

Dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos conectados a la red: métodos y herramientas

Natalia Navarro Vega

Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título de Ingeniero Electricista

Director:

German A. Osma Pinto

PhD. en Ingeniería eléctrica

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

Bucaramanga

2021

Dedicatoria

A Dios por fortalecer mi corazón, darme sabiduría y haber puesto en mi camino personas que han sido mi soporte y compañía en una de las etapas más importantes de mi vida.

A las tres mujeres más importantes de mi vida Bibiana, Luz Marina y Fernanda que con su amor, ternura, fortaleza, tenacidad y apoyo incondicional me motivaron a continuar cada día.

A la memoria de mi tía Carmen, que a pesar de la distancia física siento que siempre está conmigo guiando mi camino en cada paso que doy.

A todos los miembros de mi familia por darme ejemplo de superación, humildad, unión y sacrificio.

A mi gran amiga y compañera de trabajo de grado Leidy que a pesar de las circunstancias estuvo conmigo motivándome y apoyándome hasta el final.

A mi director German Osma Pinto por su orientación, compromiso, disposición y ayuda para la realización de este proyecto.

Por último, a todas las personas que conocí durante mi vida universitaria y aportaron a mi crecimiento personal y profesional.

Natalia Navarro Vega

Contenido

	Pág.
Introducción	12
1. Identificación de métodos y herramientas computacionales aplicables al dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos conectados a la red	15
1.1 Búsqueda de la información.....	16
1.2 Métodos de dimensionamiento	18
1.2.1 Dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos mediante empleando algoritmos (Diagrama de flujo).....	18
1.2.2 Dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos mediante el método analítico.....	19
1.2.3 Dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos empleando una interfaz gráfica	20
1.3 Herramientas computacionales- Software	22
1.4 Aplicaciones móviles	24
1.5 Aplicaciones WEB.....	26
1.6 Selección de métodos y herramientas representativos.....	27
1.6.1 Criterios para la selección de herramientas computacionales.....	27
1.6.2 Criterios de selección de métodos para el dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos conectados a la red	33
2. Descripción de métodos y herramientas seleccionados para dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos conectados a la red	34
2.1 Definición de un sistema fotovoltaico conectado a la red	34

2.1.1 Paneles fotovoltaicos	35
2.1.2 Inversor DC/AC	36
2.1.3 Protecciones eléctricas	38
2.1.3.1 Protecciones frente a sobrecargas.	38
2.1.3.2 Protecciones frente a cortacircuitos.	39
2.1.3.3 Protecciones frente a sobretensiones.	39
2.1.3.4 Protecciones frente a falla a tierra.....	39
2.1.4 Cableado	39
2.1.5 Medidores	40
2.2 Descripción de método a emplear.....	40
2.2.1 Estudio del potencial energético	41
2.2.2 Orientación de paneles FV	42
2.2.3 Verificación de aspectos en la factura	43
2.2.4 Arreglo de paneles FV	43
2.2.5 Tipo de arreglo del sistema	44
2.2.6 Selección del inversor	45
2.2.7 Dimensionamiento de conductores	46
2.2.8 Selección de protecciones	47
2.2.9 Elementos de medida	48
2.3 Herramientas Computacionales, aplicativos webs y aplicativos móviles.....	48
2.3.1 BlueSol: Herramienta de diseño fotovoltaico	49
2.3.2 Aplicativo Web: FroniusSolarWeb.....	55
2.3.3 Aplicativo Móvil: Fronius Solar. Web App.....	58

3. Desarrollar una guía metodológica en la que se definan aspectos básicos sobre dimensionamiento y explique paso a paso como dimensionar un SFVCR aplicando un método y herramienta computacional.	61
3.1 Caso de estudio	61
3.2 Dimensionamiento del Sistema fotovoltaico conectado a la red	62
3.3 Aplicación del caso de estudio a la herramienta computacional, web y móvil	76
3.3.1 Herramienta computacional BlueSol	76
3.3.2 Aplicativo web y móvil- FroniousSolar.....	80
4. Conclusiones	82
Referencias Bibliográficas	84
Apéndices.....	90

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Definición de método y herramienta	16
Figura 2. Metodología empleada para la búsqueda de información	17
Figura 3. Diagrama de flujo para el dimensionamiento de SFVCR.	19
Figura 4. Esquema empleando método analítico para dimensionar sistemas fotovoltaicos conectados a la red	20
Figura 5. Diagrama de flujo de la interfaz gráfica mediante el uso de MATLAB.	21
Figura 6. Interfaz para el dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos (ventana principal) y tabla resumen del dimensionamiento del sistema fotovoltaico.	21
Figura 7. Esquema general de un sistema solar fotovoltaico conectado a la red.....	34
Figura 8. Configuración con inversor centralizado. b) Configuración con inversor de cadena. c) Configuración con inversor por cada cadena. d) Configuración con micro-inversor	37
Figura 9. Ficha técnica de inversor	38
Figura 10. Ventana principal BlueSol.....	51
Figura 11. Interfaz para creación de un proyecto fotovoltaico software BlueSol.	53
Figura 12. Análisis económico.	54
Figura 13. Resultados de dimensionamiento de un SFCR.....	55
Figura 14. Visión global del aplicativo web FroniusSolarWeb.....	56
Figura 15. Esquema de configuración	58
Figura 16. Interfaz Fronius Solar. Web App para Android	60

Figura 17. a) Localización del municipio de Espinal-Tolima b) Planta de secamiento, almacenamiento, trilla Fedearroz, Espinal.....	62
Figura 18. Factura de servicio de energía molino Espinal.....	63
Figura 19. Datos del punto de conexión y disponibilidad del circuito	64
Figura 20. Promedio mensual radiación global Tolima-Ibagué	66
Figura 21. Radiación promedio mensual Tolima-Espinal	67
Figura 22. a) Datos principales del sistema b) Radiación promedio mensual Tolima-Espinal	77
Figura 23. Definición de la potencia nominal del sistema y ajustes de datos importante en el dimensionamiento del proyecto	78
Figura 24. Vista previa del dimensionamiento del sistema fotovoltaico	79
Figura 25. Resultados del dimensionamiento del sistema fotovoltaico	80
Figura 26. Monitorización del sistema fotovoltaico para el caso de estudio- Planta Fedearroz Espinal.....	82

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Softwares para el dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos conectados a la red.	23
Tabla 2. Aplicativos móviles para el dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos conectados a la red	25
Tabla 3. Aplicativos webs para el dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos conectados a la red.....	26
Tabla 4. Criterios de selección de herramientas computacionales en SFV conectados a la red...	27
Tabla 5. Comparación de las herramientas computacionales para sistemas fotovoltaicos conectados a la red.	28
Tabla 6. Ponderación de criterios cumplidos por cada software	29
Tabla 7. Comparación de aplicativos móviles para sistemas fotovoltaicos conectados a la red ..	30
Tabla 8. Cantidad de criterios cumplidos por cada aplicativo móvil.....	31
Tabla 9. Comparación de aplicativos Web para sistemas fotovoltaicos conectados a la red	32
Tabla 10. Cantidad de criterios cumplidos por cada aplicativo Web	32
Tabla 11. Etapas de método para dimensionar SFVCR.....	40
Tabla 12. Protecciones en SFVCR [.....	47
Tabla 13. Herramienta computacional, aplicativo web y móvil seleccionada.....	49
Tabla 14. Aspectos generales del software BlueSol..	49
Tabla 15. Características de cada versión de FroniusSolarWeb	56
Tabla 16. Descripción de variables para dimensionar SFVCR.....	65

Tabla 17. Características del panel FV.	68
Tabla 18. Resultados de Dimensionamiento del SFVCR.	75
Tabla 19. Pasos para la sincronización del inversor con la Red	81

Lista de Apéndices

	Pág.
Apéndice A. Datasheet Modulo FV empleado en el dimensionamiento del sistema	90
Apéndice B. Datasheet Inversor empleado en el dimensionamiento del sistema	92
Apéndice C. Fotografías de la planta de secamiento, almacenamiento y trilla Fedearroz-El Espinal.....	93

Resumen

Título: Dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos conectados a la red: métodos y herramientas*

Autor: Natalia Navarro Vega**

Palabras Clave: Dimensionamiento, métodos, herramientas, fotovoltaico.

Descripción:

Este trabajo consiste en proponer una guía metodológica para el dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos conectados a la red teniendo en cuenta la normativa vigente; la cual estará orientada a cualquier individuo interesado en el tema, profesionales en formación o personal capacitado. Se establecen ciertos criterios que permiten seleccionar un método, una herramienta computacional, un aplicativo móvil y un aplicativo web con el fin de aplicar un caso de estudio.

En primer lugar, se llevará a cabo una búsqueda bibliográfica teniendo en cuenta distintas fuentes de información, tales como revistas, artículos, semilleros de investigación, libros y entrevistas a empresas que ejecutan este tipo de proyectos. Una vez se tenga la información se sintetiza por medio de tablas o diagramas y se procede a describir los métodos, herramientas, aplicativos móviles y webs empleados en el dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos conectados a la red y se seleccionan los respectivos para aplicar al caso de estudio. Finalmente, se aplica el caso de estudio, para este caso es un sistema fotovoltaico conectado a la red para la planta de secamiento, almacenamiento y trilla Fedearroz ubicado en el departamento del Tolima-Espinal. Una vez obtenida la información se crea una guía metodológica orientada para que cualquier usuario interesado en dimensionar un sistema fotovoltaico conectado a la red haga uso de la misma, esta guía contiene conceptos básicos para el dimensionamiento, cálculos y el respectivo paso a paso para legalizar el proyecto ante el operador de red que corresponda.

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones
Director: German A. Osma Pinto PhD. en Ingeniería

Abstract

Title: Sizing of photovoltaic systems connected to the grid: methods and tools *

Author: Natalia Navarro Vega **

Keywords: Sizing, methods, tools, photovoltaic.

Description

This work consists of proposing a methodological guide for the sizing of photovoltaic systems connected to the grid, taking into account current regulations; which will be aimed at any individual interested in the subject, professionals in training or trained personnel. Certain criteria are established that allow the selection of a method, a computational tool, a mobile application and a web application in order to apply a case study.

First, a bibliographic search will be carried out taking into account different sources of information, such as magazines, articles, research hotbeds, books and interviews with companies that carry out this type of project. Once the information is available, it is synthesized by means of tables or diagrams and proceeds to describe the methods, tools, mobile applications and websites used in the sizing of photovoltaic systems connected to the network and the respective ones are selected to apply to the case study. Finally, the case study is applied, for this case it is a photovoltaic system connected to the grid for the Fedearroz drying, storage and threshing plant located in the department of Tolima-Espinal. Once the information is obtained, an oriented methodological guide is created so that any user interested in sizing a photovoltaic system connected to the grid makes use of it, this guide contains basic concepts for sizing, calculations and the respective step by step to legalize the project before the corresponding network operator.

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones
Director: German A. Osma Pinto PhD. en Ingeniería

Introducción

Colombia busca apoyar la atención de la demanda de energía eléctrica mediante el uso de fuentes de energía renovable de manera eficiente. El Fenómeno de El Niño, el impacto ambiental causado por el uso de combustibles fósiles y otros factores que afectan la producción de energía en el país evidencian la necesidad de implementar sistemas de generación de energía eléctrica basados en energías renovables (Unidad de Planeación Minero-Energética UPME, s.f.).

El sector eléctrico colombiano está promoviendo estrategias para mejorar las condiciones de abastecimiento y disponibilidad de la energía eléctrica de carácter renovable. Este trabajo está enmarcado en la Ley 1715 de 2014, cuya implementación es liderada por el Ministerio de Minas y Energía (MME), la Unidad de Planificación Minero-Energética (UPME) y la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), a partir de decretos y resoluciones (Comision de Regulacion de Energia y Gas CREG., 2018, pág. 13).

La Ley 1715 de 2014 (Unidad de Planeación Minero-Energética UPME, 2014) consolida esfuerzos que se habían estancado en años anteriores. Concede beneficios a personas naturales o jurídicas que fomenten la investigación, desarrollo e inversión en el ámbito de la producción y utilización de energía a partir de las Fuentes No Convencionales de Energía (FNCE), entre los cuales se encuentra la energía solar fotovoltaica (FV) (Ley 2099, 2021).

Las características y beneficios de los sistemas FV han permitido que se postulen como una alternativa de generación de energía eléctrica viable para Colombia y un proyecto prometedor para la implementación de energías renovables en el sistema eléctrico colombiano.

La cantidad de energía que se puede producir depende de varios factores, entre los que se pueden mencionar ambientales (irradiación y temperatura), geográficos (latitud y presencia de sombras) y la eficiencia de los componentes del sistema.

El dimensionamiento de sistemas FV conectados a la red tiene como propósito definir los componentes que integran el sistema y las principales características eléctricas. Se puede realizar por medio de diversos procesos que en esencia consideran los mismos criterios de diseño. Adicionalmente, existen varios softwares comerciales que permiten desarrollar este proceso de forma rápida. No obstante, algunos no son gratuitos, lo que limita su uso.

Para el dimensionamiento de sistemas FV se emplean diversos métodos y herramientas computacionales que orientan y permiten realizar aproximaciones precisas y eficientes. El grado de complejidad de cada una de estas herramientas, así como la exactitud en los resultados, depende en gran medida de la función específica para la que han sido desarrolladas.

En el dimensionamiento de los sistemas FV resulta muy útil el uso de este tipo de herramientas informáticas de modelado y simulación. De acuerdo con esta variedad de métodos y herramientas, se requiere realizar una identificación, un análisis comparativo y una síntesis de éstos que faciliten el manejo de la información aplicada al dimensionamiento.

Dentro de este proceso, se acudió a bibliotecas virtuales, bases de datos, páginas web, empresas dedicadas a proyectos de generación fotovoltaica y grupos de investigación. Las fuentes más utilizadas fueron artículos de revistas relacionadas con el tema, seminarios, tesis, documentos de grado entre otras. Una vez recopilada la información teniendo en cuenta los documentos indicados para el caso de estudio, se procedió a procesar y sintetizar la misma.

