

DIMENSIONAMIENTO SFV AISLADOS: MÉTODOS Y HERRAMIENTAS

**Dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos aislados: Métodos y herramientas  
computacionales**

**Autores:**

**María Fernanda Abud Cadavid. 2164629**

**Luisa Fernanda Torres Blanco. 2155592**

**Director:**

**German Alfonso Osma Pinto**

**Doctor en Área Ingeniería Eléctrica**

**Trabajo de grado para optar a título Ingeniera Electricista**

**Universidad Industrial de Santander**

**Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones**

**Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas**

**Bucaramanga**

**2022**

## DIMENSIONAMIENTO SFV AISLADOS: MÉTODOS Y HERRAMIENTAS

**Dedicatoria**

*A mi madre Roció Cadavid por guiarme y aconsejarme en todo momento.*

*A mi padre Cesar Abud por brindarme su apoyo incondicional para seguir adelante.*

*A mis abuelos, por cuidarme cuando era niña, por siempre creer en mí, por la admiración y el respeto que les tengo.*

*A mi familia en general por el apoyo que siempre me brindaron a lo largo de mi carrera universitaria.*

*A mis amigos: Jorge Becerra, Javier Chacón, Rafael Plazas y Sebastián Diaz. Gracias a ustedes por acompañarme, darme ánimos y hacer que mi paso por la universidad fuera más agradable.*

**María Fernanda Abud Cadavid**

*A mi mami Conchita por su amor, ejemplo, comprensión y apoyo incondicional.*

*A mi mamá María por ser mi ejemplo y motivarme a cumplir mis sueños.*

*A mi papá Germán, mis hermanos Sara y Cristian por su apoyo, ayuda y compañía siempre.*

*A mis tíos Marcela, Saira, Milton y Jaime por su amor, consejos y acompañamiento en este proceso.*

*A Sarett, Mattias y Dominica por llenar mi vida de felicidad y ser mi motor e inspiración.*

*A Sergio por ser mi compañero de vida y apoyarme en esta etapa.*

**Luisa Fernanda Torres Blanco**

## DIMENSIONAMIENTO SFV AISLADOS: MÉTODOS Y HERRAMIENTAS

**Agradecimientos**

*Primeramente, a Dios por darme la fortaleza y la sabiduría para cumplir este sueño.*

*A la Universidad Industrial de Santander por los espacios de aprendizaje y la oportunidad de cumplir con uno de mis sueños.*

*A Claudio Antonio Mendoza Jaimes por sus consejos y apoyo durante esta etapa.*

*A mi compañera Luisa Fernanda Torres Blanco por su compromiso durante este proceso.*

*A mi director German Osma Pinto por brindarnos sus conocimientos y guiarnos en todo momento.*

***María Fernanda Abud Cadavid***

*A La Universidad Industrial de Santander, en especial a la Escuela E3T y sus respectivos docentes por su labor diaria en la formación de nuevos profesionales.*

*A mi compañera María Fernanda Abud Cadavid por su compromiso durante este proceso.*

*A Dr. Germán Osma Pinto, docente de planta y director de este proyecto quien nos brindó guía, seguimiento y conocimientos para el desarrollo del proyecto.*

***Luisa Fernanda Torres Blanco***

**Tabla de Contenido**

Introducción .....	14
1. Objetivos .....	18
1.1 Objetivo General.....	18
1.2 Objetivos Específicos .....	18
2. Nomenclatura .....	19
3. Fundamentos teóricos .....	23
3.1 Fundamentos básicos .....	23
3.2 Parámetros básicos para el dimensionamiento de SFV .....	27
3.3 Cálculos fundamentales para el dimensionamiento de SFV aislados.....	30
4. Métodos Y Herramientas Para El Dimensionamiento De SFV Aislados .....	33
4.1 Métodos de dimensionamiento .....	35
4.1.1 Metodología de dimensionado tradicional por Kuyper y Morales.....	36
4.1.2 Método del peor mes .....	41
4.1.3 Método del balance de energía.....	41
4.1.4 Método de probabilidad de pérdidas de carga (LLP).....	44
4.2 Herramientas computacionales.....	45
5. Métodos y herramientas seleccionadas .....	46
5.1 Selección de los métodos.....	46
5.1.1 Descripción del ejemplo.....	46

## DIMENSIONAMIENTO SFV AISLADOS: MÉTODOS Y HERRAMIENTAS

5.1.2	Análisis comparativo de los métodos estudiados .....	49
5.2	Selección de herramientas computacionales .....	52
6.	Descripción casos de estudio .....	58
6.1	Selección de los casos de estudio .....	58
6.2	Descripción de los casos de estudio .....	59
6.2.1	Características de ubicación .....	59
6.2.2	Caso de estudio 1. Albania-Santander.....	60
6.2.3	Caso de estudio 2- El Banco-Magdalena .....	61
7.	Evaluación de desempeño de los métodos y herramientas computacionales seleccionados	62
7.1	Dimensionamiento del caso 1 de estudio (Albania, Santander).....	63
7.1.1	Dimensionamiento por el método del peor mes.....	63
7.1.2	Dimensionamiento por el método de balance de energía.....	67
7.2	Dimensionamiento del caso 2 de estudio (el banco, Magdalena) .....	72
7.2.1	Dimensionamiento por el método del peor mes.....	72
7.2.2	Dimensionamiento por el método de balance de energía.....	76
7.3	Dimensionamiento de los casos de estudio mediante las herramientas computacionales seleccionadas.....	82
7.3.1	Dimensionamiento mediante la herramienta computacional PV*SOL.....	82
7.3.2	Dimensionamiento mediante la herramienta computacional PVsyst.....	84

DIMENSIONAMIENTO SFV AISLADOS: MÉTODOS Y HERRAMIENTAS	6
8. Conclusiones .....	86
9. Bibliografía .....	88

## DIMENSIONAMIENTO SFV AISLADOS: MÉTODOS Y HERRAMIENTAS

**Lista de Figuras**

Figura 1. Esquema efecto fotovoltaico.....	24
Figura 2. Esquema de bloques de un SFV aislado .....	25
Figura 3. Componentes principales de un SFV aislado. ....	26
Figura 4. Tipos de radiación solar.....	30
Figura 5. Tópicos para el dimensionamiento de SFV aislados .....	34
Figura 6. Esquema Método de dimensionamiento tradicional por Kuyper y Morale .....	36
Figura 7. Esquema de los métodos de dimensionamiento del peor mes y balance de energías. .....	42
Figura 8. Ubicación propuesta para el SFV aislado .....	47
Figura 9. Localización Municipio Albania-Santander y El Banco-Magdalena. ....	60
Figura 10. Componentes seleccionados para el dimensionamiento del caso 1.....	104
Figura 11. Componentes seleccionados para el dimensionamiento del caso 2.....	104

## DIMENSIONAMIENTO SFV AISLADOS: MÉTODOS Y HERRAMIENTAS

**Lista de Tablas**

Tabla 1. Variables de entrada y salida de los SFV	19
Tabla 2. Variables métodos de dimensionamiento	21
Tabla 3. Conceptos fundamentales SFV	23
Tabla 4. Componentes principales de un SFV aislado.	24
Tabla 5. Parámetros básicos usados para el dimensionamiento de SFV aislados	27
Tabla 6. Etapas de dimensionamiento de los SFV aislados	34
Tabla 7. Métodos para el dimensionamiento de SFV aislados.	35
Tabla 8. Pasos para el dimensionamiento de SFV aislados para el método de Kuyper y Morales	37
Tabla 9. Pasos para el dimensionamiento de SFV aislados para los métodos del peor mes y balance de energías.	43
Tabla 10. Herramientas computacionales para el dimensionamiento de SFV aislados.	45
Tabla 11. Datos de cargas para el ejemplo.	46
Tabla 12. Datos eléctricos del módulo fotovoltaico	48
Tabla 13. Factores pico de arranque	48
Tabla 14. Características generales de cada método de dimensionamiento.	49
Tabla 15. Información general de las herramientas computacionales preseleccionadas	53
Tabla 16. Herramientas meteorológicas de cada software .	55
Tabla 17. Características de cada herramienta computacional .	56
Tabla 18. Albania-Santander y El Banco Magdalena	59
Tabla 19. Cuadro de cargas caso de estudio 1.	61
Tabla 20. Cuadro de cargas para el caso de estudio 2.	62

	9
DIMENSIONAMIENTO SFV AISLADOS: MÉTODOS Y HERRAMIENTAS	
Tabla 21. Irradiancia promedio	65
Tabla 22. Dimensionamiento del caso 1 de estudio por medio del método del peor mes.	66
Tabla 23. Parámetros y coeficientes utilizados en el dimensionamiento por el método de balance de energía.	68
Tabla 24 . Dimensionamiento del caso 1 de estudio por medio del método de balance de energía	69
Tabla 25. Cantidad y modelo de los componentes seleccionados del caso 1	71
Tabla 26. Irradiancia promedio	74
Tabla 27. Dimensionamiento del caso 2 de estudio por medio del método del peor mes	74
Tabla 28. Parámetros y coeficientes utilizados en el dimensionamiento por el método de balance de energía.	77
Tabla 29. Dimensionamiento del caso 2 de estudio por medio del método de balance de energía	78
Tabla 30. Cantidad y modelo de los componentes seleccionados del caso 2	80
Tabla 31. Cantidad y modelo de los componentes seleccionados en PV*SOL	83
Tabla 32. Cantidad y modelo de los componentes seleccionados en PVsyst	85
Tabla 33. Irradiancia promedio	100
Tabla 34. Solución del ejemplo mediante el método del peor mes	101

**Lista de Apéndices**

Apéndice A Solución ejemplo capítulo 3.....	93
Apéndice B Componentes seleccionados en el dimensionamiento .....	104
Apéndice C PV*SOL .....	105
Apéndice D PVsyst .....	125

**Resumen**

**Título:** Dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos aislados: métodos y herramientas computacionales \*

**Autor:** María Fernanda Abud Cadavid, Luisa Fernanda Torres Blanco

**Palabras Clave:** Sistemas fotovoltaicos aislados, dimensionamiento, métodos, herramientas computacionales, energía renovable, variables climatológicas.

**Descripción:**

En la actualidad, se presenta un cambio en el sector energético que busca un modelo más sostenible, eficiente y amigable con el medio ambiente; por esto, en busca de satisfacer las necesidades energéticas, es necesario identificar las estrategias de dimensionamiento existentes para determinar cómo realizar nuevos proyectos con la utilización de las fuentes no convencionales de energías que suplan las necesidades energéticas de los usuarios. Debido a esto, es necesario reconocer y apropiarse métodos y herramientas computacionales que existen para realizar el dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos.

Inicialmente, se presentan generalidades necesarias para la comprensión de los métodos y herramientas computacionales existentes para el dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos aislados. Luego, se describen y seleccionan dos métodos y dos herramientas computacionales mediante consultas de bases de datos, libros y otras publicaciones referentes al tema.

---

\* Trabajo de Grado

## DIMENSIONAMIENTO SFV AISLADOS: MÉTODOS Y HERRAMIENTAS

Por último, se dimensionan dos casos de estudio para el entorno colombiano en ZNI con los métodos y herramientas seleccionados para realizar un análisis donde se busca encontrar semejanzas y diferencias. Con los resultados obtenidos se determina la eficiencia, complejidad y capacidad de cada método y herramienta seleccionado y se procede a escoger los más adecuado para el correcto dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos aislados.

**Abstract**

**Title:** Sizing of isolated photovoltaic systems: computational methods and tools\*

**Author:** María Fernanda Abud Cadavid, Luisa Fernanda Torres Blanco

**Key Words:** Isolated photovoltaic systems, sizing, methods, computational tools, renewable energy, climatological variables.

**Description:**

Currently, there is a change in the energy sector that seeks a more sustainable, efficient and environmentally friendly model; therefore, in order to meet the energy needs, it is necessary to identify the existing sizing strategies to determine how to carry out new projects with the use of non-conventional energy sources to meet the energy needs of users. Due to this, it is necessary to recognize and appropriate methods and computational tools that exist for the sizing of photovoltaic systems.

Initially, generalities necessary for the understanding of the existing computational methods and tools for the dimensioning of isolated photovoltaic systems are presented. Then, two methods and two computational tools are described and selected by consulting databases, books and other publications on the subject.

Finally, two case studies for the Colombian environment in ZNI are dimensioned with the selected methods and tools to perform an analysis where similarities and differences are sought. With the results obtained, the efficiency, complexity and capacity of each selected method and tool are determined and the most adequate ones are chosen for the correct dimensioning of isolated photovoltaic systems.

---

\* Degree Work

## DIMENSIONAMIENTO SFV AISLADOS: MÉTODOS Y HERRAMIENTAS

### **Introducción**

En la actualidad, se ha previsto una disminución en las reservas de combustibles fósiles que, junto con los efectos del cambio climático, ha suscitado el interés mundial hacia la investigación, desarrollo y aplicación de las fuentes renovables de energía. Se tiene una amplia gama de tipos de fuentes renovables como: Eólica, marítima, geotérmica, biomasa, fotovoltaica, entre otras (Rodríguez & Sarmiento, 2011).

Dentro de las fuentes renovables de energía, se destaca la energía fotovoltaica (FV) debido a que se caracteriza por convertir la energía solar (irradiación) en energía eléctrica a partir de sistemas fotovoltaicos (SFV) (Rodríguez & Sarmiento, 2011).

Un SFV utiliza paneles FV capaces de transformar irradiancia solar en potencia eléctrica, la cual puede ser utilizada en cualquier dispositivo eléctrico convencional. Existen dos tipos fundamentales de SFV, conectados a la red y aislados; estos últimos permiten generar electricidad en zonas alejadas a las redes de distribución (Sde, 2020).

Los SFV aislados generalmente están conformados por tres componentes básicos: un generador FV (conjunto de paneles FV), unidades de gestión de potencia (controlador e inversor) y un banco de almacenamiento de energía. Se caracterizan, además, por la necesidad de que su diseño responda de forma precisa a la satisfacción esperada de la demanda de energía, dado que un posible error en el dimensionado puede conducir a fallas o insatisfacciones de la demanda, mayores de las esperadas o incrementos en los costos económicos (Rodríguez & Sarmiento, 2011).

## DIMENSIONAMIENTO SFV AISLADOS: MÉTODOS Y HERRAMIENTAS

El dimensionamiento de un SFV consiste en el cálculo del tamaño de una instalación para satisfacer un requerimiento de energía en sitio en un lapso determinado. Esto se consigue fundamentalmente determinando los elementos que conforman el sistema (baterías, paneles fotovoltaicos, inversor, regulador de carga y cableado) (Aguilera & Hontoria, 2011). El dimensionamiento de los SFV aislados se realiza en función de dos aspectos fundamentales: la distribución temporal de la demanda de energía y la disponibilidad del recurso solar, por lo que la calidad de los resultados del dimensionado está limitada a la representatividad de las condiciones reales (Labeled, 2004).

Existen diversas metodologías para el dimensionamiento de los SFV aislados. Los más simplistas se denominan métodos intuitivos. Otros métodos son de tipo analítico que utilizan ecuaciones para determinar el tamaño del SFV en función de la confiabilidad. Éstos son más exactos que los anteriores, aunque no se puede garantizar la confiabilidad de la operación. En un tercer grupo hay métodos que utilizan simulación de SFV, a los cuales se le llama métodos numéricos (Hortoria, Aguilera, & Zufiria, 2005).

También hay métodos que emplean herramientas computacionales, los cuales brindan diversas ventajas, como evaluar el comportamiento esperado del sistema (parámetros técnicos y económicos) durante toda la vida útil del mismo.

## DIMENSIONAMIENTO SFV AISLADOS: MÉTODOS Y HERRAMIENTAS

Algunos aspectos energéticos utilizados en las diversas metodologías para dimensionamiento de SFV aislados son: espectro solar, constante solar, intensidad de la radiación o irradiancia, irradiación y horas solar pico (HSP), entre otras.

Los SFV aislados son los sistemas energéticos renovables de mayor aplicación para la generación de energía eléctrica en zonas no interconectadas (ZNI) a nivel mundial, dado que más de 500 000 hogares rurales cuentan con estos sistemas a lo largo del mundo (Alarcon, 2011). Entre las ventajas más relevantes de los SFV aislados, a diferencia de los grupos electrógenos o híbridos que depende del abastecimiento de combustibles, se encuentra que su funcionamiento depende sólo de la irradiancia solar como recurso energético, lo cual representa un beneficio ambiental y económico para la electrificación en ZNI (Rodríguez & Sarmiento, 2011).

En Colombia, cerca del 3% de la población aún no cuenta con ningún tipo de acceso a la red eléctrica y alrededor del 0.5% necesita una solución alternativa, puesto que no es factible extender la red eléctrica hasta las ubicaciones geográficas remotas (Hablemos de minería , 2013).

Esto motivo el surgimiento de un marco legal y regulatorio mediante la creación de la Ley 1715 de 2014, que promueve el desarrollo y la utilización de las Fuentes No Convencionales de Energías Renovables (FNCER), en el sistema energético nacional (Ministerio de energía de Colombia , 2016). En 2021, surgió la Ley 2099 que tiene como objetivo modernizar la legislación vigente y dictar otras disposiciones para la transición energética mediante su integración al mercado eléctrico, su participación en las zonas no interconectadas (ZNI) y en otros usos energéticos como medio necesario para el desarrollo económico sostenible, la reducción de emisiones de gases de

## DIMENSIONAMIENTO SFV AISLADOS: MÉTODOS Y HERRAMIENTAS

efecto invernadero y la seguridad del abastecimiento energético (Congreso de la República de Colombia, 2021).

A la fecha se han expedido diversas disposiciones regulatorias. Algunas de estas son: la Resolución CREG 038 de 2018, por la cual se regula la actividad de autogeneración y se dictan algunas disposiciones sobre la generación distribuida en el ZNI (Plan Energético Nacional 2020-2050, 2019), y la Resolución UPME 0281 de 2015, por la cual se define el límite máximo de potencia de la autogeneración a pequeña escala (Ministerio de Minas y Energía, 2019). Por otro lado, el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE) (Ministerio de Minas y Energía, 2013) establece que los componentes de los SFV deben cumplir con un certificado de conformidad de producto, y las instalaciones eléctricas y el montaje deben realizarse de acuerdo con la Sección 690 de la NTC 2050 (Melendez, Cruz, Bastidas, & Quiroga, 2017).

Considerando lo mencionado, se desarrolló este trabajo de grado que tiene por objetivo realizar un análisis comparativo entre estrategias de dimensionamiento de SFV aislados a partir de una revisión literaria de métodos y herramientas computacionales existentes. Debido al número de opciones, se seleccionaron dos métodos y dos herramientas computacionales que son caracterizadas y comparadas, teniendo en cuenta su desempeño en dos casos de estudio para el entorno colombiano.

## DIMENSIONAMIENTO SFV AISLADOS: MÉTODOS Y HERRAMIENTAS

### 1. Objetivos

#### 1.1 Objetivo General

Realizar un análisis comparativo entre estrategias de dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos aislados a ser identificadas a partir de una revisión de literatura.

#### 1.2 Objetivos Específicos

Identificar métodos y herramientas utilizados en el dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos aislados.

Seleccionar y describir dos métodos y dos herramientas con base en la revisión de publicaciones científicas y técnicas.

Comparar métodos y herramientas seleccionados a partir del dimensionamiento de dos casos de estudio, considerando el entorno colombiano.

Evaluar el desempeño de los métodos y herramientas estudiados.

## DIMENSIONAMIENTO SFV AISLADOS: MÉTODOS Y HERRAMIENTAS

## 2. Nomenclatura

Esta sección describe la nomenclatura que se utiliza en el desarrollo de este proyecto.

La Tabla 1 muestra las variables de entrada y salida de los SFV para las diferentes etapas de dimensionamiento.

**Tabla 1**

*Variables de entrada y salida de los SFV*

Representación	Significado	Unidad	Fuente de información
<b>Variables de entrada</b>			
$G_{inc}$	Irradiancia incidente	$W/m^2$	Herramientas meteorológicas IDEAM o equipos de medición
$HSP$	Horas solar pico	h	Herramientas meteorológicas IDEAM o equipos de medición
$PR$	Performance ratio	%	Definido en la norma IEC EN 61724 (PySyst, 2021).
$A_{panel}$	Área del panel FV	$m^2$	Ficha técnica del panel FV
$n_{panel}$	Eficiencia del panel FV	%	Ficha técnica del panel FV
$T_{amb}$	Temperatura ambiente	$^{\circ}C$	Ficha técnica del panel FV
NOTC	Temperatura normal de operación de la célula FV (por sus siglas en inglés).	$^{\circ}C$	Ficha técnica del panel FV
B	Coefficiente de temperatura	$\%/^{\circ}C$	Ficha técnica del panel FV
$P_{nom-panel}$	Potencia nominal del panel FV	W	Ficha técnica del panel FV
$V_{OC-panel}$	Tensión de circuito abierto del panel FV	V	Ficha técnica del panel FV

## DIMENSIONAMIENTO SFV AISLADOS: MÉTODOS Y HERRAMIENTAS

$I_{SC-panel}$	Corriente de corto circuito del panel FV	A	Ficha técnica del panel FV
Uso energético	Demanda de energía	Wh	Usuario
$V_{m\acute{a}x-inversor}$	Tensión máxima de entrada del inversor.	V	Ficha técnica del inversor
$P_{nom-inversor}$	Potencia nominal del inversor	W	Ficha técnica del inversor
$n_{inversor}$	Eficiencia del inversor		Ficha técnica del inversor
$n_{regulador}$	Eficiencia del regulador/controlador		Ficha técnica del regulador/controlador
$n_{batc}$	Eficiencia de carga de la batería		Ficha técnica de la batería
$n_{batd}$	Eficiencia de descarga de la batería		Ficha técnica de la batería
$cap_{bat}$	Capacidad energética de la batería	Ah	Ficha técnica de la batería
$SOC_{m\acute{i}n}$	Estado de carga mínimo admisible por la batería	%	Ficha técnica de la batería
<b>Variables de salida</b>			
$P_{fv}$	Potencia entregada por el panel FV	W	Ecuación 1
$T_{oper}$	Temperatura de operación del panel FV	°C	Ecuación 2
$P'_{fv}$	Potencia corregida por efectos de temperatura	W	Ecuación 3
$E_{fv}$	Energía entregada por el panel FV	Wh	Ecuación 4
$CI$	Capacidad instalada del arreglo	Wp	Ecuación 5
$n_{sist}$	Eficiencia del SFV aislado		Ecuación 8

## DIMENSIONAMIENTO SFV AISLADOS: MÉTODOS Y HERRAMIENTAS

Nota: Adaptado de (Angewandte, 2020).

La Tabla 2 describe las variables utilizadas para el dimensionamiento de SFV aislados por medio de los métodos tratados a lo largo del trabajo.

**Tabla 2**

*Variables métodos de dimensionamiento*

<b>Parámetro</b>	<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>
$E_t$	Energía total teórica	Wh
$E$	Energía real requerida	Wh
$E_{DC}$	Energía en DC	Wh
$E_{AC}$	Energía en AC	Wh
$L_{md}$	Consumo medio de energía diario	Wh
$L_{md, CC}$	Consumo medio de energía diario para cargas en corriente continua	Wh
$L_{md, CA}$	Consumo medio de energía diario para cargas en corriente alterna	Wh
$n_{Inv}$	Eficiencia del inversor, normalmente superior al 90%	%
$n_{bat}$	Rendimiento de la batería	%
$P_{inv}$	Potencia que el inversor podrá soportar	W
$M_{seg}$	Margen de seguridad, así se tienen en cuenta las pérdidas por cableado, conexiones, variaciones no provistas de consumo, etc. (normalmente se puede considerar que se le asigna un valor del 15%)	%
$Pd$	Profundidad de descarga del sistema DoD (Profundidad máxima de descarga permisible para la batería) en los N días de autonomía	Ah
$N$	Días de autonomía del sistema	Días
$kv$	Coefficiente de otras pérdidas	

## DIMENSIONAMIENTO SFV AISLADOS: MÉTODOS Y HERRAMIENTAS

$k_c$	Coeficiente de pérdidas en el inversor	
$ka$	Coeficiente de descarga	
$k_b$	Coeficiente de pérdidas por rendimiento en el acumulador	
$R$	Rendimiento del sistema	%
$\Delta t$	Diferencial de tiempo	h
$kt$	Coeficiente de corrección aplicable cuando la temperatura media que debe soportar la batería es menor a 20°	
$V_b$	Voltaje del banco de baterías	V
$GHd$	Irradiación global diaria	$kWh/m^2$ /día
$G$	Irradiancia en condiciones estándar de medida	$Wh/m^2$
$I$	Datos de irradiación	$Wh/m^2$
$K_A$	Coeficiente de corrección atmosférico	
$K$	Factor k, acorde a la latitud e inclinación del sitio	
$P_p$	Potencia requerida por el panel	W
$P_{MPP}$	Potencia pico del módulo medida en condiciones estándar	W
$PR$	Eficiencia del módulo	%
$V_{bat}$	Tensión de la batería seleccionada	V
$V_{mod}$	Tensión máxima nominal del módulo fotovoltaico	V
$P_{Dmax, e}$	Profundidad de descarga estacional	%
$F_{CT}$	Factor de corrección de temperatura de la batería	
$N_{bat}$	Número de baterías del sistema de acumulación	
$C_{ne}$	Capacidad nominal del sistema de acumulación de la instalación solar FV	Ah
$C_{nom}$	Capacidad nominal de la batería a $C_{100}$ horas	Ah
$P_{electroconpicos}$	Potencia de aquellos electrodomésticos con picos de arranque	W
$F_{arrq}$	Factor de pico de arranque de los electrodomésticos que posee el motor	
$N_p$	Número de ramas en paralelo	
$I_{sc}$	Corriente de cortocircuito del módulo fotovoltaico	A

## DIMENSIONAMIENTO SFV AISLADOS: MÉTODOS Y HERRAMIENTAS

$I_{regulador}$	Corriente que puede soportar el regulador	A
$I_{nreg}$	Corriente nominal del regulador escogido	A

### 3. Fundamentos teóricos

Para la comprensión del dimensionamiento de SFV aislados es necesario tener conocimientos previos.

