

SOFTWARE PARA EL CÁLCULO DE SISTEMAS DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA
AISLADOS BASADO EN LA NORMATIVIDAD EUROPEA



Autor

PEDRO LUIS MONTERO PEÑALOZA

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA,
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍAS ELECTRÓNICA, ELÉCTRICA, SISTEMAS Y
TELECOMUNICACIONES
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
PAMPLONA, COLOMBIA

2016

SOFTWARE PARA EL CÁLCULO DE SISTEMAS DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA
AISLADOS BASADO EN LA NORMATIVIDAD EUROPEA

Autor

PEDRO LUIS MONTERO PEÑALOZA

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de: **Ingeniero**

Eléctrico

Director

EDISON ANDRES CAICEDO PEÑARANDA

Ingeniero Eléctrico

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA,
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍAS ELECTRÓNICA, ELÉCTRICA, SISTEMAS Y
TELECOMUNICACIONES
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
PAMPLONA, COLOMBIA

2016

Nota de Aceptación

Director de trabajo de grado

Jurado

Jurado

Jurado

Pamplona, Diciembre de 2016

Dedicatoria

A Dios por darme fuerzas y la perseverancia de no desistir y seguir adelante en momentos difíciles, a mi madre Zoraida Peñaloza por ser mi amiga, consejera y ayudarme a crecer como persona, a mis hermanos Jheyson Montero y Yeimy Montero por brindarme su apoyo, a mi padre Pedro Juan Montero, a mis amigos y compañeros que nunca me hicieron sentir solo y a la linda ciudad de Pamplona por formarme profesionalmente.

Agradecimientos

El autor expresa sus agradecimientos a:

- ELECTRICARIBE S.A E.S.P., por brindarme la oportunidad de llevar a cabo mis prácticas empresariales y formarme en el campo laboral.
- Ing. Edison Andrés Caicedo Peñaranda, por brindarme su apoyo y guiarme con sus conocimientos para la elaboración del siguiente proyecto y por todos los conocimientos ingenieriles transmitidos a lo largo de mi formación universitaria.
- A cada uno de los docentes de la universidad de Pamplona que a lo largo de mi formación me ayudaron a adquirir conocimientos profesionales y personales.
- A los ingenieros Carlos Meza, Jorge Quintero, Freideth Villa y Karen Raveles y a todo el cuerpo de empleados de ELECTRICARIBE S.A. E.S.P. en Montería por ser mis guías profesionales.
- Al ingeniero Johrman Vides por aportar sus conocimientos en la elaboración del siguiente proyecto.

Tabla de contenido

	Pág.
Dedicatoria	4
Agradecimientos	5
Tabla de contenido.....	6
Lista de Tablas	11
Lista de figuras.....	12
Introducción	1
Glosario.....	3
Resumen.....	6
1. Planteamiento del problema.....	1
1.1. Formulación del problema	2
2. Justificación.....	3
3. Objetivos	6
3.1 Objetivo General	6
3.2. Objetivos específicos	6
4. Marco referencial y estado del arte	7
4.1. Marco teórico	7
4.1.1. Energías renovables	7
4.1.1.1. Energía de biomasa	7
4.1.1.2. Energía eólica.....	7
4.1.1.3. Energía hidráulica	8
4.1.1.4. Energía geotérmica.....	8

4.1.1.5. Energía solar fotovoltaica	9
4.1.1.6 Energía solar térmica.....	9
4.1.2. Geometría del movimiento terrestre	9
4.1.2.1. Movimientos de la tierra	9
4.1.2.2. Movimiento de traslación.....	9
4.1.2.3. Movimiento de rotación	11
4.1.2.4. Declinación solar.....	12
4.1.2.5. Puntos cardinales.....	15
4.1.2.6. Coordenadas geográficas	17
4.1.2.7. Paralelos y Latitud.....	17
4.1.2.8. Meridianos y Longitud.....	18
4.1.2.9. Zonas térmicas de la Tierra	19
4.1.3. Coordenadas solares y celestes	20
4.1.3.1. Esfera celeste.....	20
4.1.3.2. Sistema de coordenadas celestes horizontales y coordenadas solares.	21
4.1.3.3. Coordenadas celestes ecuatoriales	23
4.1.3.4. Triángulo astronómico para la obtención de la posición del Sol.	24
4.1.3.5. Duración astronómica del día (N).....	26
4.1.4. Radiación solar.....	26
4.1.4.1. Propagación de la radiación solar.	27
4.1.4.2. Distribución espectral de la radiación solar.	28
4.1.4.3. Influencia de la atmósfera terrestre en la radiación solar.....	29
4.1.4.4. Datos de radiación.....	31

4.1.4.5. Constante solar (I0)	33
4.1.4.6. Radiación en superficies inclinadas	33
4.1.4.7. Hora solar pico	36
4.1.5. Módulos fotovoltaicos.....	36
4.1.5.1. Estructura del módulo fotovoltaico.....	37
4.1.5.2. Tipos de módulos fotovoltaicos	38
4.1.5.4. Curva característica de los módulos fotovoltaicos.....	39
4.1.5.5. Parámetros eléctricos de los módulos fotovoltaicos	40
4.1.5.6. Sistema fotovoltaico aislados o autónomo.....	41
4.1.6. Baterías y acumuladores.	42
4.1.6.1. Tipos de baterías	43
4.1.7. Reguladores.....	47
4.1.8. Inversores	50
4.2. Estado del arte	51
4.3. Marco contextual.....	53
4.3.1. Radicación en el territorio colombiano.	53
4.4. Marco legal.....	56
4.4.1. Normas Colombianas para sistemas fotovoltaicos.....	56
4.4.1. Normas internacionales para sistemas fotovoltaicos.....	59
4.5. Antecedentes	60
4.5.2. Antecedente Internacional	60
4.5.3. Antecedentes Nacionales.....	61
5. Cálculo de sistemas fotovoltaicos autónomos del software SOLARSOFT®.....	1

5.1. Datos de radiación solar horizontal.....	2
5.2. Tensión nominal del sistema.....	6
5.2. Estimación del consumo de energía.....	7
5.3. Pérdidas en el sistema	10
5.4. Dimensionamiento del generador fotovoltaico	12
5.5. Dimensionado del sistema de acumulación.	13
5.5.1. Comportamiento de los distintos tipos de baterías fotovoltaicas	14
5.5.2. Tamaño del acumulador según los tiempos de autonomía.....	17
5.5.3. Cálculo de la capacidad de acumulación y el número de baterías en el sistema.	17
5.6. Criterio de selección de los reguladores	19
5.7. Criterio de selección del inversor.....	21
5.8. Criterio de selección del conductor.....	22
6. Estructura del software SOLARSOFT®.....	25
6.1. Descripción del botón inicio	27
6.2. Descripción botón carga.....	33
6.3. Descripción del botón Paneles	36
6.4. Descripción del Botón Batería	4
6.5. Descripción del botón Regulador.....	8
6.6. Descripción del Botón inversor.....	9
6.7. Descripción del Botón opciones	10
7. Validación del software SOLARSOFT®.....	11
8. Resultados esperados y potenciales beneficiarios.....	14
8.1. Principales beneficiarios	14

8.2. Compatibilidad del software	15
9. Conclusiones	16
10. Recomendaciones.....	17
11. Bibliografía	18
12. Anexos	24

Lista de Tablas

Tabla 1. Variación de la capacidad de las baterías con la temperatura.....	46
Tabla 2. Niveles de tensión del sistema fotovoltaico en función de la potencia de carga instalada. Elaboración propia.	7
Tabla 3. Tabla para el cálculo de potencia instalada en DC.	9
Tabla 4. Profundidad de descarga (PD) y Número de ciclos para dos baterías solares	14
Tabla 5. Tipos y características de baterías.	15
Tabla 6. Estimación de números de días de autonomía.	17
Tabla 7. Valores de corrección de temperatura.	23
Tabla 8. Conductores según diferentes temperaturas.	24
Tabla 9. Paneles solares comerciales en Colombia con sus características. Fuente: elaboración propia.	1
Tabla 10. Baterías para sistemas fotovoltaicos comerciales en Colombia con sus características. Fuente: elaboración propia.....	5
Tabla 11. accesorios para baterías. Fuente: elaboración propia.....	7
Tabla 12. Radiación solar en los peores meses en los principales municipios de Colombia. Fuente: Elaboración propia.	24
Tabla 13. Accesorios complementarios para sistemas fotovoltaicos. Fuente: elaboración propia.	30

Lista de figuras

Figura 1. Generación de energía solar fotovoltaica a nivel mundial. Fuente [3].....	4
Figura 2. Movimiento de la Tierra alrededor del Sol. Fuente [12].....	11
Figura 3. Declinación solar. Fuente: [12]	12
Figura 4. Esquema del cambio de declinación con movimiento del sol respecto al eje Ecuatorial. Fuente [8].....	14
Figura 5. Esquema del cambio de declinación en grados con respecto a los días del año. Fuente [9].....	15
Figura 6. Puntos cardenales según la orientación solar. Fuente [10].....	16
Figura 7. Paralelos de la tierra con respecto al eje ecuatorial. Fuente [11]	17
Figura 8. Latitudes de la tierra. Fuente [11].....	18
Figura 9. Meridianos terrestres. Fuente [11].....	19
Figura 10. Planisferio de zonas térmicas terrestres. Fuente [11]	20
Figura 11. Esfera celeste. Fuente [12]	21
Figura 12. Sistema de coordenadas celestes horizontales. [15].....	22
Figura 13. a.) Ángulo de elevación solar, b.) Acimut solar. Fuente [12]	23
Figura 14. Sistema Coordenadas celestes ecuatoriales. Fuente[12]	24
Figura 15. Triángulo astronómico. Fuente[12].....	25
Figura 16. Espectro electromagnético. Fuente [13].....	28
Figura 17. Distribución espectral de la radiación solar. Fuente [12].....	29
Figura 18. Tipos de radiación solar sobre una superficie terrestre. Fuente [12].....	31
Figura 19. Índice de claridad en función con respecto a la fracción de difusión para valores diarios. Fuente [14]	32
Figura 20. Radiación solar sobre superficies inclinadas [16]	34
Figura 21. Hora solar con respecto a las distintas horas del día. Fuente [16].....	36
Figura 22. Módulo compuesto por células de silicio monocristalino. Fuente [25].....	38
Figura 23. Módulo de silicio puro policristalino Fuente [25].....	39
Figura 24. Curva característica, con sus principales elementos, de una célula fotovoltaica. Fuente [25].....	40
Figura 25. Esquema básico instalación fotovoltaica autónoma. Fuente [21]	42
Figura 26. Asociación de paneles solares (Generador solar). Fuente [22]	42
Figura 27. Conexión de baterías en a). Paralelo b). Serie. Fuente [24]	44
Figura 28. Voltajes de regulación Fuente [24].....	50
Figura 29. Mapa de radiación anual promedio en Colombia. Fuente [18]	54
Figura 30. Días sin brillo solar anual en Colombia. Fuente [26].....	55
Figura 31. Ejemplo de obtención de coordenadas geográficas por medio de la herramienta de google maps. Fuente [28].....	3

Figura 32. Página web de la NASA para calcular radiación según coordenadas geográficas. Fuente [29].	4
Figura 33. Datos obtenidos de la página web de la NASA. Fuente [29].	5
Figura 34. Icono del software. Fuente: Elaboración propia	25
Figura 35. Pantalla de inicio al programa, Fuente: elaboración propia	25
Figura 36. Ingreso erróneo del logeo.	26
Figura 37. Ventana principal. Fuente: Elaboración propia	27
Figura 38. Funciones del botón Inicio. Fuente: Elaboración propia.	28
Figura 39. Ventana de Nuevo Proyecto. Fuente: Elaboración propia.	29
Figura 40. Ingreso de nuevas variables de Ubicación-Radiación. Fuente: Elaboración propia. ..	31
Figura 41. Variables de ubicación- radiaciones guardadas. Fuente: Elaboración propia	32
Figura 42. Pestaña de carga. Fuente: Elaboración propia.	34
Figura 43. Pestaña para el cálculo de la carga en AC. Fuente: Elaboración propia.	35
Figura 44. Pestaña para el cálculo de la carga en AC. Fuente: Elaboración propia	35
Figura 45. selección del regulador. Fuente: Elaboración propia	8
Figura 46. selección del inversor DC/AC. Fuente: Elaboración propia	9
Figura 47. Botón de opciones. Fuente: Elaboración propia.	10

Introducción

Con el pasar de los años los países tienen un incremento de población y con ello la implementación de nuevas edificaciones, instituciones, centros comerciales, hospitales entre otros. Con el incremento dichas edificaciones también se incrementa el consumo de suministros esenciales para el ser humano como el agua el gas y por supuesto la energía eléctrica. La obtención de energía eléctrica convencional genera ciertos daños ambientales debido a que la mayoría de la electricidad actualmente se genera quemando combustibles fósiles. Esto produce altas temperaturas, que mueven algún tipo de máquina térmica, a menudo una turbina de vapor.

La necesidad de utilizar energías renovables en la generación de energía eléctrica se realiza con el fin de disminuir el impacto ambiental que actualmente se produce por los métodos de generación de energía eléctrica convencionales (hidroeléctricas y plantas térmicas). [1]En 2010, una publicación de la Agencia Internacional de la Energía (World Energy Outlook 2010) estimó que la producción mundial de electricidad se duplicará en los próximos veinticinco años. Dentro de esta cifra, se espera que la producción de energía renovable crezca en un 57%. Para lograr esto será indispensable que la eficiencia de la energía eléctrica mantenga bajos costos y una alta calidad de servicio.

Por su gran cantidad de recursos hídricos, la electricidad en Colombia proviene principalmente de plantas hidroeléctricas, y en segundo lugar los combustibles fósiles, cuyas reservas se están agotando rápidamente debido a factores climáticos y diferentes fenómenos del calentamiento global. Colombia es un país que cuenta con muchos recursos para la implementación de generación de energías renovables, sin embargo el país cuenta con 28,1

megavatios de capacidad instalada en energía renovable (excluyendo a las centrales hidroeléctricas), consistente principalmente en energía eólica. El país pese a que es idónea para la implementación de energías renovables debido a su ubicación geográfica, tiene varios recursos energéticos aún sin explorar como la energía solar térmica y fotovoltaica, eólica, geotérmicas, biomasa, entre otras. [2]De acuerdo con un estudio por el Programa de asistencia para la administración del Sector energético del banco mundial, La sola explotación de energías renovables en el país podría ser suficiente para cubrir más de lo que necesita. Con los nuevos estudios que se realizan en dicho país se promueve a utilizar estos tipos de producción de energía alternativa ya que son energías que más que ayudar a no contaminar nuestro planeta y proteger nuestros ríos y fauna, son energías que son a largo plazo muy rentables muchas de estas pueden utilizarse en lugares de difícil acceso, pueden generar ahorros económicos y crear conciencia en nuestra sociedad.

En el siguiente trabajo se busca realizar un software con el fin de obtener cálculos de sistemas fotovoltaicos aislados por medio de una interfaz gráfica de fácil manejo, basado en normas europeas vigentes y aplicables en Colombia, para promover el uso de la energía solar fotovoltaica en los proyectos e investigaciones de los estudiantes de la universidad de Pamplona del programa de ingeniería eléctrica y a fines, de igual forma se diseñará de forma fácil y didáctica para que todo la comunidad de la universidad de Pamplona pueda hacer uso de este software.

Glosario

Sistemas fotovoltaicos: La Energía Solar Fotovoltaica es una forma de transformar la energía proveniente del sol en corriente continua por medio de semiconductores cuando éstos son iluminados por un haz de fotones. Mientras la luz incide sobre una célula solar, que es el nombre dado al elemento fotovoltaico individual, se genera potencia eléctrica; cuando la luz se extingue, la electricidad desaparece. [7]

Software: Conjunto de datos y programas que maneja el ordenador. Es la parte lógica o inmaterial de un sistema informático. Almacenados en el ordenador en forma de ceros y unos. [9]

Sistemas fotovoltaicos aislados: un sistema fotovoltaico aislado o autónomo es aquel que produce energía eléctrica para satisfacer el consumo de cargas eléctricas no conectadas a la red, empleando un sistema de acumulación energético para hacer frente a los períodos en los que la generación es inferior al consumo. [9]

Banco de baterías: Conjunto de pilas electrolíticas con distintas conexiones entre sí destinadas a la generación de energía eléctrica y después de descargadas, pueden volver a la situación de carga mediante una circulación de corriente en dirección opuesta a la producida cuando se descarga. [12]

Inversor: Es un dispositivo capaz de convertir la corriente continua producida por el generador fotovoltaico en corriente alterna con los parámetros adecuados de tensión y frecuencia. [12]

Regulador: dispositivo electrónico que se encarga de regular la corriente que es absorbida por la batería con el fin de que en ningún momento pueda sobrecargarse

peligrosamente, pero, al mismo tiempo, evitando en lo posible que se deje de aprovechar la energía captada por los paneles. El regulador debe controlar el voltaje, que será una indicación del estado de carga de la batería y si éste llega a un valor previamente establecido, correspondiente a la tensión máxima admisible, actuar de forma que impida que la corriente siga fluyendo hacia la batería. [12]

Tiempo de autonomía: Tiempo (en días) en el cual un sistema fotovoltaico puede suministrar energía eléctrica a una carga sin este recibir radiación solar, es decir, tiempo en el cual las energías remanentes del banco de baterías pueden suministrar a una carga. [9]

Módulos fotovoltaicos: están formados por un conjunto de células fotovoltaicas que producen electricidad a partir de la luz que incide sobre ellos mediante el efecto fotoeléctrico.

Radiación solar: Energía procedente del sol en forma de ondas electromagnéticas, su unidad es el $[W/m^2]$. [9]

Declinación Solar (δ): es el ángulo formado por el plano ecuatorial y el radio vector Tierra-Sol, varía entre $-23,5^\circ$ y $23,5^\circ$. [9]

Distancia media Tierra-Sol (ro): se denomina unidad astronómica, donde $1AU = 1,469 \times 10^8$ km. La distancia mínima es $0,983AU$ y la máxima $1,017AU$.

Tiempo solar verdadero: Es el tiempo dado por el movimiento diario de la Tierra y el Sol y se mide con un reloj de sol. [9]

Tiempo solar medio: Es el tiempo medido sobre la referencia del día solar medio. Este consiste en el lapso existente entre el paso consecutivo del sol medio por el meridiano superior del lugar, siendo un promedio del día solar verdadero, y se corresponde con el tiempo civil.

Ecuación de tiempo: Es la diferencia entre el tiempo solar medio (medido generalmente con un reloj) y el tiempo solar verdadero. Esta diferencia varía a lo largo del año. [12]

Acimut: Es el ángulo horizontal formado por la posición del sol y la dirección del verdadero sur. [12]

Irradiancia: Es la magnitud que describe la radiación o intensidad de iluminación solar que llega hasta nosotros medida como una potencia instantánea por unidad de superficie, W/m^2 o unidades equivalentes. [12]

Irradiación: Es la cantidad de irradiancia recibida en un lapso de tiempo determinado, es decir, la potencia recibida por unidad de tiempo y por unidad de superficie. Se suele medir en Wh/m^2 o, en caso de un día, en $Wh/m^2/día$ o unidades equivalentes. [7]

Cenit: Es la intersección de la vertical de un lugar y la esfera celeste. Es el punto más alto en el cielo con relación al observador, que se encuentra justo sobre su cabeza (90°). [7]

Resumen

El siguiente trabajo busca realizar un software para el cálculo de sistemas fotovoltaicos aislados o autónomos que ayude a la comunidad estudiantil y docentes de la universidad de Pamplona, de igual forma a toda persona interesada en realizar instalaciones de sistemas fotovoltaicos, en llevar a cabo cálculos de sistemas fotovoltaicos a través de una interfaz gráfica que se basará en unas normativas aplicables actualmente en Europa que apliquen en Colombia, para establecer los parámetros de sistemas fotovoltaicos y con ello promover el uso de dicha energía fotovoltaica.

Para entender todo el contexto de la energía solar fotovoltaica, se profundizó en temas como: la energía solar, cálculo de la radiación solar incidente en superficies inclinadas, conversión de la energía solar a energía eléctrica, elementos que componen un sistema fotovoltaico aislados, diseño de sistemas fotovoltaicos aislados, y análisis financiero para tener una idea del costo de un proyecto de energía fotovoltaica. Además de investigar estos temas se realizó una recopilación de datos para la elaboración de bases de datos de radiación solar, paneles solares, baterías e inversores necesarios para las funciones del software

Por su parte, la universidad de Pamplona y el departamento de ingenierías eléctrica, electrónica, sistemas y telecomunicaciones cuentan con una variedad de software en distintos ámbitos ingenieriles promoviendo el uso de las herramientas informáticas para el desarrollo de la formación de los estudiantes. La implementación de un software para el cálculo de sistemas fotovoltaicos ayudaría a los estudiantes y al cuerpo docente en elaborar instalaciones y/o proyectos de investigación de una forma más rápida y segura.

Palabras claves: Banco de baterías, energía solar fotovoltaica, inversor, tiempo de autonomía, regulador, módulo fotovoltaico, radiación Solar, Sistemas Fotovoltaicos Autónomos, irradiación.

1. Planteamiento del problema

Los sistemas fotovoltaicos durante las últimas dos décadas han crecido de forma exponencial tanto en pequeños proyectos como en convertirse en grandes generadores de energía por su gran eficiencia. En la actualidad los cálculos de dichos sistemas son realizados muchas veces realizados de forma convencional lo cual hacen que los cálculos sean muy demorados y tediosos, otra forma de realizar los cálculos de sistemas fotovoltaicos es por medio de softwares que las mayorías de las veces no son completos en su totalidad o cuentan con licencias pagas lo cual los hace de difícil acceso para todo público. En ambos casos antes mencionados, las pérdidas económicas son considerables ya que cuando se requiere invertir mucho tiempo en realizar un cálculo repercute en costos del proyecto y cuando se invierte dinero en una licencia de software muchas veces hay que brindar capacitaciones para tener resultados óptimos.

En la universidad de Pamplona existen estudios de proyectos para la implementación de módulos fotovoltaicos en distintos puntos de la universidad y del municipio, pese a estos estudios una de las problemáticas que existe es la falta de un software libre de licencia que ayude a promover la implementación de módulos y facilite el cálculo de los sistemas fotovoltaicos.

En la actualidad, existen software de otras universidades del país que son libres de licencias pero cuentan con muchas limitaciones como la son un cálculo completo y fiable, otra que son basadas en normas colombianas que hasta la fecha son muy cortas y no tienen en cuenta factores muy esenciales como lo son tiempo de autonomía, cálculo de bancos de baterías entre otros, para la implementación de un sistema aislado y el único software elaborado en Colombia que es muy

complejo y se encuentra licenciado. La implementación de un software para el cálculo de sistemas de generación de energía fotovoltaica en la universidad de Pamplona ayudaría a estudiantes del programa de ingeniería eléctrica y a fines a realizar de forma más rápida y fiable investigaciones y proyectos en la cual requieran un suministro de energía eléctrica que no sea nociva con el medio ambiente.

1.1. Formulación del problema

¿Cómo se puede contribuir a la comunidad de la universidad de Pamplona y a la sociedad en general para que realicen instalaciones y estudios de sistemas de generación de energía fotovoltaica?

2. Justificación

La implementación de energías solar fotovoltaica en Colombia es una necesidad al igual que las distintas energías renovables, ya que las grandes generaciones de energías en el país son hidroeléctricas y térmicas las cuales son altamente contaminantes y dependientes de los ríos que se ven altamente afectados por el calentamiento global. Colombia es un país privilegiado en cuanto a radiación solar por encontrarse cerca del ecuador, la constante radiación solar que llega a la corteza terrestre se ve afectada por los inviernos que nos temporadas del año muy cortas a comparación del resto de verano.

Con el pasar de los años, la energía solar fotovoltaica tiene más acogida por ser un sistema de resultados favores a largo plazo. Los países que son pioneros el generar energía solar fotovoltaica son Alemania, España, Japón, Italia, USA, Rep. Checa, Francia, china, Bélgica u Corea del sur respectivamente.

Los países europeos son en general, donde más existe generación de energía solar fotovoltaica debido a que son países que por su ubicación geográfica cuentan con una radiación solar y sus gobiernos promueven el uso de energías renovables con el fin de crear conciencia y proteger el medio ambiente.

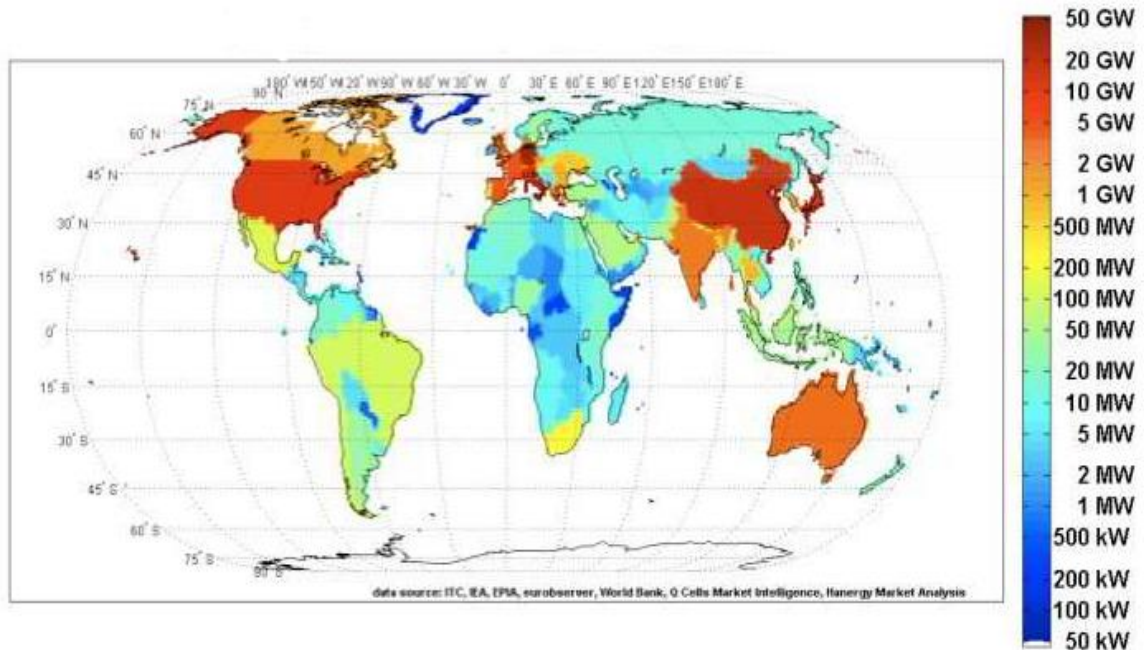


Figura 1. Generación de energía solar fotovoltaica a nivel mundial. Fuente [3]

La energía solar fotovoltaica como grandes fuentes generadoras de energía eléctrica en Latinoamérica es muy baja, principalmente se utiliza dicha generación para pequeños proyectos con cargas restringidas, más sin embargo esta forma alterna de obtener el suministro de energía los últimos tres años ha obtenido un crecimiento exponencial, una de las principales dificultades para implementar sistemas fotovoltaicos de gran generación de energía en estos países es el valor inicial de ejecutar el proyecto, en cuanto a costos de material, profesionales expertos en el área, estudios de radiación solar, cálculo de sombras, licencias de software entre otros.

El siguiente trabajo busca ayudar a la comunidad de la universidad de pamplona y a toda persona interesada en implementar sistemas fotovoltaicos aislados, solucionando problemas a la hora de implementar dichos sistemas como lo son el cálculo de baterías, selección de reguladores, inversores , módulos fotovoltaicos, tiempos de autonomía, viabilidad de la implementación, mediante una interfaz gráfica de fácil acceso para que todo público con conocimientos básicos

puede acceder a ella y apoyase para implementar de estos sistemas de generación de energía y con esto optimizar tiempos de ejecución de cálculos y realizar cálculos confiables según normativas europeas que sean aplicables en Colombia, promoviendo la aplicación de dichos sistemas, y con esto tener sistemas generadores de energía alternativa más óptimos, económicos que también sean amigables con el medio ambiente.

3. Objetivos

3.1 Objetivo General

- Diseñar un software de cálculo de sistemas de generación fotovoltaica aislados a la red eléctrica de distribución en base a la normativa europea.

3.2. Objetivos específicos

- Seleccionar las normativas europeas vigentes y aplicables a sistemas de generación fotovoltaica aislados.
- Establecer la metodología de diseño de sistemas fotovoltaicos aislados adecuada para programar según criterios ingenieriles.
- Diseñar la interfaz gráfica del cálculo de sistemas de generación fotovoltaica autónomas.
- Programar los respectivos algoritmos para la elaboración del software.
- Validar el funcionamiento del software mediante la comparación y diseño de un sistema de generación fotovoltaica existente o planeado.

4. Marco referencial y estado del arte

4.1. Marco teórico

4.1.1. Energías renovables

El concepto de energías renovables hace referencia a todo aquel tipo de conversión de energía a eléctrica por medio de fuentes naturales que son consideradas inagotables [4], debido a la inmensa cantidad de energía que contiene o puede producir, y porque son capaces de regenerarse por medios naturales. Dentro de las energías renovables más destacables se encuentran:

4.1.1.1. Energía de biomasa

Consiste en el calentamiento de un fluido mediante calderas y equipamientos homologados que utilicen biomasa como combustible. La biomasa es aquella materia orgánica de origen vegetal o animal, incluyendo los residuos y desechos orgánicos, susceptible de ser aprovechada energéticamente. Las plantas transforman la energía radiante del sol en energía química a través de la fotosíntesis, y parte de esta energía queda almacenada en forma de materia orgánica. Dicha materia podría proporcionar energías sustitutivas a los combustibles fósiles, gracias a agrocombustibles líquidos (como el biodiesel o el bioetanol), gaseosos (gas metano) o sólidos (leña), pero todo depende de que no se emplee más biomasa que la producción neta del ecosistema explotado, de que no se incurra en otros consumos de combustibles en los procesos de transformación, y de que la utilidad energética sea la más oportuna frente a otros usos posibles.

4.1.1.2. Energía eólica

La energía eólica es una de las energías abundantes y renovables de la naturaleza. Proviene de la conversión de la energía cinética que traen las masas de aire en movimiento hacia energía mecánica y luego a energía eléctrica. Para conseguir esta conversión se utilizan máquinas llamadas aerogeneradores. Estos dispositivos, a través de una superficie aerodinámica expuesta al viento, producen trabajo mecánico en un eje. Existen variados diseños aerodinámicos para adaptar distintos tipos de aerogeneradores a las condiciones climáticas de cada zona.

Como recurso energético el viento es abundante, aunque también variable. Esto produce importantes fluctuaciones en la entrega de energía de los aerogeneradores. En la actualidad existen dos tipos de aplicaciones para la energía mecánica obtenida a partir del viento. Las instalaciones para la producción de electricidad y las instalaciones de bombeo de agua.

4.1.1.3. Energía hidráulica

La energía hidráulica o energía hídrica es una fuente de energía renovable que aprovecha la caída de agua desde una cierta altura para generar energía eléctrica. Se aprovecha así la energía cinética de una corriente o salto de agua natural.

4.1.1.4. Energía geotérmica

Es la energía almacenada en las rocas del subsuelo de la tierra, utiliza el vapor natural de la tierra para la producción de calor o de electricidad. Hay dos formas de utilizar el recurso geotérmico:

- Utilización directa del calor para calefacciones, procesos industriales o agrícolas.
- Generación de electricidad a partir del uso del vapor, las instalaciones son similares a las de las centrales térmicas, la diferencia es que el vapor no se genera quemando carbón, sino que se obtiene directamente de la naturaleza. Antes de ser derivado a las turbinas se realiza un proceso de separación de las sales disueltas que contiene el vapor de agua.

4.1.1.5. Energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica es aquella energía que es obtenida directamente a partir de la radiación solar mediante un dispositivo semiconductor denominado célula fotovoltaica o módulo fotovoltaico, que al interactuar las ondas electromagnéticas provenientes del sol con dicho módulo, crean una corriente que origina una energía en DC, dicho proceso se le denomina efecto fotoeléctrico.

4.1.1.6 Energía solar térmica

La energía solar térmica o termosolar consiste en el aprovechamiento de la energía del Sol para producir calor que puede aprovecharse para cocinar alimentos o para la producción de agua caliente destinada al consumo de agua doméstico, ya sea agua caliente sanitaria, calefacción, o para producción de energía mecánica y, a partir de ella, de energía eléctrica.

4.1.2. Geometría del movimiento terrestre

4.1.2.1. Movimientos de la tierra

La Tierra en su desplazamiento por la órbita solar realiza dos movimientos principales, el de rotación sobre su propio eje y el de traslación alrededor del Sol, que determinan la cantidad de luz y calor que llega a cada lugar de la superficie terrestre a lo largo del día y del año. [5] Además, como causantes de la sucesión de los días y las noches y de la alternancia de las estaciones del año, estos movimientos han servido a los seres humanos para poder medir el tiempo y hacer sus calendarios.