En primer lugar, se identificaron métodos y herramientas computacionales frecuentemente utilizados para el dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos conectados a la red. En segundo

lugar, se describe (1) método, (1) herramienta computacional, (1) aplicativo móvil y (1) aplicativo web seleccionados en la etapa identificación, para ello se sintetiza la información en mapas mentales, diagramas y tablas. En tercer lugar, se realiza un análisis comparativo de los métodos y herramientas computacionales ya identificadas y descritas según una guía metodológica para el dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos conectados a la red. Finalmente, la propuesta de la guía metodológica define los aspectos más importantes que se podrían tener en cuenta para el diseño de un sistema fotovoltaico conectado a la red (SFVCR).

1. Identificación de métodos y herramientas computacionales aplicables al dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos conectados a la red

Para la identificación de los métodos y herramientas aplicables al dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos conectados a la red (SFVCR) se realiza una búsqueda de la información en bases de datos bibliográficas [1.1]. En segundo lugar, se sintetiza la información recopilada en esquemas para definir los métodos y herramientas encontrados que se utilizan para dimensionar un sistema FV [1.2 y 1.3]. También presenta aplicativos móviles y WEB para dimensionar un SFVCR [1.4 y 1.5]. Finalmente, se presenta una lista de criterios de selección de los métodos, herramientas computacionales, aplicativos móviles y WEB identificados para dimensionar SFVCR [1.6].

Antes de presentar los métodos y herramientas aplicados al dimensionamiento de SFVCR, es importante presentar la definición de método y herramienta, tal como lo muestra la Figura 1.

Figura 1.

Definición de método y herramienta



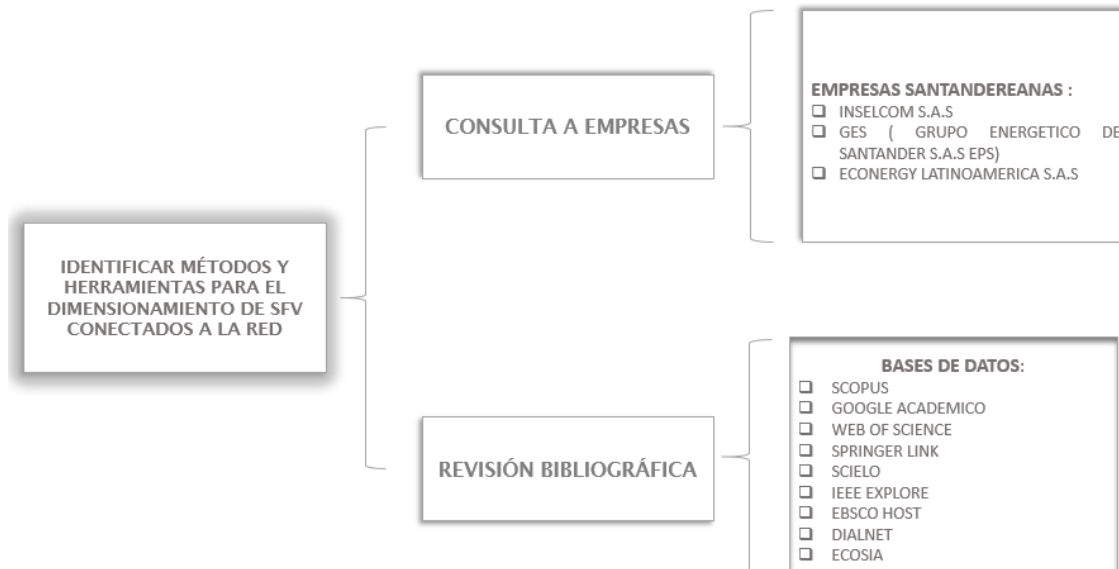
Nota. Tomado de: Economipedia (2021) Método - Qué es, definición y concepto <https://economipedia.com/definiciones/metodo.html>; Aguilera Hintelholher, R. M. (2013) Método y Metodología Estudios Políticos, 9(28) PP. 81–103 <https://www.redalyc.org/pdf/4264/426439549004.pdf>

1.1 Búsqueda de la información

La Figura 2 presenta la metodología aplicada para la búsqueda de información sobre la identificación de métodos y herramientas aplicables al dimensionamiento de SFVCR (Villaseñor Rodríguez, 2008).

Figura 2.

Metodología empleada para la búsqueda de información



Nota. Tomado de: INGENIERIAS (S.F.) Herramientas computacionales <https://sites.google.com/site/ingenierias116/herramientas-computacionales>; Pereira Manrique, F. (2013) Psicología del error y sistema de gestión de recursos para el control de riesgos (SisGRECOR) Revista Academia y Virtualidad, 6(1) 53-61 <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5777664>

Las entrevistas realizadas en las empresas mencionadas fueron orientadas a conocer los métodos y herramientas empleados en éstas para dimensionar sistemas fotovoltaicos. Por otra parte, el uso de buscadores permitió localizar documentos como artículos tesis, libros, patentes, resúmenes y enciclopedias. La información provenía principalmente de revistas universitarias, asociaciones profesionales y organizaciones académicas. Los buscadores permiten filtrar los resultados teniendo en cuenta aspectos como fecha, relevancia, idioma, citas, patentes y autores; además, ofrecen la posibilidad de crear una alerta a partir de una búsqueda.

1.2 Métodos de dimensionamiento

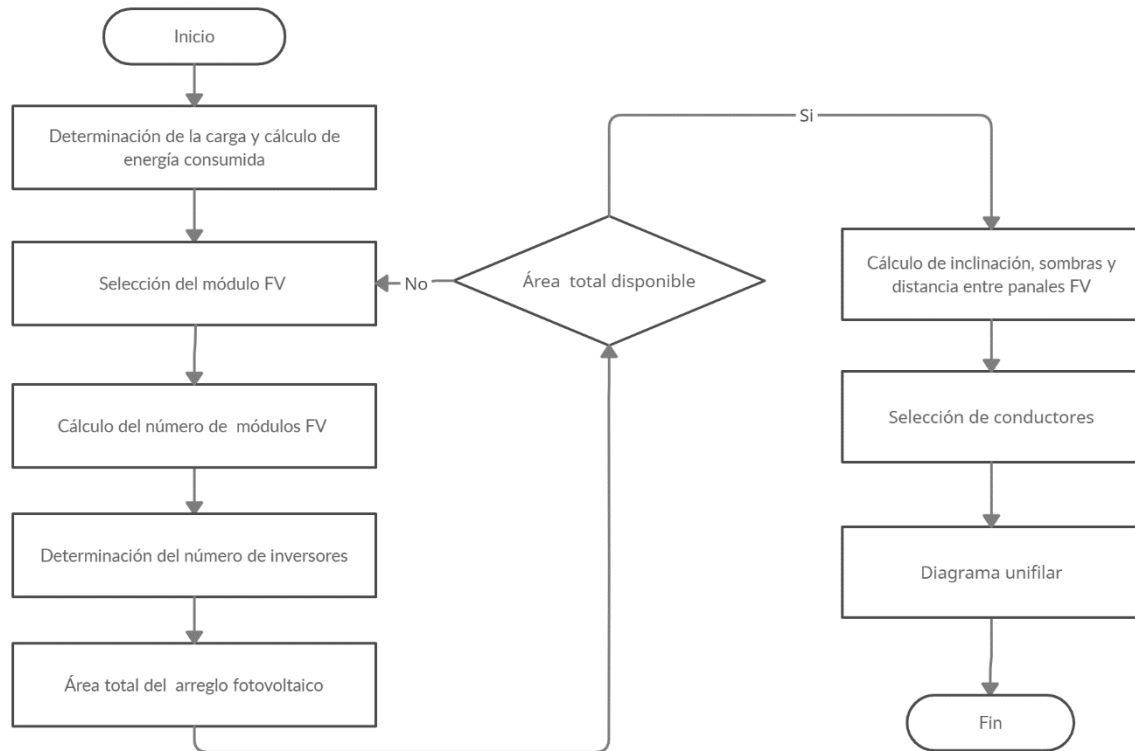
En la bibliografía es posible encontrar diversos métodos para abordar el dimensionado de un SFVCR. El enfoque de este trabajo de grado es presentar algunos métodos para el dimensionamiento de SFVCR junto con su respectiva descripción.

1.2.1 Dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos mediante empleando algoritmos (Diagrama de flujo)

Este método presenta el proceso que se lleva a cabo para dimensionar un SFVCR. Por medio de un diagrama de flujo se planifica, visualiza y describe el paso a paso permitiendo al usuario identificar cronológicamente las tareas necesarias para dimensionar el sistema FV (Loaeza, Ramiro, & Tenorio, 2012).

Figura 3.

Diagrama de flujo para el dimensionamiento de SFVCR.



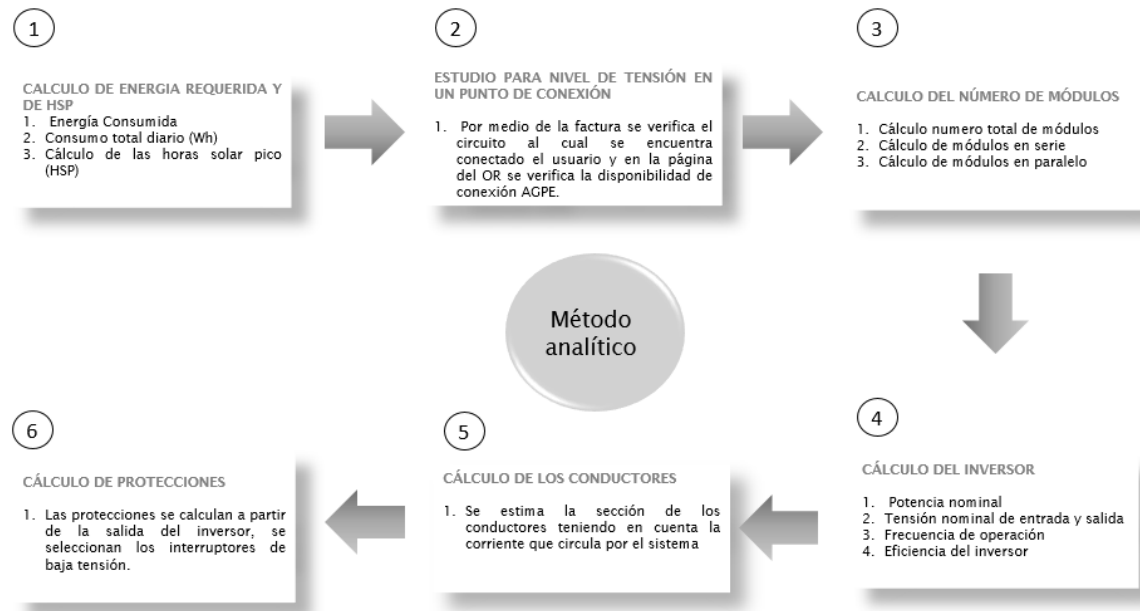
1.2.2 Dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos mediante el método analítico

Este método de cálculo se basa en hacer un balance entre la energía que consume el usuario y la que genera el sistema fotovoltaico. Para ello, se calcula la energía consumida por día, luego se seleccionan las horas solar pico (HSP) y, enseguida, se determina el número requerido de paneles FV y el tipo de interconexión entre ellos, el inversor, cables y protecciones.

El método analítico se define en el siguiente esquema:

Figura 4.

Esquema empleando método analítico para dimensionar sistemas fotovoltaicos conectados a la red



Nota. Tomado de: Ebscohost (s.f.) Principios y aplicaciones de la energía fotovoltaica y de las baterías
http://web.b.ebscohost.com/ehost/ebookviewer/ebook?sid=86d523c7-87d9-437a-b649-b37152589d04%40pdc-v-sessmgr02&ppid=pp_C&vid=0&format=EB

1.2.3 Dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos empleando una interfaz gráfica

Este método consiste en la implementación de una interfaz gráfica desarrollada en MATLAB para el dimensionamiento de los principales componentes de un sistema fotovoltaico ya sea conectado a la red o autónomo, de forma rápida y confiable. La interfaz gráfica se diseñó utilizando la herramienta GUIDE (*graphical user interface*) lo que facilita su uso y comprensión (Fernández, 2007) .

Figura 5.

Diagrama de flujo de la interfaz gráfica mediante el uso de MATLAB.

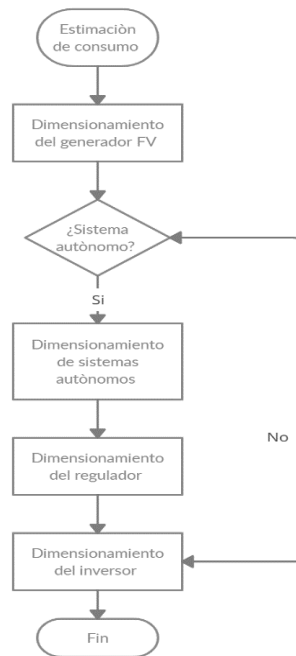


Figura 6.

Interfaz para el dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos (ventana principal) y tabla resumen del dimensionamiento del sistema fotovoltaico.



1.3 Herramientas computacionales- Software

Actualmente, en el mercado se puede hallar una variedad de programas de dimensionamiento y simulación en diferentes lenguajes de programación, precisión y metodologías de cálculo. La simulación computacional juega un papel importante en la evaluación de los sistemas FV y el efecto de cada uno de sus componentes, analizando los diferentes efectos observados, determinando las causas que los produce y realizando proyecciones que se aproximan al comportamiento real del sistema (Silvestre, Castañar, & Guasch, 2008).

Los softwares de dimensionamiento presentados en este trabajo de grado permiten a los usuarios utilizarlos como herramientas investigativas, de aprendizaje y en algunos casos como herramientas de trabajo en proyectos industriales. Entre sus características, los softwares identificados poseen bases de datos meteorológicas actualizadas, interfaces en su mayoría sencillas y llamativas, simulaciones completas con resultados precisos, entre otras. Se identificaron nueve (9) softwares de simulación para SFVCR, teniendo en cuenta la disponibilidad en el mercado solar y costo de licencias. Entre las que se encuentran PVsyst (Mermoud & Wittmer, 2014) , HOMER Pro (Homer Energy, 2019), PVsol Expert (PV*SOL and PV*SOL premium, s.f.), BlueSol (BlueSol Design for PV, s.f.), HelioScope (Mrinal, 2016) y ArcheliosPro (Software Fotovoltaico PV, s.f.), PVCAD (PV Complete, s.f.), Solarius PV (Solarius PV , s.f.) y Aurora Solar (Aurora Solar:, s.f.).

