

EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA
POR MEDIO DE PANELES FOTOVOLTAICOS EN LAS EDIFICACIONES Y
ZONAS ENDURECIDAS DE LA SEDE CENTRAL DE LA UNIVERSIDAD
INDUSTRIAL DE SANTANDER

Autores

JESÚS ENRIQUE CAMARGO CARVAJAL
ÁLVARO ANDRÉS DALLOS CASTELLANOS



FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE
TELECOMUNICACIONES

BUCARAMANGA

2011

EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA
POR MEDIO DE PANELES FOTOVOLTAICOS EN LAS EDIFICACIONES Y
ZONAS ENDURECIDAS DE LA SEDE CENTRAL DE LA UNIVERSIDAD
INDUSTRIAL DE SANTANDER

Trabajo de grado para optar al título de
Ingeniero Electricista

Autores

JESÚS ENRIQUE CAMARGO CARVAJAL
ÁLVARO ANDRÉS DALLOS CASTELLANOS

Director:

Manuel José Ortiz Rangel

Codirector:

Gabriel Ordoñez Plata



FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA

2011

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 abuelos María Ernestina Anaya Ríos y David Carvajal Flórez a los que considero
Mis padres y quienes con mucho esfuerzo y sacrificio me han cuidado, Guiado y educado
Durante toda mi vida, teniendo siempre presente formarme como una persona íntegra, y a
Quienes espero tener durante muchos años más para seguir aprendiendo de sus valiosas
Enseñanzas y poderles retribuir por todas aquellas cosas que han hecho por mí.

A mis padres Nohora Inés Carvajal Anaya y José Enrique Camargo Correa 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 mis tíos Zaida Luz Carvajal Anaya, Martha patricia Carvajal Anaya, Doris Helena
Carvajal Anaya y Rafael Carvajal Anaya por haberme apoyado de manera
Incondicional y haberme brindado las herramientas necesarias para alcanzar todas las
Metas que me propuse.

A mi novia María Isabel Martínez López por haberme acompañado durante mi paso por
La universidad y haber estado a mi lado en todos los momentos de tristeza y felicidad,
Sirviéndome en todo momento como un apoyo incondicional.

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 Toros por enseñarme el verdadero significado de una amistad y haberme
Ayudado a cumplir mis metas como deportista.

JESÚS ENRIQUE CAMARGO CARVAJAL

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.

También dedico este proyecto a mi novia Claudia, mi compañera inseparable de varias jornadas. Ella representó gran esfuerzo y tesón en momentos de decline y cansancio.

A doña Lilia que ha sido un apoyo incondicional en el fin de mi carrera profesional.

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.

A mis hermanos Toros 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.

ÁLVARO ANDRÉS DALLOS CASTELLANOS

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.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	23
JUSTIFICACIÓN.....	25
1. ASPECTOS GENERALES DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA	27
1.1 ENERGÍA SOLAR	27
1.2 RADIACIÓN SOLAR	28
1.2.1 Irradiancia (G)	30
1.2.2 Irradiación o Insolación (H).....	30
1.2.3 Hora Solar Pico (HSP)	30
1.2.4 Día Solar (DS).....	30
1.2.5 Constante Solar (I_{sc})	31
1.3 RADIACIÓN SOLAR MUNDIAL	31
1.4 RADIACIÓN SOLAR EN COLOMBIA	33
1.5 ENERGÍA SOLAR EN ESPAÑA	39
2. MARCO LEGAL	43
2.1 PROTOCOLO DE KYOTO	43
2.2 CONVENIO DE VIENA.....	46
2.3 CONVENIO DE BASILEA.....	47
2.4 ISO 50001.....	48
2.5 LEY URE 697 DE 2001	49
2.6 RESOLUCIÓN 84 DE 1996 CREG.....	52
2.7 RESOLUCIÓN 85 DE 1996 CREG.....	53
2.8 NTC 2050 – GENERACIÓN FOTOVOLTAICA.....	55
3. COMPONENTES DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA	59
3.1 PANEL FOTOVOLTAICO.....	59
3.1.1 Características eléctricas de los módulos fotovoltaicos	60

3.1.2 Tipos de Paneles Fotovoltaicos.....	63
3.1.2.1 Silicio Puro	64
3.1.2.2 Células de Silicio Monocristalino	64
3.1.2.3 Células de Silicio Policristalino	68
3.1.2.4 Células de Lámina Delgada	70
3.1.2.5 Células de Silicio Amorfo.....	71
3.1.2.6 Células Fotovoltaicas de Arseniuro de Galio.....	72
3.1.2.7Células Fotovoltaicas Teluro de Cadmio/Sulfuro de Cadmio	73
3.1.2.8Células Fotovoltaicas Tandem	74
3.1.2.9 Células Solares CIGS	75
3.1.2.10Tipos de Paneles en función de la forma	77
3.1.3 Sistemas de seguimiento Solar	79
3.1.4 Conexión de los módulos o paneles fotovoltaicos.....	80
3.1.4.1 Conexión en serie	81
3.1.4.2 Conexión en Paralelo	82
3.1.4.3 Conexión Mixta.....	83
3.2 BATERÍAS.....	84
3.2.1 Especificaciones Eléctricas	84
3.2.1.1 Tensión.....	84
3.2.1.2 Capacidad	85
3.2.1.3 Profundidad de Descarga.....	86
3.2.2 Interacción entre módulos fotovoltaicos y baterías.....	86
3.2.3 Tipos de Baterías	87
3.2.3.1 Baterías de plomo - ácido de electrolito líquido.....	87
3.2.3.2 Baterías selladas.....	89
3.2.3.2.1 Gelificadas.....	89
3.2.3.2.2 Níquel – Cadmio.....	90
3.2.3.2.3 Baterías de Iones de Litio.....	92

3.2.3.2.4 Baterías de Litio de Nanotubos de Carbono.....	93
3.3 REGULADOR.....	94
3.3.1 Serie.....	97
3.3.2 Paralelo.....	98
3.4 INVERSOR.....	99
4. DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	103
4.1. Identificación del área disponible.....	103
4.2 Radiación Solar del Terreno.....	105
4.3 Consumo energético a suplir.....	108
4.4 Inclinación de los paneles fotovoltaicos.....	109
4.4.1 Radiación Solar en un plano Inclinado.....	109
4.4.2 Cálculo del día solar.....	110
4.4.3 Cálculo de la radiación solar extraterrestre H_0	110
4.4.4 Cálculo del factor de corrección E_0	111
4.4.5 Declinación del sol δ	111
4.4.6 Coeficiente de transparencia de la atmósfera K_t	112
4.4.7 Cálculo de la radiación en un plano inclinado.....	113
4.5 Área ocupada por el sistema fotovoltaico.....	114
4.6 Dimensionamiento de los equipos.....	116
4.6.1 Selección del nivel de tensión del sistema.....	118
4.6.2 Cálculo de los Paneles Fotovoltaicos.....	118
4.6.3 Cálculo de los acumuladores o baterías.....	119
4.6.4 Cálculo de los Controladores de carga.....	121
4.6.5 Cálculo de los Inversores.....	122
5. CARACTERIZACIÓN DE SISTEMAS DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA POR MEDIO DE PANELES FOTOVOLTAICOS EN LA SEDE CENTRAL DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER.....	124
5.1 INCIDENCIA DE RADIACIÓN SOLAR EN BUCARAMANGA.....	125
5.1.1 Radiación solar horizontal.....	125

5.1.2 Radiación solar en un plano Inclinado.....	126
5.2 Consumo energético de la Universidad Industrial de Santander	129
5.2.1 Consumo de energía eléctrica por edificación.....	130
5.3 Áreas disponibles para la implementación de sistemas PFV en la UIS.....	135
5.3.1 Clasificación por tipo de cubierta.....	135
5.3.2 Clasificación de estado de la cubierta	137
5.3.3 Clasificación de disponibilidad de espacio	139
5.3.4 Clasificación según su ubicación.....	141
5.3.5 Área total disponible por edificación	142
5.4 Selección de los equipos para cada uno de los edificios.....	146
5.4.1 Nivel de tensión del sistema Fotovoltaico	147
5.4.2 Selección de los paneles fotovoltaicos	147
5.4.3 Selección de las baterías	151
5.4.4 Selección de los controladores de carga.....	155
5.4.5 Selección de los Inversores.....	156
5.5 Potencial de generación de energía eléctrica por edificaciones	158
6. CÁLCULO TIPO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EN LA SEDE CENTRAL DE LA UIS	161
6.1 Área disponible para implementar el sistema fotovoltaico	161
6.2 Selección de los paneles fotovoltaicos	163
6.3 Selección de las baterías.....	164
6.4 Selección de los controladores de carga	165
6.5 Selección de los inversores	165
6.6 Potencial de generación de energía eléctrica	166
7. CONCLUSIONES	167
8. OBSERVACIONES.....	169
9. BIBLIOGRAFÍA.....	170

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Espectro Electromagnético	29
Figura 2. Día solar de 5 horas.....	31
Figura 3. Mapamundi de Radiación Solar	32
Figura 4. Funcionamiento de sistemas fotovoltaicos rurales	37
Figura 5. Sistema Fotovoltaico instalado por el antiguo ICEL, hoy IPSE	38
Figura 6. Irradiación Solar horizontal en España	40
Figura 7. Planta Solar de Figueruelas, Zaragoza.....	41
Figura 8. Posición del Protocolo de Kyoto a nivel mundial en el año 2009	44
Figura 9. Sistema Fotovoltaico sin acumulador de Energía Eléctrica	56
Figura 10. Grafica de la Características de operación de un panel fotovoltaico	61
Figura 11. Efecto de la Irradiancia sobre las características eléctricas.....	62
Figura 12. Efecto de la temperatura sobre las características eléctricas del panel fotovoltaico.....	63
Figura 13. Panel solar fotovoltaico Monocristalino.....	64
Figura 14. Principio de la técnica de crecimiento de Czochralski	65
Figura 15. Microscopio electrónico de imagen de la oblea de silicio con las pirámides al azar.....	66
Figura 16. Película Antirreflectiva evaporada de células fotovoltaicas.....	68
Figura 17. Panel de Silicio Policristalino	69
Figura 18. Componentes básicos de un silicio cristalino de película delgada de células solares	70

Figura 19. Unión de materiales en las células fotovoltaicas Tandem	74
Figura 20. Estructura de un CIGS de película delgada de células solares	76
Figura 21. Panel Solar Fotovoltaico con reflectantes.....	77
Figura 22. Panel Solar Fotovoltaico de formato de teja	78
Figura 23. Paneles Solares Fotovoltaicos Bifaciales	79
Figura 24. Módulos o celdas Fotovoltaicas conectadas en cadena	81
Figura 25. Módulos o celdas Fotovoltaicas conectadas en paralelo	82
Figura 26. Conexión mixta de paneles solares fotovoltaicos	83
Figura 27. Partes de una batería de Plomo-acido.....	88
Figura 28. Partes de una batería de Gel.....	90
Figura 29. Diagrama de un Regulador fotovoltaico.....	95
Figura 30. Esquema de conexión del regulador en un sistema fotovoltaico independiente	99
Figura 31. Obstáculos, equipos y entorno de un área disponible para implementar un sistema de paneles fotovoltaicos	104
Figura 32. Piranómetro	106
Figura 33. Ángulo de la radiación solar extraterrestre	112
Figura 34. Área ocupada por un PFV	115
Figura 35. Metodología para implementar Paneles Fotovoltaicos en la UIS	117
Figura 36. Sistema fotovoltaico de 24 [V], con baterías de 12 [V].....	120
Figura 37. Controladores de carga conectados a un sistema de PFV	122
Figura 38. Conexión del inversor	123
Figura 39. Radiación solar horizontal año 2010.....	126

Figura 40. Radiación solar anual a diferentes ángulos, año 2010	127
Figura 41. Incidencia de radiación solar a distintos ángulos de, año 2010	128
Figura 42. Consumo energético total de la UIS	130
Figura 43. Clasificación de edificios, según el tipo de cubierta	136
Figura 44. Edificio Daniel Casas	136
Figura 45. Clasificación de edificios, según el estado de la cubierta	137
Figura 46. Auditorio de mecánica	138
Figura 47. Clasificación de edificios, según su espacio disponible	139
Figura 48. Cafetería central	140
Figura 49. Clasificación de edificios, según su ubicación	141
Figura 50. Laboratorios de Hidráulica	142
Figura 51. Distribución de edificaciones según el tipo de paneles a implementar	151
Figura 52. Distribución de edificios según el tipo de baterías a implementar	154
Figura 53. Cubierta del edificio Federico Mamitza Bayer.....	162

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Radiación Solar en Colombia por regiones.....	35
Tabla 2. Factores de corrección para cables de Sistemas fotovoltaicos.....	57
Tabla 3. Radiación solar horizontal en la UIS, enero de 2010	107
Tabla 4. Tensiones nominales del sistema	118
Tabla 5. Consumo energético y demanda máxima en la UIS	131
Tabla 6. Área de las edificaciones de la UIS	134
Tabla 7. Comparativo de áreas.....	144
Tabla 8. Área total disponible por edificación	145
Tabla 9. Proveedores de sistemas fotovoltaicos.....	147
Tabla 10. Tipo de paneles utilizados en cada edificación	149
Tabla 11. Lista de baterías ofrecidas por los proveedores	152
Tabla 12. Tipo de baterías utilizadas por edificación	153
Tabla 13. Controladores de carga ofrecidos por los proveedores.....	155
Tabla 14. Controlador de carga seleccionado para las edificaciones	156
Tabla 15. Inversores ofrecidos por los proveedores	157
Tabla 16. Inversor seleccionado para todas las edificaciones	158
Tabla 17. Potencial de generación de energía eléctrica por edificación	159
Tabla 18. Potencial de generación de energía eléctrica para edificaciones no aptas	160
Tabla 19. Área disponible en la edificación.....	163
Tabla 20. Panel fotovoltaico escogido en la edificación.....	163

Tabla 21. Tipo de batería escogida para la edificación.....	164
Tabla 22. Tipo de controlador de carga seleccionado	165
Tabla 23. Tipo de inversor seleccionado para la edificación.....	166
Tabla 24. Potencial de generación de energía eléctrica	166

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. Oferta tecnológica de paneles fotovoltaicos.....	175
ANEXO B. Características de los paneles fotovoltaicos utilizados en cada edificación	176
ANEXO C. Características de las baterías utilizadas en cada edificación	177
ANEXO D. Características de los controladores utilizados en cada edificación ..	178
ANEXO E. Características de los inversores utilizados en cada edificación.....	179

RESUMEN

TÍTULO: EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA POR MEDIO DE PANELES FOTOVOLTAICOS EN LAS EDIFICACIONES Y ZONAS ENDURECIDAS DE LA SEDE CENTRAL DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER*.

AUTORES: Camargo Carvajal, Jesús Enrique; Dallos Castellanos, Álvaro Andrés**.

PALABRAS CLAVES: Energía solar, radiación solar, paneles fotovoltaicos, energías renovables, sistema fotovoltaico, áreas disponibles.

DESCRIPCIÓN:

La aplicación de este proyecto permite crear un precedente de generación de energía eléctrica en la sede central de la universidad 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 las edificaciones y zonas endurecidas de la sede central de la Universidad Industrial de Santander.

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 la meseta de Bucaramanga tanto horizontal como en un plano inclinado durante todo el año 2010. La segunda consiste en la identificación de las áreas disponibles para la implementación de paneles fotovoltaicos en las edificaciones y zonas endurecidas de la sede central de la Universidad Industrial de 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

*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.

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 edificación; y finalmente, la cuarta etapa consiste en la consolidación de los potenciales de generación de energía eléctrica por medio de paneles fotovoltaicos en las edificaciones y áreas disponibles de la Universidad Industrial de Santander.

ABSTRACT

TITLE: ASSESSMENT OF POTENTIAL FOR GENERATION ELECTRICITYA THROUGH PHOTOVOLTAIC PANELS ON BUILDINGS AND HARDENED ZONES OF CENTRAL HEADQUARTERS OF THE INDUSTRIAL UNIVERSITY OF SANTANDER*.

AUTHORS: Camargo Carvajal, Jesús Enrique; Dallos Castellanos, Álvaro Andrés**.

KEY WORDS: Solar energy, solar radiation, photovoltaic panels, renewable energy, photovoltaic system, area available.

DESCRIPTION: The implementation of this project to create a precedent for generating electricity in the headquarters of the university through alternative energy to reduce pollution and create self-sustainable buildings energetically.

This paper presents the evaluation of the potential of generating electricity using photovoltaic panels on buildings and hardened areas of the headquarters of the Industrial University of Santander.

The established methodology for the development of this grade project comprises four stages: The first is to establish the incidence of solar radiation on the plateau of Bucaramanga in both horizontal and inclined plane throughout the year 2010. The second is the identification of areas available for the implementation of photovoltaic panels on buildings and hardened areas of the headquarters of the Industrial University of Santander, 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 panel system for each of the areas suitable for implementing such systems, taking into account the nature and quantity of electric energy consumption of each building; and finally, the fourth stage is the consolidation of the potential of generating electricity using photovoltaic panels on buildings and areas available from the Industrial University of Santander.

*WorkDegree

**Faculty ofPhysicsMechanicalEngineering. School of ElectricalEngineering, Electronicsand Telecommunications.Directress: Msc. Manuel Jose Ortiz Rangel. Codirectress: Gabriel Ordoñez Plata

INTRODUCCIÓN

La contaminación ambiental debido a los diversos métodos de generación de energía eléctrica no amigables con el medio ambiente, ha venido aumentando en la última década, gracias a los avances tecnológicos que han acarreado un crecimiento exagerado en la compra de toda clase de aparatos eléctricos, lo que ha generado un incremento desmesurado y constante del consumo de energía entre la población mundial.

Por otra parte, las grandes industrias se han advertido el deterioro de los recursos no renovables utilizados para la generación de energía los cuales se están agotando. Esta situación ha propiciado el desarrollo de fuentes de generación de energía eléctrica más limpias que no dependan de recursos que se agoten y que por el contrario, usen recursos de tipo renovable. Este tipo de fuentes de generación de energía son conocidas como “Energías Renovables”.

Las energías renovables son una excelente alternativa para reducir la contaminación ambiental y para satisfacer las necesidades energéticas de la humanidad, debido a que utilizan los recursos naturales renovables para la generación de energía como lo son el aire y la radiación solar. Fuentes de energía como la eólica, la hidráulica y solar, ofrecen importantes ventajas económicas y ambientales a largo plazo, lo cual ha ocasionado gran aceptación en países industrializados como Alemania, China, España y Estados Unidos. En el ámbito político de alto nivel se han propiciado una serie de acuerdos y propuestas para ayudar a fomentar iniciativas de generación de energía eléctrica utilizando tecnologías más limpias.

Una de las energías renovables de mayor recibimiento en los sectores residencial y rural como es la Energía Solar. Dicho proceso consiste en la instalación de

paneles fotovoltaicos que toman la radiación solar para obtener energía eléctrica que se consume directamente o se almacena en baterías.

El proceso para generar energía por medio de esta alternativa es relativamente sencillo. La radiación solar incide en los paneles fotovoltaicos (los cuales deben estar orientados en una posición óptima para este fin) para generar cierta cantidad de energía, la cual al ser transformada por el panel en electricidad alimenta un regulador, un arreglo de baterías y un inversor para el consumo energético de determinada demanda eléctrica.

Para realizar un proyecto de generación de energía eléctrica por medio de paneles fotovoltaicos hay que considerar varios aspectos como la determinación de demanda de energía eléctrica a satisfacer, el espacio disponible para la ubicación de los equipos que conforman el sistema fotovoltaico, la incidencia de radiación solar en la región, el dimensionamiento de los equipos a utilizar y el aspecto económico.

Este tipo de proyectos ayudan a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera, pero son muy costosos debido a que utilizan tecnologías que hasta ahora están penetrando el mercado. En general la inversión económica en proyectos de generación de energía eléctrica por medio de paneles fotovoltaicos se recuperada en un periodo comprendido entre 25 y 40 años.

En este documento se expone 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 en las cubiertas y zonas duras de la sede central de la UIS. Para algunas edificaciones no se podrá suplir el total de la demanda de energía eléctrica, debido a que el área disponible para la implementación de ésta tecnología no es suficiente.

JUSTIFICACIÓN

La gran preocupación por la contaminación ambiental que se advierte en la actualidad, ha generado una tendencia global hacia la búsqueda de alternativas para mitigar las condiciones que amenazan al planeta.

Las energías renovables se han convertido hoy en día en uno de los principales caminos para reducir la emisión de gases contaminantes a la atmósfera. Este tipo de energías utilizan recursos naturales renovables para la generación de energía eléctrica y se convierten en un método de puede satisfacer la demanda energética con menores costos para el medio ambiente.

Debido a la implementación de tecnologías que producen energía eléctrica por medio de fuentes renovables en países como Alemania, Estados Unidos y España se ha logrado comprobar que la implementación de este tipo de tecnologías es asequible.

Según un estudio realizado por Greenpeace, se sostiene que la utilización de energías renovables para producir el 100% de energía es técnicamente viable y económicamente asumible en España y que lo único que falta para acabar con las energías sucias es simple voluntad política [1].

Acorde a lo expuesto anteriormente, de acuerdo a los estudios realizados por el ministerio de medio ambiente, la radiación solar presentada en Colombia favorece enormemente a la generación de energía eléctrica por medio de paneles fotovoltaicos en el país. Sin embargo, ante esta perspectiva el gobierno aún no apoya de manera sobresaliente (en cuanto al aspecto económico) las iniciativas individuales o institucionales que deseen implementar este tipo de tecnologías, lo cual reduce de manera importante el uso de estas alternativas de generación de energía en Colombia.

Analizando los datos de radiación solar de las estaciones Centro (Carrera 15 con calle 34), la UIS (Terraza del edificio de Ingeniería) hasta el año 2006 y posteriormente trasladada a la estación Norte (Ubicada al norte de Bucaramanga); tomados por la CDMB (Corporación Autónoma Regional para la defensa de la meseta de Bucaramanga)sobre la radiación solar en la meseta de Bucaramanga, se puede establecer que esta ciudad es un lugar propicio para implementar el uso de energías renovables y aun cuando existen impedimentos para la utilización de estas tecnologías como los económicos y la ausencia de cultura de la población santandereana sobre la temática ambiental. También cabe destacar que para pensar en implementar este tipo de tecnologías en ámbito regional, es necesario involucrar al sector productivo y a las universidades en temas como el URE (Uso Racional y Eficiente de la Energía) y las energías verdes, ya que dichas empresas contaminan más y poseen el presupuesto para realizar estas inversiones.

La sede principal de la Universidad Industrial de Santander es un ejemplo claro de una institución donde se puede implantar un proyecto de esta naturaleza, debido a que la gran cantidad de cubiertas y zonas endurecidas disponibles en donde se pueden instalar paneles fotovoltaicos para satisfacer parcialmente la demanda de energía eléctrica del campus universitario. Aunque la inversión financiera es alta y su recuperación se da a largo plazo, el beneficio ambiental es sin duda muy significativo.

De mantenerse la dinámica global hacia la adopción de estas tecnologías renovables, la contaminación ambiental se reduciría en un alto porcentaje, por lo que se mejora la expectativa futura para las generaciones siguientes, en cuanto al medio ambiente.

1. ASPECTOS GENERALES DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

Debido a la gran cantidad de emisión de gases contaminantes alrededor del mundo, relacionados con los procesos de generación de energía eléctrica por medios convencionales, se han desarrollado diversas tecnologías para aprovechar las energías alternativas, las cuales tienen como principal fuente de energía los recursos renovables.

Las energías renovables como la eólica, la energía solar fotovoltaica y la energía hidráulica, son ejemplos donde se han desarrollado tecnologías que convierten la velocidad del viento, la radiación solar y el flujo del agua en energía eléctrica.

Estas energías son amigables con el medio ambiente y actualmente son una gran alternativa para abastecer de energía algunas áreas que no tienen servicio normal de energía eléctrica, por motivo de su ubicación geográfica y dada la dificultad de instalar redes de suministro.

1.1 ENERGÍA SOLAR

La transformación de la radiación solar en energía eléctrica es lo que se conoce como energía solar fotovoltaica. Este tipo de energía hace parte de las energías renovables y es un método de obtención de energía eléctrica que está teniendo bastante acogida por sus ventajas ambientales y el ahorro económico que suponen a largo plazo.

Para generar energía eléctrica por medio de la radiación solar es necesario adoptar una serie de equipos diseñados para este fin, como son los paneles fotovoltaicos, los inversores, las baterías y los controladores, y cuyo conjunto se conoce con el nombre de sistemas fotovoltaicos.

Por otra parte, al ser la radiación solar un recurso renovable y disponible en casi todo el mundo, es una alternativa importante para satisfacer la demanda energética de la población mundial. Al dejar de lado la inversión económica inicial que se debe realizar para implementar el sistema fotovoltaico, se puede disminuir gran parte la contaminación ambiental, lo cual significa una ganancia importante.

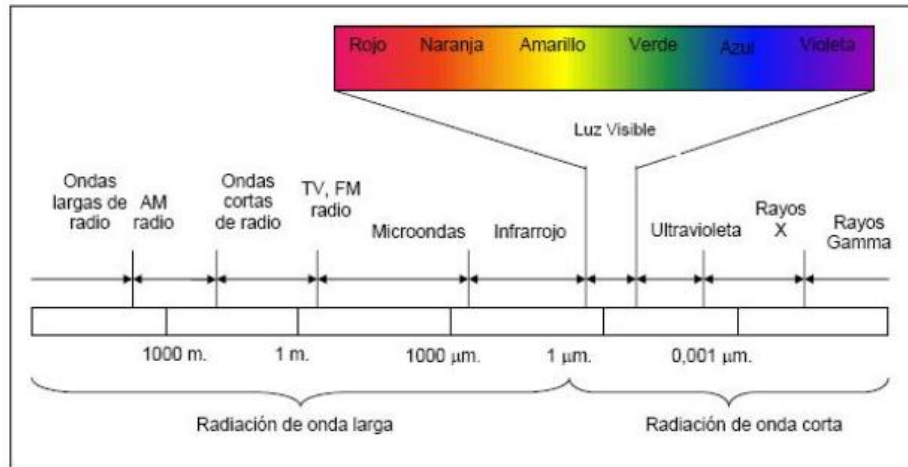
Países industrializados como Alemania, España, Canadá y Japón, son pioneros en la utilización de sistemas fotovoltaicos para su autoabastecimiento energético, debido en parte gracias a la sensibilización de la población sobre los beneficios ecológicos y económicos que con lleva implementar este tipo de sistemas.

1.2 RADIACIÓN SOLAR

La radiación solar es el conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el Sol, en todas las longitudes de onda existentes. Consta de luz visible, luz infrarroja y luz ultravioleta, según se observa en la figura 1.

La luz visible se compone de los colores rojo, naranja, amarillo, verde, azul y violeta, los cuales poseen una longitud de onda específica entre $0,43 \mu\text{m}$ y $0,69 \mu\text{m}$. Por otra parte, las ondas que se encuentran en la parte infrarroja del espectro electromagnético se encuentran en un rango entre $0,7\mu\text{m}$ y $5 \mu\text{m}$, y las ondas que se encuentran en la zona ultravioleta están entre $0,3 \mu\text{m}$ y $0,4 \mu\text{m}$.

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 divide en tres tipos, teniendo como base para dicha división la forma en cómo se recibe en la superficie de la tierra. La suma de todas las radiaciones reciben el nombre de radiación solar 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.

1.2.1 Irradiancia (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 irradiancia 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 irradiancia para el lugar donde se va a instalar el sistema fotovoltaico.

1.2.2 Irradiación o Insolación (H)

Corresponde al valor obtenido al integrar la irradiancia 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/m^2 . Se usa "H" para referirse a la insolación diaria e "I" para la insolación horaria.

1.2.3 Hora Solar Pico (HSP)

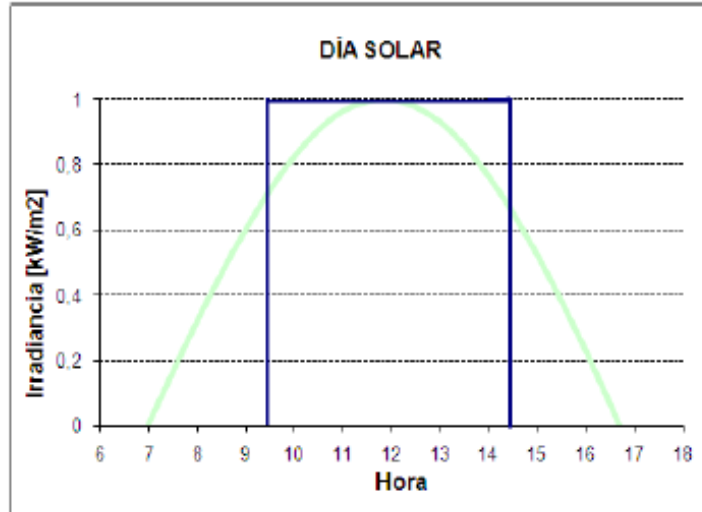
La Hora Solar Pico se define como la energía recibida durante el periodo de una hora a una irradiancia promedio de $1000 \text{ [W/m}^2\text{]}$.

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 $1 \text{ [kW/m}^2\text{]}$ y la duración del día solar promedio.

1.2.4 Día Solar (DS)

Es el valor promedio de horas en el cual un panel (con radiación constante de $1 \text{ [kW/m}^2\text{]}$) es capaz de generar la misma energía entregada por el sol, en cierto tipo de zona.

Figura 2. Día solar de 5 horas



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

1.2.5 Constante Solar (I_{sc})

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].

1.3 RADIACIÓN SOLAR MUNDIAL

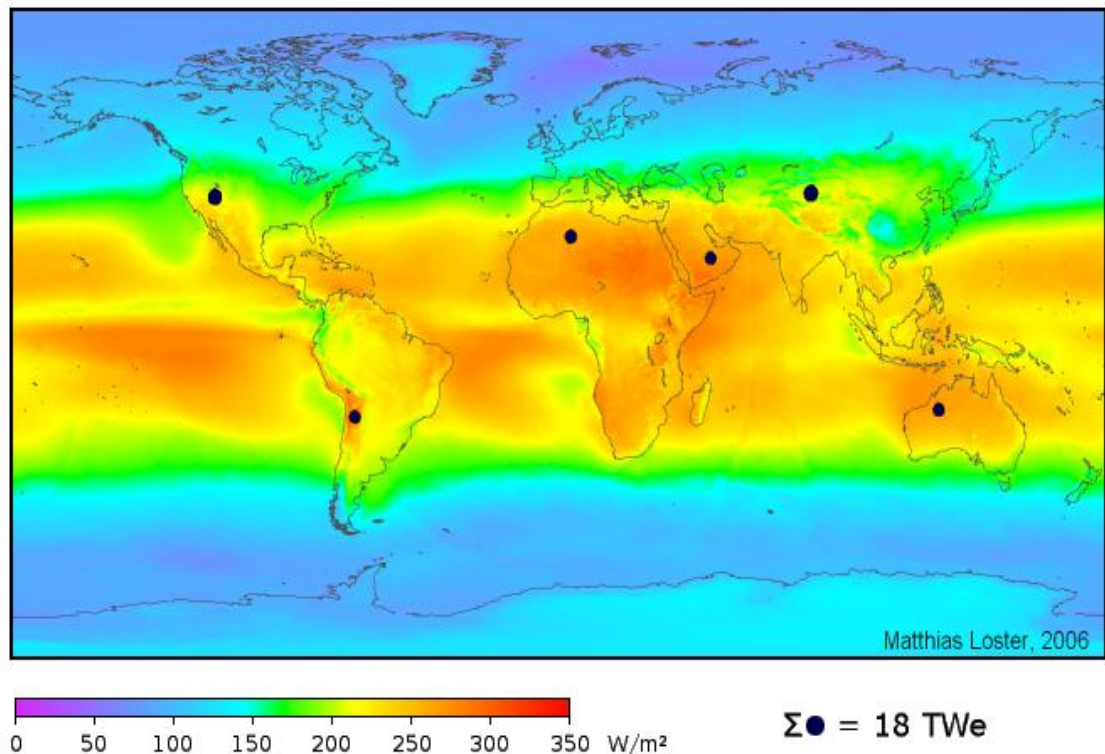
La radiación solar es un factor fundamental que se debe tener en cuenta al momento de implementar un sistema fotovoltaico debido a que de ella depende la cantidad de energía eléctrica que pueden generar los módulos fotovoltaicos.

Hay que tener claro que dicho parámetro no es constante en todo el planeta, debido a que éste varía con la latitud, la altitud solar, la estación del año y las condiciones atmosféricas. Por tal motivo, se debe realizar un estudio previo del

terreno donde se desee implantar un proyecto de energía solar fotovoltaica, para especificar cuáles son los equipos que más energía eléctrica pueden proporcionar de acuerdo a los resultados obtenidos y de qué manera se deben ubicar para captar la mayor cantidad de radiación solar.

Según la Figura 3, referente a la radiación solar mundial, se establece que la mejor ubicación para implementar sistemas de generación de energía eléctrica por medio de paneles fotovoltaicos, son las zonas cercanas a la línea del Ecuador, ya que en ella existe un valor de radiación solar que oscila entre los 200 W/m^2 y los 300 W/m^2 dependiendo del día del año clima y no sufren de cambios drásticos del clima como sucede en los trópicos.

Figura 3. Mapamundi de Radiación Solar



FUENTE.INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Key world energy statistic 2009

A pesar de los resultados que arroja el Mapamundi de Radiación Solar, las zonas donde se implementan con bastante auge los sistemas de energía fotovoltaica son Europa y Asia, ya que aunque en estas zonas se tiene una radiación solar menor con respecto a la zona del ecuador, sus países han direccionado capitales para poner en marcha este tipo de proyectos y obtener el mayor provecho posible de la energía del sol.

Según estudios realizados por investigadores expertos en el tema, la sumatoria energética de las zonas donde se ubican los círculos negros podría satisfacer la demanda primaria de todo el planeta teniendo en cuenta una eficiencia de conversión del 8% [2].