#### 3.1 Fundamentos básicos

Esta sección explica el concepto de efecto fotovoltaico, sistema fotovoltaico (SFV) y sistema fotovoltaico aislado (SFV aislado) con sus principales componentes y características. Las tablas 3 y 4 muestran la descripción de estos conceptos. La Figura 1 muestra un diagrama explicativo sobre el efecto fotovoltaico.

**Tabla 3**

*Conceptos fundamentales SFV*

Concepto	Definición
<b>Sistema fotovoltaico (SFV)</b>	Es el conjunto de varios equipos que permiten que la energía solar se convierta en energía eléctrica que se pueda utilizar. Este sistema está integrado por: paneles solares, regulador de carga, baterías e inversor (Solarama, 2021).
<b>Sistema fotovoltaico aislado (SFV aislado)</b>	En este tipo de sistema toda la energía que se consume es energía producida por el sistema fotovoltaico, es decir, no está conectada a la

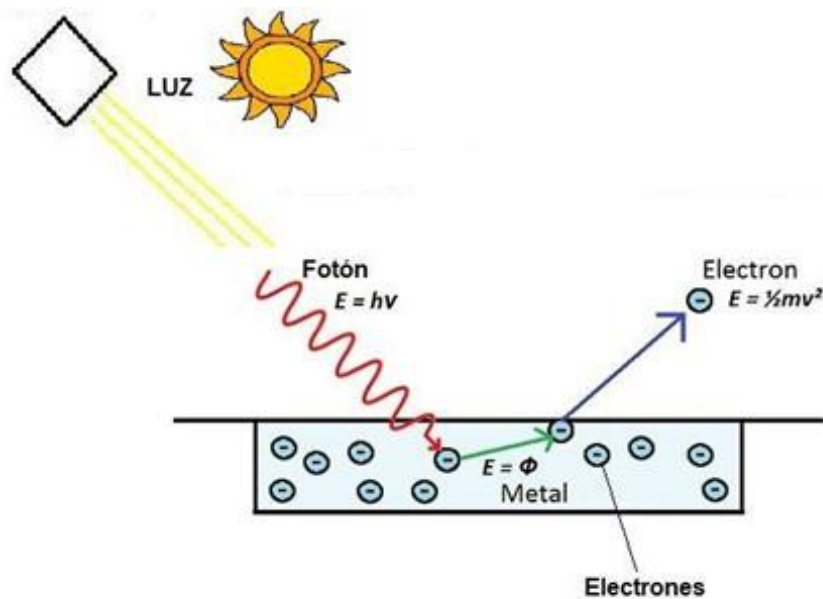
red eléctrica y esto es posible gracias a los bancos de baterías, que también abastecen en los días nublados o en momento de poca luz y de noche (Solarama, 2021).

### Efecto fotovoltaico

La energía se transmite a los átomos de silicio (Si) de las células fotovoltaicas; los electrones reciben la energía que los excita y este movimiento es llamado electricidad.

**Figura 1**

*Esquema efecto fotovoltaico*



Nota: Tomado de (Efecto fotoelectrico , 2017).

**Tabla 4**

## DIMENSIONAMIENTO SFV AISLADOS: MÉTODOS Y HERRAMIENTAS

*Componentes principales de un SFV aislado.*

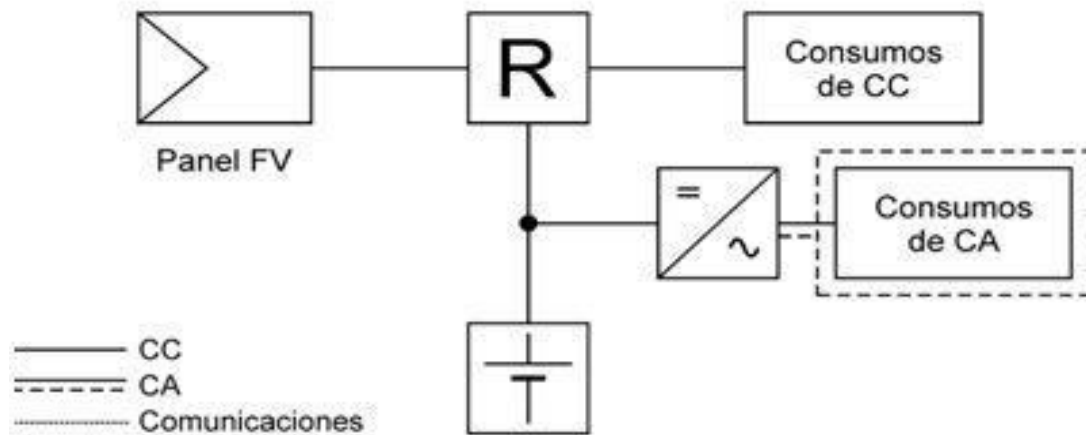
<b>Componente</b>	<b>Función</b>
<b>Módulo fotovoltaico</b>	Transforma la radiación solar incidente en energía eléctrica.
<b>Regulador de tensión</b>	Modula la carga del sistema de acumulación evitando las sobrecargas excesivas.
<b>Baterías o acumuladores</b>	Almacenan la energía para solucionar el desfase temporal entre los periodos de generación eléctrica y los de consumo.
<b>Sistema de adaptación de corriente</b>	Son convertidores para corriente continua o inversores para transformar a AC.

Las figuras 2 y 3 muestran el diagrama de bloques y los componentes principales de un SFV aislado con sus interconexiones entre los principales componentes de este.

### **Figura 2**

*Esquema de bloques de un SFV aislado*

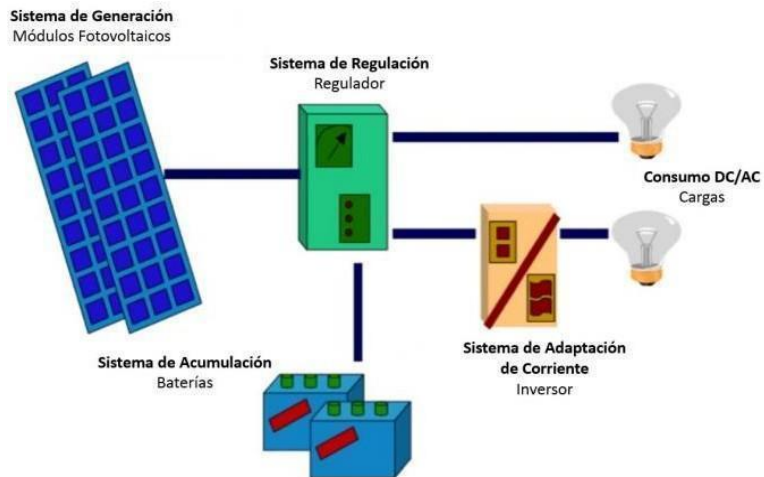
## DIMENSIONAMIENTO SFV AISLADOS: MÉTODOS Y HERRAMIENTAS



Nota: Tomado de (Censolar, 2020).

### Figura 3

*Componentes principales de un SFV aislado*



Nota: Tomado de (Censolar, 2020).

## DIMENSIONAMIENTO SFV AISLADOS: MÉTODOS Y HERRAMIENTAS

**3.2 Parámetros básicos para el dimensionamiento de SFV**

Esta sección describe los parámetros fundamentales que son necesarios para el correcto dimensionamiento de SFV aislados. La Tabla 5 muestra los aspectos energéticos básicos que se deben conocer antes de empezar con el dimensionamiento de SFV.

**Tabla 5**

*Parámetros básicos usados para el dimensionamiento de SFV aislados*

<b>Parámetro</b>	<b>Definición</b>	<b>Uso</b>
<b>Espectro solar</b>	Compuesto por diferentes tipos de ondas. La diferencia entre cada uno de estos tipos de ondas es su frecuencia y por tanto su longitud de onda (Alonso, y otros, 2002).	
<b>Constante solar</b>	Valor medio de la intensidad de radiación que la tierra intercepta y se le ha asignado un valor de $1367 \text{ W/m}^2$ (Alonso, y otros, 2002).	Número de horas en que disponemos de una hipotética irradiancia solar constante de $1000 \text{ W/m}^2$ sobre los módulos solares fotovoltaicos (Perez, 2019).
	Densidad de potencia incidente por unidad de	

---

 DIMENSIONAMIENTO SFV AISLADOS: MÉTODOS Y HERRAMIENTAS
 

---

<b>Intensidad de la radiación solar o irradiancia</b>	<p>superficie, medida en <math>W/m^2</math>. Definir el número de horas en que se dispone de una irradiancia solar constante de aproximadamente del orden de <math>1000 W/m^2</math> (Kuyper, 2014).</p> <p>La irradiancia máxima del sol en la superficie de la tierra es de aproximadamente del orden de <math>1000 W/m^2</math>. La irradiación varía diariamente por efecto de la rotación de la tierra alcanzando su valor máximo en días despejados a mediodía solar. También varía estacionalmente (Abella, 2011).</p>
<b>Irradiación</b>	<p>Energía incidente por unidad de superficie en un determinado periodo de tiempo y se mide en <math>kWh/m^2</math>. Si no se conoce la irradiación promedio de un sitio es posible sobredimensionar o sobredimensionar el SFV irradiación sobre un plano horizontal. Su valor anual varía en función de la latitud del lugar (Abella, 2011).</p>
<b>Hora solar pico (HSP)</b>	<p>A partir de la radiación solar se puede determinar las horas</p>

---

## DIMENSIONAMIENTO SFV AISLADOS: MÉTODOS Y HERRAMIENTAS

	pico de sol. Este parámetro representa el número de horas equivalentes en que el sol irradia (Sepulveda, 2014 ).	Para dimensionar el generador fotovoltaico se necesitará obtener el término de “Horas solar pico” (HPS) (Kuyper, 2014).
<b>Radiación directa</b>	Radiación proveniente directamente del disco solar (Abella, 2011).	
<b>Radiación difusa</b>	Corresponde a la radiación solar dispersada por los diferentes componentes de la atmósfera (Abella, 2011).	La radiación del sol es convertida en un voltaje por medio de los paneles solares (Sepulveda, 2014 ).
<b>Radiación reflejada</b>	Radiación reflejada por el suelo (albedo <sup>1</sup> ) (Abella, 2011).	
<b>Radiación global</b>	Resultado de la suma de la radiación directa, radiación difusa y radiación reflejada (Abella, 2011).	

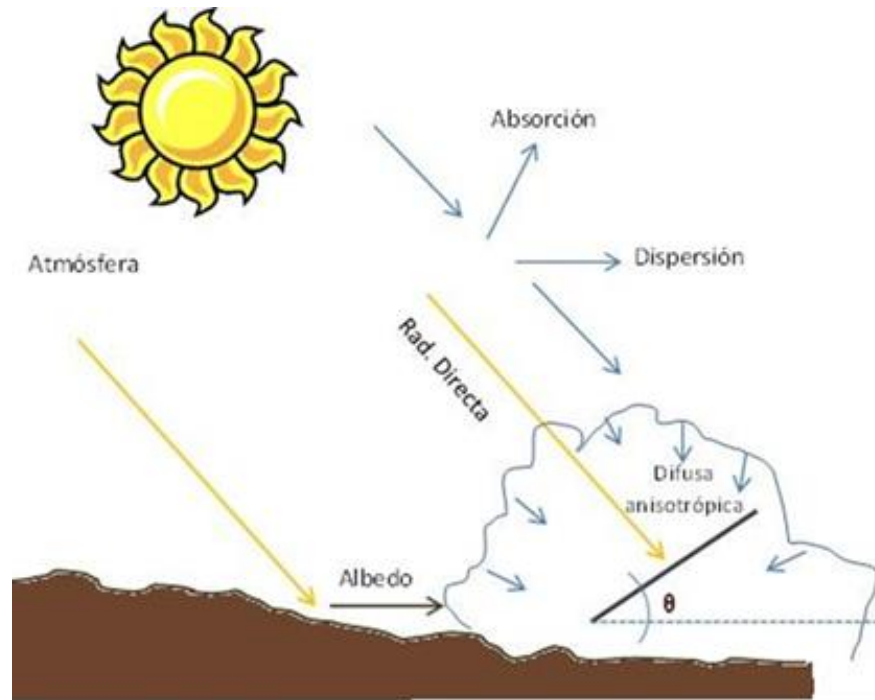
La Figura 4 muestra una explicación gráfica de los diferentes tipos de radiación que se describen en la Tabla 6.

<sup>1</sup> Albedo: La reflectividad global considerando todo el espectro de radiación solar.

## DIMENSIONAMIENTO SFV AISLADOS: MÉTODOS Y HERRAMIENTAS

**Figura 4**

*Tipos de radiación solar*



Nota: Tomado de (Lorenzo, 2011)

### 3.3 Cálculos fundamentales para el dimensionamiento de SFV aislados

Esta sección describe los fundamentos matemáticos básicos que se deben tener en cuenta para el correcto dimensionamiento de los SFV aislados.

- Cantidad de energía que puede entregar un panel FV (Angewandte, 2020).

$$P_{fv} = G_{inc} * A_{panel} * n_{panel} \quad (1)$$

- Temperatura de operación, para un intervalo de tiempo definido por la temperatura ambiente e irradiación solar (Angewandte, 2020).

## DIMENSIONAMIENTO SFV AISLADOS: MÉTODOS Y HERRAMIENTAS

$$T_{oper} = T_{amb} + G_{inc} * \left( \frac{NOTC - 20}{800} \right) \quad (2)$$

- Potencia entregada por un panel FV teniendo en cuenta las afectaciones por temperatura. Adicional a esto, existen otros aspectos que afectan la generación como el sombreado, suciedad, entre otros (Angewandte, 2020).

$$P'_{fv} = P_{fv} * \left( 1 + \beta * (T_{oper} - 25) \right) \quad (3)$$

- Cantidad de energía generada por el panel FV, para un intervalo de tiempo definido por la temperatura ambiente e irradiancia solar (Angewandte, 2020).

$$E_{fv} = \sum_{t=1}^n P'_{fv} \quad (4)$$

- Capacidad instalada (Angewandte, 2020).

$$CI = Pnom_{panel\ FV} * \#paneles\ FV \quad (5)$$

$$CI = \frac{Uso\ energético}{HSP * PR} \quad (6)$$

- Número de reguladores (Angewandte, 2020).

## DIMENSIONAMIENTO SFV AISLADOS: MÉTODOS Y HERRAMIENTAS

$$\# \text{ reguladores} = \frac{CI}{P_{nom_{panel\ FV}}} \quad (7)$$

Es necesario que se cumplan los límites de tensión de cada equipo y corriente máxima del controlador/regulador para conectar el regulador al sistema de almacenamiento (SA). Por otro lado, para conectar el controlador/regulador con el inversor se aplican los límites de tensión y corriente especificados por el fabricante (Angewandte, 2020).

- Eficiencia del sistema (Angewandte, 2020).

$$n_{sist} = n_{inv} * \frac{n_{reg} + n_{reg}^2}{2} * n_{batc} * n_{batd} \quad (8)$$

- Número de paneles FV (Angewandte, 2020).

$$\# \text{ paneles FV} = \frac{Uso\ energético}{E_{fv} * n_{sist}} \quad (9)$$

Los paneles FV pueden ir conectados en serie o en paralelo y para calcular el número para cada configuración, se debe considerar la tensión máxima nominal del módulo ( $V_{mod}$ ) y la tensión de la batería que se va a utilizar ( $V_{bat}$ ).

- Dimensionamiento del sistema de almacenamiento (Angewandte, 2020).

## DIMENSIONAMIENTO SFV AISLADOS: MÉTODOS Y HERRAMIENTAS

$$\#baterías = \frac{Uso\ energético * \# de\ días}{cap_{bat} * (1 - SOC_{min}) * n_{inv} * n_{reg} * n_{bata}} \quad (10)$$

Las baterías deben ser configuradas en un arreglo serie-paralelo para que cumplan las condiciones de tensión y corriente especificadas por el fabricante del controlador/regulador (Angewandte, 2020).

La carga eléctrica o capacidad de una batería, se define como la cantidad de electricidad que puede suministrar una carga y se mide en amperios por hora. La capacidad nominal de la batería que proporciona a una carga en Amperes durante un tiempo determinado sin que la tensión baje; este valor es proporcionado por el fabricante para una duración de cien (100) horas ( $C_{100}$ ). A este valor, se le denomina capacidad nominal ( $C_{nom}$ ) (Kuyper, 2014).

### 4. Métodos y herramientas para el dimensionamiento de SFV Aislados

Este capítulo presenta la identificación y descripción de algunos de los métodos y herramientas computacionales utilizados en el dimensionamiento de SFV aislados, basados en diferentes estrategias y metodologías.

La Figura 5 y la Tabla 6 muestra los tópicos de estudio considerados al momento de realizar el dimensionamiento de SFV aislados.

## DIMENSIONAMIENTO SFV AISLADOS: MÉTODOS Y HERRAMIENTAS

Figura 5

*Tópicos para el dimensionamiento de SFV aislados*

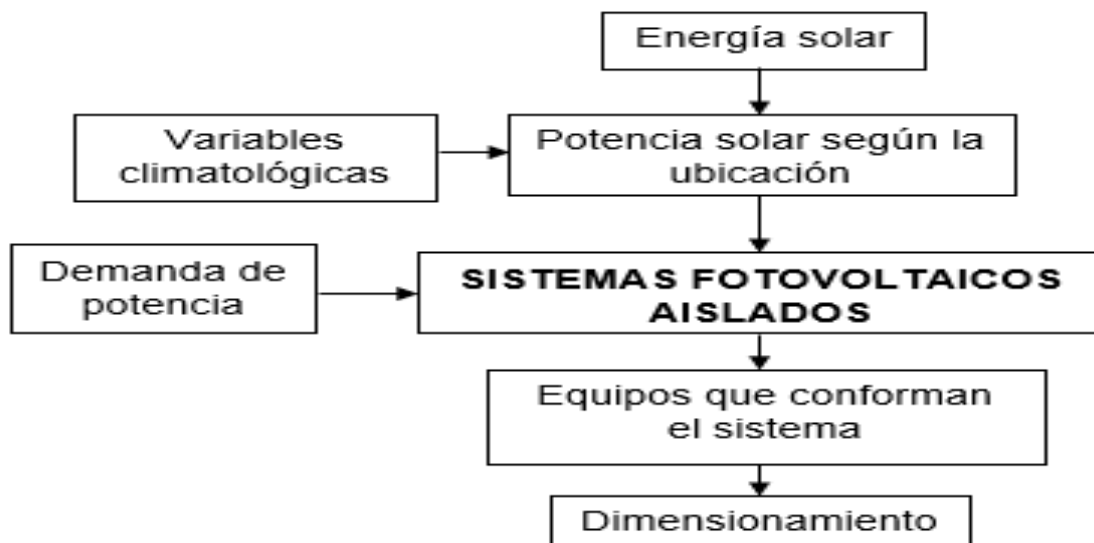


Tabla 6

*Etapas de dimensionamiento de los SFV aislados*

	<b>Etapa</b>	<b>Descripción</b>
<b>1</b>	Estimación del uso energético	Se identifican las necesidades del usuario, las cuales se abastecerán con la instalación.
<b>2</b>	Variables climatológicas	Se obtiene el potencial solar disponible en la zona de interés.
<b>3</b>	Arreglo de paneles FV	Se realizan los cálculos para establecer el número de paneles FV en función de las condiciones de demanda de carga y las variables climatológicas.

## DIMENSIONAMIENTO SFV AISLADOS: MÉTODOS Y HERRAMIENTAS

<b>4</b>	Controlador o regulador	Se identifican valores de entrada y salida del equipo para su conexión en el SFV.
<b>5</b>	Inversor	Debe cumplir con los requerimientos eléctricos dispuestos por los equipos a los que está conectado.
<b>6</b>	Sistema de almacenamiento	Se definen los días de autonomía y la cantidad de baterías según las necesidades del usuario.

Nota: Adaptado de (Angewandte, 2020).

#### 4.1 Métodos de dimensionamiento

La Tabla 7 representa una breve explicación sobre los métodos de dimensionamiento que se tratan en el Numeral 4.1.

**Tabla 7**

*Métodos para el dimensionamiento de SFV aislados*

<b>Método</b>	<b>Descripción</b>
<b>Metodología de dimensionado tradicional por Kuyper y Morales</b>	Método utilizado para el dimensionamiento de SFV aislados basado en el conocimiento previo de los equipos que se requieren para el montaje del sistema.
<b>Método del peor mes</b>	Método que utiliza la información de la peor producción de energía para dimensionar un sistema que supere las condiciones evaluadas.

---

<b>Método del balance de energía</b>	Método trabaja con la irradiancia solar promedio en el año o en cada mes y se basa en el cálculo del consumo diario en amperios-hora para suministrar energía a la carga de manera eficiente.
<b>Método de probabilidad de pérdidas de carga LLP</b>	Este método se basa en cálculos computacionales y utiliza distintos componentes como la radiación solar para determinar la energía necesaria para suministrar el consumo de diseño.

---

A continuación, se profundiza en la metodología y cálculos implementados en cada uno de los métodos consignados en la anterior tabla.

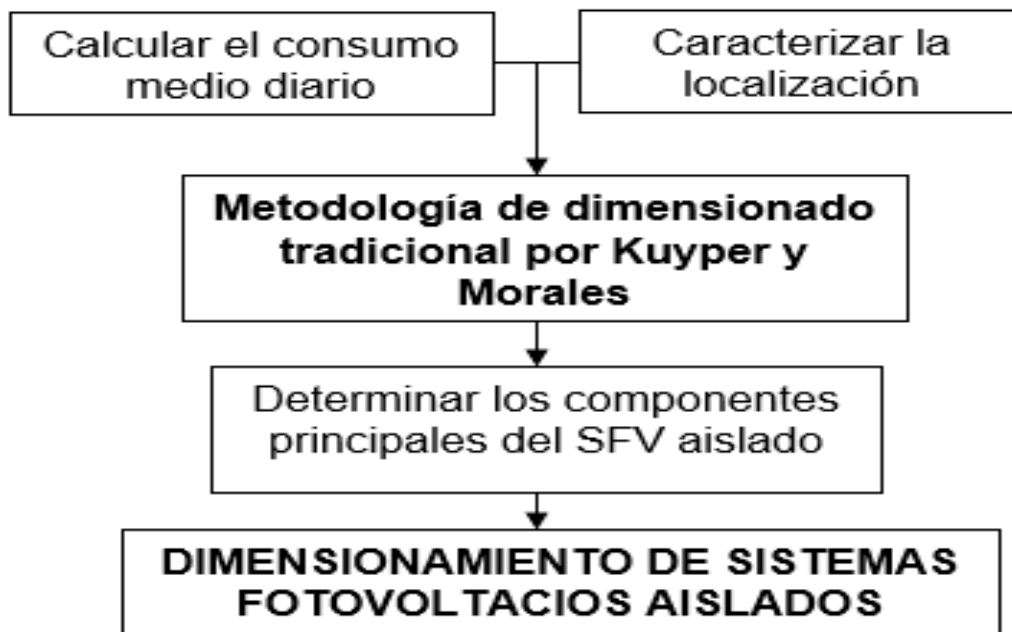
#### **4.1.1 Metodología de dimensionado tradicional por Kuyper y Morales**

La Figura 6 presenta la estructura del método de dimensionamiento tradicional de Kuyper y Morales.

#### **Figura 6**

*Esquema Método de dimensionamiento tradicional por Kuyper y Morales*

## DIMENSIONAMIENTO SFV AISLADOS: MÉTODOS Y HERRAMIENTAS



### Caracterización de la localización

Es necesario conocer la localidad donde se desea instalar el SFV, también se deben obtener los datos de radiación para construir la tabla de irradiaciones (se manejan en promedios mensuales), dadas en  $[J/m^2\text{día}]$  o  $[Wh/m^2\text{día}]$ . Estos datos dependen de la posición geográfica y las condiciones medioambientales de la zona a estudiar.

La Tabla 8 muestra el paso a paso de cada uno de los ítems para el dimensionamiento de SFV aislados en el método de Kuyper y Morales.

### Tabla 8

*Pasos para el dimensionamiento de SFV aislados para el método de Kuyper y Morales*

## DIMENSIONAMIENTO SFV AISLADOS: MÉTODOS Y HERRAMIENTAS

Ítem	Parámetro calculado	Ecuación	Observación general
Determinación del consumo diario	Consumo medio diario	$L_{md} = \frac{L_{md,CC} + \frac{L_{md,CA}}{n_{inv}}}{n_{bat}}$	Determinar el consumo es de suma importancia para la instalación de un SFV aislado.
	Generador fotovoltaico	$HPS = \frac{I}{G}$	Para dimensionar el generador fotovoltaico se necesitará obtener el término de “Horas de Pico Solar” (HPS).
Caracterización y dimensionado de los componentes	Número de módulos		Para satisfacer la energía requerida ( $N_T$ ), se considera el consumo medio de energía diario ( $L_{md}$ ) [Wh] y la energía generada por cada módulo ( $E_p$ ) [Wh].  Donde la energía fotovoltaica que puede generar cada panel solar se calcula mediante $E_p = P_{MPP} * HPS * PR$
		$N_T = \frac{L_{md}}{E_p}$	

## DIMENSIONAMIENTO SFV AISLADOS: MÉTODOS Y HERRAMIENTAS

Número de módulos FV en serie	$N_s = V_{bat}/V_{mod}$	Determina el número de módulos fotovoltaicos que van conectados en serie.
Número de módulos FV en paralelo	$N_p = \frac{N_T}{N_S}$	Determina el número de módulos fotovoltaicos que van conectados en paralelo.
Baterías	$C_{ne} = \frac{L_{md} * N}{P_{Dmax,e} * F_{CT}}$	En primer lugar, se calcula la capacidad nominal de las baterías en función de la descarga estacional definida como la máxima profundidad de descarga de las baterías. Luego se expresa la capacidad nominal estacional en Ah, $C_{ne} (Ah)$ .
y	$C_{ne} = \frac{C_{ne}}{V_{bat}} [Ah]$	
Número de baterías	$N_{bat} = C_{ne} / C_{nom}$	Determina el número de baterías que se conectan al SFV aislado.