Tabla 1.

Softwares para el dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos conectados a la red.

Software	Desarrollador	Costo licencia	Características principales	Sitio Web
PVsyst	Instituto de medio ambiente y ciencias, Universidad de Ginebra, Suiza	Licencia de prueba de 30 días/Licencia paga 672.54 USD aprox.	Dimensiona todo tipo de SFV, incluyendo bases de datos meteorológicos actualizados.	https://www.pvsyst.com/
Homer Pro	Laboratorio Nacional de energía renovable, EE.UU/Homer Energy	Licencia de prueba de 30 días/Licencia paga de 175 USD aprox.	Es un software que permite diseñar proyectos de energías renovables, orientados a sistemas híbridos.	https://www.homerenergy.com/
PVsol Expert	Valentín Energy software, Alemania	Licencia de prueba de 30 días/Licencia paga no específica.	Simula en forma dinámica y realiza análisis de sombras detallados.	https://pvsol-expert.software.informer.com/4.0/
BlueSol	CadWare S.r. L	Licencia de prueba 15 días/Licencia paga de 590,00 € única compra.	Realiza el proceso de diseño de un SFV desde la evolución preliminar hasta la productividad.	http://www.bluesolpv.com/
HelioScope	Folsom Labs	Licencia prueba 30 días/Suscripciones mensuales 95 USD aprox.	Permite analizar escenarios de manera precisa para obtener un SFV optimizado.	https://www.helioscope.com/
Archelios Pro	Valentín Energy software, Alemania	Licencia prueba 30 días/Licencia paga 2353,08	Facilita el diseño de los proyectos, incluyendo una estimación de producción.	https://www.trace-software.com/es/archelios-pro/software-diseno-

Software	Desarrollador	Costo licencia	Características principales	Sitio Web
		USD aprox. anual.		instalaciones-fotovoltaicas/
PVCAD	Laboratorio Nacional de Energía Renovable, EE. UU	Licencia prueba 30 días/Licencia paga 1500 USD aprox. anual.	Ofrece una base de datos avanzada para los parámetros del sitio y equipos.	https://pvcomplete.com/pvcad/
Solarius PV	ACCA Software	Licencia de prueba de 30 días/ Suscripciones mensuales de 7 € mensuales.	Realiza dimensionamiento, análisis financiero y esquema unifilar en una misma solución.	https://www.accasoftware.com/es/software-calculo-instalacion-fotovoltaica
Aurora Solar	Aurora Solar Inc.	Licencia paga 468 USD aprox. anual.	Integra fácilmente fuentes de datos y diseña instalaciones solares precisas.	https://www.aurorasolar.com/

1.4 Aplicaciones móviles

Los aplicativos móviles empleados para el dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos son herramientas tecnológicas e innovadoras que permiten al usuario simplificar el diseño de su sistema.

Tabla 2.

Aplicativos móviles para el dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos conectados a la red

Nombre	My Panel Solar Lite	PVWiki	SOLAR App	Solar Calc Lite	Fronius Solar Web
Características	Proporciona irradiación y generación mensual, ángulo de inclinación, número de paneles, periodo de recuperación de la inversión, etc.	Proporciona un plan paso a paso teniendo en cuenta metodologías de diseño con términos sencillos y fáciles de entender.	Es una aplicación colombiana que permite simular costos, beneficios ambientales y económicos de una instalación fotovoltaica.	Dimensiona sistemas fotovoltaicos teniendo en cuenta parámetros eléctricos tales como el calibre de los conductores, protecciones de la instalación, entre otros.	Es posible acceder a esta app en cualquier momento y visualizar datos sobre la capacidad del sistema, el rendimiento fotovoltaico, el consumo energético, etc.
Actualizaciones	7 de julio de 2020	6 de octubre 2020	7 de junio de 2019	21 de junio de 2021	16 de junio de 2021
Tamaño	6,1 M	9,2 M	11 M	3,2 M	37 M
Descargas	10,000 +	1000 +	500 +	10,000 +	100,000+
Sistema Operativo Android-Mac	4,4 y versiones posteriores	4,4 y versiones posteriores	4,4 y versiones posteriores	4,4 y versiones posteriores	6.0 y versiones posteriores
Ofrecida por	NRG Labs	Taypro Private Limited	Planos y Planas, jdfcorp2008	Solar ElectroCal	Fronius International GmbH
Desarrollador	Orce Nikolov 186	support@taypro.in	jdfcorp2008@gmail.com	solarelectrocal@gmail.com	solar.web.app@fronius.com
Calificación	4,7	5	5	4,4	3.5

1.5 Aplicaciones WEB

Los aplicativos Web orientados a dimensionar sistemas fotovoltaicos conectados a la red realizan cálculos de forma rápida y precisa, estas aplicaciones permiten acceder a información actualizada.

Tabla 3.

Aplicativos webs para el dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos conectados a la red.

Nombre	Características principales	Sitio Web
Calculadora Solar-Renogy	Ofrece calculadoras para dimensionamiento solar, calibre del conductor e interconexión de baterías	https://mx.renogy.com/calculadoras/
Calculadora Solar Plus	Proporciona cifras exactas de inversión, tiempo de recuperación, tipo de instalación, ahorro y potencia que genera el sistema FV.	https://solarplus.es/calculadora
Calculadora Prolight	Permite realizar el cálculo de módulos FV, el área para la instalación del sistema, costo de inversión, inversor, energía producida y accesorios a utilizar en la instalación.	http://prolightcr.com/calc/
Calculadora Sun Watt	Estima el tamaño y matriz de paneles solares necesarios para el uso de energía de la instalación.	https://sunwatts.com/solar-calculato/
Fronius solar. Web	Permite controlar el consumo energético en todo momento. Podrá recibir una notificación en caso de que se produzcan eventos inesperados.	https://www.solarweb.com/

1.6 Selección de métodos y herramientas representativos

1.6.1 Criterios para la selección de herramientas computacionales

Para la selección de las herramientas computacionales, aplicativos webs y aplicativos móviles, empleados en el dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos conectados a la red se precisaron los siguientes criterios:

Tabla 4.

Criterios de selección de herramientas computacionales en SFV conectados a la red

Atributo	Característica	Importancia en el proceso de selección
Acceso a la información	Se puede acceder al software a través de diferentes dispositivos (Celular, Tablet, PC).	Es importante en el proceso de selección ya que le permite al usuario determinar si cuenta con los dispositivos necesarios para utilizarla.
Funcionalidad	La herramienta se puede utilizar en el equipo sin necesidad de una conexión a Internet.	Para algunos usuarios el acceso a internet es limitado, por esta razón es importante determinar si la aplicación requiere conexión a internet constantemente.
Autoría	El tipo de licencia permite determinar si la herramienta es de libre uso o se debe pagar por ella. Es necesario verificar si la herramienta ofrece una versión de prueba, por un tiempo o con el uso de sus funciones limitadas.	Las licencias garantizan el correcto funcionamiento, actualizaciones, costos y características adicionales del software.
Portabilidad	Capacidad que tiene la herramienta tecnológica para ser ejecutada en diferentes sistemas operativos	Es fundamental que el software tenga la capacidad

Atributo	Característica	Importancia en el proceso de selección
	(Windows, Linux, Android, Mac u otro).	para ejecutarse sobre diferentes plataformas.
Usabilidad	La herramienta es sencilla e intuitiva al usarla. Capacidad de la herramienta para que sea accesible a personas con necesidades educativas especiales	Permite una mayor eficiencia y ofrece una mejor experiencia al usuario.
Soporte y mantenimiento	Determinar si existe un espacio para contactar a los creadores de la herramienta con el fin de reportar inconvenientes.	El soporte y mantenimiento garantizan mejoras en la operatividad del software, actualizaciones y refuerzan aspectos de seguridad.

Una vez realizado el proceso de búsqueda mediante las distintas fuentes de información se realizaron las siguientes tablas, teniendo en cuenta los criterios mencionados anteriormente junto con algunas características de las herramientas computacionales, los aplicativos móviles y los aplicativos Web. Se busca seleccionar mediante ponderación una herramienta computacional, un aplicativo móvil y Web con el fin de desarrollar el caso de estudio que se presentara en los siguientes capítulos.

Tabla 5.

Comparación de las herramientas computacionales para sistemas fotovoltaicos conectados a la red.

Características	PVsyst	Homer Pro	BlueSol	PV*SOL	Helio Scope	Archelious	PVCAD	Solarious PV	Aurora Solar
Herramienta sencilla e intuitiva al usarse	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓

Características	PVsyst	Homer Pro	BlueSol	PV*SOL	Helio Scope	Archelious	PVCAD	Solarious PV	Aurora Solar
Genera tablas y graficas (cargas, radiación, análisis financiero, etc.)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Base de datos actualizados de paneles FV e inversores.	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Capacidad de ejecución en diferentes sistemas operativos	✓	✗	✓	✗	✓	✓	✓	✗	✓
Licencia de prueba mayor o igual a 15 días	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗
Permite contactar soporte técnico en caso de presentarse fallas.	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Accesible a personas con capacidades educativas especiales	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Tutoriales por parte del desarrollador	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Utilización del software sin acceso a internet.	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✓	✓

Tabla 6.

Ponderación de criterios cumplidos por cada software

Criterios cumplidos	Homer Pro	BlueSol	Helioscope	PV*SOL	PVsyst	Archelious	PVCAD	Solarious PV	Aurora Solar
✓	7	8	7	6	7	8	7	7	7
✗	2	1	2	3	2	1	2	2	2

Teniendo en cuenta los criterios de selección y la ponderación de cada uno de los softwares podemos apreciar que, Archelious y BlueSol presentaron el mismo puntaje; por lo tanto, se realiza un análisis teniendo en cuenta sus principales características.

- Archelious Pro Free permite diseñar proyectos para instalaciones solares conectadas a la red, además proporciona un cálculo preciso de la producción y un análisis económico que le permitirá calcular el retorno de la inversión. Pero establece un límite de potencia, cuyo valor depende del tipo de versión que el usuario use (Free- Silver-Gold-Platinum)

- BlueSol permite realizar todo el proceso de diseño de un sistema fotovoltaico, desde la evaluación preliminar hasta la realización de la documentación del proyecto. BlueSol es un producto elaborado con una interfaz estándar de Microsoft, muy fácil de usar, pero al mismo tiempo brinda la información detallada de los elementos del sistema

De acuerdo a las características mencionadas se seleccionó el software BlueSol porque no limita la potencia al momento de dimensionar el sistema fotovoltaico en ninguna de sus versiones y además presenta una documentación completa del diseño fotovoltaico.

Tabla 7.

Comparación de aplicativos móviles para sistemas fotovoltaicos conectados a la red

Características	MyPanel Solar Lite	PVWiki	SolarApp	Fronius Solarstart	Solar Calc Lite
Cuenta con tutoriales por parte del desarrollador	✓	✓	✓	✓	✓
Permite conocer los beneficios ambientales.	✓	✗	✓	✓	✗
Calcula parámetros como el calibre del conductor,	✗	✗	✗	✗	✓

Características	MyPanel Solar Lite	PVWiki	SolarApp	Fronius Solarstart	Solar Calc Lite
protecciones, diagrama unifilar, entre otros.					
Utilización del aplicativo sin acceso a internet.	✗	✗	✗	✗	✗
Simulación de costos y beneficios financieros.	✗	✗	✓	✓	✗
Interfaz llamativa y fácil de usar	✓	✓	✓	✓	✓
Bases de datos meteorológicos	✓	✓	✓	✓	✓

Tabla 8.

Cantidad de criterios cumplidos por cada aplicativo móvil

Criterios cumplidos	My Panel Solar Lite	PVWiki	SolarApp	Fronius SolarWeb	Solar calc lite
✓	4	4	5	5	3
✗	3	3	2	2	3

Para este caso también vamos a tener en cuenta el puntaje ponderado para la selección del aplicativo móvil, se puede apreciar que se tiene la misma ponderación para SolarApp y para Fronius Solar Start. Los dos aplicativos móviles proporcionan información significativa en el dimensionamiento de los sistemas fotovoltaicos, pero Fronius Solar Web le permite comprobar al usuario el estado de su instalación en tiempo real

Tabla 9.

Comparación de aplicativos Web para sistemas fotovoltaicos conectados a la red

Características	Renogy Solar	Solar Plus	Prolight	Fronius Solarweb
Realiza seguimiento en tiempo real de la instalación y envía notificaciones de su estado.	✗	✗	✗	✓
Proporciona datos como inversión, tiempo de recuperación y ahorro del SFV.	✗	✓	✓	✓
Acceso a bases de datos meteorológicos en tiempo real.	✓	✓	✓	✓
Indica el balance energético de la instalación.	✓	✗	✗	✓
Ofrece calculadoras para dimensionamiento solar	✓	✓	✓	✗

Tabla 10.

Cantidad de criterios cumplidos por cada aplicativo Web

Criterios cumplidos	Renogy Solar	Solar Plus	Prolight	Fronius Solar Web
✓	3	3	3	4
✗	2	2	2	1

Finalmente, en este caso también vamos a tener en cuenta el puntaje ponderado para la selección del aplicativo Web, se puede apreciar que Fronius Solar Web es el aplicativo Web que tiene mayor ponderación y, por tanto, se elige para este caso de estudio.

1.6.2 Criterios de selección de métodos para el dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos conectados a la red

Los criterios para la selección de métodos para el dimensionamiento de sistemas FV conectados a la red se definen de la siguiente manera:

- Métodos que más se emplean en el dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos conectados a la red teniendo en cuenta la bibliografía.
- Métodos que tengan en cuenta la normativa vigente.
- Métodos flexibles y estructurados.