1.4 RADIACIÓN SOLAR EN COLOMBIA

Al ser Colombia un país tropical y por estar ubicado cerca del Ecuador, posee una incidencia de radiación solar excelente para implantar proyectos de energía solar Fotovoltaica aprovechando al máximo este recurso natural y renovable. A pesar de lo expuesto anteriormente, las leyes en colombianas no apoyan adecuadamente este tipo de iniciativas.

Colombia cuenta con promedio diario multianual de radiación solar de 4,5 kWh/m² teniendo en la Guajira un valor promedio de 6 kWh/m² lo que ratifica al territorio nacional como una zona bastante apta para la implementación de este tipo de energías renovables [3].

Según el IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia), la radiación solar en Colombia según la región geográfica del país es la siguiente aproximadamente:

La región de mayor radiación solar en Colombia es La Guajira con un promedio de 2 190 kWh/m²/año debido a su geografía y ubicación en el territorio colombiano, lo

que la hace un lugar apto para la generación de energía eléctrica por medio de paneles fotovoltaicos.

Siguiendo con un comportamiento similar a La Guajira, se encuentra la Costa Atlántica con 1 825 kWh/m²/año, la cual se encuentra ubicada en cercanías de la península de La Guajira y también es una región adecuada para implementar proyectos de energías alternativas.

En el centro del territorio colombiano, más exactamente en la región andina y la región de la Orinoquía se presenta una radiación solar de 1643 kWh/m²/año, debido al terreno montañoso y la humedad; por tanto existen diferentes tipos de climas generalmente con presencia de nubosidad. Sin embargo, los proyectos de energía solar en esta zona también valdrían la pena ya que se encuentra entre los márgenes de mayor incidencia de radiación solar a nivel mundial.

Por último, la región de la Amazonía y la región Pacífica presentan radiación de 1551 kWh/m²/año y 1278 kWh/m²/año respectivamente, siendo estas las zonas las de menor incidencia de radiación solar en todo el territorio Colombiano, por su abundante flora y fauna, su ubicación geográfica y su tipo de clima en el cual predominan altas temperaturas.

La información acerca del territorio colombiano expuesta anteriormente se resume en la Tabla 1, en la cual se organizan las distintas regiones geográficas del país, de acuerdo a la cantidad de radiación solar que perciben durante el año.

Tabla 1. Radiación Solar en Colombia por regiones

REGIÓN	kWh/m ² /año
GUAJIRA	2 190
COSTA ATLÁNTICA	1 825
ORINOQUÍA	1 643
AMAZONÍA	1 551
ANDINA	1 643
COSTA PACÍFICA	1 278

FUENTE. RODRÍGUEZ, Humberto. Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus perspectivas.

Historia de los sistemas fotovoltaicos en Colombia

El uso de la energía solar fotovoltaica en Colombia se remite a la década de los 80, donde se utilizaba principalmente en zonas aisladas del territorio colombiano, en las cuales era casi imposible llevar el suministro de energía eléctrica convencional, debido a los costos de instalación de redes asociadas a las dificultades para el transporte, el mantenimiento y la operación de los sistemas y haciendo el uso de la energía solar fotovoltaica una vía más económica para obtener el suministro de energía eléctrica.

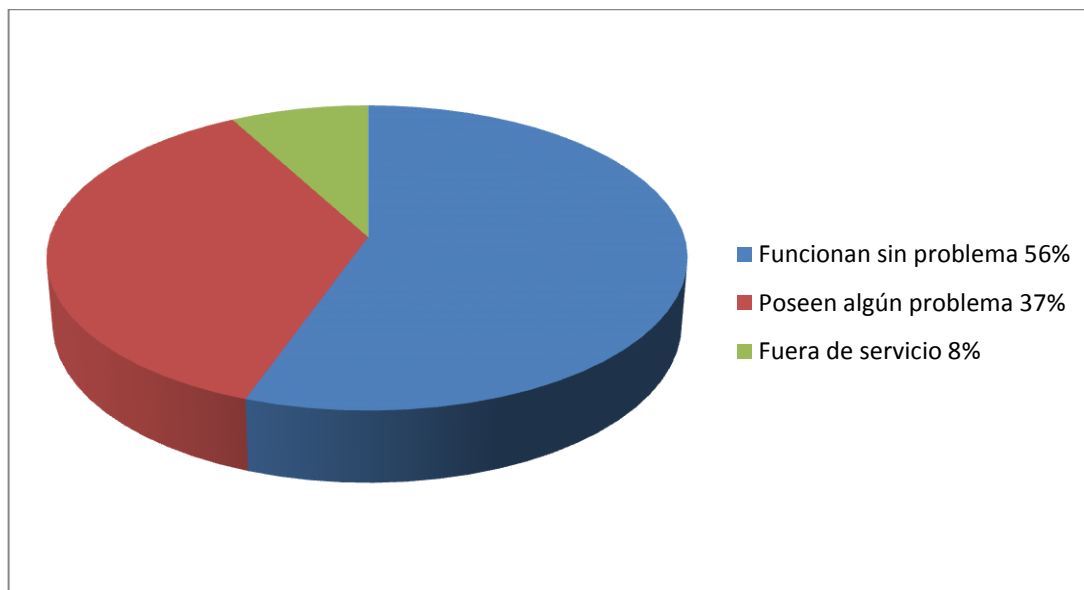
Teniendo en cuenta la creciente necesidad de abastecer de energía al sector rural, Telecom con la asistencia de la Universidad Nacional, iniciaron la marcha del Programa de telecomunicaciones rurales como parte de la solución a dicho problema. Este programa consistió en la instalación de una serie de paneles fotovoltaicos (con una capacidad de 60 Wp), para el funcionamiento de radioteléfonos rurales.

Este programa instaló sistemas fotovoltaicos para alimentar antenas satelitales terrestres por medio de paneles 3kWp y 4 kWp y ganó una tendencia para que otras empresas prestadoras del servicio de comunicación en el país usaran la energía solar fotovoltaica para prestar sus servicios.

Según un estudio realizado entre 1985 y 1994 [4], la implantación de sistemas fotovoltaicos que hacen posibles las telecomunicaciones en el sector rural han venido en aumento y a la fecha cumplen un papel fundamental para este propósito. Este estudio también arrojó datos interesantes con respecto al funcionamiento de estos sistemas fotovoltaicos según se observa en la Figura 4.

De acuerdo a la Figura 4, los datos obtenidos de una muestra de 248 sistemas fotovoltaicos, permiten concluir que las principales causas de los daños presentados en los sistemas, es la ausencia de mantenimiento y renovación de los equipos, así como el subdimensionamiento de los sistemas, dado que al momento de su instalación no se tuvo en cuenta el crecimiento de la demanda energética. Toda esta problemática se relaciona al compromiso técnico de las empresas después de la instalación de los sistemas fotovoltaicos y merece la formulación de planes adecuados para su operación y mantenimiento.

Figura 4. Funcionamiento de sistemas fotovoltaicos rurales



FUENTE. AUTOR

Actualmente, el IPSE (Instituto para la Promoción de Soluciones Energéticas) es el encargado de buscar soluciones para proveer el servicio de energía eléctrica al sector rural. Para la instalación de sistemas fotovoltaicos, el IPSE cuenta con la ayuda financiera del gobierno nacional, el cual mediante el FAZNI (fondo de Apoyo Financiero para al Energización de las Zonas No Interconectadas), ofrece alternativas de fuerte financiación para este tipo de proyectos. Además de los sistemas fotovoltaicos autónomos, el IPSE ha propiciado la implementación de algunos sistemas híbridos para la reducción de costos de generación con diesel por medio de generadores diesel que actúan como respaldo para el sistema fotovoltaico.

En Colombia, la generación de energía eléctrica por medio de paneles fotovoltaicos ha tenido una modesta aceptación en el sector rural con respecto a los países industrializados. Ha sido una solución para proveer el servicio de energía eléctrica a este sector y en el futuro es una alternativa importante para

disminuir el número de familias que aún no cuentan con este servicio, las cuales según cifras del IPSE son aproximadamente de 1 millón [4].

La Figura 5 muestra una imagen de un sistema de paneles fotovoltaicos, implementado en una zona rural.

Figura 5. Sistema Fotovoltaico instalado por el antiguo ICEL, hoy IPSE.



FUENTE. RODRÍGUEZ, Humberto. Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus perspectivas.

Corresponde a un sistema fotovoltaico de 2,8 kWp, 120 V AC, instalado en el municipio Venturosa perteneciente al departamento de Vichada, el cual suministra energía eléctrica a un grupo de 12 familias y un centro educativo. Este ejemplo ilustra sobre los beneficios que se pueden obtener al implementar proyectos de energía solar fotovoltaica en las zonas rurales, donde los costos

asociados a proveer infraestructura de redes en zonas con dificultades de acceso, se compensan con los costos de los componentes de un sistema fotovoltaico.

Dadas las ventajas técnicas de los sistemas solares fotovoltaicos, se requiere la voluntad política de las naciones para incrementar el desarrollo de este tipo de proyectos, que además de suplir las necesidades energéticas de la población, ayudan a disminuir la contaminación ambiental al sustituir el uso de combustibles fósiles y de los recursos naturales no renovables.

En otras latitudes la dinámica de la implantación de sistemas fotovoltaicos es más promisorio. España por ejemplo cuenta con el apoyo de empresas multinacionales como la GMC (General Motors Company), la cual ha incorporado en sus fábricas proyectos de energía solar fotovoltaica, con el fin de suplir parcialmente su demanda eléctrica. Esta y otras iniciativas son el resultado de esfuerzos gubernamentales hacia la construcción de un marco legal que genere incentivos y garantías suficientes para propiciar el uso de energías renovables como alternativa de autoabastecimiento energético.

1.5 ENERGÍA SOLAR EN ESPAÑA

España es uno de los principales generadores de energía eléctrica por medio de paneles fotovoltaicos debido a cambios en su conciencia política y cultural con respecto a los efectos de la contaminación ambiental y al posicionamiento geográfico que permite tener niveles aceptables de radiación solar en todo su territorio continental.

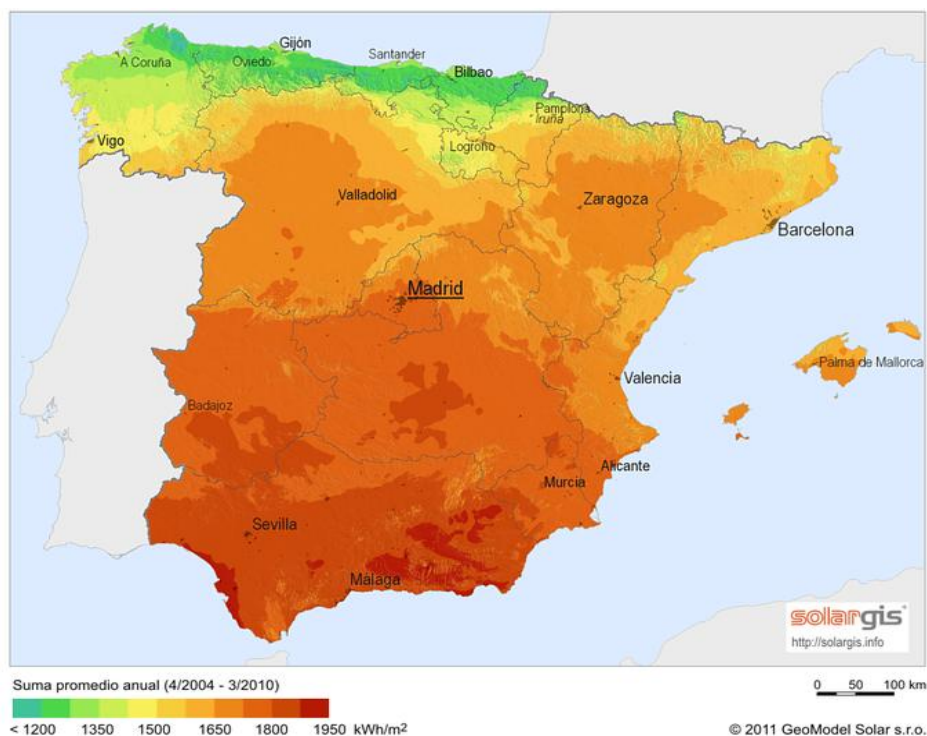
Según estudios realizados por Greenpeace, el territorio español tiene una insolación de 1 600 kWh/m²/año, lo que la convierte en una de las dos primeras naciones en tener la mayor insolación en el continente europeo. Además, el grupo ecologista también observó que la radiación solar se distribuye por todo el territorio

español de manera homogénea, lo que mejora el desempeño y la eficiencia de los sistemas de paneles fotovoltaicos [5].

La Figura 6 muestra el patrón de distribución de la radiación solar en España donde se aprecia que la radiación solar se encuentra entre 1 550 kWh/m²/año y 1650 kWh/m²/año incluyendo a la región de Palma de Mallorca, la cual se encuentra alejada del centro del país.

Ciudades como La Coruña, Oviedo, Gijón, Santander, Bilbao y Pamplona, presentan la menor radiación solar con valores entre 1120 kWh/m²-año y 1350 kWh/m²-año debido a que estas regiones se encuentran más alejadas del ecuador y su radiación solar disminuye con respecto a zonas cercanas a la línea ecuatorial.

Figura 6. Irradiación Solar horizontal en España.



FUENTE. SOLARGIS© 2011. Geomodel Solar s.r.o.

Teniendo en cuenta el recurso solar disponible en España, el gobierno español propició algunas condiciones que motivaran a los ciudadanos a implementar sistemas de paneles fotovoltaicos. Una condición importante es la posibilidad de la venta de energía eléctrica a la red nacional, lo cual involucra a los usuarios en la ecuación de la oferta, iniciativa para reducir la demanda del sistema y en un nuevo esquema de negocio. Entonces si un sistema fotovoltaico produce más energía que la necesaria para saciar el consumo energético individual de una vivienda, se permite vender la energía sobrante al sistema de interconexión nacional, de acuerdo al marco legal vigente.

Figura 7. Planta Solar de Figueruelas, Zaragoza.



FUENTE. GENERAL MOTORS COMPANY. Planta solar Figueruelas, Zaragoza

Es tan atractivo el negocio de la energía solar en España, que empresas como la GMC (General Motors Company) decidió implantar la más grande planta solar sobre tejado (ver figura 7), la cual está ubicada en Figueruelas, Zaragoza y cuenta

con 85 000 módulos fotovoltaicos que ocupan 183 000 m² y cuya operación permite disminuir en 6 700 toneladas las emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera. Entre sus características, esta planta posee una capacidad de 70 MW y tendrá una producción anual cercana a los 15,1 millones kW/h, la cual puede abastecer la demanda energética de unos 4 600 hogares españoles [6].

2. MARCO LEGAL

Para incentivar la implementación de proyectos que promuevan la utilización de energías alternativas, que permitan reducir la contaminación ambiental que se produce por las emisiones de gases contaminantes a la atmósfera debido a la utilización de fuentes a base de carbono, algunas naciones han formalizado una serie de leyes y tratados para controlar el uso indebido de los recursos naturales y para reducir el despilfarro de energía eléctrica en instalaciones de uso final. Algunos de los tratados más importantes a nivel mundial y nacional son los siguientes:

- Protocolo de Kyoto
- Convenio de Viena
- Convenio de Basilea
- Norma ISO 50001
- La Ley URE 697 del 2001

2.1 PROTOCOLO DE KYOTO

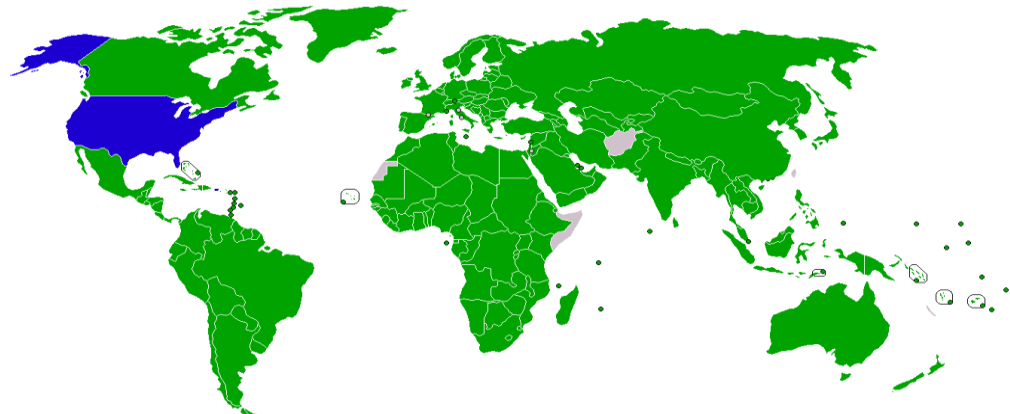
El protocolo de Kyoto es un convenio pactado entre la mayor parte de los países de todo el mundo, con el fin de reducir las emisiones de los principales gases causantes del calentamiento global [7].

Consiste en adoptar estrategias para reducir en un mínimo el 5% las emisiones de gases contaminantes causantes del calentamiento global (dióxido de carbono, de gas metano, de óxido nitroso, de hidrofluorocarbono, de perfluorocarbono y de hexafluoruro de azufre) en el periodo establecido entre el 2008 y el 2012 con respecto al año 1990. Lo anterior no supone que todos los países que firmaron el acuerdo estén comprometidos a reducir en un 5% sus emisiones, ya que los

países industrializados tienen mayor emisión de gases contaminantes que los países tercermundistas. El Protocolo está vigente desde el 16 de febrero del 2005, aunque fue realizado el 11 de diciembre de 1997 en la ciudad de Kyoto, Japón.

La mayoría de países industrializados firmaron y ratificaron el Protocolo de Kyoto con excepción de Estados Unidos, debido a que este país consideró que era un acuerdo que no tenía sentido, debido a que excluía países con altas emisiones de gases contaminantes como la China y la India por ser estados que se encuentran con un alto nivel de industrialización. La Figura 8 muestra el mapa con la inclinación socio-política frente al Protocolo de cada uno de los países del mundo.[7]

Figura 8. Posición del Protocolo de Kyoto a nivel mundial en el año 2009.



Color del País	Posición con respecto al Protocolo de Kyoto
Verde	Firmado y Ratificado
Azul	Firmado pero con ratificación rechazada
Gris	No posicionado

FUENTE. NACIONES UNIDAS. Posición del Protocolo de Kyoto a nivel mundial

El Protocolo de Kyoto define cuáles son las emisiones de gases contaminantes que se deben disminuir, e incluye algunas pautas que se recomiendan para cumplir el objetivo del acuerdo.

La implementación de energías alternativas para la reducción de la contaminación ambiental es un factor importante que se menciona en el acuerdo. Todos los países que ratificaron el tratado, se comprometen a disminuir la contaminación ambiental creada por sus industrias por medio de campañas que sensibilicen a los habitantes sobre la importancia del uso racional y la adopción de las energías alternativas como alternativa para satisfacer su demanda energética [7].

La sustitución de prácticas industriales que con lleven a una alta contaminación ambiental, deben ser reemplazadas por procedimientos que sean amigables con el medio ambiente.

El cumplimiento del protocolo de Kyoto está subordinado a un estudio de la capacidad de emisión de gases a la atmósfera efectuado por cada nación. De este modo a los países con grandes emisiones de gases se les exige de manera más estricta su cumplimiento [7].

Para los países en vía de desarrollo que no poseen un alto índice de emisiones de gases nocivos, el protocolo de Kyoto no exige el cumplimiento de las metas cuantitativas que contiene. Por ejemplo, la república de Argentina en consistencia a lo expuesto en el acuerdo, ratificó el tratado a través de la Ley Nacional 25.438 para lograr una reducción de las emisiones de gases tóxicos o por lo menos evitar su incremento [7].

Sin embargo, este país solo participa en 1 artículo (artículo 12), de los 28 que están propuestos [7].

2.2 CONVENIO DE VIENA

Para mitigar el deterioro ambiental que se advirtió en la década de los 80, la comunidad internacional adoptó en 1985 el Convenio de Viena, para la protección de la capa de ozono y reducir una de las causas del cambio climático global, producto de la contaminación ambiental. Este convenio ayudó y permitió la recuperación de la capa de ozono, por medio de un acuerdo colectivo a escala global y se predice que en un futuro, se podrá recuperar en su totalidad la capa de ozono.

Según estudios realizados por la comunidad científica sobre la reducción de la capa de ozono en los últimos años, ésta debería recuperarse en algunas zonas del globo terráqueo en el año 2049 (exactamente en las latitudes medias que se encuentran 30-60 grados al norte y sur). Por otra parte, se prevé que para el año 2065 estaría recuperada la capa de ozono sobre el Antártico, es decir, 15 años más tarde de la esperada [8].

A pesar que los resultados no se han dado en las fechas que se esperaban, si se ha podido demostrar que el convenio está resultando de gran ayuda para la recuperación y la protección de la capa de ozono [8].

Este convenio es un ejemplo de la voluntad política y las decisiones de alto nivel para el logro de propósitos individuales para las naciones, pero con beneficios a nivel mundial [8].

Para el estudio del comportamiento del deterioro de la capa de ozono en los últimos años, el Convenio de Viena dejó escrito entre las obligaciones generales de las partes, la de cooperar e intercambiar información entre los países que ratificaron el convenio, mediante la sistematización del comportamiento de la capa de ozono, con el fin de comparar cifras y llevar un adecuado control de la contaminación ambiental de manera permanente [8].

Todos los países que acogieron el Convenio de Viena, están comprometidos a realizar una serie de investigaciones y observaciones sistemáticas en pro de la protección de la capa de ozono. Algunas de estas actividades son:

- Investigar sobre los procesos tanto físicos y químicos que pueden afectar la capa de ozono.
- Indagar sobre sustancias y tecnologías alternativas que puedan ayudar a la protección y recuperación de la capa de ozono.
- Observar cualquier modificación en la capa de ozono que pueda alterar el clima terrestre.
- Evaluar los efectos que puedan tener las radiaciones UV-B sobre los seres vivos debido a la reducción de la capa de ozono.

2.3 CONVENIO DE BASILEA

El convenio de Basilea se consolida durante la década de 1980 como una iniciativa para controlar el riesgo de los movimientos transfronterizos de desechos tóxicos entre naciones. Fue aprobado en 1989 y entra en vigencia en 1992.

Se basó en la definición de una serie de procedimientos para el manejo de desechos por parte de las grandes empresas. Tradicionalmente, las empresas enviaban los desperdicios a territorios lejanos, donde eran arrojados en los suelos y ríos afectando el medio ambiente, la salud humana e incluso cobrando vidas humanas y animales.

El convenio fue acogido por 170 países y es un importante esfuerzo para controlar los desechos tóxicos y la eliminación de los mismos.

Para evitar nuevas catástrofes ambientales por la mala disposición final de desechos tóxicos, el Convenio acordó las pautas que se deben seguir para lograr un manejo adecuado de los mismos.

Las partes convocadas en el Convenio, se comprometieron a realizar un estricto control de sus desechos tóxicos y a adoptar mejores prácticas para minimizarlos. Se acordó que cada país debe realizar una serie de estudios para aquellos desechos imposibles de eliminar, con el fin de cuantificar los riesgos para la salud humana.

Adicionalmente compromete a cada nación a dar a conocer los procesos que realiza para la eliminación de los desechos tóxicos producidos por sus industrias y también establece restricciones al transporte de residuos, por medio de procesos que permitan eliminarlos en el mismo lugar donde se producen. Finalmente estableció una serie de inspecciones desde el momento de la generación de los desechos peligrosos hasta su acopio, transporte, reutilización, reciclado, recuperación y disposición final.

De ser necesario el transporte de residuos a otros lugares para su eliminación, se reglamentó una certificación donde se evidencie el transporte seguro de los mismos y la aprobación de la recepción por parte del país que los va a tratar [9].

Actualmente, la Convención de Basilea cuenta con 14 centros de coordinación del convenio ubicados en Argentina, China, Egipto, El Salvador, Rusia, Indonesia, Nigeria, la República Eslovaca, Irán, Samoa, Senegal, Sudáfrica, Trinidad y Tobago y el Uruguay.

2.4 NORMA 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 [10].

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 LEY URE 697 DE 2001

Con respecto al uso racional y eficiente de la energía (URE), Colombia expidió la Ley 697 del 2001 con la cual se busca motivar la adopción de una conciencia colectiva del daño que se logra debido al uso incorrecto de la energía eléctrica. En este propósito se propone la utilización de energías renovables como una

alternativa confiable de abastecimiento de la demanda energética y para disminuir la contaminación ambiental.

La entidad responsable de promover, organizar y asegurar el desarrollo y el seguimiento de los programas del URE es el Ministerio de Minas y Energía.

El objetivo de esta ley es:

- 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 [11].

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.

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 Gobierno Nacional representado por el Ministerio de Minas y Energía 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).

2.6 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.

2.7 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 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.

2.8 NTC 2050 – GENERACIÓN FOTOVOLTAICA

La norma para el diseño y la construcción de instalaciones eléctricas en Colombia es la NTC 2050. Esta en la sección 690 expone los pasos y las indicaciones que se deben llevar a cabo para la adecuada instalación de sistemas solares fotovoltaicos con o sin acumuladores, los cuales pueden ser autónomos o estar interconectados con otra fuente de generación de energía eléctrica.

En cuanto a los sistemas fotovoltaicos autónomos define los componentes necesarios para su instalación (sección 690). Los sistemas solares fotovoltaicos que se encuentran interconectados con otras fuentes de generación de energía eléctrica, se rigen para su adecuada instalación por los ítems de la sección 705.

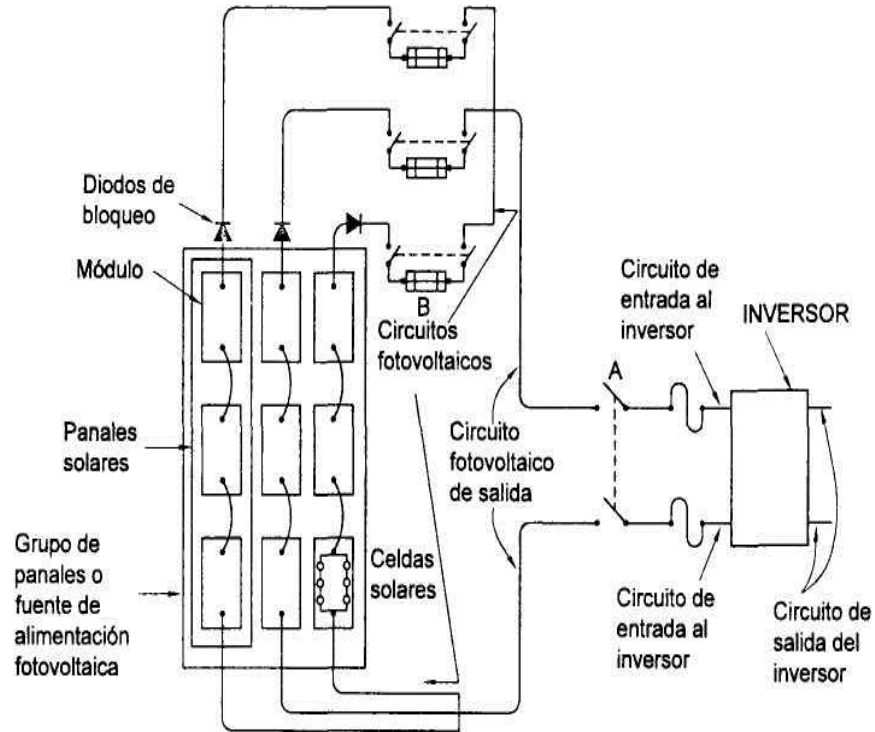
La Figura 9 se muestra el esquema propuesto por la NTC-2050, para la conexión de un sistema solar fotovoltaico sin acumuladores de energía eléctrica.

Aquellos cálculos para el diseño de Sistemas Solares Fotovoltaicos que no aparezcan explícitos en la sección 690 de la NTC-2050, se tomarán según lo indicado en la misma o en secciones anteriores de la norma.

Todos los equipos están dimensionados para fallas por sobretensiones o sobrecorrientes en alguno de sus componentes.

Se deben instalar los equipos de cierta forma que puedan ser retirados para su mantenimiento sin incurrir a daños en el sistema eléctrico.

Figura 9. Sistema Fotovoltaico sin acumulador de Energía Eléctrica.



FUENTE. NTC 2050. Sistema solar fotovoltaico

Conductores

Para la selección de los conductores que se van a utilizar en la instalación de un sistema fotovoltaico, se tiene en cuenta el tipo de superficie, el trabajo o temperatura a la cual estará expuesto.

En los sistemas fotovoltaicos, se permite el uso de conductores que se encuentran en el Código Eléctrico Colombiano siempre y cuando sean para uso en conjuntos fotovoltaicos. Algunos de los conductores para este tipo de sistemas son los siguientes:

- **Cables de conductor sencillo (Unipolares):** Se pueden utilizar cables unipolares de tipo SE, UF y USE, teniendo en cuenta que su instalación

debe ser como los cables multiconductores de tipo UF, según la sección 339 de la NTC-2050.

- **Cables y conductores flexibles:** Se deben utilizar conductores que cumplan con lo expuesto en la sección 400 de la presente Norma, que tengan certificación, que sean resistentes al entorno ambiental en donde se van a instalar (Resistentes al agua y a la luz solar) y que su capacidad de corriente cumpla con lo expuesto en la sección 400-5. Si la temperatura ambiente supera los 30°C, se utilizarán los factores de corrección de la tabla 2.
- **Cables de conductores con sección transversal pequeña:** Se pueden utilizar cables con sección transversal de 1,31 mm² (16 AWG) o 0,82 mm² (18AWG), si cumplen con lo expuesto en la sección 690-8 y sean resistentes a la humedad, el agua y la luz solar.

Tabla 2. Factores de corrección para cables de Sistemas Solares Fotovoltaicos.

Temperatura ambiente °C	Temperatura nominal de los conductores			
	60 °C	75 °C	90 °C	105 °C
30	1,00	1,00	1,00	1,00
31-35	0,91	0,94	0,96	0,97
36-40	0,82	0,88	0,91	0,93
41-45	0,71	0,82	0,87	0,89
46-50	0,58	0,75	0,82	0,86
51-55	0,41	0,67	0,76	0,82
56-60	—	0,58	0,71	0,77
61-70	—	0,33	0,58	0,68
71-80	—	-	0,41	0,58

FUENTE. NTC 2050. Factores de corrección para cables de Sistemas de PFV

Sistema de puesta a tierra y rótulo de equipos

Un sistema fotovoltaico tendrá un sistema de puesta a tierra según lo establece la sección 690-41 de la NTC-2050, donde se explican todos los parámetros a seguir para su instalación. Además todos los equipos estarán rotulados para identificar el tipo de equipo, polaridades y los datos de placa.

Batería de acumuladores

Las baterías utilizadas en los sistemas fotovoltaicos cumplirán con lo expuesto en la sección 480 del Código Eléctrico Colombiano. Las baterías se ubican en sitios especiales que no estén al alcance de las personas para evitar un contacto accidental o anomalías en el funcionamiento del sistema fotovoltaico.

En cuanto al dimensionamiento de las baterías, se tendrá en cuenta la capacidad de descarga y la tensión nominal del sistema, con el fin de escoger el acumulador indicado.

3. COMPONENTES DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA

Los elementos básicos que constituyen un sistema de generación fotovoltaica son los paneles fotovoltaicos, el inversor, el convertidor (en sistemas híbridos), el regulador, las baterías (si se quiere almacenar energía) y las protecciones, entre otros.

3.1 PANEL FOTOVOLTAICO

Es un elemento conformado por un conjunto de celdas encargadas de transformar la energía lumínica en energía eléctrica. Se construyen con materiales especialmente sensibles a la radiación solar, ya que el efecto de conversión resulta de la interacción entre fotones y los átomos que constituyen el material con el que se fabrican.

Físicamente la célula solar es un diodo con una superficie muy amplia, que puede llegar a decenas de centímetros cuadrados. La mayor parte de las células solares que se comercializan en la actualidad son de silicio, un elemento abundante en todo el mundo ya que está presente en la arena (dióxido de silicio, SiO_2).

Las células o celdas solares se fabrican a partir de las planchas de este material. Generalmente, una célula fotovoltaica tiene un grosor que varía entre los 0,25 y los 0,35 mm y de forma generalmente cuadrada, con una superficie aproximada de 100 cm². El proceso de fabricación varía según la eficiencia de conversión que se quiera lograr (rendimiento, flexibilidad, economía): a más pureza, más altos son los costos [12].

Proceso básico de fabricación:

1. En una lámina de material semiconductor puro se introducen elementos químicos llamados dopantes que aun cuando tienen un exceso de electrones no se crea desequilibrio eléctrico (existirá el mismo número de electrones que de neutrones en el total de la aplancha del semiconductor). Convencionalmente se entiende que esta plancha tiene una carga negativa y se la denomina N.
2. Otro componente es una lámina de material semiconductor se hace el mismo proceso pero en esta ocasión con otra sustancia dopante que provoca que haya una ausencia de electrones. Por esta razón se entiende convencionalmente que la plancha tiene una carga positiva y se le denomina P.
3. Al realizar la unión P-N en la cual el exceso de electrones de N se transfiere al otro cristal y ocupan los espacios libres en P. Con este proceso la zona inmediata a la unión queda cargada positivamente en N y negativamente en P creándose un campo eléctrico cuya barrera de potencial impide que continúe el proceso de migración de electrones de una plancha a la otra.