4.1.2.2. Movimiento de traslación

En el movimiento de traslación, la Tierra se desplaza alrededor del Sol siguiendo una elipse de baja excentricidad en la que el sol ocupa uno de los focos. La duración de este movimiento define un año. Este movimiento está contenido en el llamado plano de la eclíptica. Debido a la baja excentricidad de la elipse en el movimiento de translación, la distancia entre Sol y Tierra durante el movimiento de traslación es variable, [6]se estima que la distancia promedio Tierra-Sol es de aproximadamente 149,46 x 106 km (valor llamado una Unidad Astronómica U.A). Una ecuación simple para describir esta distancia está recogida. La órbita de la Tierra se puede describir mediante la siguiente expresión:

$$R = \frac{a (1-e)}{1+e \cos\alpha} \quad (1)$$

Dónde:

R = distancia Tierra-Sol.

a = unidad astronómica (semieje mayor de la elipse).

e = excentricidad de la órbita terrestre ($e = 0,01673$).

α = posición angular de la Tierra en la órbita.

$$\alpha = \frac{2\pi(nd-1)}{365} \quad (2)$$

Donde:

nd = número del día del año.

Cuando $\alpha=0^\circ$ la Tierra se encuentra más cerca del Sol (perihelio) (Figura 1), de la ecuación 1 se obtiene:

$$R = a (1 - e) = 0,983 \text{ U.A}$$

Cuando $\alpha=180^\circ$, la Tierra se encuentra en la posición más distante del Sol (afelio); en este punto:

$$R = a (1 + e) = 1,017 \text{ U.A}$$

La distancia R para efectos radiométricos, se puede expresar mediante una ecuación de fácil cómputo. Spencer expresó la distancia en términos de serie de Fourier, con un error máximo de 0,01 por ciento:

$$\left(\frac{R_0}{R}\right) = 1,00011 + 0,034221 \cos \alpha + 0,00128 \operatorname{sen} \alpha + 0,000719 \cos 2 \alpha + 0,000077 \operatorname{sen} 2 \alpha \quad (3)$$

Dónde:

R_0 = Distancia promedio Tierra-Sol (1 U. A).

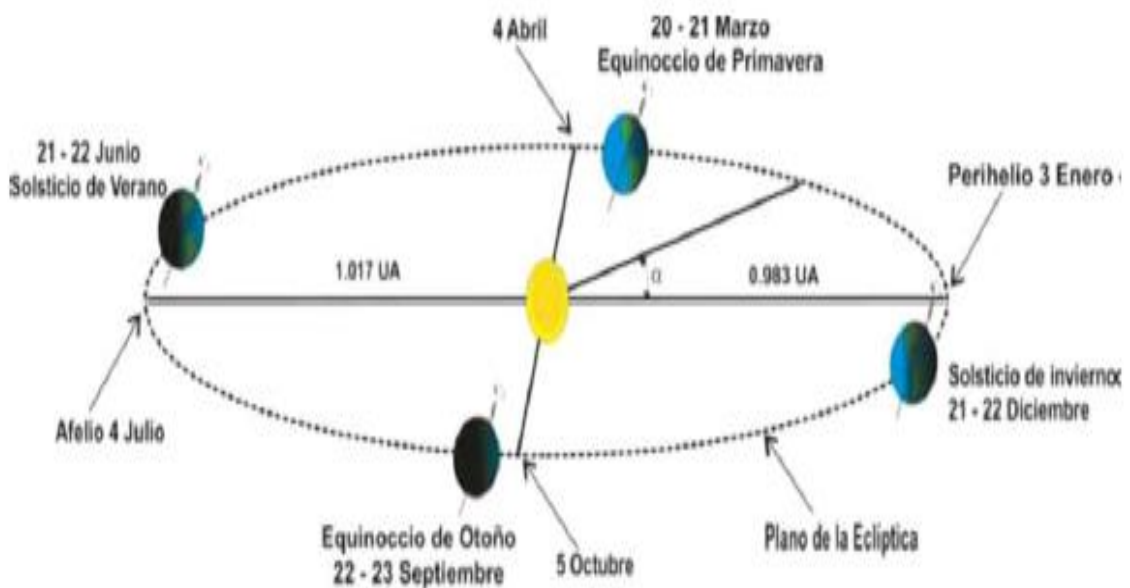


Figura 2. Movimiento de la Tierra alrededor del Sol. Fuente [12]

4.1.2.3. Movimiento de rotación

En el movimiento de rotación la tierra da una vuelta completa sobre sí misma cada 24 horas, día solar. Este movimiento de rotación se realiza de Oeste a Este, por lo que el sol aparenta salir por Oriente y se pone por Occidente, y da lugar a la alternancia entre los días y las noches. El

conocimiento de la rotación terrestre y de sus consecuencias nos permite localizar cualquier punto sobre la superficie terrestre y dividir el tiempo en horas. El movimiento de rotación impone el ritmo de los días y las noches, lo que se traduce en cambios en aspectos como la luz, la temperatura, la humedad del aire, vientos y corrientes marinas. Así como en las mareas que provocan importantes cambios en el contorno litoral de los continentes, corrientes de masas de agua poco profundas e importantes consecuencias en los comportamientos de los humanos, animales y plantas que habitan en el medio litoral.

4.1.2.4. Declinación solar

En los distintos movimientos de la tierra, se encuentra que su eje de rotación, con respecto al plano de translación alrededor del Sol, tiene una inclinación fija de aproximadamente $23,45^\circ$ (siempre se encuentra en la misma dirección respecto del plano de translación. (Figura2). El eje siempre tiene la misma orientación). El ángulo formado entre el plano ecuatorial de la tierra y la línea Tierra-Sol se denomina declinación solar (δ). (Figura 3.) Debido al movimiento de la tierra alrededor del sol el valor de este ángulo varía durante el año.

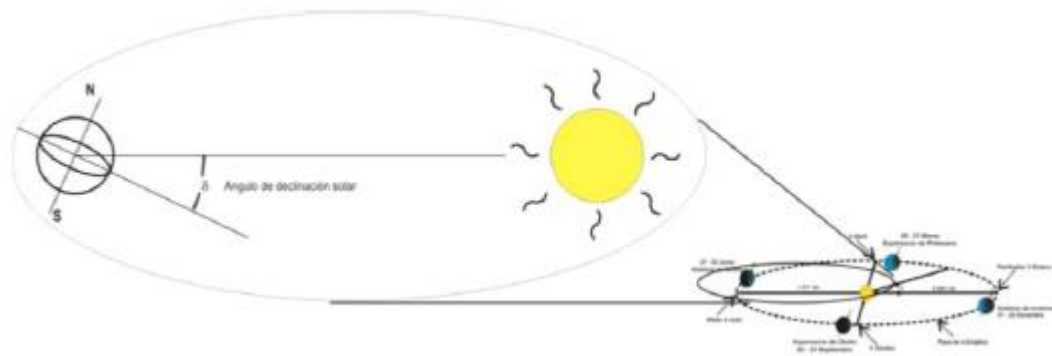


Figura 3. Declinación solar. Fuente: [12]

La declinación Solar δ , se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$\delta = 23,45 \operatorname{sen} \left[\frac{360}{365} (dn + 284) \right] \quad (5)$$

Donde :

dn es el número de día el año

El signo de la declinación es positivo (+) cuando el Sol incide perpendicularmente sobre algún lugar en el hemisferio norte, entre el 21 de marzo (equinoccio de primavera) y el 23 de septiembre (equinoccio de otoño), y negativo (-) cuando incide perpendicularmente sobre algún lugar en el hemisferio sur, entre el 23 de septiembre (equinoccio de otoño) y el 21 de marzo (equinoccio de primavera), y varía entre $-23,45^\circ$, cuando el Sol se encuentra en la parte más baja del hemisferio sur (solsticio de invierno 21/22 de diciembre), y $+23,45^\circ$, cuando se halla en la parte más alta del hemisferio norte (solsticio de verano 21/22 de junio). Dos veces durante el año toma valor cero, cuando el Sol pasa sobre el Ecuador terrestre, durante los equinoccios (como se puede observar en la figura 3). Los valores diarios de la declinación solar pueden calcularse con un error máximo de 0,0006 rad., mediante otra fórmula obtenida por Spencer:

$$\delta = (0,006918 - 0,0399912 \cos \alpha + 0,070257 \operatorname{sen} \alpha - 0,006758 \cos 2\alpha + 0,000907 \operatorname{sen} 2\alpha + 0,002697 \cos 3\alpha + 0,00148 \operatorname{sen} 3\alpha) * \left(\frac{180}{\pi} \right) \quad (6)$$

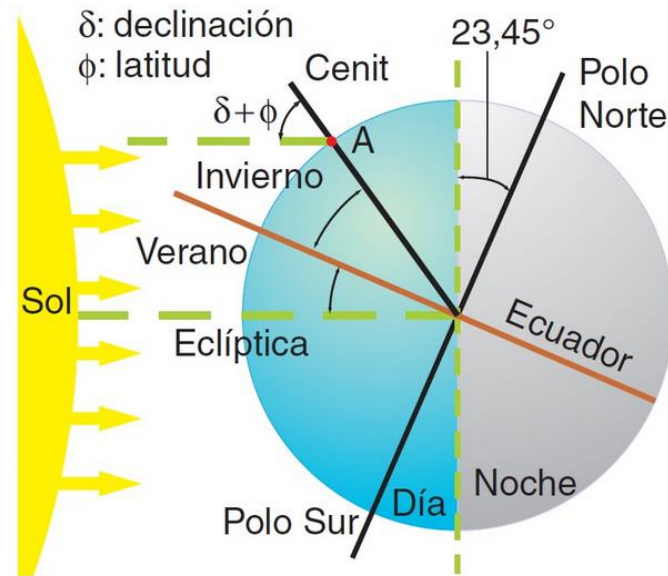


Figura 4. Esquema del cambio de declinación con movimiento del sol respecto al eje Ecuatorial. Fuente [8]

El valor de la declinación toma ciertos valores característicos que definen las estaciones y sus fechas de transición. En los equinoccios la declinación es nula, de forma que el Sol amanece y anochece exactamente por el Este y Oeste, respectivamente, siendo equivalentes la duración de día y noche. En el solsticio de junio (21-22 junio, día del año 172-173) la declinación toma el valor $\delta = 23,45^\circ$. En el hemisferio Norte es llamado de verano, produciéndose aquí el día más largo del año con el Sol amaneciendo por el noreste y anocheciendo por el noroeste. En el solsticio de diciembre (21-22 diciembre día del año 355-356) la declinación toma el valor $\delta = -23,45^\circ$. En el hemisferio Norte este solsticio es denominado de invierno, ocurriendo el día más corto, con el Sol amaneciendo por el sureste y anocheciendo por el suroeste.

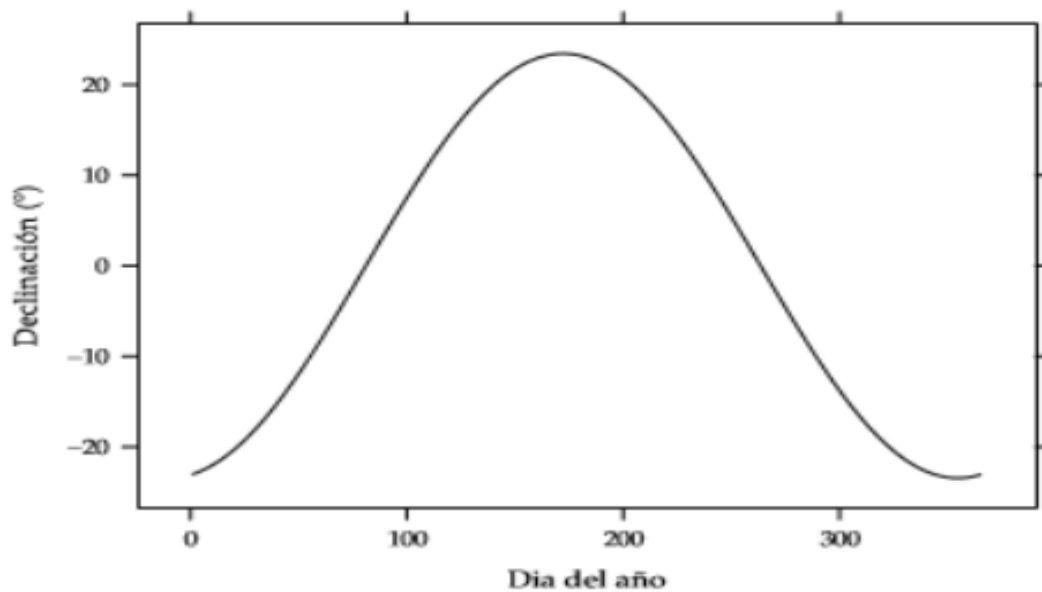


Figura 5. Esquema del cambio de declinación en grados con respecto a los días del año. Fuente [9].

4.1.2.5. Puntos cardinales

Los puntos cardinales son las cuatro direcciones derivadas del movimiento de rotación terrestre que conforman un sistema de referencia cartesiano para representar la orientación en un mapa o en la propia superficie terrestre. Estos puntos sirven [10] Para orientarnos o localizar un lugar, que poseen una relación directa con el movimiento aparente del Sol en el cielo a lo largo del día, consecuencia del movimiento de rotación de la Tierra. Los puntos cardinales se sitúan siempre en cada uno de los cuatro lados del rectángulo o cuadrado que contiene un mapa.

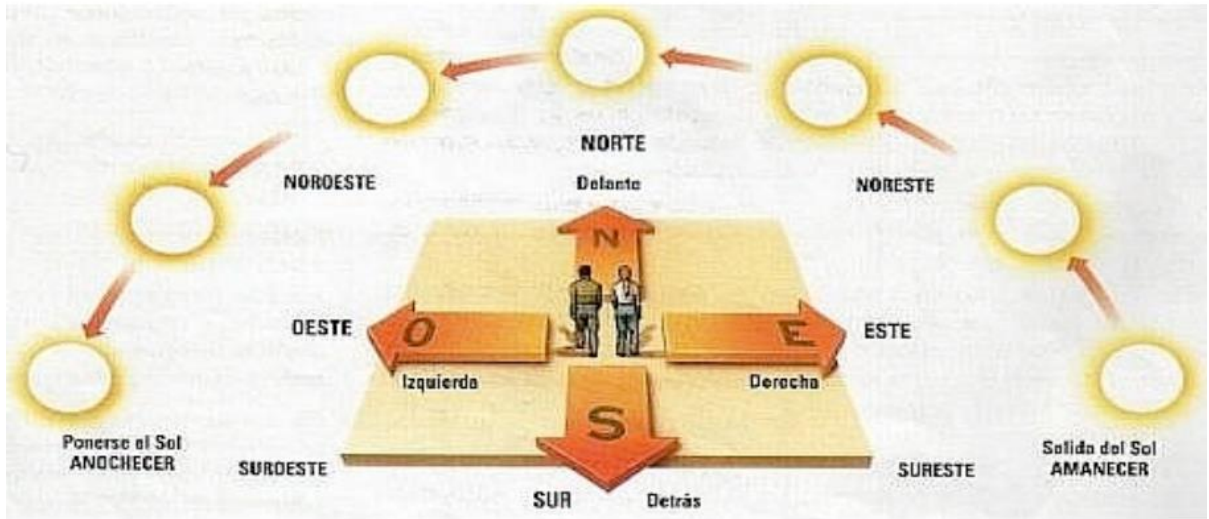


Figura 6. Puntos cardinales según la orientación solar. Fuente [10]

El Este corresponde al espacio de la parte derecha del mapa. Una persona puede orientarse en función del movimiento del Sol en el horizonte, si señala con el brazo derecho hacia donde sale el sol este lugar corresponde con el Este.

El Oeste corresponde al espacio de la parte izquierda del mapa. Cuando nos orientamos en cualquier lugar de la Tierra, como en el caso anterior, coincide con el brazo izquierdo, el que señala el lugar donde se pone el Sol.

El Norte corresponde al espacio de la parte superior del mapa. Delante cuando nos orientamos en cualquier lugar de la Tierra.

El Sur corresponde al espacio de la parte inferior del mapa. Detrás cuando nos orientamos en cualquier lugar de la Tierra.

Además, el espacio que existe entre dos puntos cardinales puede designarse mediante los denominados puntos cardinales compuestos: Noreste, Noroeste, Sureste y Suroeste.

4.1.2.6. Coordenadas geográficas

Las coordenadas geográficas son un conjunto de líneas imaginarias que permiten ubicar con exactitud un lugar en la superficie de la Tierra. Estos conjuntos de líneas corresponden a los meridianos y paralelos.

4.1.2.7. Paralelos y Latitud

Los paralelos corresponden a los círculos imaginarios que se trazan paralelos a la Línea del ecuador y que mantienen siempre la misma distancia con respecto al ecuador y a los demás paralelos, siendo todos los paralelos menores que el ecuador. (Figura 7).

La Línea del ecuador se encuentra ubicada a igual distancia de los polos. El ecuador es el Círculo máximo que divide a la Tierra en dos hemisferios: Hemisferio Norte y Hemisferio Sur.

Los paralelos han sido trazados a intervalos de 10° , tomando como origen el ecuador. Hay 90 paralelos alcanzando los 90° tanto en el Polo Norte como en el Polo Sur, por lo tanto hay 180° .

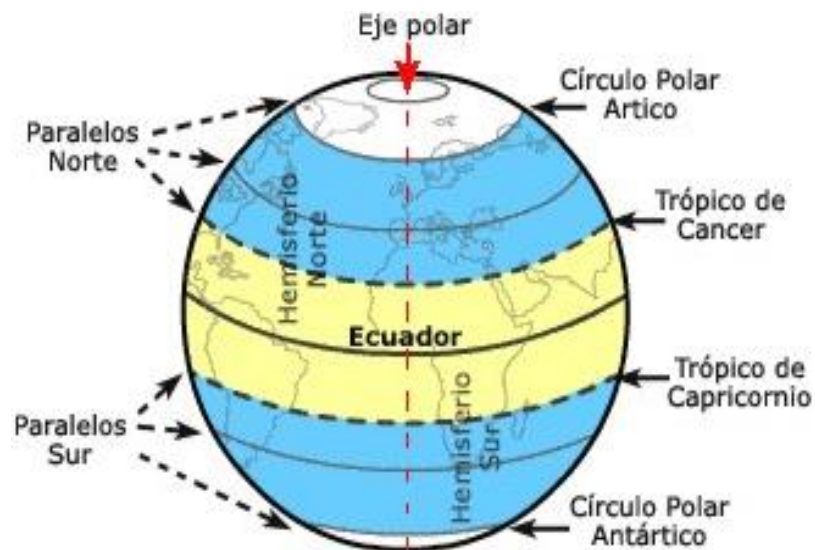


Figura 7. Paralelos de la tierra con respecto al eje ecuatorial. Fuente [11]

Por su parte la latitud hace referencia a la distancia, medida en grados, que hay entre cualquier paralelo y el ecuador.

La latitud establece las distancias entre los paralelos. Se miden en grados a partir del círculo del ecuador. Siempre se mide hacia el Norte o hacia el Sur. Como hay 90 paralelos en cada hemisferio, norte y sur, la mayor latitud que se puede medir en cada uno es de 90° , ya sea hacia el Sur o hacia el Norte (Figura 8).



Figura 8. Latitudes de la tierra. Fuente [11]

4.1.2.8. Meridianos y Longitud

Los meridianos corresponden a los círculos máximos que pasan por los polos. Se ha determinado como Meridiano de origen a aquel que pasa por el observatorio Astronómico de Greenwich, en Inglaterra. El Meridiano de Greenwich divide a la Tierra en dos hemisferios: hemisferio Oeste u Occidental y hemisferio Este u Oriental.

A partir del Meridiano 0° , se cuentan 180 meridianos hacia el oeste, los que corresponden al Hemisferio Occidental y 180 meridianos hacia el este, correspondientes al Hemisferio Oriental. De acuerdo a lo anterior, existen 360 meridianos en total.

[12]La longitud es la distancia en grados, entre cualquier meridiano y el meridiano de Greenwich, que es un punto universal de referencia. En nuestra esfera terrestre, los meridianos se han trazado a intervalos de 10°.

La longitud se mide exclusivamente hacia el Este o hacia el Oeste.

Como hay 180 meridianos en cada hemisferio, la mayor longitud que se puede medir en cada uno es de 180°, tanto en dirección este como en dirección oeste.

Cualquier punto ubicado en la superficie de nuestro planeta se encuentra ubicado en el cruce de un paralelo (latitud) y un meridiano (longitud). Si se indica la latitud y la longitud de un lugar, se puede obtener su localización exacta.

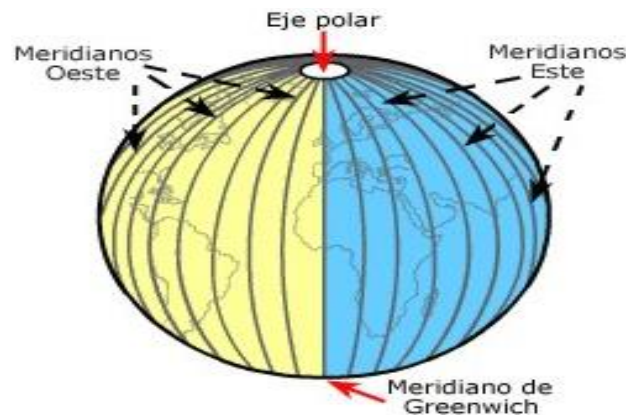


Figura 9. Meridianos terrestres. Fuente [11]

4.1.2.9. Zonas térmicas de la Tierra

Otra consecuencia del movimiento de traslación de la tierra alrededor del Sol es la división del planeta en grandes zonas térmicas y climáticas, una cálida en la zona intertropical, dos templadas en las latitudes medias de ambos hemisferios y dos frías o polares, debido a que la cantidad e intensidad de radiación solar que llegan a la superficie terrestre varían con la latitud y las estaciones del año.

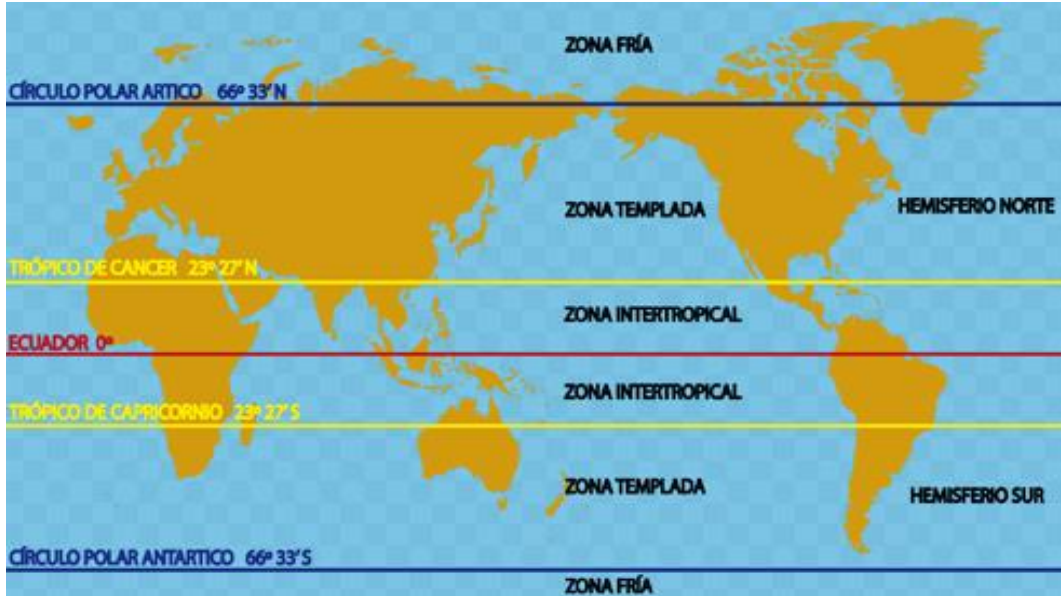


Figura 10. Planisferio de zonas térmicas terrestres. Fuente [11]

4.1.3. Coordenadas solares y celestes

4.1.3.1. Esfera celeste

Clásicamente, el cielo ha sido representado mediante una esfera imaginaria cuyo centro se fija en la Tierra, llamada esfera celeste, lo cual permite ubicar los diferentes astros como si un observador los estuviera mirando desde la Tierra y donde cada uno de sus puntos representa una dirección al cielo. La intersección con el plano imaginario del Ecuador terrestre define el Ecuador celeste. Los puntos de intersección con el eje polar terrestre se llaman polos celestes.

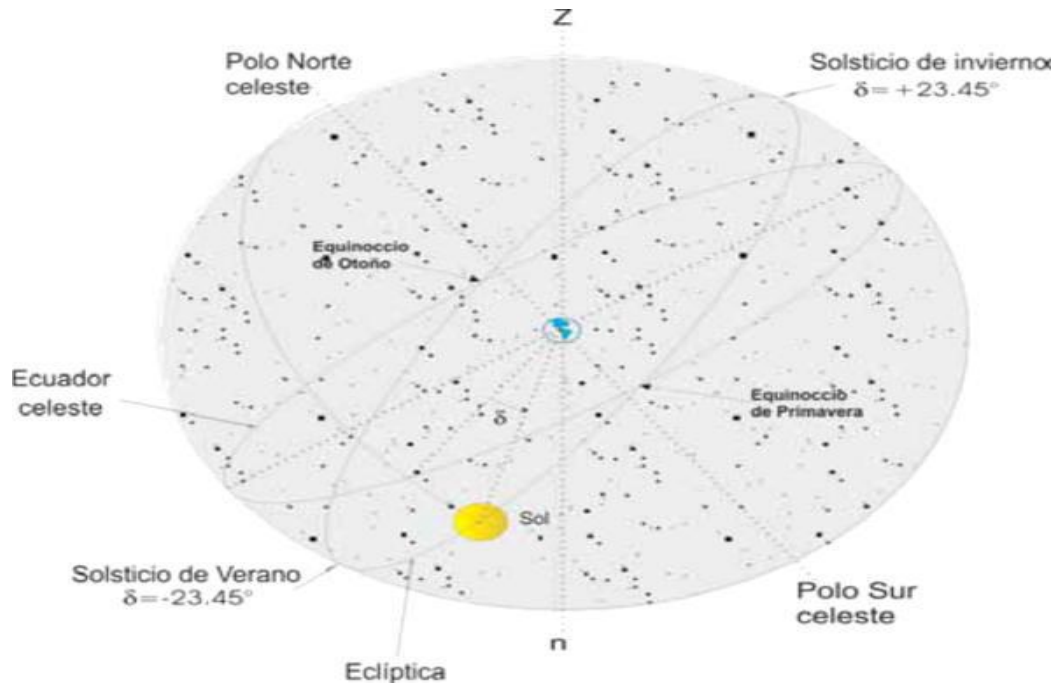


Figura 11. Esfera celeste. Fuente [12]

Durante el movimiento de la Tierra alrededor del sol, la posición relativa del sol respecto de los demás astros en la esfera celeste cambia, y puede describirse utilizando esta forma de representación como un movimiento del sol alrededor de la tierra en un círculo cuyo plano forma un ángulo de $23,45^\circ$ con el plano del Ecuador. Dicho círculo se denomina Eclíptica, como se observa en la figura 11.

El sol recorre la eclíptica una vez al año; y la esfera celeste, debido a la rotación terrestre, gira una vez al día alrededor de la tierra, que permanece fija en esta representación. De esta forma, el sol describe diariamente alrededor de la tierra un círculo, al igual que los demás astros. Sin embargo, en la medida en que se presenta este movimiento, en la realidad la distancia tierra-sol cambia, día a día siendo mínima en el solsticio de invierno y máxima en el solsticio de verano.

4.1.3.2. Sistema de coordenadas celestes horizontales y coordenadas solares.

En el sistema de coordenadas celestes horizontales ilustrado en la Figura 11 se determina la posición del Sol mediante los ángulos llamados acimut, Az , y la distancia cenital, Zo , o su complemento, la altura solar h .

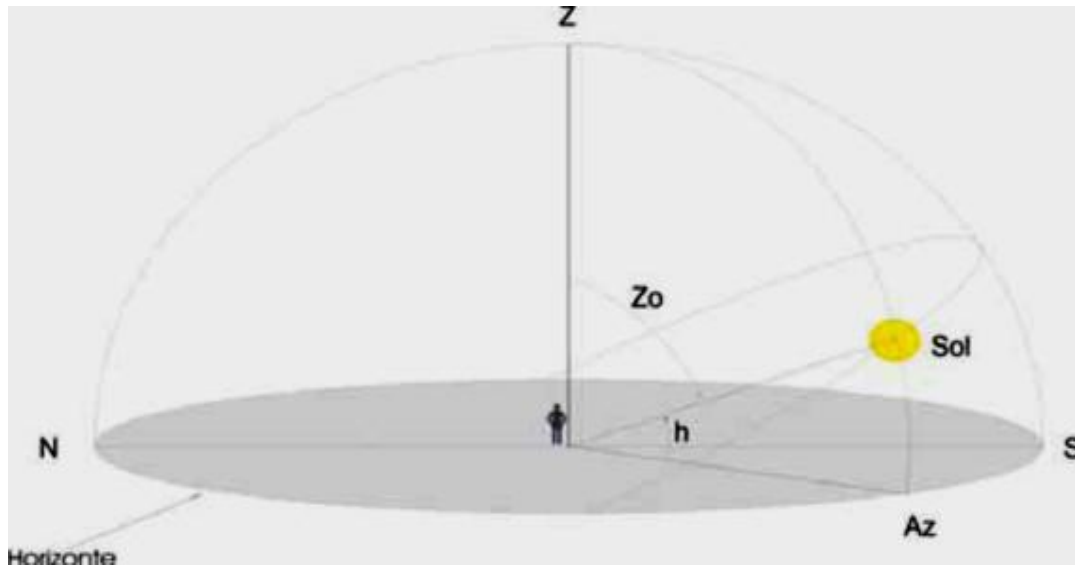


Figura 12. Sistema de coordenadas celestes horizontales. [15]

Para situar la posición del sol en el cielo se utiliza el concepto de esfera celeste, que es una esfera imaginaria de radio arbitrario, centrado en el observador, sobre la que se proyecta la posición del Sol (figura 12). Cada punto de esta esfera celeste es una dirección en el cielo vista desde la tierra. Este sistema de representación muestra las posiciones del Sol como si tuviera un movimiento aparente alrededor de la Tierra siguiendo una trayectoria dentro del plano de la eclíptica que forma un ángulo de 23,45 grados con el ecuador de la esfera celeste. El Sol recorre la eclíptica una vez al año y la esfera celeste gira una vez al día en torno a la tierra. En el sistema de coordenadas de la esfera celeste, que es similar al usado para definir la longitud y latitud terrestres, se especifica la posición del sol mediante dos ángulos que se denominan elevación y acimut (figura 13.b.). Estas coordenadas solares se definen respecto a la dirección vertical que es

la dirección que marcaría una plomada, que, apuntando hacia abajo, se dirigiría hacia el centro de la Tierra y hacia arriba interceptaría a la esfera celeste en un punto denominado cenit (figura 13. a). La intersección con el hemisferio opuesto de la esfera celeste definiría el punto opuesto al cenit denominado nadir. Las definiciones de las coordenadas solares son:

Elevación solar γ_s : es el ángulo que forman los rayos solares con la horizontal (figuras 1.6 y 1.7). Toma valores que van de $(90^\circ - \varphi - \delta)$ en el solsticio de invierno a $(90^\circ - \varphi + \delta)$ en el solsticio de verano, siendo φ la latitud del lugar y δ la declinación.

Acimut solar ψ_s : ángulo formado por el meridiano del sol y el meridiano del lugar, tomando como referencia el Sur en el hemisferio norte y el Norte en el hemisferio sur. Tiene valores positivos de 0 a 180° hacia el Oeste y negativos de 0 a -180° hacia el Este.

Ángulo o distancia cenital θ_{zs} : ángulo formado por la dirección del sol y la vertical. Es el ángulo complementario de la elevación sol que me muestra en la parte a. de la figura 13.