Teniendo en cuenta los criterios mencionados anteriormente y la búsqueda de información, decidimos dimensionar el sistema fotovoltaico por medio del método analítico, ya que a diferencia de los demás su estructura permite que el usuario lo aplique de manera práctica y sencilla sin necesidad de tener conocimiento amplio del tema. Además, no requiere del uso de programas especializados o de habilidades para programar en Matlab.

2. Descripción de métodos y herramientas seleccionados para dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos conectados a la red

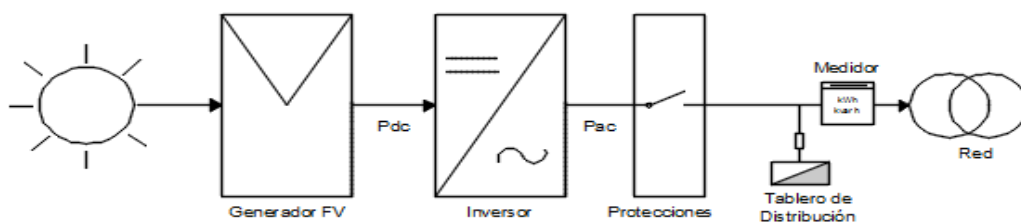
2.1 Definición de un sistema fotovoltaico conectado a la red

Un sistema fotovoltaico conectado a la red (SFCR) es un sistema que se compone de un generador fotovoltaico, un inversor DC/AC, sistema de medida y un conjunto de protecciones eléctricas.

La energía producida por este sistema es consumida parcial o totalmente, la energía sobrante es inyectada a la red para su distribución a otros puntos de consumo. Existen mecanismos de retribución económica que compensa al propietario del sistema por la energía que su sistema intercambia con la red (Perpiñan Lamigueiro, 2012, pág. 194).

Figura 7.

Esquema general de un sistema solar fotovoltaico conectado a la red



2.1.1 Paneles fotovoltaicos

Los paneles o módulos fotovoltaicos están formados por la interconexión de células solares; éstas son las encargadas de captar la energía procedente del sol en forma de radiación solar y transformarla en energía eléctrica por el efecto fotovoltaico (Cornejo, 2013, pág. 114).

A la hora de dimensionar la instalación solar fotovoltaica, es importante conocer los parámetros eléctricos fundamentales de los módulos fotovoltaicos.

Temperatura: Es importante considerar los efectos de la temperatura en la célula fotovoltaica, entre los que se encuentran:

- ✓ Aumenta la intensidad de cortocircuito (I_{cc})
- ✓ Disminuye la tensión de circuito abierto (V_o)
- Tensión de circuito abierto (V_{oc}): Al dejar los terminales del panel FV en circuito abierto (intensidad cero), la tensión que proporciona la irradiación es máxima.
- Corriente de cortocircuito (I_{cc}): Al cortocircuitar los terminales del panel (tensión cero), la irradiación solar produce una corriente máxima.

Potencia pico (P_p): potencia máxima (en vatios, W) que genera un panel FV en condiciones normales de irradiancia solar. Es igual a la potencia nominal bajo STC (*standard test conditions*) relacionadas en las fichas técnicas. Estos parámetros son proporcionados por los fabricantes en las hojas de características de los paneles FV.

2.1.2 Inversor DC/AC

1. El inversor DC/AC realiza la conversión de continua a alterna cumpliendo con determinados requisitos de tensión eficaz, frecuencia, distorsión armónica de las ondas de tensión y corriente en AC, eficiencia, seguridad eléctrica, etc. (Alvarado Castañeda, 2015)

Tipos de inversores

✓ Inversor central: inversor dedicado al conjunto de ramas del generador fotovoltaico. Recomendados para instalaciones de medio o gran tamaño, disminuyendo el costo y aumentando la fiabilidad del sistema.

✓ Inversor string inverter: inversor diseñado para conectarse a una cadena de una sola serie del generador fotovoltaico. Se adaptan mejor a las condiciones de funcionamiento con orientaciones e inclinaciones diversas.

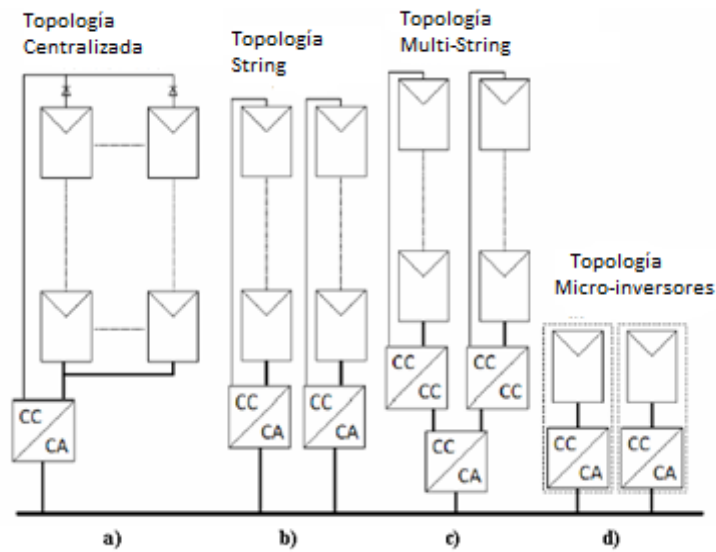
✓ Microinversor: los microinversores se conectan de forma individual y directamente a la parte posterior de cada uno de los módulos FV.

A continuación, se presentan las configuraciones que pueden adoptar los tipos de inversores

Figura 8.

Configuración con inversor centralizado. b) Configuración con inversor de cadena. c)

Configuración con inversor por cada cadena. d) Configuración con micro-inversor.



Nota. Tomado de: Cornejo, H. (2013) Micro-inversores: principales topologías.

https://www.researchgate.net/publication/301687589_MICRO-INVERSORES_PRINCIPALES_TOPOLOGIAS

En la siguiente ficha técnica se pueden apreciar diversos datos que son importantes al momento de elegir el inversor.

Figura 9.

Ficha técnica de inversor



DATOS DE ENTRADA	
Número de seguidores MPP	2
Máxima corriente de entrada ($I_{dc\ max}$)	33,0 / 27,0 A
Máxima corriente de cortocircuito	49,5 / 40,5 A
Rango de tensión de entrada CC ($U_{dc\ mín.} - U_{dc\ máx.}$)	200 - 1000 V
Tensión CC mínima de puesta en marcha ($U_{dc\ arranque}$)	200 V
Tensión de entrada nominal ($U_{dc\ n}$)	600 V
Rango de tensión MPP ($U_{mpp\ mín.} - U_{mpp\ máx.}$)	420 - 800 V
Rango de tensión de punto de rendimiento máximo utilizable	200 - 800 V
Número de entradas CC	3 + 3
Máxima salida del generador FV ($P_{dc\ máx.}$)	30 kW _{peak}
DATOS DE SALIDA	
Potencia nominal CA ($P_{ac\ n}$)	20 kW
Máxima potencia de salida ($P_{ac\ máx.}$)	20 kVA
Corriente de salida CA ($I_{ac\ nom}$)	28,9 A
Acoplamiento a la red ($U_{ac\ n}$)	3— NPE 400/230, 3— NPE 280/220 V
Rango de tensión CA ($U_{ac\ mín.} - U_{ac\ máx.}$)	150 - 280 V
Frecuencia (f_i)	50 / 60 Hz
Rango de frecuencia ($f_{mín.} - f_{máx.}$)	45 - 65 Hz
Coefficiente de distorsión no lineal	1,3 %
Factor de potencia ($\cos \varphi_{ac\ n}$)	0 - 1 ind./cap.

2.1.3 Protecciones eléctricas

Las protecciones eléctricas, tanto para el lado de corriente continua, como para el lado de corriente alterna, juegan un rol importante dentro de un sistema fotovoltaico.

2.1.3.1 Protecciones frente a sobrecargas. El dispositivo de protección frente a sobrecargas garantiza el límite de intensidad de corriente admisible por el conductor. El sistema de protecciones frente a sobrecargas podría estar constituido por interruptores automáticos y fusibles con características correspondientes a la instalación (Comisión Nacional De Riego, 2018, pág. 136).

2.1.3.2 Protecciones frente a cortacircuitos. Es necesario incluir un elemento de corte general, que habitualmente es un interruptor magnetotérmico bipolar o tetrapolar (Comisión Nacional De Riego, 2018, pág. 138).

2.1.3.3 Protecciones frente a sobretensiones. Como medida principal para contrarrestar las sobretensiones se emplean descargadores de tensión (DPS) o varistores tanto en la parte de alterna como en continua (Comisión Nacional De Riego, 2018, pág. 140).

2.1.3.4 Protecciones frente a falla a tierra. Es un elemento indispensable en toda instalación eléctrica ya que previene de electrocuciones a través de recoger las fallas de aislación de los artefactos que pueden sufrir pérdidas de corriente en sus carcasas o partes metálicas (Comisión Nacional De Riego, 2018, pág. 144).

2.1.4 Cableado

Es necesario que los cables sean correctamente dimensionados de acuerdo con los requerimientos de voltaje y potencia. Los conductores que deben emplearse para la parte de corriente continua, entre los paneles e inversor, deben ser cables del tipo solar. Estos tienen una designación del tipo H1Z2Z2-K y están especialmente contruidos para instalaciones fotovoltaicas instaladas al aire libre expuestas a alta temperatura y radiación UV. Según norma UNE EN-50618 (Centelsa, s.f.), RETIE (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [ICONTEC], 1998) y NTC 2050 (RETIE, 2013)

2.1.5 Medidores

En los SFV conectados a red, es necesario un medidor de energía a la salida del inversor, que medirá la energía inyectada a la red y establecerá la frontera entre el SFV y la red. Existen medidores análogos convencionales y digitales (Blog Intellimeter, s.f.).

✓ Medidor análogo: cuentan con un disco que gira a mayor o menor velocidad dependiendo del consumo energético en el hogar.

✓ Medidor digital: los medidores digitales cuentan con una pantalla que registra, el consumo energético. Muchos de los medidores digitales pueden ser programables para detectar inyecciones de sistemas de generación residencial, también conocidos como medidores bidireccionales.

2.2 Descripción de método a emplear

A continuación, se presenta la Tabla 12 que corresponde a la descripción del método seleccionado para dimensionar el caso de estudio.

Tabla 11.

Etapas de método para dimensionar SFVCR.

Etapas		Descripción
1	Estudio del potencial energético.	Evaluación del recurso solar en la zona
2	Verificación de aspectos en la factura	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Disponibilidad de conexión de AGPE. ➤ Consumo promedio del usuario

Etapas	Descripción
3 Arreglo de paneles FV	Se realizan los cálculos para establecer el número de paneles FV y el tipo de arreglo (Serie-Paralelo) del sistema a conectar.
4 Selección del inversor	El inversor debe cumplir con ciertos requerimientos eléctricos respecto a potencia, capacidad de voltaje y corriente, número de salidas MPPT.
5 Cálculo de conductores	Se seleccionan los conductores teniendo en cuenta la corriente que circula por el sistema.
6 Cálculo de protecciones	Los dispositivos de protección frente a sobre corrientes se deben dimensionar teniendo en cuenta el 125% de la suma de las corrientes en cortocircuito de todos los módulos fotovoltaicos en paralelo.

Teniendo en cuenta las etapas para dimensionar sistemas fotovoltaicos conectados a la red se explicará cada etapa de una forma más detallada.

2.2.1 Estudio del potencial energético

El estudio del potencial energético al momento de dimensionar un sistema fotovoltaico es importante, ya que permite conocer la disponibilidad del recurso energético. Antes de realizar el respectivo estudio de potencial solar, se definen algunos conceptos previos.

➤ Radiación directa, radiación difusa y radiación global

La radiación solar global recibida en cualquier localidad tiene una componente directa y una componente difusa (Instituto Costarricense de Electricidad, 2006) .

✓ Radiación directa: Radiación que incide directamente del sol sobre una superficie sin sufrir cambios de dirección.

✓ Radiación difusa: Radiación que llega después de ser reflejada o la emitida por moléculas después de sufrir calentamiento por efecto de absorción de radiación solar.

✓ Radiación global: Radiación formada por una componente directa que llega sin sufrir desviaciones y otra difusa que se difunde por todo el hemisferio.

Por otra parte, es necesario definir dos conceptos importantes que están relacionados con la irradiación solar.

✓ Irradiancia: Potencia recibida por unidad de superficie, se mide en W/m^2 .

✓ Irradiación: Densidad de energía solar recibida en un período de tiempo en Wh/m^2 .

➤ **Hora solar pico (HSP)**

Unidad encargada de medir la irradiación solar y definirla como el tiempo (en horas) de una hipotética irradiancia solar constante de 1.000 W/m^2 (Energema S.A., 2014).

2.2.2 Orientación de paneles FV

La inclinación del generador debe ser tal que se maximice la producción del sistema, por esta razón es recomendable inclinar el generador 10° menos que la latitud del lugar cabe resaltar que es necesario que la inclinación no se encuentre por debajo de 15° . Para determinar valores más precisos de inclinación, se emplea la Ecu. (1) (Pérez Álvarez, 2019).

$$\beta_{\text{óptima}} = 3.7 + 0.69|\varphi| \quad (1)$$

$\beta_{\text{óptima}}$ = Inclinación para maximizar la producción del sistema en grados.

$|\varphi|$ = Latitud del lugar en grados.

Es importante aclarar que no siempre se puede optar por la inclinación óptima, ya que esto depende de la edificación donde se instalaran los paneles FV. Teniendo en cuenta los conceptos anteriores y conociendo la ubicación del proyecto, se procede a evaluar el recurso energético de la

zona, para esta evaluación el usuario puede emplear bases de datos de irradiación procedentes de estaciones meteorológicas (NASA, PVGIS, SODA-Esra, etc.) o satelitales.

2.2.3 Verificación de aspectos en la factura

➤ Disponibilidad de conexión

En la parte de información técnica de la factura se verifica el circuito al cual se conecta el usuario, con el número de circuito o de transformador se comprueba la disponibilidad de conexión de AGPE en la página del OR. Es importante conocer la potencia del transformador porque la Resolución CREG 030 de 2018 solo se puede ocupar el 15% de la potencia de éste.