3.1.1 Características eléctricas de los módulos fotovoltaicos

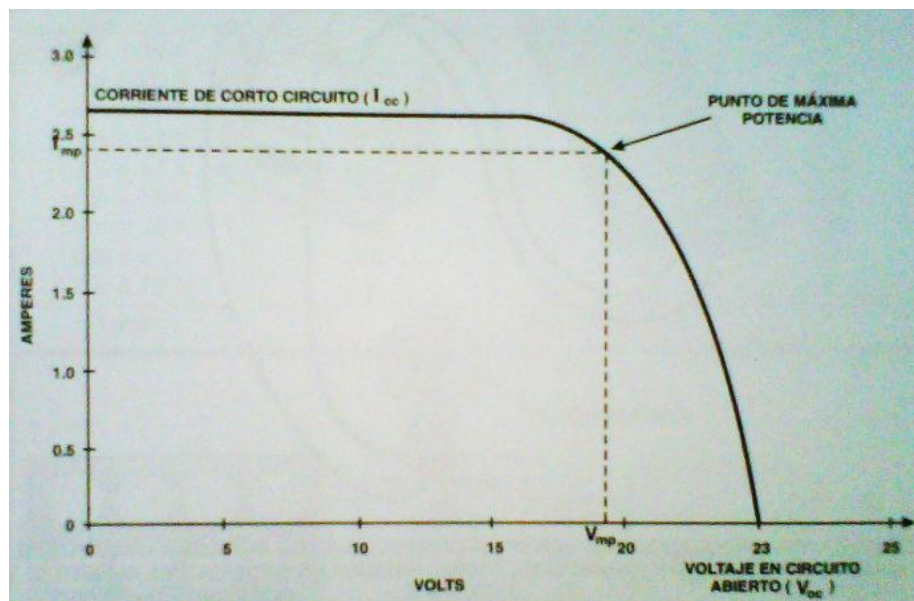
La potencia de un módulo típico de silicio se encuentra en el rango de 40 a 60 watts bajo condiciones estándar de prueba.

Las características más importantes de un módulo son:

- Corriente de corto circuito [A].
- Voltaje de circuito abierto [V].
- Potencia pico nominal [W].
- Corriente [A] y voltaje [V] a potencia pico nominal [W].

Estos parámetros están medidos como función de la temperatura a 25°C e irradiancia 1 000 W/m². La figura 10 muestra la relación corriente-voltaje (I-V) de un paneles fotovoltaicos [13].

Figura 10. Grafica de la Características de operación de un panel fotovoltaico.

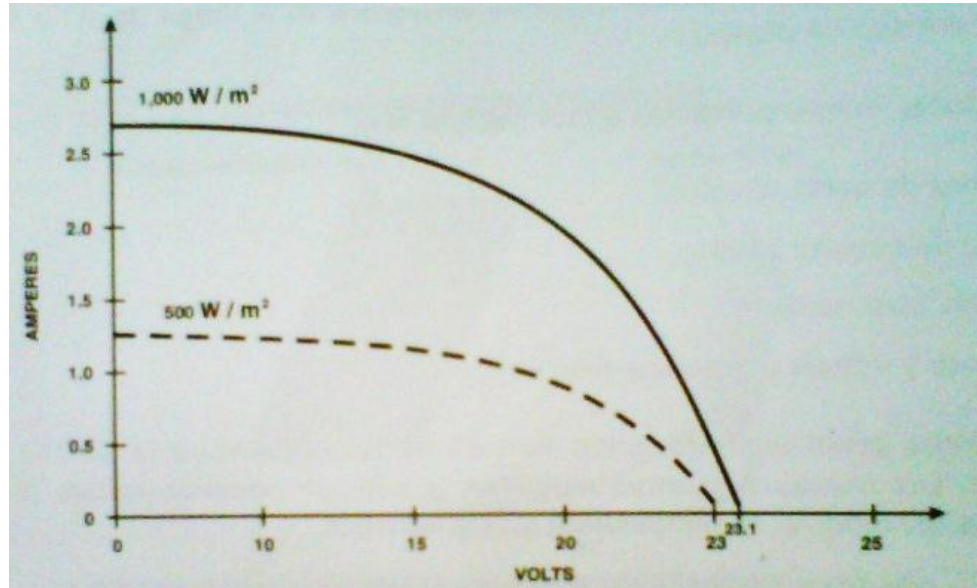


FUENTE. ENRIQUEZHARPER, Gilberto. Energía Solar Para Generación de Potencia Eléctrica 2009.

La corriente de corto circuito en un módulo ocurre en un punto sobre la curva donde el voltaje es cero. El voltaje de circuito abierto ocurre cuando la corriente es cero. El máximo punto de potencia está localizado en la inflexión de la curva.

El comportamiento eléctrico de un módulo varía además con la irradiancia solar. La corriente proporcionada por un módulo fotovoltaico es directamente proporcional a la energía solar recibida. La intensidad aumenta con la radiación, permaneciendo el voltaje más o menos constante; por lo tanto, habrá un aumento de potencia como se muestra en la Figura 11 [12].

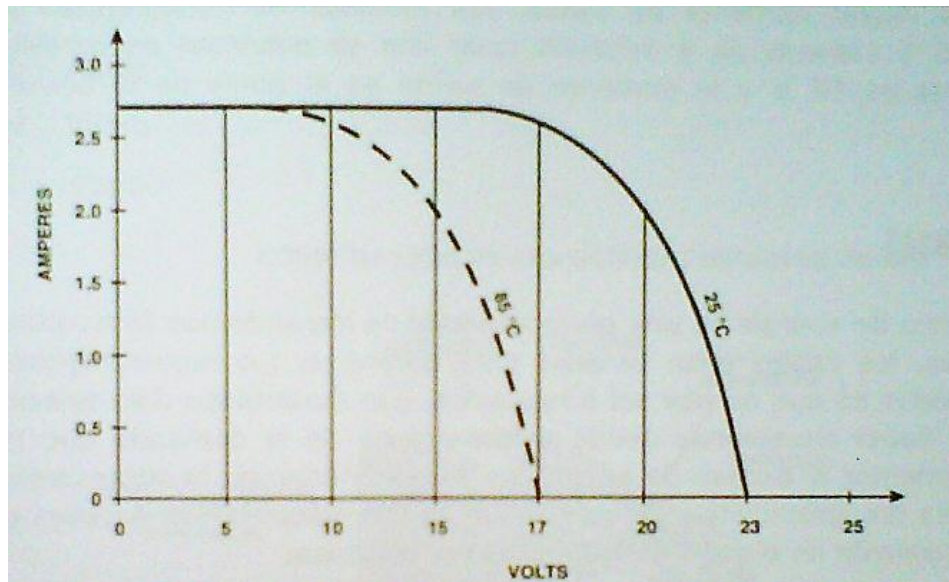
Figura 11. Efecto de la Irradiancia sobre las características eléctricas.



FUENTE. ENRIQUEZHARPER, Gilberto. Energía Solar Para Generación de Potencia Eléctrica 2009.

La exposición al Sol de las células provoca su calentamiento, lo que lleva aparejados los cambios en la producción de electricidad; así, la tensión generada varía de forma inversamente proporcional a la temperatura de las células, sin que esto provoque cambios en la corriente de salida. Altas temperaturas en el módulo reducen el voltaje de 0,04 volt a 0,1 volt por cada grado centígrado que sube la temperatura como podemos observar en la Figura 12. Por esta razón, los paneles fotovoltaicos no deberían ser instalados directamente sobre una superficie, sino que debe permitirse al aire circular por detrás de cada módulo para que su temperatura no se incremente. Es necesario mantener un espacio de 10 cm aproximadamente para proporcionar una ventilación adecuada. La temperatura de las células es superior a la temperatura ambiente, por el calentamiento debido a la radiación solar.

Figura 12. Efecto de la temperatura sobre las características eléctricas del panel fotovoltaico



FUENTE. ENRIQUEZHARPER, Gilberto. Energía Solar Para Generación de Potencia Eléctrica 2009.

La radiación y la temperatura ambiente se suman además otro tipo de variación debidos factores diurnos y estacionarios [10].

3.1.2 Tipos de paneles fotovoltaicos

Los paneles fotovoltaicos se clasifican según los materiales usados en su construcción y según su forma. Según los materiales de construcción se clasifican en paneles fotovoltaicos de silicio puro, silicio monocristalino, silicio policristalino, lámina delgada, silicio amorfo, arseniuro de galio, entre otros. A continuación se explicara los diversos tipos de células utilizadas para la fabricación de paneles fotovoltaicos.

3.1.2.1 Silicio puro

Las células solares de silicio se constituyen de cristales monocristalinos, policristalinos o de silicio amorfo. La diferencia entre ellas radica en la forma como están dispuestos los átomos de silicio en la estructura cristalina.

3.1.2.2 Células de silicio monocristalino

Figura 13. Panel solar fotovoltaico monocristalino.



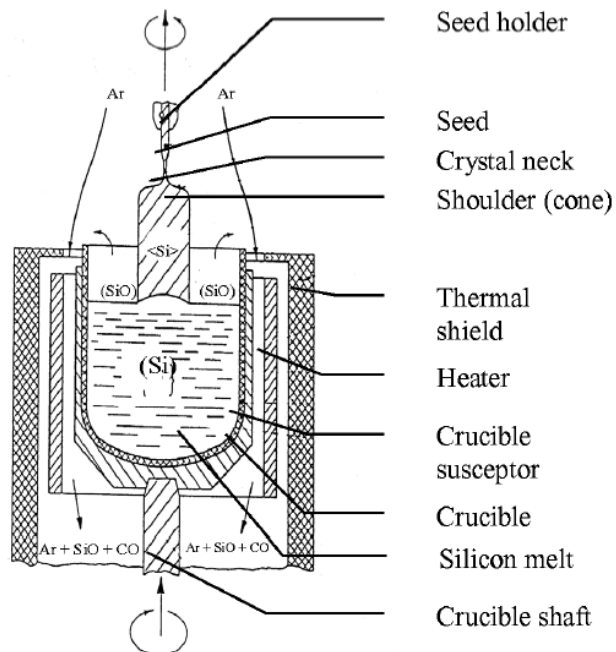
FUENTE. FALK, Antony y DURRSCHNER, Christian y HEINZ, Karl. Fotovoltaica para profesionales.

Son las células solares más eficientes y más robustas de la familia de las células solares fotovoltaicas de silicio (figura 13), pero son las que más energía requieren para su producción. Por esta razón, se han desarrollado otras variedades de células de silicio.

Para producir el silicio monocristalino del material policristalino, el silicio debe ser derretido y recristalizado. Esto se hace por inmersión de un cristal semilla de

silicio en la masa fundida que poco a poco se retira de la masa fundida con un ligero movimiento de torsión (técnica de crecimiento de Czochralski. Figura 14). A medida que el silicio se extrae de la fusión, se alcanza un nivel de pureza un poco mayor ya que las impurezas restantes tienden a quedarse atrás en la fusión. Bajo condiciones controladas para la solidificación y la reposición de la masa fundida, los cristales pueden variar fácilmente su tamaño de 4 a 6 pulgadas de diámetro y 3 a 5 pies de largo y puede variar fácilmente en tamaños mayores [14].

Figura 14. Principio de la técnica de crecimiento de Czochralski.

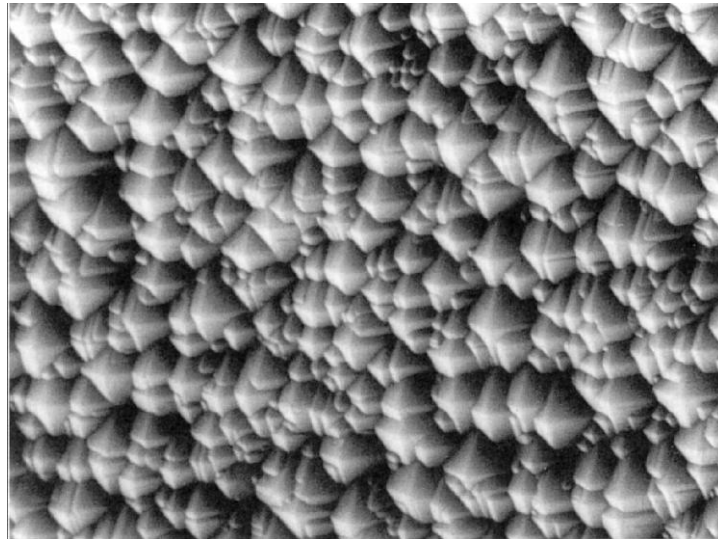


FUENTE. A GOETZBERGER y V.U. HOFFMAN. Solar Cells and Solar Modules

Para producir cristales tipo P o tipo N, se introduce Boro o Arsénico en la fusión en las cantidades necesarias para producir los niveles de dopaje deseado. Otros materiales tipo III o V pueden ser introducidos, pero en general las constantes de difusión o energías de activación de estos materiales son menos deseables desde la perspectiva de rendimiento para los paneles fotovoltaicos.

Se deben usar sierras especiales para cortar los lingotes en obleas. Las obleas circulares son montadas desde un módulo que deja un gran espacio vacío entre ellas, muchas veces los bordes de las obleas se cortan para hacer las obleas más cercanas a la cuadratura. La obleas son de aproximadamente 0.01 pulgadas de espesor y son muy frágiles. El corte causa un daño en la superficie significativa, por lo que la oblea siguiente debe ser grabada químicamente para restaurar la superficie. Es posible preferir un proceso de grabado especial, por lo que después del grabado, la superficie de la oblea es texturizada y está libre de defectos como muestra la figura 15 [14].

Figura 15. Microscopio electrónico de imagen de la oblea de silicio con las pirámides al azar.



FUENTE. A GOETZBERGER y V.U. HOFFMAN. Solar Cells and Solar Modules

El siguiente paso para la producción de una célula de silicio monocristalino es crear la unión PN. Átomos de impureza se difunden en un silicio de una manera similar a la difusión de huecos y electrones en las regiones de la densidad de impurezas no uniforme [14].

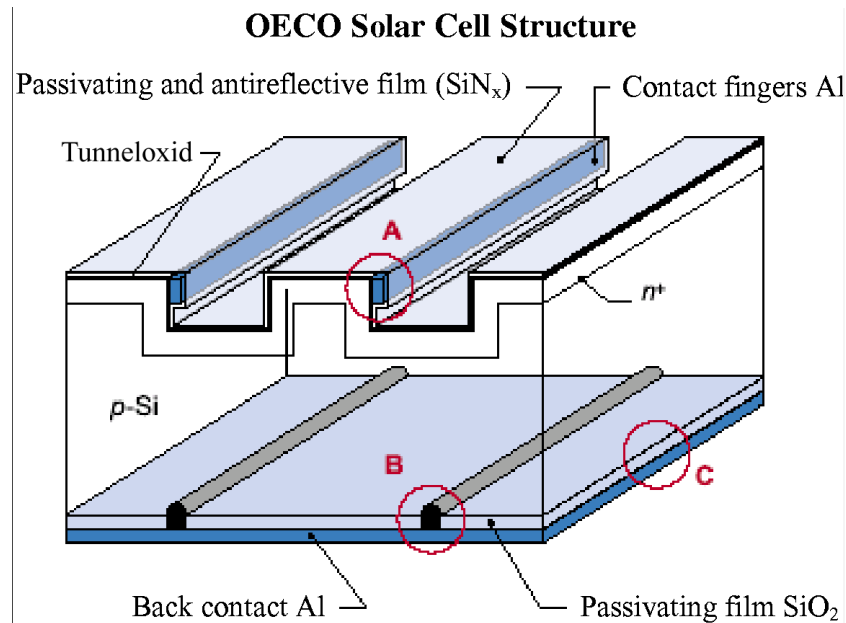
Después de crear la unión PN, el siguiente paso es colocar los contactos en la célula. Si la intención es fabricar contactos que duren todo el tiempo que dura el resto de la célula, entonces es necesario poner contactos de baja resistencia óhmica y que mantenga buen contacto durante los ciclos de temperaturas extremas.

El material de contacto debe prestarse a la unión de los cables de conexión para que la célula se pueda integrar en un módulo.

Después de la colocación de los contactos con el material, una capa antirreflectante debe ser aplicada a la celda, normalmente por la evaporación, ya que el recubrimiento debe ser muy delgado (figura 16). Una capa de cuarto de onda tiene un espesor de aproximadamente $0.15 \mu\text{m}$. Esta capa es normalmente utilizada para lentes fotográficos para incrementar su velocidad por medio de la reducción de la reflexión y simultáneamente incrementando la transmisión. Como la longitud de onda del fotón está relativamente cerca de la restricción de longitud cuarto de onda, la transmisión de más del 90% se puede lograr de la superficie de la célula [14].

Como la película antirreflectiva optimiza la transmisión en solo una única longitud de onda, la superficie texturizada de la célula es cada vez más común para mejorar la captura de la luz sobre todo el espectro.

Figura 16. Película Antirreflectiva evaporada de células fotovoltaicas



FUENTE. A GOETZBERGER y V.U. HOFFMAN. Solar Cells and Solar Modules

3.1.2.3 Células de silicio policristalino

La producción de células de silicio monocristalino es altamente intensiva en cuanto al gasto de energía. La mayor cantidad de la energía de la cual se consume en la producción de la oblea e incluye el desperdicio de Silicio monocristalino al cortar las obleas.

Los materiales son semejantes a los del anterior tipo, salvo que en este caso el proceso de cristalización del silicio es diferente y se parte de planchas policristalinas, que son más económicas. Los paneles policristalinos se basan en secciones más delgadas de una barra de silicio que se ha estructurado desordenadamente en forma de pequeños cristales. Son visualmente muy reconocibles por presentar su superficie un aspecto granulado y color no uniforme como se observa en la Figura 17. Se obtiene con ellos un rendimiento inferior que

con los monocristalinos (en laboratorio del 19.8% y en los módulos comerciales del 14%) siendo su precio también más bajo.

Figura 17. Panel de Silicio Policristalino



FUENTE.FALK, Antony y DURRSCHNER, Christian y HEINZ, Karl. Fotovoltaica para profesionales.

Tanto en este proceso como en el anterior, casi la mitad del silicio se pierde como polvo en el proceso de corte. El método de fabricación determina, en gran parte la forma geométrica de la célula fotovoltaica. Las primeras versiones tenían una sección circular. Versiones más recientes tienen forma cuadrada o casi cuadrada, donde las esquinas tienen vértices a 45°.

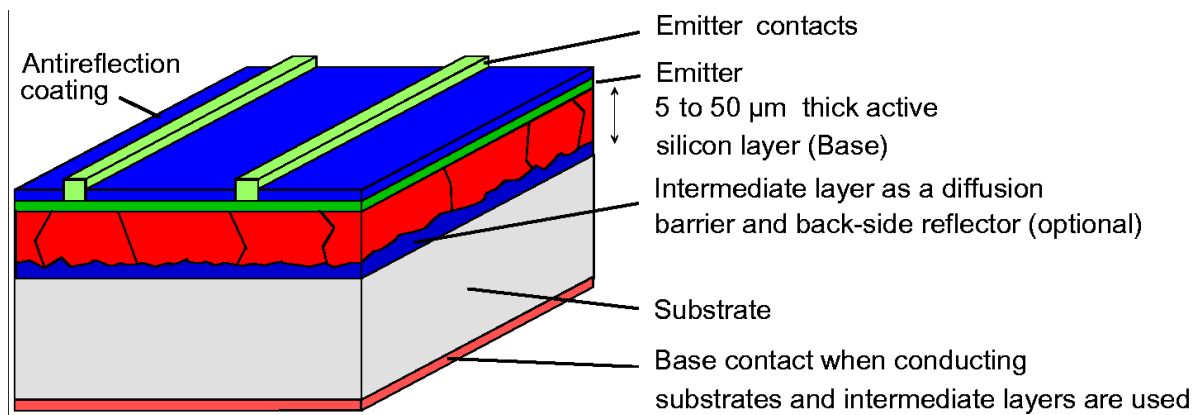
La forma cuadrada permite un mayor compactado dentro del panel fotovoltaico, disminuyendo la superficie que se necesita para colocar un determinado número de células (eficiencia de empaque) [12].

3.1.2.4 Células de lámina delgada

Se consideran como tecnología fotovoltaica de capa delgada a todas aquellas células y módulos en los que la capa activa o absorbente tiene un espesor de unos pocos micrómetros como se muestra en la figura 18.

También llamadas thin-Films. La tecnología de capa delgada, se puede indicar que ha tenido siempre un papel importante en la búsqueda de soluciones fotovoltaicas de bajo costo. Aunque esta tecnología surgió al mismo tiempo que la del silicio cristalino, el desarrollo de ambas no ha alcanzado un estado comparable. En un principio la célula de Sulfuro de Cobre y Sulfuro de Cadmio ($\text{Cu}_2\text{S-CdS}$) fue el dispositivo fotovoltaico en lámina delgada dominante, más tarde se incorporaron otras tecnologías policristalinas de seleniuro de cobre e indio (CuInSe_2 o CIS) y Teluro de Cadmio.

Figura 18. Componentes básicos de un silicio cristalino de película delgada de células solares.



FUENTE.A GOETZBERGERyV.U. HOFFMAN.SolarCells and Solar Modules.

El éxito de los módulos de lámina delgada se debe a la flexibilidad de esta tecnología en cuanto a la forma y tamaño de los módulos, así como al número de

células dentro del módulo, pudiéndose adaptar fácilmente los requisitos técnicos y los aspectos de diseño. Pero las expectativas en la tecnología de capa delgada en los últimos años se basan sobre todo en los valores de eficiencia de conversión que se están alcanzando y en haberse demostrado su estabilidad a largo plazo.

Las tecnologías de capa delgada implican la utilización de materiales tóxicos o que son escasos(en comparación con la cantidad de silicio presente en nuestro planeta), y aunque puedan presentar buenas características fotovoltaicas (aunque las eficacias globales de los módulos son considerablemente inferiores a la de los dispositivos de laboratorio) su uso se ve limitado por el costo producción , que por el momento es la causa principal que limita la penetración en el mercado de esta tecnología, cuya respuesta no satisface a las expectativas del mercado[12].

3.1.2.5 Células de silicio amorfo

El silicio amorfo no posee una estructura cristalina predecible. Sus átomos están localizados más o menos en ángulos y distancias los unos de los otros al azar. Es el resultado de que muchos de los enlaces covalentes en el silicio no fueron completados. Estos enlaces incompletos son los responsables de causar un gran número de estados de impurezas en la banda de valencia y la naturaleza no cristalina del material resulta en muy bajos valores de movilidad de electrones y huecos. La impureza de los estados puede típicamente resultar en la captura de portadores móviles. Por lo que la combinación de estados de impurezas y las propiedades de transporte disminuyeron en un primer momento hizo del silicio amorfo un material semiconductor más pobre [14].

Sin embargo, si el silicio amorfo se deposita de tal manera que contenga una pequeña cantidad de átomos de hidrogeno, estos átomos de hidrogeno saturan muchos de los huecos de la red cristalina, permitiendo así a los electrones moverse a través del silicio. A la vez, el hidrogeno hace posible que el dopaje

proporcione materiales tipo P o tipo N. En cualquier caso, en las regiones P o N obtenidas, la vida media de los portadores de carga es reducida.

Las células de silicio amorfo se obtienen depositando capas delgadas de silicio sobre un sustrato de bajo costo, que puede ser vidrio, plástico o similar, y son de un color marrón homogéneo. El proceso de producción es relativamente simple y barato, y en él se consume poca energía, lo que hace posible la producción de células a gran escala. Tiene dos desventajas: la primera es su baja conversión comparada con las células monocristalinas y policristalinas; la segunda es que las células se ven afectadas por un proceso de degradación en los primeros meses de funcionamiento, reduciendo la eficacia a lo largo de la vida útil. La garantía en este caso puede ser hasta de 10 años, dependiendo del fabricante.

Las células amorfas son utilizadas como una alternativa más económica o cuando se requiere poca electricidad (por ejemplo, alimentación de relojes, calculadoras, luces de emergencia). También se utilizan allí donde se prevé un fuerte calentamiento de los módulos. Sin embargo, el rendimiento es más de dos veces inferior al del silicio cristalino y requiere por tanto mayor superficie para conseguir la misma potencia [12].

3.1.2.6 Células fotovoltaicas de Arseniuro de Galio

El Arseniuro de Galio es un semiconductor idóneo para la fabricación de células solares. Se trata de un material idóneo para la fabricación de células multiunión o tándem. Las cuales están formadas por múltiples películas delgadas cada una constituida por un semiconductor diferente. Las células multiunión de Arseniuro de Galio, son células altamente eficientes que han sido concebidas para ser utilizadas en aplicaciones especiales como satélites, vehículos de exploración espacial, etc., que requieren un alto rendimiento, a la vez que un peso y dimensiones reducidas.

Una célula de triple unión podría estar compuesta, por ejemplo, por GaAs, Ge y GaInP₂.

Cada tipo de semiconductor se caracteriza por una banda de energía, que le hace más sensible a la luz de determinado color, o dicho de manera más precisa, a absorber radiación electromagnética de una determinada región del espectro. En las células multiunión, los semiconductores se escogen cuidadosamente para lograr absorber todo el espectro solar produciendo la máxima electricidad posible.

Las células multiunión de GaAs son las células solares más eficientes hasta la fecha, alcanzando valores superiores al 30 %. También son las más costosas de producir. Esto junto a la toxicidad del Arseniuro de Galio, que puede suponer daños medioambientales, ha limitado su producción a gran escala [12].

3.1.2.7 Células fotovoltaicas de Teluro de Cadmio/Sulfuro de Cadmio (CTS)

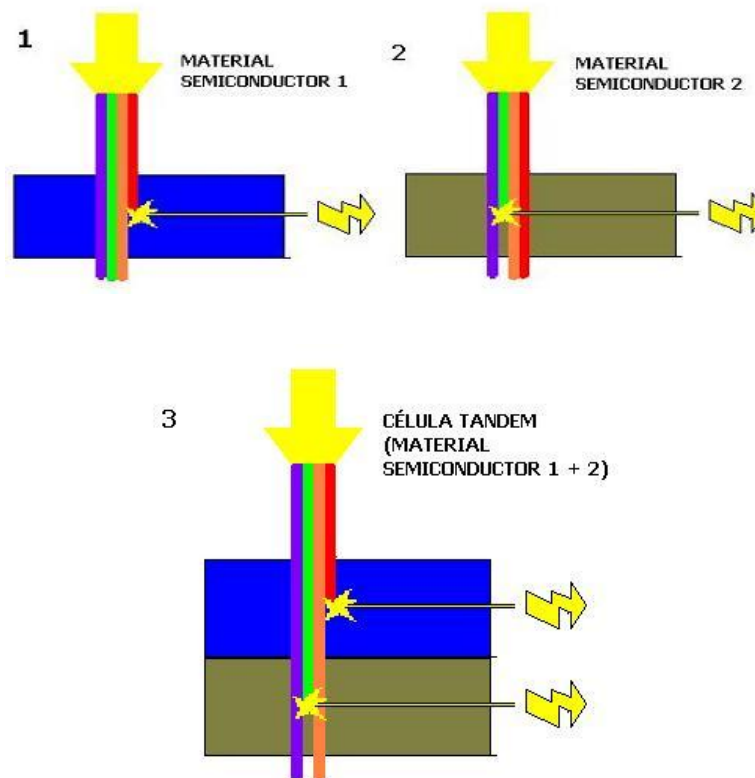
Este semiconductor presenta características muy parecidas a las del Arseniuro de Galio. Las células solares CTS están compuestas por un estrato P de Teluro de Cadmio (CdTe) y un estrato N de Sulfuro de Cadmio (CdS). Estas células se fabrican aplicando diversas técnicas de deposición de materiales, similares a las que se emplean para las células de silicio amorfo, con lo que el costo es más moderado y con las que se obtienen células estables, con unos rendimientos medios cercanos al 8-10%, aunque en el laboratorio se alcanza el 15%. Uno de los problemas que presenta la producción a gran escala es que el Cadmio contenido en las células es tóxico y puede causar problemas medioambientales si no es correctamente utilizado y reciclado.

Otras tecnologías de lámina delgada incluyen lamina delgada de Silicio multicristalino y celdas de Seleniuro de Cobre e indio/Sulfuro de Cadmio [12].

3.1.2.8 Células fotovoltaicas tandem

Existen también los llamados paneles Tándem que combinan dos tipos de materiales semiconductores distintos. Debido a que cada tipo de material aprovecha sólo una parte del espectro electromagnético de la radiación solar (figura 19. 1 y 2), mediante la combinación de dos o tres tipos de materiales es posible aprovechar una mayor parte del mismo (Figura 19. 3). Con este tipo de paneles se ha llegado a lograr rendimientos del 35%. Teóricamente con uniones de 3 materiales podría llegarse hasta rendimientos del 50% [12].

Figura 19. Unión de materiales en las células fotovoltaicas Tandem.



FUENTE. A GOETZBERGER y V.U. HOFFMAN. SolarCells and Solar Modules.

La mayoría de los módulos comercializados actualmente están realizados de silicio monocristalino, policristalino y amorfo. El resto de materiales se emplean para aplicaciones más específicas y son más difíciles de encontrar en el mercado.

Existe una nueva tecnología promisoría. Se trata de un nuevo tipo de panel solar muy fino, muy barato de producir y que según dicen sus desarrolladores presenta el mayor nivel de eficiencia de todos los materiales. Este nuevo tipo de panel está basado en el Cobre Indio Galio Diselenido (CIGS) y se prevé que en un futuro no muy lejano, debido a su competitiva relación entre producción de energía/costo pueda llegar a sustituir a los combustibles fósiles en la producción de energía.

3.1.2.9 Células solares CIGS

CIGS, es el acrónimo en inglés de Copper indium gallium selenide (CuInGaSe_2), un material semiconductor compuesto de Cobre, Indio, Galio y Selenio. Es utilizado sobre todo por su alta eficiencia fotovoltaica para construir paneles solares, y por su menor costo con respecto del silicio.

Ya existen proyectos de investigación para la fabricación de finas láminas semiconductoras que den lugar a pequeños paneles solares flexibles que puedan ser instalados en todo tipo de dispositivos portátiles.

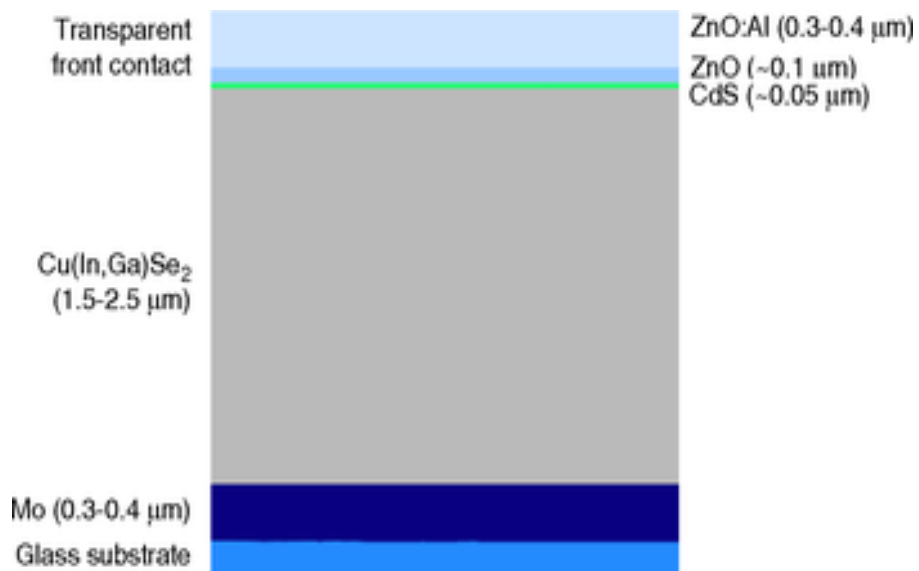
La mejor eficiencia del material lograda hasta el momento es del 19,5%, pero se prevén rendimientos de hasta el 30% en pocos años.

Estructura de una célula solar CIGS de película delgada

La estructura básica de la célula solar de película delgada de $\text{Cu}(\text{In}, \text{Ga})\text{Se}_2$ se muestra en la siguiente figura. El sustrato más común es el vidrio de espesor de 1-3 mm. Este es recubierto por una cara con Molibdeno (Mo), que sirve como el metal para nuevos contactos. La heterounión se forma entre el

CIGS semiconductor y ZnO, separados por una fina capa de CdS y una capa de ZnO intrínseco. La CIGS es dopada con materiales tipo p con defectos intrínsecos, mientras que el ZnO es dopado con un material tipo n en un grado mucho mayor a través de la incorporación de aluminio (Al). Esto hace que el dopaje sea asimétrico en la región de carga espacial que van mucho más allá en el CIGS que en el ZnO.

Figura 20. Estructura de un CIGS de película delgada de células solares



FUENTE. National Renewable Energy Laboratory Colorado, EE.UU.

La producción de los módulos consiste en depositar una serie de bandas paralelas conectadas más una cubierta protectora transparente que se aplica como última capa. Esta construcción en sándwich se sella contra el ingreso de humedad. Algunos métodos de soporte físico es necesario para prevenir la fractura de esta frágil estructura. [15]

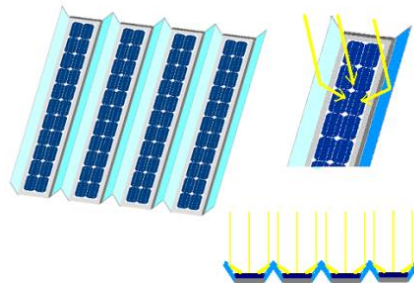
3.1.2.10 Tipos de paneles en función de la forma

También es posible clasificar los tipos de paneles en función de su forma. Empleándose cualquiera de los materiales antes comentados se fabrican paneles en distintos formatos para adaptarse a una aplicación en concreto o bien para lograr un mayor rendimiento. Algunos ejemplos de formas de paneles distintos del clásico plano son:

Paneles fotovoltaicos con sistemas de concentración. Un ejemplo de ellos es el modelo desarrollado por una marca española que se muestra en la Figura 21, el cual mediante una serie de superficies reflectantes concentra la luz sobre los paneles fotovoltaicos. Aunque el porcentaje de conversión no varía, una misma superficie de panel producirá más electricidad ya que recibe una cantidad concentrada de fotones.

Actualmente se investiga en sistemas que concentran la radiación solar por medio de lentes. La concentración de la luz sobre los paneles solares es una de las vías que están desarrollando los fabricantes para lograr aumentar la efectividad de las células fotovoltaicas y bajar los costes.

Figura 21. Panel Solar Fotovoltaico con reflectantes



FUENTE.FALK, Antony y DURRSCHNER, Christian y HEINZ, Karl. Fotovoltaica para profesionales.

Paneles fotovoltaicos de formato “teja o baldosa” (Figura 22). Estos paneles son de tamaño pequeño y pueden combinarse de diversa manera para cubrir grandes superficies como los tejados de las viviendas. Son aptos para cubrir grandes demandas energéticas donde existen grandes superficies de captación.