---

Inversor

$$P_{inv} = M_{seg} * (P_{electroconpicos} + F_{arrq} * P_{electrosinpicos})$$

Para el cálculo del inversor del sistema, se halla la potencia que éste puede soportar, teniendo en cuenta aquellos electrodomésticos que poseen motores, estos se deben multiplicar por el factor de arranque que posean respectivamente, más la potencia de los demás electrodomésticos.

El dimensionamiento del inversor debe ser un 20% superior a la potencia total demandada por las cargas en CA.

---

Para determinar el regulador a utilizar, hay que conocer la corriente que podrá soportar el circuito de control de potencia, además de la tensión de trabajo.

---

---

Regulador	$I_{regulador} = M_{seg} * I_{sc} * N_p$	Hay que añadir un margen de seguridad del 10 % para evitar que el regulador trabaje al límite de la corriente máxima que debe soportar el regulador.
-----------	--	--

---

#### 4.1.2 Método del peor mes

Este método consiste en evaluar las condiciones de producción del SFV en el mes donde el consumo de energía es mayor y la irradiación solar es menor, es decir, cuando hay peor producción de energía con relación a los otros meses. De manera que el sistema se diseña para superar las condiciones evaluadas y por ende el resto de los meses puede presentarse un superávit en producción de energía (Labeled, 2004). Este método se usa para sistemas críticos donde nunca debe fallar la energía.

#### 4.1.3 Método del balance de energía

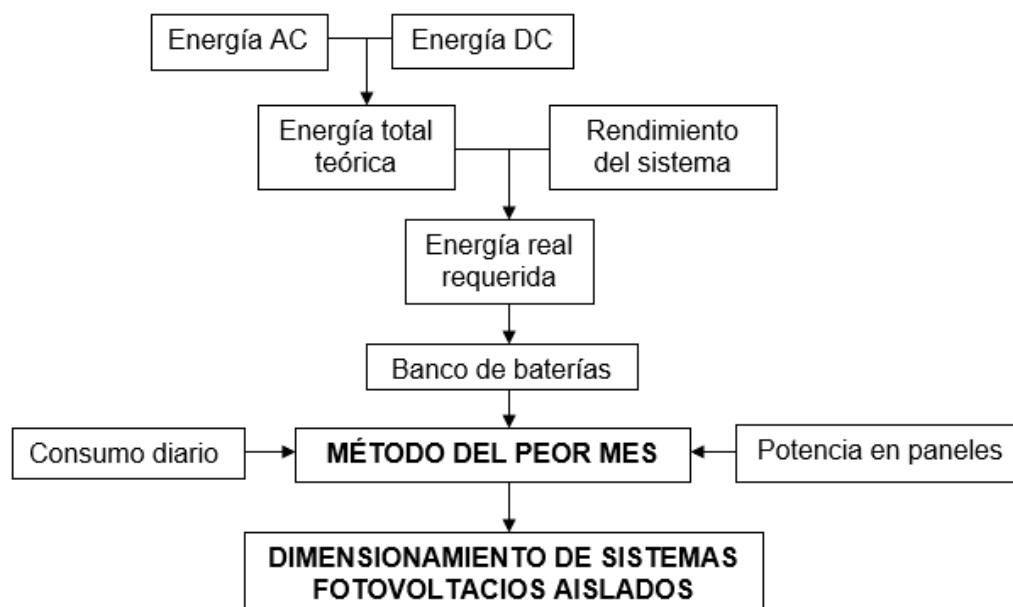
Es un método donde el diseñador trabaja con la irradiación solar promedio en el año o en cada mes. Si el sistema es dimensionado para una operación donde puede suministrar energía a la carga de manera eficiente algunos meses y puede presentar déficit en pocos meses o en condiciones adversas (Labeled, 2004). Este método se usa para cargas donde se utilizan por temporadas del año.

## DIMENSIONAMIENTO SFV AISLADOS: MÉTODOS Y HERRAMIENTAS

Estos métodos se basan en el cálculo del consumo diario en amperios-hora, teniendo en cuenta las pérdidas entre la batería y las cargas y el rendimiento de carga de la batería. La batería se dimensiona teniendo en cuenta el número de días de autonomía. Para dimensionar el generador fotovoltaico y obtener su orientación óptima son necesarios los datos de irradiación del lugar de la instalación. En el caso más normal se supone un consumo constante durante todo el año, en cuyo caso son necesarios los valores diarios medios mensuales en el plano del generador para el peor mes del año y el ángulo óptimo de inclinación (Aguilera & Hontoria, 2011). La Figura 7 presenta la estructura de los métodos de dimensionamiento del peor mes y balance de energías.

**Figura 7**

*Esquema de los métodos de dimensionamiento del peor mes y balance de energías.*



Los métodos descritos en los numerales 2.1.2 y 2.1.3 dimensionan los SFV con los mismos pasos, la diferencia radica en lo estricto ya que el método del peor mes es más estricto y utiliza

## DIMENSIONAMIENTO SFV AISLADOS: MÉTODOS Y HERRAMIENTAS

más baterías, paneles solares y equipos. La Tabla 9 muestra los pasos para el dimensionamiento en estos métodos.

**Tabla 9**

*Pasos para el dimensionamiento de SFV aislados para los métodos del peor mes y balance de energías.*

<b>Paso</b>	<b>Parámetro calculado</b>	<b>Ecuación</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Consumo diario</b>	Cargas en DC y AC		Se realiza una tabla de cálculo general con todas las cargas.
		$E_t = E_{DC} + E_{AC}$ (22)	
<b>Energía teórica requerida</b>	Energía requerida en AC y DC	$E_{AC} = (100 + M_{seg}) *E_{Equipo AC} / \eta_{Inv}$ (23)	
<b>Rendimiento de la instalación</b>		$R = 1 - \left[ (1 - k_b - k_c -k_v) * k_a * \frac{N}{P_d} \right] - k_b - k_c - k_v$ (24)	Normalmente el valor de $R$ se encuentra entre 0.7 para sistemas poco eficientes y 0.8 entre los más eficientes.

<b>Energía real requerida</b>		$E = \frac{E_t}{R} \quad (25)$	
<b>Acumulador</b>	Banco de baterías	$C = \frac{E * N * k_t}{V_b * P_d} \quad [AH] \quad (26)$	
		$k_t = \frac{1 - \Delta t}{160} \quad (27)$	
<b>Potencia en paneles</b>	Horas solar pico	$HSP = GHd * K_A * K \quad (28)$	<i>GHd</i> es obtenida por medio de base de datos.
	Potencia requerida	$Pp = \frac{E}{HSP} \quad (29)$	

#### 4.1.4 Método de probabilidad de pérdidas de carga (LLP)

Es un método basado en cálculos por computadora. Se especifica el consumo de diseño, incluyendo los rendimientos del regulador de carga, de carga de la batería y del inversor. Se trata de utilizar los modelos de los distintos componentes (radiación solar, generador, batería, regulador, etc.) para determinar cuánta energía de generador es necesaria para suministrar el consumo de diseño con una determinada fiabilidad o probabilidad de fallo. Esto depende del tamaño del generador, la batería y de la radiación solar disponible. La LLP depende del tratamiento estadístico de los datos de radiación solar. Una vez que se obtienen diferentes combinaciones generador/batería, se procede a calcular los costos de los sistemas para la determinación de la configuración óptima (Abella, 2011).

## DIMENSIONAMIENTO SFV AISLADOS: MÉTODOS Y HERRAMIENTAS

## 4.2 Herramientas computacionales

Algunas de las herramientas de mayor uso para el dimensionamiento de SFV aislados se describen a continuación.

Tabla 10

*Herramientas computacionales para el dimensionamiento de SFV aislados*

Software	Variables de dimensionamiento	de Tiempo dimensionamiento	de Tiempo de simulación
<b>PVsyst</b>	Tipo de sistema, ubicación, orientación del sistema, selección de equipos, perfil de carga.	30 minutos	15 segundos
<b>PV*SOL</b>	Tipo de sistema y especificaciones, ubicación, condiciones de la red, perfil de carga, orientación del sistema, selección de equipos.	30 minutos	4 segundos
<b>Solaris</b>	Información cliente-proyectista, ubicación, perfil de carga, selección de equipos, diseño 3D (BIM).	Capacidad pequeña: 40 minutos. Capacidad grande: 1 hora.	120 segundos (2 minutos)

---

<b>System</b>	Ubicación, selección de		
<b>Advisor</b>	equipos, orientación, perfil de	40 minutos	4 segundos
<b>Model (SAM)</b>	carga.		

---

## 5. Métodos y herramientas seleccionadas

Este capítulo presenta la selección de dos métodos y dos herramientas computacionales con base en un ejemplo y revisión de publicaciones científicas y técnicas.

### 5.1 Selección de los métodos

Esta sección presenta un ejemplo comparativo que relaciona las ventajas y desventajas de los métodos de dimensionamiento enunciados en el Capítulo 1. Con base en los resultados obtenidos al realizar este ejemplo (Sección 5.1.1), se procede a seleccionar los dos métodos más eficientes para su posterior implementación y análisis comparativo (Sección 5.1.2).

#### 5.1.1 Descripción del ejemplo

Se desea realizar el dimensionamiento de un SFV aislado, el cual se encuentra ubicado en el municipio de Girón en el departamento de Santander, para realizar este cálculo se tiene conocimiento de las cargas y la ubicación exacta del sistema (Espitia, 2020).

A continuación, se enuncian los datos correspondientes al ejemplo.

Se observan en la Tabla 11 las cargas de AC y en la Figura 8, la ubicación donde se desea implementar los SFV aislados.

**Tabla 11**

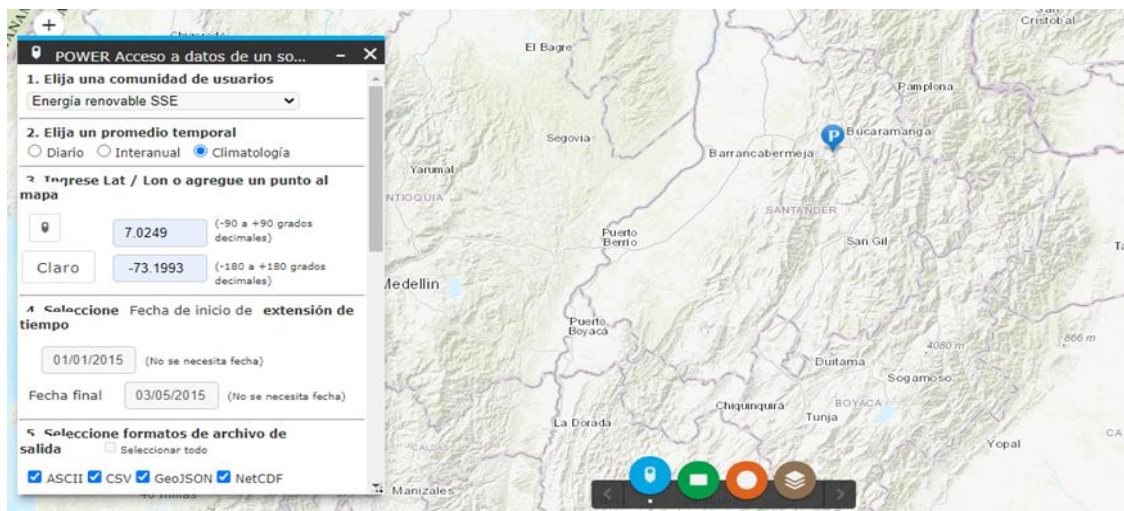
## DIMENSIONAMIENTO SFV AISLADOS: MÉTODOS Y HERRAMIENTAS

*Datos de cargas para el ejemplo*

<b>Cantidad</b>	<b>Horas</b>	<b>Equipo</b>	<b>Carga (W)</b>	<b>Consumo (Wh/día)</b>
4	6	Bombillas LED 7W	28	188
1	0,1	Licadora 75W	75	7,5
1	4	Nevera 175W	175	700
1	5	Televisor 60W	60	300
1	3	Radio y celular 25W	12	36
<b>Total</b>			350	1211,5

**Figura 8***Ubicación propuesta para el SFV aislado*

## DIMENSIONAMIENTO SFV AISLADOS: MÉTODOS Y HERRAMIENTAS



Nota: Adaptado de (NASA Prediction of Worldwide Energy Resource, 2008)

Las tablas 12 y 13 muestran los datos de placa del módulo fotovoltaico y los factores pico de arranque que serán utilizados para el cálculo del SFV aislado.

**Tabla 12**

*Datos eléctricos del módulo fotovoltaico*

Pico de potencia Watts - $P_{max}$ (Wp)	265	270	275
Tolerancia de salida de potencia - $P_{max}$ (W)		0 - +5	
Voltaje de potencia máximo - $V_{MPP}$ (V)	30.7	30.8	31.2
Corriente de potencia máxima - $I_{MPP}$ (A)	8.63	8.77	8.82
Voltaje de circuito abierto - $V_{OC}$ (V)	38.5	38.6	38.7
Corriente de cortocircuito - $I_{SC}$ (A)	9.10	9.23	9.26
Módulo de eficiencia - $n_m$ (%)	16.2	16.5	16.8

**Tabla 13**

## DIMENSIONAMIENTO SFV AISLADOS: MÉTODOS Y HERRAMIENTAS

*Factores pico de arranque*

<b>Equipo</b>	<b>Factor pico</b>
Lavadora	6
Ventilador	2
Licuadaora	1
Nevera	6

Nota: Adaptado de (ENERGIT Electronica de potencia S.A, 2021)

**5.1.2 Análisis comparativo de los métodos estudiados**

La Tabla 14 muestra algunas de las características más importantes de cada método de dimensionamiento de SFV aislados.

**Tabla 14**

*Características generales de cada método de dimensionamiento.*

<b>Característica</b>	<b>Método tradicional</b>		<b>Método de probabilidad de pérdidas de carga LLP</b>	
	<b>por Kuyper y Morales</b>	<b>Método del peor mes</b>	<b>Método del balance de energía</b>	<b>Método de</b>
Utiliza cierto número de ecuaciones que pueden confundir al diseñador del SFV aislado.	Si	No	No	No

## DIMENSIONAMIENTO SFV AISLADOS: MÉTODOS Y HERRAMIENTAS

---

Se basa en métodos

numéricos por lo que

necesita la            No            No            No            Si

implementación de una

herramienta

computacional.

---

Se utiliza para sistemas

críticos en los cuales    No            Si            No            No

nunca debe fallar la

energía.

---

Se utiliza para cargas por

temporadas del año.        No            No            Si            No

---

Utiliza datos de placa de

los elementos que        Si            No            No            No

conforman el SFV aislado

(baterías, inversores, etc.)

---

El método de probabilidad de pérdida de cargas LLP no se tuvo en cuenta en la solución del ejemplo ya que precisa de datos diarios de entrada los cuales son difíciles de conseguir, además al generar los datos de irradiación se puede presentar errores (Suconota & Arevalo, 2017).

## DIMENSIONAMIENTO SFV AISLADOS: MÉTODOS Y HERRAMIENTAS

La solución detallada del ejemplo por cada método de dimensionamiento se encuentra en el apéndice A.

Teniendo como base los resultados obtenidos, se procede a realizar la selección de los métodos que serán implementados posteriormente. Los principales criterios a tener en cuenta son: eficiencia y complejidad de desarrollo.

En el método de dimensionado tradicional por Kuyper y Morales es indispensable conocer los equipos antes de empezar el desarrollo del método ya que son necesarios sus datos de placa. Luego de realizar los cálculos, la cantidad de equipos para la construcción del SFV es mayor a la que se presenta en los otros métodos (peor mes y balance de energía). Adicional a esto, este método tiene una alta complejidad por su enfoque teórico y tedioso a la hora de encontrar los datos necesarios para su desarrollo.

Por otro lado, en el método del peor mes la selección de los equipos se efectúa después de realizar los cálculos; los datos necesarios para el desarrollo de este se encuentran mayormente en tablas estandarizadas. Para este método, es indispensable conocer bases de datos climatológicas y meteorológicas como la NASA POWER o ATLAS SOLAR, entre otras.

El método de balance de energías comparte los mismos cálculos del método del peor mes, se diferencian en el tiempo de autonomía para escoger algunos equipos de acuerdo con las necesidades del cliente.

## DIMENSIONAMIENTO SFV AISLADOS: MÉTODOS Y HERRAMIENTAS

Para este caso se seleccionaron los métodos del peor mes y balance de energías porque son los métodos más utilizados a la hora de realizar dimensionamiento de SFV y son más sencillos de realizar y comprender (Espitia, 2020).

### **5.2 Selección de herramientas computacionales**

Actualmente, existen diversas herramientas computacionales para el dimensionamiento de los SFV utilizados en múltiples escenarios de generación de energía, siendo útiles para fines educativos, investigativos e influyendo en la toma de decisiones en proyectos que involucran los SFV en la industria (Angewandte, 2020).

Esta sección describe la selección de dos herramientas computacionales de las enunciadas en el Capítulo 2, usadas para el dimensionamiento de SFV aislados para su posterior implementación y análisis comparativo en dos casos de estudio en el entorno colombiano.

Las tablas 15, 16 y 17 presentan algunas características de las herramientas computacionales enunciadas anteriormente y un análisis comparativo para la posterior selección de las herramientas a utilizar.

## DIMENSIONAMIENTO SFV AISLADOS: MÉTODOS Y HERRAMIENTAS

Tabla 15

*Información general de las herramientas computacionales preseleccionadas*

Software	País	Desarrollador	Precio/año	Requerimientos del equipo	Licencia	Versión
PVsyst	Suiza	Universidad Ginebra	de 638 USD	-Windows 8 o superior	Premium pagada por grupo de investigación GISEL.	PVsyst 6.8.6
				-1 GB de RAM		
				-1 GB de disco duro		
				-Mínima resolución de pantalla 1280x720p		
				-Tarjeta gráfica OpenGL 2.0 o mayor		
				-Windows 7 de 64 bits o superior.		
				-4 GB de RAM		

## DIMENSIONAMIENTO SFV AISLADOS: MÉTODOS Y HERRAMIENTAS

				-Tarjeta gráfica	Completa	Solaris PV
<b>Solaris PV</b>		ACCA SOFTWARE		compatible con OpenGL	Gestionada por	versión BIM
	Italia		108 EUR	3.0 o superior.	grupo de	2(c)
				-Procesador Intel Core2	investigación	
				dúo 2.4 GHz o superior.	GISEL	
<b>SAM</b>	EE. UU.	NREL	Gratuito	Windows 10/8 64 bits o superior	Completa y gratuita	SAM 2020.2.29
				-Windows 7 o superior.		
				-RAM y disco duro varían dependiendo del tamaño del proyecto.	Completa	2020 (R8)
<b>PV*SOL Premium</b>	Alemania	Valentín Software	1460 USD	-Tarjeta gráfica con DirectX.		

Nota: Tomado de (Angewandte, 2020)

## DIMENSIONAMIENTO SFV AISLADOS: MÉTODOS Y HERRAMIENTAS

Tabla 16

*Herramientas meteorológicas de cada software*

Herramienta	Datos entregados	Solaris	PV*SOL	SAM	PVsys
		<b>PV</b>			
PVGIS	Irradiación horizontal (global y difusa), temperatura ambiente, velocidad del viento, humedad relativa.	Si	Si	No	Si
Meteonorm	Irradiación horizontal (global y difusa), temperatura ambiente, velocidad del viento, humedad relativa.	Si	Si	No	Si
NASA	Irradiación horizontal (global y difusa), temperatura ambiente.	No	Si	No	Si
NSRDB	Irradiación horizontal (directa, global y difusa), irradiancia en el plano receptor,	No	No	Si	Si

## DIMENSIONAMIENTO SFV AISLADOS: MÉTODOS Y HERRAMIENTAS

---

velocidad del viento,

humedad relativa.

---

Nota: Adaptado de (Angewandte, 2020)

**Tabla 17**

*Características de cada herramienta computacional*

<b>Características</b>	<b>PVsyst</b>	<b>PV*SOL</b>	<b>SAM</b>	<b>Solarius</b>
				<b>PV</b>
Valor de energía para autoconsumo	Si	Si	No	Si
Valor de energía inyectada a la red	Si	Si	Si	Si
Valor de excedentes	Si	Si	No	Si
Producción específica	Si	Si	Si	Si
Índice de rendimiento	Si	Si	Si	No
Operación diaria (mejor o peor)	Si	Si	No	Si
Implementación de SFV aislado	Si	Si	No	No
Implementación de SFV conectado a la red	Si	Si	Si	Si
Base de datos de paneles FV, inversores	Si	Si	Si	Si
Aplicación 3D para simular sombras cercanas	Si	Si	Si	Si
Importación de datos de paneles FV	Si	Si	Si	Si
Base de datos controlador/regulador	Si	No	No	No

## DIMENSIONAMIENTO SFV AISLADOS: MÉTODOS Y HERRAMIENTAS

Base de datos de baterías	Si	Si	No	Si
Importación de la demanda del usuario	Si	Si	Si	Si

Nota: Adaptado de (Angewandte, 2020).

Considerando las resoluciones CREG 030 y 038 de 2018 las herramientas computacionales que tienen en cuenta la energía de autoconsumo son PVsyst, PV\*Sol y Solarius PV.

Como se observa en la Tabla 18, las herramientas computacionales que implementan el análisis de dimensionamiento de SFV aislados son PVsyst y PV\*SOL. De acuerdo con la investigación realizada anteriormente PVsyst es la única herramienta que cuentan con un controlador/regulador en su base de datos, además ajusta automáticamente un “controlador/regulador universal” al sistema o permite seleccionarlo. Por otro lado, PV\*SOL cuenta con un esquema cargador/inversor.

Por otro parte, la información de irradiación es relevante para el dimensionamiento de SFV es por esto que la información meteorológica es de gran importancia. Como se observa en la tabla 10, la herramienta computacional que cuenta con la mayor cantidad de bases de datos de información meteorológica es PVsyst ya que en ella se encuentran PVGIS, Meteonorm, NASA y NSRDB. Siguiendo PV\*SOL con tres de estas bases de datos, Solarius PV con dos y SAM la cual cuenta únicamente con NSRDB.

Teniendo en cuenta la información anterior, se realiza la selección de PVsyst y PV\*SOL para la ejecución de este proyecto ya que se evidencia que son las herramientas computacionales con mejores características a la hora de realizar el análisis del dimensionamiento de SFV aislados.

## 6. Descripción casos de estudio

Este capítulo presenta los dos casos de estudio en el entorno colombiano para su respectivo desarrollo y análisis comparativo de los métodos y herramientas computacionales escogidos en el capítulo anterior.

### 6.1 Selección de los casos de estudio

Esta sección presenta los casos de estudio en el entorno colombiano para posteriormente realizar la ejecución del dimensionamiento de SFV aislados de acuerdo con las herramientas y métodos seleccionados.

La selección de los casos de estudio se realizó con base en los siguientes criterios:

- Perfil de carga.
- Servicio de electricidad inestable.
- Condiciones climáticas idóneas para la instalación de sistemas fotovoltaicos.
- Cercanía al lugar de residencia de las autoras.
- Fácil acceso a los lugares escogidos.
- Obtención de permisos para la realización del proyecto en la vivienda.

Según los criterios mencionados, los lugares escogidos para la ejecución de los casos de estudio son:

- Casco urbano, El Banco-Magdalena.

## DIMENSIONAMIENTO SFV AISLADOS: MÉTODOS Y HERRAMIENTAS

- Vereda Chebre, Albania-Santander

### 6.2 Descripción de los casos de estudio

Esta sección muestra la ubicación, altitud, temperatura de los municipios en los cuales se realizaría el proyecto, además de una breve descripción de los casos de estudio.

Para este caso se tomaron 2 casas residenciales-familiares, con múltiples problemas en el servicio de energía eléctrica.

#### 6.2.1 Características de ubicación

La Tabla 18 muestra los datos de localización, altitud y temperatura de los municipios de Albania-Santander y El banco-Magdalena. La Figura 9 muestra la ubicación.