➤ Estimación del consumo energético

El consumo energético se puede estimar de varias maneras; como:

- ✓ Determinación del consumo mediante el recibo de energía
- ✓ Uso de curvas típicas de caracterización de la demanda de los usuarios establecidas por el OR.
- ✓ Uso de herramientas computacionales ingresando datos de carga que permitan establecer el perfil de demanda diario.
- ✓ Monitorización del consumo de la carga durante un intervalo de tiempo.

2.2.4 Arreglo de paneles FV

➤ Número de paneles fotovoltaicos

Para establecer el número de módulos se realizan los cálculos en función de las condiciones de irradiación promedio, eficiencia del sistema, demanda energética y potencia de los módulos a instalar. Se utiliza la Ec. (2).

$$N^{\circ}_{total\ de\ paneles} = \frac{Demanda\ energética}{HSP * P_{maxpanel} * n_{sistema}} \quad (2)$$

2.2.5 Tipo de arreglo del sistema

Las tensiones y corrientes de operación del sistema FV se acoplan a las características técnicas del inversor. Este acoplamiento permite determinar el tipo de configuración del arreglo fotovoltaico, ya sea para obtener el rango de tensiones que entrega el generador o el valor máximo de corriente que sea capaz de proporcionar el mismo.

➤ Módulos en serie

Cuando los módulos se conectan en serie, la tensión resultante es la suma de las tensiones de todos los paneles. Sin embargo, la intensidad total es la proporcionada por un panel FV.

Es importante tener en cuenta que no se sobrepasen los límites de tensión máxima del inversor (Universidad Industrial de Santander UIS, 2017) . Para este cálculo se utiliza la Ec. (3) .

$$N^{\circ}máximo\ paneles_{serie} = \frac{V_{maxINVERSOR}}{V_{OC_{PANEL\ FV}}} \quad (3)$$

➤ Ramas en paralelo

La conexión en paralelo aumenta la intensidad del conjunto, sin embargo es importante que el diseñador del sistema tenga en cuenta a la hora de elegir el número de ramas en paralelo que la corriente de cortocircuito del generador debe ser menor que la corriente máxima soportada por el inversor. Para este cálculo se utiliza la Ec. (4) (Universidad Industrial de Santander UIS, 2017).

$$N^{\circ} \text{ ramas paralelo} = \frac{N^{\circ} \text{ PANELES}}{N^{\circ} \text{ PANELSERIE}} \quad (4)$$

Con este tipo de configuraciones entre panel e inversor se busca aprovechar la mayor cantidad de potencia sin exceder los límites de tensión y corriente establecidos por el fabricante.

2.2.6 Selección del inversor

El inversor se encarga de transformar la energía recibida del generador fotovoltaico (en forma de corriente continua) y adaptarla a las características de la red eléctrica a la que se encuentra conectado.

Los inversores se caracterizan principalmente por la tensión de entrada, que se debe adaptar al generador, la potencia máxima que pueden proporcionar y la eficiencia (Baumgartner, y otros, 2007) .

Para seleccionar el inversor se tiene en cuenta principalmente la cantidad de paneles a utilizar, ya que con este dato se obtiene la potencia máxima a la que operarían los inversores. Se

calcula con Ec (5): $P_{\text{maxinversor}} = P_{\text{nóминаl}} \text{ PANELES} * N^{\circ} \text{ PANELES} \quad (5)$

$$P_{\text{maxinversor}} = \text{Potencia máxima del inversor}$$

$$P_{\text{nóминаl}} \text{ PANELES}$$

$$= \text{Potencia nominal de los paneles, se encuentra en datasheet panel}$$

$$N^{\circ} \text{ PANELES} = \text{Cantidad de paneles del sistema}$$

Posteriormente, se calcula el número de inversores a utilizar

$$N^{\circ} \text{ inversores} = \frac{P_{\text{maxinversor}}}{P_{\text{nomInversor}}} \quad (6)$$

Es importante que la tensión de circuito abierto ($V_{OC_{PANEL\ FV}}$) de los paneles fotovoltaicos en serie y la corriente de corto circuito ($I_{SC_{PANEL\ FV}}$) en paralelo del arreglo fotovoltaico se encuentren dentro del rango de operación del inversor.

Aplicando las ecuaciones (3) y (4), se determina la configuración de los paneles FV para la conexión del inversor.

2.2.7 Dimensionamiento de conductores

La capacidad de corriente de los conductores en un circuito de un sistema solar fotovoltaico no debe ser menor al 125 % de la corriente calculada según la NTC 2050- artículo 690-8 (RETIE, 2013) y se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$I = I_{nóминаl} * 1.25 \quad (7)$$

✓ Conductores para lado DC

Los conductores que deben emplearse para la parte de corriente continua, entre los paneles e inversor, deben ser cables del tipo solar. Los cables para utilizar deben ser de un solo núcleo con una tensión de CC máxima admisible de 1,0 kV y un rango de temperatura de -40°C a +90°C. Los cables de CC deben estar aislados, doble clase II, para protegerse y soportar cortocircuitos, fallas a tierra, cargas térmicas, cargas mecánicas, abrasión y rayos UV (Centelsa, s.f.).

✓ Conductores para lado AC

Los conductores que deben usarse para la parte de corriente alterna entre inversor y punto de conexión a la red de baja tensión, deben ser cables con aislamientos termoplásticos y termoestables. Para la selección del conductor se tiene en cuenta la Tabla 310-15 de la NTC 2050 (RETIE, 2013).

2.2.8 Selección de protecciones

Para proporcionar seguridad tanto a los equipos que forman la instalación solar fotovoltaica como al personal encargado de su mantenimiento y correcta operación, es necesario instalar una serie de elementos de protección que aseguren el funcionamiento correcto de la instalación.

Tabla 12.

Protecciones en SFVCR [

Tramo	Protecciones en DC
Modulo Solar-Caja combinadora en DC	Fusibles o interruptores termomagnéticos
Caja combinadora en DC-Caja de conexión del generador fotovoltaico	DPS (Dispositivo de protección contra sobretensiones)
Caja de conexión del generador fotovoltaico- Inversor	Interruptor seccionador
Tramo	Protecciones en AC
Inversor- Red de baja tensión	Interruptor magnetotérmico Interruptor diferencial Totalizador Fusibles

Nota. Tomado de: Días, T.; Carmona, G (s.f.) Componentes de una instalación solar fotovoltaica

El equipo inversor utilizado en la instalación puede incorporar algunas de estas protecciones, si es así solo se precisará disponer adicionalmente de las protecciones general manual e interruptor automático diferencial.

✓ Puesta a tierra

Todas las instalaciones cumplirán con lo dispuesto en la normativa vigente sobre las condiciones de puesta a tierra en instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red.

Todas las masas de la instalación fotovoltaica, tanto en la sección continua como de la alterna, estarán conectados a una única tierra (Alvarado, 2015) .

2.2.9 Elementos de medida

En las instalaciones fotovoltaicas conectadas a red, es necesario un contador de energía a la salida del inversor que a su vez medirá la energía inyectada a la red y marcará la frontera entre nuestro sistema y la red de distribución (Página, 2021).

El medidor de energía asociado al autogenerador a pequeña escala, AGPE debe cumplir con algunos requisitos técnicos; como los siguientes:

✓ El medidor de energía para AGPE debe ser calibrado en energía Activa/ Reactiva, importada y exportada.

✓ El medidor de energía para AGPE deben cumplir con los siguientes requisitos según la resolución CREG 030 del 2018

- Perfil horario
- Bidireccionalidad

El cliente o AGPE, debe verificar que el medidor de energía Activa/Reactiva que proyecta instalar es soportado por los softwares de lectura del operador de red (OR) (Fronius Solar, s.f.)

2.3 Herramientas Computacionales, aplicativos webs y aplicativos móviles

Una vez aplicados los criterios de selección establecidos en el capítulo 1, se procede a realizar una descripción detallada de la herramienta computacional, el aplicativo web y móvil

seleccionado. Teniendo en cuenta los parámetros de selección establecidos y aplicando ponderación para cada herramienta computacional, aplicativo móvil y web se seleccionaron los siguientes con el fin de aplicarlos al caso de estudio.

Tabla 13.

Herramienta computacional, aplicativo web y móvil seleccionada

Herramienta Computacional	BlueSol
Aplicativo Web	Fronius Solar.Web
Aplicativo Móvil	Fronius Solar.Web App

2.3.1 BlueSol: Herramienta de diseño fotovoltaico

BlueSol es un software para el diseño de sistemas fotovoltaicos. Permite realizar todo el proceso de diseño de un sistema fotovoltaico, desde la evaluación preliminar del sistema hasta la realización de la documentación del proyecto. BlueSol es un producto elaborado con una interfaz estándar de Microsoft, fácil de usar, pero al mismo tiempo realiza el análisis de manera detallada (BlueSol Design for PV, s.f.).

Tabla 14.

Aspectos generales del software BlueSol..

Aspectos generales	Descripción
Requisitos del sistema	✓ Sistemas operativos: Windows 7, Windows 8, Windows 8.1, Windows 10, MAC OS X (compatible mediante el uso de una máquina virtual con Windows).
	✓ Conexión a Internet: acceso a Internet es obligatorio.
	✓ RAM: 4 GB

Aspectos generales	Descripción
Aspectos de Diseño	✓ Espacio libre en disco duro: 1 GB
	✓ Resolución de pantalla: min. 1024 x 768 píxeles
	✓ Software: NET-Framework 4.52 (*)
	✓ Ubicaciones e irradiaciones
	✓ Esquema del SFV
	✓ Diagrama Unifilar
	✓ Cálculos eléctricos
	✓ Bases de datos actualizadas y editables
	✓ Archivos de perfiles de consumo
	✓ Análisis económico
Soporte técnico	✓ Actualizaciones de software
	✓ Actualizaciones de bases de datos
	✓ Asistencia técnica en portal web
Licencia	✓ 15 días de prueba sin restricciones
	✓ Solo se realiza un pago
	✓ Se compra una licencia por equipo de computo

Nota. Tomado de: BlueSol Design for PV (s.f.) Professional tool for designing photovoltaic
<http://www.bluesolpv.com/dnnsite/Products/BlueSolDesign.aspx>

Teniendo en cuenta los aspectos generales presentados en la tabla anterior se procede a presentar información más detallada de los mismos.

Descripción de aspectos generales

➤ Licencia

✓ Condiciones de licencia

El programa se puede utilizar en un número de equipos igual al número de licencias adquiridas. Es posible transferir la licencia de un equipo a otro. La versión de prueba tiene las mismas características que la versión normal, con la única limitación de que se puede utilizar durante un máximo de 15 días. (BlueSol Design for PV, s.f.).

✓ Actualizaciones

El programa comprueba automáticamente, para cada ejecución, si hay una actualización disponible. Si tiene una versión más reciente, informa al usuario. Este servicio solo funciona si la computadora en la que opera el programa tiene conexión a Internet. (BlueSol Design for PV, s.f.).

✓ Precio

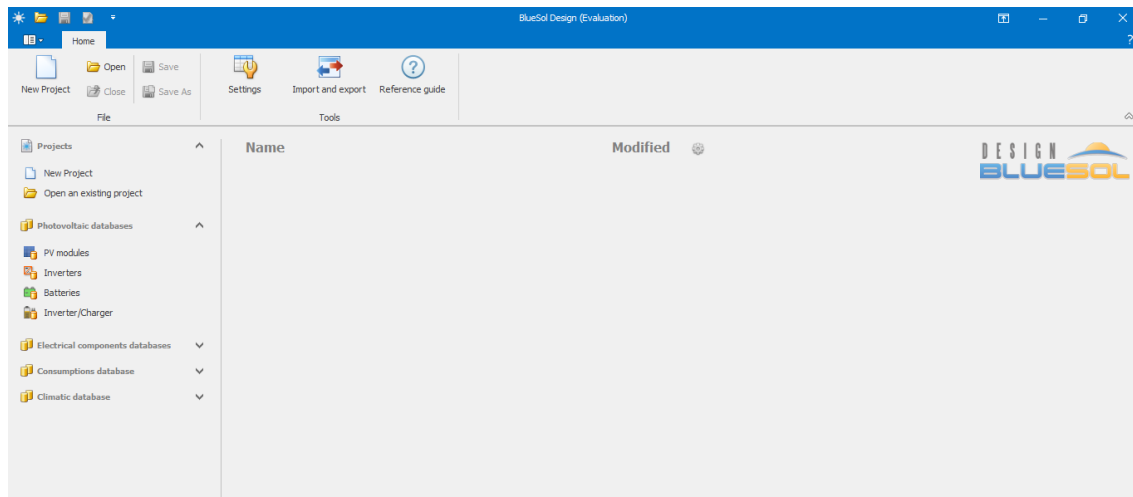
El costo de la licencia es de 590,00 € disponible en una única instalación y en diferentes idiomas: inglés, italiano, polaco, portugués.

➤ Interfaz del usuario

Esta ventana muestra los comandos BlueSol y los elementos de su interfaz-

Figura 10.

Ventana principal BlueSol.