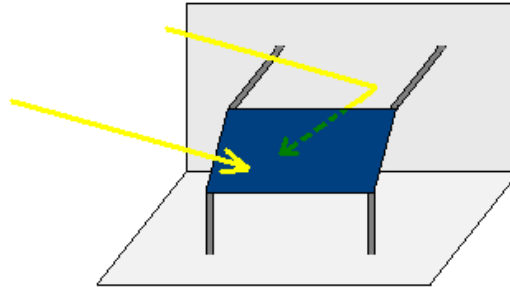
Figura 22. Panel Solar Fotovoltaico de formato de teja



FUENTE.FALK, Antony y DURRSCHNER, Christian y HEINZ, Karl. Fotovoltaica para profesionales.

Paneles bifaciales: Basados en un tipo de panel capaz de transformar en electricidad la radiación solar que le recibe por cualquiera de sus dos caras (Figura 23). Para aprovechar convenientemente esta cualidad se instala sobre dos superficies blancas que reflejan la luz solar hacia el reverso del panel [13].

Figura 23. Paneles Solares Fotovoltaicos Bifaciales



FUENTE.FALK, Antony y DURRSCHNER, Christian y HEINZ, Karl. Fotovoltaica para profesionales.

3.1.3 Sistemas de seguimiento solar

En los sistemas solares fotovoltaicos existe la posibilidad de emplear elementos seguidores del movimiento del Sol que favorezcan y mejoren la captación de la radiación solar.

Existen tres tipos de soporte para los colectores solares:

- Colocación sobre soporte estático-Soporte sencillo sin movimiento: Dependiendo de la latitud de la instalación y de la aplicación que se quiera dar se dotan a los paneles de la inclinación más adecuada para captar la mayor radiación solar posible. Es el sistema más habitual que se encuentra en las instalaciones.
- Sistemas de seguimiento solar de 1 eje: Estos soportes realizan un cierto seguimiento solar. La rotación del soporte se hace por medio de un solo eje, ya sea horizontal, vertical u oblicuo. Este tipo de seguimiento es el más

sencillo y el más económico resultando sin embargo incompleto ya que sólo podrá seguir o la inclinación o el azimut del Sol, pero no ambas a la vez.

- Sistemas de seguimiento solar de dos ejes: Con este sistema ya es posible realizar un seguimiento total del sol en altitud y en azimut y siempre se conseguirá que la radiación solar incida perpendicularmente obteniéndose la mayor captación posible. Existen tres sistemas básicos de regulación del seguimiento del sol por dos ejes:
 - Sistemas mecánicos- El seguimiento se realiza por medio de un motor y de un sistema de engranajes. Dado que la inclinación del Sol varía a lo largo del año es necesario realizar ajustes periódicos, para adaptar el movimiento del soporte
 - Mediante dispositivos de ajuste automático-. El ajuste se realiza por medio de sensores que detectan cuando la radiación no incide perpendicular al panel corrigiéndose la posición por medio de motores.
 - Dispositivos sin motor- Sistemas que mediante la dilatación de determinados gases, su evaporación y el juego de equilibrios logran un seguimiento del Sol.

Con estos sistemas se puede lograr aumentar entre el 30% y el 40% la energía captada. Se hace necesario evaluar el costo del sistema de seguimiento y la ganancia derivada del aumento de la energía para determinar su rentabilidad [12].

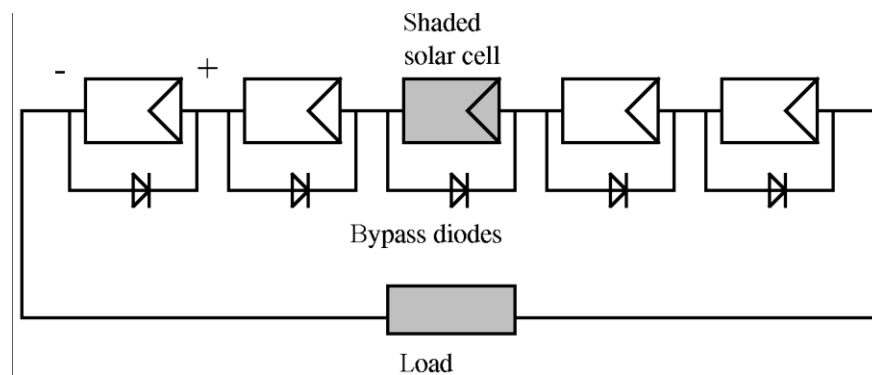
3.1.4 Conexión de los módulos o paneles fotovoltaicos

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.

3.1.4.1 Conexión en serie

Figura 24. Módulos o celdas Fotovoltaicas conectadas en cadena.



FUENTE. A GOETZBERGER y V.U. HOFFMAN. Solar Cells and Solar Modules

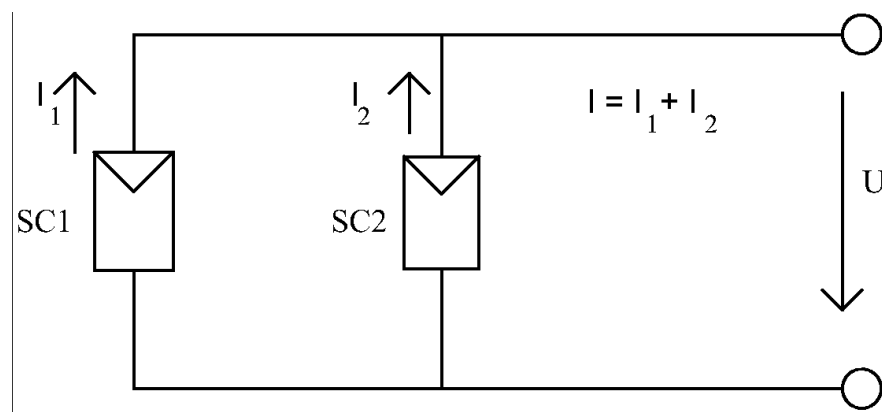
Este tipo de conexión se basa en conectar el terminal positivo de un módulo con el negativo del siguiente, y así sucesivamente hasta completar la serie como se muestra en la Figura 24. Los terminales del grupo generador estarán en el terminal positivo del último módulo conectado y el negativo del primero. 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 módulo, 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. El voltaje de un módulo fotovoltaico puede llegar a ser 1,4 veces el voltaje nominal, cuando funciona en el punto de máxima potencia [12].

3.1.4.2 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 25.

Figura 25. Módulos o celdas Fotovoltaicas conectadas en paralelo.



FUENTE. A GOETZBERGER y V.U. HOFFMAN. Solar Cells and Solar Modules

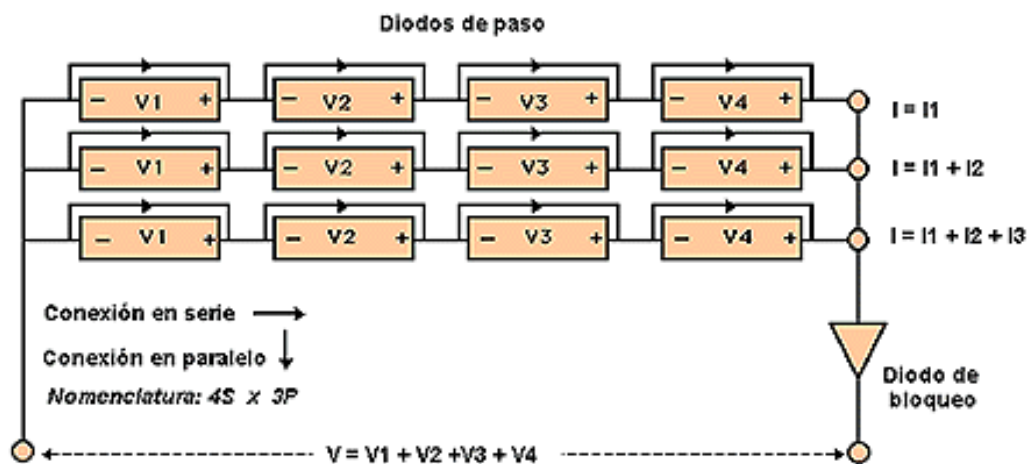
Cuando los módulos se conectan en paralelo, la tensión coincidirá con la que proporcione un solo modulo, pero la intensidad será la suma de las intensidades de todos los módulos, de manera que el aumento de potencia se basa en mantener la potencia de un módulo y la suma de intensidades que proporcionen 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.

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.

3.1.4.3 Conexión Mixta

Figura 26. Conexión mixta de paneles solares fotovoltaicos.



FUENTE. A GOETZBERGER y V.U. HOFFMAN. Solar Cells and Solar Modules

Para satisfacer diferentes necesidades de tensión y potencia, los módulos pueden combinarse en agrupaciones serie-paralelo como se muestra en la Figura 26.

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.

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.

3.2 BATERÍAS

La función prioritaria de las baterías en un sistema de generación fotovoltaico es la de acumular la energía que se produce durante las horas de luminosidad para poder ser utilizada en la noche o durante periodos prolongados de mal tiempo.

Otra importante función de las baterías es la de proveer una intensidad de corriente superior a la que el dispositivo fotovoltaico puede entregar. Tal es el caso de un motor, que en el momento del arranque puede demandar una corriente de 4 a 6 veces su corriente nominal durante unos pocos segundos [12].

3.2.1 Especificaciones Eléctricas

Las especificaciones eléctricas de una batería indican sus condiciones de trabajo. Las principales son: tensión, capacidad y profundidad de descarga.

3.2.1.1 Tensión

La unidad de construcción básica de una batería de plomo –ácido es la celda de 2V. Dentro de la celda, la tensión real de la batería depende de su estado de carga: En general, la tensión de una celda varía entre 1,75 V y 2,5 V, siendo el promedio 2V, tensión que se suele llamar nominal de la celda. Cuando las celdas

de 2V se conectan en serie, las tensiones de las celdas se suman, obteniéndose de esta manera, baterías de 4 V, 6 V, 12 V, etc.

Si las baterías están conectadas en paralelo las tensiones no cambian, pero se sumaran sus capacidades de corriente. Solo se deben conectar en paralelo baterías de igual tensión y capacidad [12].

3.2.1.2 Capacidad

Es la cantidad de energía que puede suministrar la batería a unas condiciones de trabajo dadas. Se expresa en amperios-hora (Ah). La capacidad de almacenaje de energía en una batería depende de la velocidad de descarga. Teóricamente una batería de 200 Ah puede suministrar 200 A durante una hora, o 50 A durante 4 horas, etc. Pero existen factores que pueden hacer variar la capacidad de la batería. En general si la batería se descarga a un nivel más lento, su capacidad aumentara ligeramente, si el ritmo es más rápido la capacidad se reducirá. Cuanto mayor es el tiempo de descarga, mayor es la cantidad de energía que la batería entrega. Las baterías tienen un voltaje nominal que suele ser de 2 V, 6 V, 12 V, 24 V, aunque siempre varíe durante los distintos procesos de operación. Es importante el voltaje de carga, que es la tensión necesaria para vencer la resistencia que opone el acumulador a ser cargado.

La capacidad se ve influenciada por la temperatura de la batería y la de su ambiente. Si una batería se especifica para una temperatura de 25 grados, temperaturas más bajas reducen su capacidad significativamente, y las temperaturas más altas provocarían un ligero aumento en su capacidad, pero esto puede incrementar la pérdida de agua, disminuyendo así el número de ciclos de vida de la batería [12].

3.2.1.3 Profundidad de Descarga

Es la cantidad, expresada en tanto por ciento, que representa el cociente entre la carga extraída y la capacidad nominal de la batería, o sea, lo que se ha descargado de una batería en proceso de descarga. Pueden ser descargas superficiales (20%) o descargas profundas, que llegan al 80%. Para aplicaciones fotovoltaicas se fabrican baterías que soportan descargas de hasta un 80 % de capacidad, sin dañarse.

La profundidad de descarga afecta la vida útil de la batería de forma que cuanto mayor es la descarga, menor es el número de carga de la batería que puede tener. Para la mayoría de los tipos de baterías, un acumulador que queda totalmente descargado, puede quedar dañado seriamente y perder gran parte de su capacidad de carga.

Las baterías deben permanecer en un lugar fresco, bien ventilado y fuera del alcance de los niños y personas inexpertas, ya que son peligrosas [12].

3.2.2 Interacción entre módulos fotovoltaicos y baterías

Normalmente el banco de baterías y los módulos fotovoltaicos trabajan conjuntamente para alimentar las cargas. La siguiente figura muestra cómo se distribuye la entrega de energía a la carga a lo largo del día. Durante la noche toda la energía demandada por la carga la provee el banco de baterías. En horas tempranas de la mañana los módulos comienzan a generar, pero si la corriente que entregan es menor que la que la carga exige, la batería deberá contribuir en el aporte. A partir de una determinada hora de la mañana la energía generada por los módulos fotovoltaicos superada la energía promedio demandada. Los módulos no sólo atenderán la demanda sino que además, todo exceso se almacenara en la batería que empezara a cargarse y a recuperarse de su descarga de la noche anterior. Finalmente durante la tarde, la corriente generada decrece y cualquier

diferencia con la demanda la entrega a la batería. En la noche, la generación es nula y todo el consumo lo afronta la batería [12].

3.2.3 Tipos de Baterías

Dentro de los principales tipos de baterías existen dos grandes grupos que son:

- Baterías de Plomo
- Baterías Selladas

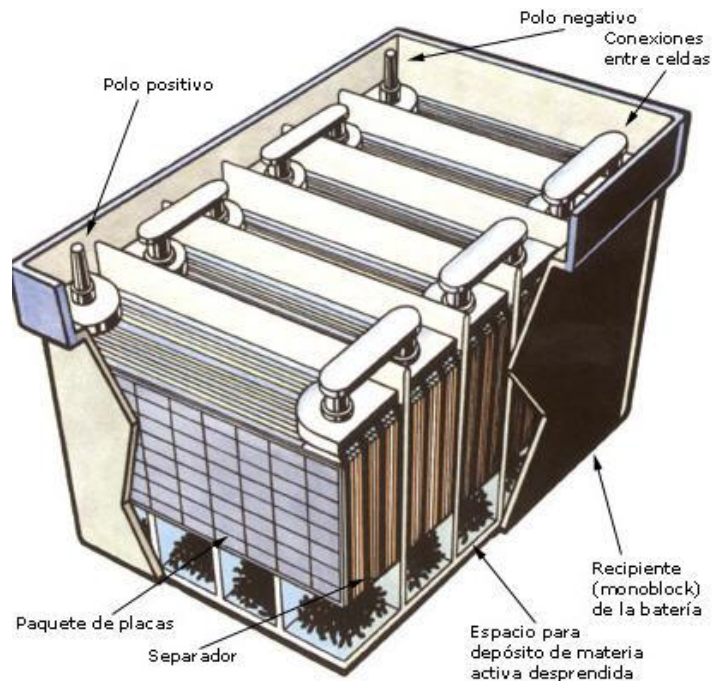
3.2.3.1 Baterías de plomo - ácido de electrolito líquido

Las baterías de plomo - ácido se aplican ampliamente en los sistemas de generación fotovoltaicos. Dentro de la categoría plomo - ácido, las de plomo - antimonio, plomo - selenio y plomo - calcio son las más comunes. La unidad de construcción básica de una batería es la celda de 2 Volts.

Dentro de la celda, la tensión real de la batería depende de su estado de carga, si está cargando, descargando o en circuito abierto. En general, la tensión de una celda varía entre 1,75 Volts y 2,5 Volts, siendo el promedio alrededor de 2 Volts, tensión que se suele llamar nominal de la celda.

Cuando las celdas de 2 Volts se conectan en serie (POSITIVO A NEGATIVO) las tensiones de las celdas se suman, obteniéndose de esta manera, baterías de 4 V, 6 V, 12 V, etc. como se muestra en la Figura 27. Si las baterías están conectadas en paralelo (POSITIVO A POSITIVO Y NEGATIVO A NEGATIVO) las tensiones no cambian, pero se sumaran sus capacidades de corriente. Solo se deben conectar en paralelo baterías de igual tensión y capacidad.

Figura 27. Partes de una batería de Plomo-acido



FUENTE.FALK, Antony y DURRSCHNER, Christian y HEINZ, Karl. Fotovoltaica para profesionales.

Se puede hacer una clasificación de las baterías en base a su capacidad de almacenamiento de energía (medido en Ah a la tensión nominal) y a su ciclo de vida (número de veces en que la batería puede ser descargada y cargada a fondo antes de que se agote su vida útil).

La capacidad de almacenaje de energía de una batería depende de la velocidad de descarga. La capacidad nominal que la caracteriza corresponde a un tiempo de descarga de 10 horas. Cuanto mayor es el tiempo de descarga, mayor es la cantidad de energía que la batería entrega. Un tiempo de descarga típico en sistemas fotovoltaicos es 100 hs. Por ejemplo, una batería que posee una

capacidad de 80 Ah en 10 hs (capacidad nominal) tendrá 100 Ah de capacidad en 100 hs.

Dentro de las baterías de plomo - ácido, las denominadas estacionarias de bajo contenido de antimonio son una buena opción en sistemas fotovoltaicos. Ellas poseen unos 2500 ciclos de vida cuando la profundidad de descarga es de un 20 % (es decir que la batería estará con un 80 % de su carga) y unos 1200 ciclos cuando la profundidad de descarga es del 50 % (batería con 50 % de su carga). Las baterías estacionarias poseen además, una baja auto-descarga (3 % mensual aproximadamente contra un 20 % de una batería de plomo - ácido convencional) y un reducido mantenimiento. Dentro de estas características se encuadran también las baterías de plomo-calcio y plomo- selenio, que poseen una baja resistencia interna, valores despreciables de gasificación y una baja autodescarga [12].

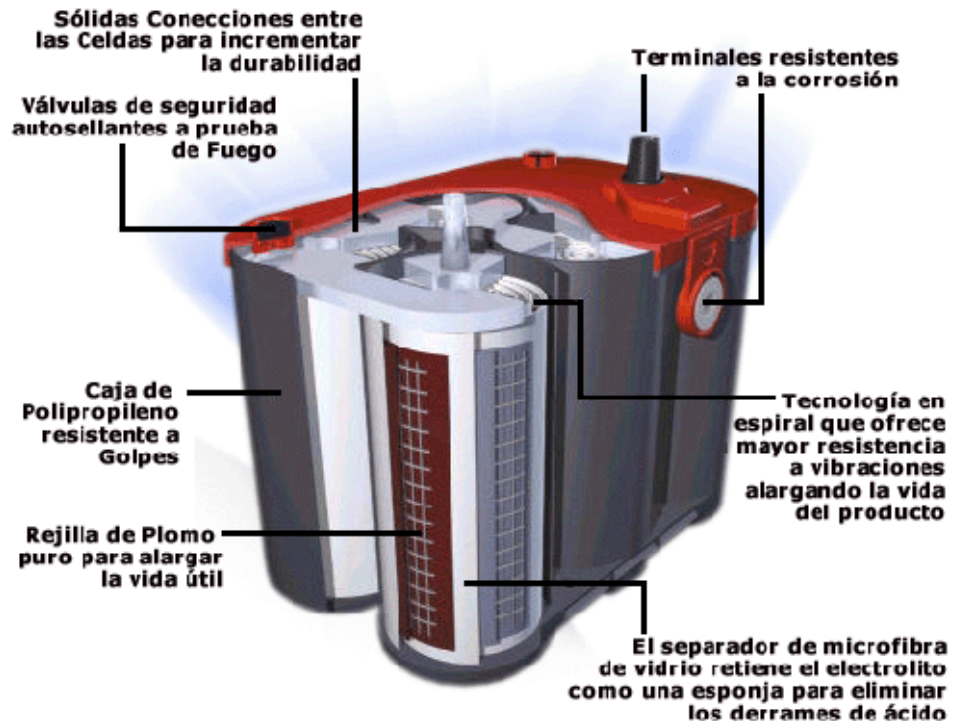
3.2.3.2 Baterías selladas

3.2.3.2.1 Gelificadas

Estas baterías incorporan un electrolito del tipo gel con consistencia que puede variar desde un estado muy denso al de consistencia similar a una jalea. No se derraman, pueden montarse en casi cualquier posición y no admiten descargas profundas.

En la Figura 28 se puede observar que el electrolito se encuentra absorbido en una fibra de vidrio microporoso o en un entramado de fibra polimérica. Al igual que las anteriores no se derraman, admiten cualquier posición y admiten descargas moderadas.

Figura 28. Partes de una batería de Gel.



FUENTE.FALK, Antony y DURRSCHNER, Christian y HEINZ, Karl. Fotovoltaica para profesionales.

Tanto estas baterías como las Gelificadas no requieren mantenimiento en forma de agregado de agua, no desarrollan gases evitando el riesgo de explosión, pero ambas requieren descargas poco profundas durante su vida de servicio [12].

3.2.3.2.2 Níquel – Cadmio

Tienen una estructura física similar a las de plomo-acido. Las placas son de acero inoxidable, con depresiones donde se coloca el material activo, y en lugar de plomo, se utiliza hidróxido de Níquel par las placas positivas y oxido de cadmio para las negativas. El electrolito es hidróxido de Potasio, que forma parte del proceso químico como conducto, y que suele ser una solución acuosa al 20%. Se

requiere una fina capa de aceite en la superficie superior para evitar su oxidación por el oxígeno del ambiente.

Las baterías de Ni-Cd están diseñadas específicamente para aplicaciones fotovoltaicas. El voltaje nominal de un elemento de batería es de 1,2 V, en lugar de 2V de los elementos de las baterías de plomo-acido.

Las baterías de Ni-Cd aguantan procesos de congelación y descongelación sin ningún efecto sobre su comportamiento. Las altas temperaturas tienen menos incidencia que en las de plomo-acido. Los valores de autodescarga oscilan entre 3% y 6% al mes.

Les afectan menos las sobrecargas. Pueden descargarse totalmente sin sufrir daños. Su capacidad para aceptar un ciclo de carga es independiente de la temperatura.

El costo de una batería de Ni-Cd es mucho más elevado que el de una de Plomo-Acido; no obstante tiene un mantenimiento más bajo y una vida más larga, por lo que, en ciertas aplicaciones, su costo por ciclo de vida útil puede resultar más bajo. Esto las hace aconsejables para lugares aislados o de acceso peligroso [12].

Las baterías de Ni-Cd no pueden probarse con la misma fiabilidad que las de Plomo-Acido. Por tanto, si es necesario controlar el estado de carga y reduce su capacidad efectiva. Esto se debe a que el compuesto químico que se forma en una placa cargada tiende a cristalizar, por lo que si se le deja el tiempo suficiente queda inutilizada, perdiéndose capacidad. Este proceso no es irreversible pero si de difícil reversión [12].

Las principales características son:

- 1) El electrolito es alcalino

- 2) Admiten descargas profundas de hasta el 90% de la capacidad nominal
- 3) Bajo coeficiente de autodescarga
- 4) Alto rendimiento ante variaciones extremas de temperatura
- 5) La tensión nominal por elemento es de 1,2 Volts
- 6) Alto rendimiento de absorción de carga (mayor al 80 %)
- 7) Muy alto costo comparado con las baterías ácidas

Al igual que las baterías de plomo - ácido, estas se pueden conseguir en las dos versiones, estándar y selladas, utilizando la más conveniente según la necesidad de mantenimiento admisible para la aplicación prevista. Dado su alto costo, no se justifica su utilización en aplicaciones rurales [12].

3.2.3.2.3 Baterías de Iones de Litio

Las baterías recargables usan reacciones electroquímicas que son eléctricamente reversibles, es decir, Cuando la reacción transcurre en un sentido, se agotan los materiales de la pila mientras se genera una corriente eléctrica. Para que la reacción transcurra en sentido inverso, es necesaria una corriente eléctrica para regenerar los materiales consumidos.

Las baterías recargables vienen en diferentes tamaños y emplean diferentes combinaciones de productos químicos. Las celdas secundarias (batería recargable) utilizadas con más frecuencia son las de plomo-ácido, la de níquel-cadmio (NiCd), la de níquel-metal hidruro (NiMH), la de iones de litio (Li-ion), y la de polímero de iones de litio (polímero de Li-ion).

Las baterías recargables pueden ofrecer beneficios económicos y ambientales en comparación con las pilas desechables. Algunos tipos de baterías recargables están disponibles en los mismos tamaños que los tipos desechables. Aunque las pilas recargables tienen un mayor costo inicial, pueden ser recargadas muchas veces. La selección adecuada de una batería recargable puede reducir los materiales tóxicos desechados en los vertederos, frente a una serie equivalente de pilas de un sólo uso. Por ejemplo, los fabricantes de baterías o pilas recargables de NiMH proclaman una vida de servicio de 100-1000 ciclos de carga/descarga para sus baterías [16].

Hay aplicaciones de almacenamiento de energía en red que emplean baterías recargables industriales para nivelación de carga, almacenando la energía eléctrica durante períodos de carga máxima para su posterior uso, y para aprovechamiento de energías renovables, tales como el almacenamiento de energía generada a partir de paneles fotovoltaicos durante el día para ser utilizada durante la noche. Al cargar las baterías durante los períodos de baja demanda y devolver la energía a la red durante los períodos de alta demanda eléctrica, la nivelación de carga ayuda a eliminar la necesidad de costosas plantas de energía en horas punta y ayuda a amortizar el costo de los generadores durante las horas de más funcionamiento.

3.2.3.2.4 Baterías de Litio de Nanotubos de Carbono

La incorporación de estos elementos permite almacenar cinco veces más energía con relación a otros tipos de baterías. Esto permite contar con baterías dotadas de una mayor autonomía, o sea capaces de funcionar por más tiempo sin necesidad de recargas.

La autonomía es una de las principales limitaciones de las baterías de litio-ion en su aplicación en artefactos electrónicos de todo tipo. Se ha avanzado en la creación de una nueva tipología de baterías de litio-ion, que gracias a la utilización de nanotubos de carbono logran ampliar su capacidad de almacenamiento energético y pueden funcionar así por más tiempo sin requerir recargas.

En una batería de litio-ion con un electrodo positivo compuesto de nanotubos de carbono alcanza una potencia diez veces mayor que una batería convencional, y puede almacenar cinco veces más energía, así como una gran potencia. El litio se almacena en la superficie, pudiendo entrar y salir del electrodo con rapidez, lo que agiliza en gran medida la carga y descarga de la batería.

Además de las ventajas indicadas, como la alta potencia o la mayor capacidad de almacenamiento, los electrodos de nano tubos de carbono mostraron muy buena estabilidad en el tiempo. Después de mil ciclos de carga y descarga aplicados a una batería de pruebas, no se registró ningún cambio perceptible en el rendimiento del material.

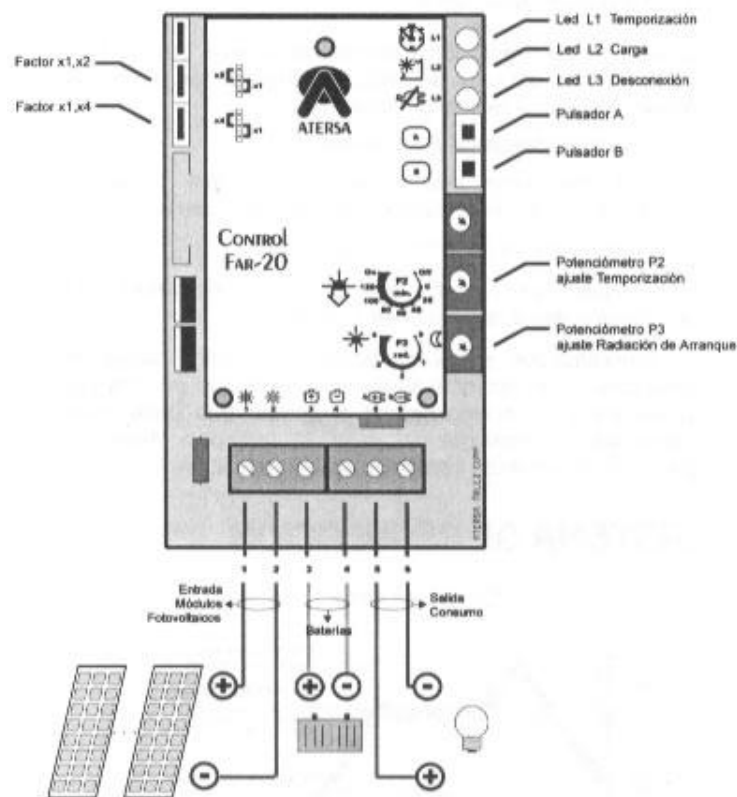
El desarrollo de este tipo de baterías garantizara en un futuro la reducción de tamaño y cantidad de elementos de almacenamiento de energía y muy seguramente una reducción en los costos para la aplicación en sistemas de generación fotovoltaica [17].

3.3 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 ha

alcanzado su carga máxima. Si, una vez que se ha alcanzado la carga máxima, se intenta seguir introduciendo energía, se inicia en la batería procesos de gasificación (hidrólisis del agua en hidrógeno y oxígeno) o de calentamiento, que pueden llegar a ser peligroso y, en cualquier caso, acortaría sensiblemente la vida de la misma [12].

Figura29. Diagrama de un Regulador fotovoltaico.



FUENTE.A GOETZBERGER Y V.U. HOFFMAN.SolarCells and Solar Modules

Otra función del regulador es la prevención de la sobredescarga, 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 V_{oc} 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 las sobredescargas 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.

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. Esto 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 [10]. Los reguladores se pueden clasificar de la siguiente forma:

- Según la tecnología del interruptor: Estos pueden ser de relé electromagnético o de estado sólido (MOSFET, IGBT, etc.).
- Según la estrategia de desconexión del consumo: Pueden ser por tensión, por 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:

3.3.1 Serie

El control de sobrecarga se efectúa interrumpiendo la línea campo de generación-batería, mientras que el control de sobredescarga 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 [18]

3.3.2 Paralelo

El control de sobrecarga se efectúa cortocircuitando el campo generador. Mientras que el control de sobredescarga 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.

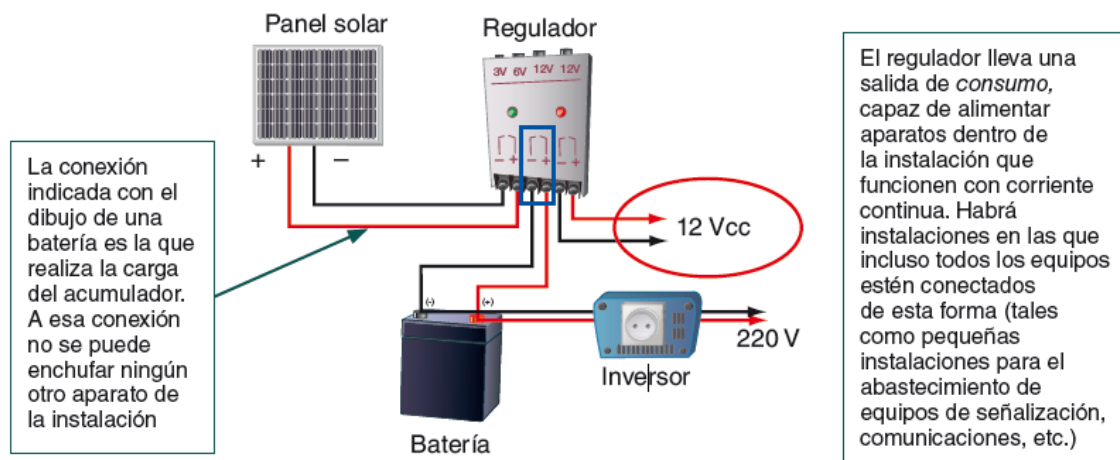
Al igual que en el regulador tipo serie, durante su funcionamiento, el diodo interno genera una pequeña caída de tensión en la línea campo de generación-batería [18].

Los fabricantes proporcionan los valores de trabajo del regulador sobre una hoja 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 30. Esquema de conexión del regulador en un sistema fotovoltaico independiente.



FUENTE.FALK, Antony y DURRSCHNER, Christian y HEINZ, Karl. Fotovoltaica para profesionales

3.4 INVERSOR

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, aunque existen de potencias superiores.

Capacidad de sobredescarga: 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 sobredescarga 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 [18].

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 [18].

4. DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO

PAUTAS A SEGUIR PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO

Para realizar el diseño de un sistema fotovoltaico de acuerdo al propósito de este proyecto se deben seguir los siguientes pasos en su respectivo orden, los cuales fueron escogidos a criterio propio:

- Identificar, medir y calcular el área disponible para la implementación del sistema.
- Realizar los estudios pertinentes para determinar la radiación solar del terreno.
- Determinar el consumo energético que se desea suplir.
- Investigar la inclinación adecuada a la cual se van a colocar los paneles fotovoltaicos para aprovechar al máximo la radiación solar.
- Establecer el área ocupada por cada uno de los equipos que conforman el sistema fotovoltaico, dejando área disponible para el tránsito del personal de supervisión y mantenimiento.
- Dimensionar y escoger los diferentes equipos del sistema fotovoltaico, teniendo en cuenta que sean los más apropiados para obtener la mayor eficiencia y rentabilidad en la generación de energía eléctrica.

Después de efectuar los pasos nombrados anteriormente, se puede proceder a realizar el adecuado dimensionamientos del sistema de generación de energía eléctrica por medio de paneles fotovoltaicos.

4.1 Identificación del área disponible

Para determinar la zona en donde se van a colocar los equipos que conforman el sistema fotovoltaico hay que tener en cuenta su posición, los obstáculos que la

rodean, lo aparatos que se encuentran sobre ella, el tipo de superficie y sobre todo el estado en que se encuentra dicha superficie. Hay que descartar aquellas zonas que a pesar que posean una excelente área para implementar el sistema fotovoltaico, sean superficies que se encuentren en deterioro debido a sus años de construcción.

Figura 31. Obstáculos, equipos y entorno de un área disponible para implementar un sistema de paneles fotovoltaicos.



FUENTE. AUTOR

En la Figura 31 se pueden apreciar los parámetros que hay que tener en cuenta para obtener el área disponible para la implementación del sistema fotovoltaico.