**Tabla 18**

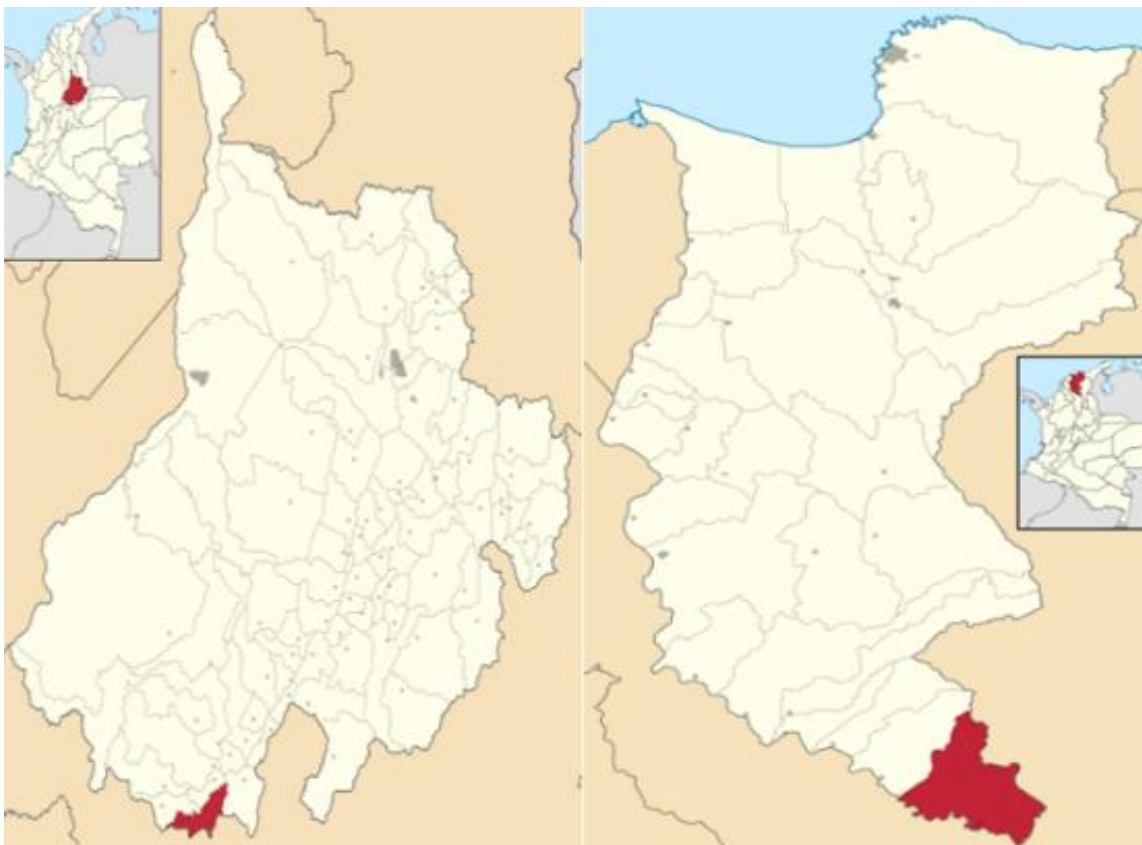
*Albania-Santander y El Banco Magdalena*

<b>Parámetro</b>	<b>Descripción</b>	
Departamento	Santander	Magdalena
Coordenadas	5°45'32"N 73°54'48"O	9°00'03"N 73°58'28"O
Latitud	5.75904°	9°
Longitud	-73.9144°	-73.967°
Altitud	1650 m s. n. m.	25 m s. n. m.
Temperatura promedio	33°C	35°C

Nota: Tomado de (Municipios de Colombia , 2021) y (Municipios de Colombia , 2021).

**Figura 9**

*Localización Municipio Albania-Santander y El Banco-Magdalena.*



Nota: Extraído de (Wikimedia commons, 2020) y (Wikimedia Commons, 2012)

### **6.2.2 Caso de estudio 1. Albania-Santander**

Unidad residencial ubicada en la vereda “Chebre” la cual se encuentra aproximadamente a 2 km del casco Urbano del municipio de Albania-Santander, en esta unidad familiar en la actualidad reside una persona. El cuadro de cargas de este caso de estudio se presenta en la Tabla 19.

## DIMENSIONAMIENTO SFV AISLADOS: MÉTODOS Y HERRAMIENTAS

Tabla 19

*Cuadro de cargas caso de estudio 1*

<b>Cantidad</b>	<b>Equipos</b>	<b>Horas de uso</b>	<b>Carga (W)</b>	<b>Consumo (Wh/día)</b>
11	Bombillas LED	6	10	60
1	Nevera	24	40	960
1	TV 32"	4	115	460
1	PC	2	305	610
1	Celular	1	12	12
<b>Total</b>			<b>527</b>	<b>2102</b>

**6.2.3 Caso de estudio 2- El Banco-Magdalena**

Unidad residencial ubicada en el barrio Alto Prado el cual se encuentra a las afueras del municipio de El Banco-Magdalena, en esta unidad familiar en la actualidad residen 3 personas. El cuadro de cargas de este caso de estudio se presenta en la Tabla 20.

## DIMENSIONAMIENTO SFV AISLADOS: MÉTODOS Y HERRAMIENTAS

Tabla 20

*Cuadro de cargas para el caso de estudio 2*

<b>Cantidad</b>	<b>Equipos</b>	<b>Horas de uso</b>	<b>Carga (W)</b>	<b>Consumo (Wh/día)</b>
12	Bombillas LED	6	10	120
1	Nevera	24	27.5	660
1	Lavadora	1.5	300	450
2	TV 32"	4	115	920
1	PC	8	100	800
3	Celular	1	12	36
1	Plancha de ropa	0.5	1000	500
3	Ventiladores	5	70	350
1	Procesador de alimentos	0.5	450	225
<b>Total</b>			<b>527</b>	<b>4061</b>

### 7. Evaluación de desempeño de los métodos y herramientas computacionales seleccionados

Este capítulo expone el dimensionamiento realizado para los casos de estudio seleccionados, a partir de los métodos del peor mes y balance de energía; posteriormente, se presenta una comparación y evaluación de estos métodos.

## DIMENSIONAMIENTO SFV AISLADOS: MÉTODOS Y HERRAMIENTAS

### 7.1 Dimensionamiento del caso 1 de estudio (Albania, Santander)

Se realiza el dimensionamiento de una unidad residencial ubicada en el municipio de Albania-Santander. Para este procedimiento se tiene como punto de partida las tablas 18 y 19, las cuales presentan la información general del caso de estudio.

#### 7.1.1 Dimensionamiento por el método del peor mes

Teniendo como referencia la Tabla 9 y algunos de los datos presentados a continuación, se realiza el dimensionamiento del caso 1 de estudio mediante el método del peor mes.

#### Cálculo del consumo diario

Es necesario conocer la energía requerida por las cargas de manera detallada, para esto se elabora un cuadro de cargas tal como se presenta en la Tabla 19. De acuerdo con esta información, se conoce que el valor del consumo diario es de 2.10 kWh/día.

#### Cálculo del rendimiento de instalación

En este caso se asumen los siguientes valores para una temperatura de 25°C<sup>2</sup> y baterías estacionarias tipo gel.

$P_d$ : 0.5 (Valor DoD recomendado para el dimensionamiento de SFV aislados (Crown, 2019)).

$N$ : 2 días de autonomía. (Tiempo mínimo de autonomía en SFV aislados (Espitia, 2020)).

$k_v$ : 0.15 (Coeficiente de otras pérdidas, valor estándar (Espitia, 2020)).

$k_c$ : 0.02 (Se asume una eficiencia del inversor de 98%; ver Anexo B).

---

<sup>2</sup> Según condiciones estándar de medida STC

## DIMENSIONAMIENTO SFV AISLADOS: MÉTODOS Y HERRAMIENTAS

$k_a$ : 0.005 (Valor de autodescarga para baterías estacionarias tipo gel (Espitia, 2020)).

$k_b$ : 0.05 (No hay descargas intensas (Espitia, 2020)).

### **Cálculo de acumulador o banco de baterías**

Para este caso se toman los siguientes valores asumiendo una temperatura de 25°C y baterías de gel<sup>3</sup> (ver Apéndice B);

$E$ : 2.467 kWh/día

$k_t$ : 0.15 (ver Ecuación 27).

$V_b$ : 12 V

### **Cálculo de la potencia en paneles**

Por medio de la base de datos NASA POWER se toman los datos solicitados para una ubicación en la zona rural del municipio de Albania en el departamento de Santander; en este caso se estima cero afectaciones por sombras. En la base de datos NASA POWER, se obtuvieron para un promedio climatológico solar de 37 años (enero 1984 – diciembre 2020). Estos datos se muestran en la Tabla 21.

---

<sup>3</sup> Ficha técnica de la batería seleccionada (ver Apéndice B)

## DIMENSIONAMIENTO SFV AISLADOS: MÉTODOS Y HERRAMIENTAS

**Tabla 21***Irradiancia promedio*

<b>Meses analizados</b>	<b>GHd (kWh/ /día)</b>
<b>Enero</b>	5.20
<b>Febrero</b>	5.17
<b>Marzo</b>	4.83
<b>Abril</b>	4.63
<b>Mayo</b>	4.64
<b>Junio</b>	4.62
<b>Julio</b>	4.69
<b>Agosto</b>	4.66
<b>Septiembre</b>	4.84
<b>Octubre</b>	4.73
<b>Noviembre</b>	4.68
<b>Diciembre</b>	4.91

Nota: Adaptado de (NASA Prediction of Worldwide Energy Resource, 2008)

$K$ : 0.93 (Valor obtenido a partir de tablas previamente calculadas (Scribd, 2019)).

$K_A$ : 1.05 (Coeficiente de corrección atmosférica en zonas rurales (Espitia, 2020)).

La Tabla 22 muestra los resultados de los pasos necesarios para implementar esta metodología de dimensionamiento.

## DIMENSIONAMIENTO SFV AISLADOS: MÉTODOS Y HERRAMIENTAS

Tabla 22

Dimensionamiento del caso 1 de estudio por medio del método del peor mes

Paso	Parámetro calculado	Ecuación	Observaciones
<b>Consumo diario</b>	Cargas en DC y AC		Ver Tabla 19
<b>Energía teórica requerida</b>	Energía requerida en AC y DC	$E_t = 2.467 \text{ kWh/día}$	
<b>Rendimiento de la instalación</b>		$R = 0.764$	En este caso se asumen valores para una temperatura de 25°C y baterías estacionarias tipo gel.
<b>Energía real requerida</b>		$E = 3.229 \text{ [kWh/día]}$	
<b>Acumulador</b>	Banco de baterías	$C = 162.333 \text{ AH}$	Ver Apéndice B
<b>Potencia en paneles</b>	Horas solar pico	$GH = 4.62$ $KWh/m^2$ $/día$	$HSP = 4.51$ $horas/día$ Ver Tabla 21

---

 DIMENSIONAMIENTO SFV AISLADOS: MÉTODOS Y HERRAMIENTAS
 

---

	$K = 0.93$	La latitud del sistema se ubica en $5^\circ$ Norte y la inclinación de los paneles es de $10^\circ$ (Colombian solar systems, 2012).
Potencia requerida	$Pp = 715 \text{ Wp}$	En base a los cálculos realizados anteriormente, se requiere un arreglo de paneles de una potencia mínima de 715 W.

---

### 7.1.2 Dimensionamiento por el método de balance de energía

Este método cumple con los mismos pasos del método anterior, la diferencia radica en que existe la opción de variar los parámetros de irradiancia global, días de autonomía y profundidad de descarga de la batería. Para este caso en específico se realizan tres (3) versiones del dimensionamiento en el cual se varía el valor de irradiancia global, donde la versión 1 presenta el

## DIMENSIONAMIENTO SFV AISLADOS: MÉTODOS Y HERRAMIENTAS

valor mínimo, la versión 2 el valor promedio y la versión 3 el valor máximo de irradiancia global (ver Tabla 21).

La Tabla 23 muestra los parámetros de irradiancia global, días de autonomía y profundidad de descarga y los coeficientes necesarios para realizar las tres (3) versiones de dimensionamiento del caso 1 de estudio por el método de balance de energía.

**Tabla 23**

*Parámetros y coeficientes utilizados en el dimensionamiento por el método de balance de energía*

<b>Parámetro</b>	<b>Versión 1</b>	<b>Versión 2</b>	<b>Versión 3</b>	<b>Observaciones</b>
<i>Consumo diario</i> $\left(\frac{kWh}{día}\right)$	2.10	2.10	2.10	Ver Tabla 19
<i>GH</i> $\left(\frac{kWh}{m^2/día}\right)$	4.62	4.80	5.20	Ver Tabla 21
<i>N</i>	3	4	5	
<i>Pd</i>	0.5	0.5	0.5	Ver Apéndice B
<i>k<sub>a</sub></i>	0.005	0.005	0.005	En este caso se asumen
<i>k<sub>b</sub></i>	0.05	0.05	0.05	valores para una
<i>k<sub>c</sub></i>	0.02	0.02	0.02	temperatura de 25°C y
<i>k<sub>v</sub></i>	0.15	0.15	0.15	

## DIMENSIONAMIENTO SFV AISLADOS: MÉTODOS Y HERRAMIENTAS

$k_t$	0.15	0.15	0.15	baterías estacionarias tipo gel.
$K$	0.93	1	1.04	La latitud del sistema se ubica en 5° Norte y la inclinación de los paneles de 10° (Colombian solar systems, 2012).
$K_A$	1.05	1.05	1.05	

La Tabla 24 muestra los resultados de los pasos necesarios para implementar esta metodología de dimensionamiento.

**Tabla 24**

*Dimensionamiento del caso 1 de estudio por medio del método de balance de energía*

<b>Parámetro calculado</b>	<b>Versión 1</b>	<b>Versión 2</b>	<b>Versión 3</b>
<b>Cargas en DC y AC</b>	Ver Tabla 19	Ver Tabla 19	Ver Tabla 19
<b>Energía requerida en AC y DC</b>	$E_t = 2.47 \text{ kWh/día}$		

## DIMENSIONAMIENTO SFV AISLADOS: MÉTODOS Y HERRAMIENTAS

	$E_t = 2.47 \text{ kWh}$	$E_t = 2.47 \text{ kWh}$				
		/día		/día		
<b>Rendimiento de la instalación</b>	$R = 0.757$		$R = 0.749$		$R = 0.741$	
<b>Energía real requerida</b>	$E = 3.26 \text{ [kWh/día]}$		$E = 3.29 \text{ [kWh/día]}$		$E = 3.33 \text{ [kWh/día]}$	
<b>Banco de baterías</b>	$C = 244 \text{ AH}$		$C = 329 \text{ AH}$		$C = 416 \text{ AH}$	
<b>Horas solar pico</b>	$GH$	$HSP$	$GH$	$HSP$	$GH$	$HSP$
	$= 4.62$	$= 4.51$	$= 4.80$	$= 5.04$	$= 45.20$	$= 5.68$
	$KWh$	$horas$	$KWh$	$horas$	$KWh/m^2$	$horas$
	$/m^2/día$	$/día$	$/m^2/día$	$/día$	$/día$	$/día$
	$K$		$K = 1$		$K = 1.04$	
	$= 0.93$					
<b>Potencia requerida</b>	$Pp = 722.6 \text{ Wp}$		$Pp = 653.5 \text{ Wp}$		$Pp = 586.3 \text{ Wp}$	

La Tabla 25 presenta la cantidad y modelo de paneles FV, inversores y baterías utilizados para el dimensionamiento del sistema descrito en el caso 1 de estudio. Los detalles de estos componentes se encuentran en el Apéndice B.

## DIMENSIONAMIENTO SFV AISLADOS: MÉTODOS Y HERRAMIENTAS

Tabla 25

*Cantidad y modelo de los componentes seleccionados del caso 1*

Método de dimensionamiento	Componente					
	Paneles FV		Inversores		Baterías	
	Modelo	Cant.	Modelo	Cant.	Modelo	Cant.
Peor mes	ZXP6-LD60	3	POWEST	1	6GFM200G	1
			UPS Híbrida 1 KVA			
Balance de energía (Versión 1)	ZXP6-LD60	3	POWEST	1	6GFM200G	2
			UPS Híbrida 1 KVA			
Balance de energía (Versión 2)	ZXP6-LD60	3	POWEST	1	6GFM200G	2
			UPS Híbrida 1 KVA			
Balance de energía (Versión 3)	ZXP6-LD60	3	POWEST	1	6GFM200G	3
			UPS Híbrida 1 KVA			

Nota: Adaptado con información extraída de (Solartex, 2022), (Solartex, 2022) y (Solartex , 2022)

## DIMENSIONAMIENTO SFV AISLADOS: MÉTODOS Y HERRAMIENTAS

### 7.2 Dimensionamiento del caso 2 de estudio (el banco, Magdalena)

Se realiza el dimensionamiento de una unidad residencial ubicada en el municipio de El Banco-Magdalena por medio de los métodos del peor mes y balance de energía. Se tiene como punto de partida las tablas 18 y 20, las cuales presentan la información general del caso de estudio.

#### 7.2.1 Dimensionamiento por el método del peor mes

Teniendo como referencia la Tabla 9 y algunos de los datos presentados a continuación, se realiza el dimensionamiento del caso 2 de estudio mediante el método del peor mes. La Tabla 26 muestra los resultados de los pasos necesarios para implementar esta metodología de dimensionamiento.

#### Cálculo del consumo diario

Es necesario conocer la energía requerida por las cargas de manera detallada, para esto se realiza un cuadro de cargas el cual se presenta en la Tabla 20. De acuerdo con esta información, se conoce que el valor del consumo diario es de 4.06 kWh/día.

#### Cálculo del rendimiento de la instalación

En este caso se asumen los siguientes valores para una temperatura de 25°C<sup>4</sup> y baterías estacionarias tipo gel;

$P_d$ : 0.5 (Valor DoD recomendado para el dimensionamiento de SFV aislados (Crown, 2019)).

$N$ : 2 días de autonomía. (Tiempo mínimo de autonomía en SFV aislados (Espitia, 2020)).

---

<sup>4</sup> Según condiciones estándar de medida STC

## DIMENSIONAMIENTO SFV AISLADOS: MÉTODOS Y HERRAMIENTAS

$k_v$ : 0.15 (Coeficiente de otras pérdidas, valor estándar (Espitia, 2020)).

$k_c$ : 0.1 (Valor determinado teóricamente ya que la ficha técnica no tenía esta información)

$k_a$ : 0.005 (Valor de autodescarga para baterías estacionarias tipo gel (Espitia, 2020)).

$k_b$ : 0.05 (No hay descargas intensas (Espitia, 2020)).

### **Cálculo del acumulador o banco de baterías**

Para este caso se toman los valores siguientes valores asumiendo una temperatura de 25°C y baterías de gel<sup>5</sup> (ver Apéndice B);

$E_t$ : 4.765 kWh/día

$k_t$ : 0.15 (ver Ecuación 27).

$V_b$ : 12 V

### **Cálculo de la potencia en paneles**

Por medio de la base de datos NASA POWER se toman los datos solicitados para una ubicación en la zona rural del municipio de El Banco en el departamento del Magdalena, en este caso se estima cero afectaciones por sombras. En la base de datos NASA POWER, se obtuvieron para un promedio climatológico solar de 37 años (enero 1984 – diciembre 2020). Estos datos se muestran en la Tabla 26.

---

<sup>5</sup> Ficha técnica de la batería seleccionada (ver Apéndice B)

## DIMENSIONAMIENTO SFV AISLADOS: MÉTODOS Y HERRAMIENTAS

**Tabla 26***Irradiancia promedio*

<b>GHd (kWh/ /día)</b>	
<b>Enero</b>	5.59
<b>Febrero</b>	5.87
<b>Marzo</b>	5.79
<b>Abril</b>	5.58
<b>Mayo</b>	5.45
<b>Junio</b>	5.60
<b>Julio</b>	5.81
<b>Agosto</b>	5.77
<b>Septiembre</b>	5.50
<b>Octubre</b>	5.10
<b>Noviembre</b>	4.95
<b>Diciembre</b>	5.23

Nota: adaptado de (NASA Prediction of Worldwide Energy Resource, 2008).

$K$ : 1,06 (Valor obtenido a partir de tablas previamente calculadas (Scribd, 2019)).

$K_A$ : 1.05 (Coeficiente de corrección atmosférica en zonas rurales (Espitia, 2020)).

**Tabla 27***Dimensionamiento del caso 2 de estudio por medio del método del peor mes*

<b>Paso</b>	<b>Parámetro calculado</b>	<b>Ecuación</b>	<b>Observaciones</b>
-------------	--------------------------------	-----------------	----------------------

## DIMENSIONAMIENTO SFV AISLADOS: MÉTODOS Y HERRAMIENTAS

<b>Consumo diario</b>	Cargas en DC y AC		Ver Tabla 20
<b>Energía teórica requerida</b>	Energía requerida en AC y DC	$E_t = 4.76 \text{ kWh/día}$	
<b>Rendimiento de la instalación</b>		$R = 0.764$	En este caso se asumen valores para una temperatura de 25°C y baterías estacionarias tipo gel.
<b>Energía real requerida</b>		$E = 6.24 \text{ [kWh/día]}$	
<b>Acumulador</b>	Banco de baterías	$C = 311.9 \text{ Ah}$	Ver Anexo B
<b>Potencia en paneles</b>	Horas solar pico	$GH = 4.95$ $\text{KWh/m}^2$ $/\text{día}$	$HSP = 5.51$ $\text{horas/día}$ Ver Tabla 26
		$K = 1.06$	La latitud del sistema se ubica en 9° Norte y la inclinación de los paneles es de 10°

---

		(Colombian solar systems, 2012).
Potencia requerida	$P_p = 1132 \text{ Wp}$	En base a los cálculos realizados anteriormente, se requiere un arreglo de paneles de una potencia mínima de 1260 W.

---

Los componentes seleccionados para el sistema anteriormente dimensionado se pueden ver en el Apéndice B.

### 7.2.2 Dimensionamiento por el método de balance de energía

Este método cumple con los mismos pasos del método anterior, la diferencia radica en que existe la opción de variar los parámetros de irradiancia global, días de autonomía y profundidad de descarga de la batería. Para este caso en específico se realizan tres (3) versiones del dimensionamiento en el cual se varía el valor de irradiancia global, donde la versión 1 presenta el valor mínimo, la versión 2 el valor promedio y la versión 3 el valor máximo de irradiancia global (ver Tabla 26).

## DIMENSIONAMIENTO SFV AISLADOS: MÉTODOS Y HERRAMIENTAS

La Tabla 28 muestra los parámetros de irradiancia global, días de autonomía y profundidad de descarga y los coeficientes necesarios para realizar las tres (3) versiones de dimensionamiento del caso 2 de estudio por el método de balance de energía.

**Tabla 28**

*Parámetros y coeficientes utilizados en el dimensionamiento por el método de balance de energía*

Parámetro	Versión			Observaciones
	1	2	3	
<i>Consumo diario</i> $\left(\frac{kWh}{día}\right)$	4.06	4.06	4.06	Ver Tabla 20
<i>GH</i> $\left(\frac{kWh}{m^2/día}\right)$	4.95	5.52	5.87	Ver Tabla 26
<i>N</i>	3	4	5	
<i>Pd</i>	0.5	0.5	0.5	Ver Anexo B
<i>k<sub>a</sub></i>	0.005	0.005	0.005	En este caso se asumen valores para una temperatura de 25°C y baterías estacionarias tipo gel.
<i>k<sub>b</sub></i>	0.05	0.05	0.05	
<i>k<sub>c</sub></i>	0.02	0.02	0.02	
<i>k<sub>v</sub></i>	0.15	0.15	0.15	
<i>k<sub>t</sub></i>	0.15	0.15	0.15	
<i>K</i>	1,06	1,01	1.03	La latitud del sistema se ubica en 9° Norte y la

## DIMENSIONAMIENTO SFV AISLADOS: MÉTODOS Y HERRAMIENTAS

				inclinación de los paneles de 10° (Colombian solar systems, 2012).
$K_A$	1.05	1.05	1.05	

La Tabla 29 muestra los resultados de los pasos necesarios para implementar esta metodología de dimensionamiento.

**Tabla 29**

*Dimensionamiento del caso 2 de estudio por medio del método de balance de energía*

<b>Parámetro calculado</b>	<b>Versión 1</b>	<b>Versión 2</b>	<b>Versión 3</b>
Cargas en DC y AC	Ver Tabla 20	Ver Tabla 20	Ver Tabla 20
Energía requerida en AC y DC	$E_t = 4.76 \text{ kWh/día}$	$E_t = 4.76 \text{ kWh/día}$	$E_t = 4.76 \text{ kWh/día}$
Rendimiento de la instalación	$R = 0.757$	$R = 0.749$	$R = 0.741$
Energía real requerida	$E = 6.29 \text{ [kWh /día]}$	$E = 6.36 \text{ [kWh /día]}$	$E = 6.43 \text{ [kWh /día]}$

## DIMENSIONAMIENTO SFV AISLADOS: MÉTODOS Y HERRAMIENTAS

Banco de baterías	$C = 472.1 \text{ AH}$		$C = 636.2 \text{ AH}$		$C = 803.8 \text{ AH}$	
	$GH$	$HSP$	$GH$	$HSP$	$GH$	$HSP$
	= 4.95	= 5.51	= 5.52	= 5.85	= 5.87	= 6.35
	$KWh$	$horas$	$KWh$	$horas$	$KWh$	$horas$
Horas solar pico	$/m^2/día$	$/día$	$/m^2/día$	$/día$	$/m^2/día$	$/día$
	$K$		$K$		$K$	
	= 1.06		= 1.01		= 1.03	
Potencia requerida	$Pp = 1142 \text{ Wp}$		$Pp = 1087 \text{ Wp}$		$Pp = 1013 \text{ Wp}$	

La Tabla 30 presenta la cantidad y modelo de paneles FV, inversores y baterías utilizados para el dimensionamiento del sistema descrito en el caso 2 de estudio. Los detalles de estos componentes se encuentran en el Apéndice B.