Nota. Tomado de: BlueSol Design for PV (s.f.) Professional tool for designing photovoltaic
<http://www.bluesolpv.com/dnnsite/Products/BlueSolDesign.aspx>

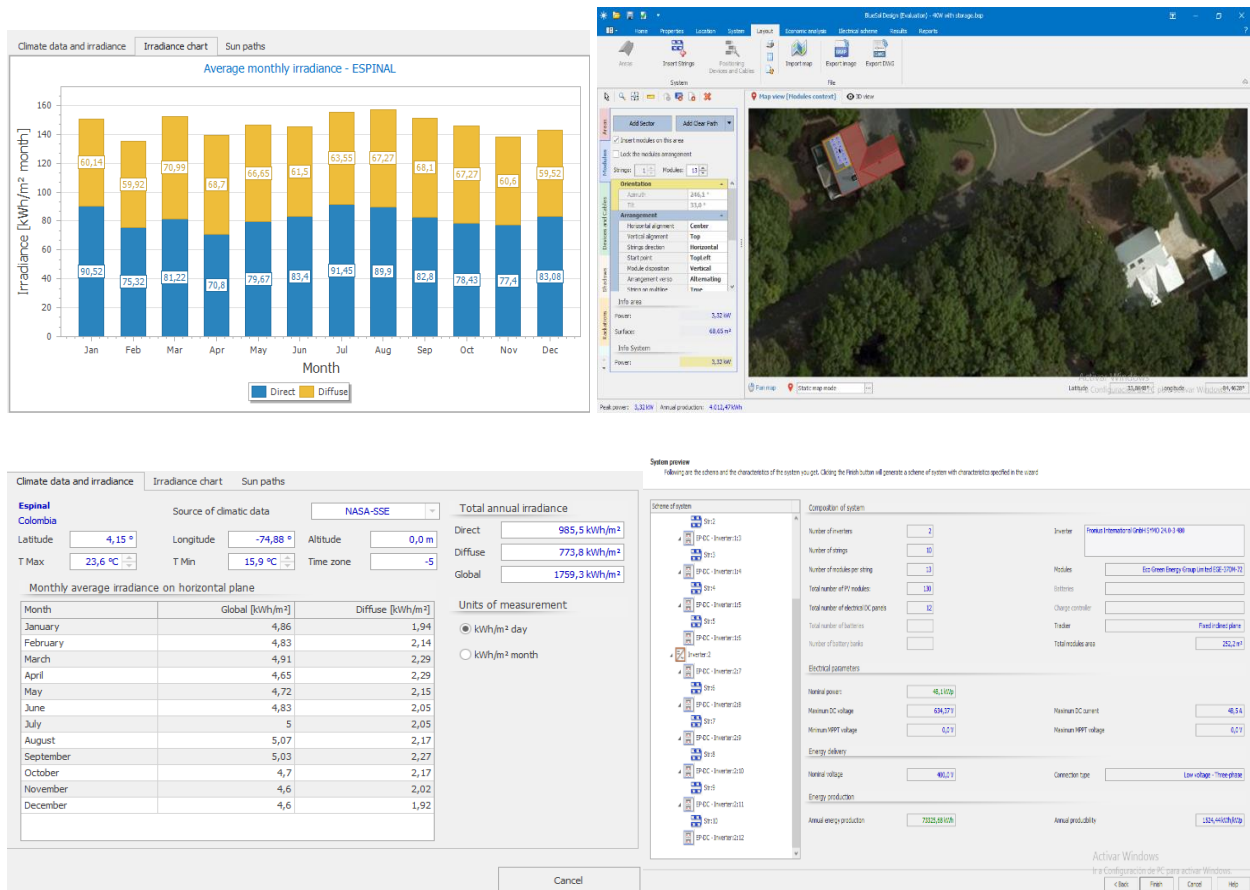
Esta herramienta guía al diseñador en todas las etapas del proyecto y simplifica la interacción del usuario con la herramienta. (BlueSol Design for PV, s.f.).

A continuación, se presentan algunas características del sistema fotovoltaico.

- ✓ Propiedades: Información general del proyecto.
- ✓ Ubicación: instalación de sistemas de ubicación y sombreados
- ✓ Sistema: Definición de la composición del sistema fotovoltaico.
- ✓ Disposición: planimetría del sistema fotovoltaico
- ✓ Análisis económico: Evaluación económica de la conveniencia de la realización del sistema.
- ✓ Esquema eléctrico: diagrama de circuito generado automáticamente por el programa

Figura 11.

Interfaz para creación de un proyecto fotovoltaico software BlueSol.



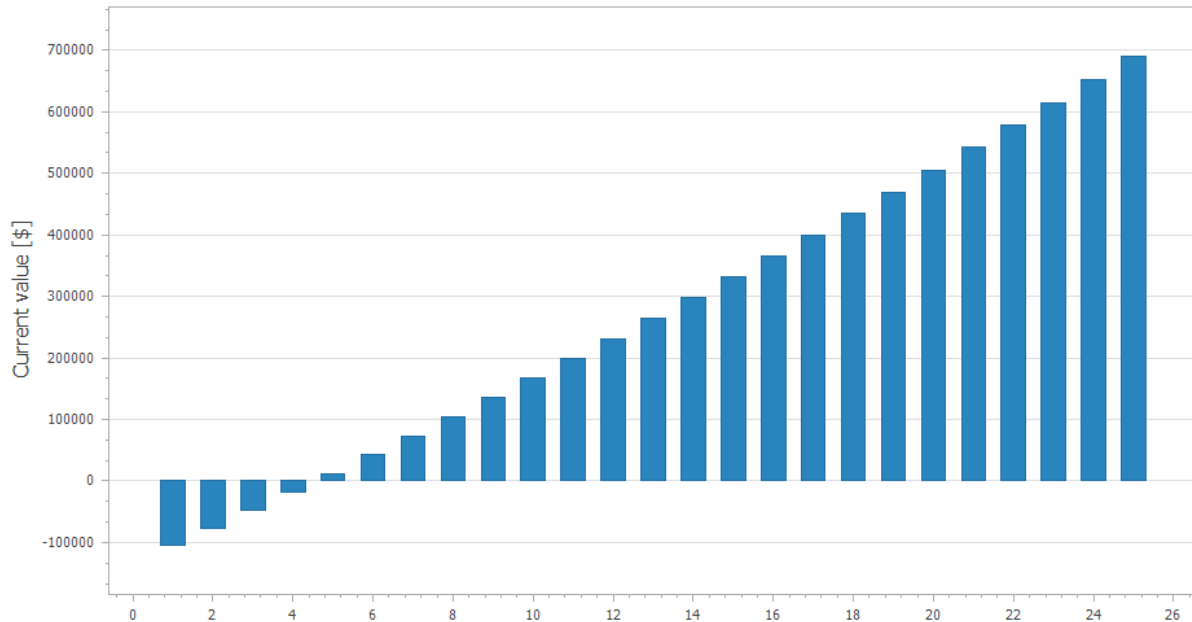
Nota. Tomado de: BlueSol Design for PV (s.f.) Professional tool for designing photovoltaic
<http://www.bluesolpv.com/dnnsite/Products/BlueSolDesign.aspx>

➤ Análisis económico

BlueSol permite analizar las ventajas de la realización del sistema fotovoltaico, evalúa costos de realización, simula la rentabilidad durante el período de evaluación, considerando aspectos variables como la caída de la producción anual, el impacto de costos de financiamiento, los cambios en los costos de la energía debido a la inflación.

Figura 12.

Análisis económico.



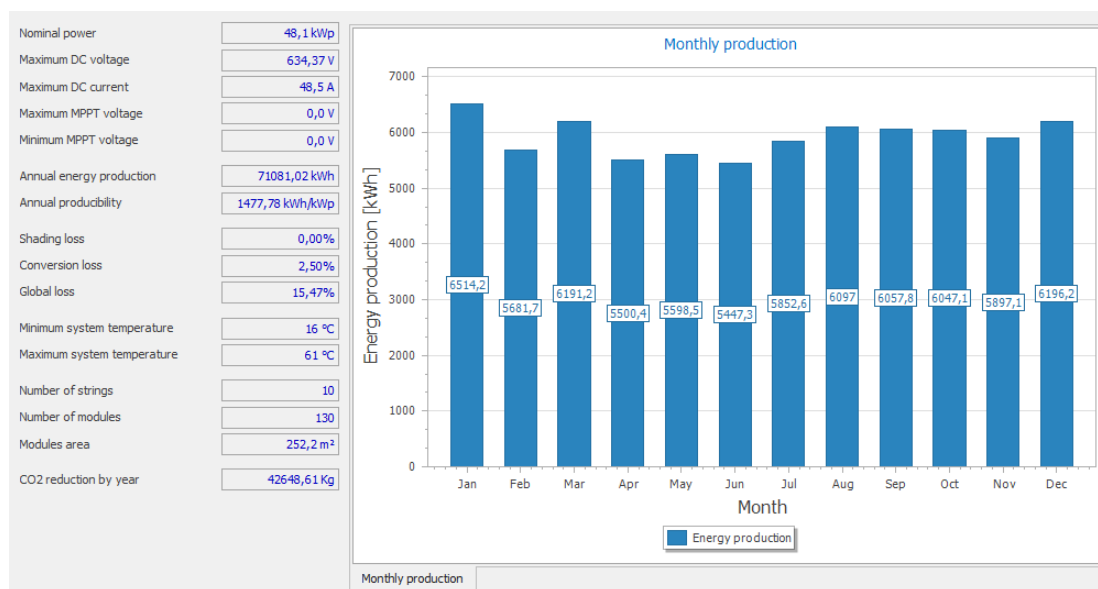
Nota. Tomado de: BlueSol Design for PV (s.f.) Professional tool for designing photovoltaic
<http://www.bluesolpv.com/dnnsite/Products/BlueSolDesign.aspx>

➤ Resultados

El software permite apreciar el comportamiento del sistema fotovoltaico en todos sus componentes. El esquema permite al usuario tener una visión completa de la operación. La figura 5 presenta algunos aspectos importantes del sistema fotovoltaico dimensionado.

Figura 13.

Resultados de dimensionamiento de un SFCR.



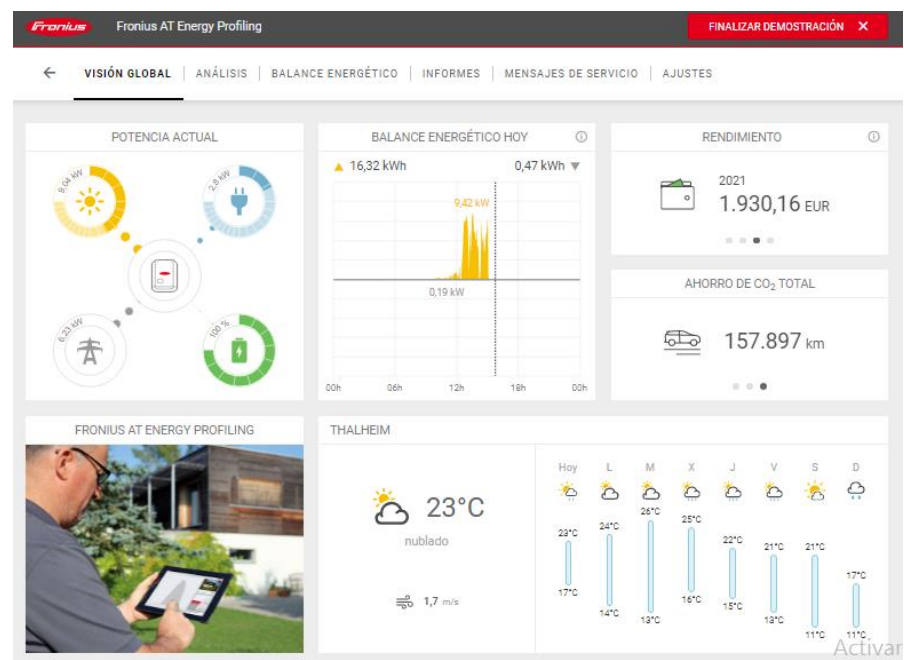
Nota. Tomado de: BlueSol Design for PV (s.f.) Professional tool for designing photovoltaic
<http://www.bluesolpv.com/dnnsite/Products/BlueSolDesign.aspx>

2.3.2 Aplicativo Web: FroniusSolarWeb

Fronius Solar. Web permite al usuario conocer el comportamiento de su sistema en tiempo real. Toda la información que necesite estará siempre disponible en cualquier lugar y podrá recibir una notificación en caso de se produzcan sucesos importantes (Fronius Solar, s.f.). Las instalaciones FV pueden ser monitorizadas, analizadas y comparadas de manera rápida y sencilla a través del portal online Fronius Solar. Web.

Figura 14.

Visión global del aplicativo web FroniusSolarWeb.



Nota. Tomado de: Fronius Solar (s.f.) Aplicación para la visualización de los datos del sistema fotovoltaico: para móvil <https://www.interempresas.net/MetalMecanica/FeriaVirtual/Producto-Applicacion-para-visualizacion-de-datos-del-sistema-fotovoltaico-Fronius-Solar-web-App-66833.html>

FroniusSolarWeb presenta dos versiones al usuario (Free-Premium), entre la monitorización del sistema incluye, las siguientes funciones:

Tabla 15.

Características de cada versión de FroniusSolarWeb

Ventajas	Free	Premium
Monitorización y análisis de datos fotovoltaicos	✓	✓
Reportes y notificaciones automáticas	✓	✓
Actualización remota del inversor	✓	✓

Ventajas	Free	Premium
Diagrama de barras de producción y consumo diarios	✓	✓
Curvas diarias de producción y consumo	3 días	Todo el tiempo
Reportes individuales accesibles en cualquier momento	✗	✓
Representación de la rentabilidad fotovoltaica	✗	✓
Sinopsis de rendimiento y costes	✗	✓
Previsión de la producción fotovoltaica	✗	2 días
Indicación detallada del tiempo	✗	✓
Solicitud de datos a través de Amazon Alexa	✗	✓

Nota. Tomado de: Fronius Solar (s.f.) Aplicación para la visualización de los datos del sistema fotovoltaico: para móvil <https://www.interempresas.net/MetalMecanica/FeriaVirtual/Producto-Aplicacion-para-visualizacion-de-datos-del-sistema-fotovoltaico-Fronius-Solar-web-App-66833.html>

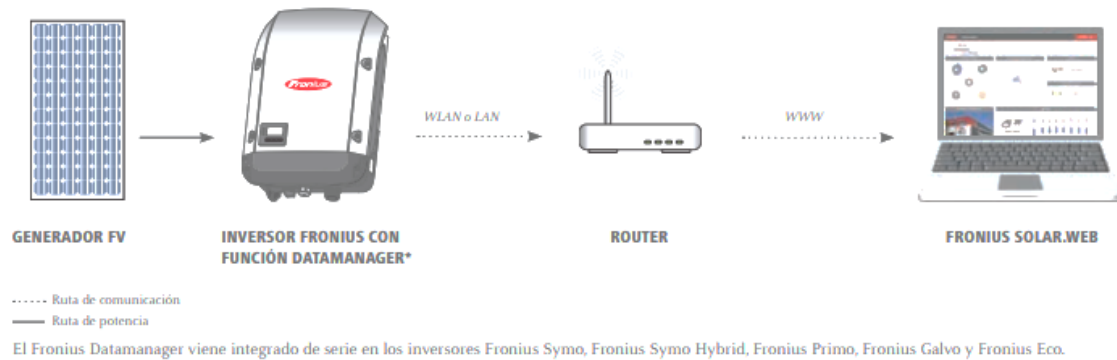
Para instalar Fronius Solar.web en el inversor se necesita la función Datamanager. Es posible instalar un Fronius Datamanager o un Fronius Datamanager Box posteriormente sin ningún problema (Fronius Solar, s.f.).