Las zonas que están encerradas con color rojo, indican aquellos aparatos que se encuentran instalados sobre la superficie que se desea tomar para situar el sistema. La identificación de estos aparatos es de gran ayuda, ya que por medio de una medición directa o sobre planos, se puede identificar cuanta área ocupan y la sombra que proporcionan al área total que se está evaluando, datos que hacen que el área disponible de la superficie disminuya.

Las zonas que están encerradas en color verde, indican partes del terreno que son vacíos y que por tal razón no se pueden tener en cuenta para colocar sobre ellas paneles fotovoltaicos, lo cual reduce el área disponible para instalar componentes del sistema.

Aquellas zonas que se encuentran demarcadas en color amarillo dependen directamente de las zonas que se están demarcadas con color morado las pertenecen a las construcciones o vegetación que rodea el área a evaluar, ya que éstas corresponden a la sombra producida por las partes cercadas con color morado. Algunas veces estas zonas se pueden modificar, ya que la vegetación depende de la sombra que produce sobre la superficie donde se desea implementar el sistema fotovoltaico.

Teniendo en cuenta todos los factores mencionados anteriormente, se puede obtener de una manera confiable el área real que se va a utilizar para la implementación del sistema de generación de energía eléctrica por medio de paneles fotovoltaicos.

4.2 Radiación solar del terreno

Debido a que la radiación solar corresponde al conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el sol, esta varía en el planeta dependiendo del lugar donde sea medida, ya que depende de diversos factores, como lo es la

distancia al sol, la inclinación en que se encuentre, su posición geográfica, entre otras.

Para determinar la radiación solar del terreno existen una gran cantidad de instrumentos, los cuales no arrojan los datos en W/m^2 . Algunos de los instrumentos más utilizados en los laboratorios de radiometría son los siguientes [19]:

- **Piroheliómetro:** Mide la radiación directa proveniente del sol, descartando otras componentes de la radiación solar como por ejemplo la radiación solar difusa. Para obtener unos resultados acertados en la medición, el instrumento siempre debe estar apuntando hacia el sol, lo que se logra con la instalación de un sensor.
- **Piranómetro:** Mide la radiación solar global (directa+difusa) que incide en una superficie horizontal. El piranómetro se observa en la Figura 32.

Figura 32. Piranómetro



FUENTE. HUKSEFLUX THERMAL SENSORS

Por motivos de que estos instrumentos son muy costosos y no son tan accesibles para el público en general, es recomendable pedir la radiación solar de la zona en la que se desea realizar el estudio, a los organismos especializados en la recolección de estos datos. En el caso de la capital santandereana se puede acudir a la CDMB, la cual tiene varios puntos de medición de radiación solar, para el área metropolitana de la meseta de Bucaramanga.

Tabla 3. Radiación solar horizontal en la UIS, enero de 2010

Día\Hora	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	[Wh/día]
01-ene-10	19	220	478	674	818	870	529	643	413	430	224	40	5358
02-ene-10	31	221	460	660	802	867	576	617	377	458	224	42	5335
03-ene-10	23	208	452	655	803	871	569	674	309	428	116	50	5158
04-ene-10	24	204	456	660	803	796	468	642	443	459	175	46	5176
05-ene-10	24	200	454	653	804	849	553	567	373	421	211	40	5149
06-ene-10	25	199	433	623	792	618	470	572	359	372	160	53	4676
07-ene-10	28	140	430	628	757	857	509	617	407	336	215	43	4967
08-ene-10	16	201	446	648	791	859	644	687	401	433	278	52	5456
09-ene-10	25	190	439	646	785	846	518	711	316	289	212	35	5012
10-ene-10	23	106	306	627	631	712	599	663	317	204	172	28	4388
11-ene-10	26	201	427	656	713	851	606	385	379	294	115	21	4674
12-ene-10	24	186	427	644	782	882	619	718	374	510	173	18	5357
13-ene-10	29	203	397	615	802	670	549	688	396	435	229	45	5058
14-ene-10	21	194	454	656	805	857	580	767	382	356	79	10	5161
15-ene-10	22	193	453	652	784	875	537	734	388	444	114	21	5217
16-ene-10	21	183	445	645	790	865	595	730	375	458	242	47	5396
17-ene-10	21	193	462	662	820	906	502	693	405	475	202	52	5393
18-ene-10	31	192	435	661	758	868	454	547	405	471	243	52	5117
19-ene-10	19	196	463	669	819	804	472	623	439	445	226	60	5235
20-ene-10	15	190	484	698	841	685	439	567	425	540	285	60	5229
21-ene-10	19	185	458	670	820	843	546	501	465	456	187	24	5174
22-ene-10	28	152	417	563	718	766	565	476	370	275	200	38	4568
23-ene-10	16	62	277	625	692	793	559	476	475	407	196	52	4630
24-ene-10	18	24	29	145	671	797	613	541	472	358	249	56	3973
25-ene-10	17	145	411	635	539	896	533	581	462	362	159	32	4772
26-ene-10	17	107	203	454	510	625	509	567	291	469	229	32	4013
27-ene-10	10	89	348	516	574	817	608	479	328	224	248	92	4333
28-ene-10	25	82	289	644	699	804	594	643	408	416	171	51	4826
29-ene-10	20	154	431	647	812	863	648	784	524	485	272	64	5704
30-ene-10	27	179	424	643	800	845	633	621	470	466	326	80	5514
31-ene-10	19	193	446	655	788	868	608	772	612	505	303	74	5843

FUENTE. AUTOR

En la tabla 3, se puede observar el comportamiento de la incidencia de radiación solar sobre la UIS durante el mes de enero de 2010. Entre las 11 y las 12 de la tarde, se observan los mayores valores de incidencia. Para obtener el valor de incidencia de radiación solar durante todo el día, simplemente se suman todos los valores obtenidos en cada una de las horas del día.

4.3 Consumo energético a suplir

Por medio del conocimiento de la demanda máxima instalada y del consumo de energía eléctrica que nos proporciona el recibo del servicio de energía eléctrica brindado por la electrificadora, podemos saber a ciencia cierta cuál es la cantidad de energía que debemos suplir con el arreglo fotovoltaico.

Se debe tener en cuenta que aquel valor a suplir con la generación de energía eléctrica por medio de los paneles, no es la cantidad de energía que debe generar el sistema, ya que por obvias razones, durante el proceso de generación de energía eléctrica se presentan una serie de pérdidas, lo que va a ocasionar que la energía resultante sea menor que la esperada. Por tal motivo, se diseña un sistema que consuma cierta cantidad adicional a la energía que se desea suplir.

Para obtener la energía que debe generar el sistema fotovoltaico realizamos una aproximación, teniendo en cuenta la siguiente fórmula:

$$E_g = \frac{E_s}{P_b * P_c * P_l} \left[\frac{kWh}{día} \right] \quad (1)$$

Donde:

E_g = Energía generada por el sistema fotovoltaico [kWh/día]

E_s = Energía a suplir por el sistema fotovoltaico [kWh/día]

P_b = Eficiencia de las baterías

P_i = Eficiencia del inversor

P_c = Eficiencia por pérdidas en el cableado

4.4 Inclinación de los paneles fotovoltaicos

Los paneles solares deben orientarse hacia el sol, de tal manera que reciban perpendicularmente la radiación solar. Entonces para lograr la mayor captación de radiación solar, los paneles fotovoltaicos deben inclinarse al mismo ángulo que presente la latitud del lugar donde se instalarán, pero manteniendo un mínimo de inclinación entre 10° y 15° con motivo de proteger los módulos fotovoltaicos de la acumulación de polvo y agua [20].

La orientación de los paneles solares debe ser mirando hacia el sur en caso que se encuentren en un lugar del hemisferio norte, y ubicados hacia el norte en caso de encontrarse en el hemisferio sur.

De acuerdo a lo anterior, Colombia se encuentra en el hemisferio norte con una latitud de $12^\circ 30' 40''$ en Punta Gallinas en la Guajira y $4^\circ 13' 30''$ en las bocas de la quebrada San Antonio en el Amazonas, lo que nos indica que los paneles fotovoltaicos se deben orientar mirando hacia el sur, con un ángulo de inclinación entre 10° y 15° .

4.4.1 Radiación solar en un plano Inclinado

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.

4.4.2 Cálculo del día solar

Es uno de los parámetros necesarios del sitio donde se van a implementar los módulos fotovoltaicos, ya que su valor indica la cantidad aproximada del recurso solar que incide sobre la superficie del terreno.

$$\text{Día Solar} = \frac{R_s}{HPS} [\text{Horas}] \quad (2)$$

Donde,

HPS: Hora Pico Solar equivalente a 1kW/m².

R_s: Radiación solar del terreno en el mes más desfavorable.

4.4.3 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.

$$H_0 = \frac{24}{\pi} * I_{sc} * E_0 * \left[\cos L * \cos \delta * \sin W_s + W_s * \left(\frac{2 * \pi}{360} \right) * \sin L * \sin \delta \right] \quad (3)$$

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.

E₀= 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

4.4.4 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:

$$E_o = 1 + 0.033 * \cos\left(\frac{360 * n}{365}\right) \quad (4)$$

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 [21].

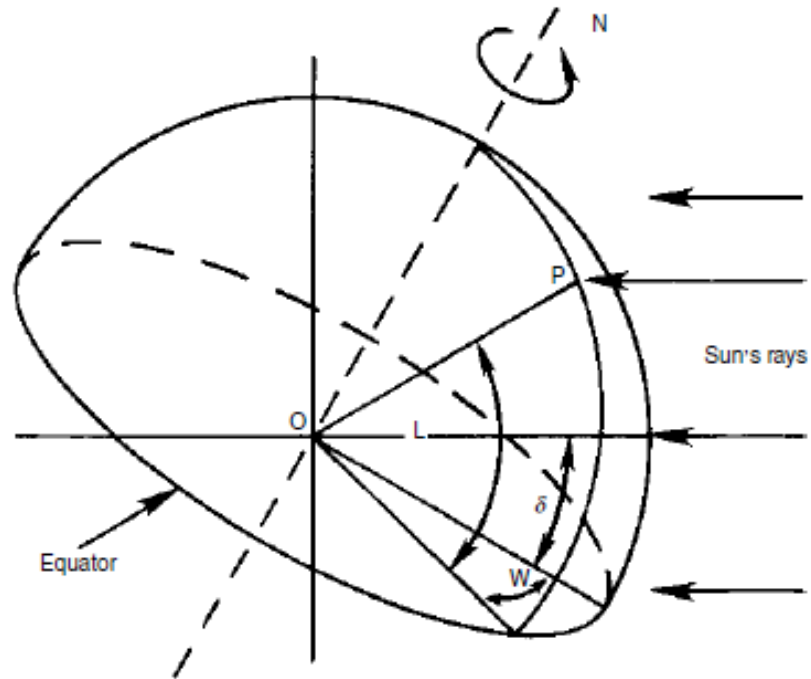
4.4.5 Declinación del Sol δ

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.

$$\delta = 23.45 * \sin\left[\frac{360^\circ * (284 + n)}{365}\right] \quad (5)$$

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

Figura 33. Ángulo de la radiación solar extraterrestre



FUENTE.TWIDELL, John y WEIR, Tony. Renewable Energy Resources

4.4.6 Coeficiente de transparencia de la atmósfera K_t

Se le conoce a K_t 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 K_t tienden a 1 y en un día nublado, los valores de K_t tienden a 0.

$$K_t = \frac{H}{H_0} \quad (6)$$

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:

$$\frac{H_d}{H} = 1.39 - 4.027 * Kt + 5.331 * Kt^2 - 3.108 * Kt^3 \quad (7)$$

$$H_b = H - H_d \quad (8)$$

Donde,

H_d = Radiación difusa

H_b = Radiación directa

H = Radiación global terrestre Horizontal

4.4.7 Cálculo de la radiación en un plano inclinado

La radiación solar en un plano inclinado H_B puede calcularse como

$$H_B = R * H \quad (9)$$

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

$$R = \left(1 - \frac{H_d}{H}\right) * R_B + \frac{H_d}{H} * \left(\frac{1 + \cos \beta}{2}\right) + \rho_g * \left(\frac{1 - \cos \beta}{2}\right) \quad (10)$$

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

$$R_B = \frac{\cos(L - \beta) * \cos \delta * \sin W_s' + \frac{\pi}{180} * W_s' * \sin(L - \beta) * \sin \delta}{\cos L * \cos \delta * \sin W_s + \frac{\pi}{180} * W_s * \sin L * \sin \delta} \quad (11)$$

Donde el ángulo horario W_s está definido por

$$W_s = \cos^{-1}(-\tan L * \tan \delta) \quad (12)$$

Y W_s' está definido por

$$W_s' = \text{mínimo}(W_s, \cos^{-1}(-\tan(L - \beta) * \tan \delta)) \quad (13)$$

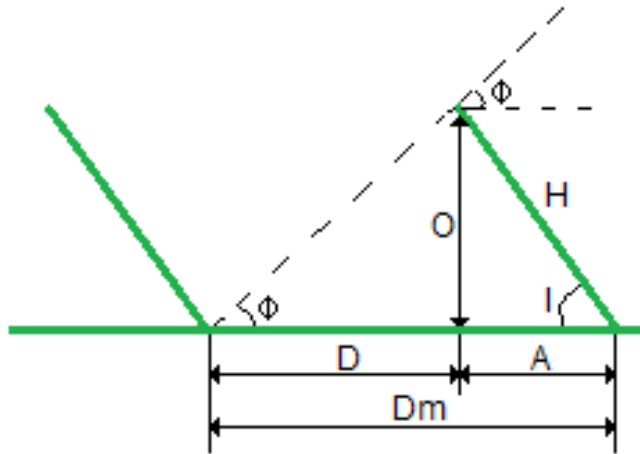
4.5 Área ocupada por el sistema fotovoltaico

De acuerdo al área disponible identificada según lo expuesto en el primer literal de este capítulo, se puede estimar que el área que va a ocupar el sistema de paneles fotovoltaicos oscila entre el 70% y el 80% del área disponible calculada, debido al espacio de reserva que se mantiene para la circulación de personal de supervisión y mantenimiento y para el cuarto de equipos (baterías, los inversores y los reguladores de carga). En algunas edificaciones, el cuarto de equipos se puede construir al costado de la edificación y el área destinada para la implementación del sistema no se afectará por este aspecto. Según las dimensiones de las baterías, los inversores y los reguladores, se pueden ubicar estos equipos en un área promedio de 9 m².

El área resultante, al restar el área de circulación y el área del cuarto de equipos, será utilizada para la ubicación de los módulos fotovoltaicos.

Cantidad de área ocupada por un módulo fotovoltaico

Figura 34. Área ocupada por un PFV



FUENTE. AUTOR

Los paneles fotovoltaicos se instalan inclinados cierto ángulo entonces el área ocupada por cada uno no corresponde a sus dimensiones. Un factor importante al para calcular el área ocupada por cada módulo, es la distancia que se mantiene entre paneles adyacentes, para evitar que un módulo produzca sombra sobre el siguiente módulo, afectando la generación de energía eléctrica.

La figura 34, muestra las distancias que se deben tener en cuenta para la ubicación los paneles solares.

La distancia D_m es la longitud que se debe mantener entre los extremos de cada panel par de paneles adjuntos, para garantizar la captación de los rayos solares, sin afectación de las sombras.

La distancia D_m se calcula de la siguiente manera.

$$D_m = H * \cos I + \frac{H * \sin I}{\tan \phi} \quad (14)$$

Donde

H = Largo del panel fotovoltaico

I = Inclinación del panel fotovoltaico

Φ = Mínimo valor del ángulo horario

Conocida la distancia D_m , se calcula el área ocupada por cada panel solar (Se toma a D_m como si fuera la longitud del panel), multiplicando el ancho del panel por D_m .

De esta manera se puede cuantificar el número de paneles fotovoltaicos que se pueden ubicar el área disponible para este fin.

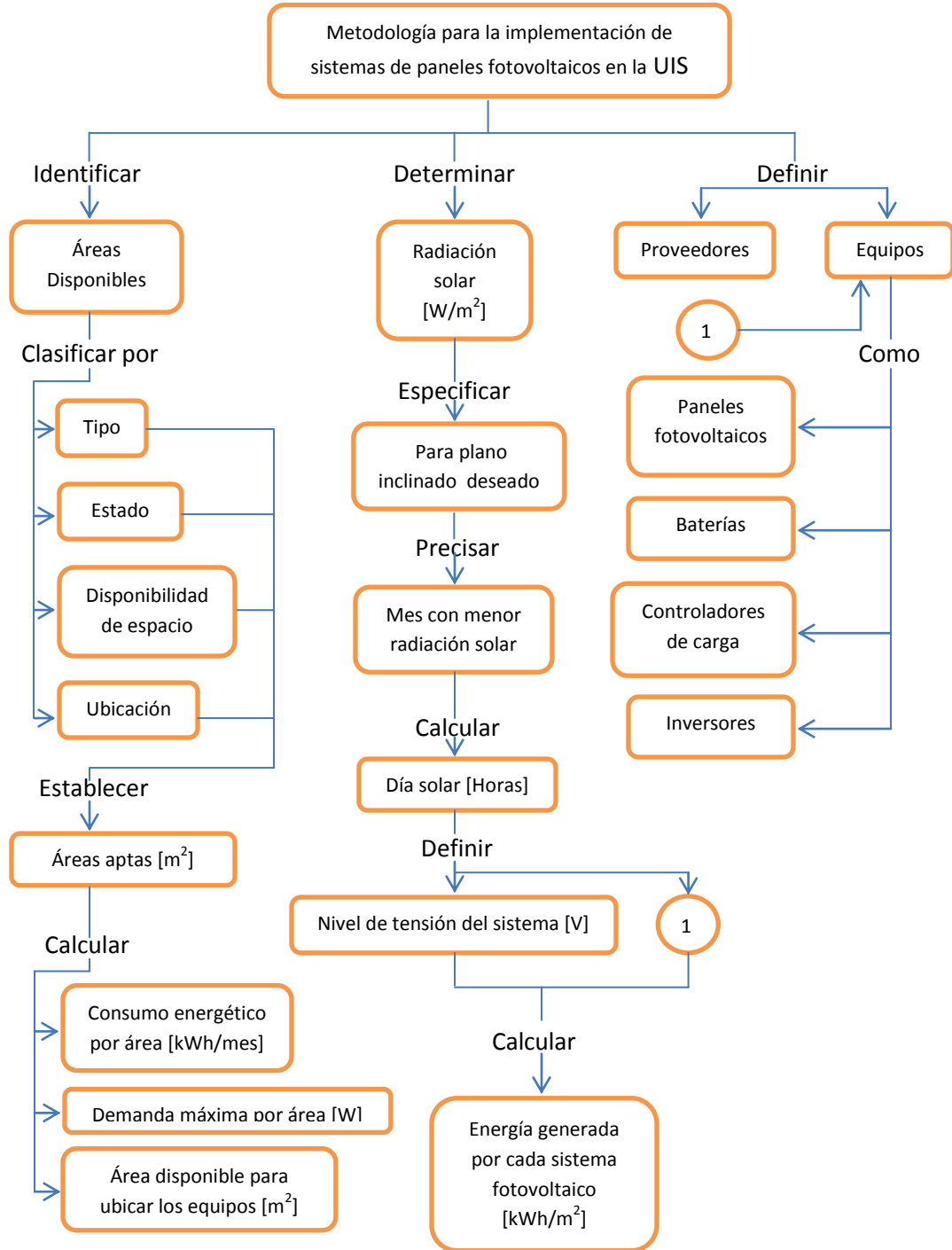
4.6 Dimensionamiento de los equipos

Para dimensionar los equipos que conforman el sistema fotovoltaico, se aplicará la metodología indicada en el diagrama conceptual de la Figura 35. Allí se observan paso a paso las pautas y los aspectos principales para la selección de los equipos.

Entonces para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico, se siguen los siguientes pasos:

- Selección del nivel de tensión del sistema
- Cálculo de los paneles fotovoltaicos
- Cálculo de los acumuladores o baterías
- Cálculo del controlador de carga
- Cálculo de los inversores

Figura 35. Metodología para implementar Paneles Fotovoltaicos en la UIS



FUENTE. AUTOR

4.6.1 Selección del nivel de tensión del sistema

Para seleccionar el nivel de tensión del sistema, se tiene en cuenta la tensión requerida por las cargas y la corriente total, con el propósito de dimensionar equipos que soporten y que trabajen adecuadamente en conjunto. Si se trata de sistemas de corriente continua, la tensión nominal será la de carga que opera a mayor tensión. Si se trata de un sistema de corriente alterna, la tensión nominal se escoge de acuerdo al inversor que se vaya a utilizar. Es recomendable diseñar el sistema para corrientes entre los 20 [A] y los 100 [A], con el fin de poder elegir el cableado del sistema de una manera más práctica. La Tabla 4 expone los niveles nominales de tensión de acuerdo a la potencia del sistema.

Tabla 4. Tensiones nominales del sistema

Potencia [W]	V_n [V _{dc}] voltaje de entrada al inversor
<1.500	12
1.500-5.000	24-48
>5.000	48-120

FUENTE. KREITH, Frank y WEST, Ronald, CRC Handbook of energy efficiency

4.6.2 Cálculo de los paneles fotovoltaicos

En este proyecto no se calculó el número de paneles se necesitan para suplir la demanda de energía de las edificaciones, sino la cantidad de energía que se produciría con el total de paneles ubicados en las áreas disponibles. Al realizar el procedimiento de esta manera, puede ocurrir que la energía que se genera sea la necesaria para abastecer el consumo de energía eléctrica, o puede ser insuficiente para el abastecimiento de este consumo, en cuyo caso el consumo energético, se mantiene la alimentación de las cargas por medio de la energía eléctrica convencional.

Para calcular el total de la energía que se puede generar con el arreglo fotovoltaico, es necesario obtener la cantidad de energía producida por un panel fotovoltaico en el transcurso de un día. Esta energía es equivalente a la energía que se generará en las horas pico, si el panel trabajara a potencia nominal. Este es el principal parámetro que describe el funcionamiento de un panel fotovoltaico.

De acuerdo a lo anterior, la energía total generada por todo el arreglo fotovoltaico está definida como:

$$E_g = 0,9 * N_p * W_p * D_s \quad (15)$$

Donde

N_p = Número de paneles instalados

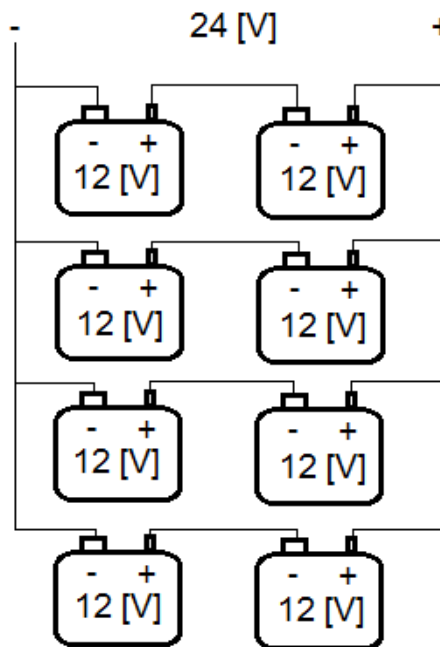
W_p = potencia nominal del panel

D_s = Día solar

4.6.3 Cálculo de los acumuladores o baterías

Para calcular el número total de baterías que se deben utilizar para almacenar la energía que generan los paneles fotovoltaicos se tiene en cuenta inicialmente la tensión nominal del sistema, debido a que de esta depende la manera como se deben conectar los acumuladores. Por ejemplo, un sistema con tensión nominal de 24 [V] y 8 baterías de 12 [V], requiere la conexión de 4 grupos de 2 baterías, lo que daría 4 grupos de 2 dos baterías en serie conectados entre sí paralelo. Esto con el fin de obtener el valor de tensión nominal del sistema. La Figura 36 muestra lo expuesto anteriormente.

Figura 36. Sistema fotovoltaico de 24 [V], con baterías de 12 [V]



FUENTE. AUTOR

Para calcular el número de baterías que se requiere para almacenar la energía generada se realizan los siguientes cálculos:

$$C = \frac{E_g * N}{V * P_d} \quad (16)$$

Donde

C = Capacidad del banco de baterías [kAh]

N = días de autonomía

V = Voltaje nominal del sistema

P_d = Profundidad de descarga permitida

Con la capacidad del banco de baterías, se calcula el número de baterías que se deben utilizar.

$$N_b = \frac{C}{C_{Batería}} \quad (17)$$

Donde

$C_{Batería}$ = Capacidad de la batería elegida [kWh]

N_b = Número de baterías a utilizar

4.6.4 Cálculo de los controladores de carga

Los controladores de carga se escogen de acuerdo a la tensión nominal del sistema y a la corriente de cortocircuito de los paneles fotovoltaicos. Por ejemplo, un sistema fotovoltaico de 10 paneles de 24 [V], 100 W_p y 8 [A] de corriente de COCI, requiere un controlador de carga de mínimo 40 [A], 48 [V], puesto que los paneles se colocan en grupos de 2 para alcanzar los 48 [V] de tensión nominal del sistema, lo que hace que el sistema tenga una corriente máxima de COCI de 40 [A]. Si no se logra dimensionar un controlador de carga que posea esta capacidad de corriente, es necesario dividir el sistema fotovoltaico en varias partes para utilizar una serie de controladores de carga con menos capacidad de corriente. La figura 37 muestra cómo debe ser la conexión de un grupo de controladores de carga de 25 [A], para el sistema fotovoltaico mencionado anteriormente.

De la siguiente manera se calcula la cantidad de controladores de carga necesarios para un determinado sistema fotovoltaico:

$$N_C = \frac{\frac{N_p}{N_{ps}} * I_{COCI p}}{I_{Controlador}} \quad (19)$$

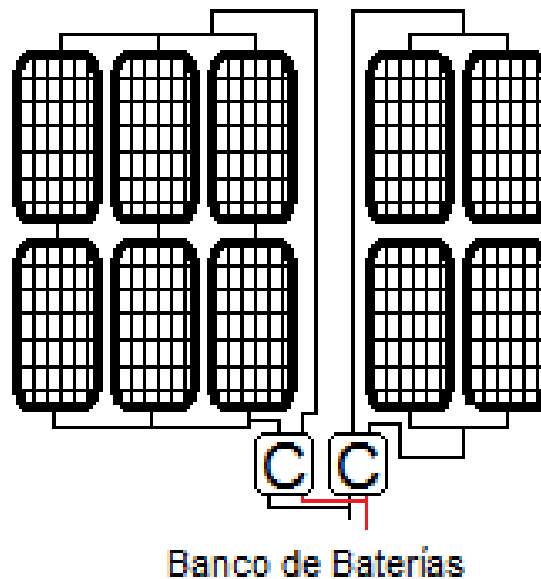
Donde

N_{ps} = Número de paneles en serie

I_{COCI_p} = Corriente de corto circuito del panel

$I_{Controlador}$ = Corriente del controlador a utilizar

Figura 37. Controladores de carga conectados a un sistema de PFV



FUENTE, AUTOR

4.6.5 Cálculo de los Inversores

Para calcular la capacidad de los inversores se requiere conocer la demanda máxima instalada en la edificación, puesto que ese valor determina cuántos inversores se deben utilizar en el sistema fotovoltaico.

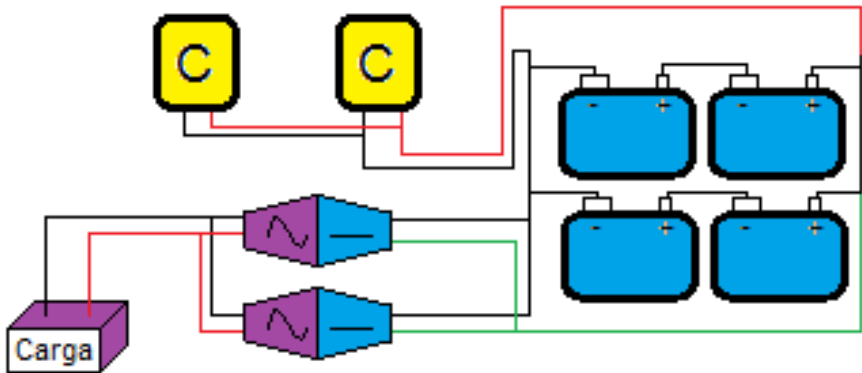
De acuerdo a lo anterior, la cantidad de inversores es definida por:

$$N_I = \frac{\text{Potencia máxima instalada}}{\text{Potencia del inversor a utilizar}} \quad (19)$$

Donde N_I es el número de inversores que se deben utilizar en el sistema de PFV.

Los inversores se conectan directamente a las baterías y a los controladores de carga. Cuando las baterías se encuentren cargadas, la energía eléctrica pasa directamente de los controladores de carga a los inversores sin pasar por las baterías. La Figura 38 muestra esta conexión.

Figura 38. Conexión del inversor



FUENTE. AUTOR

5. CARACTERIZACIÓN DE SISTEMAS DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA POR MEDIO DE PANELES FOTOVOLTAICOS EN LA SEDE CENTRAL DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

La Universidad Industrial de Santander tiene como visión general para el 2018 haber contribuido al crecimiento regional, por medio de la formación de talento humano y la puesta en marcha de proyectos innovadores de investigación, lo que dará resultado al mejoramiento en la calidad de vida y la alta competitividad de los profesionales de la región[22].

En cumplimiento con los lineamientos que se deben seguir para alcanzar esta visión, este trabajo es una importante aproximación para implementar un proyecto de generación de energía eléctrica por medio de paneles fotovoltaicos en la sede principal de la UIS, teniendo en cuenta que este tipo de proyectos, hará que la ciudad de Bucaramanga en un futuro se convierta en una ciudad sostenible, mejorando la calidad de vida para sus habitantes y por ende aportando a la disminución de emisiones de gases tóxicos a la atmósfera.

Para la realización de este proyecto, se exponen a continuación cuatro etapas fundamentales, en las que se describen los aspectos importantes a realizar, en la implementación del sistema fotovoltaico en la UIS (Universidad Industrial de Santander).

1. Establecer la incidencia de radiación solar en la meseta de Bucaramanga.
2. Definir las áreas disponibles para la implementación de sistemas de paneles fotovoltaicos en las edificaciones y zonas endurecidas de la universidad, a partir de las características que debe presentar una zona para la implementación de paneles fotovoltaicos

3. Seleccionar entre los diferentes tipos de tecnologías de paneles fotovoltaicos la más adecuada para instalar en cada una de las áreas establecidas, teniendo en cuenta la ubicación y eficiencia de cada una de las alternativas.
4. Consolidar los potenciales de generación de energía eléctrica por edificaciones y áreas disponibles.

5.1 INCIDENCIA DE RADIACIÓN SOLAR EN LA MESETA DE BUCARAMANGA

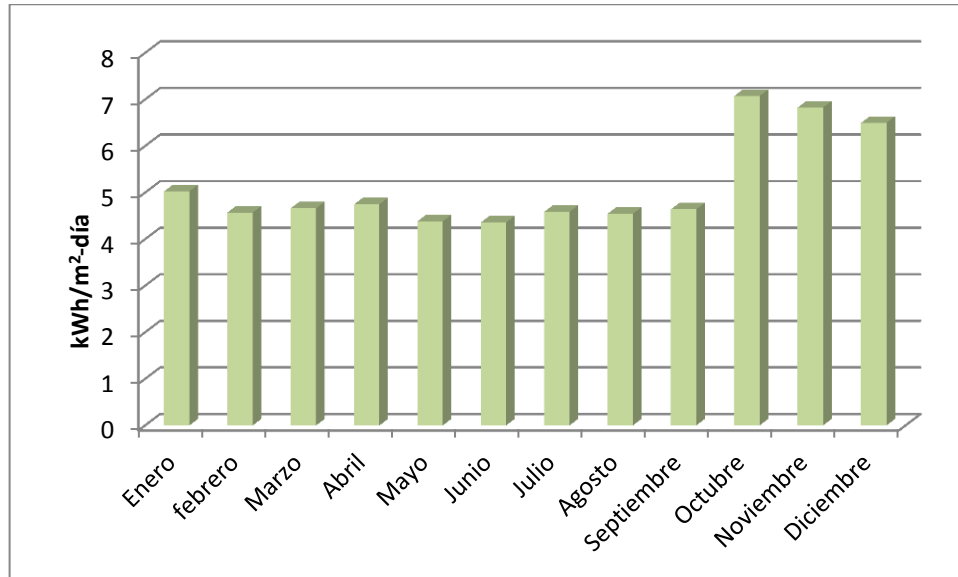
De acuerdo a lo expuesto en el capítulo 4, la radiación solar en la meseta de Bucaramanga se puede obtener de diferentes fuentes. En este caso se tomó como referencia la información suministrada por la CDMB, cuyo registro histórico existe desde el año 2001.

Se toman los datos recopilados durante el año 2010, debido a que es el último año con datos completos durante los 365 días y esto permite realizar un estudio más preciso.

5.1.1 Radiación solar horizontal

La Figura 39 muestra el comportamiento de la radiación solar horizontal en la meseta de Bucaramanga, durante todos los meses del año 2010. Durante la mayoría de los meses del año se presenta una radiación solar horizontal constante a excepción de los meses de octubre, noviembre y diciembre, en los cuales los valores de radiación solar se incrementan de manera considerable (tal como se observa en la Figura 39), lo que puede ser consecuencia de los cambios climáticos que se han venido presentando desde finales del año 2010 hasta la fecha. De este modo se puede concluir que las emisiones de gases contaminantes a la atmósfera posiblemente han afectado el clima global.

Figura 39. Radiación solar horizontal año 2010



FUENTE. AUTOR

Según los datos recopilados por la CDMB con respecto a la radiación solar horizontal durante el año 2010 en la meseta de Bucaramanga(Figura 39), la capital santandereana presenta una buena radiación solar, lo cual supone un buen precedente para la implementación de sistemas fotovoltaicos.