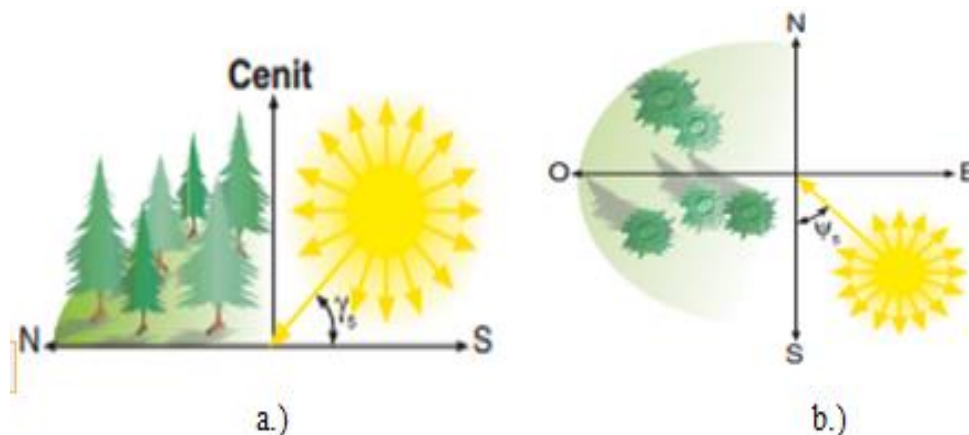


Figura 13. a.) Ángulo de elevación solar, b.) Acimut solar. Fuente [12]

4.1.3.3. Coordenadas celestes ecuatoriales

En el sistema ecuatorial, la posición del Sol está determinada por la declinación (δ) y el ángulo horario (ω). El ángulo horario (ω) es el ángulo formado en el polo por la intersección entre el meridiano del observador y el meridiano del Sol (Figura 14); se expresa en unidades de arco (grados) o en unidades de tiempo (horas); su conversión es: 1 hora = 15° .

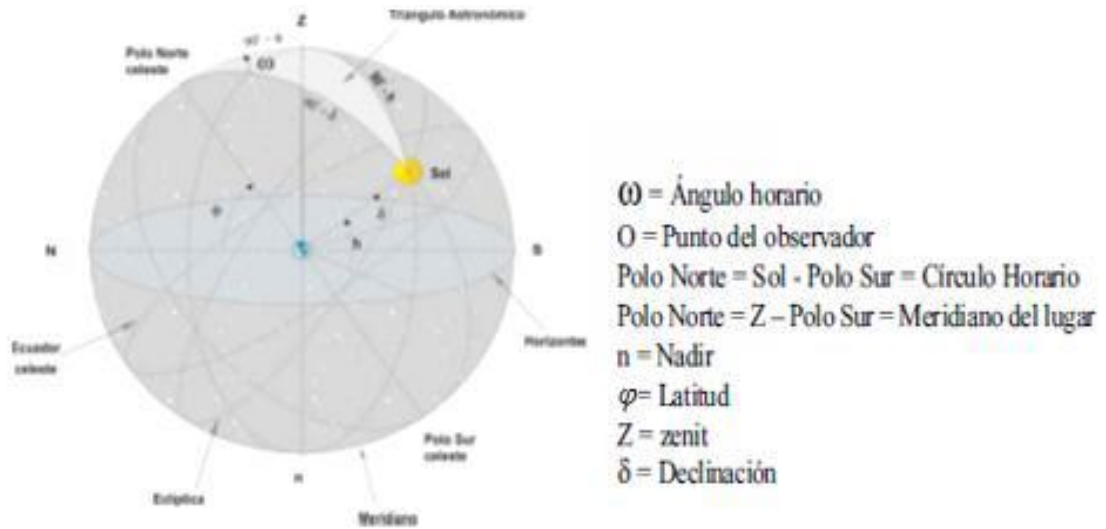


Figura 14. Sistema Coordenadas celestes ecuatoriales. Fuente[12]

4.1.3.4. Triángulo astronómico para la obtención de la posición del Sol.

Combinando los dos sistemas de coordenadas, horizontales y ecuatoriales, se puede obtener el triángulo astronómico de la Figura 7, el cual se toma de la esfera celeste en la Figura 6 y es conformado por el Polo Norte, N; el cenit, Z, y el Sol. En otras palabras, resulta de proyectar el meridiano del lugar (el que pasa por el cenit y los polos), el círculo horario (que pasa por los polos y el astro) y la vertical del astro (círculo que pasa por el cenit-nadir y el astro).

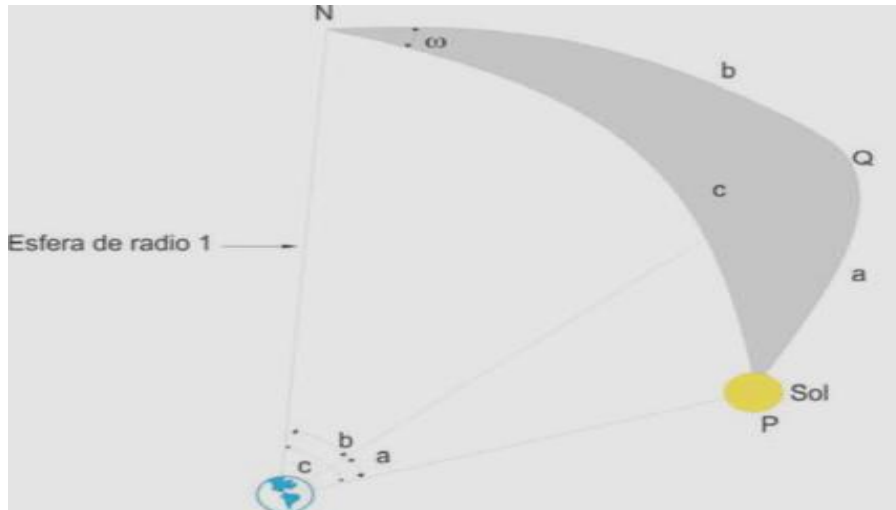


Figura 15. Triángulo astronómico. Fuente[12]

A partir de la posición del Sol en este triángulo esférico es posible establecer el ángulo de incidencia de la luz solar sobre una superficie horizontal o inclinada utilizando la llamada ley de los cosenos descrita por la ecuación de la trigonometría esférica.

$$\cos a = \cos b \cos c + \operatorname{sen} b \operatorname{sen} c \cos \omega \quad (6)$$

Altura del sol.

Para hallar el valor de la altura solar se sustituyen los lados del triángulo astronómico (Polo Norte, N; el cenit, Z, y el Sol, o sea NQP) en la ecuación (5) por los valores $a = 90^\circ - h$, $b = 90^\circ - \varphi$ y $c = 90^\circ - \delta$.

$$\cos (90^\circ - h) = \cos (90^\circ - \varphi) \cos (90^\circ - \delta) + \operatorname{sen} (90^\circ - \varphi) \operatorname{sen}(90^\circ - \delta) \cos \omega \quad (7)$$

Aplicando las identidades trigonométricas obtenemos:

$$\operatorname{sen} h = \operatorname{sen} \varphi + \operatorname{sen} \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos \omega \quad (8)$$

Donde la altura del Sol queda en función de la latitud del lugar, la declinación y el ángulo horario.

4.1.3.5. Duración astronómica del día (N)

Es la duración en horas desde la salida hasta la puesta del Sol; se determina a partir de la ecuación 7, considerando $h = 0^\circ$ y $h = 180^\circ$ (para la salida y puesta del Sol, respectivamente), despejando el ángulo horario ω y de allí la duración del día, cuando $h = 0^\circ$ ó 180° ;

$$\cos \omega_s = \frac{-\operatorname{sen} \varphi \operatorname{sen} \delta}{\cos \varphi \cos \delta} \quad (9)$$

$$\cos \omega_s = -\tan \varphi \tan \delta \quad (10)$$

La duración del día se determina duplicando el ángulo horario ω_s (“s” de salida del Sol) y dividiéndolo entre 15 para pasar de grados a horas.

$$N = \frac{2}{15} \operatorname{arcos} [-\tan \varphi \tan \delta] \quad (11)$$

4.1.4. Radiación solar

El Sol es la estrella natural más grande de nuestro sistema solar, la energía solar resulta del proceso de fusión nuclear que tiene lugar en el sol. Esta energía es el motor que mueve nuestro medio ambiente, siendo la energía solar que llega a la superficie terrestre 10.000 veces mayor que la energía consumida actualmente por toda la humanidad. La radiación es transferencia de energía por ondas electromagnéticas y se produce directamente desde la fuente hacia fuera en todas las direcciones. Estas ondas no necesitan un medio material para propagarse, pueden atravesar el espacio interplanetario y llegar a la Tierra desde el Sol. La longitud de onda y la

frecuencia de las ondas electromagnéticas, son importantes para determinar su energía, su visibilidad y su poder de penetración. Todas las ondas electromagnéticas se desplazan en el vacío a una velocidad de 299.792 Km/s Estas ondas electromagnéticas pueden tener diferentes longitudes de onda. El conjunto de todas las longitudes de onda se denomina espectro electromagnético. El conjunto de las longitudes de onda emitidas por el Sol se denomina espectro solar.

4.1.4.1. Propagación de la radiación solar.

La energía proveniente del sol es generada en el núcleo solar, en un proceso de fusión termonuclear en el cual el hidrógeno se transforma en helio. En este proceso, cada segundo, una masa aproximada de 4,4 millones de toneladas que irradia $3,96 \times 10^{26}$ W se transforma en energía. El núcleo del Sol contiene cerca del 40% de la masa solar y ocupa menos del 2% del volumen total.

La radiación electromagnética proveniente del Sol se propaga radialmente en el espacio vacío; su intensidad disminuye con el cuadrado de la distancia. La energía proveniente del Sol viaja a través del espacio como ondas electromagnéticas y plasma. En la parte superior de la atmósfera terrestre, sobre una superficie perpendicular a la radiación, se presenta una potencia promedio de $1\,367$ W/m², cantidad denominada Constante Solar.

Las variaciones de la constante solar dependen de la actividad solar asociada al número de manchas presentes en la superficie solar y a cambios en la distancia Tierra-Sol como consecuencia de la órbita elíptica terrestre. La energía solar que ingresa a la Tierra representa su principal fuente energética; el Sol proporciona el 99,97% de la energía usada para todos los procesos naturales. [14]

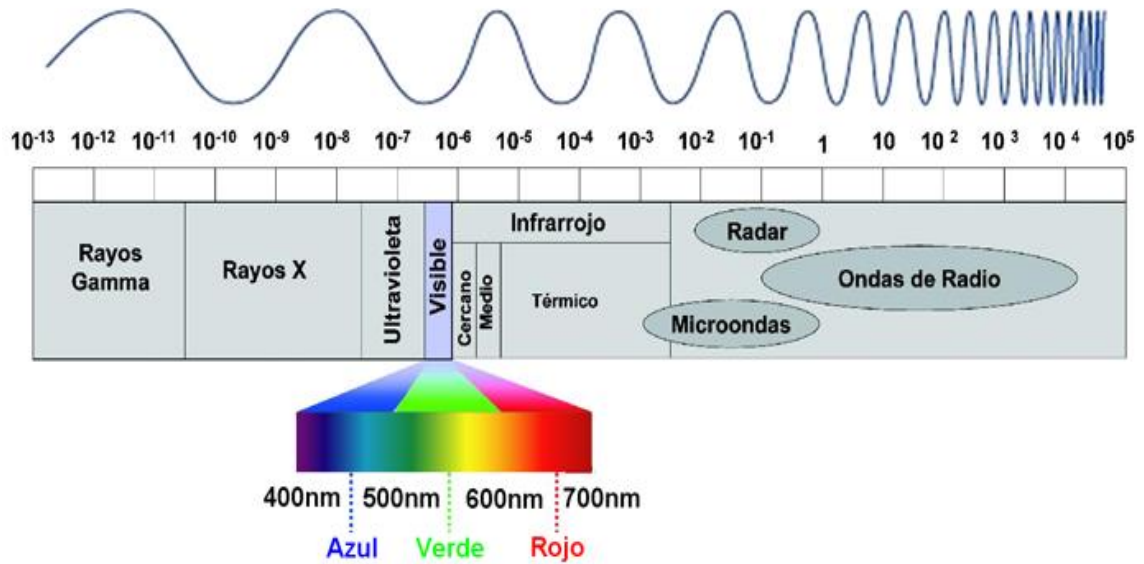


Figura 16. Espectro electromagnético. Fuente [13]

La proporción de la radiación solar en las distintas regiones del espectro es aproximadamente: Ultravioleta: 7% Luz visible: 43% Infrarrojo: 49% y el resto: 1%.

4.1.4.2. Distribución espectral de la radiación solar.

La energía solar es transportada mediante ondas electromagnéticas de diferentes longitudes de onda (λ). Al intervalo de radiación electromagnética, cuyas longitudes de onda se encuentran entre 0,290 y 2,5 μm , se le denomina espectro de onda corta. Para diversos propósitos (fotosíntesis, celdas solares, conservación de la salud o de materiales, etc.) es necesario conocer cómo está distribuida la energía de acuerdo con la longitud de onda o la frecuencia, es decir, de acuerdo con su distribución espectral.

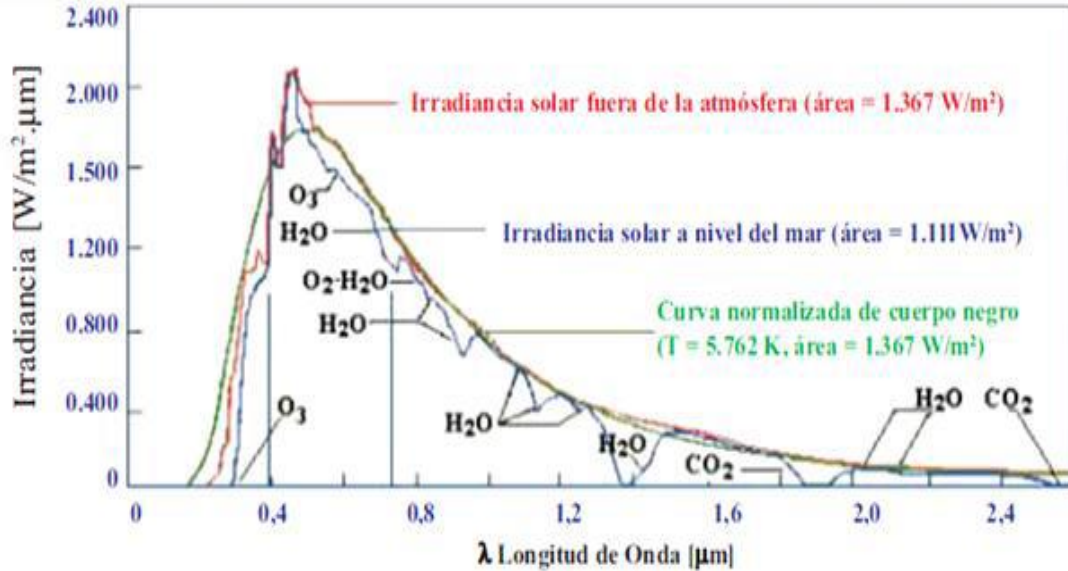


Figura 17. Distribución espectral de la radiación solar. Fuente [12]

El rango de longitudes de onda que pueden ser aprovechadas por una célula solar fotovoltaica (0,35 a 1,2 μm en el caso de células de silicio).

4.1.4.3. Influencia de la atmósfera terrestre en la radiación solar

A su paso por la atmósfera, la radiación solar es sometida a una combinación de procesos de reflexión, atenuación y difusión que alteran sus características. La reflexión en las nubes disminuye la radiación incidente en la superficie terrestre mientras que la absorción por vapor de agua, ozono y CO₂ produce una modificación de las características espectrales de la radiación. Además, la dispersión por partículas modifica la distribución espacial de la radiación. Dependiendo del tamaño de la partícula en interacción pueden distinguirse tres fenómenos de difusión:

Difusión de Rayleigh, donde la longitud de onda es mucho mayor que el tamaño de la partícula. Se produce en las capas altas y es responsable del color azul del cielo.

Difusión de Mie, donde la longitud de onda es de magnitud similar al tamaño de la partícula. Se produce en las capas bajas de la atmósfera.

Difusión no selectiva, aquella en la que la longitud de onda es mucho menor que el tamaño de la partícula.

Para el cálculo de la irradiancia solar que finalmente incide en una superficie arbitraria localizada en corteza terrestre será útil distinguir tres contribuciones diferentes. Estas contribuciones, comúnmente denominadas componentes, son:

Radiación Directa, (B): representa la fracción de irradiancia procedente en línea recta del Sol.

Radiación Difusa, (D): cuantifica la radiación procedente de todo el cielo salvo del Sol, y por tanto incluye todos los rayos dispersados por la atmósfera según los procesos descritos. Es una radiación anisotrópica, cuyo valor depende de la zona celeste de procedencia. Más aún, dado que las propiedades de la atmósfera varían de forma aleatoria con el tiempo, la radiación difusa deberá ser estudiada como un proceso estocástico.

Radiación del albedo, R o AL: es aquella fracción de radiación procedente de la reflexión en el suelo. Habitualmente supone una contribución muy pequeña y en algunos casos puede ser despreciada.

La suma de estas tres componentes constituye la denominada irradiancia global, calculada por medio de la siguiente ecuación:

$$G = B + D + R \quad (12)$$

Dónde:

G= Irradiación total

B= Radiación directa

D= Radiación difusa

R= Radiación albedo

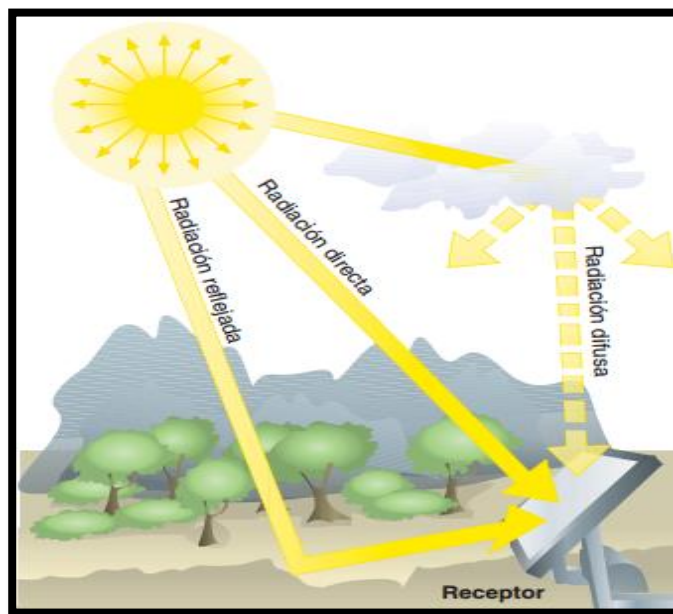


Figura 18. Tipos de radiación solar sobre una superficie terrestre. Fuente [12]

4.1.4.4. Datos de radiación

Los datos de radiación disponibles en bases de datos proceden de medidas realizadas por estaciones terrestres o estimadas a partir de imágenes de satélite. Las estaciones terrestres suelen ser estaciones agroclimáticas dedicadas a la medida de variables meteorológicas y climáticas orientadas principalmente al sector agrícola. Uno de los instrumentos que incorporan es el piranómetro, dispositivo capaz de medir la radiación global. En casos excepcionales incluyen un pirheliómetro, dispositivo que mide la radiación directa, o un piranómetro de difusa.

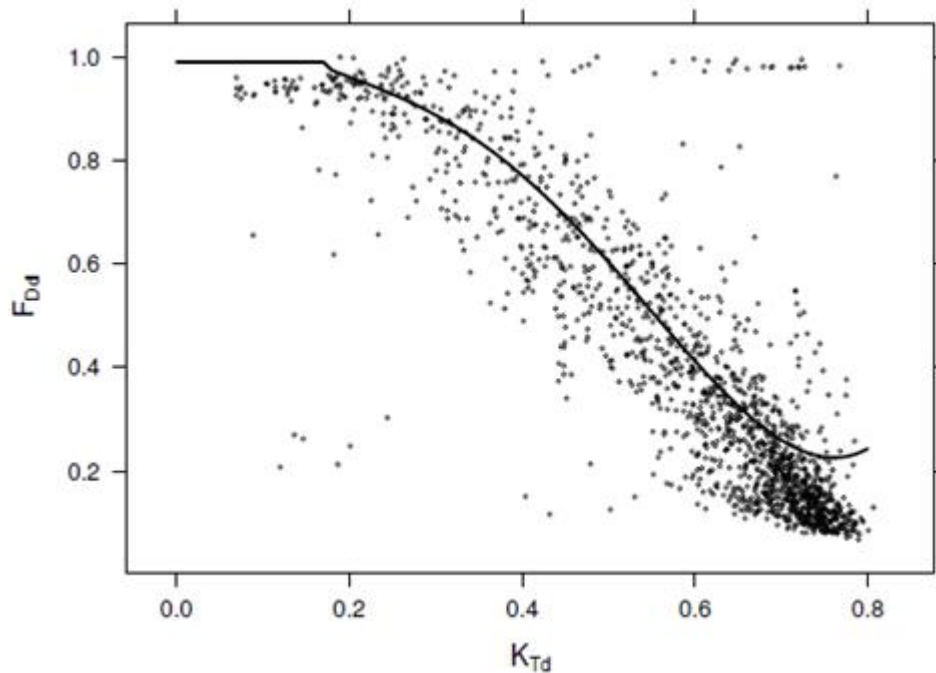


Figura 19. Índice de claridad en función con respecto a la fracción de difusión para valores diarios. Fuente [14]

La cobertura espacial que ofrece la red de estaciones terrestres es muy limitada por lo que frecuentemente hay que recurrir a interpolaciones entre varias estaciones (aproximación válida sólo cuando existe una distancia mínima) o a imágenes de satélite. Las imágenes procedentes de satélites geoestacionarios meteorológicos (por ejemplo, el Meteosat) pueden ser interpretadas para estimar la radiación incidente en la superficie terrestre. Es necesario resaltar que el valor obtenido es una medida indirecta a través de un algoritmo de análisis, con el consiguiente error asociado. No obstante, su alta cobertura espacial y disponibilidad han fomentado su uso en los últimos años.

4.1.4.5. Constante solar (I_0)

Es la cantidad de energía proveniente del Sol que por unidad de tiempo incide perpendicularmente sobre una superficie de área unitaria colocada fuera de la atmósfera terrestre, a una distancia promedio de 150×10^6 km del Sol.

El valor adoptado como constante solar por la OMM (Organización Meteorológica Mundial) hasta la última calibración realizada durante el año 2000 es: $I_0 = 1\,367$ W/m². Con un error de ± 7 W/m².

Como la intensidad de la energía solar varía inversamente proporcional al cuadrado de la distancia al Sol, entonces en el movimiento de translación de la Tierra en la órbita terrestre cambia la distancia Tierra-Sol durante el año, originando una variación de la radiación solar extraterrestre incidente sobre una superficie normal al rayo solar, Analíticamente se puede determinar la radiación solar extraterrestre incidente mediante la expresión:

$$I_n = I_0 \left(\frac{R_0}{R} \right)^2 \quad (13)$$

4.1.4.6. Radiación en superficies inclinadas

La radiación global diaria promedio mensual sobre una superficie inclinada H (β), (Figura 10), puede calcularse como:

$$\overline{H}(\beta) = \overline{R} \overline{H} \quad (14)$$

Donde \bar{H} es la radiación global diaria promedio mensual sobre una superficie horizontal

y:

$$\bar{R} = [(H * \bar{H}_d)/H] R_b + \left(\frac{H_d}{H}\right) (1 + \cos \beta)/2 + r(1 - \cos \beta)/2 \quad (15)$$

Dónde:

R_b = Razón obtenida del promedio diario mensual de la radiación sobre una superficie inclinada y el promedio diario mensual de la radiación sobre la superficie horizontal.

β = Inclinación de la superficie.

H_d = Radiación solar difusa.

r = Reflejo de la superficie.

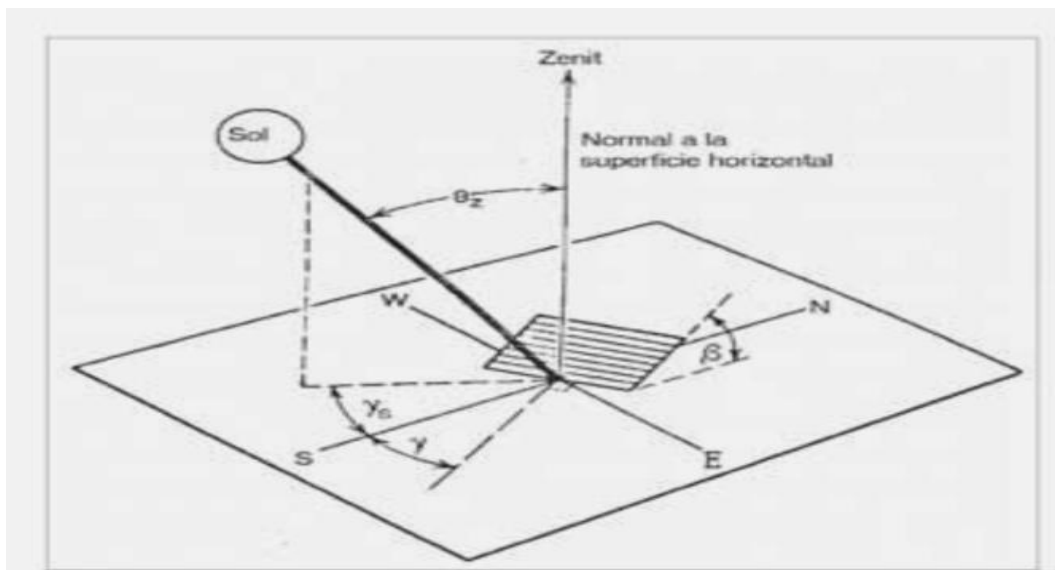


Figura 20. Radiación solar sobre superficies inclinadas [16]

R_b puede ser estimada aproximadamente como la razón entre radiación fuera de la atmósfera terrestre sobre una superficie inclinada y la radiación fuera de la atmósfera sobre una

superficie horizontal. Para R_b se han desarrollado fórmulas para superficies en el hemisferio norte inclinadas y orientadas hacia el Sur y para superficies en el hemisferio sur inclinadas y orientadas hacia el Norte.

Superficies en el hemisferio norte inclinadas y orientadas hacia el Sur: Para superficies que se hallan en el hemisferio norte, inclinadas con cualquier ángulo, pero dirigidas hacia el Sur, R_b se puede calcular mediante la siguiente expresión:

$$R_b = \frac{\cos (\varphi-\beta) \cos \delta \operatorname{sen} \omega_s'+(\pi / 180) \omega_s' \operatorname{sen} (\varphi-\beta) \operatorname{sen} \delta}{\cos \varphi \cos \delta \operatorname{sen} \omega_s+(\pi / 180) \omega_s \operatorname{sen} \delta \operatorname{sen} \varphi} \quad (15)$$

Donde ω_s' es el ángulo de puesta del Sol sobre una superficie inclinada; y su valor es el menor entre los dos ángulos ω_s y $\arccos (-\operatorname{Tan} (\varphi-\beta) \operatorname{Tan} \delta)$.

Superficies en el hemisferio sur, inclinadas y orientadas hacia el Norte: Para superficies que se hallan en el hemisferio sur, inclinadas con cualquier ángulo, pero dirigidas hacia el norte, R_b se puede calcular mediante la siguiente expresión:

$$R_b = \frac{\cos (\varphi+\beta) \cos \delta \operatorname{sen} \omega_s'+(\pi / 180) \omega_s' \operatorname{sen} (\varphi+\beta) \operatorname{sen} \delta}{\cos \varphi \cos \delta \operatorname{sen} \omega_s+(\pi / 180) \omega_s \operatorname{sen} \delta \operatorname{sen} \varphi} \quad (16)$$

4.1.4.7. Hora solar pico

[15] La hora solar pico (HSP), podríamos definirla como una unidad encargada de medir la irradiación solar y definirla como el tiempo (en horas) de una hipotética irradiancia solar constante de 1.000 W/m^2 .

Cabe recordar que los paneles solares son evaluados usando una intensidad luminosa de un 1 kW/m^2 , [17] la duración del día solar promedio representa la cantidad de horas, del total de horas de luz diaria, en que el panel es capaz de generar la potencia máxima de salida especificada por el fabricante.

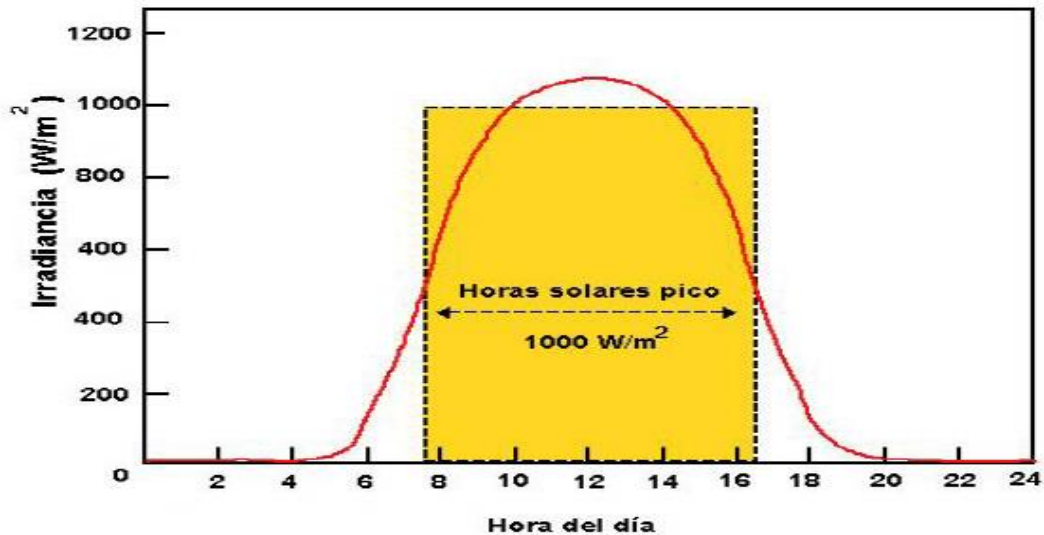


Figura 21. Hora solar con respecto a las distintas horas del día. Fuente [16]

4.1.5. Módulos fotovoltaicos.

El elemento principal de un sistema de energía fotovoltaica es la célula fotoeléctrica, es un dispositivo construido de silicio (extraído de la arena común). La celda solar es un dispositivo de conversión directa, esto es, tiene la capacidad de transformar la radiación solar directamente en electricidad [23] Las celdas solares funcionan gracias al efecto fotoeléctrico. Como su nombre

lo indica, es la generación de un voltaje por efecto de la luz. Las celdas solares producen corriente directa.

La energía solar fotovoltaica (SF) consiste en la conversión directa de la radiación del sol en electricidad. Esta conversión se realiza a través de la célula. [24] Así mismo un generador está formado por varios módulos fotovoltaicos conectados en serie y/o paralelo y a su vez cada módulo fotovoltaico está formado las unidades básicas llamadas células fotovoltaicas.

[19]La energía solar fotovoltaica está indicada para un amplio abanico de aplicaciones donde se necesite generar electricidad, bien sea para satisfacer las necesidades energéticas de aquellos que no disponen de la red eléctrica (sistemas fotovoltaicos aislados o autónomos) o bien para generar energía a la red eléctrica (sistemas conectados a la red). Los sistemas fotovoltaicos también pueden operar en combinación con otras fuentes de energía (renovable o no) como sistemas eólicos-fotovoltaicos o eólico-diésel-fotovoltaico, para formar sistemas autónomos híbridos.

4.1.5.1. Estructura del módulo fotovoltaico

Los módulos fotovoltaicos constan de un conjunto de células interconectadas entre sí que se encuentran encapsuladas de forma que quede protegido de los agentes atmosféricos que le puedan afectar cuando esté trabajando en la intemperie, dándole a la vez rigidez mecánica y aislándole eléctricamente del exterior. [25] Tradicionalmente los módulos fotovoltaicos más utilizados en aplicaciones autónomas de pequeña potencia estaban constituidos por 33 ó 36 células de silicio monocristalino o policristalino, asociadas en serie. Sin embargo, en la actualidad, con la amplia gama de aplicaciones fotovoltaicas existentes y el incremento de nuevas aplicaciones como la integración de sistemas fotovoltaicos en edificios o los módulos fotovoltaicos de alta concentración, el tamaño y características de los módulos presenta una gran

variación, pudiendo encontrarse desde el modulo convencional con cubierta convencional transparente, encapsulado en Tedlar y con 36 células conectadas en serie, hasta módulos semitransparentes

4.1.5.2. Tipos de módulos fotovoltaicos

Existen diferentes tipos de paneles solares en función de los materiales empleados, los métodos de fabricación que se empleen y la forma final. A continuación, se describen los materiales que pueden formar las células solares:

Silicio Puro monocristalino: Basados en secciones de una barra de silicio perfectamente cristalizado en una sola pieza. En laboratorio se han alcanzado rendimientos máximos del 24,7% para éste tipo de paneles siendo en los comercializados del 16%. (Figura 22).