Requisitos del sistema

Navegador web actualizado compatible con HTML 5 (por ejemplo, Microsoft Internet Explorer 10, Google Chrome 53, Mozilla Firefox 47 o superior).

Figura 15.

Esquema de configuración [



Nota. Tomado de: Fronius Solar (s.f.) Aplicación para la visualización de los datos del sistema fotovoltaico: para móvil <https://www.interempresas.net/MetalMecanica/FeriaVirtual/Producto-Aplicacion-para-visualizacion-de-datos-del-sistema-fotovoltaico-Fronius-Solar-web-App-66833.html>

Herramientas del aplicativo Web

- ✓ Configuración online del sistema con el Fronius Solar.configurator.
- ✓ Visualización en dispositivos móviles con la aplicación Fronius Solar. Web App.
- ✓ Presente su información en público con el Fronius Solar.TV. L

2.3.3 Aplicativo Móvil: Fronius Solar. Web App

Fronius Solar.web App es una de las herramientas que hacen parte del portal online Fronius Solar. Web. La aplicación *Fronius Solar.web* es fácilmente descargable en Smartphone, para visualizar su rendimiento energético en cualquier lugar. La instalación está disponible en iPhone, iPad, iPod o Smartphone Android (Solar.web, s.f.) .

Fronius Solar.web App le permite al usuario utilizar sistemas demo de Fronius para tener información de las funcionalidades de la aplicación. Entre las funciones que se encuentran en esta aplicación se presentan las siguientes:

- ✓ Representación muy clara de los valores actuales y de la curva diaria.
- ✓ Evaluación y análisis del rendimiento energético y el ahorro de CO₂.
- ✓ Fácil acceso al historial de datos de energía.
- ✓ Manejo intuitivo

Debes vincular tu instalación fotovoltaica con tu cuenta Solar.web para poder acceder a ella desde la aplicación. Puedes crear una cuenta Solar.web y añadir tu instalación fotovoltaica durante la puesta en servicio o a través de la página www.solarweb.com.

Figura 16.

Interfaz Fronius Solar.web. Web App para Android



Nota. Tomado de: Solar.web (s.f.) Aplicaciones en Google Play
<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.fronius.solarweb>

3. Desarrollar una guía metodológica en la que se definan aspectos básicos sobre dimensionamiento y explique paso a paso como dimensionar un SFVCR aplicando un método y herramienta computacional.

3.1 Caso de estudio

Se aplica un caso de estudio de un sistema solar fotovoltaico en la Planta de Secamiento y Trilla Fedearroz Espinal. Este sistema consta de 130 paneles FV (370 Wp - monocristalino PERC) dispuestos en terreno con capacidad instalada de 48 kWp, generando aproximadamente 243 kWh/día. En este caso de estudio se aplica el método, la herramienta computacional, el aplicativo web y el móvil seleccionados previamente.

El proyecto se ubica en el municipio de Espinal (Tolima). Se trata de la Planta de Secamiento y Trilla-Fedearroz- Espinal, en la cual se evalúan las condiciones que ésta presenta para ejecutar el proyecto como lo son: el área disponible, consumo promedio, capacidad del transformador, radiación solar de la ubicación u horas solar pico y operador de red al cual se conecta el sistema.

Sus coordenadas son:

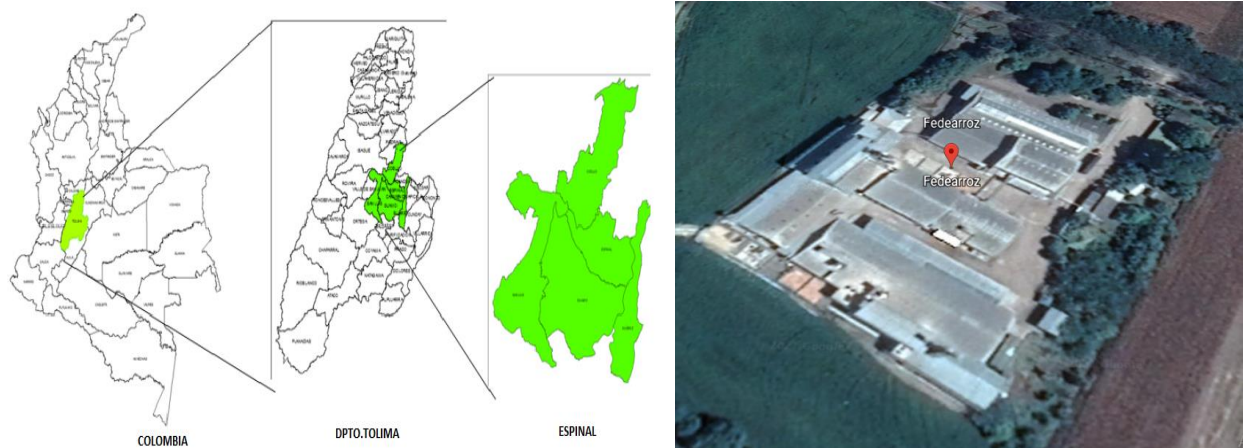
Latitud: 4.14

Longitud: -74.89

Altura: 323 msnm

Figura 17.

a) Localización del municipio de Espinal-Tolima b) Planta de secamiento, almacenamiento, trilla Fedearroz, Espinal



Nota. Tomado de Nataly, A.; Olarte, R. (2017) Modelo de ordenamiento territorial, para dinamizar la integración subregional desde Espinal-Tolima, Colombia.

Nota. Tomado de a) Google Earth. (s.f.). Retrieved October 12, 2021, from <https://earth.google.com/web/search/fedearroz+tolima+espinal/@4.15937437,-74.91224953,335.01342724a,298.31762977d,35y,0.00000001h,44.99519896t,-0r/data=CoMBG1kSUwoIMHg4ZTNIZDM4NWI5ZmNjZW5kOjB4MTcyMGM1NWM0NDM1MG1zNhlw1A9iKMQQCHBoJYwZLpSwCoYZmVkZWYfycm96IHR> b) Clientes. (n.d.). Retrieved September 29, 2021, from <https://nube.celsia.com:4443/clientes/paga-tus-facturas>.

3.2 Dimensionamiento del Sistema fotovoltaico conectado a la red

➤ Consumo energético

La factura permite obtener información del consumo promedio, la potencia del transformador, el operador de red al cual pertenece el usuario, entre otros.

Para evaluar el consumo energético nos basamos en la factura del molino la cual nos brindara información acerca del consumo promedio mensual.

Figura 18.

Factura de servicio de energía molino Espinal

Operador de red: CELSIA COLOMBIA S.A. E.S.P. Línea 018000 112 115

CELSIA
La energía que quieres

CELSIA COLOMBIA S.A. E.S.P.
NIT. 800.243.8604
Calle 15 No. 25 B 30,
Autopista Cali - Yumbo,
Yumbo - Valle del Cauca,
Teléfono: (2) 5210000

FEDERACION NACIONAL DE ARROZ
KMT 3 ESPINAL - IBAGUÉ PLANTA FEDEARROZ

CÓDIGO
642757

Servicio: Industrial Municipio: ESPINAL
Estrato: 0 Ruta: 02-73-001-7-311 Cielo: 50

Documento equivalente a la factura No: 106430215 **VENCIMIENTO** AGO/24/2021

TOTAL A PAGAR
\$39,643,026

SUSPENSIÓN Desde AGO/25/2021

Doc. eq. a las facturas vencidas: 0 Vir. Reclamación: Tarifa aplicada
Emisión: 12/AGO/2021 Int. financiación: 1.05 482.75

ENERGÍA:	Dv. K	(G): Generación	(T): Transmisión	(PR): Perdidas	(R): Restricciones	(D): Distribución	(C): Comercialización	(CU): Costo kWh
249.3900	41.5700	24.1800	28.7600	87.4500	81.2700			

Vr. a compensar: Consumo estimado a compensar: Dur. Fies. % Subsidio o Contribución: 20.00
Carga contratada (KW): .5
Vr. reconexión: % Alumbrado Público: 14

Lectura anterior	Lectura actual	Factor	Energía Facturada	Unidad en (Kw- Hora)
A: 141	A: 161	3600	72000	
R: 23	R: 25	3600	7200	
Rango	Consumo	Total Energía	Sub/Cont	Total
0-72000	72000	34,758,000	0	34,758,000

Tarifa: Valor(kWh): Periodo: 10/JUL/2021 - 09/AGO/2021 Dias: 31 Tipo de lectura: CLT Cont. mto Lect. a Tomada
JUL-2021 482.75 Observación:

Financiación contingencia COVID 19

Saldo:	Fecha inicio:	Fecha fin:	Plazo:	Cuota:	Tasa:

CONCEPTOS FACTURADOS ENERGIA

CONCEPTO	CONSUMO	VALORES
501 Consumo Activa	72,000	34,758,000
581 Intereses		16,264
SubTotal Energia		34,774,264

CONCEPTOS FACTURADOS OTRAS EMPRESAS

CONCEPTO	VALORES
197 Interes Impuesto A.P	2,322
571 Impuesto A. Publico	4,868,120
SubTotal Alumbrado	4,868,442

CONCEPTOS FACTURADOS MUEVE TU HOGAR

CONCEPTO	VALORES
SubTotal mueve tu hogar	0

CONCEPTOS FACTURADOS ASEO

CONCEPTO	VALORES
SubTotal Aseo	0

Res. CREG 119-2007: 512.8200

En la factura se pueden verificar tres aspectos importantes a tener en cuenta al dimensionar el sistema:

- ✓ Verificación del circuito al cual se conecta el usuario; con esta información se verifica la disponibilidad de conexión de AGPE en la página del OR.
- ✓ Se obtiene el consumo promedio del cliente que es la energía que buscaremos suplir.
- ✓ Se obtiene el valor del kWh/mes cobrado al cliente teniendo en cuenta contribución y alumbrado público, con el fin de realizar un análisis económico.

De lo anterior se hace énfasis en el número del circuito y en el consumo promedio ya que son los principales elementos a la hora de dimensionar el sistema.

Transformador: 25198

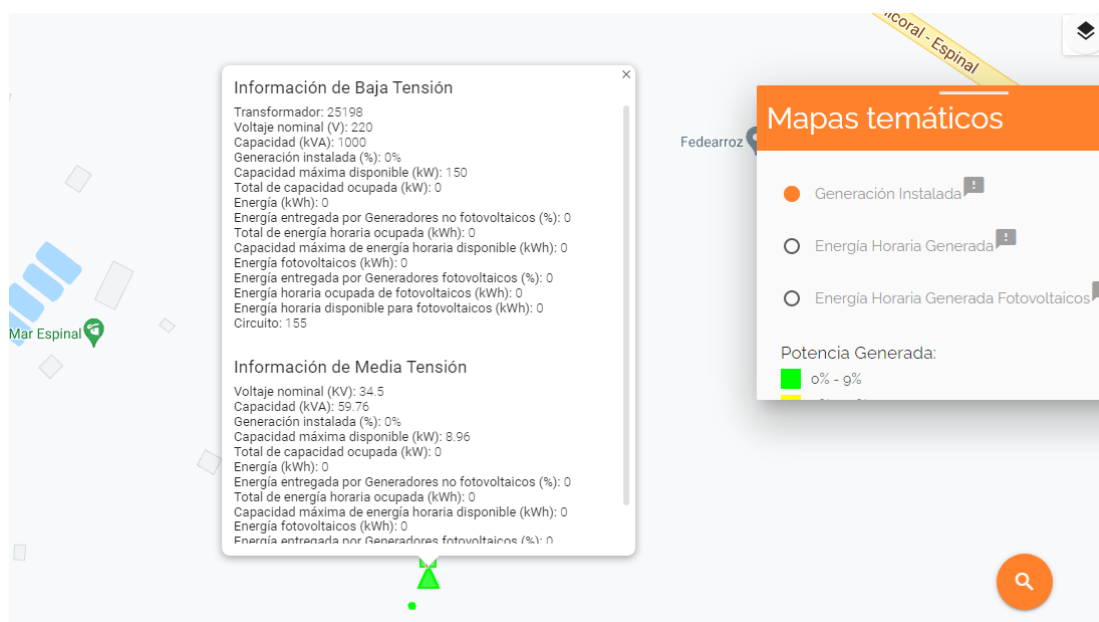
Circuito: 91

Consumo promedio: 58800 kWh/mes

Una vez obtenidos estos datos se ingresa a la página del OR que para este caso es CELSIA y se verificara la disponibilidad del circuito.

Figura 19.

Datos del punto de conexión y disponibilidad del circuito



Nota. Tomado de: Celsia (s.f.) Solicitud de conexión para autogeneradores <https://www.celsia.com/es/informacion-regulatoria-y-res-creg-080/solicitud-de-conexion-para-autogeneradores>

➤ Datos de punto de conexión

En la imagen 2 se pueden observar los datos del punto de conexión del transformador, su nivel de tensión (Baja tensión y media tensión), su potencia, los generadores fotovoltaicos asociados al punto de conexión, etc. Por otra parte, teniendo en cuenta la Resolución CREG 030 de 2018 para conectar el sistema; solo se puede ocupar un 15% de la potencia del transformador, la Ec. (8) muestra la capacidad máxima disponible teniendo en cuenta la potencia del

transformador que se emplea en el molino (Comision de Regulacion de Energia y Gas CREG., 2018, pág. 13).

$$P_{instalable} = P_{trafo} * 15\% = 1000kVA * 0.15 = 150 kVA \quad (8)$$

➤ **Variables empleadas para el dimensionamiento del SFV**

La tabla 17 describe las variables de los SFV para las etapas del dimensionamiento

Tabla 16.