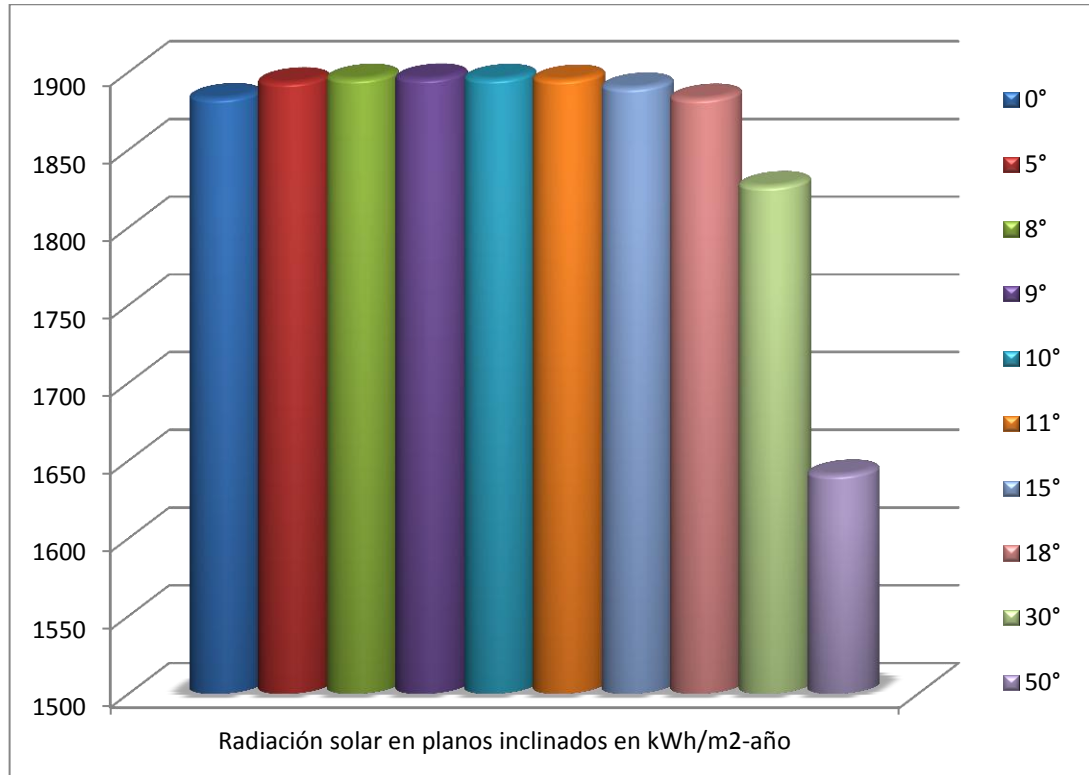
5.1.2 Radiación solar en un plano Inclinado

Al obtener los valores de la radiación solar horizontal en Bucaramanga, se pueden calcular los valores de radiación solar para un plano inclinado según como se expuso en el capítulo 4.

Posteriormente, se calcula el ángulo de inclinación de los módulos fotovoltaicos para lograr la mayor captación de radiación solar.

Según las fórmulas expuestas en el capítulo 4, los datos de la radiación solar en planos inclinados a distintos ángulos son los que se muestran en la Figura 40.

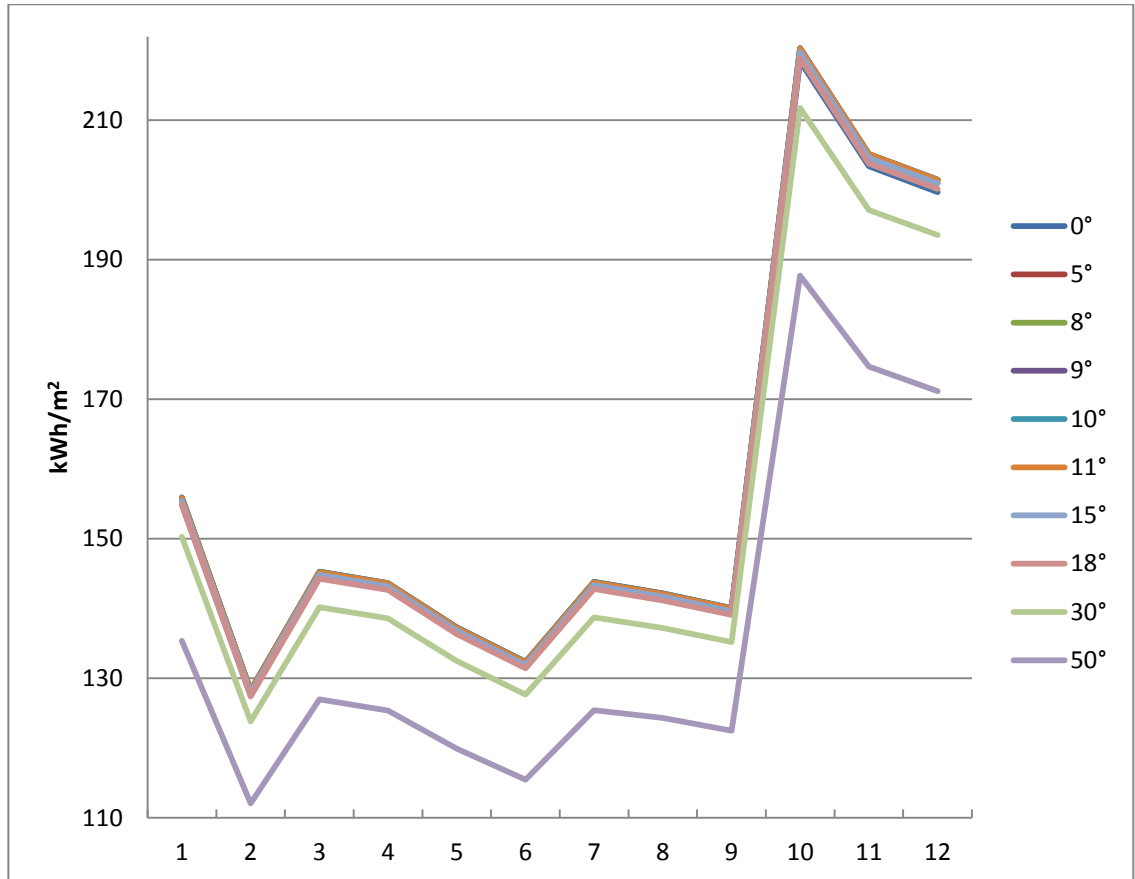
Figura 40. Radiación solar anual a diferentes ángulos de inclinación, año 2010



FUENTE. AUTOR

Según la Figura 40, se observa que la mayor incidencia de radiación solar se obtiene en los planos que se encuentran inclinados a ángulos cerca a la latitud de Colombia, tal como se explicó en el capítulo anterior. Además se obtiene que el mejor ángulo para inclinar los paneles fotovoltaicos en la ciudad de Bucaramanga es de 10°, debido al mayor valor de incidencia de radiación solar entre los ángulos de 10° a 15° con un total de 1.8957 [MWh/m²-año]. Lo expuesto anteriormente se observa en la figura 41.

Figura 41. Incidencia de radiación solar a distintos ángulo de inclinación, año 2010



FUENTE. AUTOR

Al comparar los resultados obtenidos de incidencia de radiación solar a un ángulo de 10°, se logra conocer que el mes más desfavorable durante el año es Junio con una incidencia de radiación solar de 4,411 [kWh/m²-día]. En la Figura 41 el valor más desfavorable que se muestra es febrero puesto que allí se muestra la incidencia de radiación solar mensual, pero no el promedio diario de radiación solar mensual que es lo que determina que Junio sea el mes más desfavorable. Teniendo el mes más desfavorable, se calcula el día solar para empezar a dimensionar los equipos que conforman el sistema fotovoltaico.

$$D_S = \frac{4411}{1000} [h] = 4.41 [h] \quad (20)$$

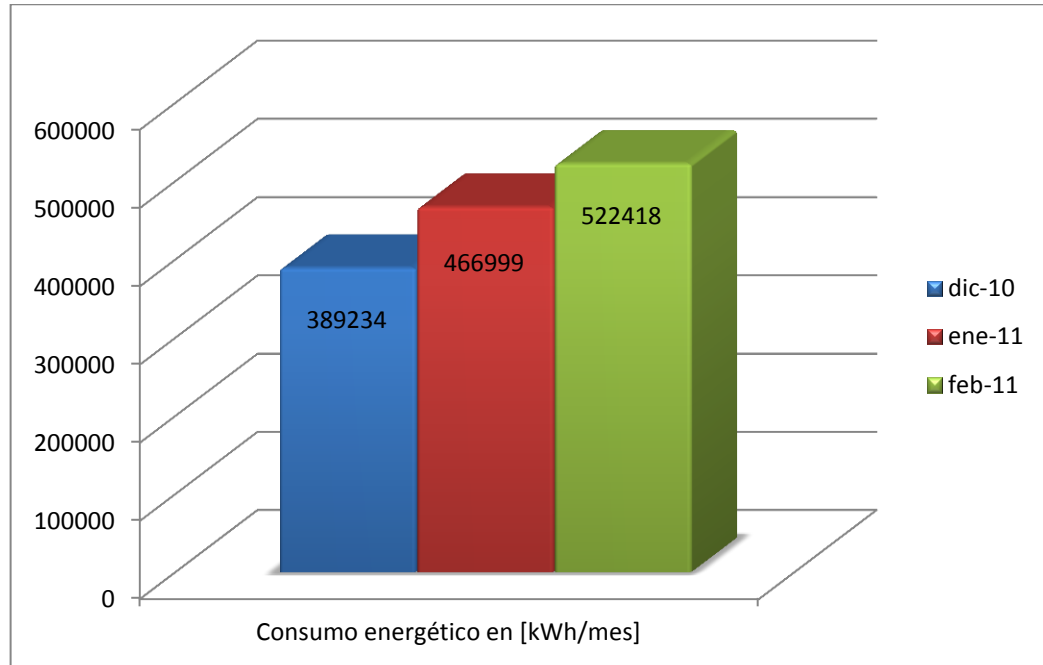
5.2 Consumo energético de la Universidad Industrial de Santander

Actualmente, la sede central de la Universidad Industrial de Santander cuenta con 3 puntos de medición de energía eléctrica, los cuales están instalados en el Coliseo, en el CENIVAM (Centro Nacional de Investigaciones para la Agroindustrialización de Especies Vegetales Aromáticas Medicinales Tropicales) y en el conjunto de edificios principales de la UIS, lo que limita saber con exactitud la cantidad de energía eléctrica que consume cada edificio del campus universitario, por lo que se procede a obtener un consumo energético total de la Universidad sumando los valores que se encuentran en los recibos de energía eléctrica y distribuir este valor en cada uno de los edificios de acuerdo a los metros cuadrados construidos que este posea. El consumo de energía eléctrica del CENIVAM, no se tuvo en cuenta para el consumo energético total de la UIS, ya que sus instalaciones no son aptas para la implementación de sistemas fotovoltaicos por el tipo de cubierta que tiene.

Según con lo anterior, se muestra en la Figura 42 el histórico del consumo de energía eléctrica entre los meses diciembre de 2010 y febrero de 2011 en todo el campus universitario, con el fin de conocer la cifra más desfavorable para calcular el consumo de energía eléctrica y la potencia instalada de cada edificio. Sólo se escogieron estos 3 meses, debido a que eran los únicos meses que tenían la información completa de todos los medidores de acuerdo a la información suministrada por la División de Planta Física de la UIS.

Se deja claro que el procedimiento expuesto anteriormente para obtener el consumo energético por edificación arroja valores aproximados, los cuales pueden variar con los datos reales.

Figura 42. Consumo energético total de la UIS



FUENTE. AUTOR

Teniendo en cuenta la información presentada en la Figura 42, se puede proceder a calcular el consumo energético y la demanda máxima por edificación, de acuerdo a lo expresado anteriormente y teniendo en cuenta que consumo energético del mes de febrero, como referente para calcular el consumo de energía eléctrica por cada edificio, debido a que es el mes más desfavorable.

5.2.1 Consumo de energía eléctrica por edificación

El consumo de energía eléctrica por edificación se calcula basándose en el consumo total de la Universidad y del área construida en cada una. En la Tabla 5 se muestra la distribución de consumo de energía eléctrica y la demanda máxima por edificación teniendo en cuenta las áreas construidas.

Tabla 5. Consumo energético y demanda máxima en la UIS

EDIFICIO	Consumo Energético [kWh/Día]	demanda máxima [W]
EDIFICIO PORTERÍA PRINCIPAL	8.9759	641.136
EDIFICIO LUIS A. CALVO	794.4987	56749.912
EDIFICIO ADMINISTRACIÓN	699.8477	49989.124
EDIFICIO PUBLICACIONES	602.5816	43041.544
EDIFICIO BIENESTAR UNIVERSITARIO	542.1884	38727.743
EDIFICIO PLANTA FÍSICA	442.3813	31598.666
EDIFICIO ING MECÁNICA	942.9896	67356.403
EDIFICIO BIBLIOTECA	688.1851	49156.084
EDIFICIO LABORATORIOS LIVIANOS	1361.9547	97282.483
EDIFICIO CAMILO TORRES	522.7787	37341.342
EDIFICIO CENTIC	653.7074	46693.391
EDIFICIO FEDERICO MAMITZA BAYER	407.2916	29092.260
EDIFICIO ESC. ING. ELÉCTRICA	177.2960	12664.001
EDIFICIO LAB DE POSG/CAMILO QUÍMICA	365.8741	26133.865
EDIFICIO ING. QUÍMICA	752.7976	53771.262
EDIFICIO AULA MÁXIMA DE CIENCIAS	41.6061	2971.865
EDIFICIO CICELPA - CEIAM	217.0871	15506.226
EDIFICIO PLANTA DE ACEROS	322.2948	23021.062
EDIFICIO JORGE BAUTISTA VESGA	906.2923	64735.169
EDIFICIO RESIDENCIAS UNIVERSITARIAS	134.4512	9603.664
EDIFICIO CIENCIAS HUMANAS	2147.3644	153383.174
EDIFICIO COLISEO	469.4951	33535.365
EDIFICIO ÁLVARO BELTRÁN PINZÓN	401.3242	28666.018
EDIFICIO ALBAÑILERÍA	65.7613	4697.237
PARQUEADERO LUIS A. CALVO	184.4881	13177.727

FUENTE. AUTOR

Los edificios presentados en la Tabla 5 son aquellos que presentan condiciones para implementar sobre ellos un sistema de paneles fotovoltaicos y por tal motivo, aquellos que no son aptos para este proyecto se descartaron en la tabla. Lo anterior no quiere decir, que los edificios que no presentan condiciones para implementar el proyecto no se tuvieron en cuenta, ya que de ser así el consumo energético y la demanda máxima de cada edificación sería mucho mayor, algo que ocasionaría un sobredimensionamiento al momento de implementar el sistema

fotovoltaico. En la siguiente sección de este capítulo se explicará cuáles fueron los parámetros utilizados para la selección de las edificaciones aptas para implementar el sistema fotovoltaico.

Para determinar el consumo energético por edificación se aplicó el siguiente procedimiento:

1. Cálculo del área de la cubierta por edificación.

El cálculo del área de las terrazas se realiza por medio de los planos facilitados por planeación UIS. En caso de los edificios que no tengan planos, se obtiene la información por medición directa.

Según los datos obtenidos o calculados, el área de las edificaciones se muestra en la Tabla 6.

2. Cálculo del área construida.

Se obtiene multiplicando el área calculada anteriormente por el número de niveles construidos.

$$A_{CE} = A_T * N_N \quad (21)$$

Donde

A_{CE} = Área construida por edificación

A_T = Área de la terraza

N_N = Número de niveles del edificio

3. Cálculo del área total construida en la UIS, sumando el total de las áreas construidas por edificación.

$$A_{Total} = \Sigma A_{CE} \quad (22)$$

4. Cálculo del consumo de energía eléctrica por metro cuadrado [m²].

Para obtener el consumo de energía eléctrica por metro cuadrado, se dividió el consumo de energía del mes de febrero sobre el área total construida.

$$C_{m^2} = \frac{\text{Consumo de energía del mes más desfavorable}}{A_{Total}} \quad (23)$$

Donde C_{m^2} = Consumo de energía eléctrica por metro cuadrado.

5. Cálculo del consumo energético por edificio

Con el dato de consumo energético por m², se puede determinar el consumo energético por edificio. Sólo se debe aplicar la siguiente ecuación:

$$C_{Edificio} = C_{m^2} * A_{CE} \quad (24)$$

$C_{Edificio}$ = Consumo energético por edificio

C_{m^2} = Consumo de energía eléctrica por metro cuadrado

A_{CE} = Área construida por edificación

De esta manera, se determina el consumo energético por edificio cuando no hay manera de realizar una medición directa en cada edificación. El valor obtenido con los pasos descritos anteriormente, es un valor aproximado, pero admisible para los propósitos pertinentes.

Tabla 6. Área de las edificaciones de la UIS

EDIFICIO	Área terraza calculada [m ²]	Niveles	Área construida [m ²]
EDIFICIO PORTERÍA PRINCIPAL	68.99	1	68.99
EDIFICIO LUIS A. CALVO	2035.54	3	6106.62
EDIFICIO ADMINISTRACIÓN	1344.78	4	5379.12
EDIFICIO PUBLICACIONES	1543.84	3	4631.52
EDIFICIO ADMINISTRACIÓN 2	374.4	5	1872
EDIFICIO BIENESTAR UNIVERSITARIO	1389.11	3	4167.33
EDIFICIO LA PERLA	987.1	1	987.1
EDIFICIO MANTENIMIENTO Y PLANTA FÍSICA	1700.1	2	3400.2
EDIFICIO ING MECÁNICA	2415.98	3	7247.94
EDIFICIO AULA MÁXIMA DE MECÁNICA	246.65	1	246.65
EDIFICIO BIBLIOTECA	1322.37	4	5289.48
EDIFICIO PLANTA TELEFÓNICA	183.36	1	183.36
EDIFICIO INSTITUTO DE LENGUAS	935.23	3	2805.69
EDIFICIO INGENIERÍA INDUSTRIAL	1207.24	4	4828.96
EDIFICIO BIOLOGÍA VEGETAL	155.42	2	310.84
EDIFICIO LABS. LIVIANOS	2617.04	4	10468.16
EDIFICIO CAMILO TORRES	1004.5363	4	4018.1452
EDIFICIO CENTIC	1256.12	4	5024.48
EDIFICIO FEDERICO MAMITZA BAYER	1043.4987	3	3130.4961
EDIFICIO ESC. ING. ELÉCTRICA	454.24	3	1362.72
EDIFICIO LAB DE POSGRADOS/CAMILO QUÍMICA	703.0389	4	2812.1556
EDIFICIO ING. QUÍMICA	1928.7	3	5786.1
EDIFICIO AULA MÁXIMA DE CIENCIAS	319.79	1	319.79
EDIFICIO CICELPA - CEIAM	834.28	2	1668.56
EDIFICIO LAB. ALTA TENSIÓN	915.92	2	1831.84
EDIFICIO LAB DE HIDRÁULICA	463.24	3	1389.72
EDIFICIO PLANTA DE ACEROS	1238.6	2	2477.2
EDIFICIO JORGE BAUTISTA VESGA	1741.47	4	6965.88
EDIFICIO FISICOMECÁNICAS	2036.28	4	8145.12
EDIFICIO DANIEL CASAS	676.46	3	2029.38
EDIFICIO RESIDENCIAS UNIVERSITARIAS	344.47	3	1033.41
EDIFICIO PORTERÍA CRA 30	12.67	1	12.67
EDIFICIO KIOSKO RESIDENCIAS	63.9	1	63.9
EDIFICIO CIENCIAS HUMANAS	2750.82	6	16504.92
EDIFICIO JARDINERÍA	167.1	1	167.1
EDIFICIO COLISEO	1804.3	2	3608.6
EDIFICIO PORTERÍA CRA 25	30.03	1	30.03
EDIFICIO CARAC DE MATERIALES AB	1028.21	3	3084.63
EDIFICIO ALBAÑILERÍA	505.45	1	505.45
PARQUEADERO LUIS A. CALVO	1418	1	1418
EDIFICIO CAPRUIS / FAVUIS	615.37	4	2461.48
	Área total construida		133845.7369

FUENTE. AUTOR

5.3 Áreas disponibles para la implementación de sistemas de paneles fotovoltaicos en la Universidad Industrial de Santander

A partir de las edificaciones aptas y sus respectivas áreas disponibles para la implementación de sistemas fotovoltaicos se clasifican los edificios de acuerdo a los siguientes parámetros de la cubierta:

1. Tipo
2. Estado
3. Disponibilidad de espacio
4. Ubicación

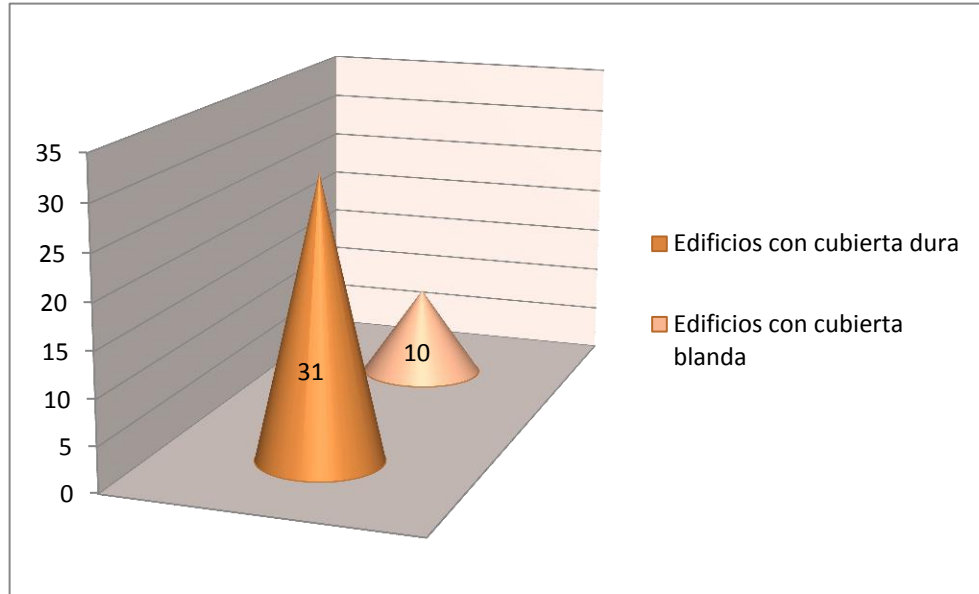
Realizando la revisión y clasificación de lo mencionado anteriormente, se puede proceder a la selección de los edificios que se tendrán en cuenta para implementar el sistema fotovoltaico, la información suministrada por Planeación UIS y la División de Planta Física.

5.3.1 Clasificación por tipo de cubierta

Realizando mediciones directas y el análisis de los planos disponibles, se clasificaron los edificios según su tipo de cubierta como se muestra en la figura 43.

Examinando los datos de la Figura 43, se afirma que los edificios de la UIS son aptos en su gran mayoría para la implementación de paneles fotovoltaicos, puesto que el 75,6% de las edificaciones presentan una cubierta dura, la cual puede soportar los equipos que conforman el sistema fotovoltaico. El 24,4% restante son edificaciones que poseen una cubierta blanda, las cuales no soportan la instalación de equipos y se descartan para incluirlas en el proyecto.

Figura 43. Clasificación de edificios, según el tipo de cubierta



FUENTE. AUTOR

Un ejemplo de este tipo de cubierta es el Edificio Daniel Casas, el cual tiene una cubierta blanda, que no soporta el peso de los módulos fotovoltaicos.

Figura 44. Edificio Daniel Casas



FUENTE. AUTOR

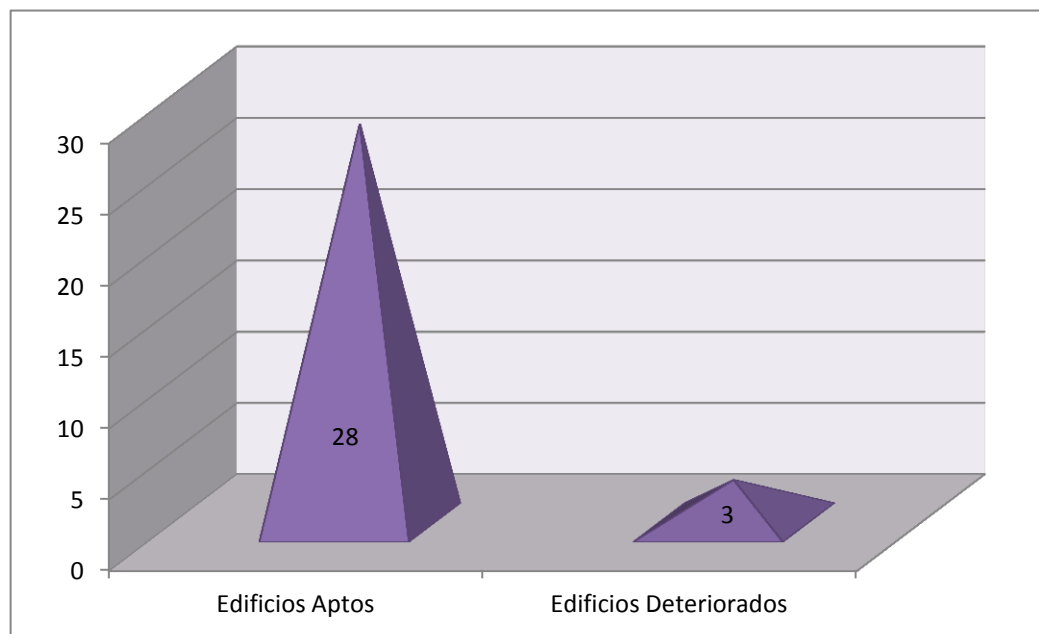
5.3.2 Clasificación de estado de la cubierta

Al descartar algunos edificios, se evalúa el estado de las cubiertas de los edificios aptos para corroborar físicamente los espacios.

Adicionalmente, este estudio es necesario ya que la mayoría de los edificios del campus universitario son viejos y tienen tiempos de funcionamiento prolongados, lo que puede ser motivo de debilitamiento de las estructuras que soportan la cubierta.

En la Figura 45 se observa la clasificación de las edificaciones de la UIS, teniendo en cuenta los criterios mencionados anteriormente.

Figura 45. Clasificación de edificios, según el estado de la cubierta



FUENTE. AUTOR

Según la gráfica, se observa que el 90.3% de los edificios que presentan cubiertas duras, se encuentran en buen estado para implementar sobre ellos el sistema de paneles fotovoltaicos. Aunque la cantidad de edificios que se pueden utilizar para el proyecto disminuyó, con respecto al total de edificios de la UIS todavía es una cantidad considerable dado que sólo se descartaron 3 edificios.

Un ejemplo de estos edificios es el auditorio de mecánica, el cual lleva 62 años de operación.

Figura 46. Auditorio de mecánica

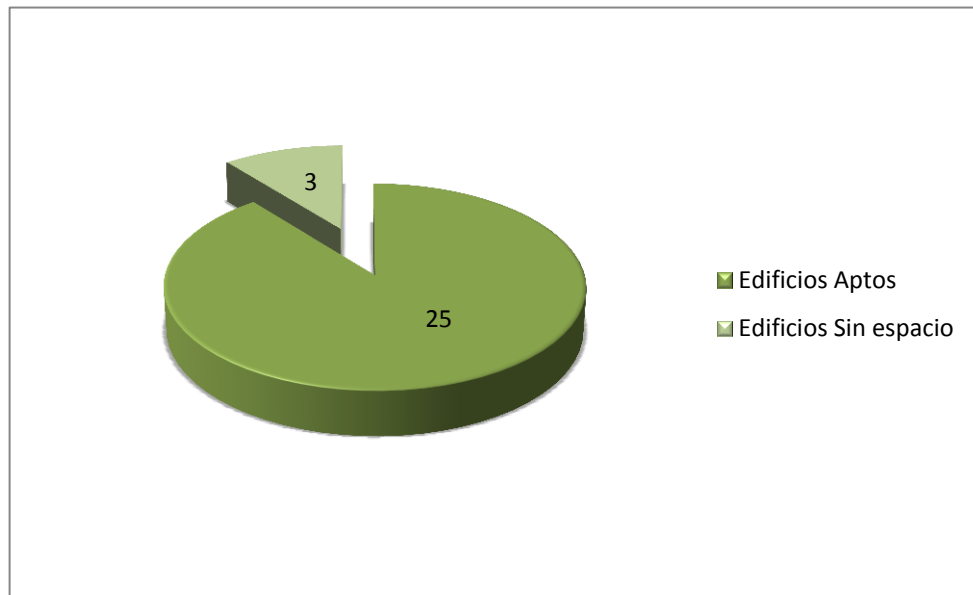


FUENTE. AUTOR

5.3.3 Clasificación de disponibilidad de espacio

Obteniendo la cantidad de edificios que se encuentran en buenas condiciones (según su infraestructura) para la puesta en marcha del proyecto, se debe definir si éstos cuentan con área disponible para ubicar los diferentes equipos. Se menciona lo anterior, puesto que en las cubiertas de algunas edificaciones se instalan aires acondicionados, tuberías y demás equipos que ocupan la mayor parte del área útil para la ubicación de los equipos del sistema fotovoltaico y por tal motivo hacen de estos edificios lugares no aptos para este tipo de proyectos. En la Figura47 se muestra la clasificación de los edificios de la UIS, según la disponibilidad de espacio para la ejecución del proyecto.

Figura47. Clasificación de edificios, según su espacio disponible



FUENTE. AUTOR

Teniendo en cuenta el factor de espacio disponible en las cubiertas de las edificaciones, la cantidad de edificios que son aptos para tener en cuenta en el

proyecto se reduce, aunque todavía se cuenta con la mayoría de edificaciones. El resultado de este filtro deja al final 25 edificios aptos, según como se puede observar en la Figura 47.

Un ejemplo de este tipo de edificaciones es la cafetería central o también llamada planta telefónica en donde su cubierta contiene una antena satelital, evitando de este modo la ubicación de paneles fotovoltaicos, tal como se muestra en la figura 48.

Figura 48. Cafetería central



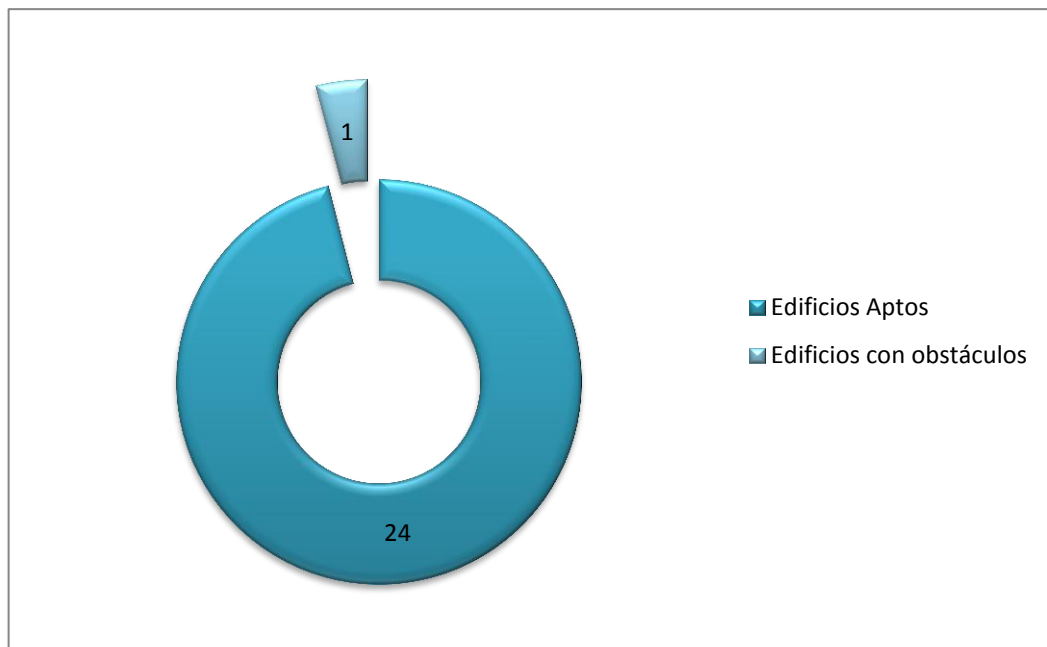
FUENTE. AUTOR

5.3.4 Clasificación según su ubicación

La ubicación del lugar donde se van a colocar los paneles fotovoltaicos es de vital importancia, puesto que se deben descartar zonas en las cuales exista a su alrededor bastante vegetación o construcciones de mayor altitud, las cuales ocasionen cierto nivel de sombra, disminuyendo la incidencia de radiación solar sobre los paneles fotovoltaicos.

Finalmente, en la Figura 49 se muestra la clasificación definitiva de los edificios de la UIS.

Figura 49. Clasificación de edificios, según su ubicación



FUENTE. AUTOR

Un ejemplo es la edificación de los laboratorios de hidráulica, la cual está rodeada de abundante vegetación y de edificios mucho más altos, tal como se muestra en la Figura 50.

Adicionalmente esta edificación, se descarta por el tipo de cubierta blanda, la cual no fue diseñada para soportar grandes pesos sobre ella.

Figura 50. Laboratorios de Hidráulica



FUENTE. AUTOR

5.3.5 Área total disponible por edificación

Al realizar la clasificación de los edificios según su ubicación, se puede determinar que el 58,5% de la totalidad de los edificios de la Universidad industrial de Santander, son aptos para la implementación de paneles fotovoltaicos sobre sus cubiertas. Es necesario resaltar, que los 24 edificios aptos corresponden a más del 74,31% del área total de la suma del área de todas las cubiertas, a pesar de que

los 24 edificios tan sólo alcanzan el 58.5% del total de las edificaciones construidas en la UIS.

Por otra parte, al área total disponible para implementar el sistema de paneles fotovoltaicos, se añade el área del parqueado principal (Parqueadero del Auditorio Luis A. Calvo) la cual equivale a 1.418 m², puesto que allí se pretende instalar una especie de estructura que proteja los vehículos del sol y de la lluvia, y que a su vez, genere energía eléctrica por medio de paneles solares.

Gracias al área de la estructura a implementar en el parqueadero principal de la UIS, el área total disponible para el sistema de PFV (Paneles fotovoltaicos), aumenta al 77,7% del área total de las cubiertas construidas en la Universidad.