## DIMENSIONAMIENTO SFV AISLADOS: MÉTODOS Y HERRAMIENTAS

**Tabla 30***Cantidad y modelo de los componentes seleccionados del caso 2*

<b>Método</b> <b>de</b> <b>dimensionamiento</b>	<b>Componente</b>						
	<b>Paneles FV</b>			<b>Inversores</b>		<b>Baterías</b>	
	<b>Modelo</b>	<b>Cant.</b>		<b>Modelo</b>	<b>Cant.</b>	<b>Modelo</b>	<b>Cant.</b>
Peor mes	Panel Solar 450W 24V	3		Growatt SPF	1	Batería GEL	1
	Monocristalino PERC			3000W 24V		12V 300Ah	
	EcoGreen			80A LVM		Tensite	
Balance de energía (Versión 1)	Panel Solar 450W 24V	3		Growatt SPF	1	Batería GEL	2
	Monocristalino PERC			3000W 24V		12V 300Ah	
	EcoGreen			80A LVM		Tensite	
Balance de energía (Versión 2)	Panel Solar 450W 24V	3		Growatt SPF	1	Batería GEL	2
	Monocristalino PERC			3000W 24V		12V 300Ah	
	EcoGreen			80A LVM		Tensite	

DIMENSIONAMIENTO SFV AISLADOS: MÉTODOS Y HERRAMIENTAS

---

Balance de energía (Versión 3)	Panel Solar 450W 24V 2	Growatt SPF 1	Batería GEL 3
	Monocristalino PERC	3000W 24V	12V 300Ah
	EcoGreen	80A LVM	Tensite

---

Nota: La información acá consignada fue extraída de (Autosolar, 2022), (Autosolar, 2022) y (Autosolar, 2022)

### **7.3 Dimensionamiento de los casos de estudio mediante las herramientas computacionales seleccionadas.**

Esta sección presenta los resultados obtenidos en las simulaciones de cada herramienta computacional seleccionada en el capítulo 5. Los informes detallados de cada simulación se encuentran en el apéndice C.

#### **7.3.1 Dimensionamiento mediante la herramienta computacional PV\*SOL**

La Tabla 31 presenta los resultados de la simulación de los dos casos de estudio con la herramienta computacional PV\*SOL.

## DIMENSIONAMIENTO SFV AISLADOS: MÉTODOS Y HERRAMIENTAS

Tabla 31

*Cantidad y modelo de los componentes seleccionados en PV\*SOL*

Método de dimensionamiento	Componente					
	Paneles FV		Inversores		Baterías	
	Modelo	Cant.	Modelo	Cant.	Modelo	Cant.
Caso 1 (Albania, Santander)	Panel Solar	3	S2. SX700S –	1	Batería	3
	Jinko Solar Eagle MX2		MII(V1)		LifeSTORE(V1)	
	60M 270 Wp		Autarco		Assistec	
Caso 2 (El Banco, Magdalena)	Panel Solar	3	Alternergy	1	Batería	3
	Tiger Pro JKM450M-		Power System		SRB4093	
	60HL4		QS1-EU/SAA		ads-tec GmbH	

## DIMENSIONAMIENTO SFV AISLADOS: MÉTODOS Y HERRAMIENTAS

### **7.3.2 Dimensionamiento mediante la herramienta computacional PVsyst**

La tabla 32 presenta los resultados de la simulación de los dos casos de estudio con la herramienta computacional PVsyst.

## DIMENSIONAMIENTO SFV AISLADOS: MÉTODOS Y HERRAMIENTAS

Tabla 32

*Cantidad y modelo de los componentes seleccionados en PVsyst*

Método de dimensionamiento	Componente							
	Paneles FV			Inversores		Baterías		
	Modelo	Cant.		Modelo	Cant.	Modelo	Cant.	
Caso 1 (Albania, Santander)	Panel Solar M450 Wp 144 cells	3		Universal controller MPPT converter	1	Batería AcmeG 200	2	12V
Caso 2 (El Banco, Magdalena)	Panel Solar M450 Wp 144 cells	3		SmartSolar MPPT 250/70 12V	1	Batería PVX -2580L	3	

## 8. Conclusiones

Según los resultados obtenidos en la simulación de cada caso de estudio se concluye que la herramienta PV\*SOL posee una amplia variedad de elementos y funciones que permite personalizar el cableado y perfil de carga de acuerdo a las necesidades de cada usuario. También posee una interfaz 3D con su propio motor gráfico lo que permite un estudio de sombreado más detallado. El informe generado muestra el reporte de equipos, pérdidas, análisis financiero con tarifas de inyección, compra y planimetría (diagramas unifilares, flujos de energía). Por último, la herramienta PVsyst a diferencia de PV\*SOL cuenta con una interfaz 3D primitiva, su función de cableado es estándar y el informe no muestra análisis financiero y planimetría.

Debido a la falta de licencia de las herramientas se utilizaron las versiones de prueba para poder realizar las simulaciones de los casos de estudio. Esto limitó la exploración de los componentes que conforman un SFV ya que estas versiones de prueba muestran en su mayoría componentes de tipo teórico.

Con la revisión bibliográfica se identificaron los componentes necesarios para realizar el dimensionamiento de SFV aislados, se observa que las baterías de gel tienen una eficiencia aproximada del 40% y una vida útil de 2 años, mientras que las baterías de litio cuentan con una eficiencia de aproximadamente 80% y vida útil de 10 años, sin embargo, debido al uso de baterías y la poca vida útil de estas, los SFV aislados a la fecha no son viables económicamente.

## DIMENSIONAMIENTO SFV AISLADOS: MÉTODOS Y HERRAMIENTAS

Luego de implementar, analizar y estudiar las metodologías de dimensionamiento para SFV aislados, se concluyó que el método de balance de energía cuenta con más ventajas sobre los otros métodos ya que este permite ajustar los días de autonomía, el SOC y la irradiancia. Esto le brinda al diseñador mayor autonomía para escoger algunos equipos de acuerdo con las necesidades del cliente. Por otro lado, los datos necesarios para el desarrollo de este método se encuentran en su mayoría en tablas estandarizadas y los cálculos necesarios para implementarlo tienen una baja complejidad.

Para la ejecución de este proyecto fue necesario conocer las herramientas meteorológicas existentes, la más conocida es la plataforma de la NASA, sin embargo, esta ha presentado cambios y la información suministrada no abarca suficientes datos para realizar el dimensionamiento de SFV, por lo que fue necesario explorar nuevas herramientas y plataformas como PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System), Meteonorm, Solcast, Meteograms, entre otras ya que estas plataformas contienen información meteorológica más detallada.

### 9. Bibliografía

- Abella, M. (2011). Dimensionado de sistemas fotovoltaicos autonomos . En m. y. Centro de investigaciones energéticas. Madrid, España.
- Aguilera, J., & Hontoria, L. (2011). Andalucía, ESpaña. Obtenido de <https://manuelberaun.files.wordpress.com/2011/12/dimensionado-de-sfv-a-utonomos.pdf>
- Alarcon, R. (2011). *Sistema hibrido eolico-diesel para el abastecimiento de energia electrica de 20 cabañas turísticas en cayo Caguamas* (Vol. 4). Ingeniería Mecánica . Obtenido de [http://www.cujae.edu.cu/ediciones/Revistas/Mecanica/Vol-4/4-2001/\\_09\\_Sistema%20Híbrido\\_Alarcón\\_\\_pag.pdf](http://www.cujae.edu.cu/ediciones/Revistas/Mecanica/Vol-4/4-2001/_09_Sistema%20Híbrido_Alarcón__pag.pdf)
- Alonso, J., Fernandez, A., Jimenez, C., LEcuona, A., MEDallo, F., Plaza, J., . . . Sala, G. (2002). Energía Solar fotovoltaica . Obtenido de [https://www.academia.edu/download/54732175/libro\\_de\\_Energia-Solar-Fotovoltaica-Carlos-Orbegozo-Roberto-Arivilca.pdf](https://www.academia.edu/download/54732175/libro_de_Energia-Solar-Fotovoltaica-Carlos-Orbegozo-Roberto-Arivilca.pdf)
- Angewandte. (2020). Dimensionamiento y analisis de operación de sistemas fotovoltaicos a partir de herramientas computacionales. Chemie International Edition .
- Autosolar. (2020). *Kit solar 3000 w 24 v 4000Whdia*. Obtenido de <https://autosolar.co/kits-solares-aislada/kit-solar-3000w-24v-4000whdia>
- Autosolar. (2022). *Bateria Gel 12 V 300 Ah Tensite* . Obtenido de <https://autosolar.co/baterias-gel-12v/bateria-gel-12v-300ah-tensite#specification>
- Autosolar. (2022). *Inversor cargador Growatt SPF 3000 M 24 V 80 A LVM*. Obtenido de <https://autosolar.co/inversores-cargadores-24v/inversor-cargador-growatt-spf-3000w-24v-80a-lvm#specification>

## DIMENSIONAMIENTO SFV AISLADOS: MÉTODOS Y HERRAMIENTAS

- Autosolar. (2022). *Panel solar 450 W 24 V Monocristalino PERC Ecogreen* . Obtenido de <https://autosolar.co/paneles-solares-24v/panel-solar-450w-24v-monocristalino-perc-ecogreen#specification>
- Censolar. (2020). *Errores frecuentes en sistemas fotovoltaicos: 1. Conexión del ondulator*. Obtenido de <https://www.censolar.org/errores-frecuentes-1/>
- Colombian solar systems. (2012). *¿cúal debe ser el angulo de inclinacion de los paneles y los colectores solares ?* Obtenido de <https://colombiansolarsystems.com/53-cual-debe-ser-el-angulo-de-inclinacion-de-los-paneles-y-los-colectore.html>
- Congreso de la republica de Colombia . (2021). *Ley 2099 del 10 de julio de 2021*. Obtenido de <https://dapre.presidencia.gov.co/normativa/normativa/LEY%202099%20DEL%2010%20DE%20JULIO%20DE%202021.pdf>
- Crown, B. (2019). *Conceptos claves en 90 segundos o menos : profundidad de descarga* . Obtenido de <https://www.crownbattery.com/es/blog/key-concepts-depth-of-discharge#:~:text=DOD%20se%20refiere%20a%20cu%C3%A1nta,no%20pueden%20proporcionar%20suficiente%20energ%C3%ADa>.
- Efecto fotoelectrico* . (2017). Obtenido de <https://www.areatecnologia.com/electricidad/efecto-fotoelectrico.html>
- ENERGIT Electronica de potencia S.A. (2021). *Información técnica*. Obtenido de <https://energitec.com.ar/informacion-tecnica.html>
- Espitia, C. (2020). *Dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos*. (U. I. Santander, Editor) Obtenido de Conferencia del grupo de investigacion GISEL-E3T.
- Hablemos de mineria* . (2013). Obtenido de <http://hablemosdemineria.com/2020/07/colombia-3-la-poblacion-no-cuenta-energia>



## DIMENSIONAMIENTO SFV AISLADOS: MÉTODOS Y HERRAMIENTAS

*Municipios de Colombia* . (2021). Obtenido de El municipio de Albania :  
<https://www.municipio.com.co/municipio-albania-san.html>

*Municipios de Colombia* . (2021). Obtenido de El minicipio de el Banco:  
<https://www.municipio.com.co/municipio-el-banco.html>

NASA Prediction of Worldwide Energy Resource. (2008). *The power project* . Obtenido de  
<https://power.larc.nasa.gov/>

Perez, J. (2019). Guia para el dimensionamiento de sistemas solares fotovoltaicos conectados y aplicacion de la resolucin CREG 030 de 2018 para inyectar excedentes de energia a la red. En U. d. Antioquia.

*Plan Energético Nacional 2020-2050*. (2019). Obtenido de UPME:Demanda Energética :  
[https://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/PEN\\_documento\\_para\\_consula.pdf](https://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/PEN_documento_para_consula.pdf).

PySyst. (2021). *Performance Ratio* . Obtenido de  
[https://www.pvsyst.com/help/performance\\_ratio.htm](https://www.pvsyst.com/help/performance_ratio.htm)

Rodriguez, C., & Sarmiento, A. (2011). *Dimensionado mediante simulación de sistemas de energia solar fotovoltaica aplicados a la electrificación rural* (Vol. 14). Ingenieria Mecanica .

Scribd. (2019). *Energia solar, Tablas de factor de corrección K para superficies inclinadas* . Obtenido de <https://es.scribd.com/document/397586214/Energia-Solar-Tablas-de-Factor-de-Correccion-k-Para-Superficies-Inclinadas>

Sde, M. (2020). *¿qué es SFV?* Obtenido de <http://www.sde.mx/que-es-un-sistema-fotovoltaico/>.

Sepulveda, S. (2014 ). Radiacion solar, factor clave para el diseño de sitemas fotovoltaicos . En U. F. Santander.

## DIMENSIONAMIENTO SFV AISLADOS: MÉTODOS Y HERRAMIENTAS

Solarama. (2021). Conoce que son los sistemas fotovoltaicos y su función. Obtenido de

<https://solarama.mx/blog/que-son-los-sistemas-fotovoltaicos/>

Solartex . (2022). *Bateria gel ciclo profundo 12 V 200Ah vol-bat*. Obtenido de

<https://www.solartex.co/tienda/wp-content/uploads/2021/07/ficha-tecnica-bateria-de-gel-ciclo-profundo-12v-200ah-volbat-2.pdf>

Solartex. (2020). *Stock sincronizado*. Obtenido de [https://autosolar.co/kits-solares-aislada/kit-](https://autosolar.co/kits-solares-aislada/kit-solar-3000w-24v-4000whdia)

[solar-3000w-24v-4000whdia](https://autosolar.co/kits-solares-aislada/kit-solar-3000w-24v-4000whdia)

Solartex. (2022). *Inversor cargador 1KVA powest 110 VAC 12 VCD*. Obtenido de

<https://www.solartex.co/tienda/wp-content/uploads/2019/07/POWEST-UPS-Hibrida-1KVA-12VDC.pdf>

Solartex. (2022). *Panel solar de 28 watts ZNSHINE doble vidrio Poli* . Obtenido de

<https://www.solartex.co/tienda/wp-content/uploads/2021/01/ZXP6-LD60-280P-PANEL-SOLAR-280-WATTS-POLICRISTALINO-ZNSHINE-SOLAR.pdf>

Suconota, C., & Arevalo, M. (2017). *Universidad de Cuenca Autoras*. Obtenido de Lola Malverde.

Wikimedia Commons. (2012). *File:Colombia - Magdalena - El Banco.svg*. Obtenido de

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Colombia\\_-\\_Magdalena\\_-\\_El\\_Banco.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Colombia_-_Magdalena_-_El_Banco.svg)

Wikimedia commons. (2020). *File:Colombia - Santander - Albania.svg*. Obtenido de

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Colombia\\_-\\_Santander\\_-\\_Albania.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Colombia_-_Santander_-_Albania.svg)

## Apéndices

### Apéndice A Solución ejemplo capítulo 3

#### 1. Solución mediante el método de tradicional por Kuyper Y Morales

- Lo primero que vamos a realizar es determinar el consumo medio diario teniendo en cuenta el rendimiento tanto de la batería como del inversor que es del 96%. Mediante la siguiente expresión:

$$L_{md} = \frac{L_{md,CC} + \frac{L_{md,CA}}{n_{inv}}}{n_{bat}}$$

$$L_{md} = \frac{\frac{1211.5}{0.96}}{0.96}$$

$$L_{md} = 1314.56 \text{ Wh}$$

- Una vez que el consumo diario es conocido, se procede a caracterizar y dimensionar de los componentes del SFV.

#### 1. Generador fotovoltaico

Para seleccionar el número de módulos fotovoltaicos que se deben instalar es necesario determinar los siguientes parámetros:

- 1) Horas solar pico (HPS): Para calcular este valor se utiliza la siguiente expresión:

$$HPS = I/G \quad [h]$$

$$HPS = 3550/1000$$

$$HPS = 3.55 \quad [h]$$

## DIMENSIONAMIENTO SFV AISLADOS: MÉTODOS Y HERRAMIENTAS

Donde:

I: Datos de irradiación = 3550 Wh/m<sup>2</sup>

G: Irradiancia en condiciones estándar de medida = 1000 W/m<sup>2</sup>

- 2) Energía generada por cada módulo: La energía que puede generar cada panel se calcula mediante:

$$E_p = P_{MPP} * HPS * PR$$

$$E_p = 275 * 3.55 * 0.168$$

$$E_p = 164.01$$

Donde:

$P_{MPP}$ : Potencia pico del módulo medida en condiciones estándar = 275 W

$PR$ : Eficiencia del módulo = 16.8%

- 3) Teniendo en cuenta las horas solar pico y la energía generada por cada módulo se procede a calcular el número total de módulos fotovoltaicos a partir de la siguiente expresión:

$$N_T = \frac{L_{md}}{E_p}$$

$$N_T = \frac{1314.56}{164.01}$$

$$N_T = 8$$

- 4) Conociendo el número total de los módulos fotovoltaicos y la tensión de la batería seleccionada se procede a calcular el número de módulos en serie mediante la siguiente expresión:

$$N_s = V_{bat}/V_{mod}$$

## DIMENSIONAMIENTO SFV AISLADOS: MÉTODOS Y HERRAMIENTAS

$$N_s = 48/31.2$$

$$N_s = \mathbf{1.54}$$

Que son aproximadamente 2 módulos en serie.

Donde:

$V_{bat}$ : Tensión de la batería seleccionada = 48 V

$V_{mod}$ : Tensión máxima nominal del módulo fotovoltaico = 31.2

- 5) Y finalmente se calcula cuantos módulos deben estar en paralelo con la siguiente expresión:

$$N_p = \frac{N_T}{N_S}$$

$$N_p = \frac{8}{2}$$

$$N_p = \mathbf{4}$$

Que son aproximadamente 4 módulos en paralelo.

## 2. Baterías

Para determinar el número de baterías es necesario calcular los siguientes parámetros:

- 1) La capacidad nominal estacional que se determina mediante la siguiente expresión:

$$C_{ne} = \frac{L_{md} * N}{P_{Dmax,e} * F_{CT}}$$

## DIMENSIONAMIENTO SFV AISLADOS: MÉTODOS Y HERRAMIENTAS

$$C_{ne} = \frac{1314.56 * 2}{0.005 * 1}$$

$$C_{ne} = 525824$$

Donde:

$P_{Dmax, e}$ : Profundidad de descarga estacional = 0.5 %

$F_{CT}$ : Factor de corrección de temperatura de la batería = 1

N: Días de autonomía = 2 días

- 2) La capacidad nominal que se determina mediante la siguiente expresión:

$$C_{nom} = \frac{C_{ne}}{V_{bat}} [Ah]$$

$$C_{nom} = \frac{525824}{48}$$

$$C_{nom} = 10954.7 Ah$$

- 3) Por último, el cálculo del número de baterías del sistema está dado por:

$$N_{bat} = C_{ne} / C_{nom}$$

$$N_{bat} = 525824 / 10954.7$$

$$N_{bat} = 50$$

### 3. Inversor

Para calcular la potencia del inversor se utiliza la siguiente expresión:

$$P_{inv} = M_{seg} * (P_{electroconpicos} * F_{arrq} + P_{electrosinpicos})$$

$$P_{inv} = 0.20 * ((75 + 175) * (1 + 6) + (28 + 60 + 12))$$

$$P_{inv} = 370 W$$

Donde:

$M_{seg}$ : Margen de seguridad 20 [%].

$P_{electroconpicos}$ : Potencia de aquellos electrodomésticos con picos de arranque [W].

$F_{arrq}$ : Factor de pico de arranque de los electrodomésticos que posee el motor.

$P_{electrosinpicos}$ : Potencia de aquellos electrodomésticos sin pico de arranque[W].

### 4. Regulador

Para calcular la corriente del regulador se utiliza la siguiente expresión:

$$I_{regulador} = M_{seg} * I_{sc} * N_p$$

$$I_{regulador} = 0.10 * 9.26 * 4$$

$$I_{regulador} = 3.704 A$$

## DIMENSIONAMIENTO SFV AISLADOS: MÉTODOS Y HERRAMIENTAS

Donde:

$M_{seg}$ : Margen de seguridad para evitar daños en el regulador 10 [%].

$I_{sc}$ : Corriente de cortocircuito del módulo fotovoltaico 9.26 A

$N_p$ : Número de ramas en paralelo.

## 2. Solución mediante el método del peor mes

Teniendo como referencia la Tabla 10 y algunos de los datos presentados a continuación, se realiza el desarrollo de este ejemplo mediante el método del peor mes.

### Cálculo del rendimiento de la instalación

En esto caso se asumen los siguientes valores para una temperatura de 20°C y baterías estacionarias tipo gel:

$P_d$ : 0.5 para las baterías de gel de manera que tengan 1400 ciclos de vida útil

$N$ : 2 días de autonomía.

$k_p$ : 0.15 el peor de los casos.

$k_c$ : 0.04 ya que se asume una eficiencia del inversor de 96%.

$k_a$ : 0.005 para baterías estacionarias tipo gel.

$k_b$ : 0.05 no hay descargas intensas.

## DIMENSIONAMIENTO SFV AISLADOS: MÉTODOS Y HERRAMIENTAS

### **Cálculo del acumulador o banco de baterías.**

Para este caso se toman los siguientes valores asumiendo una temperatura de 20°C y baterías de gel:

$E$ : 1.948 kWh/día

$N$ : 2 días de autonomía.

$k_t$ : 1

$V_b$ : 48 Vdc y 24 V

$P_d$ : 0.5 W

### **Cálculo de la potencia en paneles**

Por medio de la base de datos NASA POWER se toman los datos solicitados para una ubicación en la zona rural del municipio de Girón en el departamento de Santander, en este caso se estima cero afectaciones por sombras. En la base de datos NASA POWER, se obtuvieron para un promedio climatológico solar de 22 años (Jul 1983 – Jun 2005) y un promedio meteorológico de 30 años (Ene 1984 – Dic 2013) [18]. Estos datos se muestran en la Tabla 33.

## DIMENSIONAMIENTO SFV AISLADOS: MÉTODOS Y HERRAMIENTAS

Tabla 33

*Irradiancia promedio*

	<b>GHd (kWh/ /día)</b>	<b>Mínima diferencia mensual</b>	<b>Peor GHd (kWh/ /día)</b>
<b>Enero</b>	5.34	-12%	4.70
<b>Febrero</b>	5.34	-13%	4.65
<b>Marzo</b>	5.28	-12%	4.65
<b>Abril</b>	4.96	-15%	4.22
<b>Mayo</b>	5.01	-10%	4.51
<b>Junio</b>	5.16	-8%	4.75
<b>Julio</b>	5.57	-7%	5.18
<b>Agosto</b>	5.55	-15%	4.72
<b>Septiembre</b>	5.27	-10%	4.74
<b>Octubre</b>	4.08	-13%	3.55
<b>Noviembre</b>	4.72	-8%	4.34
<b>Diciembre</b>	4.86	-12%	4.28

Nota: Adaptado de (NASA Prediction of Worldwide Energy Resource, 2008)

**Factor K:** Es un factor de corrección por la ubicación del sistema en una latitud específica y con una inclinación dada al panel, normalmente está en tablas ya previamente calculadas, para nuestro caso la latitud del sistema se ubica en 7° Norte y la inclinación que le daremos a nuestros paneles es de 10 grados para permitir el auto lavado.

$$K = 1.04$$

## DIMENSIONAMIENTO SFV AISLADOS: MÉTODOS Y HERRAMIENTAS

Tabla 34

Solución del ejemplo mediante el método del peor mes

Paso	Parámetro calculado	Ecuación	Observaciones
Consumo diario	Cargas en DC y AC		Ver Tabla 11
Energía teórica requerida	Energía requerida en AC y DC	$E_t = 1.451 \text{ kWh/día}$	
Rendimiento de la instalación		$R = 0.7448$	En este caso se asumen valores para una temperatura de 20°C y baterías estacionarias tipo gel.
Energía real requerida		$E = 1.948 \text{ [kWh/día]}$	
Acumulador	Banco de baterías	Para 48 V: $C = 162.333 \text{ AH}$ Para 24 V: $C = 324.667 \text{ AH}$	Para este caso se toman los valores asumiendo una temperatura de 20°C y baterías de gel.
		$GH = 3.55$ $HS = 3.877$	Ver Tabla 33

	$KWh/m^2$	$horas/día$	
		$/día$	
Potencia en paneles			La latitud del sistema se ubica en 7° Norte y la inclinación que le daremos a nuestros paneles es de 10 grados para permitir el auto lavado.
			En base a los cálculos realizados anteriormente, se requiere un arreglo de paneles de una potencia mínima de 502.45 Wp (Espitia, 2020).
Horas solar pico	$K = 1.04$		
Potencia requerida		$Pp = 502.45 Wp$	

### 3. Solución mediante el método de balance de energías

Este método cumple con los mismos pasos del método anterior, la diferencia radica en que en este método el diseñador puede tener la opción de “negociar” de manera coherente con las necesidades del cliente y determinar parámetros como: la Irradiación Global horizontal a usar, la

## DIMENSIONAMIENTO SFV AISLADOS: MÉTODOS Y HERRAMIENTAS

autonomía del sistema y la profundidad de descarga, que de manera coherente puede dimensionar el banco de baterías o el arreglo de paneles de manera más flexible. No obstante, el cliente debe poseer la decisión de cuáles aspectos quiere negociar y cuáles no, de manera que siempre se debe procurar que el sistema le sea operativo y óptimo la mayor cantidad del tiempo durante el año y las afectaciones sean mínimas de manera mensual (Espitia, 2020).