Silicio puro policristalino: Los materiales son semejantes a los del tipo anterior, aunque en este caso el proceso de cristalización del silicio es diferente. Los paneles policristalinos se basan en secciones de una barra de silicio que se ha estructurado desordenadamente en forma de pequeños cristales. Son visualmente muy reconocibles por presentar su superficie un aspecto granulado. Se obtiene con ellos un rendimiento inferior que con los monocristalinos (en laboratorio del 19.8% y en los módulos comerciales del 14%) siendo su precio también más bajo (Figura 23)



Figura 22. Módulo compuesto por células de silicio monocristalino. Fuente [25]



Figura 23. Módulo de silicio puro policristalino Fuente [25]

Los tipos de paneles de lámina delgada son:

Silicio amorfo. (TFS): Basados también en el silicio, pero a diferencia de los dos anteriores, este material no sigue aquí estructura cristalina alguna. Paneles de este tipo son habitualmente empleados para pequeños dispositivos electrónicos (Calculadoras, relojes) y en pequeños paneles portátiles. Su rendimiento máximo alcanzado en laboratorio ha sido del 13% siendo el de los módulos comerciales del 8%.

Teluro de cadmio: Rendimiento en laboratorio 16% y en módulos comerciales 8%

Arseniuro de Galio: Uno de los materiales más eficientes. Presenta unos rendimientos en laboratorio del 25.7% siendo los comerciales del 20%

Diseleniuro de cobre en indio: Con rendimientos en laboratorio próximos al 17% y en módulos comerciales del 9% • Triple unión. GaAs, Ge y GaInP2 esta unión de tres semiconductores obtiene un rendimiento del 39%.

4.1.5.4. Curva característica de los módulos fotovoltaicos

La representación estándar de un dispositivo fotovoltaico es la característica corriente-tensión (figura 24). La curva representa las posibles combinaciones de corriente y voltaje para un dispositivo fotovoltaico bajo unas condiciones ambientales determinadas (radiación solar incidente y temperatura ambiente). El punto en concreto de corriente y voltaje en el que el dispositivo fotovoltaico trabajará vendrá determinado por la carga a la que esté conectado.

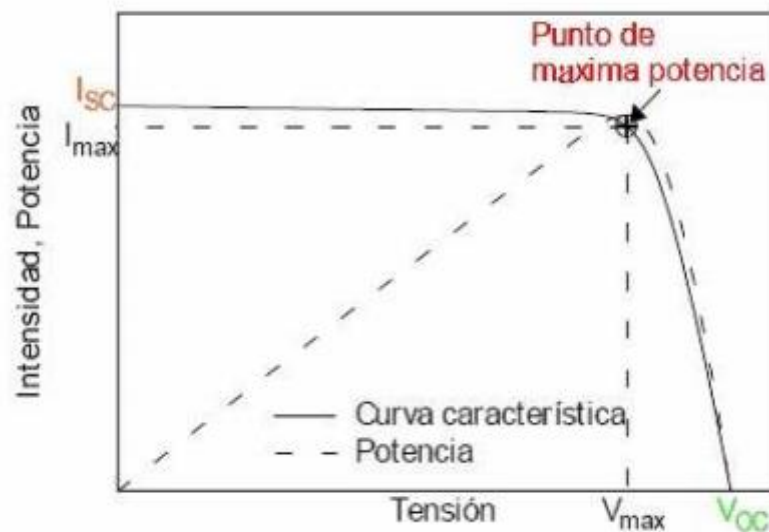


Figura 24. Curva característica, con sus principales elementos, de una célula fotovoltaica. Fuente [25]

4.1.5.5. Parámetros eléctricos de los módulos fotovoltaicos

Los principales parámetros eléctricos de los módulos para la implementación de sistemas fotovoltaicos son los siguientes:

Corriente de cortocircuito: (I_{cc} notación española, I_{sc} notación internacional): es la máxima corriente que producirá el dispositivo bajo unas condiciones definidas de iluminación y temperatura, correspondientes a un voltaje igual a cero.

Voltaje de circuito abierto (V_{ca} notación española, V_{oc} notación internacional): Es el máximo voltaje del dispositivo bajo unas condiciones definidas de iluminación y temperatura, correspondientes a una corriente igual a cero.

Potencia máxima (P_{max}): Es la máxima potencia que producirá el dispositivo en unas condiciones determinadas de iluminación y temperatura, correspondiente al par máximo I-V.

Corriente en el punto de máxima potencia (I_{pmp}): Es el valor de la corriente para P_{max} en unas condiciones determinadas de iluminación y temperatura.

Voltaje en el punto de máxima potencia (V_{pmp}): Es el valor de voltaje para P_{max} en unas condiciones determinadas de iluminación y temperatura.

Factor de forma (FF): Es el valor correspondiente al cociente entre P_{max} y el producto de I_{sc} x V_{oc} . Puede venir expresado en tanto por ciento o tanto por 1, siendo el valor 100% el que corresponderá a un hipotético perfil de cuadrado, no real. Nos da una idea de la calidad del dispositivo fotovoltaico, siendo éste tanto mejor cuánto más alto sea su factor de forma.

4.1.5.6. Sistema fotovoltaico aislados o autónomo.

Los sistemas fotovoltaicos autónomos son un conjunto de elementos interconectados entre sí con el fin de proporcionar energía eléctrica a una determinada carga, entendiéndose como cargas los elementos de iluminación, equipos de telecomunicación, entre otros. [20] Los sistemas fotovoltaicos autónomos suelen estar constituidos por un generador, un banco de baterías o acumuladores, un regulador de carga, una etapa de inversión y una carga.

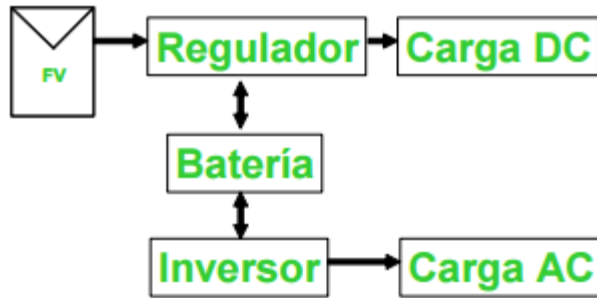


Figura 25. Esquema básico instalación fotovoltaica autónoma. Fuente [21]

De la misma manera que asociamos células en serie y paralelo para formar el panel, el generador solar fotovoltaico lo obtendremos asociando paneles en serie y/o en paralelo. [24]

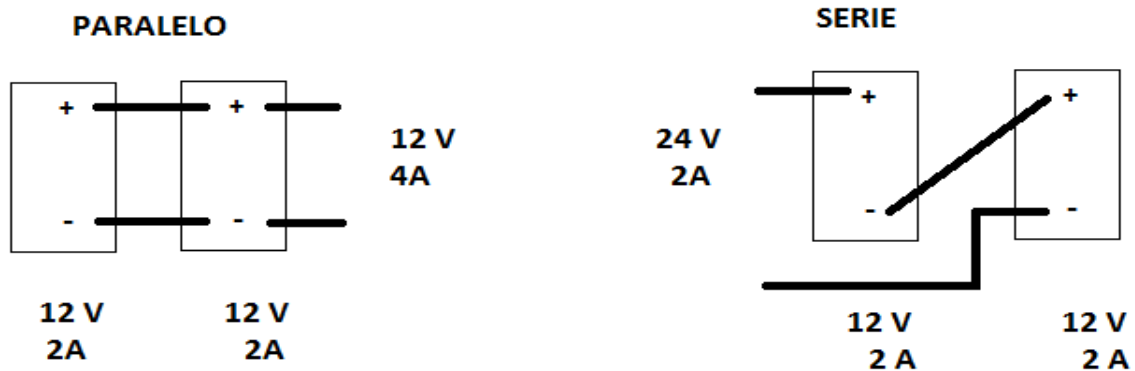


Figura 26. Asociación de paneles solares (Generador solar). Fuente [22]

4.1.6. Baterías y acumuladores.

Las baterías y los elementos acumuladores son dispositivos capaces de almacenar energía por medio de un proceso electroquímico para inyectar energía a un sistema fotovoltaico. Son de

vital importancia en sistemas autónomos ya que suministran la energía recopilada en el día para que el sistema fotovoltaico pueda suplir la energía que demanda la carga en ausencia de irradiación solar durante la noche y momentos nublados. 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.[25] sistemas fotovoltaicos autónomos son un conjunto de elementos interconectados entre sí con el fin de proporcionar energía eléctrica a una determinada carga,

4.1.6.1. Tipos de baterías

Los acumuladores de energía nos garantizan un suministro de energía estable. Pueden soportar fuertes demandas puntuales y tiempos de suministro prolongados en el tiempo, a pesar de no disponer de la energía solar suficiente en ese momento. Las baterías de uso fotovoltaico se diferencian del resto por su capacidad para aguantar ciclos de descarga, dependiendo su duración de la profundidad del ciclo. Una batería que no sea para uso fotovoltaico tendrá una corta duración en una instalación solar. Existen distintos tipos, entre ellos los siguientes son los más utilizados para usos fotovoltaicos:

Baterías abiertas de plomo ácido: Son las más empleadas y las que tienen una mayor duración. Dentro de éstas pueden ser tipo Monoblock (vasos unidos en un solo cuerpo) y de vasos independientes. Algunos fabricantes proporcionan tapones recombinados de paladio que prácticamente eliminan el mantenimiento de la batería.

Baterías herméticas sin mantenimiento: Tienen la ventaja de que producen muy poco oxígeno e hidrógeno, por lo que son adecuadas para emplazamientos con poca ventilación. Además impiden que se pueda verter el ácido.

Baterías herméticas de gel: Presentan la ventaja adicional de que el ácido está solidificado en forma de gel, por lo que en caso de ruptura en un vaso, no se vierte. Existen además otros tipos, como pueden ser las basadas en Níquel-Cadmio y en Litio, no específicas de aplicaciones fotovoltaicas, pero sí en infinidad de dispositivos móviles, las cuales tienen otras curvas características y procesos de carga diferenciados, un punto a tener en cuenta de cara a las posibilidades que ha de ofrecer nuestra placa de desarrollo.

Las baterías de sistemas fotovoltaicos comerciales tienen valores de 12V, 24V y 48V, entre otras, y por lo general, a la hora de construir un banco de baterías para un sistema fotovoltaico se debe tener en cuenta como se conectan entre sí las baterías ya que un banco de baterías de igual capacidad e igual tensión en paralelo (figura 27. A.) es capaz de entregar más corriente durante más tiempo en comparación de un banco en serie. La conexión en Serie de baterías (figura 27.b.) es poco usada ya que lo que se busca con un banco de baterías es aumentar el tiempo de autonomía del sistema, cosa que no se consigue con esta conexión, pero es una conexión práctica cuando se requiere hacer un sistema de mayor tensión que las baterías con que se cuenta.

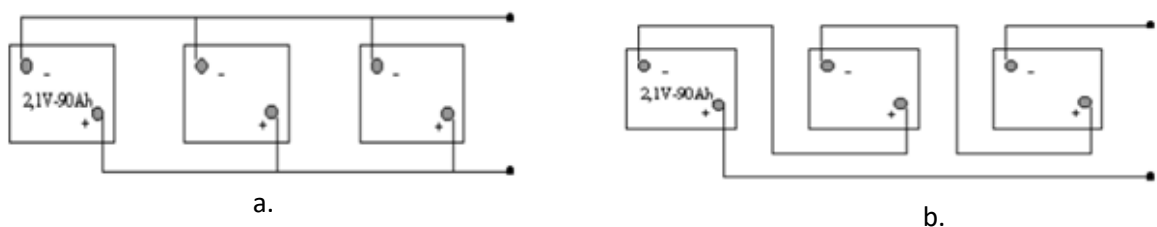


Figura 27. Conexión de baterías en a). Paralelo b). Serie. Fuente [24]

El voltaje proporcionado por una batería de acumulación es de corriente continua. Para cargarla se necesita un generador de corriente continua, el que deberá ser conectado con la

polaridad correcta: positivo del generador al positivo de batería y negativo del generador al negativo de batería. Para poder forzar una corriente de carga el voltaje deberá ser algo superior al de la batería.

La corriente de carga provoca reacciones químicas en los electrodos, las que continúan mientras el generador sea capaz de mantener esa corriente, o el electrolito sea incapaz de mantener esas reacciones. El proceso es reversible. Si desconectamos el generador y conectamos una carga eléctrica a la batería, circulará una corriente a través de ésta en dirección opuesta a la de carga, provocando reacciones químicas en los electrodos que vuelven el sistema a su condición inicial.

En principio el ciclo de carga-descarga puede ser repetido indefinidamente. En la práctica existen limitaciones para el máximo número de ellos, ya que los electrodos pierden parte del material con cada descarga. La diferencia funcional entre diferentes tipos de baterías obedece al uso de diferentes electrolitos y electrodos metálicos. Dentro de un mismo tipo de batería, la diferencia funcional es el resultado del método de fabricación.

Tres características definen el comportamiento de una batería: Capacidad de descarga en Amperio hora (Ah), Profundidad de la descarga y la vida útil en ciclos.

Las características que identifican a una batería solar son: la mayor profundidad de descarga (PD) y un alto valor del ciclaje. La batería solar permite una PD máxima del 80% a niveles de corriente moderados. Es por ello que a estas baterías se las denomina de ciclo profundo (BCP). Se considera que una BCP ha completado todos los ciclos de carga y descarga, cuando al ser cargada nuevamente, la máxima energía que puede almacenar se reduce al 80% de su valor inicial. El número de ciclos de carga/descarga depende de la PD, cuando ésta disminuye,

el número de ciclos aumenta. Para una dada PD la batería más robusta proporciona el mayor número de ciclos.

La capacidad de almacenamiento de una batería de Pb-ácido varía con la temperatura del electrolito, la que en la práctica está determinada por la temperatura ambiente del lugar donde ésta será instalada.

Tabla 1. Variación de la capacidad de las baterías con la temperatura.

Temperatura (°C)	Capacidad (%)	Eficiencia
30	105	1,05
25	100	1,00
16	90	0,90
4	77	0,77
-7	63	0,63
-18	49	0,49

Fuente: Elaboración propia

El aumento en la eficiencia total obtenido a 30°C está relacionado con una drástica reducción de la vida útil de la batería. Cuando se usan baterías de Pb-ácido es importante mantener la temperatura del electrolito cercana a los 25°C, ya que a esta temperatura se alcanza el balance óptimo entre la eficiencia y la vida útil de este componente[24].

Cuando una batería de plomo-ácido está próxima a alcanzar el 100% de su carga, la cantidad de agua en el electrolito ha sido severamente reducida. Los iones que ésta provee se hacen más escasos, disminuyendo la posibilidad para el ión de hidrógeno (electrodo negativo) y para el ión de oxígeno (electrodo positivo) de reaccionar químicamente, formando plomo y dióxido de plomo, respectivamente. Si la corriente de carga continúa al mismo nivel, el exceso de gases escapa del electrolito produciendo un intenso burbujeo, el que se conoce como “gasificación”.

Si el proceso de carga no es controlado, el exceso de oxígeno comienza a oxidar los sostenes de plomo de las celdas, pudiendo causar el derrumbe de los mismos. Este fenómeno es conocido como la “muerte súbita” de la batería, ya que ocurre sin dar aviso previo. Una gasificación excesiva arrastra parte del electrolito, el que es expulsado fuera de la batería, a través de los tapones de respiración. Este material contiene ácido sulfúrico, dañando los terminales de salida y disminuyendo la cantidad de ácido dentro de la batería. El proceso de carga de una batería de Pb-ácido debe minimizar la gasificación del electrolito. Algo de gasificación es útil, pues contribuye a homogeneizar la solución electrolítica. Para una batería solar de Pb-ácido de 12 V nominales, trabajando alrededor de los 25°C, un voltaje de carga de 14,28 V proporciona un nivel tolerable de gasificación. Un voltaje más elevado provoca un nivel de gasificación excesivo.

4.1.7. Reguladores

Los reguladores son equipos electrónicos conectados entre los paneles fotovoltaicos y las baterías en un sistema fotovoltaico, y que sirven para controlar el estado de la carga de éstas últimas. Un buen regulador protegerá la batería alargando su vida útil. Sus principales funciones son las siguientes: Limitar la descarga de las baterías de tal forma que no sobrepase un determinado valor. [32] En caso de que se llegue a ese valor, se desconecta temporalmente al consumidor. El regulador tiene como misión fundamental impedir que la batería continúe recibiendo energía del colector solar una vez que ha alcanzado su carga máxima.

El regulador impide la entrada o salida de corriente de la batería cuando por una carga excesiva o una descarga excesiva pueda dañarla. Si la batería se sobrecarga, aumenta de temperatura y se puede producir una gasificación masiva.

Controlar el proceso de carga, evitando sobrecargas y generación de gases incontrolados que aumentan las necesidades de mantenimiento y reducen la vida útil de las baterías. Realizar procesos de ecualización en las baterías de plomo. Estos procesos consisten en la elevación de la tensión de carga durante un tiempo determinado (alrededor de media hora) para que se homogenice el electrolito. Los reguladores más sencillos miden la tensión de las baterías y establecen una relación proporcional con la carga de la misma. Los más avanzados llevan un microprocesador y por medio de un algoritmo son capaces de detectar la curva característica de cada batería. Es en éste punto donde toma partido nuestro proyecto, en la gestión de la carga de las baterías o acumuladores si bien nuestro principal cometido es lograr implementar el algoritmo, la carga de las baterías también se ha de hacer gestionándola con el microcontrolador. Tradicionalmente, esta gestión se realizaba pensando básicamente en garantizar la carga y la vida útil de las baterías. Por lo tanto, los reguladores de carga se diseñaban con componentes discretos que fijasen unos umbrales de trabajo garantizando estos aspectos. La tendencia actual es la de usar la tecnología de microcontroladores para lograr una mayor eficiencia energética, y no solamente de control de las baterías.

Las principales funciones de los reguladores son:

- Prevenir la sobrecarga de la batería. Limitar la energía suministrada a la batería por el generador fotovoltaico cuando la batería está plenamente cargada.
- Prevenir la sobredescarga de la batería, Desconectar los consumos de la batería cuando el estado de carga de la batería es muy bajo.
- Proporcionar funciones de control de consumo. Conectar y desconectar automáticamente los consumos en el momento determinado.

- Proporcionar información del estado del sistema a los usuarios u operarios, mostrando o indicando información.

- Servir como centro de cableado proporcionando un punto de conexión para otros componentes en el sistema, incluyendo el generador fotovoltaico, la batería y las cargas de consumo.

Los niveles de tensión a los cuales el regulador realiza el control o los cortes se denominan puntos de regulación. Para los reguladores con regulación de sobrecarga y sobredescarga se utilizan cuatro valores de tensión de regulación:

Tensión corte de sobrecarga (V_{sc}): es la máxima tensión que el controlador permite que alcance la batería.

Tensión de rearme de carga (V_{rc}): tensión de histéresis para reconectar el generador para cargar la batería.

Tensión de corte de sobredescarga (V_{sd}): es el valor mínimo de tensión antes de desconectar el consumo. En los sistemas fotovoltaicos nunca se debe descargar completamente una batería ya que esto acorta su vida útil. En general se selecciona un V_{sd} para que la descarga de la batería no sea mayor del 75 – 80% de profundidad de descarga.

Tensión de rearme de descarga (V_{rd}): es el valor de tensión que reconecta el consumo a la batería. Los valores típicos están en torno a 12,5 – 13,0 V para baterías de plomo -ácido de 12 V.[24]

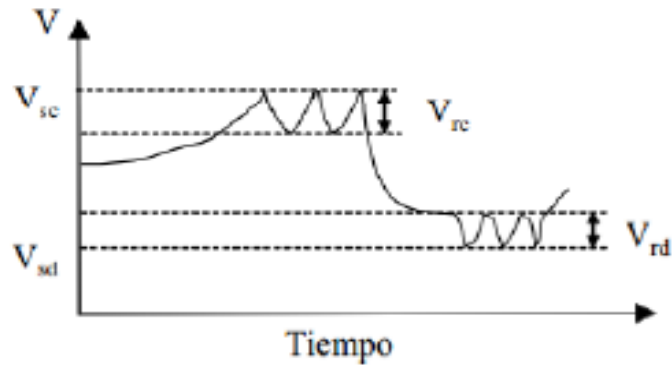


Figura 28. Voltajes de regulación Fuente [24]

El voltaje de corte de sobrecarga es uno de los patrones más importantes, que permite cargar la batería al máximo con un mínimo gaseoso y pérdida de agua como se puede observar en la figura 28. El valor de este voltaje es diferente para diferentes tipos de baterías e incluso diferente para diferentes fabricantes del mismo tipo de batería.[8]

El regulador funciona en función del voltaje y este voltaje es falseado con la temperatura, por lo que se añade a algunos reguladores una compensación con la temperatura.[24]

4.1.8. Inversores

Para poder operar una carga de CA en un sistema de CC, se necesita transformar a este último voltaje en otro de CA. Esta transformación es llevada a cabo por el inversor.

Los aspectos importantes de un inversor para un sistema fotovoltaico autónomo son:

- Rango de variación admisible de la tensión. La tensión de batería varía en función de su estado de carga y régimen de corriente.

- Estabilidad de la tensión CA de salida.

- Rendimiento en función del factor de potencia. (El rendimiento decae a medida que disminuye el factor de potencia de las cargas, es máximo a potencia nominal, muy bajo a

potencias de operación muy inferiores a la nominal y decrece a potencias mayores). El factor de potencia viene determinado por las cargas. Los electrodomésticos, y aparatos eléctricos en general, se dividen en dos grandes grupos de cargas: resistivas e inductivas. Las cargas resistivas son simplemente aquellas en las que la electricidad produce calor y no movimiento, típicas cargas de este tipo son las lámparas incandescentes o los radiadores eléctricos. Las cargas inductivas generalmente son aquellas en las que la electricidad circula a través de bobinas, normalmente son motores, tales como ventiladores o frigoríficos; o transformadores, que se encuentran en la mayoría de los aparatos eléctricos, tales como televisores o computadores (aunque no es el caso más común, las cargas también pueden ser capacitivas).[32]

- Distorsión armónica de las ondas de tensión y corriente de salida. Algunos equipos de consumo operan correctamente con forma de onda no senoidal o grandes contenidos en armónicos, y hay otros equipos que solo operan correctamente con forma de onda senoidal pura.

- Capacidad de sobrecarga. Cuanta potencia máxima pueden soportar y durante cuánto tiempo. Esto es necesario por ejemplo para el arranque de motores con grandes picos de arranque.

- Normalmente los inversores autónomos incorporan también un regulador de carga, de modo que desconectan el consumo a determinados niveles de estado de carga del sistema de baterías.

4.2. Estado del arte

Los sistemas fotovoltaicos han tenido un crecimiento muy considerable durante los últimos diez años, las tecnologías en módulos y en baterías hacen que cada día implementar un sistema fotovoltaico sea más eficiente y rentable a largo plazo.

Tecnologías como las placas flexibles hacen que los módulos sean más livianos y mejor de maniobrar en distintas áreas donde el peso del sistema fotovoltaico juega un papel importante, como lo es en viviendas con tejado de material liviano. Más que reducir peso las placas flexibles le dan un toque estético en lugares como edificios que por su ubicación en el casco urbano cuenta con estructuras vecinas y propias las cuales producen sombras que hacen de la producción de energía fotovoltaica muy pobres y deben por ello, colocar los módulos en costados. Al tener módulos flexibles y livianos en los costados se pueden diseñar figuras de tal forma que no afecte la estética de la estructura y la rentabilidad de energía sea la adecuada.

En la actualidad la tecnología más estudiada considerada para la producción de electricidad solar por vía fotovoltaica es la basada en el uso de módulos fotovoltaicos planos, que incorporan células de silicio, ya sea mono o policristalino, o módulos fotovoltaicos de alta concentración, éstos últimos siendo los más modernos y en los que se necesita mucha menos cantidad de silicio para las células. Sin embargo, la tecnología de módulos fotovoltaicos planos fotovoltaicos sí se encuentra desarrollada desde hace décadas, ofreciendo en la actualidad un producto comercial que ha ido mejorando sus prestaciones en el tiempo gracias a la libre competencia. Así los fabricantes actuales garantizan sus productos por tiempos superiores a 20 años, obteniendo degradaciones inferiores al 20% durante la vida útil de los módulos.

De igual forma, las baterías como implemento relevante del sistema fotovoltaico han tenido muchas mejoras, ya que las enemigas de la vida útil de las baterías son las descargar profundas, la capacidad de almacenamiento con respecto al tiempo, altas temperaturas y mantenimiento. Las nuevas tecnologías de batería son a bases de gel AGW que tienen un proceso electroquímico las rápido que las baterías tradicionales de litio y plomo acido. Dichas baterías son llamadas “sin mantenimiento” ya que la sulfatación en sus bornes es muy poca y pueden

soportar hasta 150°C internos. La gran desventaja de esta tecnología en baterías es su peso ya que el gel que las contiene es muy espeso y ocupa mucho volumen.

4.3. Marco contextual

4.3.1. Radicación en el territorio colombiano.

Colombia por su ubicación geográfica es uno de los países más privilegiados para la implementación de sistemas fotovoltaicos, ya que se encuentra del eje ecuatorial de la corteza terrestre y en dicha zona la radiación solar es la más constante a diferencia de otros países del hemisferio norte y sur, que debido a sus ubicaciones geográficas se ven afectadas por los equinoccios y hacen que a lo largo del año se presenten las zonas estacionales que varían la radiación.

Las zonas más llanas es en donde se presenta más radiación solar, como lo es la región Caribe y los llanos orientales. Zonas de bajo nivel de altura pero con altos grados de humedad como la región Pacífica y la Amazonía tienen ciertas desventajas en la implementación de sistemas fotovoltaicos ya que la humedad afecta directamente el funcionamiento óptimo de los módulos. Por su parte la región andina es la región con más variación de altura con respecto al nivel del mar por que por ella pasan las tres cordilleras de los Andes y en esta región se encuentran ciudades con diferentes pisos térmicos.

Otro factor muy importante que influyen en el rendimiento de los sistemas fotovoltaicos a parte de las temporadas de invierno que afronta el país cada dos veces al año (aproximadamente en abril y octubre) son los índices de contaminación en el aire, ciudades como Bogotá y Medellín son ciudades con radiación pobre por las nubosidades y al alto contenido de polvo en el aire. Dichos factores afectan considerablemente el rendimiento de los sistemas fotovoltaicos.

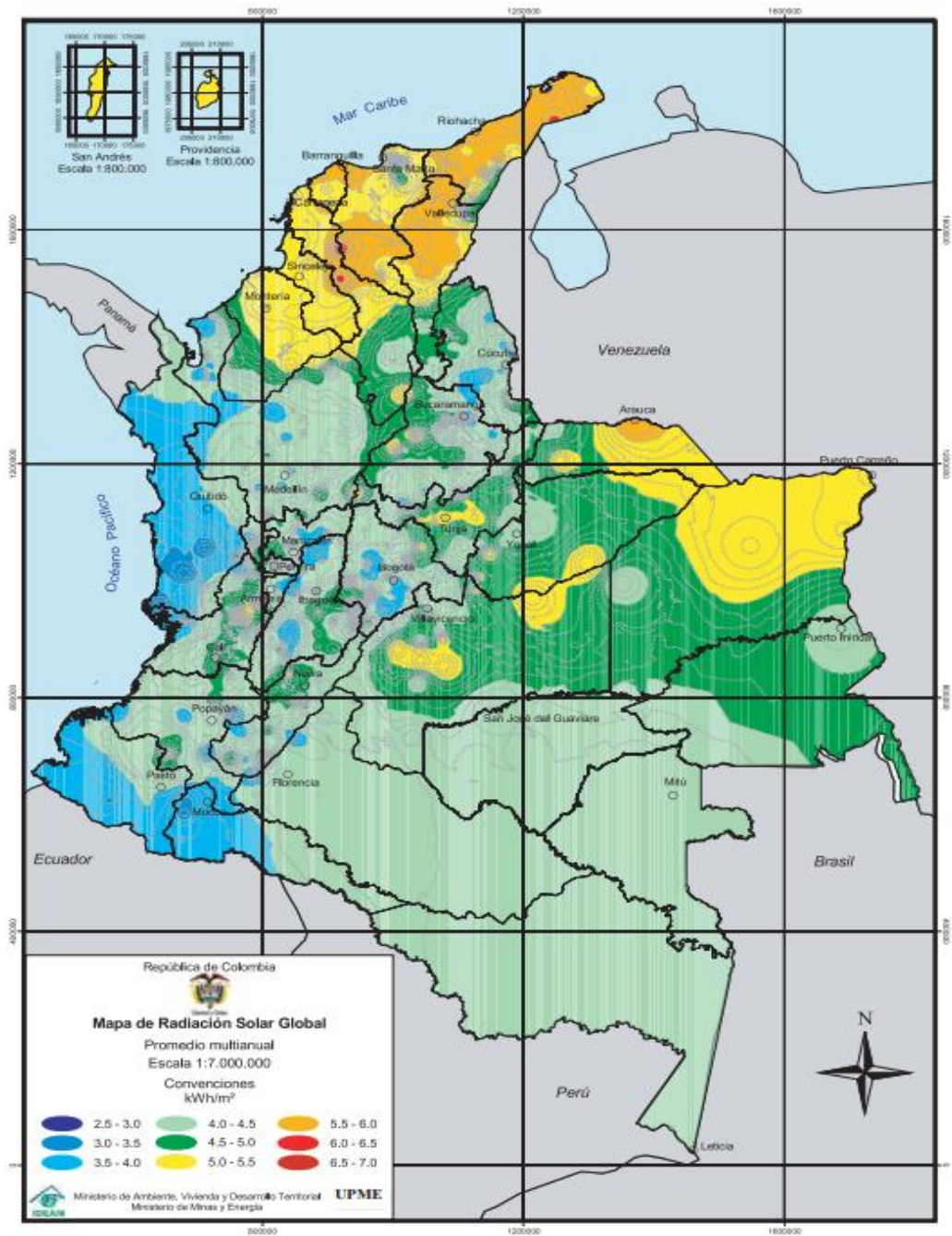


Figura 29. Mapa de radiación anual promedio en Colombia. Fuente [18]

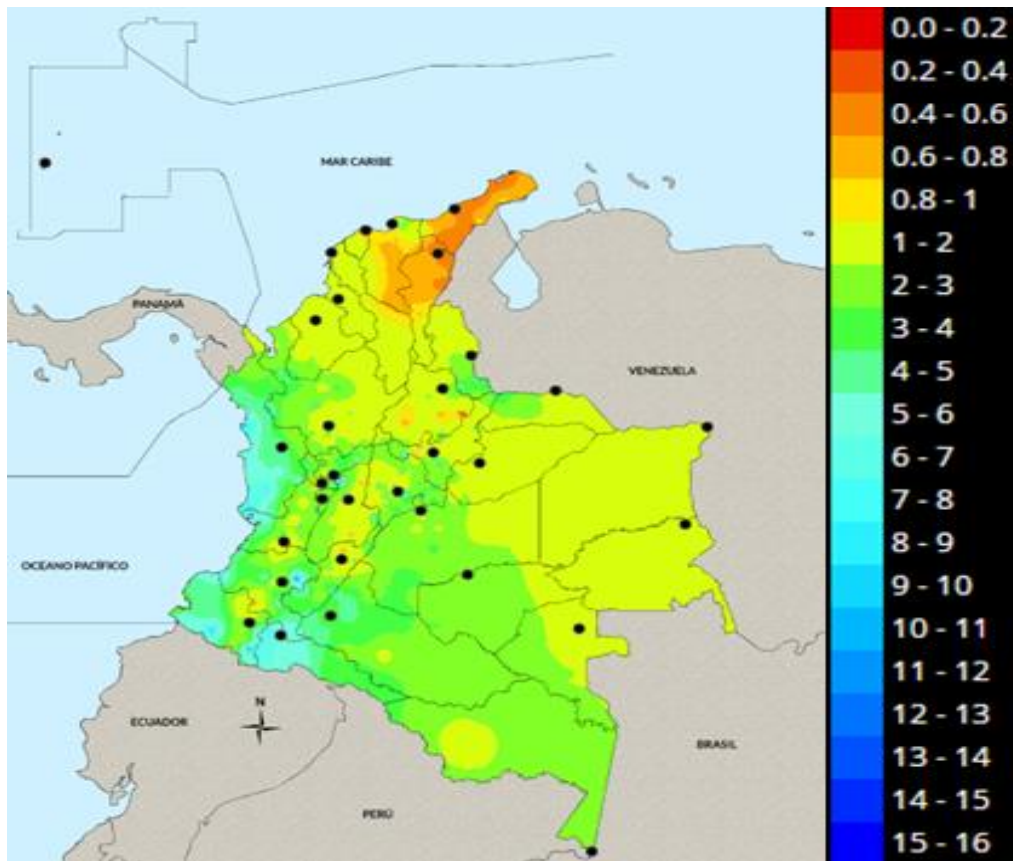


Figura 30. Días sin brillo solar anual en Colombia. Fuente [26]

Otro de los factores primordiales de los sistemas fotovoltaicos son los días nublados, debido a la altura con respecto al nivel del mar existen nubosidades que interrumpen la luz visible del sol (Figura 30). La región del caribe es la zona del país en donde los días sin brillo solar son pocos, lo cual hace que implementar sistemas fotovoltaicos en dicha zona sea de mucha rentabilidad. La región andina y los llanos orientales son la otra zona del país con promedios de días sin sol muy bajos oscilando entre 2 y días. Las zonas del país con más días nublados debido a su geografía y sus altas humedades e inviernos más prolongados son la región del pacífico y la Amazonía respectivamente.