Esta área total, es un valor suministrado por Planeación UIS, en la cual toman las áreas de las cubiertas de todos los edificios, sin importar el tipo de construcción. Por tal razón, es necesario confrontar estos datos con una medición directa para descartar las áreas de los edificios aptos, que sean de material blando o se encuentren en condiciones no aptas, para soportar la estructura de los paneles fotovoltaicos.

La Tabla 7 muestra la diferencia entre los resultados de Planeación UIS con respecto a los resultados medidos directamente. Este comparativo solo se realiza con los edificios aptos, debido a que son los que interesan para implementar el proyecto. Además, debido a que la mayoría de los edificios no aptos, no presentan una cubierta dura, no es posible realizar una medida directa de su área.

Es necesario explicar, que los datos recopilados por Planeación UIS, fueron obtenidos de acuerdo a mediciones realizadas sobre planos, obviando áreas existentes en algunos edificios e incluyendo áreas no existentes en otros. Un ejemplo, es el caso del edificio Federico Mamitza Bayer, en donde se obvió cierta cantidad de área en las esquinas de la cubierta y se tuvo en cuenta el vacío que

se encuentra en la mitad de la cubierta. La diferencia no es significativa entre los datos de Planeación y los medidos directamente.

Tabla 7. Comparativo de áreas

EDIFICIO	ÁREA CALCULADA [m ²]	ÁREA MEDIDA [m ²]
EDIFICIO PORTERÍA PRINCIPAL	19.77	68.99
EDIFICIO LUIS A. CALVO	2,035.54	87.463
EDIFICIO ADMINISTRACIÓN	1,344.78	1009.01
EDIFICIO PUBLICACIONES	1,543.84	448.04
EDIFICIO BIENESTAR UNIVERSITARIO	1,389.11	603.335
EDIFICIO MANTENIMIENTO Y PLANTA FÍSICA	1,700.10	174.845
EDIFICIO ING MECÁNICA	2,415.98	1019.1
EDIFICIO BIBLIOTECA	1,322.37	1227.135
EDIFICIO LABORATORIOS LIVIANOS	2,617.04	1084.435
EDIFICIO CAMILO TORRES	915.39	1004.5363
EDIFICIO CENTIC	1,256.12	1192.6736
EDIFICIO FEDERICO MAMITZA BAYER	902.83	1043.4987
EDIFICIO ESC. ING. ELÉCTRICA	454.24	367.605
EDIFICIO LAB DE POSGRADOS/CAMILO QUÍMICA	694.99	703.0389
EDIFICIO ING. QUÍMICA	1,928.70	648.123
EDIFICIO AULA MÁXIMA DE CIENCIAS	319.79	315.875
EDIFICIO CICELPA - CEIAM	834.28	67.935
EDIFICIO PLANTA DE ACEROS	1,238.60	209.72
EDIFICIO JORGE BAUTISTA VESGA	1,741.47	716.315
EDIFICIO RESIDENCIAS UNIVERSITARIAS	344.47	286.73
EDIFICIO CIENCIAS HUMANAS	2,750.82	457.4138
EDIFICIO COLISEO	1,804.30	283.5065
EDIFICIO CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES	1,028.21	673.34
EDIFICIO ALBAÑILERÍA	505.45	22.94
PARQUEADERO LUIS A. CALVO	1418	1418

FUENTE. AUTOR

Al comparar los dos resultados se puede apreciar que la mayoría de los valores correspondientes a las áreas medidas, son menores que los valores de las áreas calculadas por Planeación UIS, lo que es algo obvio, teniendo en cuenta lo mostrado anteriormente.

Para definir el área total disponible para la ubicación de los paneles fotovoltaicos y del cuarto de equipos (Baterías, inversores y reguladores), se castigaron las áreas con un porcentaje debido al número de equipos instalados (aires acondicionados, tubería, etc), a los espacios sombreados de cada cubierta y a la ubicación de cada edificio.

En la Tabla 8 se muestra el área total disponible de cada una de las edificaciones teniendo en cuenta que en algunas va a ser mayor el porcentaje de reducción con respecto a las otras por lo dicho anteriormente.

Tabla 8. Área total disponible por edificación

Edificio	Área medida [m ²]	Área cuarto de equipos [m ²]	Porcentaje disminuido %	Área total disponible [m ²]
PORTERÍA PRINCIPAL	68.99	0	79	54.5021
LUIS A. CALVO	87.463	0	79	69.09577
ADMINISTRACIÓN	1009.01	9	77	767.9377
PUBLICACIONES	448.04	9	77	335.9908
BIENESTAR UNIVERSITARIO	603.335	9	76	449.5346
PLANTA FÍSICA	174.845	0	80	139.876
ING MECÁNICA	1019.1	9	76	765.516
BIBLIOTECA	1227.135	9	76	923.6226
LABS. LIVIANOS	1084.435	9	77	826.01495
CAMILO TORRES	1004.5363	9	78	774.538314
CENTIC	1192.6736	9	74	873.578464
FEDERICO MAMITZA BAYER	1043.4987	9	78	804.928986
ESC. ING. ELÉCTRICA	367.605	9	77	274.05585
LAB DE POSGRADOS	703.0389	9	76	525.309564
ING. QUÍMICA	648.123	9	76	483.57348
AULA MÁXIMA DE CIENCIAS	315.875	9	79	240.54125
CICELPA - CEIAM	67.935	0	79	53.66865
PLANTA DE ACEROS	209.72	0	79	165.6788
JORGE BAUTISTA VESGA	716.315	9	76	535.3994
RESIDENCIAS UNIVERSITARIAS	286.73	9	78	214.6494
CIENCIAS HUMANAS	457.4138	9	78	347.782764
COLISEO	283.5065	9	74	200.79481
CARAC DE MATERIALES AB	673.34	9	76	502.7384
ALBAÑILERÍA	22.94	0	74	16.9756
PARQUEADERO LUIS A. CALVO	1418	0	70	992.6

FUENTE. AUTOR

Se puede apreciar en la tabla anterior que en algunos edificios el área del cuarto de equipos es cero. Esto se debe a este cuarto no se va a ubicar sobre la cubierta del edificio, sino por el contrario, se construirá a un lado de la edificación, puesto que hay un espacio disponible para este propósito.

Se tomó un área de 9 [m²] para el cuarto de equipos, teniendo en cuenta el área ocupada por cada uno de los equipos a utilizar y calculando un promedio de la cantidad de los mismos a implementar en cada edificación.

5.4 Selección de los equipos para cada uno de los edificios

Obteniendo el área total disponible por edificación para la ubicación de los equipos del sistema fotovoltaico, se puede empezar a seleccionar cuales son los dispositivos adecuados para cada una de las edificaciones, teniendo en cuenta las características que cada edificio presenta, con el fin de realizar un buen dimensionamiento y de este modo generar la mayor cantidad de energía eléctrica posible.

El dimensionamiento de los equipos se realizará en cuatro partes, las cuales son:

- Selección de paneles fotovoltaicos
- Selección de baterías
- Selección de controladores de carga
- Selección de inversores

En primera instancia para comenzar con el dimensionamiento de los equipos, se identificaron los mayores proveedores de sistemas fotovoltaicos en Colombia con el fin establecer los tipos y modelos de PFV que se comercializan actualmente en el mercado, y de este modo tener idea de cuáles son los equipos que se pueden utilizar en el proyecto. También se incluyó un proveedor internacional (de España), puesto que es conveniente tener una asesoría de empresas que manejen mejor el tema y que ofrezcan más variedad de productos. En la Tabla 9 se pueden observar las empresas consultadas, con sus respectivos datos.

Al definir los proveedores se puede empezar con el dimensionamientos del sistema, el cual se expondrá a continuación.

Tabla 9. Proveedores de sistemas fotovoltaicos

EMPRESA	CIUDAD	PAGINA WEB	TELÉFONO
HEMEVA LTDA	Bogotá	www.hemeva.com	
AMPA SOLAR	Piedecuesta	www.ampaenergysolutionscolombia.es.tl/	3178141706
APS SERTEL	Bogotá	www.aps-sertel.com	57 (1) 3470593
ENERGÍA INTEGRAL ANDINA	Manizales	www.colombiaexport.com/eiase.htm	891617-891448
APROTEC	Cali	www.aprotec.com.co	(2)6535797
TRAFOCOL	Bogotá	www.trafocol.com/colombia	2678764
COLTECNICAS LTDA	Bogotá	www.coltecnica.com	4737687
JH ROEDEN	Madrid	http://www.jhroerden.com	(34)914586436

FUENTE. AUTOR

5.4.1 Nivel de tensión del sistema Fotovoltaico

El nivel de tensión utilizado en los sistemas de paneles fotovoltaicos a implementar en la UIS, será 48 [V] ya que la potencia instalada en las edificaciones de la universidad es mayor a 5000 [W] y además es la tensión nominal que manejan la mayor cantidad de equipos disponibles en el mercado para sistemas fotovoltaicos de gran generación de energía eléctrica.

5.4.2 Selección de los paneles fotovoltaicos

De acuerdo a la información suministrada por los proveedores, se realizó un listado de paneles fotovoltaicos (ver anexo A), el cual muestra módulos solares de diferentes precios y características, de donde se van a escoger los paneles a utilizar en cada edificación.

En primera instancia se debe definir si el área disponible en cada edificio es lo suficientemente amplia para instalar un sistema de paneles solares, que pueda suplir el consumo energético de la edificación.

Según la hoja de cálculo, la cual está anexa en el CD de este proyecto, se pudo concluir que el área de la mayoría de las edificaciones no es lo suficientemente

amplia para instalar un sistema que pueda generar la energía total que las edificaciones consumen. Tan sólo en 2 edificios (la portería de la carrera 27 y el aula máxima de ciencias) se cuenta con un área suficientemente amplia para instalar un sistema de PFV que generen el total de la energía consumida por el edificio en estudio. Por tal motivo, se instalarán los sistemas fotovoltaicos con el fin de suplir cierta parte del consumo de energía eléctrica de cada edificación.

Teniendo en cuenta lo expresado anteriormente, se procede a escoger el tipo de paneles fotovoltaicos a utilizar en cada una de las edificaciones, tal como se muestra en la Tabla 10.

Los cálculos para la escoger el tipo de panel fotovoltaico de cada uno de los edificios se encuentran en la hoja de cálculo anexa en el CD del proyecto, el cual se basó en las ecuaciones expuestas en el capítulo 4 de este documento.

La información expuesta en la Tabla 10, se complementa con los datos del Anexo B, debido a que los cálculos son bastante extensos, y por ende los resultados obtenidos son demasiados. En el Anexo B se indica cuántos paneles caben en cada edificio, área ocupada e inclinación de cada PFV, entre otros datos de interés.

Por otra parte, se concluye observando los datos de la Tabla 10 que las edificaciones se dividieron en 4 grupos, puesto que sólo se escogieron 4 tipos de paneles para el total de todas las edificaciones. Cabe resaltar que se utilizaron paneles monocristalinos y policristalinos, debido a que son los más comerciales en el mercado y los que presentan mayor eficiencia.

Tabla 10. Tipo de paneles utilizados en cada edificación.

EDIFICIO	TIPO DE PFV	TECNOLOGÍA
EDIFICIO PORTERÍA PRINCIPAL	CS 50	Monocristalino
EDIFICIO LUIS A. CALVO	SCHOTT	Monocristalino
EDIFICIO ADMINISTRACIÓN	REC 250PE - 12V	Policristalino
EDIFICIO PUBLICACIONES	REC 250PE - 12V	Policristalino
EDIFICIO BIENESTAR UNIVERSITARIO	CS 50	Monocristalino
EDIFICIO PLANTA FÍSICA	REC 250PE - 12V	Policristalino
EDIFICIO ING MECÁNICA	CS 90	Monocristalino
EDIFICIO BIBLIOTECA	CS 90	Monocristalino
EDIFICIO LABS. LIVIANOS	REC 250PE - 12V	Policristalino
EDIFICIO CAMILO TORRES	CS 90	Monocristalino
EDIFICIO CENTIC	CS 90	Monocristalino
EDIFICIO FEDERICO MAMITZA BAYER	CS 90	Monocristalino
EDIFICIO ESC. ING. ELÉCTRICA	CS 90	Monocristalino
EDIFICIO LAB DE POSG/CAMILO QUÍMICA	REC 250PE - 12V	Policristalino
EDIFICIO ING. QUÍMICA	REC 250PE - 12V	Policristalino
EDIFICIO AULA MÁXIMA DE CIENCIAS	CS 50	Monocristalino
EDIFICIO CICELPA – CEIAM	CS 50	Monocristalino
EDIFICIO PLANTA DE ACEROS	CS 50	Monocristalino
EDIFICIO JORGE BAUTISTA VESGA	REC 250PE - 12V	Policristalino
EDIFICIO RESIDENCIAS UNIVERSITARIAS	REC 250PE - 12V	Policristalino
EDIFICIO CIENCIAS HUMANAS	CS 50	Monocristalino
EDIFICIO COLISEO	CS 50	Monocristalino
EDIFICIO ÁLVARO BELTRÁN PINZÓN	CS 90	Monocristalino
EDIFICIO ALBAÑILERÍA	SCHOTT	Monocristalino
PARQUEADERO LUIS A. CALVO	CS 90	Monocristalino

FUENTE. AUTOR

Para la división de los edificios se tuvo en cuenta los siguientes aspectos:

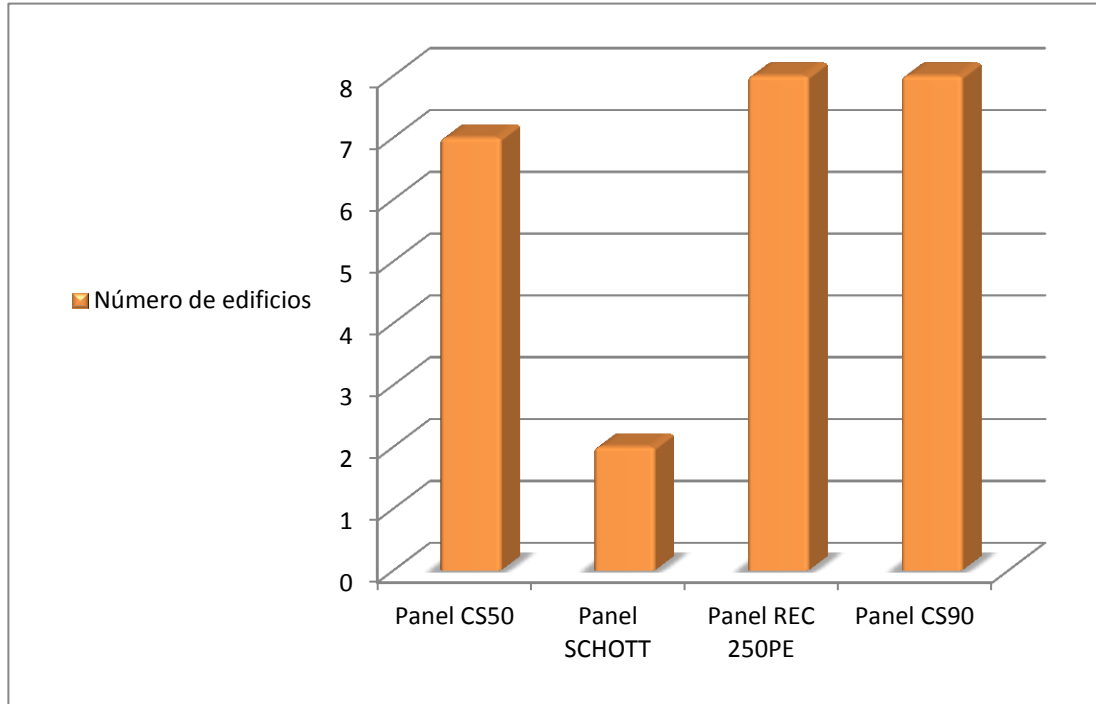
- Los paneles monocristalinos CS50 se utilizaron para aquellas edificaciones que posean una cubierta lo suficientemente amplia en relación a su consumo, para implementar un sistema que genere el total de la energía consumida por la edificación y/o para aquellas edificaciones que su área disponible es tan reducida que solo alcanza para abastecer de energía eléctrica a una mínima parte de la edificación.

- Los paneles monocristalinos SCHOTT se utilizaron en aquellas edificaciones que tenían un mínimo de consumo de energía eléctrica y que con un grupo de este tipo de paneles se lograba abastecer casi todo este consumo, o en aquellos edificios que el área disponible no era proporcional con el área total de construcción.
- Los paneles policristalinos REC 250PE se utilizaron en aquellas edificaciones que presentan un alto consumo de energía eléctrica y que por tal motivo son la mejor inversión en cuanto a la relación costo económico y generación de energía eléctrica. Cabe resaltar que en ninguno de estos edificios se logra alcanzar el abastecimiento total de energía eléctrica con ninguna de las tecnologías expuestas en el anexo A.
- Los paneles monocristalinos C90 se utilizaron en aquellas edificaciones que presentan un alto consumo de energía eléctrica por motivo que son las aulas de clase más concurridas por los estudiantes. Este tipo de paneles son la mejor opción de todos los expuestos en el anexo A en cuanto a generación de energía eléctrica y por ende fueron escogidos para este tipo de edificaciones.

La relación de la información expuesta anteriormente, se plantea en la Figura 51 en la cual se muestra el tipo de tecnologías utilizadas en las edificaciones del campus universitario.

En la Figura 51 se observa la distribución de las 4 tecnologías seleccionadas en los edificios de la UIS, teniendo en cuenta entre las edificaciones, la estructura a implementar en el parqueadero central de la UIS, el cual suplirá en gran cantidad, el consumo de energía eléctrica de las luminarias del parqueadero y gran parte de la energía del auditorio Luis A. Calvo.

Figura 51. Distribución de edificaciones según el tipo de paneles a implementar



FUENTE. AUTOR

5.4.3 Selección de las baterías

Para escoger las baterías adecuadas se realizó el siguiente listado de acumuladores, los cuales son los ofrecidos por los proveedores mencionados en la Tabla 9.

Todas las baterías expuestas en la siguiente tabla son de 12 [V], debido a que es la oferta comercial más disponible. Puesto que el sistema a implementar es de 48 [V], es necesario conectar grupos de 4 baterías en serie para cumplir con el valor de la tensión del sistema.

Tabla 11. Lista de baterías ofrecidas por los proveedores

EMPRESA	REFERENCIA	PROPIEDADES ELÉCTRICAS			Tipo de Tecnología
		Voltaje[V]	Capacidad[Ah]	Factor de Descarga Permitida	
AMP SOLAR	M-TEK	12	35	0.8	Plomo acido
	M-TEK	12	55	0.8	Plomo acido
	M-TEK	12	75	0.8	Plomo acido
	M-TEK	12	100	0.8	Plomo acido
	M-TEK	12	150	0.8	Plomo acido
	M-TEK	12	200	0.8	Plomo acido
APROTEC	MA - 100 -12	12	100	0.8	Plomo acido
AMP SOLAR	M-TEK	12	155	0.8	Plomo acido
	Coups 12/100	12	100	0.8	Plomo acido
ColtecnicaLtda	Coups 12/130	12	130	0.8	Plomo acido
kyocera	Coups 12/150	12	150	0.8	Plomo acido
	HGL200-12	12	200	0.8	Plomo acido
	HC12-40	12	40	0.8	Plomo acido
	HC12-70	12	70	0.8	Plomo acido
	HC12-90	12	90	0.8	Plomo acido
JHRoeden	HC12-100	12	100	0.8	Plomo acido
	HC12-150	12	150	0.8	Plomo acido
	HC12-120	12	120	0.8	Plomo acido
	HC12-200	12	200	0.8	Plomo acido

FUENTE. AUTOR

Teniendo en cuenta la información anterior calculan las baterías utilizadas en cada edificación, siguiendo algunos lineamientos expresados en la selección de los paneles fotovoltaicos. En la Tabla 12 se muestra el tipo de baterías utilizada en cada una de las edificaciones.

La información expuesta en la Tabla 12, se complementa con los datos del anexo C en el cual se indica el mínimo de baterías necesarias para almacenar la energía generada por el sistema fotovoltaico de cada edificio y la capacidad total del banco de baterías.

Tabla 12. Tipo de baterías utilizadas por edificación

EDIFICIO	Tipo de batería
EDIFICIO PORTERÍA PRINCIPAL	M-TEK 35 [Ah]
EDIFICIO LUIS A. CALVO	M-TEK 35 [Ah]
EDIFICIO ADMINISTRACIÓN	Coups 150 [Ah]
EDIFICIO PUBLICACIONES	Coups 150 [Ah]
EDIFICIO BIENESTAR UNIVERSITARIO	M-TEK 200 [Ah]
EDIFICIO PLANTA FÍSICA	M-TEK 35 [Ah]
EDIFICIO ING MECÁNICA	M-TEK 200 [Ah]
EDIFICIO BIBLIOTECA	M-TEK 200 [Ah]
EDIFICIO LABS. LIVIANOS	Coups 150 [Ah]
EDIFICIO CAMILO TORRES	M-TEK 200 [Ah]
EDIFICIO CENTIC	M-TEK 200 [Ah]
EDIFICIO FEDERICO MAMITZA BAYER	M-TEK 200 [Ah]
EDIFICIO ESC. ING. ELÉCTRICA	M-TEK 200 [Ah]
EDIFICIO LAB DE POSG/CAMILO QUÍMICA	Coups 150 [Ah]
EDIFICIO ING. QUÍMICA	Coups 150 [Ah]
EDIFICIO AULA MÁXIMA DE CIENCIAS	M-TEK 200 [Ah]
EDIFICIO CICELPA – CEIAM	M-TEK 35 [Ah]
EDIFICIO PLANTA DE ACEROS	M-TEK 35 [Ah]
EDIFICIO JORGE BAUTISTA VESGA	Coups 150 [Ah]
EDIFICIO RESIDENCIAS UNIVERSITARIAS	Coups 150 [Ah]
EDIFICIO CIENCIAS HUMANAS	M-TEK 200 [Ah]
EDIFICIO COLISEO	M-TEK 200 [Ah]
EDIFICIO ÁLVARO BELTRÁN PINZÓN	M-TEK 200 [Ah]
EDIFICIO ALBAÑILERÍA	M-TEK 35 [Ah]
PARQUEADERO LUIS A. CALVO	Coups 150 [Ah]

FUENTE. AUTOR

Los factores para seleccionar el tipo de baterías utilizada en cada edificación son los siguientes:

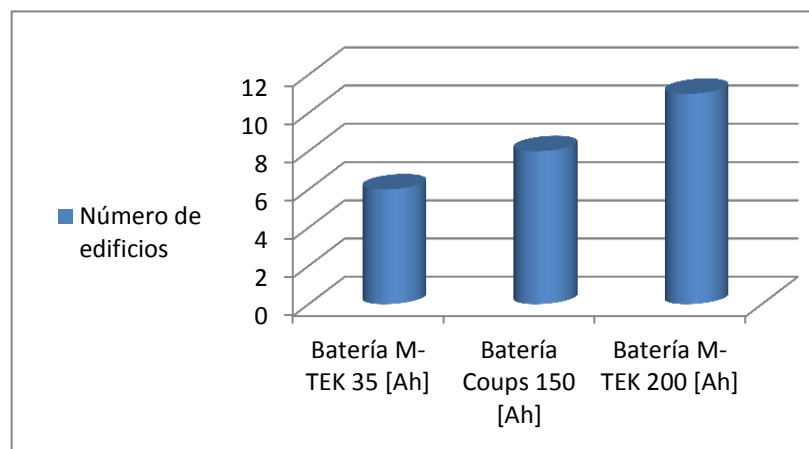
- Las baterías de plomo de ácido M-TEK 35 [Ah] se utilizaron para aquellas edificaciones que tengan ubicado su cuarto de equipos en otro lugar diferente a su cubierta, debido a la cantidad de este tipo de baterías que hay que utilizar para almacenar toda la energía generada. Se escogió este modelo especialmente dado que el proveedor está ubicado en el municipio de Piedecuesta, lo que facilita el mantenimiento correctivo de las baterías.

- Las baterías de plomo de ácido Coups 150 [Ah] se utilizaron en aquellas edificaciones donde se implementaron los paneles policristalinos REC 250PE, ya que en estos edificios se busca implantar un sistema fotovoltaico económico.
- Las baterías de plomo de ácido M-TEK 200 [Ah] se implementan en aquellos edificios que presentan gran consumo de energía eléctrica debido a la gran ocupación de sus aulas. Estas baterías son de gran capacidad y ayudan a reducir el número de baterías a utilizar.

Todos los cálculos pertinentes para la selección de las baterías a utilizar en cada edificación, se muestran en la hoja de cálculo anexa en el CD del proyecto, el cual está basado en las fórmulas del capítulo 4.

La relación de las baterías utilizadas en todo el campus universitario se presenta en la Figura 52.

Figura 52. Distribución de edificios según el tipo de baterías a implementar



FUENTE. AUTOR

5.4.4 Selección de los controladores de carga

Para escoger los controladores de carga a implementar en cada uno de los sistemas fotovoltaicos de las edificaciones de la UIS, se parte de la información expuesta en la Tabla 13, en la cual se muestran los equipos ofrecidos por los proveedores de la tabla 9.

Tabla 13. Controladores de carga ofrecidos por los proveedores

EMPRESA	DESCRIPCIÓN	CORRIENTE[A]	TENSIÓN [V _{dc}]
AMPA SOLAR	STECA	10	12/24
	STECA	15	12/24
	STECA	20	12/24
	STECA	30	12/24
	STECA	45	12/24
	SUM SA VER	6.5	12/24
	SUM SA VER	12	12/24
	APROTEC	STECA	5
STECA		6	12/24
STECA		8	12/24
STECA		12	12/24
STECA		20	12/24
STECA		30	12/24
XANTREX		90	24
XANTREX		60	12/24/48
KYOCERA	STECA 10A	10	12/24
	STECA 15A	15	12/24
	STECA 20A	20	12/24
	STECA 30A	30	12/24
APROTEC	STECA 10A	10	12/24
	STECA 15A	15	12/24
	STECA 30A	30	48
AMPA SOLAR	STECA	60	48
APS-SELER	WS-C4860 30A	30	48
	WS-C4860 40A	40	48
	WS-C4860 50A	50	48
	WS-C4860 60A	60	48
JHROEDEN	STECA 40A	40	48
	SOLARIX PT 4110	110	48
	VMSBitension	30	24/48
	SOLARIX Tarom 440	40	48
	VMSBitension	50	24/48

FUENTE. AUTOR

De acuerdo a los controladores de carga disponibles en el mercado, se debe escoger uno que tenga tensión de entrada de 48 [V], puesto que el sistema maneja este nivel de tensión.

Los factores seleccionados para determinar los controladores de carga de cada edificación fueron su precio, el valor de corriente y la ubicación del proveedor. A diferencia de los PFV y las baterías, para todos los edificios se escogió el mismo tipo de controlador, debido a que el equipo seleccionado era el mejor en comparación con los demás en los 3 aspectos mencionados anteriormente. Según lo mencionado anteriormente, el controlador seleccionado para todos los sistemas fotovoltaicos fue:

Tabla 14. Controlador de carga seleccionado para todas las edificaciones

EMPRESA	DESCRIPCIÓN	CORRIENTE[A]	TENSIÓN [V _{DC}]
AMPA SOLAR	STECA	60	48

FUENTE. AUTOR

La tabla anterior se complementa con los datos del anexo D en el cual se indica cuantos controladores de carga son necesarios en cada sistema fotovoltaico por edificio y como se conectan estos equipos en el sistema.

Todos los cálculos pertinentes para la selección del tipo de controlador de carga a utilizar en cada una de las edificaciones, se muestran en la hoja de cálculo anexa en el CD del proyecto, el cual está basado en las fórmulas del capítulo 4.

5.4.5 Selección de los inversores

Para escoger los inversores de cada sistema fotovoltaico a implementar en la UIS, se tuvo en cuenta la información de la Tabla 15, en la cual están los equipos ofrecidos por los proveedores mencionados en la Tabla 9.

Tabla 15. Inversores ofrecidos por los proveedores

EMPRESA	DESCRIPCIÓN	POTENCIA [W]		VOLTAJE [V]	FORMA ONDA
		continuo	pico		
AMPA SOLAR	Cobra	400	800	12	Modificada
	Cobra	800	1600	12	Modificada
	Cobra	1500	3000	12	Modificada
	Cobra	3000	6000	12	Modificada
TRAFOCOL	PM-0600H	600	1200	12/24	Senoidal
	Power master 600H	1000	2000	12/24	Senoidal
	Power master 1500H	1500	3000	12/24	Senoidal
	Power master 2000H	2000	4000	12/24	Senoidal
	Power master 3000H	3000	6000	12/24	Senoidal
Aps-sertel	SA1000	1000	2000	24	Modificada
	SA1500	1500	3000	24	Modificada
	SA2000	2000	4000	48	Senoidal
	SA3000	3000	6000	48	Senoidal
APROTEC	XANTEX	100	200	12	Senoidal
	Xpower X400	400	800	12	Senoidal
	TR1524	1500	3000	24	Senoidal
AMPA SOLAR	Cobra	3000	6000	48	Modificada
	XW4548-120/240	4500	9000	48	Modificada
	XW6048-120/240	6000	12000	48	Modificada
JHRoeden	GMS 40/48	4000	8000	48	Senoidal
	XTENDER XTH 6000-48	5000	10000	48	Senoidal
	XTENDER XTH 8000-48	7000	14000	48	Senoidal

FUENTE. AUTOR

De acuerdo a los inversores disponibles en el mercado, se escoge uno con tensión de entrada de 48 [V], puesto que el sistema maneja este nivel de tensión.

Los factores seleccionados para determinar los inversores de cada edificación fueron el precio, el valor de la potencia y la ubicación del proveedor. Al igual que los controladores de carga, para los edificios se escogió el mismo tipo de inversor, debido a que el equipo seleccionado era el que mejor cumplía con los aspectos mencionados anteriormente. El inversor seleccionado es:

Tabla 16. Inversor seleccionado para todas las edificaciones

EMPRESA	DESCRIPCIÓN	POTENCIA [W]		VOLTAJE [V]	FORMA ONDA
		continuo	pico		
AMPA SOLAR	Cobra	3000	6000	48	Modificada

FUENTE. AUTOR

La tabla anterior se complementa con los datos del anexo E, en el cual se indica cuantos inversores son necesarios en cada sistema fotovoltaico por edificio y como se conectan estos equipos en el sistema.

Todos los cálculos pertinentes para la selección del tipo de inversor a utilizar en cada una de las edificaciones, se muestran en la hoja de cálculo anexa en el CD del proyecto, el cual está basado en las fórmulas del capítulo 4.

5.5 Potencial de generación de energía eléctrica por edificaciones y áreas disponibles

Al tener el dimensionamiento de todos los equipos que conforman el sistema fotovoltaico, se puede proceder a obtener el potencial de generación total de energía eléctrica por medio de paneles fotovoltaicos en la UIS.

Teniendo en cuenta que el potencial de generación depende principalmente de la incidencia de radiación solar, del tipo de panel a utilizar y de la eficiencia de las baterías, los controladores de carga, el cableado del sistema, los inversores, entre otros, se aplica la fórmula (15) (mencionada en el capítulo 4) para cada una de las edificaciones, obteniendo de esta manera el potencial de generación de energía eléctrica de cada edificio del campus universitario.

Además, para obtener la energía eléctrica requerida por cada edificación para satisfacer el consumo energético mensual de la misma por medio del sistema fotovoltaico, se debe aplicar la fórmula (1) del capítulo 4 en cada edificio.

En la Tabla 17 se observa la energía que puede generar el sistema fotovoltaico de cada edificación, dando como mayor punto de generación de energía eléctrica el parqueadero principal de la UIS.

Por otra parte, también se pueden comparar los valores entre la energía requerida por cada una de las edificaciones y su energía generada, ratificando que solo en dos edificaciones de la universidad se alcanza a abastecer el consumo de energía eléctrica total del edificio por medio de la instalación de este sistema.

Tabla 17. Potencial de generación de energía eléctrica por edificación

EDIFICIO	ENERGÍA GENERADA [kWh/Día]	ENERGÍA REQUERIDA [kWh/Día]
EDIFICIO PORTERÍA PRINCIPAL	19.2034	11.3425
EDIFICIO LUIS A. CALVO	39.8686	1003.9789
EDIFICIO ADMINISTRACIÓN	469.3342	884.3719
EDIFICIO PUBLICACIONES	208.3725	761.4603
EDIFICIO BIENESTAR UNIVERSITARIO	162.3193	685.1436
EDIFICIO PLANTA FÍSICA	84.34125	559.0210
EDIFICIO ING MECÁNICA	488.25177	1191.6214
EDIFICIO BIBLIOTECA	587.99052	869.6343
EDIFICIO LABS. LIVIANOS	504.063	1721.0523
EDIFICIO CAMILO TORRES	494.01285	660.6164
EDIFICIO CENTIC	556.30456	826.0661
EDIFICIO FEDERICO MAMITZA BAYER	513.09644	514.6795
EDIFICIO ESC. ING. ELÉCTRICA	178.23350	224.0424
EDIFICIO LAB DE POSG/CAMILO QUÍMICA	322.48125	462.3417
EDIFICIO ING. QUÍMICA	297.675	951.2828
EDIFICIO AULA MÁXIMA DE CIENCIAS	88.33569	52.5761
EDIFICIO CICELPA - CEIAM	18.79912	274.3251
EDIFICIO PLANTA DE ACEROS	58.62093	407.2722
EDIFICIO JORGE BAUTISTA VESGA	328.43475	1145.2484
EDIFICIO RESIDENCIAS UNIVERSITARIAS	134.946	169.9011
EDIFICIO CIENCIAS HUMANAS	126.13609	2713.5457
EDIFICIO COLISEO	74.18580	593.2837
EDIFICIO ÁLVARO BELTRÁN PINZÓN	322.62064	507.1387
EDIFICIO ALBAÑILERÍA	9.72405	83.1001
PARQUEADERO LUIS A. CALVO	625.79762	NA
TOTAL	6713.149	17273.0474

FUENTE. AUTOR

Con la implementación de sistemas de paneles fotovoltaicos en las edificaciones y áreas disponibles de la UIS, se puede llegar a suplir un poco más del 33% de la energía total requerida por las edificaciones aptas del claustro universitario donde se van a implementar los PFV, lo que significa una ayuda de tipo económico para la universidad y una ayuda de tipo ambiental para la capital santandereana. Los cálculos anteriores, se encuentran en el aplicativo de Excel anexo en el CD del proyecto, el cual se realizó basándose en las fórmulas expuestas en el capítulo 4.