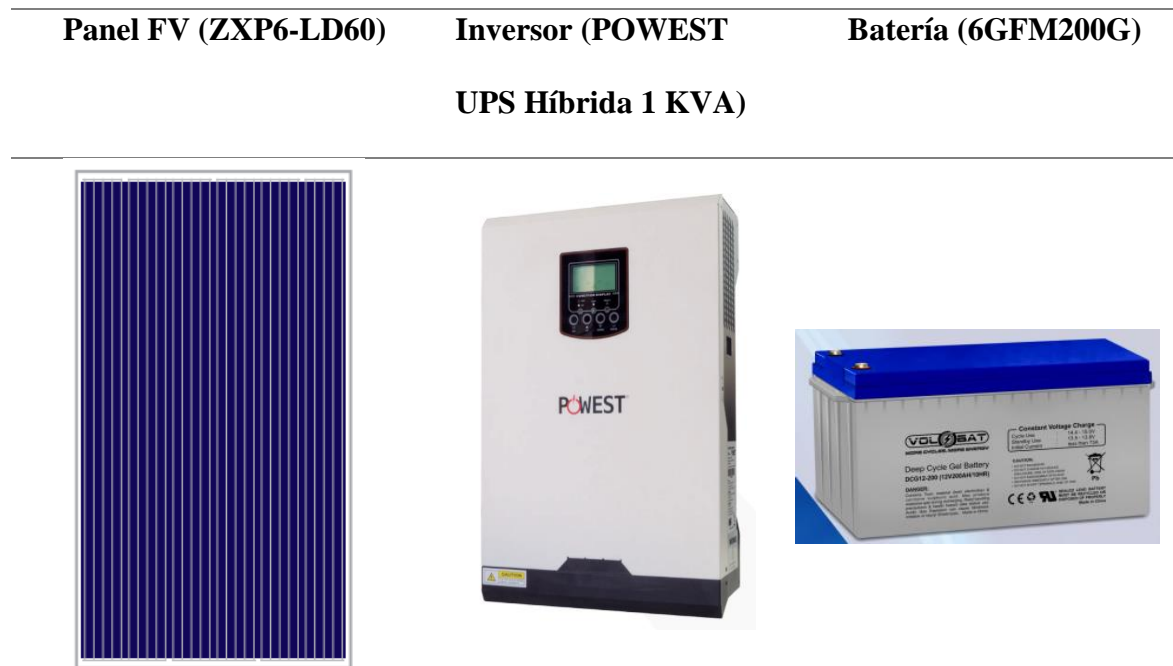
## DIMENSIONAMIENTO SFV AISLADOS: MÉTODOS Y HERRAMIENTAS

### Apéndice B Componentes seleccionados en el dimensionamiento

#### 1. Caso 1 de estudio (Albania-Santander)

**Figura 10**

*Componentes seleccionados para el dimensionamiento del caso 1*



Nota: Construido con información extraída de (Solartex, 2020)

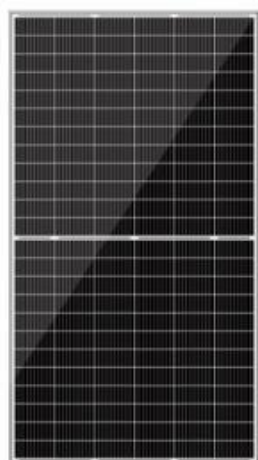
#### 2. Caso 2 de estudio (El banco-magdalena)

**Figura 11**

*Componentes seleccionados para el dimensionamiento del caso 2*

## DIMENSIONAMIENTO SFV AISLADOS: MÉTODOS Y HERRAMIENTAS

<b>Panel FV (450W 24V</b>	<b>Inversor (Growatt SPF</b>	<b>Batería (GEL 12V</b>
<b>Monocristalino PERC</b>	<b>3000W 24V 80A LVM)</b>	<b>300Ah Tensite)</b>
<b>EcoGreen)</b>		



Nota: Construido con información extraída de (Autosolar, 2020)

## Apéndice C PV\*SOL

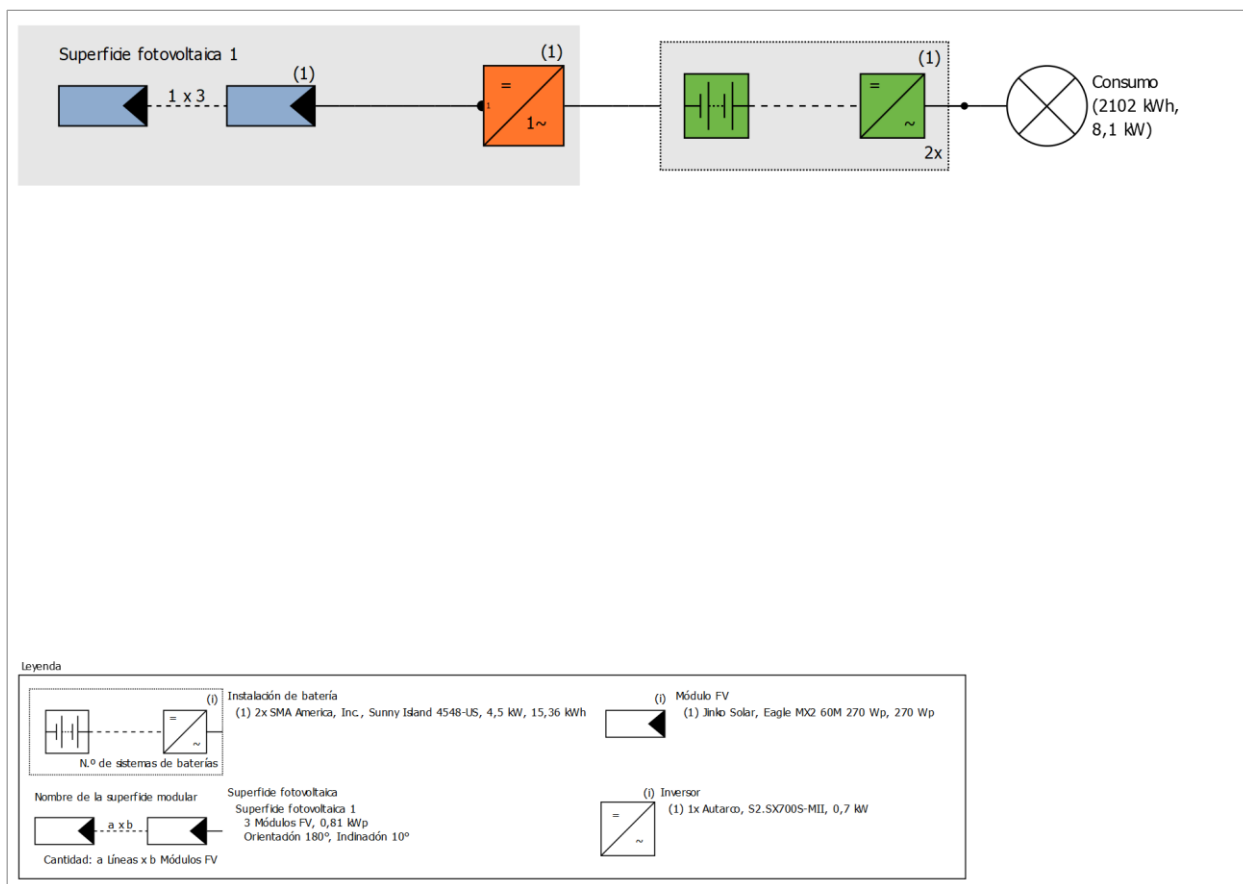
### Vista general del proyecto Caso 1

#### Instalación FV

##### Sistema FV autónomo

Datos climáticos	Albania, COL (1996 - 2015)
Fuente de los valores	Meteonorm 8.1(i)
Potencia generador FV	0,81 kWp
Superficie generador FV	4,9 m <sup>2</sup>
Número de módulos FV	3
Número de inversores	1
Número de inversores de baterías	2
Número de baterías	3

## DIMENSIONAMIENTO SFV AISLADOS: MÉTODOS Y HERRAMIENTAS



## Pronóstico rendim.

## Pronóstico rendim.

Potencia generador FV	0,81 kWp
Rendimiento anual espec.	1.565,83 kWh/kWp
Coefficiente de rendimiento de la instalación (PR)	80,00 %
Máxima energía fotovoltaica posible	1.273 kWh/Año
Energía FV utilizable	1.273 kWh/Año
Cobertura del consumo	87 kWh/Año
Carga de baterías	1.186 kWh/Año
Fracción de cobertura solar	100,0 %
Eficiencia del sistema	49,8 %
Emisiones de CO <sub>2</sub> evitadas	228 kg / año

## DIMENSIONAMIENTO SFV AISLADOS: MÉTODOS Y HERRAMIENTAS

## Evaluación económica

## Su beneficio

Costes totales de inversión	0 \$
Tasa interna de retorno (TIR)	0,00 %
Duración amortización	0,0 Años
Costes de producción de energía	0 \$/kWh
Costes específicos	0 \$/kWh

Los resultados han sido calculados mediante un modelo de cálculo matemático de la empresa Valentin Software GmbH (algoritmos PV\*SOL). Los resultados reales de la instalación fotovoltaica pueden mostrar variaciones debido a las variaciones meteorológicas, curvas de eficiencia de los módulos o de inversores así como a otras causas.

## Disposición de la instalación

### Resumen

#### Datos del sistema

Tipo de instalación	Sistema FV autónomo
---------------------	---------------------

#### Datos climáticos

Ubicación	Albania, COL (1996 - 2015)
-----------	----------------------------

Fuente de los valores	Meteonorm 8.1(i)
-----------------------	------------------

Resolución de los datos	1 min
-------------------------	-------

#### Modelos de simulación utilizados:

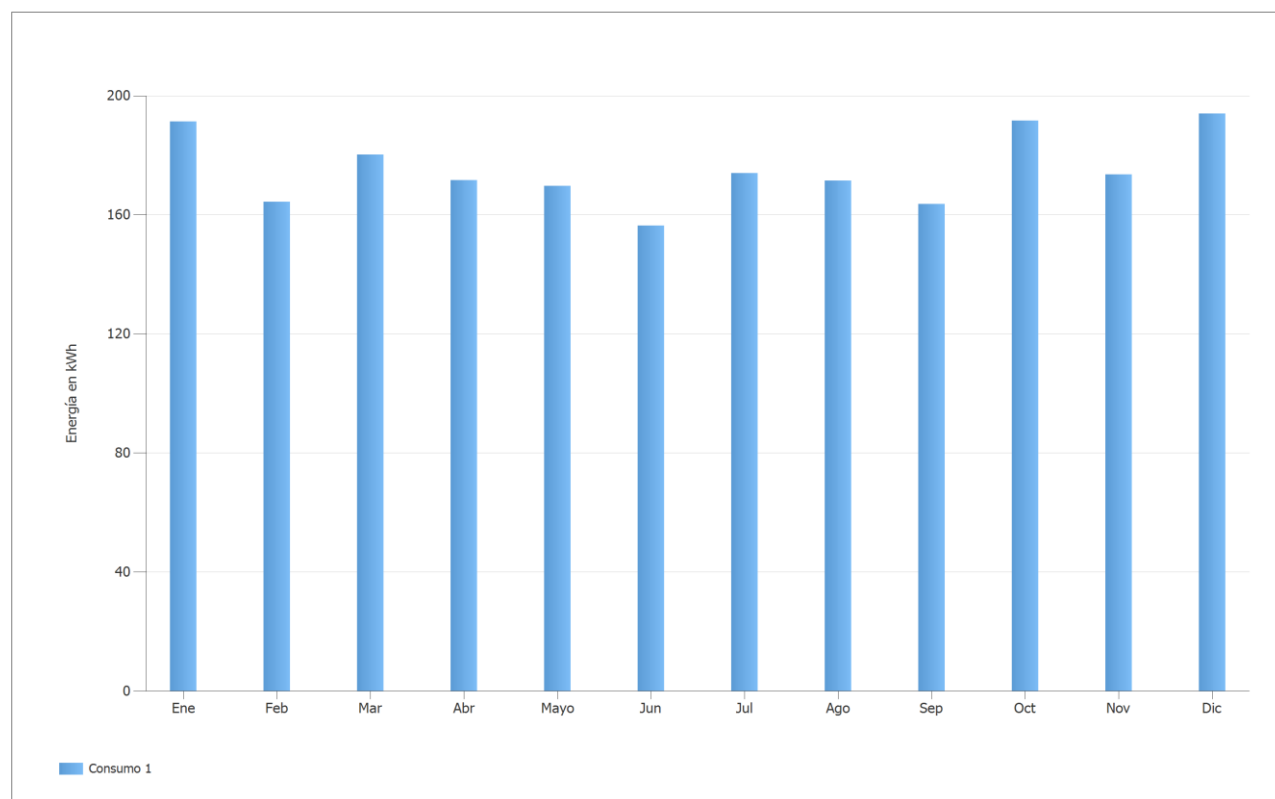
- Radiación difusa sobre la horizontal	Hofmann
- Radiación sobre superficie inclinada	Hay & Davies

#### Consumo

Consumo total	2102 kWh
---------------	----------

Residencia de una sola persona	2102 kWh
--------------------------------	----------

Pico de carga	8,1 kW
---------------	--------



## DIMENSIONAMIENTO SFV AISLADOS: MÉTODOS Y HERRAMIENTAS

### Superficies de módulos

#### 1. Superficie fotovoltaica - Superficie fotovoltaica 1

##### Generador FV, 1. Superficie fotovoltaica - Superficie fotovoltaica 1

Nombre	Superficie fotovoltaica 1
Módulos FV	3 x Eagle MX2 60M 270 Wp (v1)
Fabricante	Jinko Solar
Inclinación	10 °
Orientación	Sur 180 °
Situación de montaje	Paralelo a la cubierta
Superficie generador FV	4,9 m <sup>2</sup>

### Conexión del inversor

#### Conexión 1

Superficie fotovoltaica	Superficie fotovoltaica 1
Inversor 1	
Modelo	S2.SX700S-MII (v1)
Fabricante	Autarco
Cantidad	1
Factor de dimensionamiento	115,7 %
Conexión	MPP 1: 1 x 3

### Red de CA

#### Red de CA

Número de fases	1
Tensión de red entre fase y neutro	120 V
Factor de desfase (cos phi)	+/- 1

### Sistema FV autónomo

#### Generador adicional

Modelo	8.83 kW - 230/400 V - 3p (v2)
Fabricante	Example
Potencia continua	8,83 kW

## DIMENSIONAMIENTO SFV AISLADOS: MÉTODOS Y HERRAMIENTAS

### Inversor de baterías y Batería

Potencia total	10,6 kW
Energía total de la batería	15,4 kWh
Tiempo d'autonomía	2,1 Días
<b>Cluster 1</b>	
Potencia	10,6 kW
<b>Inversor de baterías</b>	
Modelo	Sunny Island 4548-US (v1)
Fabricante	SMA America, Inc.
Cantidad	2
<b>Batería</b>	
Modelo	LiFeSTORE (v1)
Fabricante	Assistec
Cantidad	3 (1 x 3)
Tipo de batería	Fosfato de hierro y litio

## Resultados de simulación

### Resultados Sistema completo

#### Instalación FV

Potencia generador FV	0,81 kWp
Rendimiento anual espec.	1.565,83 kWh/kWp
Coeficiente de rendimiento de la instalación (PR)	80,00 %
Máxima energía fotovoltaica posible	1.273 kWh/Año
Energía FV utilizable	1.273 kWh/Año
Cobertura del consumo	87 kWh/Año
Carga de baterías	1.186 kWh/Año

Energía FV utilizable



■ Cobertura del consumo  
■ Carga de baterías

#### Consumidores

Consumo	2.102 kWh/Año
Consumo con desconexión de carga	633 kWh/Año
Consumo Standby (Inversor)	5 kWh/Año
Pérdida de cables	32 kWh/Año
Consumo total	670 kWh/Año
cubierto mediante energía fotovoltaica	87 kWh/Año
cubierto mediante batería	583 kWh/Año
Fracción de cobertura solar	100,0 %

Consumo total



■ cubierto mediante energía fotovoltaica  
■ cubierto mediante batería

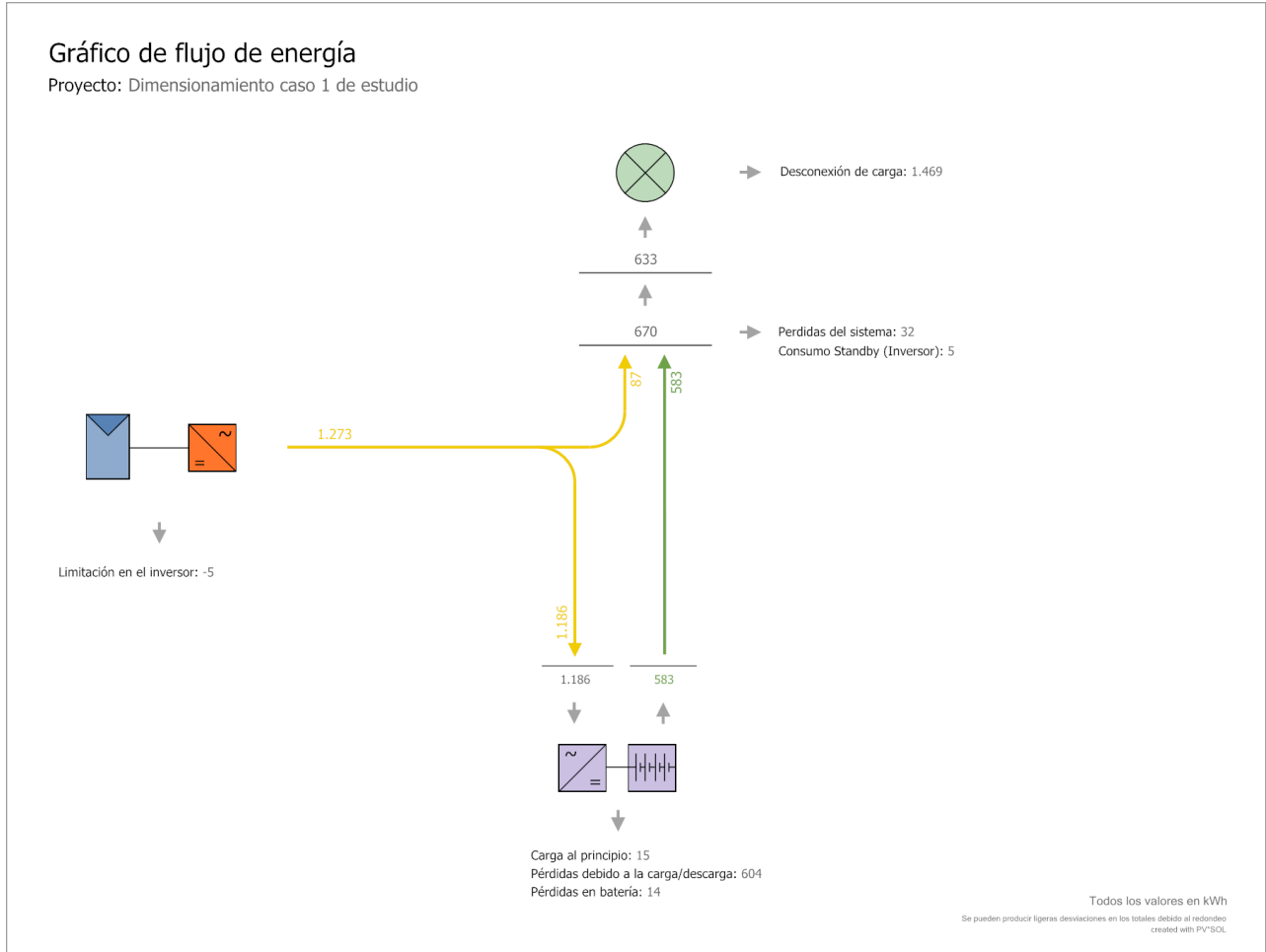
#### Instalación de batería

Recarga de baterías	1.186 kWh/Año
Cobertura del consumo mediante sistema de baterías	583 kWh/Año
Pérdidas debido a la carga/descarga	604 kWh/Año
Pérdidas en batería	14 kWh/Año
Carga de ciclos 1	1,4 %
Vida útil 1	>20 Años

#### Sistema completo

Eficiencia del sistema	49,8 %
Emisiones de CO <sub>2</sub> evitadas	228 kg / año

DIMENSIONAMIENTO SFV AISLADOS: MÉTODOS Y HERRAMIENTAS



8 Figura: Flujo de energía

## Análisis de rentabilidad

### Resumen

#### Datos del sistema

Periodo de consideración	20 Años
--------------------------	---------

#### Número de componentes de instalación

Número de módulos FV	3
Número de inversores	1
Número de inversores de baterías	2
Número de baterías	3

#### Análisis de rentabilidad

Total de los costes de inversión	0 \$
Costes específicos	0 \$/kWh



## DIMENSIONAMIENTO SFV AISLADOS: MÉTODOS Y HERRAMIENTAS

## Lista de piezas

## Lista de piezas

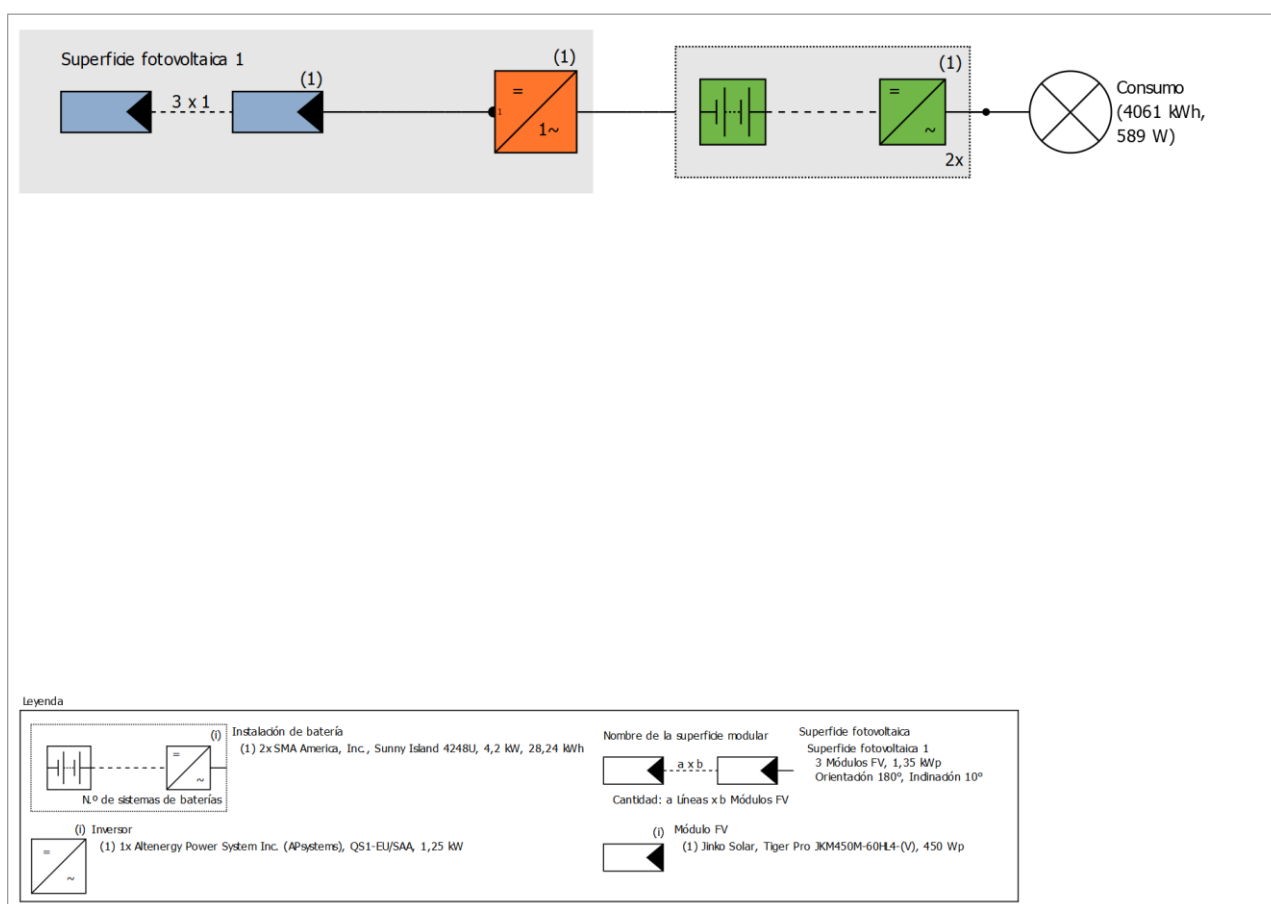
#	Tipo	Número de artículo	Fabricante	Nombre	Cantidad	Unidad
1	Módulo FV		Jinko Solar	Eagle MX2 60M 270 Wp	3	Pieza
2	Inversor		Autarco	S2.SX700S-MII	1	Pieza
3	Inversor de baterías		SMA America, Inc.	Sunny Island 4548-US	2	Pieza
4	Batería		Assistec	LiFeSTORE	3	Pieza

## Vista general del proyecto Caso 2

### Instalación FV

#### Sistema FV autónomo

Datos climáticos	El Banco, COL (1996 - 2015)
Fuente de los valores	Meteonorm 8.1(i)
Potencia generador FV	1,35 kWp
Superficie generador FV	6,5 m <sup>2</sup>
Número de módulos FV	3
Número de inversores	1
Número de inversores de baterías	2
Número de baterías	3



## DIMENSIONAMIENTO SFV AISLADOS: MÉTODOS Y HERRAMIENTAS

### Pronóstico rendim.

#### Pronóstico rendim.

Potencia generador FV	1,35 kWp
Rendimiento anual espec.	1.620,26 kWh/kWp
Coeficiente de rendimiento de la instalación (PR)	81,91 %
Máxima energía fotovoltaica posible	2.187 kWh/Año
Energía FV utilizable	2.187 kWh/Año
Cobertura del consumo	418 kWh/Año
Carga de baterías	1.769 kWh/Año
Fracción de cobertura solar	100,0 %
Eficiencia del sistema	73,2 %
Emisiones de CO <sub>2</sub> evitadas	588 kg / año

### Evaluación económica

#### Su beneficio

Costes totales de inversión	0 \$
Tasa interna de retorno (TIR)	0,00 %
Duración amortización	0,0 Años
Costes de producción de energía	0 \$/kWh
Costes específicos	0 \$/kWh

Los resultados han sido calculados mediante un modelo de cálculo matemático de la empresa Valentin Software GmbH (algoritmos PV\*SOL). Los resultados reales de la instalación fotovoltaica pueden mostrar variaciones debido a las variaciones meteorológicas, curvas de eficiencia de los módulos o de inversores así como a otras causas.