4.4. Marco legal

4.4.1. Normas Colombianas para sistemas fotovoltaicos.

El ICONTEC es el ente encargado de publicar los artículos competentes a la energía solar fotovoltaica. Una buena parte de las normas sobre colectores solares fue publicada a comienzos de los 90's, mientras que las normas sobre sistemas fotovoltaicos comenzaron a publicarse en 2005.

Dentro de dichas normas se encuentran especificaciones y consideraciones importantes extraídas de la IEC adaptadas para la buena práctica de este tipo de energía renovable.

- **NTC 1736, energía solar. Definiciones y nomenclatura (24/8/2005):** Esta norma define la nomenclatura para variables de radiación solar, parámetros meteorológicos, y parámetros de orientación y localización superficial[27].

- **NTC 2775, Energía solar fotovoltaica. Terminología y definiciones (24/8/2005):** Esta norma sólo contiene definiciones referentes a sistemas fotovoltaicos, acordes con la simbología establecida en la norma NTC 1736[27].

- **NTC 5513, dispositivos fotovoltaicos parte 1: medida de la característica intensidad tensión de los módulos fotovoltaicos (29/8/2007):** Esta norma describe los procedimientos de medida de la característica corriente-voltaje (I-V) para celdas solares de silicio cristalino, empleando luz natural o simulada[27].

- **NTC 5678, campos fotovoltaicos de silicio cristalino medida en el sitio de características i-v (24/6/2006):** Esta norma describe los procedimientos de medida en sitio de las características de campos fotovoltaicos de silicio cristalino y la extrapolación de estos datos a condiciones estándar de medida o a otros valores de irradiancia y temperatura.

Se describen dos métodos para realizar la medida de tipo A y B y se describe el equipo necesario para llevar a cabo cada método y se describen detalladamente los procedimientos a seguir para cada método con sus respectivas fórmulas. La precisión de la potencia extrapolada no supera el $\pm 5\%$.

- NTC 5512, ensayo de corrosión por niebla salina de módulos fotovoltaicos

(29/8/2012): Esta norma describe el procedimiento para realizar un ensayo que permite determinar la resistencia de los módulos fotovoltaicos a la niebla salina, lo que puede resultar útil a la hora de evaluar la compatibilidad de los materiales usados en los módulos, así como la calidad y uniformidad de los recubrimientos protectores.

Ultravioleta para módulos fotovoltaicos (fv) (29/10/2008): Esta norma define un ensayo que permite determinar la resistencia de un módulo fotovoltaico cuando es expuesto a radiación ultravioleta (UV) [27].

- NTC 2883, módulos fotovoltaicos (fv) de silicio cristalino para aplicación terrestre. calificación del diseño y aprobación de tipo (26/07/2006): La presente norma hace referencia a los requisitos establecidos para la calificación del diseño y la aprobación del tipo de módulos fotovoltaicos para aplicación terrestre y para la operación en largos periodos de tiempo en climas moderados (al aire libre), según lo define la norma IEC 60721-2-1.

Fotovoltaicos de lámina delgada para uso terrestre. calificación del diseño y homologación (22/12/2006): Esa norma indica los requisitos, según la norma IEC 721-2-1, para la clasificación del diseño de los sistemas de módulos fotovoltaicos de lámina de delga, que son diseñados principalmente para operar en largos periodos de tiempo y en climas moderados (al aire libre). La tecnología en la cual se basa es la de silicio amorfo pero también puede ser aplicable a otros módulos fotovoltaicos de lámina delgada.

- NTC 5549, sistemas fotovoltaicos terrestres. Generadores de potencia.

generalidades y guía (16/11/2007): Esta norma brinda una visión general de los sistemas fotovoltaicos (fv) terrestres generadores de potencia y de los elementos funcionales que los constituye[27].

NTC 5287, celdas y baterías secundarias para sistemas de energía solar fotovoltaica.

requisitos generales y métodos de ensayo (15/07/2009): Esta norma suministra la información necesaria referente a los requisitos de las baterías que se utilizan en los sistemas solares fotovoltaicos y de los métodos de ensayo típicos utilizados para verificar la eficiencia de las baterías[27].

- NTC 5433, informaciones de las hojas de datos y de las placas de características para los módulos fotovoltaicos (30/08/2006): La norma contiene información acerca de la configuración de sistemas con módulos fotovoltaicos para garantizar que estén constituidos de una manera óptima y segura.

- NTC 2959, guía para caracterizar las baterías de almacenamiento para sistemas fotovoltaicos (18/09/1991): La presente norma tiene como objeto mostrar una metodología para la presentación de la información técnica relacionada con la selección de baterías para el almacenamiento de energía en sistemas fotovoltaicos.

- NTC 5627, componentes de acumulación, conversión y gestión de energía de sistemas fotovoltaicos. Calificación del diseño y ensayos ambientales (29/10/2008): La actual norma establece algunos requisitos para la clasificación del diseño, de los componentes de acumulación, conversión y gestión de energía de sistemas fotovoltaicos.

- NTC 4405, eficiencia energética. Evaluación de la eficiencia de los sistemas solares fotovoltaicos y sus componentes (24/06/1998): La presente norma hace referencia a la

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

- GTC 114, guía de especificaciones de sistemas fotovoltaicos para suministro de energía rural dispersa en Colombia (01/12/2004): Esta norma establece algunas pautas sobre las especificaciones y características técnicas que se deberían tener en cuenta en el proceso de selección, instalación, operación y mantenimiento de sistemas fotovoltaicos (SFV) que se emplean para suministrar energía a las zonas rurales presentes en Colombia.

- NTC 5710 protección contra las sobretensiones de los sistemas fotovoltaicos productores de energía (30/09/2009): Esta norma establece algunos métodos para proteger los sistemas fotovoltaicos productores de energía de sobretensiones, independiente de si son autónomos o si están conectados a la red de distribución del sistema de potencia.

4.4.1. Normas internacionales para sistemas fotovoltaicos.

Las Normas internacionales que se tuvieron en cuenta para la elaboración de los cálculos de los sistemas fotovoltaicos fueron la SUP-995-96 y la norma europea de la International Electrotechnical Commission – IEC. LA SUP-995-96, son normas españolas para instalaciones de sistemas fotovoltaicos autónomos en España, están vigentes desde abril de 1998 y van de la mano en muchos puntos de la IEC

La IEC con un comité dedicado a emitir normas internacionales sobre sistemas de energía solar fotovoltaica (el comité TC 82)[1]. Este comité ha publicado un total de 64 normas técnicas disponibles en varios idiomas (inglés, francés y español), algunas de las cuales ya fueron referenciadas en los apartados anteriores.

4.5. Antecedentes

4.5.2. Antecedente Internacional

Se tiene como referencia una tesis profesional de la Universidad Austral de Chile presentada por Fredy Ríos Martínez titulada, “software para el cálculo de parámetros fotovoltaicos para iluminarias” presentado como requisito parcial para obtener el título en ingeniería electrónica. En dicho trabajo el autor presenta un software capaz de calcular los parámetros para la instalación de iluminarias, obteniendo como resultado un programa que agiliza el cálculo de dichos parámetros el cual es exclusivo para iluminaria y cuenta con una base de datos extensa de las distintas luminarias.

Otra referencia es el trabajo del ingeniero Eder Gonzales Toy titulada “sistema fotovoltaico con mínimo almacenamiento de energía en el enlace de DC” como requisito para optar al título de master en ciencias del instituto tecnológico de Cuernavaca, México en dicho trabajo el ingeniero realizó una interfaz gráfica en la cual podía realizar de forma sencilla cálculos para su sistema fotovoltaico necesario para una carga grande en continua y analizar su comportamiento en el tiempo. De igual forma otra gran referencia es la elaboración del software PV-sol elaborado por el doctor Igor D. Ozuna con conjunto a la firma Valentín software en Portugal, el cual es uno de los programas actualmente más utilizados en implementación de sistemas fotovoltaicos en Portugal y España debido a sus cálculos con alto índice de rentabilidad y se puede adquirir en el mercado a bajo costo y una versión gratuita con herramientas esenciales.

4.5.3. Antecedentes Nacionales

En Colombia existen trabajos de software a fines de los sistemas fotovoltaicos, uno de ellos es el de Michell Paulina Restrepo Segura para optar al título de ingeniera mecánica, dicho trabajo se llama “diseño de sistemas fotovoltaicos asistido por computador” en la universidad tecnológica de Pereira. En dicho trabajo realiza la programación de un software para de cálculos parámetros eléctricos de un sistema fotovoltaico aislado. En este estudio el autor además de calcular parámetros tiene en cuenta un análisis financiero profundizado para la elaboración de un sistema fotovoltaico autónomo. En otro trabajo de tesis para optar al título de ingeniero eléctrico de José Alberto Colonna Pertuz y franco Antonio medina Barraza de universidad de la costa CUC en barranquilla llamada “diseño de un sistema solar fotovoltaico para dos aulas móviles del S.E.N.A.” los autores realizan una interfaz gráfica muy didáctica en la cual se pueden hacer mejoras al sistema fotovoltaico que plantean y tener una evaluación del rendimiento a largo plazo del sistema.

5. Cálculo de sistemas fotovoltaicos autónomos del software SOLARSOFT®

Para la elaboración de los cálculos a realizar por parte del programa se tuvieron en cuenta las normas internacionales SUP-995-96 de España y las del comité TC 82 de la IEC las cual nos permiten realizar un cálculo detallado y fiable. Muchas implementaciones de sistemas fotovoltaicos en todo el mundo cumplen con aproximadamente el 85% de las normas establecidas en la IEC, sus variantes radican en las terminologías, variación de temperatura, técnicas de mantenimiento y porcentajes de distorsión armónica.

En un sistema fotovoltaico, lo que se pretende es calcular los elementos necesarios de la instalación y sus parámetros. Este cálculo es importante porque los elementos de la instalación deben guardar entre si la proporción justa y equilibrada para el buen funcionamiento de éste. Los parámetros y elementos que influyen en el cálculo de sistemas fotovoltaicos autónomos:

- Radiación solar y hora solar pico (HSP).
- Tensión nominal de la instalación (Tensión del sistema).
- Estimación del consumo de energía.
- Panel Solar.
- Potencia necesaria (Perdidas del sistema).
- Número de paneles solares.
- Batería.
- Regulador.
- Inversor.

Para tener un cálculo más exacto de un sistema fotovoltaico se deben tener en cuenta ciertos parámetros que a continuación se describirán a continuación.

5.1. Datos de radiación solar horizontal

La radiación solar horizontal hace referencia a los niveles de energía que llegan en un lugar determinado a lo largo del año, teniendo en cuenta condiciones climáticas y los movimientos de la tierra con respecto al sol.

En primer lugar se debe introducir un concepto fundamental, el de las “Horas de Sol Pico” o HPS [horas]. Se puede definir como el número de horas en que disponemos de una hipotética irradiancia solar constante de 1000 W/m^2 . Es decir, una hora solar pico “HPS” equivale a 1 Kwh/m^2 o, lo que es lo mismo, 3.6 MJ/m^2 . Dicho en otras palabras, es un modo de contabilizar la energía recibida del sol agrupándola en paquetes, siendo cada “paquete” de 1 hora recibiendo 1000 watts/m^2 . Para calcular entonces el valor de HPS se debe dividir el valor de la irradiación incidente entre el valor de la potencia de irradiación en condiciones estándar de medida (STC), pues es en esas condiciones donde se cumplen las características eléctricas de los módulos fotovoltaicos. Ese valor de irradiación en condiciones estándar de medida es de 1000 watts/m^2 . Es decir, si se dispone de los datos de irradiación solar de un determinado día y se divide entre 1000, se obtienen las HSP.

La radiación solar se puede obtener por medio de la herramienta web de la NASA llamada “meteorología superficial y la energía solar” que se puede encontrar en la página web <https://eosweb.larc.nasa.gov/sse/RETScreen/> en dicha página solo basta con tener las coordenadas geográficas del sitio en donde se pretende realizar el montaje del sistema fotovoltaico.

Para la consulta de las coordenadas geográficas hay un sinnúmero de páginas web que le ayuda a localizar un punto exacto, para la ubicación geográfica se sugiere utilizar la página web <http://www.coordenadas-gps.com/> ya que es una de las herramientas de Google satelital muy

confiable.

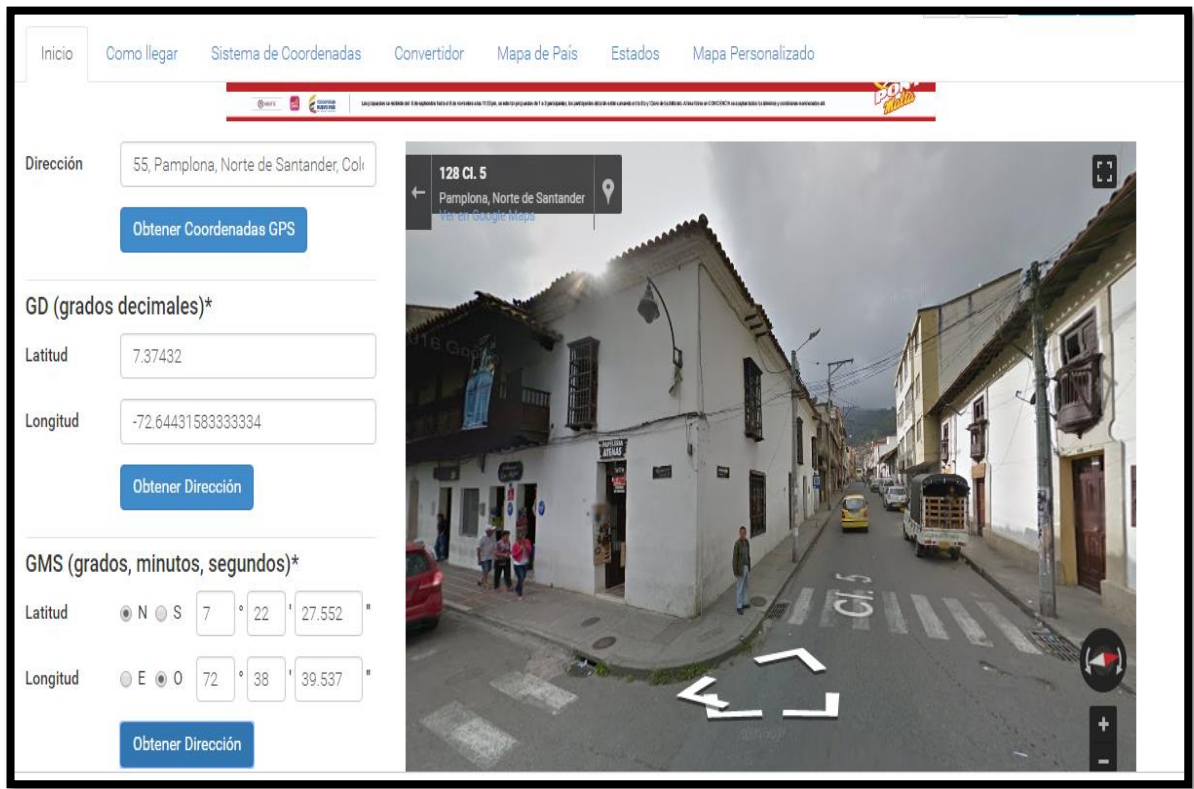


Figura 31. Ejemplo de obtención de coordenadas geográficas por medio de la herramienta de google maps. Fuente [28].

De esta página web además podremos obtener direcciones y podemos calcular los esquemas de sombras y podemos adquirir imágenes del terreno a estudiar.

Después de obtener las coordenadas geográficas vamos al sitio web de la nasa para la obtención de los valores de radiación horizontal anuales en nuestra zona determinada.



NASA Surface meteorology and Solar Energy: [RETScreen Data](#)

Latitude 7.374 / Longitude -72.644 was chosen.

	Unit	Climate data location				
Latitude	°N	7.374				
Longitude	°E	-72.644				
Elevation	m	1247				
Heating design temperature	°C	15.22				
Cooling design temperature	°C	25.04				
Earth temperature amplitude	°C	7.36				
Frost days at site	day	0				

Month	Air temperature °C	Relative humidity %	Daily solar radiation - horizontal kWh/m ² /d	Atmospheric pressure kPa	Wind speed m/s	Earth temperature °C
January	19.4	76.3%	4.87	87.7	2.0	20.6
February	20.5	70.4%	4.86	87.7	1.9	22.1
March	20.9	73.2%	4.99	87.6	1.7	22.7
April	20.8	80.1%	4.47	87.6	1.6	22.2
May	20.6	82.0%	4.65	87.6	1.7	21.6
June	20.2	80.6%	4.92	87.7	1.9	21.0
July	20.0	76.6%	5.09	87.7	1.9	21.0
August	20.5	74.0%	5.01	87.7	1.8	21.6
September	20.5	77.0%	5.02	87.7	1.6	21.7
October	20.1	82.3%	4.62	87.6	1.5	21.3
November	19.8	83.7%	4.45	87.6	1.5	20.8
December	19.3	82.4%	4.62	87.6	1.9	20.1
Annual	20.2	78.2%	4.80	87.6	1.8	21.4
Measured at (m)					10.0	0.0

Figura 33. Datos obtenidos de la página web de la NASA. Fuente [29].

En la figura 33 podemos observar los datos radiación media horizontal de un ejemplo que se tomó en Pamplona, Norte de Santander. Los valores de radiación a tener en cuenta son los más desfavorables ya que necesitamos que el cálculo del sistema fotovoltaico supla en todos los meses del año sin importar condiciones climatológicas que lo puedan afectar. Para el ejemplo puntual el mes más desfavorable para un sistema fotovoltaico es en noviembre, con una radiación media de 4.45 Kw/m² por día, seguido del mes de abril con 4.47 Kw/m². Datos que son lógicos puesto que son fechas en donde la distancia tierra- sol es las grande y dicha zona experimenta inviernos y mayores nubosidades.

5.2. Tensión nominal del sistema

Los sistemas fotovoltaicos autónomos pueden trabajar a tres posibles tensiones nominales: 12 V, 24 V, 48 V.

Las baterías en muchas aplicaciones, son el corazón de un sistema fotovoltaico basado en baterías, por esta razón la tensión nominal de las baterías es la tensión del sistema, aunque no siempre esta tensión nominal del sistema es determinada por el banco de baterías, el inversor, si se usa en una instalación, influirá en esta decisión. [33]

La tensión nominal del sistema es normalmente la necesaria para las cargas más elevadas. Si predominan cargas CA, debe elegirse una tensión CC que sea compatible con la entrada del inversor. Si las demandas de potencia más elevada son para el consumo de aparatos CC, debe elegirse el valor de la tensión de la carga mayor. Es necesario tener en cuenta que la determinación del voltaje también determina la corriente del sistema, que es necesario mantenerla en unos niveles aceptables.

En general se recomiendan tensiones de 12 V para potencias menores de 1,5 kW, 24 o 48 V para potencias entre 1,5 y 5 kW, y 48 V para potencias mayores de 5 kW. [34] Estas tensiones son nominales pero el sistema casi nunca opera estas tensiones, por ejemplo: según el estado de carga de la batería, un sistema a 12 V puede tener una tensión entre 10 y 15 V.

Tabla 2. Niveles de tensión del sistema fotovoltaico en función de la potencia de carga instalada. Elaboración propia.

Niveles de tensión del sistema (V)	Valores de potencia de consumo (W)
12	$P < 1,5 \text{ kW}$
24	$1,5 \text{ kW} \leq P \leq 5 \text{ kW}$
48	$P > 5 \text{ kW}$

Fuente: Elaboración propia

5.2. Estimación del consumo de energía

Para la estimación del consumo es fundamental los tener el consumo de energía por cada uno de los aparatos los cuales van hacer parte de la carga del sistema, o por su defecto, tener el consumo lo más cercano de lo real de la con el fin de no desviaciones en el dimensionamiento. Si la instalación se realizara para una vivienda de uso diario todo el año, se escogerá el valor medio de todo el año. Si la instalación se realizara para el uso ocasional, por ejemplo en verano, hay que escoger los valores de los meses de verano.

También hay que tener claro si nuestras cargas tendrán un consumo de energía alterna o directa ya que su método de extracción en distintas y acopladas podemos obtener el consumo real de nuestra instalación. Los consumos DC de bajo voltaje (12 V) pueden conectarse directamente al sistema de baterías a través de un regulador de carga.

El hecho de que normalmente son más eficientes energéticamente (lámparas DC, TV DC, portátiles o frigoríficos DC), pero tienen un coste más elevado que sus equivalentes de CA, además de que son más difíciles de encontrar. Otra restricción es el hecho de que los sistemas de bajo voltaje están limitados en la práctica a relativamente bajas demandas de consumo, la razón

es que un consumo de varios kW necesitaría corrientes muy elevadas lo que conduciría a pérdidas elevadas en el cableado o a la utilización de secciones de conductores muy grandes. [8]

Los aparatos CA se pueden encontrar más fácilmente (pero consumen más energía que sus equivalentes de DC). Para operar aparatos CA es necesario disponer de un inversor. El inversor necesita dimensionarse para soportar los picos de consumo (arranques de motores) combinado con el bajo rendimiento que presentan operando muy por debajo de la potencia nominal, no es raro encontrar sistemas FV que combinan consumos en DC con consumos en CA (ejemplo: iluminación en DC y el resto de los consumos de potencia en CA). Así pues, los sistemas FV autónomos pueden ser DC, CA, o mixtos (CA y DC).

Recomendación: Aparatos que funcionan mediante calentamiento de una resistencia, no es recomendable el uso de la energía solar fotovoltaica, ya que esta proporciona un bajo rendimiento energético (como son estufa eléctrica y calentador de agua eléctrico).

Los consumos en corriente continua (DC) y en corriente alterna (CA), se calculan de la siguiente forma:

- **Equipos en corriente continua (DC):** Los equipos de corriente continua son pocos en el uso doméstico pero es un poco más amplio en el uso comercial e industrial. La carga de energía en DC es obtenida directamente del módulo solar sin necesidad de conversión y se puede estimar según los aparatos por medio de la siguiente tabla:

Tabla 3. Tabla para el cálculo de potencia instalada en DC.

Descripción del Equipo	Potencia del equipo [W]	N° de Equipos	Días de funcionamiento [Días/semana]	Funcionamiento [Horas/día]	Total Potencia [Wh/día]
					= Potencia del equipo [W] x Número de equipos x Días de funcionamiento/ 7 x funcionamiento [Horas/día]
				Total (T1)	= Suma(Total Potencia)

Fuente: [22]

Como se puede observar la potencia instalada en DC dependerá de la cantidad de aparatos que se tengan es uso por las horas de utilización de estos y la cantidad que se tengan.

Para calcular el consumo en DC tenemos la siguiente ecuación:

$$DC=T1 \quad (17)$$

Donde:

CC= Consumo CC Wh/día

□1= Total Wh/día en CC.

Consumo de energía en alterna:

$$CA = \frac{100}{\text{rend.inv.}} * T2 \quad (18)$$

Donde:

T2 es el total Wh/día en CA.

CA el consumo de energía en alterna

rend. inv. = Rendimiento del inversor

Así el consumo total está dado por:

$$\text{Consumo tot} = DC + CA \quad (19)$$

5.3. Pérdidas en el sistema

Las pérdidas hacen referencia a la energía perdida en el transcurso de la etapa de generación de energía hasta su recepción. El cálculo del bloque de generación debe considerar el valor de las pérdidas en el sistema, ya que éstas deben ser compensadas si se quiere mantener un equilibrio energético. Las pérdidas a considerar son:

- Disipación en los cables que conectan los paneles al resto del sistema: El bloque de cableado es considerado uno de los bloques básicos del sistema porque el dimensionamiento del mismo tiene un rol muy importante en la reducción de pérdidas de energía en el sistema. Deberá recordarse que, para un mismo nivel de consumo, la corriente es mayor si el sistema es de bajo voltaje. Un mayor amperaje significa un incremento de las pérdidas de voltaje y disipación. La selección del conductor a usarse debe ser hecha teniendo en cuenta varios factores. Los más importantes son: la capacidad del cable de manejar la corriente máxima que debe circular por el mismo, el tipo de aislación, el tipo de conductor (sólido o multialambre) y, por último, el material con que está hecho el conductor.

- Consumo por los reguladores de carga: internamente los reguladores al tener interruptores electromecánicos y partes conductoras existe una pérdida de energía, aunque dichas pérdidas en este dispositivo son mínimas en comparación a los otros dispositivos del sistema fotovoltaico

- Pérdidas en el banco de baterías: Cuando un tipo de energía es convertido en otra, la eficiencia del proceso nunca alcanza el 100%, ya que siempre existen pérdidas (calor). La doble conversión energética que toma lugar dentro de una batería obedece esta ley física. Habrá, por lo tanto, pérdidas de energía durante el proceso de carga y el de descarga.

La doble conversión de energía que toma lugar en una batería resulta en una eficiencia total (n_b) que está dada por la expresión:

$$n_b = n_c * n_d \quad (20)$$

Donde n_c es el valor de la eficiencia de carga y n_d el de descarga. Ambos valores varían con la temperatura del electrolito y el estado de carga de la batería, ya que la resistencia interna de la misma genera estas pérdidas. Las pérdidas durante el proceso de carga fuerzan un incremento en la capacidad de generación del sistema, a fin de restablecer el balance energético del mismo. El valor de n_b está implícitamente considerado al determinarse el valor en Ah por el método de descarga continua. [8]

Teniendo en cuenta esto, la energía que debe producir el sistema fotovoltaico esta descrito de la siguiente ecuación:

$$E_T = CT * (1 + \%p\u00e9rdidas) \quad (21)$$

Donde E_T es la energía previsión perdida (Wh) y CT el Consumo Total

Y la energía en corriente Ah/día está dada por:

$$E = \frac{E_T}{V_T} \quad (22)$$

E= Energía total en Ah/día

V_T = Voltaje nominal del sistema

5.4. Dimensionamiento del generador fotovoltaico

El número de módulos fotovoltaicos que se seleccionen en un sistema depende de la demanda de potencia que tengan los elementos de consumo, teniendo en cuenta las pérdidas del inversor y del sistema, así como también la hora solar pico que dispongamos en la ubicación de la instalación y de las características eléctricas del panel.

El número de paneles fotovoltaicos se calculan con las siguientes ecuaciones

- Número de paneles fotovoltaico en paralelo:

$$N_{pp} = \frac{E}{HSP * I_{mp}} \quad (23)$$

N_{pp} = Paneles en paralelo

HSP= hora solar pico

I_{mp} = Intensidad a máxima potencia

E= Energía total en Ah/día

- Número de paneles fotovoltaicos en serie:

$$N_{ps} = \frac{V_T}{V_{mp}} \quad (24)$$

Donde:

N_{ps} =Paneles en serie

V_t = Voltaje nominal del sistema

V_{mp} = Voltaje a máxima potencia del panel

- Número total de paneles fotovoltaicos:

$$N_{tp} = N_{pp} * N_{ps} \quad (25)$$

Donde N_{tp} es el número total de paneles del sistema

5.5. Dimensionado del sistema de acumulación.

El banco de baterías o los acumuladores de energía son unas de las piezas esenciales en el diseño de su sistema fotovoltaico, su capacidad de almacenar energía depende de que tanta energía necesite a carga en Ah y también depende de los tiempos de autonomía que se le sean fijados. Entre más grande sea la carga más grande será el acumulador, y si se encuentra en un lugar con alto nivel de nubosidad requerirá más tiempos de autonomía y por ende más acumulación de energía.

El número de Ah de una batería es un valor que se deriva de un régimen de descarga especificado por el fabricante. Para un tipo especial de baterías, llamadas solares el procedimiento de prueba ha sido estandarizado por la industria. Una batería, inicialmente cargada al 100%, es descargada, a corriente constante, hasta que la energía en la misma se reduce al 20% de su valor inicial. El valor de esa corriente de descarga, multiplicado por la duración de la prueba (20 horas es un valor típico), es el valor en Ah de esa batería. Por ejemplo: Si una batería solar tiene una capacidad de 200 Ah para un tiempo de descarga de 20 horas, el valor de la corriente durante la prueba es de 10A.

Corrientes de descarga en exceso del máximo determinado por el método de prueba, 10A en el ejemplo, esta batería no puede entregar 200 A durante una hora. El proceso electroquímico no puede ser acelerado sin que la batería incremente su resistencia interna en forma substancial, este incremento disminuye el voltaje de salida, autolimitando la capacidad de sostener corrientes elevadas en la carga. Si la corriente de descarga es menor que la especificada, digamos 5 A, la relación Ah es válida. La batería de 200 Ah del ejemplo puede sostener este valor de corriente

por 40 horas.

La profundidad de descarga (PD) representa la cantidad de energía que puede extraerse de una batería. Este valor está dado en forma porcentual. Si la batería del ejemplo (200 A y 6 V) entrega 100 Ah, la PD es del 50%. Cuando se efectúa la prueba para determinar la capacidad en Ah de una batería solar la PD alcanza el 80%.

El número de ciclos de carga/descarga depende de la profundidad de descarga (PD). Cuando ésta disminuye, el número de ciclos aumenta [19]

Tabla 4. Profundidad de descarga (PD) y Número de ciclos para dos baterías solares

Batería 1		Batería 2	
6 V; 217 Ah; 30 Kg		6 V; 350 Ah; 65 Kg	
% PD	Nº de ciclos	% PD	Nº de ciclos
80	543	80	693
50	757	50	1 068
30	1 100	30	2 050
20	1 800	20	3 050

Fuente: [22]

5.5.1. Comportamiento de los distintos tipos de baterías fotovoltaicas

Las características más relevantes que hacen que el sistema fotovoltaico varíen según el tipo de batería es:

- Por su profundidad de descarga (PD) y funcionalidad:

En baterías estacionarias: Se caracterizan por presentar una elevada profundidad de descarga (60 al 80%), tienen una mayor pérdida de carga en periodos de no utilización de las mismas. Las baterías estacionarias están indicadas para instalaciones de uso frecuente con una elevada potencia de acumulación.

En baterías monoblock: Son baterías que tienen una profundidad de descarga menor del

(50%). Las pérdidas de carga se mantienen prácticamente constantes en periodos de no utilización, por lo que la utilización de baterías monoblock está más indicada para pequeñas instalaciones y de uso esporádico

- Según la tecnología que se utiliza en su fabricación:

Las baterías de ácido abiertas: Presentan la ventaja de poder ser rellenadas con agua destilada. Sin embargo, como desventaja de este tipo de baterías es que necesitan mantenimiento.

Las baterías de ácido selladas: No necesitan mantenimiento y su problema radica en la corta vida útil que poseen. Esto se debe a que por su válvula escapa una cierta cantidad de vapor de agua e hidrógeno, y una vez evaporado el electrolito, la batería se seca y se daña.

Las baterías de gel selladas: Carecen de mantenimiento ya que están protegidas contra la salida de ácido. Sin embargo, no son capaces de aguantar una corriente mayor de lo que su modelo especifica.

AGM sellada: Esta batería tiene considerables ventajas, no necesitan mantenimiento, están protegidas contra la salida de ácido y catalizan hasta el 95% del hidrógeno y oxígeno gasificado logrando una vida útil mucho más extensa. Su única desventaja radica en su alto precio.[33]

Tabla 5. Tipos y características de baterías.

Tipo	Precio	Ciclado profundo	Mantenimiento
Plomo-ácido			
Plomo-Antimonio	Bajo	Bueno	Alto
Plomo- Calcio abiertas	Bajo	Pobre	Medio
Plomo- Calcio selladas	Bajo	Pobre	Bajo
Híbridas (Antimonio/calcio)	Medio	Bueno	Medio
Electrolito inmovilizado			
Gel	Medio	Muy bueno	Bajo
AGM	Medio	Muy bueno	Bajo
Níquel-Cadmio			
Placas "sintered"	Alto	Bueno	Ninguno
Placas "pocketed"	Alto	Bueno	Medio

Fuente: Elaboración propia

-Según su voltaje y funcionalidad:

Baterías de 6 V, con una capacidad de unos 200 Ah son utilizadas en sistemas de mediana capacidad de reserva, donde pasan a formar parte de un banco de baterías con conexión serie o serie-paralelo, a fin de satisfacer los valores de voltaje y corriente del sistema.

Los sistemas fotovoltaicos de bajo consumo son sistemas de 12 V nominales, los requerimientos de reserva pueden ser satisfechos con la versión de 12 V, que tiene una capacidad de unos 100Ah.

