W	61 lbs	030-04149
VFX2812M	2,800 W	12 VDC	120 V/60 Hz	20 W	125 A	4,800 W	61 lbs	030-04146
VFX3524	3,500 W	24 VDC	120 V/60 Hz	20 W	85 A	6,000 W	61 lbs	030-04155
VFX3648	3,600 W	48 VDC	120 V/60 Hz	23 W	45 A	6,000 W	61 lbs	030-04157
Sealed/Turbo Cooled Inverters								
FX2012T	2,000 W	12 VDC	120 V/60 Hz	20 W	80 A	4,800 W	63 lbs	030-04147
FX2012MT	2,000 W	12 VDC	120 V/60 Hz	20 W	80 A	4,800 W	63 lbs	030-04145
FX2524T	2,500 W	24 VDC	120 V/60 Hz	20 W	55 A	6,000 W	63 lbs	030-04119
FX3048T	3,000 W	48 VDC	120 V/60 Hz	23 W	35 A	6,000 W	63 lbs	030-04121
EXPORT Models – can be connected in parallel or 3-phase Y 400 VAC								
Ventilated Cooled Inverters								
VFX2612E	2,600 W	12 VDC	230 V/50 Hz	20 W	120 A	4,600 W	61 lbs	030-04134
VFX3024E	3,000 W	24 VDC	230 V/50 Hz	20 W	85 A	5,750 W	61 lbs	030-04136
VFX3048E	3,000 W	48 VDC	230 V/50 Hz	23 W	45 A	5,750 W	61 lbs	030-04138
Sealed/Turbo Cooled Inverters								
FX2012ET	2,000 W	12 VDC	230 V/50 Hz	20 W	100 A	4,600 W	63 lbs	030-04140
FX2024ET	2,000 W	24 VDC	230 V/50 Hz	20 W	55 A	5,750 W	63 lbs	030-04144
FX2348ET	2,300 W	48 VDC	230 V/50 Hz	23 W	35 A	5,750 W	63 lbs	030-04142

ANEXO D Controlador de carga

MPPT Charge Controllers at a Glance						
Model	Max output current	Maximum recommended PV array size			Max PV array voltage (V_{oc})	Item code
		12 VDC	24 VDC	48 VDC		
OutBack FLEXmax 60	60 A	750 W	1,500 W	3,000 W	150 VDC	020-02017
OutBack FLEXmax 80	80 A	1,000 W	2,000 W	4,000 W	150 VDC	020-02020
MidNite Classic 150	96 A at 12 VDC ¹ 94 A at 24 VDC ¹ 86 A at 48 VDC ¹	1,200 W	2,350 W	4,300 W	150 VDC ²	020-02405
MidNite Classic 200	79 A at 12 VDC ¹ 78 A at 24 VDC ¹ 76 A at 48 VDC ¹	1,000 W	1,950 W	3,800 W	200 VDC ²	020-02407
MidNite Classic 250	61 A at 12 VDC ¹ 62 A at 24 VDC ¹ 55 A at 48 VDC ¹	750 W	1,550 W	2,750 W	250 VDC ²	020-02409
MidNite KID	30 A	400 W	800 W	1,600 W	162 VDC	See page 129
Schneider XWMPPT60-150	60 A	750 W	1,550 W	3,000 W	150 VDC	020-08040
Schneider XWMPPT80-600	80 A	--	2,000 W	4,000 W	600 VDC	020-08048
Morningstar SS-15MPPT	15 A	200 W	400 W	--	75 VDC	020-01261
Morningstar TS-MPPT-45	45 A	600 W	1,200 W	2,400 W	150 VDC	020-01109
Morningstar TS-MPPT-60	60 A	800 W	1,600 W	3,200 W	150 VDC	020-01110
Morningstar TS-MPPT-60-600	60 A	800 W	1,600 W	3,200 W	600 VDC	020-01103
Blue Sky SB2000E	25 A	310 W	--	--	30 VDC	020-03122
Blue Sky SB3000i	30 A w / 36-cell input	400 W	--	--	50 VDC	020-03121
	22 A w / 60-cell input	290 W	--	--		
Blue Sky SB2512i	25 A w / 36-cell input	310 W	--	--	35 VDC	020-03123
Blue Sky SB50L	20 A w / 60-cell input	625 W	--	--	57 VDC	020-03140
Blue Sky SB1524iX	20 A at 12 VDC 15 A at 24 VDC	250 W	375 W	--	57 VDC	020-03118
Blue Sky SB3024iL	40 A at 12 VDC 30 A at 24 VDC	500 W	750 W	--	57 VDC	020-03158