## Disposición de la instalación

### Resumen

#### Datos del sistema

Tipo de instalación	Sistema FV autónomo
---------------------	---------------------

#### Datos climáticos

Ubicación	El Banco, COL (1996 - 2015)
-----------	-----------------------------

Fuente de los valores	Meteonorm 8.1(i)
-----------------------	------------------

Resolución de los datos	1 h
-------------------------	-----

#### Modelos de simulación utilizados:

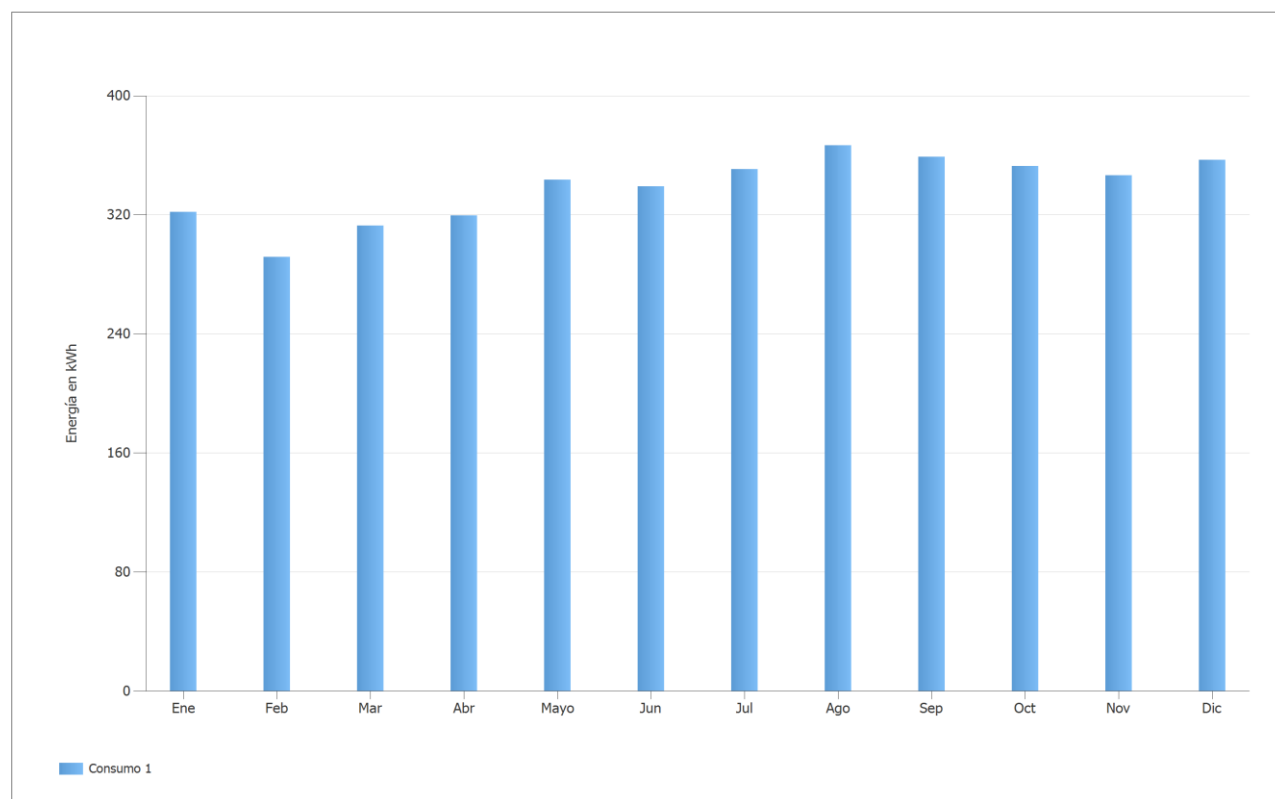
- Radiación difusa sobre la horizontal	Hofmann
- Radiación sobre superficie inclinada	Hay & Davies

#### Consumo

Consumo total	4061 kWh
---------------	----------

Colombia Caribe	4061 kWh
-----------------	----------

Pico de carga	0,6 kW
---------------	--------



## DIMENSIONAMIENTO SFV AISLADOS: MÉTODOS Y HERRAMIENTAS

### Superficies de módulos

#### 1. Superficie fotovoltaica - Superficie fotovoltaica 1

##### Generador FV, 1. Superficie fotovoltaica - Superficie fotovoltaica 1

Nombre	Superficie fotovoltaica 1
Módulos FV	3 x Tiger Pro JKM450M-60HL4-(V) (v3)
Fabricante	Jinko Solar
Inclinación	10 °
Orientación	Sur 180 °
Situación de montaje	Paralelo a la cubierta
Superficie generador FV	6,5 m <sup>2</sup>

### Conexión del inversor

#### Conexión 1

Superficie fotovoltaica	Superficie fotovoltaica 1
Inversor 1	
Modelo	QS1-EU/SAA (v1)
Fabricante	Altenenergy Power System Inc. (APsystems)
Cantidad	1
Factor de dimensionamiento	108 %
Conexión	MPP 1+2+3+4: 3 x 1

### Red de CA

#### Red de CA

Número de fases	2
Tensión de red entre fase y neutro	120 V
Factor de desfase (cos phi)	+/- 1

### Sistema FV autónomo

#### Generador adicional

Modelo	8.83 kW - 230/400 V - 3p (v2)
Fabricante	Example
Potencia continua	8,83 kW

## DIMENSIONAMIENTO SFV AISLADOS: MÉTODOS Y HERRAMIENTAS

### Inversor de baterías y Batería

Potencia total	10,8 kW
Energía total de la batería	28,2 kWh
Tiempo d'autonomía	2 Días
<b>Cluster 1</b>	
Potencia	10,8 kW
<b>Inversor de baterías</b>	
Modelo	Sunny Island 4248U (v1)
Fabricante	SMA America, Inc.
Cantidad	2
<b>Batería</b>	
Modelo	SRB4093 (v1)
Fabricante	ads-tec GmbH
Cantidad	3 (1 x 3)
Tipo de batería	Litio-níquel-manganeso-cobalto- óxido/grafito

## Resultados de simulación

### Resultados Sistema completo

#### Instalación FV

Potencia generador FV	1,35 kWp
Rendimiento anual espec.	1.620,26 kWh/kWp
Coeficiente de rendimiento de la instalación (PR)	81,91 %
Máxima energía fotovoltaica posible	2.187 kWh/Año
Energía FV utilizable	2.187 kWh/Año
Cobertura del consumo	418 kWh/Año
Carga de baterías	1.769 kWh/Año

Energía FV utilizable



■ Cobertura del consumo  
■ Carga de baterías

#### Consumidores

Consumo	4.061 kWh/Año
Consumo con desconexión de carga	1.601 kWh/Año
Consumo Standby (Inversor)	0 kWh/Año
Pérdida de cables	80 kWh/Año
Consumo total	1.682 kWh/Año
cubierto mediante energía fotovoltaica	418 kWh/Año
cubierto mediante batería	1.263 kWh/Año
Fracción de cobertura solar	100,0 %

Consumo total



■ cubierto mediante energía fotovoltaica  
■ cubierto mediante batería

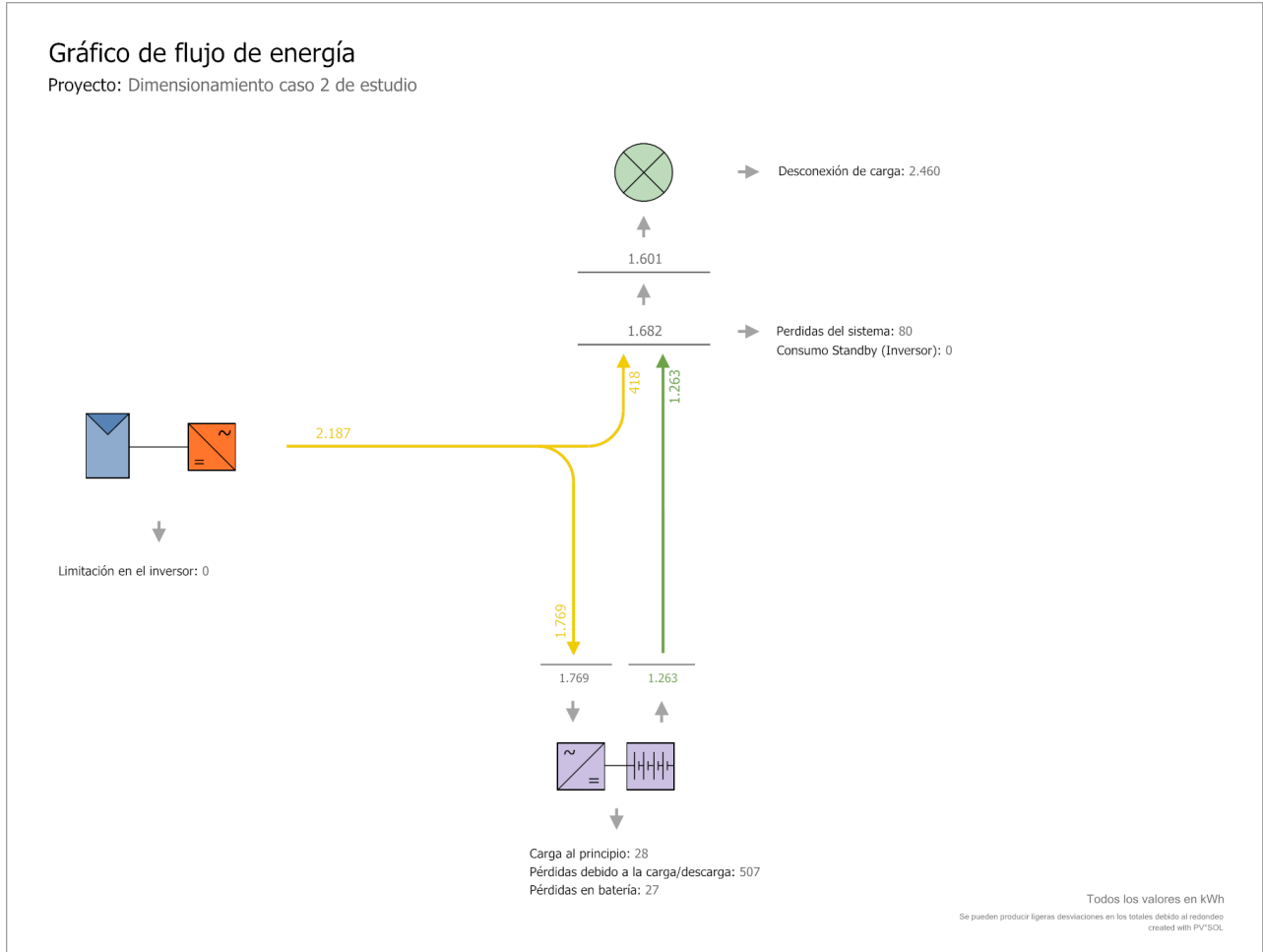
#### Instalación de batería

Recarga de baterías	1.769 kWh/Año
Cobertura del consumo mediante sistema de baterías	1.263 kWh/Año
Pérdidas debido a la carga/descarga	507 kWh/Año
Pérdidas en batería	27 kWh/Año
Carga de ciclos 1	0,5 %
Vida útil 1	>20 Años

#### Sistema completo

Eficiencia del sistema	73,2 %
Emisiones de CO <sub>2</sub> evitadas	588 kg / año

DIMENSIONAMIENTO SFV AISLADOS: MÉTODOS Y HERRAMIENTAS



## Análisis de rentabilidad

### Resumen

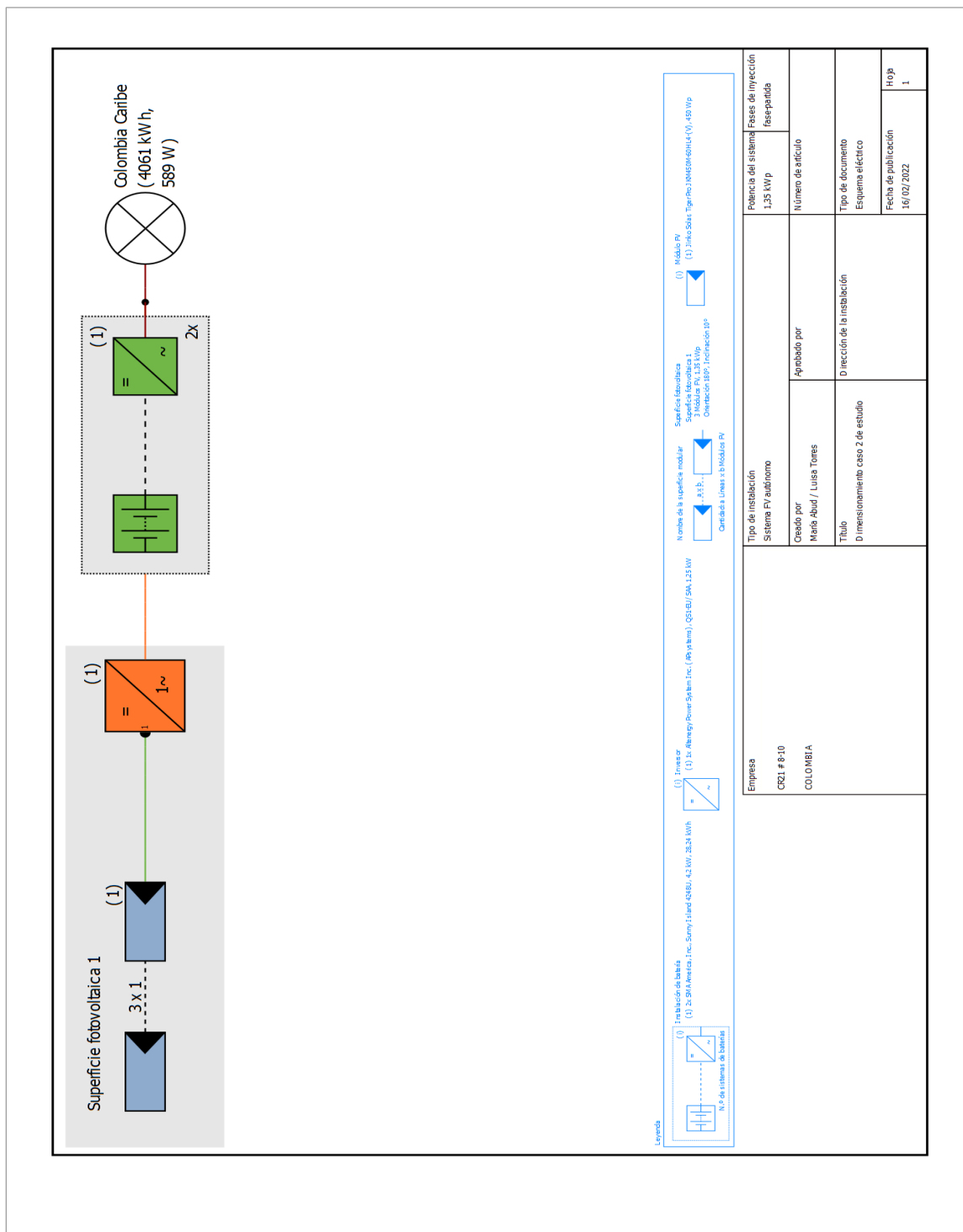
#### Datos del sistema

Periodo de consideración	20 Años
<b>Número de componentes de instalación</b>	
Número de módulos FV	3
Número de inversores	1
Número de inversores de baterías	2
Número de baterías	3
<b>Análisis de rentabilidad</b>	
Total de los costes de inversión	0 \$
Costes específicos	0 \$/kWh

DIMENSIONAMIENTO SFV AISLADOS: MÉTODOS Y HERRAMIENTAS

Planos y listado de piezas

Esquema eléctrico



## DIMENSIONAMIENTO SFV AISLADOS: MÉTODOS Y HERRAMIENTAS

## Lista de piezas

## Lista de piezas

#	Tipo	Número de artículo	Fabricante	Nombre	Cantidad	Unidad
1	Módulo FV		Jinko Solar	Tiger Pro JKM450M-60HL4-(V)	3	Pieza
2	Inversor		Altenergy Power System Inc. (APsystems)	QS1-EU/SAA	1	Pieza
3	Inversor de baterías		SMA America, Inc.	Sunny Island 4248U	2	Pieza
4	Batería		ads-tec GmbH	SRB4093	3	Pieza

## Apéndice D PVsyst

# PVsyst - Simulation report

## Stand alone system

Project: Caso Albania - Santander

Variant: Nueva variante de simulación

Stand alone system with batteries

System power: 510 Wp

Albania - Colombia



**PVsyst V7.2.11**

VCO, Simulation date:  
13/02/22 14:49  
with v7.2.11

**Project summary**

<b>Geographical Site</b> Albania Colombia	<b>Situation</b> Latitude 5.76 °N Longitude -73.91 °W Altitude 1650 m Time zone UTC-5	<b>Project settings</b> Albedo 0.20
<b>Meteo data</b> Albania Meteonorm 8.0 (2010-2014), Sat=100% - Sintético		

**System summary**

<b>Stand alone system</b>	<b>Stand alone system with batteries</b>	
<b>PV Field Orientation</b> Fixed plane Tilt/Azimuth 10 / 20 °	<b>User's needs</b> Daily profile Constant over the year Average 2.1 kWh/Day	
<b>System information</b>	<b>Battery pack</b>	
<b>PV Array</b> Nb. of modules 2 units Pnom total 510 Wp	Technology Lead-acid, sealed, Gel Nb. of units 2 units Voltage 12 V Capacity 400 Ah	

**Results summary**

Available Energy 737.6 kWh/year	Specific production 1446 kWh/kWp/year	Perf. Ratio PR 72.30 %
Used Energy 681.7 kWh/year		Solar Fraction SF 88.86 %

**Table of contents**

Project and results summary	2
General parameters, PV Array Characteristics, System losses	3
Detailed User's needs	5
Main results	6
Loss diagram	7
Special graphs	8

**PVsyst V7.2.11**

VCO, Simulation date:  
13/02/22 14:49  
with v7.2.11

**General parameters****Stand alone system****PV Field Orientation****Orientation**

Fixed plane  
Tilt/Azimuth 10 / 20 °

**User's needs**

Daily profile  
Constant over the year  
Average 2.1 kWh/Day

**Stand alone system with batteries****Sheds configuration**

No 3D scene defined

**Models used**

Transposition Perez  
Diffuse Perez, Meteonorm  
Circumsolar separate

Hourly load	0 h	1 h	2 h	3 h	4 h	5 h	6 h	7 h	8 h	9 h	10 h	11 h	W
	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	50.0	40.0	40.0	52.0	40.0	
	12 h	13 h	14 h	15 h	16 h	17 h	18 h	19 h	20 h	21 h	22 h	23 h	W
	155.0	155.0	40.0	40.0	40.0	355.0	355.0	165.0	165.0	50.0	40.0	40.0	

**PV Array Characteristics****PV module**

Manufacturer Generic  
Model AP 60-255  
(Original PVsyst database)  
Unit Nom. Power 255 Wp  
Number of PV modules 2 units  
Nominal (STC) 510 Wp  
Modules 2 Strings x 1 In series

**At operating cond. (50°C)**

Pmpp 455 Wp  
U mpp 27 V  
I mpp 17 A

**Controller**

Universal controller  
Technology MPPT converter  
Temp coeff. -5.0 mV/°C/Elem.

**Converter**

Maxi and EURO efficiencies 97.0 / 95.0 %

**Total PV power**

Nominal (STC) 1 kWp  
Total 2 modules  
Module area 3.3 m<sup>2</sup>

**Battery**

Manufacturer Generic  
Model AcmeG 12V 200  
Technology Lead-acid, sealed, Gel  
Nb. of units 2 in parallel  
Discharging min. SOC 20.0 %  
Stored energy 4.0 kWh

**Battery Pack Characteristics**

Voltage 12 V  
Nominal Capacity 400 Ah (C10)  
Temperature Fixed 20 °C

**Battery Management control**

Threshold commands as SOC calculation  
Charging SOC = 0.90 / 0.75  
approx. 13.4 / 12.7 V  
Discharging SOC = 0.20 / 0.45  
approx. 11.8 / 12.3 V

**Array losses****Thermal Loss factor**

Module temperature according to irradiance  
Uc (const) 20.0 W/m<sup>2</sup>K  
Uv (wind) 0.0 W/m<sup>2</sup>K/m/s

**Module Quality Loss**

Loss Fraction -0.8 %

**DC wiring losses**

Global array res. 27 mΩ  
Loss Fraction 1.5 % at STC

**Module mismatch losses**

Loss Fraction 2.0 % at MPP

**Series Diode Loss**

Voltage drop 0.7 V  
Loss Fraction 2.3 % at STC

**Strings Mismatch loss**

Loss Fraction 0.1 %



**PVsyst V7.2.11**

VC0, Simulation date:  
13/02/22 14:49  
with v7.2.11

**Array losses**

**IAM loss factor**

ASHRAE Param:  $IAM = 1 - bo(1/\cos i - 1)$

bo Param. 0.05

*PVsyst TRIAL*

*PVsyst TRIAL*

*PVsyst TRIAL*

*PVsyst TRIAL*



**PVsyst V7.2.11**

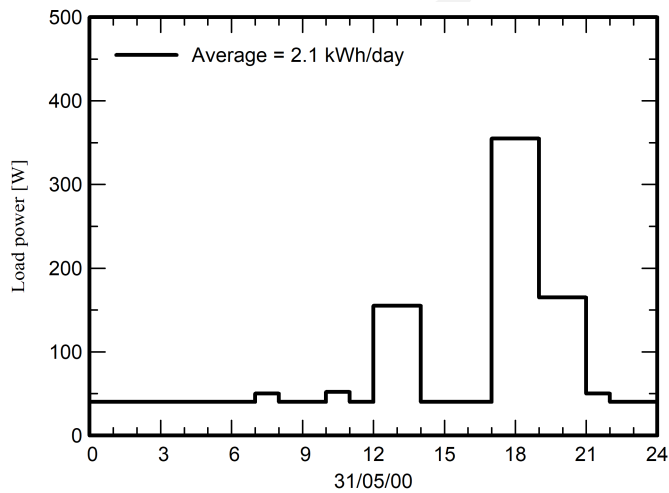
VCO, Simulation date:  
13/02/22 14:49  
with v7.2.11

**Detailed User's needs**

Daily profile, Constant over the year, average = 2.1 kWh/day

Hourly load	0 h	1 h	2 h	3 h	4 h	5 h	6 h	7 h	8 h	9 h	10 h	11 h	
	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	50.0	40.0	40.0	52.0	40.0	W
	12 h	13 h	14 h	15 h	16 h	17 h	18 h	19 h	20 h	21 h	22 h	23 h	W
	155.0	155.0	40.0	40.0	40.0	355.0	355.0	165.0	165.0	50.0	40.0	40.0	W

**Daily profile**





**PVsyst V7.2.11**

VC0, Simulation date:  
13/02/22 14:49  
with v7.2.11

**Main results**

**System Production**

Available Energy 737.6 kWh/year  
Used Energy 681.7 kWh/year  
Excess (unused) 20.9 kWh/year

Specific production 1446 kWh/kWp/year  
Performance Ratio PR 72.30 %  
Solar Fraction SF 88.86 %

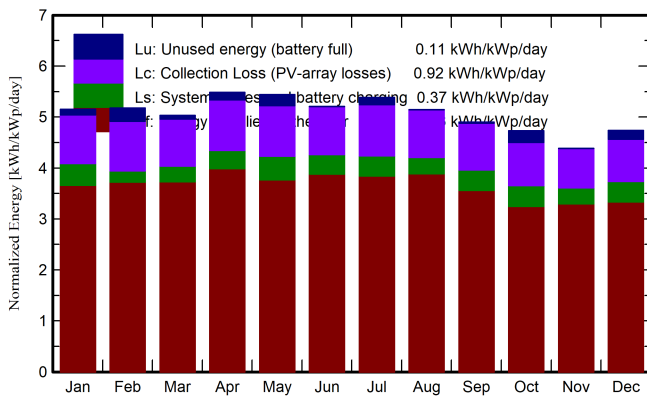
**Loss of Load**

Time Fraction 13.3 %  
Missing Energy 85.5 kWh/year

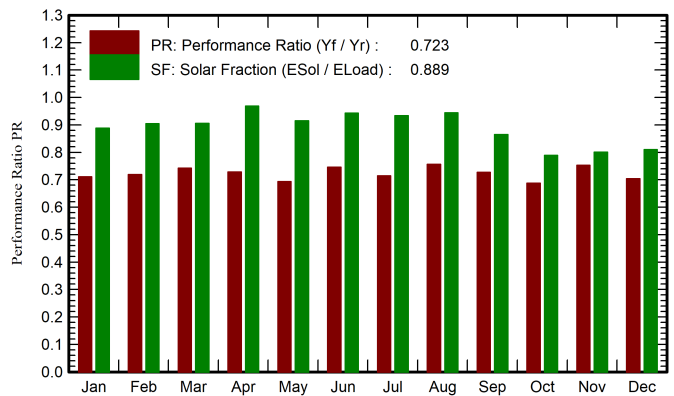
**Battery aging (State of Wear)**

Cycles SOW 90.4 %  
Static SOW 91.7 %

**Normalized productions (per installed kWp)**



**Performance Ratio PR**



**Balances and main results**

	GlobHor kWh/m <sup>2</sup>	GlobEff kWh/m <sup>2</sup>	E_Avail kWh	EUnused kWh	E_Miss kWh	E_User kWh	E_Load kWh	SoIFrac ratio
January	150.2	155.4	63.54	1.735	7.26	57.91	65.16	0.889
February	139.1	141.2	57.57	3.705	5.65	53.21	58.86	0.904
March	154.3	151.6	62.11	1.132	6.12	59.04	65.16	0.906
April	169.0	159.4	65.86	2.185	1.98	61.08	63.06	0.969
May	177.9	163.4	67.30	3.305	5.55	59.61	65.16	0.915
June	168.0	150.8	62.52	0.078	3.64	59.42	63.06	0.942
July	179.5	160.9	66.22	2.179	4.37	60.80	65.16	0.933
August	166.4	154.0	63.63	0.000	3.64	61.52	65.16	0.944
September	148.9	142.9	58.16	0.296	8.56	54.50	63.06	0.864
October	144.1	142.4	58.76	3.523	13.78	51.38	65.16	0.789
November	125.9	127.5	52.75	0.000	12.57	50.49	63.06	0.801
December	137.4	142.8	59.19	2.745	12.39	52.77	65.16	0.810
<b>Year</b>	<b>1860.6</b>	<b>1792.2</b>	<b>737.62</b>	<b>20.881</b>	<b>85.48</b>	<b>681.75</b>	<b>767.23</b>	<b>0.889</b>