Baterías de 12 V de más de 250 Ah resultan convenientes cuando se trabaja con sistemas de alto consumo.

Un modelo de 24 V, diseñado para ser usado en un sistema comunal tiene una capacidad de 1 493 Ah y pesa 1 200 Kg. [8]

Se trata de obtener los amperios hora (Ah) que ha de tener el acumulador de la instalación. Podemos decir que el número de baterías, será proporcional a la seguridad que queramos dar a la instalación, es decir, al número de días autonomía (D). Por tanto, dependerá de D.

Es preciso determinar el número máximo de días de autonomía (D) en función de las necesidades de la instalación y de las características climatológicas de la zona.

A la hora de establecer D, hay que considerar tanto la climatología del lugar como el tipo de instalación, la importancia del servicio prestado (de iluminación, de viviendas, hospitales, fábrica, etc.) y las limitaciones económicas ya que cuanto mayor sea D, mayor la inversión. [24]

5.5.2. Tamaño del acumulador según los tiempos de autonomía.

Con el tiempo de autonomía lo que se busca es obtener los amperios hora (Ah) que ha de tener el acumulador de la instalación. Podemos decir que el número de baterías, será proporcional a la seguridad que queramos dar a la instalación, es decir, al número de días autonomía (D). Por tanto, dependerá de D.

Estos días de autonomía (D) van a suplir la energía que por días nublados o condiciones climáticas el módulo fotovoltaico no es capaz de generar la energía que requiere la carga en función de las necesidades de la instalación y de las características climatológicas de la zona.

A la hora de establecer D, hay que considerar tanto la climatología del lugar como el tipo de instalación, la importancia del servicio prestado (de iluminación, de viviendas, hospitales, fábrica, etc.) y las limitaciones económicas ya que cuanto mayor sea D, mayor la inversión. [24]

Tabla 6. Estimación de números de días de autonomía.

<i>Invierno</i>	<i>Instalación doméstica</i>	<i>Instalación crítica</i>
<i>Muy nuboso</i>	5	10
<i>Variables</i>	4	8
<i>soleados</i>	3	6

Fuente: [22]

5.5.3. Cálculo de la capacidad de acumulación y el número de baterías en el sistema.

- La capacidad que debe tener el banco de baterías se calcula con la siguiente ecuación

$$C_S = \frac{100E * D}{PD} \quad (26)$$

C_S = Capacidad que debe tener el banco de baterías

D = Días de autonomía

PD = Profundidad de descarga (%)

E = Energía total en Ah/día

- Número de baterías.

Número de baterías en serie:

$$B_S = V_t / V_B \quad (27)$$

Donde:

B_S = Número de baterías en serie.

V_t = Voltaje nominal del sistema

V_B = Voltaje nominal de la batería.

Número de baterías en paralelo:

$$B_p = C_S * C_B \quad (28)$$

Donde:

B_p = Número de baterías en paralelo.

C_S = Capacidad que debe tener el banco de baterías

C_B = Capacidad de la batería.

5.6. Criterio de selección de los reguladores

Los reguladores de carga son los equipos electrónicos capaces de proteger al sistema fotovoltaico de sobrevoltaje y sobrecorriente e incluso de temperaturas excesivas, además protege el banco de baterías de descargas profundas. Su función como protección hacen de este un elemento muy indispensable y de cuidado en el cálculo.

Hay dos tipos básicos de estrategias de control. En los controladores “on-off” se interrumpe totalmente la corriente de carga cuando se alcanza el “voltaje de fin de carga”, mientras que en los controladores con "modulación del ancho de pulso", o PWM, se recurre a reducir gradualmente la corriente de carga cuando se alcanza el “voltaje de fin de carga”, manteniendo así el voltaje constante, y precisamente igual a este valor. Ambos tipos de reguladores y de estrategias de control son adecuadas para los sistemas domésticos sin que parezca existir una ventaja real asociada a cada estrategia de control en términos de mejorar la vida útil de la batería. En la práctica la selección de los voltajes de fin de carga y reposición debe buscar una solución de compromiso que conjugue la carga completa de la batería (voltajes altos) y evitar la corrosión de las rejillas y el excesivo consumo de agua (voltajes bajos). Los umbrales deben adaptarse a cada tipo de batería (mediante ensayos, o recomendaciones del fabricante).

En el caso de reguladores “on-off” el “voltaje de fin de carga” debe estar en el rango de 2,3 a 2,4 V por vaso a 25 °C. En los reguladores con control por modulación por ancho de pulso (PWM), la tensión constante de fin de carga debe ser ligeramente inferior con el objetivo de reducir la pérdida de agua y la tasa de corrosión, siendo el margen recomendado de 2,3 V a 2,35 V por vaso a 25 °C.

Los voltajes de desconexión y reconexión de carga deben adaptarse a cada tipo de batería. Sin embargo, a diferencia de la protección contra sobrecarga, es preferible no recurrir a valores

universales para estos umbrales y es conveniente recurrir a las recomendaciones del fabricante o ensayos en laboratorio para establecer los valores adecuados. [1]

La corriente que debe soportar el inversor, se calcula con la siguiente ecuación:

Para la selección de un regulador se debe tener en cuenta cual es la máxima corriente que debe soportar el regulador, a su entrada, pero también a su salida.

Para calcular la corriente de entrada al regulador hacemos el producto corriente de cortocircuito de un módulo, y multiplicamos por el número de las ramas (la corriente de cada rama en paralelo será aproximadamente la misma) en paralelo calculado anteriormente:

$$I_{in} = 1.25 * I_{MOD,sc} * N_{pp} \quad (29)$$

Siendo,

$I_{MOD,sc}$ La corriente unitaria del módulo fotovoltaico en condiciones de cortocircuito

Se usa la corriente de cortocircuito para el cálculo de la corriente de entrada al regulador por que será la máxima corriente que podría ser generada por el módulo fotovoltaico y ha de ser esa la que tengamos en cuenta para evitar pérdidas de rendimiento. El valor de 1,25 es un factor de seguridad para evitar daños ocasionales al regulador.

Para el cálculo de la corriente de salida se debe tener en cuenta las potencias de las cargas DC y las cargas AC:

$$I_{out} = \frac{1,25 * (P_{DC} + \frac{P_{AC}}{n_{inv}})}{V_{BAT}} \quad (30)$$

Siendo,

(PDC), potencia de las cargas en continua.

(PAC), potencia de las cargas en alterna.

(ninv), rendimiento del inversor, en torno a 90-95%.

5.7. Criterio de selección del inversor

Los inversores de energía son elementos capaces que convertir la energía del panel de DC a AC para el uso final de una carga. Estos inversores contienen un parámetro muy importante que es la máxima potencia de trabajo que está especificada para un determinado rango de temperatura ambiente, como se indica en sus especificaciones. Esta capacidad disminuye al aumentar la temperatura ambiente, ya que el equipo no alcanza a transferir al exterior todo el calor generado internamente.

Otra característica técnica importante que deberá tenerse presente al seleccionar un inversor es su capacidad para soportar transitorios de línea. Aparatos como la lavadora de ropa, la aspiradora y la licuadora generan fuertes transitorios de línea cuando se acopla la carga mecánica (ropa, fricción del cepillo contra el piso o alfombra, o material sólido a licuar). La lavadora, en particular, tiene varias transitorios durante el ciclo de lavado, esta carga mecánica es considerable, provocando transitorios elevados. Inversores que manejan más de 500 W pueden sostener una sobrecarga del 100% como mínimo. La duración máxima del transitorio varía entre un décimo de segundo y cerca de un minuto.

El parámetro eléctrico más importante es la máxima potencia de trabajo que el inversor puede manejar en forma continua. Este valor, como se indicó con anterioridad, depende de la temperatura ambiente. Al seleccionar una unidad es conveniente incrementar el valor de la potencia de trabajo dado por el diseño en un 25%, para cubrir transitorios de carga, cargas reactivas y temperaturas ambientes mayores a la dada por la hoja de especificaciones. La selección de la forma de onda del voltaje de salida depende del tipo de cargas a conectarse y el presupuesto del usuario. Si se anticipa el uso de computadoras, TV, equipos de audio, sea en el momento del diseño o en el futuro, el inversor con forma de salida senoidal es el más indicado. Otros parámetros que deberán considerarse son los porcentajes de pérdidas de la unidad durante los períodos activo y de reposo. [1]

La potencia que debe soportar el inversor:

$$Potencia\ inversor = PCA * 1,2 \quad (31)$$

Donde el 1.2 hace referencia un margen de seguridad establecida por la norma SUP-995 para proteger la vida útil del dispositivo.

5.8. Criterio de selección del conductor

La correcta selección del tipo y calibre de los conductores aumentan el rendimiento y la fiabilidad del sistema fotovoltaico. Dimensionar los conductores para caídas de tensión sean menores al 3% en cualquiera de los circuitos según la normativa IEC. También se debe considerar una corrección por temperatura si los cables se ven expuestos a temperatura superiores a 30°C. [31]

La corriente admisible del sistema está dada por:

$$I_{adm} = \frac{PT}{V_n * f_p} \quad (32)$$

Donde:

PT=potencia total del sistema

V_n = tensión del sistema

f_p = factor de potencia del sistema

$$\%R = \frac{v_i - v_o}{V_n} \quad (33)$$

Donde V_i es la tensión de entrada y V_o la tensión de salida del sistema. Una vez tengamos el valor de corriente admisible le aplicamos el factor de corrección según la temperatura ambiente del lugar de trabajo descrita en la tabla 7.

Tabla 7. Valores de corrección de temperatura.

FACTORES DE CORRECCIÓN POR TEMPERATURA AMBIENTE							
Temperatura Ambiente en °C	Para temperaturas ambientes distintas de 30 °C.						Temperatura Ambiente en °C
21-25	1,08	1,05	1,04	1,08	1,05	1,04	21-25
26-30	1	1	1	1	1	1	26-30
31-35	0,91	0,94	0,96	0,91	0,94	0,96	31-35
36-40	0,82	0,88	0,91	0,82	0,88	0,91	36-40
41-45	0,71	0,82	0,87	0,71	0,82	0,87	41-45
46-50	0,58	0,75	0,82	0,58	0,75	0,82	46-50
51-55	0,41	0,67	0,76	0,41	0,67	0,76	51-55
56-60		0,58	0,71		0,58	0,71	56-60
61-70		0,33	0,58		0,33	0,58	61-70
71-80			0,41			0,41	71-80

Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente nos dirigimos a seleccionar el cable según la corriente admisible para temperaturas recomendables según la norma IEC 053-A a 75°C a 90°C de la tabla 8 de conductores AGW.

Tabla 8. Conductores según diferentes temperaturas.

Sección Tranversal	Temperatura Nominal Del Conductor						Calibre
	60 °C	75 °C	90 °C	60 °C	75 °C	90 °C	
	Tipos	Tipos	Tipos	Tipos	Tipos	Tipos	
	S TW UF	FEPW RH RHW THHW THW THWN XHHW USE ZW	TBS SA SIS FEP FEPB MI RHH RHW-2 THHN THHW THW-2 THWN- 2 USE-2 XHH XHHW XHHW- 2 ZW-2	TW UF	RH RHW THHW THW THWN XHHW USE	TBS SA SIS THHN THHW THW-2 THWN-2 RHH RHW-2 USE-2 XHH XHHW XHHW-2 ZW-2	
mm2	COBRE			ALUMINIO RECUBIERTO CON COBRE			AWG ó kcmil
0,82			14				18
1,31			18				16
2,08	20	20	25				14
3,3	25	25	30	20	20	25	12
5,25	30	35	40	25	30	35	10
8,36	40	50	55	30	40	45	8
13,29	55	65	75	40	50	60	6
21,14	70	85	95	55	65	75	4
26,66	85	100	110	65	75	85	3
33,62	95	115	130	75	90	100	2
42,2	110	130	150	85	100	115	1
53,5	125	150	170	100	120	135	1/0
67,44	145	175	195	115	135	150	2/0
85,02	165	200	225	130	155	175	3/0
107,21	195	230	260	150	180	205	4/0
126,67	215	255	290	170	205	230	250
152,01	240	285	320	190	230	255	300
177,34	260	310	350	210	250	280	350
202,68	280	335	380	225	270	305	400
253,35	320	380	430	260	310	350	500
304,02	355	420	475	285	340	385	600
354,69	385	460	520	310	375	420	700
380,02	400	475	535	320	385	435	750
405,36	410	490	555	330	395	450	800
456,03	435	520	585	355	425	480	900
506,7	455	545	615	375	445	500	1000
633,38	495	590	665	405	485	545	1250
760,05	520	625	705	435	520	585	1500
886,73	545	650	735	455	545	615	1750
1013,04	560	665	750	470	560	630	2000

Fuente: elaboración propia.

6. Estructura del software SOLARSOFT®

La herramienta que se tomó para la programación de este software fue en Java por medio de la IDE Netbeans, ya que ambas herramientas permiten guardar bases de datos de forma confiable y cuentan con una versatilidad para elaborar interfaz gráfica y exportación de datos y sobre todo es un programa libre de licencia que cuenta con la compatibilidad de todos los sistemas operativos.

El software solarsoft cuenta con un icono que se muestra en la figura 34 al ejecutarlo cuenta con un botón de imagen principalmente con una ventana de inicio en la cual el usuario puede digitar un nombre de usuario, esto con el fin de que los cálculos y modificaciones sean responsabilidad del usuario y para darle una exclusividad a los estudiantes de la universidad que utilicen esta herramienta. (Figura 35).



Figura 34. Icono del software. Fuente: Elaboración propia



Figura 35. Pantalla de inicio al programa, Fuente: elaboración propia

El registro de usuarios y contraseñas del programa se realizó para cinco usuarios inicialmente para prestar el servicio a la universidad y para todo aquel que cuente con los nombres de usuarios y sus contraseñas.

USUARIO 1: IELECTRICAUP1	CONTRASEÑA: 1234
USUARIO 2: IELECTRICAUP2	CONTRASEÑA: 5678
USUARIO 3: IELECTRICAUP3	CONTRASEÑA: 9012
USUARIO 4: IELECTRICAUP4	CONTRASEÑA: 3456
USUARIO 5: IELECTRICAUP5	CONTRASEÑA: 7890

El programa por seguridad está diseñado para que el usuario tenga un numero máximos de intentos de tres (3) al realizar el tercer intento erróneo, el programa se finalizará (figura 36). Cuando el usuario digite la contraseña correcta, inmediatamente puede tener acceso a la ventana principal (figura 37).



Figura 36. Ingreso erróneo del logeo.



Figura 37. Ventana principal. Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar el programa en esta ventana de inicio cuenta en la parte superior los botones principales para realizar el cálculo de sistemas fotovoltaicos autónomos que son: Inicio, Carga, Paneles, Baterías, Reguladores, Inversores, Opciones.

En La Parte inferior de Esta ventana podemos visualizar emblemas de la universidad de pamplona, El tiempo de transcurso después de haber iniciado sección, La hora sincronizada con la hora del computador, el nombre del usuario y una fecha de último acceso. Cada usuario tendrá su respectivo tiempo de inicio el cual el programa recuerda para posteriormente exponer dicho dato, y se puede colocar una imagen por cada usuario el cual se visualizará en la parte inferior derecha.

6.1. Descripción del botón inicio

En este botón el usuario contará con una serie de opciones las cuales le permiten iniciar el proyecto, editarlo, consultar aspectos teóricos básico sobre sistemas solares fotovoltaicos, textos

de ayuda, así como realizar cotizaciones a nivel nacional de todos los implementos involucrados, normatividades, recomendaciones y contenido al respecto de la asignatura “sistemas fotovoltaicos” del programa de ingeniería eléctrica de la universidad de pamplona



Figura 38. Funciones del botón Inicio. Fuente: Elaboración propia.

-Nuevo proyecto: En nuevo proyecto el usuario al hacer clic se encontrará con un formulario básico para comenzar a realizar un proyecto fotovoltaico, como se puede observar en la figura 38. La funcionalidad de dicha pestaña es realizar un registro de datos importantes y complementarios referentes al proyecto que se desee elaborar.

SolarSoft - Universidad de Pamplona

Inicio Carga Paneles Batería Regulado Inversor Opciones

Nuevo Proyecto

Información Básica de Propietario

Fecha: 22/noviembre/2016

*Nombre del Proyecto: SolarElectrica

*Nombre Propietario: Pedro Luis Montero

*Tipo documento: Cédula de Ciudadanía

*Número documento: 1143362313

Correo Electrónico: pedromon@hotmail.com

Teléfono: 3016666123

Información del Cliente

*Nombre Cliente: Universidad de Pamplona

*Identificación Cliente: 5931234

Dirección de contacto: Km 1 Vía Bucaramanga

Ciudad de Contacto: Pamplona

*Correo Electrónico: contacto@unipamplonaedu.co

Datos Proyecto

Ubicación Instalación: Pamplona, Norte de Santander, Calle 2 Villa Cristina, Lat:7.3...

Dirección de Instalación: Calle 2 Villa Cristina

Ciudad de Instalación: Pamplona

Dpto de Instalación: Norte de Santander

Coordenas geográficas (Angulares)

Latitud (Norte y Sur): 7.384008

Longitud (Este y Oeste): -72.646098

Radiación promedio solar: 4.45

Presupuesto Proyecto: 10000000

*Tipo Instalación: Monofásica

*Tiempo Autonomía: 5 Horas

Importar Imagen: Examinar

(*) Datos obligatorios

Guardar Cancelar

SolarSoft
Ingeniería Eléctrica
Universidad de Pamplona

Tiempo de Sesión:
0:11:27

Hora/Fecha:
10:15:18 22/noviembre/2016

ELECTRICAUP1_Nombre
Adminitrador

Ultimo Acceso: 21/11/2016 23:09:50

Figura 39. Ventana de Nuevo Proyecto. Fuente: Elaboración propia.

Después de haber seleccionado la opción de nuevo proyecto, el usuario se dispondrá de completar las casillas que estos se piden, con el fin de guardas dichos datos y exportarlos en una memoria PDF como resultado del proyecto, junto a los demás cálculos y parámetros.

La fecha es sincronizada por el computador a la hora de ejecutar el programa, A continuación, se tiene una breve explicación a las variables mostradas en esta pestaña

-Nombre propietario: El usuario tiene la libertad de digitar su nombre o quien lo elabora.
Esta variable discrimina los datos numéricos, con el fin de realizar un registro adecuado

-Nombre del proyecto: El usuario digita un nombre con el fin de tener una referencia al momento de buscar su archivo.

-Número de doc: En esta casilla se pueden seleccionar solo las siguientes variables: cédula de ciudadanía, tarjeta de identidad, pasaporte.

-Correo electrónico: variable sin limitantes alfanuméricas.

-Teléfono(s): Variable de enriquecimiento del proyecto con limitantes alfabéticas.

-Cliente correo electrónico: Variable de enriquecimiento del proyecto sin limitantes alfanuméricas.

-Dirección: Variable de enriquecimiento del proyecto sin limitantes alfanuméricas.

-Barrio: Variable de enriquecimiento del proyecto sin limitantes alfanuméricas.

-Presupuesto: Variable que le sirve al usuario como referencia al realizar un estudio económico inicialmente.

Datos del proyecto: En esta casilla el usuario tendrá la libertad de utilizar las variables que por defecto el programa guarda cada que se realiza un cálculo de radiación para una zona, teniendo en cuenta su ubicación geográfica o realizar una búsqueda de las coordenadas geográficas exactas para un lugar en específico, para esto se recomiendan manejar las herramientas de Google maps® y de la N.A.S.A. que arrojan datos satelitales muy confiables.

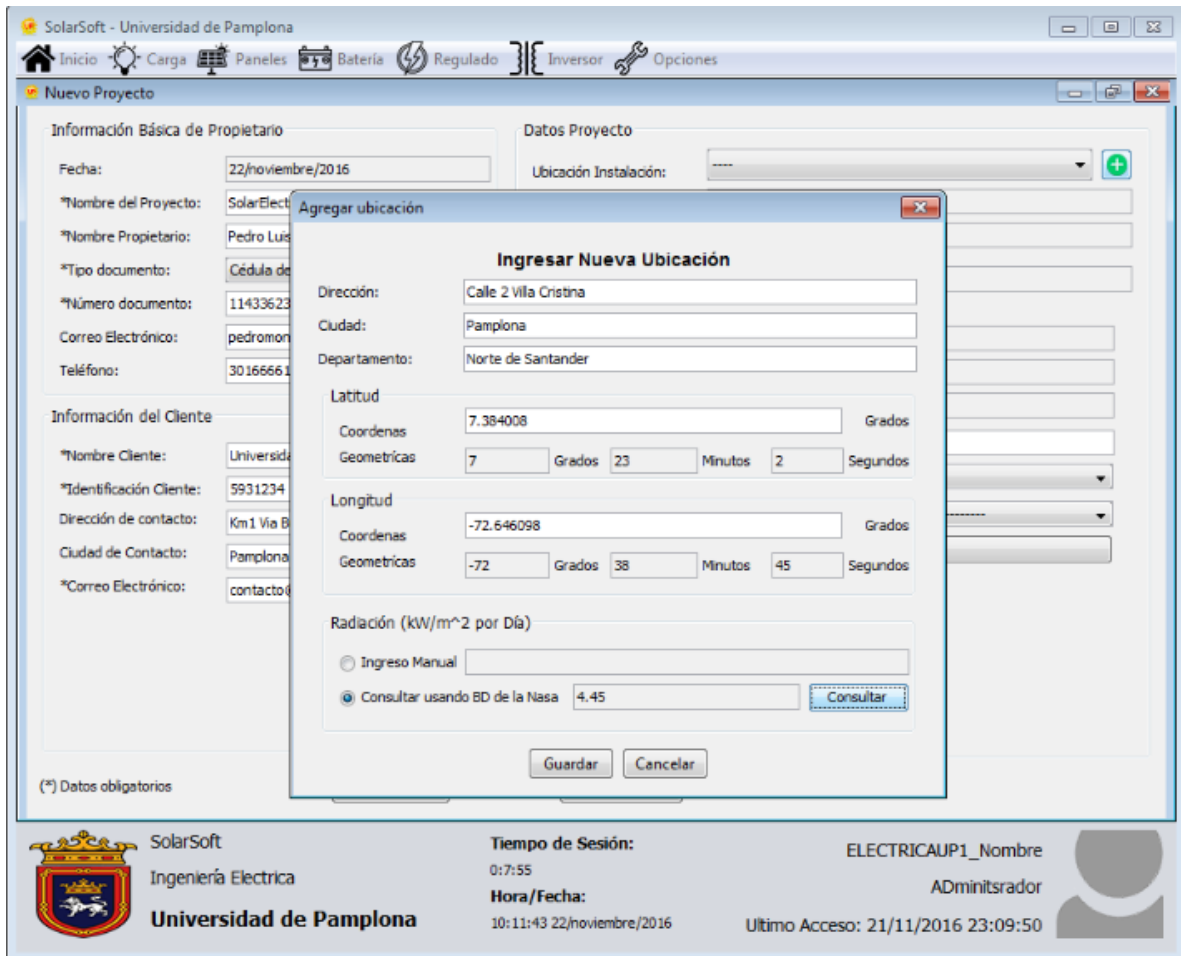


Figura 40. Ingreso de nuevas variables de Ubicación-Radiación. Fuente: Elaboración propia.

En la figura 39. Se puede observar como el programa realiza el registro de los nuevos datos de radiación según sean digitados por el usuario. Para este cálculo se considera la radiación en más baja durante el año, con el fin de suplir la carga demandada en el peor de los casos, para ello el programa da la opción de consultarlos vía internet siempre que el ordenador tenga acceso a la web. Los datos de longitud son digitados en coordenadas geométricas y el programa realiza la conversión de dichas coordenadas en coordenadas geométricas por si el usuario requiere dicho dato. Al consultar la radiación mínima con las coordenadas geográficas el programa realiza una relación con la página web de la nasa y guarda la variable de radiación horizontal para el peor de los meses.

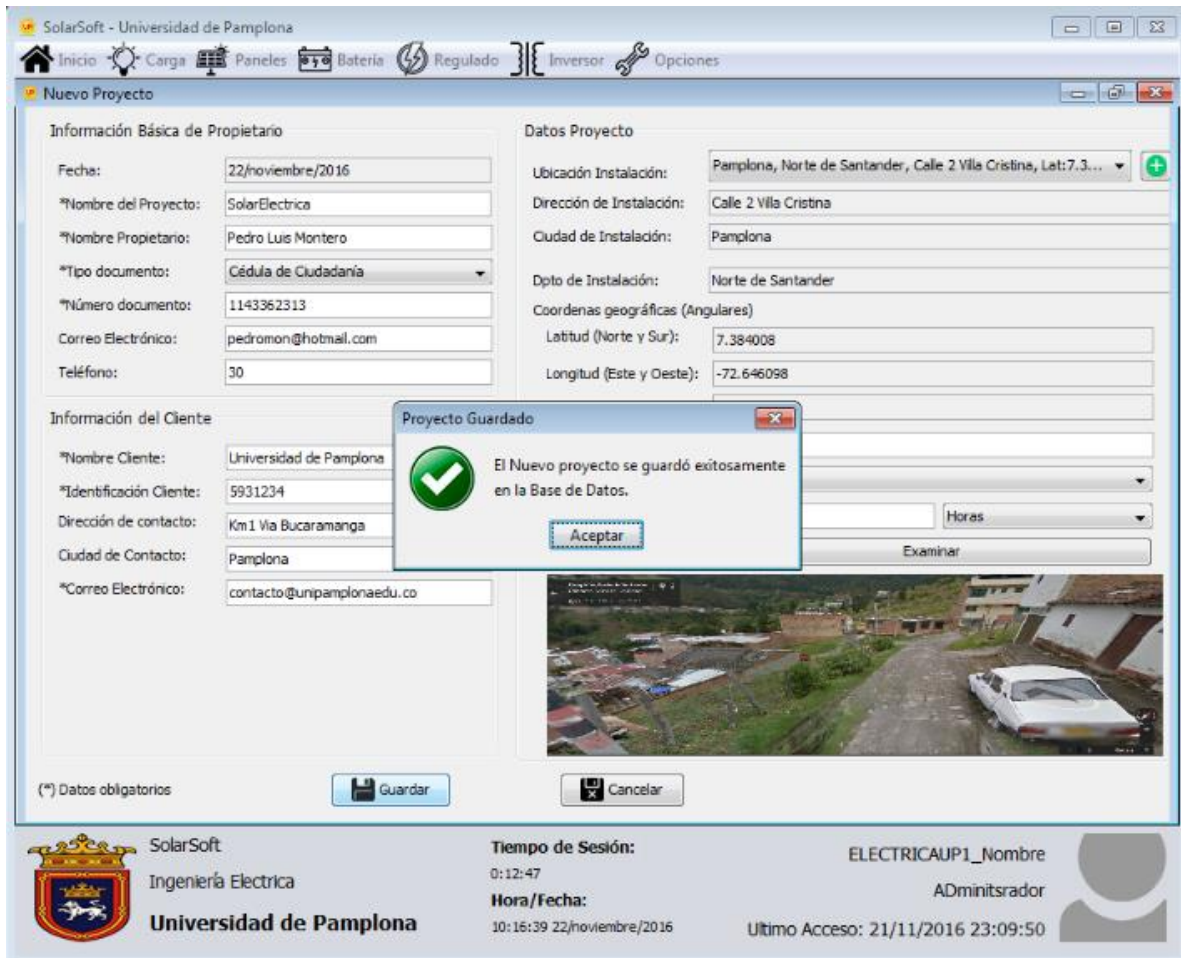


Figura 41. Variables de ubicación- radiaciones guardadas. Fuente: Elaboración propia

Si se selecciona una variable de ciudad guardada el programa automáticamente arroja las variables de longitud y latitud antes guardadas. Este formulario también cuenta con el campo opcional de importar una imagen real del sitio para visualizar en el reporte final.

El botón guardar de la parte inferior izquierda tiene la función de guardar las variables de forma permanente para un posterior uso (Figura 40) y el botón de cancelar en la parte inferior derecha para borrar las variables hasta el momento digitadas.

Las otras opciones del botón desplegable de “inicio” son descritas de forma breve a continuación:

Editar proyecto: este botón le brinda la posibilidad al usuario realizar cambios del proyecto que actualmente está realizando si cometió algún error anteriormente.

Guardar Proyecto: Es una herramienta de le brinda al usuario salvar sus datos durante el transcurso de la elaboración del proyecto.

Sistemas fotovoltaicos: Esta opción abarca una teoría acerca de los sistemas fotovoltaicos autónomos para que cualquiera que desee realizar un cálculo lo pueda realizar de forma sencilla, también cuenta con textos de ayuda, normativas nacionales e internacionales, ecuaciones de ayuda para realizar un cálculo manual, consultas de precios de los distintos implementos involucrados en el sistema y adicional a ello cuenta con información acerca del curso de sistemas fotovoltaicos, materia del programa de ingeniería eléctrica de la universidad de pamplona en donde encontrarán el contenido programático información del curso, texto guía y también tiene un poco de información acerca del programa.

6.2. Descripción botón carga

Al seleccionar la pestaña de carga se despliega la opción de cálculo de carga para la instalación (figura 41) En la cual vamos a realizar el cálculo exacto de la energía que debe suplir el sistema fotovoltaico para nuestro proyecto, teniendo en cuenta si la carga cuenta con consumo de energía en alterna y/o continua. La estimación de la carga es en función de los aparatos de se desean instalar de acuerdo a un número de horas promedio en el cual se les da uso a dichos aparatos.



Figura 42. Pestaña de carga. Fuente: Elaboración propia.

consumo en A.C.

En el consumo en A.C. visualizado en la siguiente pestaña tiene para digitar de forma manual por el usuario si ya tiene conocimiento de cuánto será su carga instalada o sino le da la opción de calcularla por medio de la interfaz como se muestra en la figura 42. La carga puede ser estimada por el usuario o en su defecto puede usar la calculadora para realizar el cálculo de la carga instalada de su sistema la cual va guardando los valores digitados en una base de datos para posteriormente tener un uso de ésta si se desea.

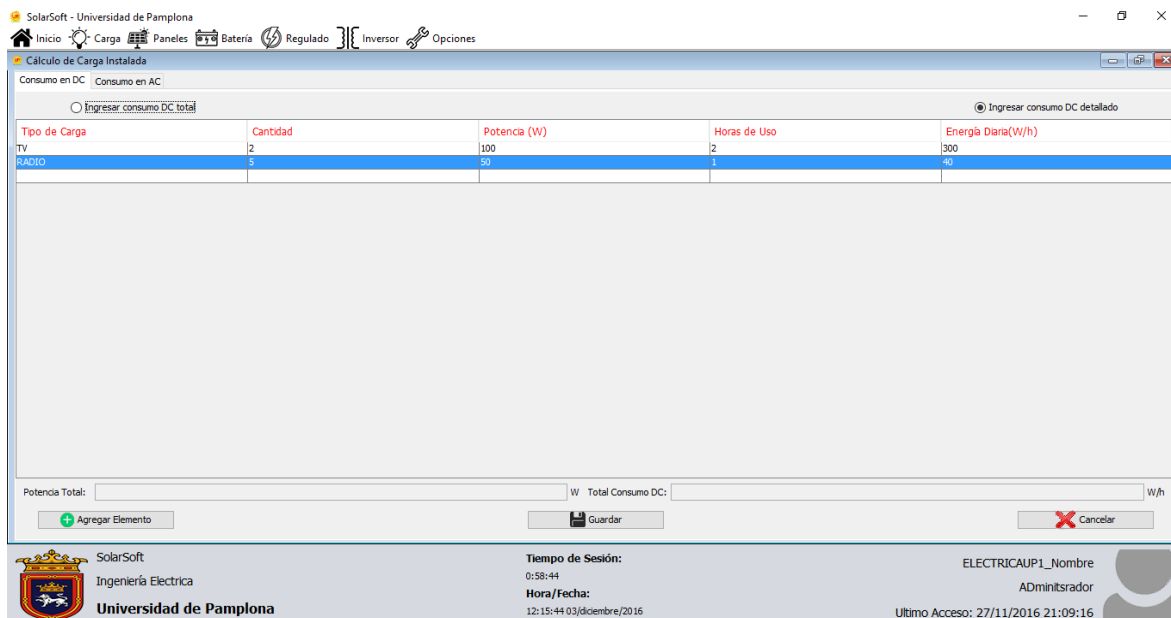


Figura 43. Pestaña para el cálculo de la carga en AC. Fuente: Elaboración propia.

Para la segunda pestaña de cálculo de carga en DC. Se tienen las mismas consideraciones anteriores (Figura 43). Las variables de “potencia total” y “total consumo” se tendrán en cuenta para cumplir con las normas establecidas en la tabla 2.