Potencial de generación de energía eléctrica en las edificaciones no aptas para la implementación de sistemas fotovoltaicos

Si se realizara un cambio de cubierta en las edificaciones no aptas para la implementación de paneles fotovoltaicos, por una cubierta que soporte este tipo de sistemas, la generación de energía eléctrica en la UIS se incrementaría en alrededor de un 87%, siempre y cuando se utilicen los PFV de mayor generación de energía. Siendo así, los resultados de generación de energía eléctrica por edificación serían los siguientes:

Tabla 18. Potencial de generación de energía eléctrica para edificaciones no aptas

EDIFICIO	ENERGÍA GENERADA [kWh/día]
EDIFICIO ADMINISTRACIÓN 2	235.8443
EDIFICIO LA PERLA	622.1969
EDIFICIO AULA MÁXIMA DE MECÁNICA	155.1891
EDIFICIO INSTITUTO DE LENGUAS	589.4307
EDIFICIO INGENIERÍA INDUSTRIAL	761.1830
EDIFICIO LAB. ALTA TENSIÓN	577.5485
EDIFICIO LAB DE HIDRÁULICA	292.0148
EDIFICIO FISICOMECÁNICAS	1284.0013
EDIFICIO DANIEL CASAS	426.3201
EDIFICIO PORTERÍA CRA 30	7.9214
EDIFICIO JARDINERÍA	105.1397
EDIFICIO CENIVAM	165.6311
EDIFICIO PORTERÍA CRA 25	18.7235
EDIFICIO CAPRUIS / FAVUIS	387.7928
TOTAL	5842.4581

FUENTE. AUTOR

6. CÁLCULO TIPO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EN LA SEDE CENTRAL DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

Para una mejor interpretación de la información expuesta en el capítulo anterior, se explicará paso a paso la manera como se realiza el dimensionamiento de un sistema fotovoltaico en el edificio Federico Mamitza Bayer de la sede principal de la UIS. Los pasos a realizar para el dimensionamiento son los siguientes:

1. Definir el área disponible para implementar el sistema en la edificación.
2. Seleccionar los equipos que conformar el sistema fotovoltaico
3. Consolidar el potencial de generación de energía eléctrica por medio de PFV.

6.1 Área disponible para implementar el sistema fotovoltaico

Para identificar el área disponible para implementar el sistema fotovoltaico, se procede a realizar una medición tanto en planos como directa para obtener un resultado correcto acerca del área de la cubierta del edificio y para determinar si la edificación es apta para la implementación del sistema sobre ella.

En la figura 53 se puede determinar lo siguiente:

- Tipo de cubierta: El edificio presenta una cubierta dura, la cual es apta para la implementación del sistema fotovoltaico sobre ella.
- Estado de la cubierta: A pesar que la edificación es relativamente antigua, su cubierta no se encuentra deteriorada, lo que proporciona seguridad al momento implementar el proyecto.
- Espacio disponible para la ubicación de los equipos: En la cubierta se ubica un tanque y un orificio, lo que reduce el área disponible, pero a pesar de

esto, la edificación presenta gran cantidad de m^2 para la ubicación de los equipos.

- Vegetación o edificaciones limitantes: El edificio está en una posición privilegiada en la universidad, puesto que no cuenta con vegetación abundante a su alrededor, ni con edificaciones que proporcionen sombra a la cubierta.

Figura 53. Cubierta del edificio Federico Mamitza Bayer



FUENTE. AUTOR

Según el análisis realizado anteriormente, se puede concluir que el Federico Mamitza Bayer, es una edificación apta para implementar un sistema de paneles fotovoltaicos.

Después de evaluar las características de la cubierta se procede a la medición del área disponible para la ubicación del sistema fotovoltaico.

De acuerdo al plano Edificio Mamitza (anexo en formato digital en el CD del proyecto) y a las mediciones directas y sobre planos realizadas a la cubierta de la edificación, el área disponible en el edificio es la siguiente:

Tabla 19. Área disponible en la edificación

Edificio	Área medida [m ²]	Área del cuarto de equipos [m ²]	Porcentaje disminuido %	Área total disponible [m ²]
FEDERICO MAMITZA BAYER	1043,50	9	78	804,93

FUENTE. AUTOR

El área medida expuesta en la Tabla 19, se obtuvo disminuyendo el área total de la cubierta, en cuanto al área ocupada por el tanque y el área ocupada por el orificio de la edificación. El área total disponible se calculó de acuerdo a lo expuesto en el capítulo 5.

6.2 Selección de los paneles fotovoltaicos

Debido a la alta afluencia de estudiantes en este edificio, se debe escoger un panel que genere la mayor cantidad de energía eléctrica, puesto que su consumo es significativo. Por tal motivo, se escoge el siguiente panel:

Tabla 20. Panel fotovoltaico escogido en la edificación

EDIFICIO	TIPO DE PFV	TECNOLOGÍA
EDIFICIO FEDERICO MAMITZA BAYER	CS 90	Monocristalino

Área por PFV [m ²]	Total de PFV instalados	Grupos de 4 PFV
0.57099816	1425	357

FUENTE. AUTOR

En este caso la escogencia del panel fotovoltaico depende del área disponible de la edificación. Todos los cálculos se realizaron en la hoja de cálculo anexo en CD del proyecto, teniendo en cuenta las fórmulas del capítulo 4. Se constituyen grupos de a 4 paneles para cumplir con el nivel de tensión del sistema.

6.3 Selección de las baterías

Las baterías a utilizar en esta edificación son las que tienen mayor capacidad de almacenamiento, puesto que la cantidad de energía a almacenar es elevada. Por lo tanto, las baterías utilizadas son:

Tabla 21. Tipo de batería escogida para la edificación

EDIFICIO	Tipo de batería	Tipo de Tecnología
EDIFICIO FEDERICO MAMITZA BAYER	M-TEK 200 [Ah]	Plomo ácido

Capacidad batería [kAh]	Capacidad banco de baterías [kAh]	Baterías disponibles	Grupos de 4 baterías
0.2	40.0856	201	51

FUENTE. AUTOR

Los cálculos para escoger las baterías se realizaron en el aplicativo de Excel anexo en CD del proyecto, teniendo en cuenta las fórmulas del capítulo 4. Se hacen grupos de a 4 baterías para cumplir con el nivel de tensión del sistema.

6.4 Selección de los controladores de carga

Los controladores de carga de esta edificación fueron escogidos por su precio, por el valor de corriente que manejan y por la ubicación del proveedor. Según lo mencionado anteriormente, el controlador que presenta las mejores características es el siguiente:

Tabla 22. Tipo de controlador de carga seleccionado

EMPRESA	DESCRIPCIÓN	CORRIENTE[A]	TENSIÓN [V _{DC}]
AMPA SOLAR	STECA	60	48

Número de PFV por controlador	PFV disponibles	Número de reguladores
10	1425	143

FUENTE. AUTOR

Todos los cálculos pertinentes para la selección del tipo de controlador de carga, se muestran en la hoja de cálculos anexa en el CD del proyecto, el cual está basado en las fórmulas del capítulo 4.

6.5 Selección de los inversores

Los inversores de carga de esta edificación fueron escogidos por su precio, por el valor de corriente que manejan y por la ubicación del proveedor. Según lo mencionado anteriormente, el inversor que presenta las mejores características es el siguiente:

Tabla 23. Tipo de inversor seleccionado para la edificación

EMPRESA	DESCRIPCIÓN	POTENCIA [W]		VOLTAJE [V]	FORMA ONDA
		continuo	pico		
AMPA SOLAR	Cobra	3000	6000	48	Modificada

Potencia nominal del Sistema [W]	Número de Inversores
29092.26037	10

FUENTE. AUTOR

Todos los cálculos pertinentes para la selección del tipo de inversor a utilizar, se muestran en la hoja de cálculo anexa en el CD del proyecto, el cual está basado en las fórmulas del capítulo 4.

6.6 Potencial de generación de energía eléctrica

Al realizar el dimensionamiento de todos los equipos, se obtiene en potencial de generación de energía eléctrica por medio de paneles fotovoltaicos en el Federico Mamitza Bayer.

Tabla 24. Potencial de generación de energía eléctrica

EDIFICIO	ENERGÍA GENERADA [kWh/Día]	ENERGÍA REQUERIDA [kWh/Día]	ENERGÍA CONSUMIDA [kWh/Día]
EDIFICIO FEDERICO MAMITZA BAYER	513.096444	514.6795289	407.2916452

FUENTE. AUTOR

Todos los cálculos pertinentes para obtener el potencial de generación de energía eléctrica por medio de paneles fotovoltaicos en la edificación Federico Mamitza Bayer, se muestran en la hoja de cálculo anexa en el CD del proyecto, el cual está basado en las fórmulas del capítulo 4.

CONCLUSIONES

- En este proyecto se analizaron los principales aspectos técnicos a tener en cuenta para realizar la implementación de sistemas de generación eléctrica por medio de paneles fotovoltaicos en la sede central de la Universidad Industrial de Santander, teniendo presente aspectos importantes como las características de las áreas disponibles para su ubicación y la incidencia de radiación solar en el sitio.
- La implementación de sistemas de generación de energía fotovoltaica en la Universidad Industrial de Santander, además de estar enfocado a suplir gran parte o la totalidad de la energía eléctrica consumida por las edificaciones, puede crear un precedente del uso de tecnologías de energías renovables en la capital santandereana y aporta a la disminución de emisión de gases contaminantes a la atmósfera.
- Debido al gran consumo de energía eléctrica en cada una de las edificaciones que poseen cubiertas disponibles para la implementación de paneles fotovoltaicos, es imposible suplir el ciento por ciento de la carga de cada edificación, ya que el área de las cubiertas, no es lo suficientemente amplia para implementar la cantidad de paneles necesarios para generar el total de energía eléctrica requerida por edificio.
- La poca información disponible por parte del Ministerio de Minas y Energía (entidad encargada de promover los proyectos URE) y las pocas garantías de tipo económico ofrecidas por el gobierno nacional a las persona y/o entidades que deseen implementar proyectos de energías alternativas, son grandes causas de la escasa inversión e implementación de proyectos de paneles fotovoltaicos en el territorio Colombiano.

- Al estar el territorio colombiano ubicado sobre la zona ecuatorial, lo convierte en un lugar propicio para la implementación de sistemas fotovoltaicos, puesto que en este lugar existe gran incidencia de radiación solar y por tal motivo la generación de energía eléctrica por medio de los paneles fotovoltaicos es mayor que en otras partes del mundo.
- Los pocos medios a disposición para la obtención de la radiación solar en Bucaramanga limitaron el inicio del proyecto, puesto que solo se contaba con el atlas de radiación solar en Colombia con datos muy generales. Por suerte, se pudieron obtener los datos de la CDMB, para el estudio para determinar la radiación solar en Bucaramanga.

OBSERVACIONES

- Este trabajo de grado se puede tomar como pauta para realizar futuras investigaciones, en donde se mejore y se analice con más énfasis el diseño del sistema fotovoltaico y se proponga el estudio económico del mismo.
- En el territorio colombiano se advierte poca implementación de sistemas fotovoltaicos, si se compara con otros países, puesto que no existen normativas muy fuertes que apoyen el uso de estas tecnologías, aunque cabe resaltar que algunos programas para la implementación de tecnologías que utilicen energías alternativas, como lo es el PROURE, el cual está supervisado por el Ministerio de Minas y Energía.
- La poca oferta en el país de equipos utilizados en sistemas fotovoltaicos, hace que no se cuente con gran variedad de tecnologías, lo que obliga a implementar estos sistemas con equipos que presentan poca eficiencia y durabilidad.
- Es necesario tener en cuenta la eficiencia de los equipos que hacen parte del sistema fotovoltaico al momento de realizar todos los cálculos pertinentes, puesto que de esta manera se puede garantizar la recolección de resultados válidos, dando como resultado un buen dimensionamiento del sistema.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] GARCÍA ORTEGA, Jose Luis. Renovables 100%. Un sistema eléctrico renovable para la España peninsular viabilidad económica. Greenpeace. 2006
- [2] LOSTER, Mathias. Total Primary Energy Supply – From Sunlight.2010. 3 p. Internet. (http://www.ez2c.de/ml/solar_land_area/).
- [3] INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES (IDEAM). Atlas de Radiación Solar de Colombia. 2002
- [4] RODRÍGUEZ MURCIA, Humberto. Desarrollo de la Energía Solar en Colombia y sus perspectivas. Bogotá D.C. 2008. 89 p.
- [5] INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACIÓN Y AHORRO DE LA ENERGÍA. Respuestas a todas las preguntas claves sobre la energía solar fotovoltaica. Internet. (http://www.parquesfotovoltaicos.com/energia_fotovoltaica.php). 2007. 52 p.
- [6] BIODISOL. General Motors pone en marcha la planta solar sobre tejado más grande del mundo en Figueruelas. 30 de Septiembre de 2008. Internet. (<http://www.biodisol.com/medio-ambiente/general-motors-pone-en-marcha-la-planta-solar-sobre-tejado-mas-grande-del-mundo-en-figueruelas-energias-limpias-energia-solar-fotovoltaica/>).
- [7] NACIONES UNIDAS. Ratificación del protocolo de Kyoto. 2009. 11 p.
- [8] NACIONES UNIDAS. Manual del convenio de Viena para la protección de la capa de ozono. 2006. Séptima edición. 78 p.
- [9] NACIONES UNIDAS. Convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación adoptado por la conferencia Plenipotenciarios del 22 de marzo de 1989. 1989. 53 p.
- [10] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). Norma ISO 50001. 2008.

- [11] CONGRESO DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA. Ley 697 del 2001. Bogotá. 2001. 5 p.
- [12] SÁNCHEZ, Miguel Ángel. Energía Solar Fotovoltaica. 1ª. Ed. México, D.F. 2008, Limusa, 2008.
- [13] ENRIQUEZHARPER, Gilberto. Energía Solar Para Generación de Potencia Eléctrica. En: Tecnologías de Generación de Energía Eléctrica. 1ª Edición. México DF. LIMUSA. 2009.
- [14] MESSENGER, Roger y A. VENTRE, Jerry. Present and Proposed PV Cells. En: Photovoltaic Systems Engineering. CRC Press. 2^{da} Edición. Estados Unidos. 2003.
- [15] NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY COLORADO. Policristalino Thin Film Technologies Solar Cell. EE.UU. 2011.
- [16] LINDEN David, REDDY Thomas B. Handbook Of Batteries 3rd Edition. McGraw-Hill, New York, 2002 ISBN 0-07-135978-8 chapter 22
- [17] RIVAS MARTINEZ, María Jesús. ROMAN GANZER, José. COSME HUERTAS, María Luisa. "Aplicaciones actuales y futuras de los nanotubos de carbono En: Informe de Vigilancia Tecnológica Madrid .76a. Edición. Fundación de Madrid para el Conocimiento. 2009.
- [18] ALCOR CABRERIZO, Enrique. Instalaciones Solares Fotovoltaicas. 3^{ra}. edición. España: Editorial: PROGENSA, Promotora general de estudios, S.A. 2002.
- [19] BROCK F.V. AND S.J. RICHARDSON. Meteorological Measurements Systems. Oxford University Press.2001. 290 p. Internet. (<http://www.atmosfera.cl/HTML/temas/INSTRUMENTACION/INSTR9.htm>)
- [20] H. RODRÍGUEZ Y F. GONZÁLEZ. Manual de Radiación Solar en Colombia. Volumen I. Bogotá. 1992.

- [21] KREITH, Frank y WEST, Ronald. CRC Handbook of energy efficiency. 1997. 72 p.
- [22] UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER. Principios de la Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. 1948.
- COMISIÓN REGULADORA DE ENERGÍA Y GAS (CREG). Resolución 84 de 1996. Bogotá. 1996. 5 p.
- COMISIÓN REGULADORA DE ENERGÍA Y GAS (CREG). Resolución 85 de 1996. Bogotá. 1996. 7 p.
- ROMERO APARICIO. Susana Carolina. Metodología para la Formulación de Proyectos de Generación de Energía Eléctrica por medio de Paneles fotovoltaicos. Bucaramanga. 2009. 134 p. Trabajo de Grado (Ingeniero Electricista). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Físico Mecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones.
- Norma Técnica Colombiana 2050. Primera Actualización. ICONTEC. Bogotá. 1998. 847 p.
- NACIONES UNIDAS. Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. 1998. 25 p.
- BIOMASS USERS NETWORK. Manuales sobre la Energía renovable Solar Fotovoltaica. Costa Rica. 2002. 48 p.
- GASQUET, Héctor L. Manual sobre los Sistemas Fotovoltaicos. EPSEA. 2004.
- TWIDELL, John y WEIR, Tony. Renewable Energy Resources. Second Edition. 2005.
- DEPARTAMENTO TÉCNICO ADMINISTRATIVO DEL MEDIO AMBIENTE (DAMA). Informe Mensual de Red de Calidad de Aire de Bogotá. Bogotá. 2006.
- MINISTERIO DE INDUSTRIA, TURISMO Y COMERCIO. Energía Solar en España 2007, estado actual y perspectivas. España. 2007. 32 p.

A GOETZBERGER y V.U. HOFFMAN. Solar Cells and Solar Modules. En: Photovoltaic Solar Energy Generation. Springer-Verlag. Berlin. Heidelberg. 2005.

VESSELINKA, Koch y GOETZBERGER, Adolf y HEZEL, Rudolf. High-Efficient Low-Cost Photovoltaics, Recent Developments. Springer-Verlag. Berlín .Heidelberg. 2009.

FALK, Antony y DURRSCHNER, Christian y HEINZ, Karl. Fotovoltaica para profesionales. En: Diseño, instalación y comercialización de plantas solares fotovoltaicas. Sevilla, España. Editorial: Solarpraxis, Censolar. PROGNSA. 2006.

SENADO Y CÁMARA DE DIPUTADOS DE LA NACIÓN ARGENTINA. Ley 25.438. Argentina. 2001.

ANEXOS

ANEXO A. OFERTA TECNOLÓGICA DE PANELES FOTOVOLTAICOS

OFERTA TECNOLÓGICA DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS															
PROVEEDOR	DESCRIPCIÓN	PROPIEDADES ELÉCTRICAS								DIMENSIONES				Garantía [Años]	
		Pmp [W]	Vmp [V]	Imp [A]	V _{Tmax} [V]	Voc [V]	Isc [A]	Ajuste	Eficiencia %	Tecnología	Largo [mm]	Ancho [mm]	Espesor [mm]		Peso [Kg]
Ampa Solar	ASM 50W-12V	55	17.2	2.9	16.3	21.6	3.1	0.9	16	Monocristalino	1007	462	25	5.50	20
	ASM 80W-12V	80	17.5	4.85	16.6	21.8	4.85	0.9	16	Monocristalino	1200	527	25	16.70	20
	ASM 150W-24V	150	26.6	4.35	25.3	43.2	4.7	0.9	17	Monocristalino	1224	1047	40	17.00	20
KyoceraHemeva	Kyocera 40Wp	40	16.9	2.34	16.055	21.5	2.48	0.9	>14	Policristalino	652	536	54	4,5	20
	Kyocera 65Wp	65	17.4	3.75	16.53	21.7	3.99	0.9	>14	Policristalino	751	652	40	6	20
	Kyocera 85Wp	85	17	4.9	16.15		4.7	0.9	>14	Policristalino	1007	652	36	8.30	20
	Kyocera 130Wp	130	17.6	7.39	16.72	21.9	8.02	0.9	>14	Policristalino	1425	652	36	7-10	12
HemevaLTDA	TE 501 A2 - 12V	50	17	2.94	16.15	21.9	3.3	0.9	>14	Policristalino	1003	462	25	5,5	20
	TE 850 A6 - 12V	65	16.3	4.4	15.485	21.2	4	0.9	>14	Policristalino	1231	556	25	7.80	15
	TE 1250 A5 - 12V	110	17.3	6.3	16.435	21.7	6.8	0.9	>14	Policristalino	1464	657	38	11,4	10
	TE 1700 A4 - 24V	150	33.9	4.4	32.205	42.6	4.7	0.9	>14	Policristalino	1240	1086	38	16	15
Coltecnica Ltda.	CS 35	39.15			0	18	2.5	0.9	26	Monocristalino					10
	CS 50 - 12V	50.93	16.43	3.1	15.6	19.8	3.5	0.9	20	Monocristalino	1048	548	24	13	10
	CS 90	93.96			0	18	6	0.9	11	Monocristalino					10
	CS 60	65.25			0	30	2.5	0.9	15	Monocristalino					10
	CS 90 - 12V	90.72	16.43	5.52	15.6	19.8	6	0.9	11	Monocristalino	1048	548	24	13	10
	CS 150	156.6			0	30	6	0.9	16	Monocristalino					10
coltecnicaLtda KYOCERA	Kyocera- 24V	205	26.6	7.71	25.27	33.2	8.36	0.9	16	Policristalino	1501	991	36	18,5	20
	Kyocera- 12V	130	17.6	7.39	16.72	21.8	7	0.9	16	Policristalino	1500	668	36	13	20
Aprotec	Sun 120 - 12V	120	18.9	6.34	17.95	23.2	6.42	0.9	>14	Monocristalino	1082	796	25	12	20
Ampa Solar	ASM 90W - 12V	90	18	5	17.1	22.25	5.39	0.9	>14	Monocristalino	1210	540	35	8.2	20
JHRoeden	Solarworld	230	20	7.83	19	23.9	8.01	0.9	16	Monocristalino	1675	1001	34	19	25
	REC 220PE - 12V	220	20	7.75	19	23.4	7.89	0.9	16	Policristalino	1665	991	38	18	25
	REC 250PE - 12V	250	20	7.97	19	24.4	8.11	0.9	16	Policristalino	1665	991	38	19.3	25
	KD135SX-1PU	135	19.3	4.9	18.3	23.2	5.1	0.9	16	Policristalino	1500	668	36	17	25
	SCHOTT - 12V	245	20	7.85	19	23.4	8.03	0.9	16	Monocristalino	1675	1001	34	18	25
	WURTH SOLAR 80	80	17.4	4.9	16.53	16.8	21.5	0.9	16	Monocristalino	605	1205	23	17	25

ANEXO B. CARACTERÍSTICAS DE LOS PANELES FOTOVOLTAICOS UTILIZADOS EN CADA EDIFICACIÓN

DATOS DE PANELES FOTOVOLTAICOS UTILIZADOS EN CADA EDIFICACIÓN								
EDIFICIO	Longitud PFV [mm]	Ancho PFV [mm]	Área disponible [m ²]	Dist final entre PFV's [mm]	Área por PFV [m ²]	PFV disponibles	Grupos de 4 PFV	E suministrada por PFV's [kWh/día]
EDIFICIO PORTERÍA PRINCIPAL	1048	548	54.5021	1041.967446	0.57099816	95	24	19.20341115
EDIFICIO LUIS A. CALVO	1675	1001	69.09577	1665.358274	1.667023633	41	11	39.868605
EDIFICIO ADMINISTRACIÓN	1665	991	776.9377	1655.415837	1.640517094	473	119	469.33425
EDIFICIO PUBLICACIONES	1665	991	344.9908	1655.415837	1.640517094	210	53	208.3725
EDIFICIO BIENESTAR UNIVERSITARIO	1048	548	458.5346	1041.967446	0.57099816	803	201	162.3193595
EDIFICIO PLANTA FÍSICA	1665	991	139.876	1655.415837	1.640517094	85	22	84.34125
EDIFICIO ING MECÁNICA	1048	548	774.516	1041.967446	0.57099816	1356	339	488.2517741
EDIFICIO BIBLIOTECA	1048	548	932.6226	1041.967446	0.57099816	1633	409	587.9905214
EDIFICIO LABS. LIVIANOS	1665	991	835.01495	1655.415837	1.640517094	508	127	504.063
EDIFICIO CAMILO TORRES	1048	548	783.538314	1041.967446	0.57099816	1372	343	494.012857
EDIFICIO CENTIC	1048	548	882.578464	1041.967446	0.57099816	1545	387	556.3045656
EDIFICIO FEDERICO MAMITZA BAYER	1048	548	813.928986	1041.967446	0.57099816	1425	357	513.096444
EDIFICIO ESC. ING. ELÉCTRICA	1048	548	283.05585	1041.967446	0.57099816	495	124	178.2335016
EDIFICIO LAB DE POSG/CAMILO QUÍMICA	1665	991	534.309564	1655.415837	1.640517094	325	82	322.48125
EDIFICIO ING. QUÍMICA	1665	991	492.57348	1655.415837	1.640517094	300	75	297.675
EDIFICIO AULA MÁXIMA DE CIENCIAS	1048	548	249.54125	1041.967446	0.57099816	437	110	88.33569129
EDIFICIO CICELPA - CEIAM	1048	548	53.66865	1041.967446	0.57099816	93	24	18.79912881
EDIFICIO PLANTA DE ACEROS	1048	548	165.6788	1041.967446	0.57099816	290	73	58.6209393
EDIFICIO JORGE BAUTISTA VESGA	1665	991	544.3994	1655.415837	1.640517094	331	83	328.43475
EDIFICIO RESIDENCIAS UNIVERSITARIAS	1665	991	223.6494	1655.415837	1.640517094	136	34	134.946
EDIFICIO CIENCIAS HUMANAS	1048	548	356.782764	1041.967446	0.57099816	624	156	126.1360901
EDIFICIO COLISEO	1048	548	209.79481	1041.967446	0.57099816	367	92	74.18580939
EDIFICIO ÁLVARO BELTRÁN PINZÓN	1048	548	511.7384	1041.967446	0.57099816	896	224	322.6206413
EDIFICIO ALBAÑILERÍA	1675	1001	16.9756	1665.358274	1.667023633	10	3	9.72405
PARQUEADERO LUIS A. CALVO	1048	548	992.6	1041.967446	0.57099816	1738	435	625.7976278

ANEXO C. CARACTERÍSTICAS DE LAS BATERÍAS UTILIZADAS EN CADA EDIFICACIÓN

DATOS DE BATERÍAS UTILIZADAS EN CADA EDIFICACIÓN							
EDIFICIO	V _{nom} batería [V]	V _{nom} Sistema [V]	Profundidad descarga	Capacidad batería [kAh]	Capacidad banco de baterías [kAh]	Baterías disponibles	Grupos de 4 baterías
EDIFICIO PORTERÍA PRINCIPAL	12	48	0.8	0.035	1.500266496	43	11
EDIFICIO LUIS A. CALVO	12	48	0.8	0.035	3.114734766	89	23
EDIFICIO ADMINISTRACIÓN	12	48	0.8	0.15	36.66673828	245	62
EDIFICIO PUBLICACIONES	12	48	0.8	0.15	16.27910156	109	28
EDIFICIO BIENESTAR UNIVERSITARIO	12	48	0.8	0.2	12.68119996	64	16
EDIFICIO PLANTA FÍSICA	12	48	0.8	0.035	6.589160156	189	48
EDIFICIO ING MECÁNICA	12	48	0.8	0.2	38.14466985	191	48
EDIFICIO BIBLIOTECA	12	48	0.8	0.2	45.93675949	230	58
EDIFICIO LABS. LIVIANOS	12	48	0.8	0.15	39.37992188	263	66
EDIFICIO CAMILO TORRES	12	48	0.8	0.2	38.59475445	193	49
EDIFICIO CENTIC	12	48	0.8	0.2	43.46129419	218	55
EDIFICIO FEDERICO MAMITZA BAYER	12	48	0.8	0.2	40.08565969	201	51
EDIFICIO ESC. ING. ELÉCTRICA	12	48	0.8	0.2	13.92449231	70	18
EDIFICIO LAB DE POSG/CAMILO QUÍMICA	12	48	0.8	0.15	25.19384766	168	42
EDIFICIO ING. QUÍMICA	12	48	0.8	0.15	23.25585938	156	39
EDIFICIO AULA MÁXIMA DE CIENCIAS	12	48	0.8	0.2	6.901225882	35	9
EDIFICIO CICELPA - CEIAM	12	48	0.8	0.035	1.468681938	42	11
EDIFICIO PLANTA DE ACEROS	12	48	0.8	0.035	4.579760883	131	33
EDIFICIO JORGE BAUTISTA VESGA	12	48	0.8	0.15	25.65896484	172	43
EDIFICIO RESIDENCIAS UNIVERSITARIAS	12	48	0.8	0.15	10.54265625	71	18
EDIFICIO CIENCIAS HUMANAS	12	48	0.8	0.2	9.854382038	50	13
EDIFICIO COLISEO	12	48	0.8	0.2	5.795766359	29	8
EDIFICIO ÁLVARO BELTRÁN PINZÓN	12	48	0.8	0.2	25.2047376	127	32
EDIFICIO ALBAÑILERÍA	12	48	0.8	0.035	0.759691406	22	6
PARQUEADERO LUIS A. CALVO	12	48	0.8	0.15	48.89043968	326	82

ANEXO D. CARACTERÍSTICAS DE LOS CONTROLADORES UTILIZADOS EN CADA EDIFICACIÓN

DATOS DE CONTROLADORES DE CARGA UTILIZADOS EN CADA EDIFICACIÓN					
EDIFICIO	Vnom Sistema [V]	Corriente PFV [A]	Corriente Controlador [A]	Número arreglo PFV/Controlador	Número de controladores
EDIFICIO PORTERÍA PRINCIPAL	48	3.5	60	17	6
EDIFICIO LUIS A. CALVO	48	8.03	60	7	6
EDIFICIO ADMINISTRACIÓN	48	8.11	60	7	68
EDIFICIO PUBLICACIONES	48	8.11	60	7	30
EDIFICIO BIENESTAR UNIVERSITARIO	48	3.5	60	17	48
EDIFICIO PLANTA FÍSICA	48	8.11	60	7	13
EDIFICIO ING MECÁNICA	48	6	60	10	136
EDIFICIO BIBLIOTECA	48	6	60	10	164
EDIFICIO LABS. LIVIANOS	48	8.11	60	7	73
EDIFICIO CAMILO TORRES	48	6	60	10	138
EDIFICIO CENTIC	48	6	60	10	155
EDIFICIO FEDERICO MAMITZA BAYER	48	6	60	10	143
EDIFICIO ESC. ING. ELÉCTRICA	48	6	60	10	50
EDIFICIO LAB DE POSG/CAMILO QUÍMICA	48	8.11	60	7	47
EDIFICIO ING. QUÍMICA	48	8.11	60	7	43
EDIFICIO AULA MÁXIMA DE CIENCIAS	48	3.5	60	17	26
EDIFICIO CICELPA - CEIAM	48	3.5	60	17	6
EDIFICIO PLANTA DE ACEROS	48	3.5	60	17	18
EDIFICIO JORGE BAUTISTA VESGA	48	8.11	60	7	48
EDIFICIO RESIDENCIAS UNIVERSITARIAS	48	8.11	60	7	20
EDIFICIO CIENCIAS HUMANAS	48	3.5	60	17	37
EDIFICIO COLISEO	48	3.5	60	17	22
EDIFICIO ÁLVARO BELTRÁN PINZÓN	48	6	60	10	90
EDIFICIO ALBAÑILERÍA	48	8.03	60	7	2
PARQUEADERO LUIS A. CALVO	48	6	60	10	174

ANEXO E. CARACTERÍSTICAS DE LOS INVERSORES UTILIZADOS EN CADA EDIFICACIÓN

DATOS DE INVERSORES UTILIZADOS EN CADA EDIFICACIÓN				
EDIFICIO	Consumo energético del sistema [kWh/Día]	Potencia nominal del Sistema [W]	Potencia Inversor [W]	Número de Inversores
EDIFICIO PORTERÍA PRINCIPAL	8.975909794	641.1364138	3000	1
EDIFICIO LUIS A. CALVO	794.4987718	56749.91227	3000	19
EDIFICIO ADMINISTRACIÓN	699.8477444	49989.1246	3000	17
EDIFICIO PUBLICACIONES	602.5816166	43041.54404	3000	15
EDIFICIO BIENESTAR UNIVERSITARIO	542.1884064	38727.74332	3000	13
EDIFICIO PLANTA FÍSICA	442.3813376	31598.66697	3000	11
EDIFICIO ING MECÁNICA	942.9896453	67356.40324	3000	23
EDIFICIO BIBLIOTECA	688.1851766	49156.08404	3000	17
EDIFICIO LABS. LIVIANOS	1361.954774	97282.48386	3000	33
EDIFICIO CAMILO TORRES	522.7787919	37341.34228	3000	13
EDIFICIO CENTIC	653.7074828	46693.39163	3000	16
EDIFICIO FEDERICO MAMITZA BAYER	407.2916452	29092.26037	3000	10
EDIFICIO ESC. ING. ELÉCTRICA	177.2960109	12664.00078	3000	5
EDIFICIO LAB DE POSG/CAMILO QUÍMICA	365.8741121	26133.86515	3000	9
EDIFICIO ING. QUÍMICA	752.7976758	53771.26256	3000	18
EDIFICIO AULA MÁXIMA DE CIENCIAS	41.60611962	2971.865687	3000	1
EDIFICIO CICELPA - CEIAM	217.0871727	15506.22662	3000	6
EDIFICIO PLANTA DE ACEROS	322.2948796	23021.06283	3000	8
EDIFICIO JORGE BAUTISTA VESGA	906.2923686	64735.16919	3000	22
EDIFICIO RESIDENCIAS UNIVERSITARIAS	134.4512964	9603.66403	3000	4
EDIFICIO CIENCIAS HUMANAS	2147.364445	153383.1747	3000	52
EDIFICIO COLISEO	469.4951164	33535.36546	3000	12
EDIFICIO ÁLVARO BELTRÁN PINZÓN	401.324259	28666.0185	3000	10
EDIFICIO ALBAÑILERÍA	65.76132201	4697.237286	3000	2
PARQUEADERO LUIS A. CALVO	184.488188	13177.72771	3000	5