**Legends**

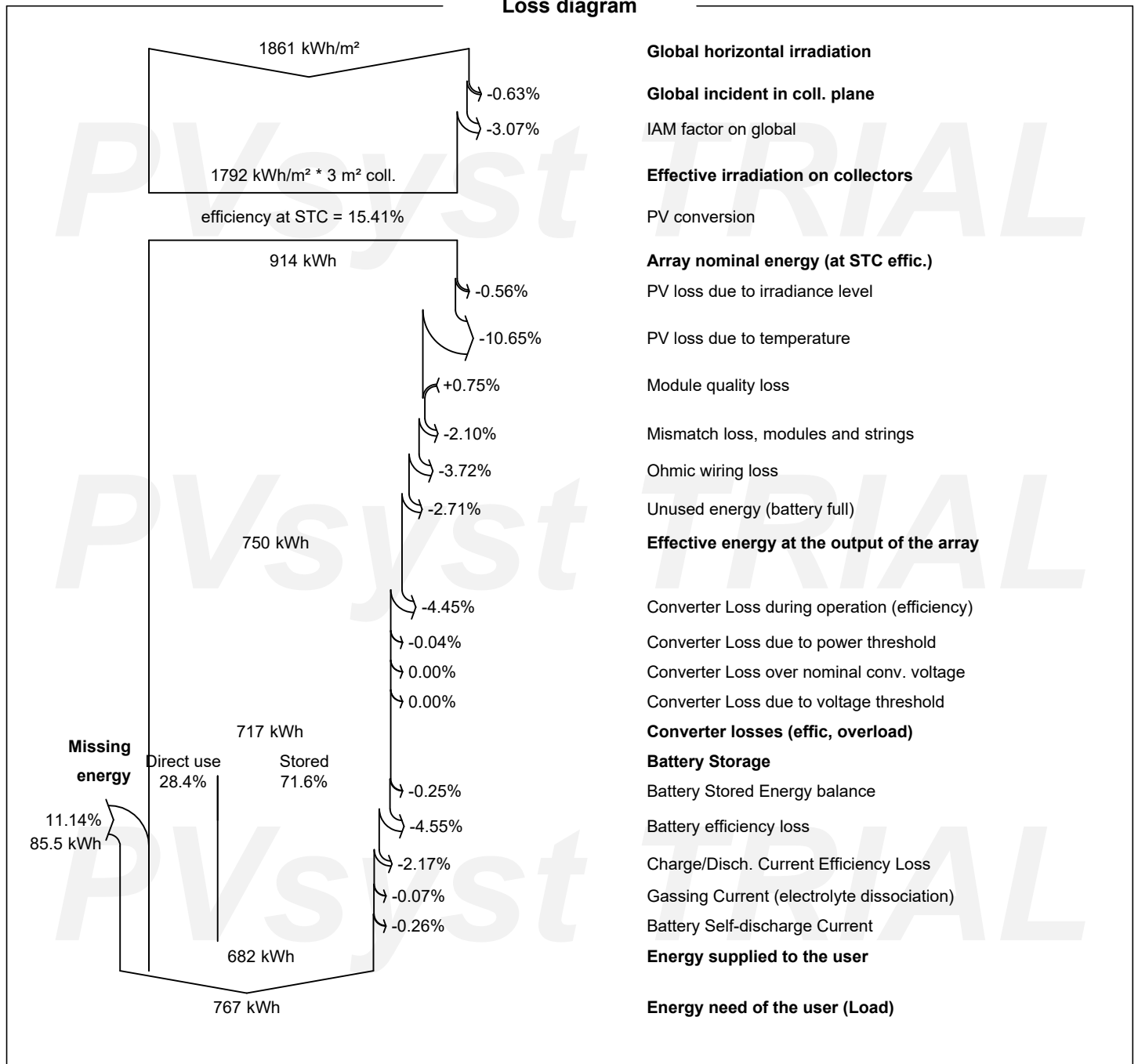
GlobHor Global horizontal irradiation  
 GlobEff Effective Global, corr. for IAM and shadings  
 E\_Avail Available Solar Energy  
 EUnused Unused energy (battery full)  
 E\_Miss Missing energy  
 E\_User Energy supplied to the user  
 E\_Load Energy need of the user (Load)  
 SoIFrac Solar fraction (EUsed / ELoad)



PVsyst V7.2.11

VCO, Simulation date:  
13/02/22 14:49  
with v7.2.11

Loss diagram



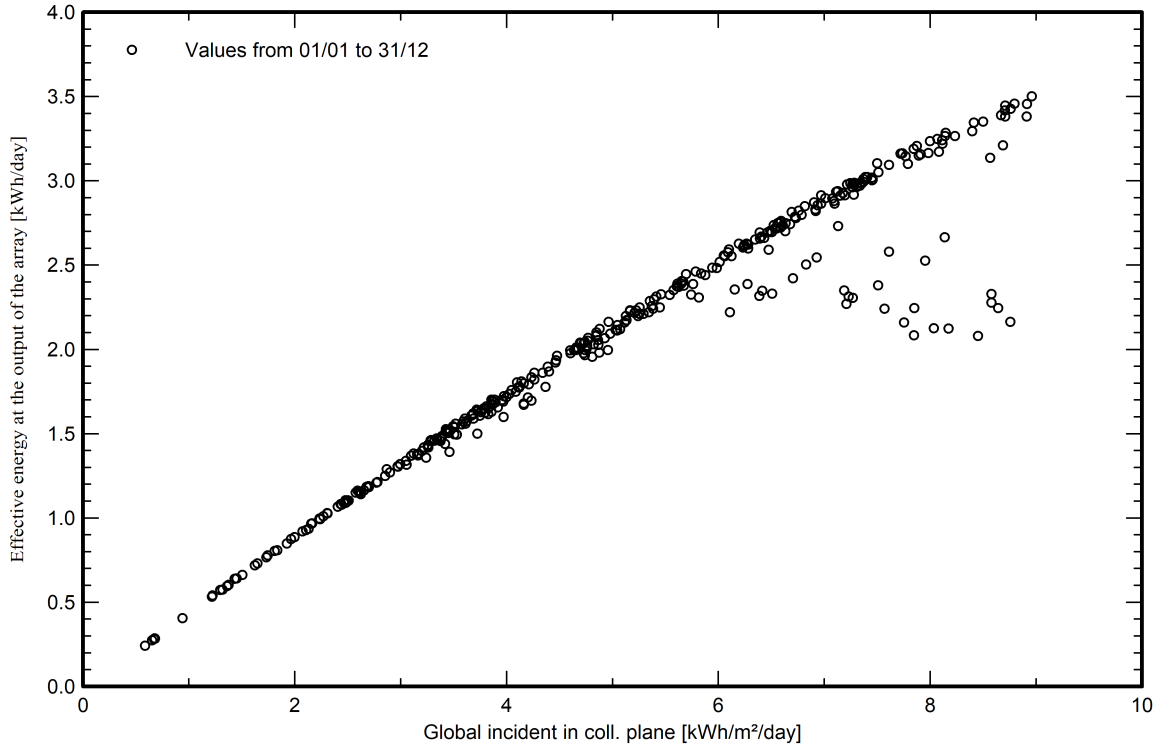


**PVsyst V7.2.11**

VC0, Simulation date:  
13/02/22 14:49  
with v7.2.11

**Special graphs**

**Diagrama entrada/salida diaria**



*PVsyst TRIAL*

*PVsyst TRIAL*

# PVsyst - Simulation report

## Stand alone system

---

Project: Caso El Banco

Variant: Nueva variante de simulación

Stand alone system with batteries

System power: 1350 Wp

El Banco Magdalena - Colombia

*PVsyst TRIAL*

*PVsyst TRIAL*

*PVsyst TRIAL*

*PVsyst TRIAL*



# Project: Caso El Banco

Variant: Nueva variante de simulación

## PVsyst V7.2.11

VCO, Simulation date:  
13/02/22 14:16  
with v7.2.11

### Project summary

<b>Geographical Site</b> El Banco Magdalena Colombia	<b>Situation</b> Latitude 9.00 °N Longitude -73.97 °W Altitude 35 m Time zone UTC-5	<b>Project settings</b> Albedo 0.20
<b>Meteo data</b> El Banco Magdalena Meteonorm 8.0 (1991-2007), Sat=100% - Sintético		

### System summary

<b>Stand alone system</b>	<b>Stand alone system with batteries</b>	
<b>PV Field Orientation</b> Fixed plane Tilt/Azimuth 10 / 20 °	<b>User's needs</b> Daily profile Constant over the year Average 4.1 kWh/Day	
<b>System information</b>	<b>Battery pack</b>	
<b>PV Array</b> Nb. of modules 3 units Pnom total 1350 Wp	Technology Lead-acid, sealed, AGM Nb. of units 3 units Voltage 12 V Capacity 717 Ah	

### Results summary

Available Energy 2073 kWh/year	Specific production 1535 kWh/kWp/year	Perf. Ratio PR 57.33 %
Used Energy 1465 kWh/year		Solar Fraction SF 98.84 %

### Table of contents

Project and results summary	2
General parameters, PV Array Characteristics, System losses	3
Detailed User's needs	5
Main results	6
Loss diagram	7
Special graphs	8

**PVsyst V7.2.11**

VCO, Simulation date:  
13/02/22 14:16  
with v7.2.11

**General parameters****Stand alone system****PV Field Orientation****Orientation**

Fixed plane  
Tilt/Azimuth 10 / 20 °

**User's needs**

Daily profile  
Constant over the year  
Average 4.1 kWh/Day

**Stand alone system with batteries****Sheds configuration**

No 3D scene defined

**Models used**

Transposition Perez  
Diffuse Perez, Meteonorm  
Circumsolar separate

Hourly load	0 h	1 h	2 h	3 h	4 h	5 h	6 h	7 h	8 h	9 h	10 h	11 h	
	150	150	50	500	225	230	230	300	150	100	100	36	W
	12 h	13 h	14 h	15 h	16 h	17 h	18 h	19 h	20 h	21 h	22 h	23 h	
	230	230	100	100	400	20	20	20	20	20	20	660	W

**PV Array Characteristics****PV module**

Manufacturer Generic  
Model M450 Wp 144 cells  
(Original PVsyst database)  
Unit Nom. Power 450 Wp  
Number of PV modules 3 units  
Nominal (STC) 1350 Wp  
Modules 1 String x 3 In series

**At operating cond. (50°C)**

Pmpp 1214 Wp  
U mpp 114 V  
I mpp 11 A

**Controller**

Manufacturer Generic  
Model SmartSolar MPPT 250/70 12V  
Technology MPPT converter  
Temp coeff. -2.7 mV/°C/Elem.

**Converter**

Maxi and EURO efficiencies 99.0 / 97.0 %

**Total PV power**

Nominal (STC) 1 kWp  
Total 3 modules  
Module area 6.7 m<sup>2</sup>  
Cell area 6.0 m<sup>2</sup>

**Battery**

Manufacturer Generic  
Model PVX-2580L  
Technology Lead-acid, sealed, AGM  
Nb. of units 3 in parallel  
Discharging min. SOC 20.0 %  
Stored energy 6.9 kWh

**Battery Pack Characteristics**

Voltage 12 V  
Nominal Capacity 717 Ah (C10)  
Temperature Fixed 20 °C

**Battery Management control**

Threshold commands as Battery voltage  
Charging 13.6 / 12.5 V  
Corresp. SOC 0.90 / 0.75  
Discharging 11.6 / 12.2 V  
Corresp. SOC 0.17 / 0.45



**PVsyst V7.2.11**

VC0, Simulation date:  
13/02/22 14:16  
with v7.2.11

**Array losses**

**Thermal Loss factor**

Module temperature according to irradiance  
Uc (const) 20.0 W/m²K  
Uv (wind) 0.0 W/m²K/m/s

**DC wiring losses**

Global array res. 182 mΩ  
Loss Fraction 1.5 % at STC

**Series Diode Loss**

Voltage drop 0.7 V  
Loss Fraction 0.5 % at STC

**Module Quality Loss**

Loss Fraction -0.8 %

**Module mismatch losses**

Loss Fraction 2.0 % at MPP

**Strings Mismatch loss**

Loss Fraction 0.1 %

**IAM loss factor**

Incidence effect (IAM): Fresnel AR coating, n(glass)=1.526, n(AR)=1.290

0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	0.999	0.987	0.962	0.892	0.816	0.681	0.440	0.000



**PVsyst V7.2.11**

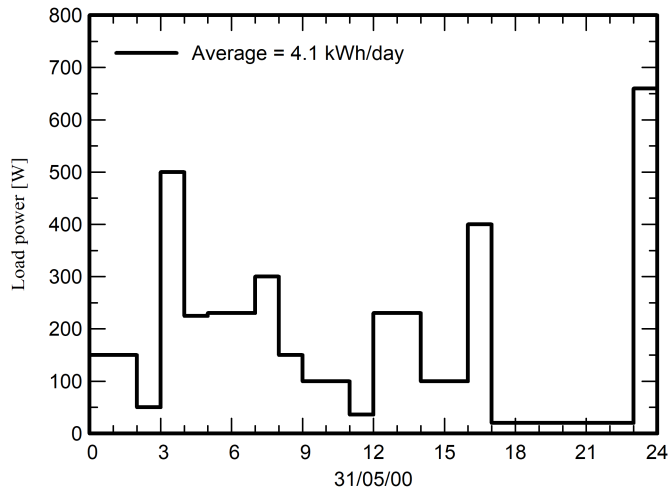
VCO, Simulation date:  
13/02/22 14:16  
with v7.2.11

**Detailed User's needs**

Daily profile, Constant over the year, average = 4.1 kWh/day

Hourly load	0 h	1 h	2 h	3 h	4 h	5 h	6 h	7 h	8 h	9 h	10 h	11 h	
	150	150	50	500	225	230	230	300	150	100	100	36	W
	12 h	13 h	14 h	15 h	16 h	17 h	18 h	19 h	20 h	21 h	22 h	23 h	
	230	230	100	100	400	20	20	20	20	20	20	660	W

**Daily profile**





**PVsyst V7.2.11**

VC0, Simulation date:  
 13/02/22 14:16  
 with v7.2.11

**Main results**

**System Production**

Available Energy 2073 kWh/year  
 Used Energy 1465 kWh/year  
 Excess (unused) 533 kWh/year

Specific production 1535 kWh/kWp/year  
 Performance Ratio PR 57.33 %  
 Solar Fraction SF 98.84 %

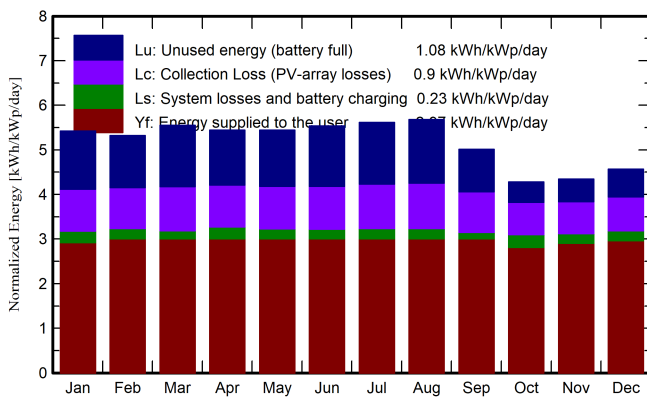
**Loss of Load**

Time Fraction 1.0 %  
 Missing Energy 17 kWh/year

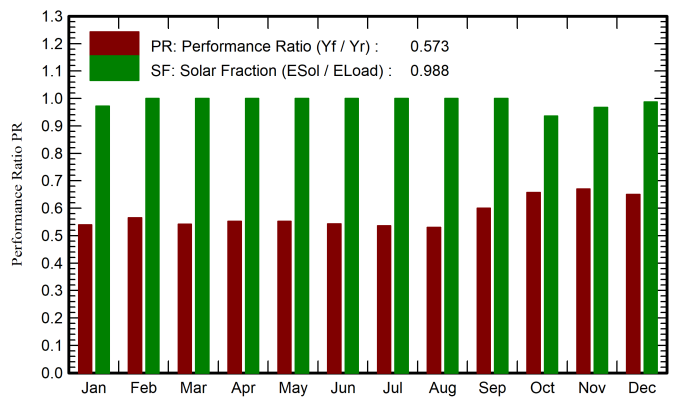
**Battery aging (State of Wear)**

Cycles SOW 87.2 %  
 Static SOW 80.0 %  
 Battery lifetime 5.0 years

**Normalized productions (per installed kWp)**



**Performance Ratio PR**



**Balances and main results**

	GlobHor kWh/m <sup>2</sup>	GlobEff kWh/m <sup>2</sup>	E_Avail kWh	EUnused kWh	E_Miss kWh	E_User kWh	E_Load kWh	SolFrac ratio
January	156.1	164.7	184.6	54.47	3.577	122.3	125.9	0.972
February	142.2	145.7	163.7	43.91	0.000	113.7	113.7	1.000
March	169.0	168.4	187.7	57.32	0.000	125.9	125.9	1.000
April	166.4	159.4	179.3	49.73	0.000	121.8	121.8	1.000
May	176.9	164.3	184.7	52.60	0.000	125.9	125.9	1.000
June	176.3	161.6	182.4	54.53	0.000	121.8	121.8	1.000
July	183.6	169.7	190.5	57.93	0.000	125.9	125.9	1.000
August	181.7	171.6	191.8	59.51	0.000	125.9	125.9	1.000
September	151.1	146.9	162.7	38.31	0.000	121.8	121.8	1.000
October	130.0	129.3	145.9	19.13	8.095	117.8	125.9	0.936
November	123.2	127.0	143.4	20.16	3.972	117.9	121.8	0.967
December	131.5	138.4	155.9	25.66	1.573	124.3	125.9	0.988
Year	1887.9	1847.2	2072.5	533.27	17.216	1465.0	1482.3	0.988

**Legends**

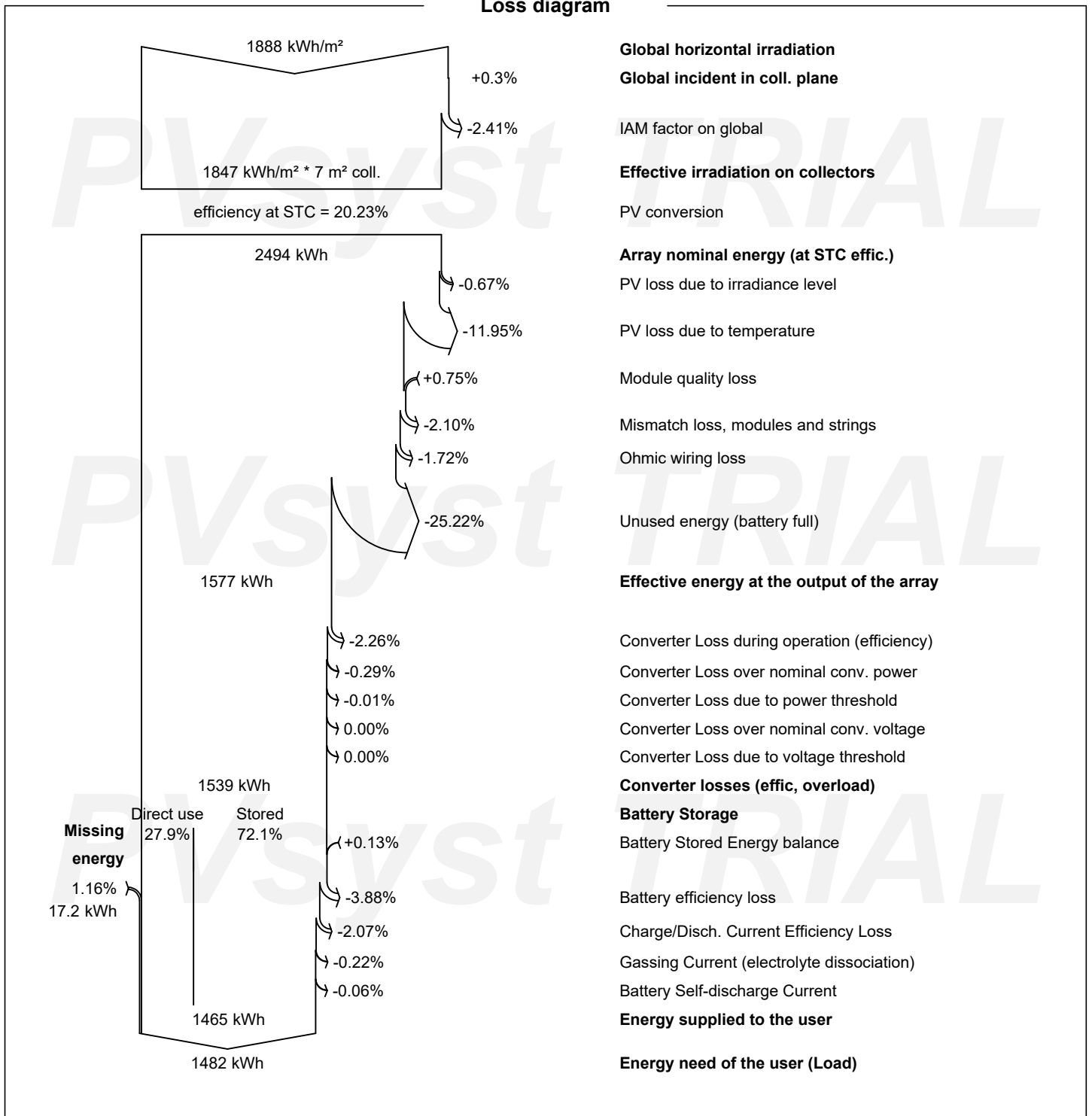
- GlobHor Global horizontal irradiation
- GlobEff Effective Global, corr. for IAM and shadings
- E\_Avail Available Solar Energy
- EUnused Unused energy (battery full)
- E\_Miss Missing energy
- E\_User Energy supplied to the user
- E\_Load Energy need of the user (Load)
- SolFrac Solar fraction (EUsed / ELoad)



PVsyst V7.2.11

VCO, Simulation date:  
13/02/22 14:16  
with v7.2.11

Loss diagram



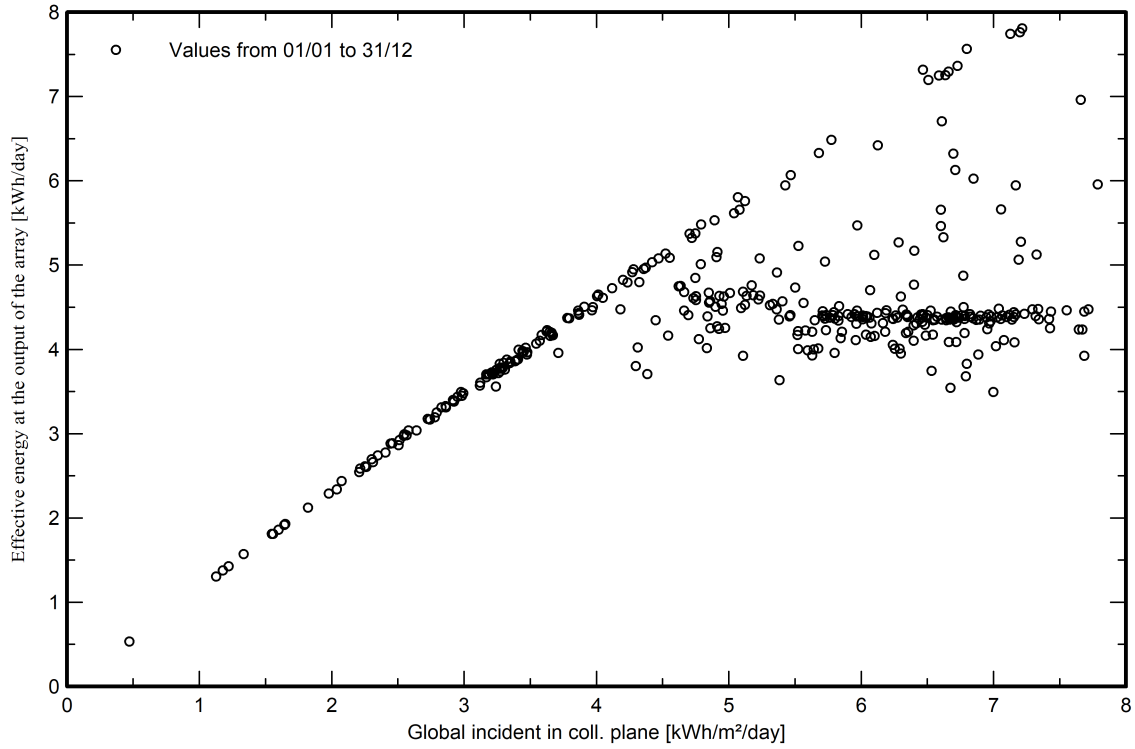


**PVsyst V7.2.11**

VC0, Simulation date:  
13/02/22 14:16  
with v7.2.11

**Special graphs**

**Diagrama entrada/salida diaria**



*PVsyst TRIAL*

*PVsyst TRIAL*