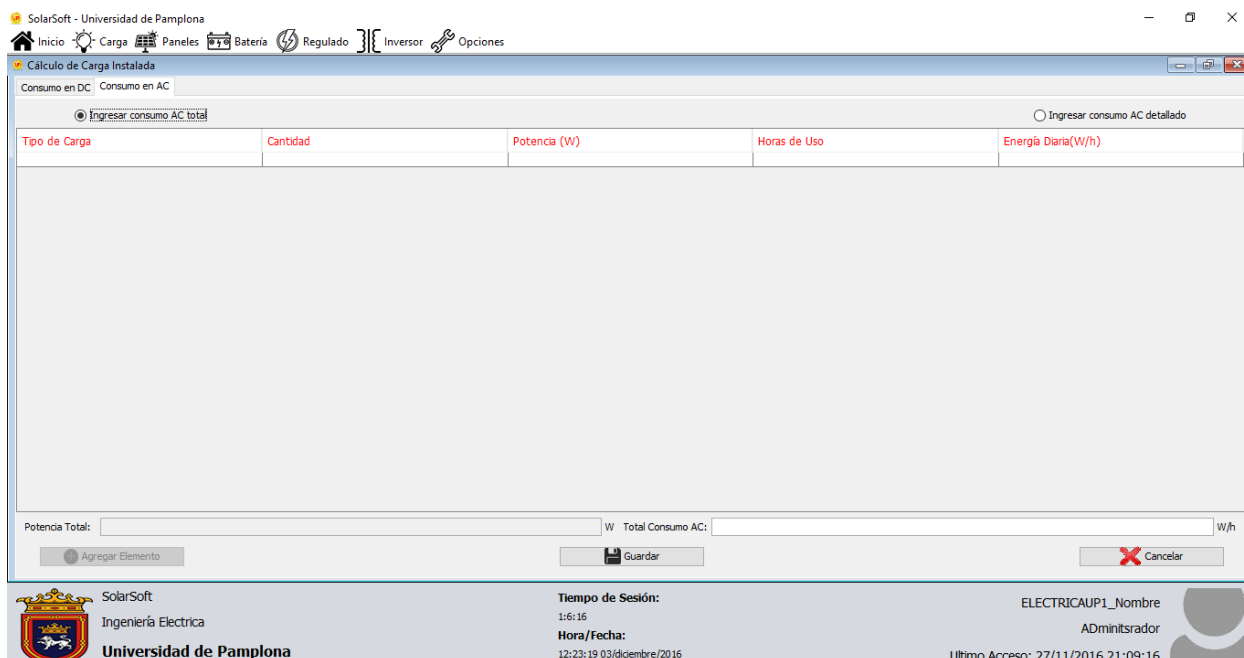


Figura 44. Pestaña para el cálculo de la carga en AC. Fuente: Elaboración propia

6.3. Descripción del botón Paneles

En esta opción el usuario es libre de consultar referencia de módulos fotovoltaicos existentes en el mercado y dependiendo de la tensión con la que su cálculo de carga instalada le sugirió por la norma IEC, o da una segunda opción que es por medio de una base de datos en donde se encuentran una gran variedad d referencias y tipos de módulos fotovoltaicos con sus respectivas características y precios que se puede observar en la tabla 9. De igual forma para que el programa no quede obsoleto tiene la opción de digitar manualmente las referencias y sus parámetros y sus distintos precios.

El programa a su vez y teniendo en cuenta la carga instalada del sistema clasifica a las tensiones de los paneles que debe tener en cuenta para su proyecto para evitar confusiones y errores humanos.

Tabla 9. Paneles solares comerciales en Colombia con sus características. Fuente: elaboración propia.

Referencia del panel	potencia máxima panel (W)	I. máx. (A)	precio (PESOS COLOMBIANOS)	tipo de célula	dimensiones(mm)	tensión máxima(V)	tensión nominal(V)	eficiencia	vida útil (años)
SOL050	180	4,9	644124	MONOCRISTALINO	1482x680x35	36,55	24	15	30
SOL051	150	5,2	550000	MONOCRISTALINO	1450X650X35	36,55	24	15	27
SOL052	180	4,9	630550	MONOCRISTALINO	1640X992X40	36,55	24	15	30
SOL053	180	4,9	670440	MONOCRISTALINO	1640X992X41	36,55	24	16	25
SOL050A	180	4,5	530790	MONOCRISTALINO	1482x680x35	22,5	12	16	25
SOL051A	180	4,5	498900	MONOCRISTALINO	1450X650X35	22,5	12	15	25
SOL052A	150	4,2	470680	MONOCRISTALINO	1640X992X40	22,5	12	17	25
SOL053A	120	4,2	440874	MONOCRISTALINO	1640X992X41	22,5	12	17	25
SOL069	150	4,5	670455	POLICRISTALINO	1640X992X40	34,6	24	13	20
SOL151	150	4,5	659988	POLICRISTALINO	1640X992X41	34,6	24	12	20
SOL060	120	4,2	560790	POLICRISTALINO	1956X992X50	34,6	24	12	20
SOL067	100	3,9	550000	POLICRISTALINO	1956X992X51	34,6	24	13	20
SOL069A	120	4,1	540404	POLICRISTALINO	1640X992X41	21,66	12	13	20
SOL151A	120	4,1	550292	POLICRISTALINO	1640X992X41	21,66	12	13	20
SOL060A	100	3,9	598383	POLICRISTALINO	1450X650X35	21,66	12	13	20
SOL069A	100	3,9	547483	POLICRISTALINO	1450X650X35	21,66	12	13	20
SOL010	120	4,1	637372	POLICRISTALINO	1640X992X40	21,66	12	14	20
SOL011	150	4,2	658383	POLICRISTALINO	1482x680x35	21,66	12	14	20
SOL012	180	4,7	705943	POLICRISTALINO	1956X992X51	21,66	12	14	20
SOL013	200	5,3	823231	POLICRISTALINO	1450X650X35	21,66	12	14	20
SOL014	180	4,7	644322	POLICRISTALINO	1482x680x35	21,66	12	14	20
SOL015	180	4,5	637320	POLICRISTALINO	1956X992X51	53,4	48	14	20

SOL016	150	4,5	553300	POLICRISTALINO	1956X992X52	53,4	48	14	20
SOL017	180	4,8	580433	POLICRISTALINO	1956X992X53	53,4	48	14	20
SOL018	180	4,9	593838	POLICRISTALINO	1956X992X54	53,4	48	14	20
SOL019	180	5,2	567099	POLICRISTALINO	1956X992X55	53,4	48	14	20
SOL020	180	5	602822	POLICRISTALINO	1956X992X56	53,4	48	14	20
SOL021	200	5,2	720188	POLICRISTALINO	1956X992X57	53,4	48	14	20
SOL022	250	5,6	838333	POLICRISTALINO	1956X992X58	53,4	48	14	20
SOL023	220	5	784432	POLICRISTALINO	1956X992X59	53,4	48	13	20
SOL024	200	5	755777	POLICRISTALINO	1956X992X60	53,4	48	13	20
SOL025	250	5,3	756633	POLICRISTALINO	1956X992X61	53,4	48	12	20
SOL026	300	5,8	923455	POLICRISTALINO	1956X992X62	53,4	48	12	20
SOL027	180	4,4	745660	POLICRISTALINO	1956X992X63	53,4	48	12	20
SOL028	150	4,1	630700	POLICRISTALINO	1956X992X64	53,4	48	13	20
SOL029	150	4	620000	POLICRISTALINO	1956X992X65	53,4	48	13	20
SOL030	200	4,7	674333	POLICRISTALINO	1956X992X66	53,4	48	12	20
SOL031	320	5,9	948222	POLICRISTALINO	1956X992X66	23,22	12	12	20
SOL032	320	5,5	970005	POLICRISTALINO	1956X992X66	23,22	12	12	20
SOL033	320	5,7	933550	POLICRISTALINO	1956X992X66	23,22	12	13	20
SOL034	320	5,3	974440	MONOCRISTALINO	1956X992X66	23,22	12	17	30
SOL035	320	5,3	933000	MONOCRISTALINO	1956X992X66	23,22	12	17	30
SOL036	320	5,2	937900	MONOCRISTALINO	1956X992X66	23,22	12	18	30
SOL037	245	5,3	830800	MONOCRISTALINO	1956X992X50	23,22	12	17	30
SOL038	245	5,5	830800	MONOCRISTALINO	1956X992X50	23,22	12	17	30
SOL039	245	5,3	830800	MONOCRISTALINO	1450X650X35	23,22	12	17	30
SOL040	245	5,2	830800	MONOCRISTALINO	1956X992X50	23,22	12	18	30
SOL041	245	5,3	830800	MONOCRISTALINO	1956X992X50	23,22	12	18	30
SOL042	70	4,2	350444	MONOCRISTALINO	1956X992X50	23,22	12	18	30
SOL043	70	4	350444	POLICRISTALINO	1482x680x35	36,55	24	14	25
SOL044	70	3,9	350444	POLICRISTALINO	1450X650X35	36,55	24	14	25
SOL045	95	3,8	460000	POLICRISTALINO	1450X650X35	36,55	24	14	25

SOL046	95	4	460000	POLICRISTALINO	1482x680x35	36,55	24	14	25
SOL047	95	4,4	460000	POLICRISTALINO	1956X992X50	36,55	24	14	25
SOL048	240	4,6	690000	POLICRISTALINO	1956X992X50	36,55	24	14	25
SOL049	240	4,8	690000	POLICRISTALINO	1482x680x35	36,55	24	14	25
SOL050	240	5,4	690000	POLICRISTALINO	1956X992X50	36,55	24	13	25
SOL051	240	5,7	690000	POLICRISTALINO	1956X992X50	53,66	48	14	25
SOL052	270	5,9	725000	MONOCRISTALINO	1450X650X35	53,66	48	19	30
SOL053	270	5	725000	MONOCRISTALINO	1956X992X50	53,66	48	18	30
SOL054	270	5,7	725000	MONOCRISTALINO	1956X992X50	53,66	48	19	30
SOL055	270	5,5	725000	MONOCRISTALINO	1482x680x35	53,66	48	18	30
SOL056	235	4,9	770000	MONOCRISTALINO	1956X992X50	53,66	48	19	30
SOL057	235	5,7	770000	MONOCRISTALINO	1956X992X50	53,66	48	19	30
SOL058	235	5,5	770000	MONOCRISTALINO	1450X650X35	53,66	48	19	30
SOL059	235	5,3	770000	MONOCRISTALINO	1482x680x35	53,66	48	19	30

6.4. Descripción del Botón Batería

En esta opción al dar clic podremos visualizar tres opciones:

- Selección de baterías
- Tipos de conexión
- Control de baterías

En selección de baterías de acuerdo con los cálculos que se vienen tomando en las etapas pasadas, vamos a seleccionar un tipo de baterías con la tensión correspondiente para nuestro sistema. Aquí podemos seleccionar desde baterías económicas hasta baterías llamadas sin mantenimiento de mucha eficiencia a precios elevados (tabla 10). Para la selección de las referencias se enriqueció el programa con referencias de baterías fotovoltaicas que se encuentran en el mercado colombiano, de igual forma el usuario también tiene la opción de ingresar su referencia de baterías y el programa guarda dichos datos para enriquecer su base de datos.

Tipo de conexión: para las consideraciones en los diferentes tipos de conexiones solo se le sugiere al usuario por normas que todo el banco de acumuladores sea de la misma referencia para conservar cada una de las baterías y el banco en general para que tengan un funcionamiento óptimo y un rendimiento esperado. En esta opción el usuario tiene la libertad de seleccionar baterías en serie para aumentar la tensión con la misma intensidad o ponerlas en paralelo para mantener la tensión del sistema y que el banco sea capaz de suministrar más energía a la carga.

De igual forma se cuenta con una barra auxiliar para agregar accesorios indispensables para el cuidado y protección de los acumuladores los cuales son opcionales. (tabla 11)

Tabla 10. Baterías para sistemas fotovoltaicos comerciales en Colombia con sus características. Fuente: elaboración propia.

referencia de la batería	tipo de batería	tensión (V)	corriente (Ah)	precio (COD)	dimensiones(mm)	rendimiento %
BAT050	AGM	12	7	80000	93.5X151X65	93
BAT049	AGM	12	24	195000	166 x 175 x 125	95
BAT048	AGM	12	40	320000	206 x 166 x 258	95
BAT222	AGM	12	60	350000	258 x 210 x166	93
BAT236	AGM	12	75	450000	227 x 410 x 176	93
BAT006	AGM	12	120	500000	238 x 522 x218	95
BAT232	AGM	12	100	450000	208 x 520 x269	92
BAT005	AGM	12	23	100000	190 x240 x175	90
BAT050A	AGM	24	45	180000	93.5X151X65	92
BAT049A	AGM	24	50	150000	190 x240 x175	90
BAT048A	AGM	24	70	200000	93.5X151X65	92
BAT222A	AGM	24	75	220000	93.5X151X65	93
BAT236A	AGM	24	100	350000	208 x 520 x269	95
BAT006A	AGM	24	120	380000	209 x 520 x269	95
BAT232A	AGM	24	150	400000	210 x 520 x269	95
BAT005A	AGM	24	170	450000	211 x 520 x269	95
BAT050B	AGM	48	65	150000	93.5X151X65	95
BAT049B	AGM	48	65	150000	93.5X151X65	93
BAT048B	AGM	48	75	170000	93.5X151X65	95
BAT222B	AGM	48	85	200000	93.5X151X65	93
BAT236B	AGM	48	150	350000	208 x 520 x269	95
BAT006B	AGM	48	200	350000	395 x 110 x285	95
BAT232B	AGM	48	250	450000	396 x 110 x285	95
BAT005B	AGM	48	300	500000	397 x 110 x285	95
BAT039	LITIO	12	75	120000	93.5X151X65	93
BAT040	LITIO	24	75	120000	93.5X151X65	92
BAT041	LITIO	48	75	200000	93.5X151X65	95
BAT244	BATERIAS DE GEL	12	50	150000	93.5X151X65	95
BAT245	BATERIAS DE GEL	12	70	150000	93.5X151X65	94
BAT246	BATERIAS DE GEL	12	75	150000	93.5X151X65	95
BAT247	BATERIAS DE GEL	12	100	220000	166 x 175 x 125	94
BAT248	BATERIAS DE GEL	12	120	235000	166 x 175 x 125	95
BAT249	BATERIAS DE GEL	12	120	235000	166 x 175 x 125	97
BAT250	BATERIAS DE GEL	12	150	250000	206 x 166 x 258	95
BAT251	BATERIAS DE GEL	12	170	275000	206 x 166 x 258	96
BAT252	BATERIAS DE GEL	12	170	275000	206 x 166 x 258	96
BAT253	BATERIAS DE GEL	12	180	300000	206 x 166 x 258	97
BAT254	BATERIAS DE GEL	24	50	210000	166 x 175 x 125	94
BAT255	BATERIAS DE GEL	24	65	220000	206 x 166 x 258	93

BAT256	BATERIAS DE GEL	24	70	230000	166 x 175 x 125	94
BAT257	BATERIAS DE GEL	24	70	245000	166 x 175 x 125	93
BAT258	BATERIAS DE GEL	24	75	320000	166 x 175 x 125	94
BAT259	BATERIAS DE GEL	24	100	350000	206 x 166 x 258	94
BAT260	BATERIAS DE GEL	24	120	320000	206 x 166 x 258	94
BAT261	BATERIAS DE GEL	24	120	310000	258 x 210 x166	93
BAT262	BATERIAS DE GEL	24	150	330000	258 x 210 x166	94
BAT263	BATERIAS DE GEL	24	170	370000	258 x 210 x166	93
BAT264	BATERIAS DE GEL	48	50	310000	227 x 410 x 176	94
BAT265	BATERIAS DE GEL	48	55	330000	166 x 175 x 125	96
BAT266	BATERIAS DE GEL	48	60	350000	166 x 175 x 125	95
BAT267	BATERIAS DE GEL	48	65	300000	206 x 166 x 258	96
BAT268	BATERIAS DE GEL	48	70	380000	166 x 175 x 125	96
BAT269	BATERIAS DE GEL	48	100	414000	206 x 166 x 258	95
BAT270	BATERIAS DE GEL	48	100	250000	206 x 166 x 258	96
BAT271	BATERIAS DE GEL	48	120	270000	258 x 210 x166	97
BAT272	BATERIAS DE GEL	48	120	250000	258 x 210 x166	95
BAT273	BATERIAS DE GEL	48	150	270000	258 x 210 x166	95
BAT0237	monoblok de litio	12	100	230000	258 x 210 x166	93
BAT0238	monoblok de litio	24	100	250000	258 x 210 x166	93
BAT0239	monoblok de litio	48	100	260000	258 x 210 x166	93
BAT0240	OPZS	12	1000	600000	238 x 522 x218	93
BAT0241	OPZS	12	1200	630000	238 x 522 x218	92
BAT0242	OPZS	12	1500	650000	238 x 522 x218	92
BAT0243	OPZS	12	2000	720000	238 x 522 x218	92
BAT0244	OPZS	24	1500	650000	238 x 522 x218	93
BAT0245	OPZS	24	1500	600000	238 x 522 x218	93
BAT0246	OPZS	24	2500	650000	238 x 522 x218	92
BAT0247	OPZS	24	3000	700000	430 x320 x 170	92
BAT0248	OPZS	48	1500	680000	238 x 522 x218	92
BAT0249	OPZS	48	2500	720000	238 x 522 x218	92
BAT0250	OPZS	48	2500	720000	238 x 522 x218	93
BAT0251	OPZS	48	3000	750000	430 x320 x 170	93

Tabla 11. accesorios para baterías. Fuente: elaboración propia.

ACCESORIO	REFERENCIA	PRECIO
ELE007	monitor de batería para conext SCHNEIDER	210000
MON043	MONITOR DE BATERÍA BMV 700-VICTRON	320000
MON044	MONITOR DE BATERÍA BMV 702-VICTRON	350000
ELE156	SENSOR DE TEMPERATURA PARA BMV 702	170000
MON009	MONITOR DE BATERÍA(FLEXNET) HASTA 3 SHUNTS-OUTBACK	120000
MON003	MONITOR DE BATERIA 9-35V X2 BAT 500A SHUNTS-TBS	115000
MON004	MONITOR DE BATERÍA 9-35V X2 BAT 500A SHUNTS-E-XPERT -TBS	135000
MON005	MONITOR DE BATERÍA 20-60V X2 BAT 500A SHUNTS-E-XPERT -TBS	265990
ELE071	DESCONECTADOR BATERIA 300A-4POSICIONES	57900
ELE072	DESCONECTADOR BATERIA 600A-2 POSICIONES (ON-OFF)	122826
ELE048	DISYUNTOR 175A-125VDC-OUTBACK	349734
ELE049	DISYUNTOR 250A-150VDC -OUTBACK	349734
ELE002	DISYUNTOR DC 175A-GJ-SCHNEIDER	573342
ELE004	DISYUNTOR DC 250A-GJ-SCHNEIDER	573342
ELE110	FUSIBLE ANL 200A-TECHNO SUN	25870
ELE111	FUSIBLE ANL 250A-TECHNO SUN	25870
ELE142	FUSIBLE INTELIGENTE ELECFUSE HASTA 250A 12-24V+SOPORTE	349734
ELE161	CAJA FUSIBLE CONEXT BATTERY 250A DC SIEMENS	472490
ELE162	CAJA FUSIBLE 250A 24/48V	957000
ELE135	CUBIERTA PROTECTORA PARA PORTAFUSIBLES ANL HASTA 750A	18990
ELE103	PORTAFUSIBLE VS INOX.TORNILLO/TUERCA HASTA 400A 48V POSITIVO	89900
ELE104	PORTAFUSIBLE VS INOX.TORNILLO/TUERCA HASTA 400A 48V NEGATIVO	89900
ELE175	PACK DE DOS UNIDADES:2 PORTAFUSIBLES CUCHILLA 2X5A/2X10A/ 2X15A/2X20A/2X25A/2X30A	11088
ELE152	LATIGUILLO PUENTE INTERCONEXION BATERIA COBRE 20X85	7458
ELE153	LATIGUILLO PUENTE INTERCONEXION BATERIA COBRE 25X165	8500
ELE154	LATIGUILLO PUENTE INTERCONEXION BATERIA COBRE 25X120	7500
ELE204	LATIGUILLO PUENTE INTERCONEXION BATERIA COBRE 95mm2/160mm- SUNLIGHT	55990
ELE069	LATIGUILLO PUENTE INTERCONEXION BATERIA COBRE 40X108 -TECHNO SUN	9500

6.5. Descripción del botón Regulador

Para la selección del regulador vamos a hacer clic en la parte superior en el icono, regulador (figura 45). Posteriormente se despliega una ventana para seleccionar un regulador según los parámetros de potencia, corriente y tensión del sistema con información de referencias de reguladores específicos para sistemas fotovoltaicos comerciales en el territorio colombiano, en una base de datos (figura 46 falta).

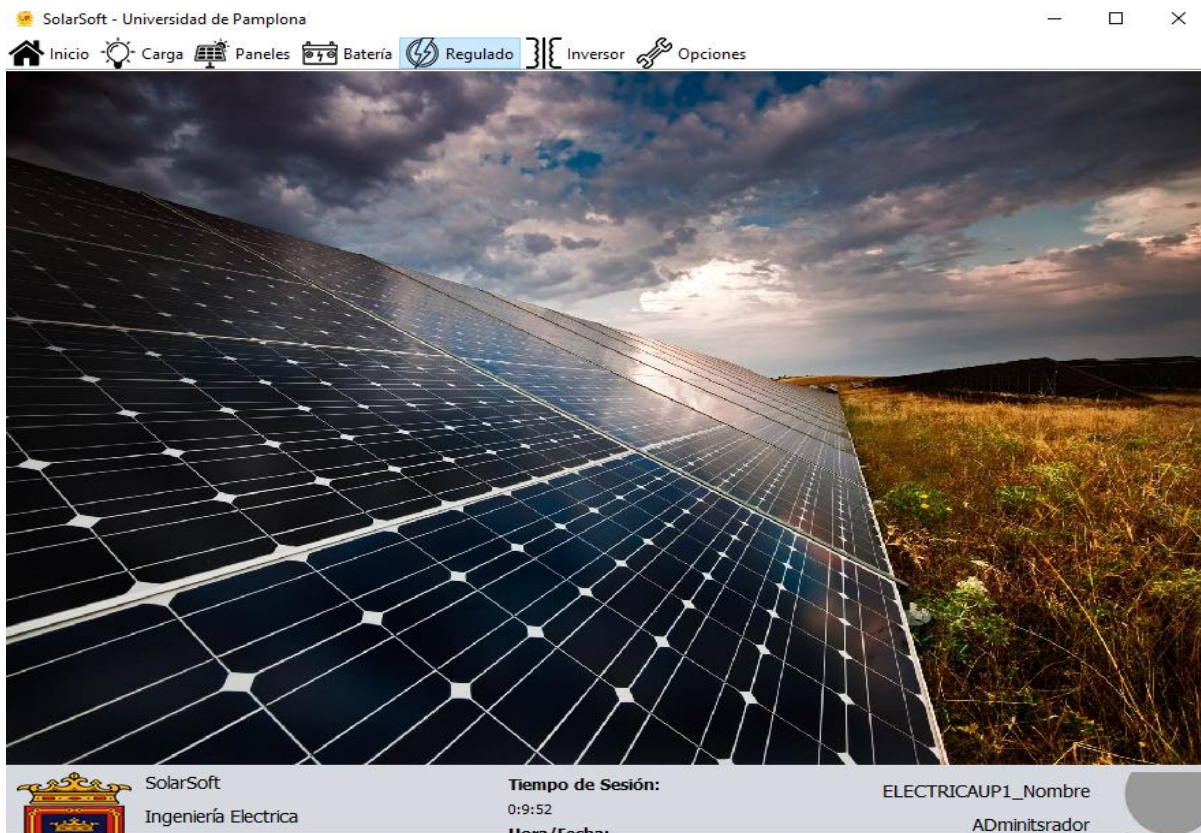


Figura 45. selección del regulador. Fuente: Elaboración propia

Dicha base de datos del regulador es programada de forma dinámica de tal forma que no pierde su utilidad y siga vigente con el pasar de los años la herramienta.

6.6. Descripción del Botón inversor

En la selección del inversor como último parámetro indispensable para el montaje de un sistema solar fotovoltaico autónomo se debe saber que si la carga instalada es netamente de D.C. no se requiere el inversor ya que el inversor es un dispositivo electrónico capaz de transformar la energía directa que genera el modulo y suministran las baterías a la carga. Los inversores por norma se deben tomar con un rendimiento no menor al 87% [1] para cargas de menos de 5kW y de rendimiento mayor de 92% para cargar que superen los 5kW. La selección del inversor tiene en cuenta el parámetro de corriente del sistema y la potencia de la carga.

Al hacer clic en la casilla de inversor se despliega una casilla (figura en la cual tiene una base de datos de inversores de sistemas fotovoltaicos y sus respectivas capacidades para seleccionar el adecuado según lo requiera la carga



Figura 46. selección del inversor DC/AC. Fuente: Elaboración propia

6.7. Descripción del Botón opciones

Al hacer clic en opciones se despliegan dos botones: uno de cálculo de conductor que toma la referencia de corriente que pasa por el sistema realizando factor de corrección por temperatura y que por norma la regulación de tensión debe ser menos al 2% y dicho valor lo asocia a una base de datos de la tabla 7 y 8.

En el segundo botón está la opción de importar datos en el cual el programa durante el transcurso de todas las etapas ha tenido diferentes cálculos el usuario tiene la opción de visualizar en un archivo PDF todos los datos, cálculos, parámetros importantes durante el cálculo de su sistema fotovoltaico como producto final. (figura 47.)

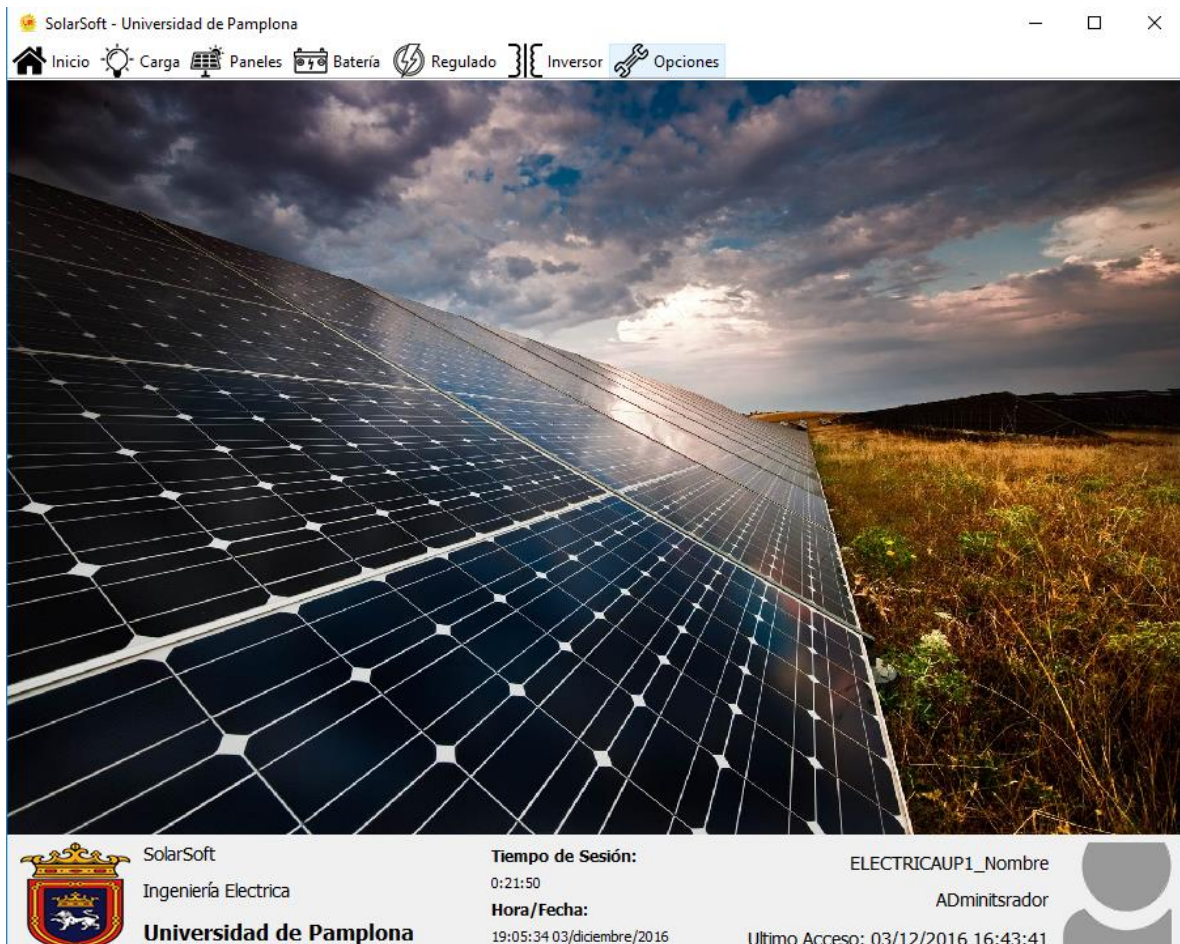


Figura 47. Botón de opciones. Fuente: Elaboración propia.

7. Validación del software SOLARSOFT®

Para la validación del software se tomó el proyecto de alimentación de una pequeña vivienda en una zona subnormal la cual consta de:

1 TV de 21" de 100W

1 Nevera de 750W

1 Equipo de sonido 250W

2 Ventiladores de techo 300W c/u

1 ventilador pequeño de 70W

5 bombillas incandescentes 100W

La potencia total instalada es de 1870W estimando un uso total de 8 horas al día la energía.

En lugar de la instalación es en bello- Antioquia donde la radiación del peor mes es de 5,1 kW/h. para el proyecto se estima un tiempo de autonomía de 5 días. Para dichos parámetros se obtuvieron los siguientes resultados:

- Tensión del sistema: 24V

- Número de paneles: 4 en paralelo de 180W

- Número de baterías: 6 baterías de gel de 120AH c/u

- Regulador: $I_{in} = 26,5A$, $I_{out} = 102,52 A$

- Conductores del generados y de las baterías: cobre aislado #10 y cobre aislado # 8 respectivamente.

- Inversor: 3000W.

Al realizar el cálculo con SOLARSOFT® se obtuvieron los siguientes resultados:

- Tensión del sistema: 24V
- Número de paneles: 4 en paralelo de 200W
- Número de baterías: 6 de gel de 150Ah c/u
- Regulador: $I_{in} = 29,5A \approx 30A$, $I_{out} = 110,6 A$
- Conductores del generados y de las baterías: cobre aislado #12 y cobre aislado # 6 respectivamente.
- Inversor: 3000W.

Como se puede observar la variación es muy poca siendo os conductores por normas internacionales los factores que más barías y las baterías considerando la norma IEC TC82-034 que toma el parámetro de descarga de las baterías entre un 50% y un 70% para conservar la vida útil de estas.

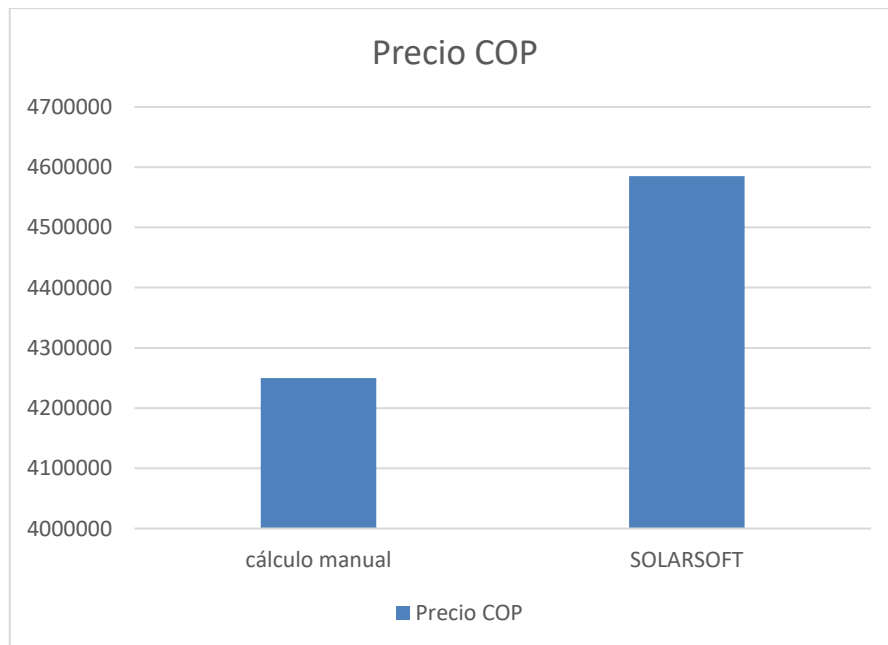


Figura 48. comparativo de precios. Fuente: Elaboración propia.

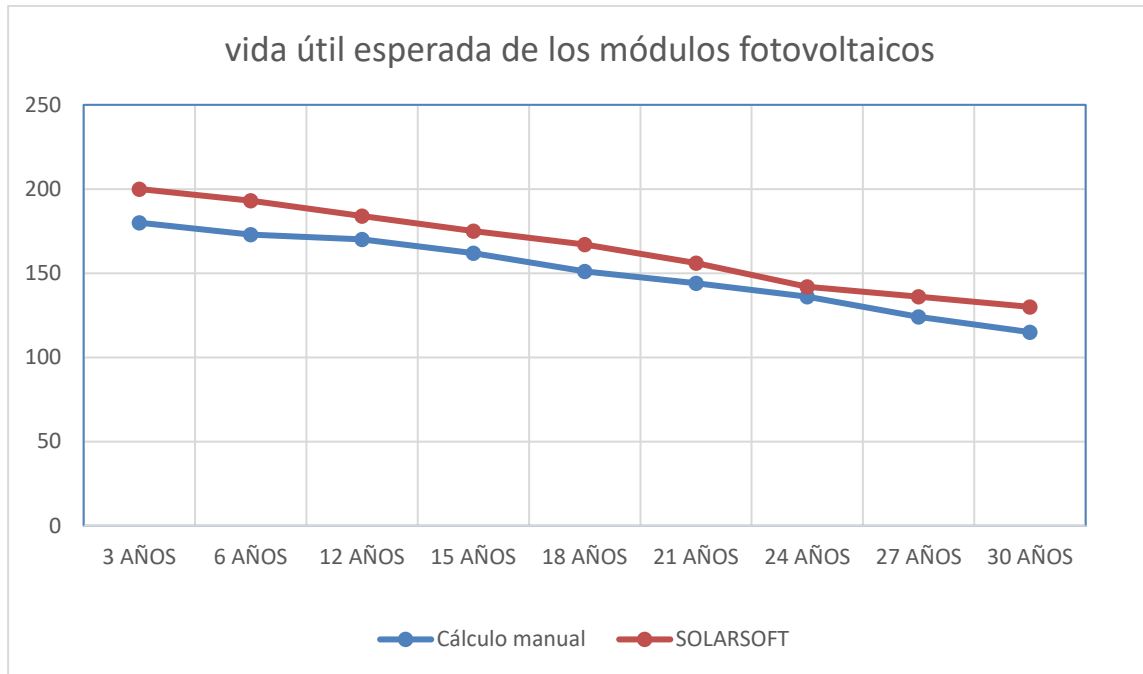


Figura 49. Vida útil esperada de los módulos en función a la potencia nominal.

En conclusión, se puede determinar que los cálculos manuales tienen una pequeña ventaja en cuanto al precio de la instalación, la diferencia económica entre los cálculos del proyecto y los de SOLARSOFT son de \$339.000 COP. Al ser el programa basándose en las normas internacionales, asegura al usuario un sistema de mayor durabilidad y un poco más confiable.

Los cálculos de los parámetros de SOLARSOFT son muy cercanos a los parámetros del proyecto.

8. Resultados esperados y potenciales beneficiarios

Se espera:

- Realizar de forma completa los parámetros esenciales de un sistema fotovoltaico autónomo.
- Obtener un análisis financiero acerca de la implementación de un sistema solar fotovoltaico.
- Elaborar una herramienta fiable para los estudiantes de la universidad de Pamplona y toda persona natural que esté interesada en realizar estudios, comparaciones, implementaciones y demás acerca de esta energía renovable.
- Tener un software basado en normas internacionales actualmente vigente en país pioneros en energía solar fotovoltaica.
- Se espera que el software Solarsoft se convierta en una herramienta confiable para realizar proyectos con energía fotovoltaica y sirva como referencia al momento de validar proyectos ingenieriles.

8.1. Principales beneficiarios

Los principales beneficios que SOLARSOFT le puede brindar a la universidad de Pamplona es una herramienta didáctica y practica para que los estudiantes puedan realizar cálculos de sistemas fotovoltaicos como también pueden comparar resultados y tener consideraciones para un cálculo fiable.

SOLARSOFT es una herramienta basada en normas internacionales las cuales brindan estándares confiables a los usuarios de tal forma no se sobredimensione ni mucho

menos se trabaje a lo justo. Esta herramienta puede promover el uso de herramientas tecnológicas para implementar energías renovables de forma sencilla sin necesidad de ser un experto en el tema, con conocimientos básicos y ayudas que puede adquirir en el software.

8.2. Compatibilidad del software

El programa SOLARSOFT es un programa realizado por medio de las herramientas de java, lo cual lo hace compatible con todos los sistemas operativos existentes. Además, SOLARSOFT no requiere programas externos licenciados para su ejecución, ya que al ser un programa ejecutable de JAVA® sola basta con tener las herramientas de JAVA® instalada en el ordenados la cual por defecto los ordenadores tienen de fábrica para la ejecución de ciertas páginas web, juegos y programas y se puede descargar de forma gratuita libre de licencia.

9. Conclusiones

Con la implementación de SOLARSOFT se puede ayudar a los estudiantes de la universidad de Pamplona para que realicen estudios y cálculos confiables de sistemas fotovoltaicos autónomos. El programa de ingeniería eléctrica se beneficiará con esta herramienta electrónica gratuita ayudando tanto a docentes como estudiantes a llevar a cabo estudios más detallados acerca de la energía solar fotovoltaica. De igual forma SOLARSOFT es un programa pensado para la comunidad en general para adquieran conocimientos básicos y se interesen en investigar e implementar fuentes de energías renovables que contribuyen con el medio ambiente y es el enfoque que se proyecta a futuros no muy lejanos.

Con la elaboración de SOLARSOFT se pudo determinar que los cálculos hechos manualmente pueden tener errores humanos y pérdida de tiempo, lo que entorpece la implementación de dicha fuente de energía y repercute en pérdidas económicas.

También se pudo concluir que al implementar normas internacionales tales como la IEC y las recomendadas en las normas reales españolas para sistemas energéticos los cálculos económicos sobrepasan por poco a los realizados con normas nacionales ya que muchas de las normas nacionales son derivadas de la IEC. La ventaja de implementar las normas IEC y las españolas es que brindan por un pequeño costo más eficiencia y proejen un poco más la vida útil del sistema, haciendo que la inversión sea justificada.

Las herramientas de programación con las cuales se elaboró SOLARSOFT, son herramientas que permiten el desarrollo didáctico, las cuales hacen de SOLARSOFT una herramienta fácil de manejar y sobre todo libre de licencias comerciales.

10. Recomendaciones

La base de datos de la irradiación solar son datos que se estiman que cambien considerablemente en 20 años, es por ello que se debe hacer una actualización de las variables en un tiempo recomendable de 10 años. La base de datos satelital de la nasa igual se encarga de actualizar los valores de radiación para cada tipo de ubicación.

La base de datos de los paneles, baterías, inversores y demás implementos varían sus precios con el paso de los años, dependen de valores de inflación del salario mínimo mensual vigente, impuestos de exportación y valorización del dólar, es por ello que se recomienda trabajar con los precios establecidos e ir actualizando dichos valores de forma anual.

La elaboración de este software es de forma educativo dirigida a los estudiantes de la universidad de pamplona y a las demás personas interesadas en implementar sistemas fotovoltaicos; Siendo indispensable indicar que el SOLARSOFT contiene información libre de licencia de apoyo para los usuario, por lo que se recomienda no hacer uso indebido de su contenido, pues estaría sujeto a las respectivas sanciones legales que regulan este tipo de violaciones de autor, en especial en su comercialización y su suplantación, de conformidad a lo estipulado en los artículos 270 y 271 del Código Penal Colombiano.

Actualmente el mercado colombiano presenta una amplia variedad de implementos para la elaboración de montajes de sistemas fotovoltaicos, pero sus eficiencias, rendimiento, vida útil, calidad, costos y demás aspectos relevantes pueden hacer variar los resultados abruptamente, es por ello que se recomienda una buena asesoría antes de adquirirlos

Se recomienda que las conexiones del sistema en general no tengan distancias mayores a 2 metros, (en lo posible si se puede evitar menor distancia entre elementos) ya que puede regularse la energía de forma inesperada o no muy eficaz. Para lugares en donde se cuente con estructuras de bajo tamaño o con infraestructuras vecinas que estorbe la irradiación sobre los módulos fotovoltaicos se recomienda que los módulos sean los únicos es ser distanciados del sistema.

Tenga en cuenta que sistemas con tiempos de autonomías elevados y de grandes potencias necesitan de un área considerable y bases capaces de soportar el peso del sistema.

Un mantenimiento preventivo mensual al generador fotovoltaicos puede proteger su vida útil, de igual forma realizar monitoreo del sistema en general puede prevenir accidentes y fallas en el sistema.

Los implementos electrónicos tales como inversor, regulador controles de baterías, sensores, se deben proteger de forma encapsulada contra posibles entradas de humedad, agua, polvo, y vientos salinos.

En lugares en donde la contaminación del aire es mayor por humo vehicular, industrias y entre otros, es recomendable utilizar una placa delgada de plástico adhesiva y ser cambiada mensualmente.

11. Bibliografía

[1] IEC (Octubre del 2010). “Energías renovables”, [Versión electrónica],

Normatividad de energías renovables IEC, recuperado el 12 de Agosto de 2016, de http://www.iec.ch/about/brochures/pdf/technology/renewable_energies-s.pdf

[2] ESMAP, 2007. “Review of Policy Framework for Increased Reliance on Renewable Energy in Colombia”. Bogotá: Oxford

[3] Procuraduría Federal del Consumidor (15 de marzo de 2016) “Calentadores solares de agua”. [Versión electrónica], recuperado el 15 de septiembre de 2016 de <http://www.gob.mx/profeco/documentos/calentadores-solares-de-agua-usa-la-energia-solar-a-tu-favor?state=published>

[4] C. M.García L., (Diciembre del 2001) “Energías renovables” (Única edición) Ciudad de México, (pp.123-234). ed. Millenium solar forum.

[5] M.A.Mengual, (1998), “Movimientos de la tierra” [Versión electrónica], recuperado el 9 de septiembre de 2016 de <https://historiavcentenario.wikispaces.com/file/view/Los+movimientos+de+la+Tierra.pdf>

[6] O.A.Perpiñán Lamigueiro, (Marzo de 2015) “Energía solar Fotovoltaica” México: McGaw-Hill (Original en inglés 2015).

[7] E.Sierra (Enero del 2003), “Solimetría, proyectos solares” ,[Versión electrónica], recuperado el 17 de septiembre de 2016 de https://www.fing.edu.uy/if/solar/proyectos/SOLARIMETRIA_E.Sierra_.pdf

[8] B.Richards (18 Enero, 2014), “cálculo de distancia entre placas solares”, [versión electrónica], recuperado el 15 de Octubre del 2016.

[9] A, J Nájera, (2013) “los movimientos de la tierra y las actividades turísticas”. Centro de Estudios Ramón, (pp.39-48), 2da edición Madrid.

[10]M..J. Hilton (abril de 2005) “Irradiación en la tierra, datos básicos para cálculos

fotovoltaicos”, Tema 12A, Lima (pp. 12-24).

[11]A.C. Córdoba (12 Febrero 2004) “sistemas de coordenadas solares y carta solar”, [Versión electrónica], recuperado el 28 de Septiembre de 2016 de http://www.fing.edu.uy/imfia/imfiaweb/sites/default/files/Clase%202_sistemasdecoordenadas.pdf

[12] A. Castejón Oliva, H. Santamaría Hernaz, (2009), “Instalaciones solares fotovoltaicas” Madrid: Editorial EDITEX S.A.

[13]Gobernación de España (Septiembre de 2003) “Sistemas energéticos alternativos”, [Versión electrónica], recuperado del 19 de Octubre del 2016 de http://www.aemet.es/documentos/es/eltiempo/observacion/radiacion/Radiacion_Solar.pdf .

[14] IES-UPM (2010) “Servidor de la estación meteorológica del Instituto de Energía Solar, U.P.M.”, [Versión electrónica], recuperado el 30 de Septiembre de <http://www.grupoelektra.es/blog/wp-content/uploads/2014/10/como-somos-los-delektra-que-son-las-HSP.pdf>.

[16] Sanz Requena, José Francisco., (1994). “Fundamentos de energía solar fotovoltaica para los grados de titulaciones científico-técnicas”. España: Universidad Europea Miguel de Cervantes, 2009, pp 135.

[17]SIMEC CHILE SRC, (6 Agosto de 2009) , “Sistemas fotovoltaicos para edificación urbana“ , [Versión electrónica], recuperado del 16 de Octubre de 2016 de https://www.unglobalcompact.org/system/attachments/8146/original/Proyecto_Simec_Chile.pdf?1287789602.

[18] Ministerio de Minas y energías, (noviembre de 2009) “Atlas radiación Solar”, [Versión electrónica] recuperado el 29 de Octubre de 2016 de

http://www.upme.gov.co/Docs/Atlas_Radiacion_Solar/2-Mapas_Radiacion_Solar.pdf

[19]Manual de sistemas solares autónomos “Cálculos de sistemas autónomos”

[Versión electrónica] recuperada el 11 de Noviembre del 2016 de http://www.sfe-solar.com/wp-content/uploads/2011/09/Sunfields_Boletin_Fotovoltaica_Autonomas.pdf

[20] Sanz Requena, José Francisco., et al. Fundamentos de energía solar fotovoltaica para los grados de titulaciones científico-técnicas. España: Universidad Europea Miguel de Cervantes, 2009, pp 148.

[21] S. A. Santa García, (16 de Septiembre de 2014), “Diseño de una instalación fotovoltaica autónoma para la finca mis delirio en Pereira – Colombia”, Tesis de maestría en energías renovables”, Universidad de Navarra, Pamplona, España.

[22]Fundamentos de energía solar fotovoltaica para los grados de titulaciones científico-técnicas.

[23] Ministerio federal de cooperación Económica y desarrollo, (Enero de 2013), “Instalaciones solares sobre techos” [Versión electrónica] recuperado el 12 de Noviembre del 2016 de http://estadisticas.cne.gob.sv/images/boletines/estudios/Sistemas_solares_sobre_techo.pdf.

[24] M. Alonso. Abella, (2009) “Rendimiento de la energía solar fotovoltaica en industrias y comercios” Tesis de maestría en energías renovables, Centro de investigación Energética, Medioambientes y tecnologías, Madrid España

[25] M.D. V. Steffens, (2011), “Energía solar fotovoltaica” [Versión electrónica], recuperada el 21 de Octubre del 2016 de http://energiasolarfotovoltaica.blogspot.com.co/2006/01/la-bateria_29.html

[26] IDEAM, (2013),”Radiación solar y días sin sol en promedio en Colombia”

[Versión electrónica], recuperado el 25 de Octubre del 2016 de <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html>.

[27] C. A. Álvarez, F. J. Álvarez Alzate (9 de noviembre de 2012) “Normatividad sobre Energía Solar Térmica y Fotovoltaica”, [Versión electrónica], recuperado el 25 de Octubre del 2016 de http://www.cidet.org.co/sites/default/files/documentos/uiet/normatividad_sobre_energia_solar_termica_y_fotovoltaica.pdf.

[28] Coordenadas geográficas Google maps®, “Coordenadas gps” [Versión electrónica] recuperada el 25 de Octubre del 2016 de <http://www.coordenadas-gps.com/>

[29] N.A.S.A. (2002), “Parámetros terrestres”[versión electrónica], recuperada el 25 de Octubre del 2016 de <https://eosweb.larc.nasa.gov/sse/RETScreen/>

[30] T. B. Adalberto L, (11 de Septiembre de 2014), “Estudio de una instalación fotovoltaica autónoma para una vivienda en el área rural”, Tesis de maestría en energías renovables”, Universidad Católica de Chile, Santiago.

[31] S. A. Santa García, (16 de Septiembre de 2014), “Diseño de una instalación fotovoltaica autónoma para la finca mis delirio en Pereira – Colombia”, Tesis de maestría en energías renovables”, pp. 125-134. Universidad de Navarra, Pamplona, España.

[32] A. Castejón, G. Santamaría. “Módulos fotovoltaicos”. En “Instalaciones solares fotovoltaicas”. Editorial Editex, S.A.: Vía Dos Castillas. 33 C.E. Ática 7, edificio 3ª, oficina B 28224 Pozuelo de Alarcón (Madrid), 2010, pp. 6-45.

[33] A. Castejón, G. Santamaría. “Baterías y Acumuladores”. En “Instalaciones solares fotovoltaicas”. Editorial Editex, S.A.: Vía Dos Castillas. 33 C.E. Ática 7, edificio 3ª,

oficina B 28224 Pozuelo de Alarcón (Madrid), 2010, pp. 46-91.

[34] A. Castejón, G. Santamaría. “Reguladores e Inversores”. En “Instalaciones solares fotovoltaicas”. Editorial Editex, S.A.: Vía Dos Castillas. 33 C.E. Ática 7, edificio 3ª, oficina B 28224 Pozuelo de Alarcón (Madrid), 2010, pp. 92-125.

12. Anexos

Tabla 12. Radiación solar en los peores meses en los principales municipios de Colombia. Fuente: Elaboración propia.

MUNICIPIO	LATITUD	LONGITUD	DEPARTAMENTO	RADIACIÓN PEOR MES Kwh/m2	MES DE MENOS RADIACIÓN
ADMIRABLE	9	75	SUCRE	4,57	JUNIO
ADOLFORIOS	4	73	CUNDINAMARCA	5,4	JUNIO
ADORETES	1	77	CAUCA	5,1	JUNIO
ADRIANA	9	73	CESAR	5,6	JUNIO
ADRIANO POTES	5	77	CHOCO	4,22	JUNIO
ADRIANO MORANO	4	76	VALLE DEL CAUCA	4,7	JUNIO
AFRICA	5	74	CALDAS	4,6	JUNIO
AGANCHE	2	76	CAUCA	5,3	JUNIO
AGARRATE	8	75	CORDOBA	5,5	JUNIO
AGRADO	2	75	HUILA	5,4	MARZO
AGRIASDULCES	10	74	MAGDALENA	5,6	JULIO
AGROYACO	1	77	NARIÑO	4,7	JULIO
AGUABLANCA	6	70	ARAUCA	4,5	JUNIO
AGUABLANCA	5	72	BOYACA	4,6	JULIO
AGUABLANCA	8	73	BOYACA	4,3	NOVIEMBRE
AGUABLANCA	5	74	NORTE DE SANTANDER	4,8	JUNIO
AGUABLANCA	3	70	BOYACA	4,4	JULIO
AGUABLANCA	5	72	CAUCA	4,9	JUNIO
AGUABLANCA	5	73	SANTANDER	4,8	NOVIEMBRE
AGUABLANCA	6	74	NORTE DE SANTANDER	5,2	JULIO

AGUABONITA	8	71	PUTUMAYO	4,4	MARZO
AGUABONITA	5	73	SANTANDER	4,6	MARZO
AGUABONITA	2	70	GUAVIARE	5,6	JULIO
AGUABONITA	1	73	GUAVIARE	5,6	JULIO
AGUABONITA	3	74	CALDAS	4,4	JUNIO
AGUABONITA	5	75	SANTANDER	5,1	JULIO
AGUABONITA	9	79	SANTANDER	5,3	JUNIO
AGUABONITA	8	72	TOLIMA	4,7	JULIO
AGUABONITA	10	71	HUILA	4,6	NOVIEMBRE
AGUACALIENTE	12	70	TOLIMA	4,7	NOVIEMBRE
AGUACALIENTE	12	73	TOLIMA	4,8	JUNIO
AGUA CLARA	15	71	TOLIMA	4,7	JUNIO
AGUA CLARA	3	71	NORTE DE SANTANDER	4,6	JULIO
AGUA CLARA	5	77	CAUCA	4,6	JUNIO
AGUA COLORADA	0	77	VALLE DEL CAUCA	4,9	JULIO
AGUA DE DIOS	3	74	BOYACA	5,1	MAYO
AGUA DE DIOS	5	72	BOLIVAR	5,6	JUNIO
AGUA DE LA VIRGEN	5	73	SANTANDER	5,6	JULIO
AGUA DE PERRO	2	74	SANTANDER	5,4	NOVIEMBRE
AGUADULCE	3	74	SANTANDER	5,3	NOVIEMBRE
AGUADULCE	3	74	SANTANDER	5,2	JULIO
AGUAFRIA	5	76	HUILA	4,4	NOVIEMBRE
AGUAFRIA	2	74	ARAUCA	4,9	JULIO
AGUAFRIA	1	73	META	4,6	JUNIO
AGUAFRIA	1	72	ANTIOQUIA	5,2	JUNIO
AGUAFRIA	3	70	ARAUCA	5,6	MARZO
AGUAFRIA	3	73	VALLE DEL CAUCA	5,2	ABRIL
ABARCA	10	74	MAGDALENA	5,5	MAYO

ABERROJAL	1	72	ANTIOQUIA	5,6	JUNIO
ABISIA	5	77	AMAZONAS	5,6	JULIO
ABREJO	10	72	GUAJIRA	5,8	AGOSTO
ABREGO	8	72	NORTE DE SANTANDER	4,9	SEPTIEMBRE
ABRIGAUQUÍ	4	75	ANTIOQUIA	5,2	OCTUBRE
ABRIOJO	6	76	ANTIOQUIA	5,1	NOVIEMBRE
ACACIAS	6	75	META	5,4	DICIEMBRE
ACANDI	7	73	CHOCO	4,6	ENERO
ACAPULCO	8	77	CALDAS	4,5	FEBRERO
ACAPULCO	5	72	META	4,5	MARZO
ACAPULCO	4	72	CAQUETA	4,7	ABRIL
ACAPULCO	1	75	CASANARE	4,8	MAYO
ACAPULCO	5	72	ARAUCA	4,9	JUNIO
ACARICUARA	6	71	VAUPEZ	4,9	JULIO
ACEITE	0	70	GUAJIRA	5,7	AGOSTO
ACEITUNO	12	71	TOLIMA	5,6	SEPTIEMBRE
ACEVEDO	3	75	HUILA	5,3	OCTUBRE
ACEVEDO	1	75	TOLIMA	5,6	NOVIEMBRE
ACHI	3	75	BOLIVAR	5,6	DICIEMBRE
ACHIOTE	5	74	CUNDINAMARCA	4,8	ENERO
ACHOTAL	10	74	ATLANTICO	5,4	FEBRERO
ACHOTAL	1	78	NARIÑO	4,6	MARZO
ACHUPALLAS	3	74	NARIÑO	4,6	ABRIL
ACO	9	74	TOLIMA	4,7	MAYO
ACO NUEVO	3	74	TOLIMA	4,7	JUNIO
ACORDEON	9	74	MAGDALENA	4,6	JULIO
ACOSO	5	76	CHOCO	4,5	JULIO
ACOSTA	8	75	CORDOBA	5,6	JULIO

ACUAPAL	5	75	CUNDINAMARCA	4,8	JULIO
ACUATA	4	74	CUNDINAMARCA	4,9	JULIO
ACUNA	6	74	SANTANDER	5,3	JULIO
ADALUZ	11	74	GUAJIRA	5,5	JULIO
ADAN	10	73	CESAR	5,4	JULIO
ADELAIDE	3	75	TOLIMA	4,8	JULIO
AGUAS VIVAS	6	75	CORDOBA	5,4	JULIO
AGUAS VIVAS	10	74	BOLIVAR	5,5	MAYO
AGUAS VIVAS	8	77	MAGDALENA	5,5	JUNIO
AGUAS VIVAS	10	75	BOLIVAR	5,3	JUNIO
AGUAS VIVAS	8	74	CORDOBA	5,3	JUNIO
AGUAS VIVAS	9	74	CORDOBA	5,3	JUNIO
AGUAZUL	4	76	RISARALDA	5,4	JUNIO
AGUAZUL	5	75	CASANARE	5,7	JUNIO
ALCANTARILLA	5	76	NARIÑO	4,2	JUNIO
ALFONZO LOPEZ	0	72	CORDOBA	5,3	JULIO
ALFONZO LOPEZ	5	74	CASANARE	4,6	NOVIEMBRE
ALFONZO LOPEZ	8	74	MAGDALENA	5,3	MARZO
BOGOTA	4	74	CUNDINAMARCA	4,87	NOVIEMBRE
MEDELLIN	6	75	ANTIOQUIA	5,2	NOVIEMBRE
CALI	3	76	VALLE DEL CAUCA	5,5	NOVIEMBRE
BARRANQUILLA	10	73	ATLANTICO	5,7	NOVIEMBRE
CARTAGENA	10	74	BOLIVAR	5,8	NOVIEMBRE
CUCUTA	7	72	NORTE DE SANTANDER	5,5	NOVIEMBRE
SOLEDAD	10	72	ATLANTICO	5,7	NOVIEMBRE
IBAGUE	4	74	TOLIMA	4,9	JULIO
BUCARAMANGA	7	73	SANTANDER	4,3	JULIO
SOACHA	4	73	CUNDINAMARCA	4,6	JULIO

VILLAVICENCIO	6	72	META	5,4	JULIO
SANTA MARTA	9	71	MAGDALENA	5,6	JULIO
PEREIRA	5	73	RISARALDA	4,8	JULIO
BELLO	6	74	ANTIOQUIA	5	JULIO
VALLEDUPAR	8	72	CESAR	5,6	JUNIO
MONTERIA	7	75	CORDOBA	5,2	JULIO
PASTO	0	71	NARIÑO	4,2	AGOSTO
BUENAVENTURA	3	76	VALLE DEL CAUCA	4,5	NOVIEMBRE
MANIZALES	3	73	CALDAS	4,1	NOVIEMBRE
NEIVA	3	73	HUILA	4,3	NOVIEMBRE
PALMIRA	3	75	VALLE DEL CAUCA	4,4	NOVIEMBRE
ARMENIA	3	74	RISARALDA	4,5	NOVIEMBRE
POPAYAN	1	73	PUTUMAYO	4,6	NOVIEMBRE
SINCELEJO	8	73	SUCRE	5,6	MARZO
ITAGUI	5	74	ANTIOQUIA	5,1	JULIO
RIOACHA	13	77	GUAJIRA	5,9	JULIO
FLORIDABLANCA	6	74	SANTANDER	5,2	JUNIO
ENVIGADO	5	73	ANTIOQUIA	4,8	JULIO
TULUA	3	74	VALLE DEL CAUCA	4,6	JULIO
TUMACO	3	72	NARIÑO	4,3	JUNIO
DOSQUEBRADAS	3	74	CALDAS	4,3	JULIO
TUNJA	7	74	BOYACA	4,1	JULIO
PAMPLONA	7	72	NORTE DE SANTANDER	4,8	JUNIO
VILLA DEL ROSARIO	7	71	NORTE DE SANTANDER	4,9	JULIO
LOS PATIOS	7	71	NORTE DE SANTANDER	4,9	JULIO
AGUA HEDIONDA	2	75	HUILA	4,7	JUNIO
AGUA LINDA	3	74	ARAUCA	4,6	JULIO
AGUA LINDA	7	72	META	4,9	JULIO

AGUA LINDA	6	74	ANTIOQUIA	4,9	JUNIO
AGUA LINDA	5	73	ARAUCA	5,3	JULIO
AGUA LINDA	4	71	ARAUCA	5,3	JULIO
AGUA LINDA	4	73	BOYACA	5,1	JUNIO
AGUA MONA	6	71	VALLE DEL CAUCA	5,3	JULIO
AGUA NEGRA	6	73	CAQUETA	5,1	JULIO
AGUA NEGRA	5	75	PUTUMAYO	4,7	JUNIO
AGUA SUCIA	5	74	SANTANDER	4,9	JULIO
AGUA VERDE	4	70	CASANARE	5,3	JULIO
AGUA VERDE	3	73	CASANARE	5,4	JUNIO
AGUABLANCA	1	74	SANTANDER	5,1	JULIO
AGUABLANCA	2	73	CESAR	5,6	JULIO
AGUABLANCA	1	73	NORTE DE SANTANDER	4,7	JUNIO
AGUABLANCA	5	72	META	5,6	JULIO
AGUABLANCA	5	73	SANTANDER	5,5	JULIO
AGUABLANCA	7	72	VALLE DEL CAUCA	5,3	JUNIO
AGUABLANCA	7	76	ANTIOQUIA	4,9	JULIO
AGUABLANCA	7	70	ANTIOQUIA	4,9	JULIO
AGUABLANCA	7	74	ANTIOQUIA	5,3	JUNIO
AGUABLANCA	5	73	SANTANDER	5,2	JULIO
AGUABLANCA	4	71	SANTANDER	5,3	JULIO
AGUA BONITA	7	73	CAQUETA	5,4	JUNIO
AGUA BONITA	6	73	BOYACA	5,2	JULIO
AGUA BONITA	5	75	HUILA	4,9	JULIO
AGUA BUENA	4	74	TOLIMA	5,3	JUNIO
AGUA CALIENTE	5	73	CESAR	5,6	JULIO
AGUA CALIENTE	5	70	SUCRE	5,6	JULIO
AGUA CALIENTE	5	71	ANTIOQUIA	4,8	JUNIO

AGUA CALIENTE	5	73	CESAR	5,7	JULIO
AGUA CALIENTE	5	71	NARIÑO	4,5	JULIO
AGUACATAL	7	71	CAUCA	4,8	JUNIO
AGUACATAL	2	72	CAUCA	4,9	JULIO
AGUACATAL	3	72	CAUCA	4,85	JULIO
AGUACATAL	2	76	NARIÑO	4,66	JUNIO
AGUACATAL	1	75	CESAR	5,6	JULIO
AGUACHILE	3	74	QUINDIO	4,7	JULIO
AGUACHICA	8	73	VALLE DEL CAUCA	5,5	JUNIO

Tabla 13. Accesorios complementarios para sistemas fotovoltaicos. Fuente: elaboración propia.

ACCESORIO	REFERENCIA	PRECIO COP
ELE007	monitor de batería para conext SCHNEIDER	210000
MON043	MONITOR DE BATERÍA BMV 700-VICTRON	320000
MON044	MONITOR DE BATERÍA BMV 702-VICTRON	350000
ELE156	SENSOR DE TEMPERATURA PARA BMV 702	170000
MON009	MONITOR DE BATERÍA(FLEXNET) HASTA 3 SHUNTS-OUTBACK	120000
MON003	MONITOR DE BATERIA 9-35V X2 BAT 500A SHUNTS-TBS	115000
MON004	MONITOR DE BATERÍA 9-35V X2 BAT 500A SHUNTS-E-XPRT -TBS	135000
MON005	MONITOR DE BATERÍA 20-60V X2 BAT 500A SHUNTS-E-XPRT -TBS	265990
ELE071	DESCONECTADOR BATERIA 300A-4POSICIONES	57900
ELE072	DESCONECTADOR BATERIA 600A-2 POSICIONES (ON-OFF)	122826
ELE048	DISYUNTOR 175A-125VDC-OUTBACK	349734

ELE049	DISYUNTOR 250A-150VDC -OUTBACK	349734
ELE002	DISYUNTOR DC 175A-GJ-SCHNEIDER	573342
ELE004	DISYUNTOR DC 250A-GJ-SCHNEIDER	573342
ELE110	FUSIBLE ANL 200A-TECHNO SUN	25870
ELE111	FUSIBLE ANL 250A-TECHNO SUN	25870
ELE142	FUSIBLE INTELIGENTE ELECFUSE HASTA 250A 12-24V+SOPORTE	349734
ELE161	CAJA FUSIBLE CONEXT BATTERY 250A DC SIEMENS	472490
ELE162	CAJA FUSIBLE 250A 24/48V	957000
ELE135	CUBIERTA PROTECTORA PARA PORTAFUSIBLES ANL HASTA 750A	18990
ELE103	PORTAFUSIBLE VS INOX.TORNILLO/TUERCA HASTA 400A 48V POSITIVO	89900
ELE104	PORTAFUSIBLE VS INOX.TORNILLO/TUERCA HASTA 400A 48V NEGATIVO	89900
ELE175	PACK DE DOS UNIDADES:2 PORTAFUSIBLES CUCHILLA 2X5A/2X10A/ 2X15A/2X20A/2X25A/2X30A	11088
ELE152	LATIGUILLO PUENTE INTERCONEXION BATERIA COBRE 20X85	7458
ELE153	LATIGUILLO PUENTE INTERCONEXION BATERIA COBRE 25X165	8500
ELE154	LATIGUILLO PUENTE INTERCONEXION BATERIA COBRE 25X120	7500
ELE204	LATIGUILLO PUENTE INTERCONEXION BATERIA COBRE 95mm2/160mm-SUNLIGHT	55990
ELE069	LATIGUILLO PUENTE INTERCONEXION BATERIA COBRE 40X108 -TECHNO SUN	9500