Descripción de variables para dimensionar SFVCR.

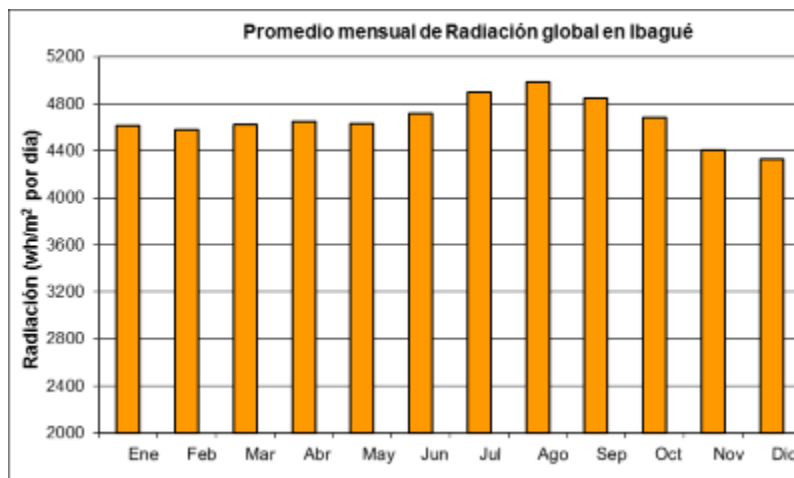
Variable	Concepto	Unidad
G_{inc}	Irradiancia incidente	W/m ²
A_{panel}	Área del panel FV	m ²
η_{panel}	Eficiencia del panel FV	%
T_{amb}	Temperatura ambiente	°C
$NOTC$	Temperatura normal de operación de la célula FV	°C
β	Coefficiente de temperatura	%/°C
$Demanda_{energética}$	Demanda de energía	Wh
$P_{nom}^{panel FV}$	Potencia nominal del panel FV	W
$P_{nom}^{inversor}$	Potencia nominal del inversor	W
$V_{máx}^{inversor}$	Tensión máxima de entrada del inversor	V
$V_{oc}^{panel FV}$	Tensión de circuito abierto del panel FV	V
$I_{sc}^{panel FV}$	Corriente de corto circuito del panel FV	A
η_{inv}	Eficiencia del inversor	%
T_{oper}	Temperatura de operación del panel FV	°C
T_{Delta}	Delta de temperatura	°C
P_{fvN}	Potencia corregida por efectos de temperatura	W
E_{fv}	Energía entregada por el panel FV	Wh

➤ **Estudio del potencial energético**

En este caso se utilizaron herramientas para obtener los datos meteorológicos a través de las coordenadas geográficas del sitio. Es posible usar el mapa de radiación solar del IDEAM (Programa, I. D. E. L., s.f.) o el conjunto de datos que importa la herramienta meteorológica (BlueSol) para la simulación del sistema fotovoltaico.

Figura 20.

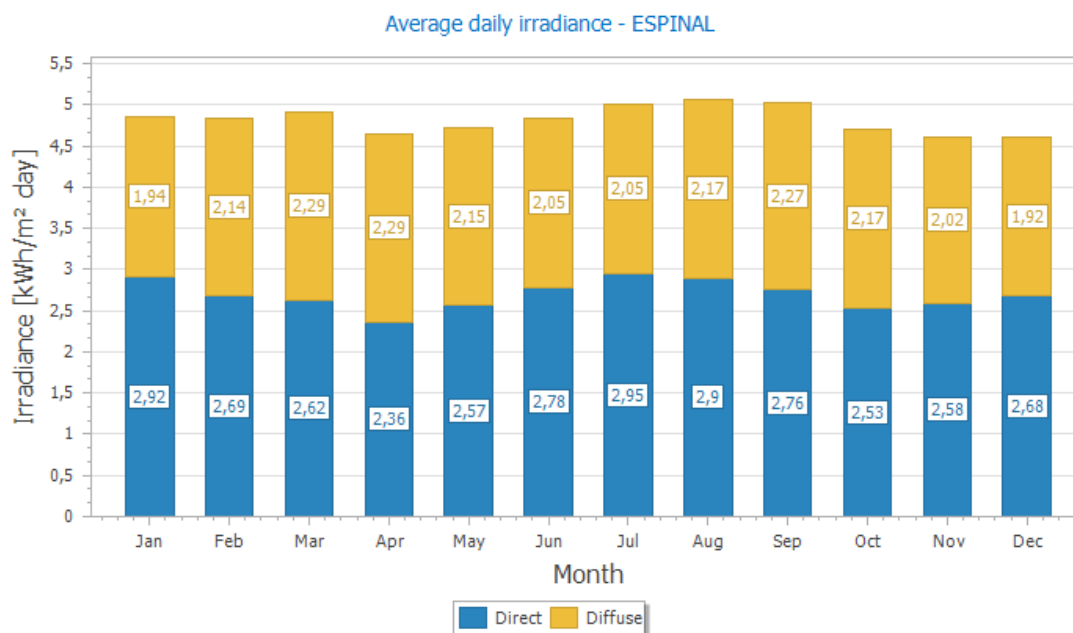
Promedio mensual radiación global Tolima-Ibagué .



Nota. Tomado de: IDEAM (s.f.) Atlas Interactivo <http://atlas.ideam.gov.co/presentacion/>

Figura 21.

Radiación promedio mensual Tolima-Espinal



Nota. Tomado de: BlueSol Design for PV (s.f.) Professional tool for designing photovoltaic
<http://www.bluesolpv.com/dnnsite/Products/BlueSolDesign.aspx>

Una vez obtenidos los datos de irradiación que corresponden al sitio y conociendo el número de horas aprovechables de energía solar máxima diarias (HSP), se procede a dimensionar el sistema.

➤ **Potencia de los módulos fotovoltaicos**

Las características principales del módulo fotovoltaico EGE-370M-72 se presentan a continuación

Tabla 17.

Características del panel FV.

EGE-370M-72	
Potencia máxima nominal (P _{máx})	370 W
Máxima capacidad de voltaje (V _{mp})	39,55 V
Máxima capacidad de corriente (I _{mp})	9,35 A
Voltaje de circuito abierto (V _{oc})	47,46 V
Corriente de corto circuito (I _{sc})	9,71 A
Eficiencia	19,07 %
Área	1,94 m ²

Los paneles fotovoltaicos para emplear son paneles solares con tecnología Monocristalina PERC de 370 W cuyo Datasheet se presenta en el ANEXO 1.

El software BlueSol desde su base de datos sugiere al usuario un conjunto de referencias de paneles FV, la elección depende de las necesidades del proyectista. Cabe resaltar que si el usuario no encuentra la referencia deseada puede modificar los datos del panel FV en la interfaz. En primer lugar, se calculará la cantidad de potencia que puede entregar un panel teniendo en cuenta las características técnicas del panel, efectos por temperatura y parámetros del sitio de instalación.

En este cálculo se tienen en cuenta efectos por temperatura ya que es un parámetro que afecta la generación del panel fotovoltaico a partir de la ecuación (9) y (11):

$$T_{oper} = T_{amb} + G_{inc} * \left(\frac{NOTC-20}{800} \right) \quad (9)$$

$$T_{oper} = 25.4 + 1000 * \left(\frac{45-20}{800} \right) = 56.25 \quad (10)$$

$$T_{Delta} = T_{oper} - T_{refer} = 56.25 - 25 = 31.25 \quad (11)$$

El ecu. (12) permite calcular la potencia entregada por un panel FV teniendo en cuenta aspectos que afectan la generación.

$$P_{fvN} = P_{fv} * (1 + \beta * T_{Delta}) \quad (12)$$

$$P_{fvN} = 370 * (1 \pm 0.0045 * 31.25) = 317.96 \text{ W} \quad (13)$$

Nota: Los valores del NOTC, Tref y β se encuentran en la ficha técnica del panel.

La energía generada por el panel FV se estima a partir del Ec. (5) teniendo en cuenta un intervalo de tiempo

$$E_{fv} = \sum P_{fvN} \quad (14)$$

➤ **Inclinación de los paneles FV**

El cálculo del ángulo de inclinación se calcula de manera que se maximice la producción del sistema, este cálculo se realiza en función de la latitud del lugar. La inclinación “ β ” de un generador FV se calcula mediante la Ec. (1).

Latitud: 4.14°

$$\beta_{\text{óptima}} = 3.7 + 0.69|\varphi| = 10.569^\circ \quad (15)$$

$\beta_{\text{óptima}}$ = Inclinación para maximizar la producción del sistema en grados.

$|\varphi|$ = Latitud del lugar en grados.

Para este caso; el software (BlueSol) propone un valor de inclinación de los paneles FV, aunque de acuerdo con los requerimientos del diseñador el valor puede ser ajustado.

➤ **Cantidad de módulos FV**

En este punto especificaremos cuantos paneles fotovoltaicos serán utilizados en la instalación y como se conectarán entre sí. El valor de la demanda se toma de la factura de energía del usuario, se emplea la Ec. (2)

$$N^{\circ}_{\text{total de paneles}} = \frac{\text{Demanda energética}}{E_{fv} * n_{\text{inversor}}} \quad (16)$$

$$N^{\circ}_{\text{total de paneles}} = \frac{43000}{369,31 * 0,9} = 130 \text{ Paneles} \quad (17)$$

➤ **Configuración de los paneles FV**

La conexión de los paneles es importante para la elección del inversor. Una vez se establece el número de módulos a utilizar, se determina la configuración del arreglo fotovoltaico teniendo en cuenta que se acople a las características técnicas del inversor. Reiterando que no se sobrepasen los límites de tensión máxima del inversor y que la corriente de cortocircuito del generador no sobrepase la corriente máxima soportada por el inversor (Nataly & Olarte, 2017). Ec. (3) y Ec. (4)

$$N^{\circ} \max_{\text{PanelesSerie}} = \frac{V_{\max \text{INVERSOR}}}{V_{OC \text{PANEL FV}}} \quad (18)$$

$$N^{\circ} \max_{\text{PanelesSerie}} = \frac{600}{47,46} = 12.64 = 13 \quad (19)$$

$$N^{\circ} \text{ramas}_{\text{Paralelo}} = \frac{N^{\circ} \text{PANELES}}{N^{\circ} \text{PANELSERIE}} \quad (20)$$

$$N^{\circ} \text{ramas}_{\text{Paralelo}} = \frac{130}{13} = 10 \quad (21)$$

Por tanto, el arreglo queda conformado por 10 ramas en paralelo compuestos por 13 paneles en serie.

➤ **Selección del inversor**

Una vez calculada la cantidad de paneles a utilizar y la configuración de los paneles FV del sistema, obtenemos la potencia máxima a la que operarían los inversores. Se calcula con el Ec. (5):

$$P_{\max \text{inversor}} = P_{\text{nóminal}} \text{PANELES} * N^{\circ} \text{PANELES} \quad (22)$$

$$P_{\max \text{inversor}} = 370 * 130 = 48100 [W] = \frac{48,1}{1,15} = 41.83 \quad [kW] \quad (23)$$

Ahora para la selección se tienen en cuenta los siguientes aspectos importantes:

✓ El inversor se encuentra equipado con un dispositivo de seguimiento del punto de máxima potencia MPT

✓ La tensión de máxima potencia del generador FV conociendo la disposición de los paneles en serie deberá ajustarse a las condiciones normales del inversor (Perpiñan Lamigueiro, 2012, pág. 194).

$$V_{mppTotal} = V_{mppPanel} * N^{\circ}_{PANserie} \quad (24)$$

$$V_{mppTotal} = 39.55 * 13 = 514.15 \text{ V} \quad (25)$$

✓ La corriente que suministra el generador fotovoltaico cuando proporciona la máxima potencia no debe sobrepasar los límites máximos de corriente del inversor (Perpiñan Lamigueiro, 2012, pág. 194).

$$I_{mppTotal} = I_{mppPanel} * N^{\circ}_{PANPARALELO} = \quad (26)$$

$$I_{mppTotal} = 9,35 * 5 = 46.75 \text{ A} \quad (27)$$

Atendiendo a los valores de potencia, tensión y corriente se selecciona el inversor FRONIUS SYMO 20.0-3 480, cuya tabla de especificaciones técnicas se encuentra en el ANEXO B.

A partir de la Ec. (6) se calcula el número de inversores a utilizar:

$$N^{\circ}inversores = \frac{P_{maxinversor}}{P_{nomInversor}} \quad (28)$$

$$N^{\circ}inversores = \frac{41,83 \text{ kW}}{20 \text{ kW}} = 2 \text{ Inversores} \quad (29)$$

Para la elección de este inversor se tiene en cuenta lo siguiente:

✓ El rango de tensiones en que el inversor puede trabajar oscila entre 200 y 1000 por tanto se ajusta a las condiciones del sistema (Perpiñan Lamigueiro, 2012, pág. 194).

✓ La máxima tensión de entrada en CC del inversor es de 1000 V, valor que cumple con los requerimientos de la instalación.

✓ La corriente máxima de entrada al inversor es de 51 A, valor superior a la corriente máxima proporcionada por los paneles (Perpiñan Lamigueiro, 2012, pág. 194).

Finalmente, se emplearán 2 inversores por tanto tendremos 65 paneles por inversor, de esta forma el arreglo fotovoltaico por inversor estará formado por 5 ramales compuestos por 13 paneles en serie.

El software BlueSol desde su librería sugiere al usuario el inversor que más se ajusta a las características del proyecto. Si desea emplear un inversor distinto a los proporcionados por el software es posible agregarlo.

➤ **Dimensionamiento de conductores**

Teniendo en cuenta las características eléctricas del sistema se procede a dimensionar los conductores a emplear (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [ICONTEC], 1998). La instalación se divide en varios tramos de conexión.

Conexión en DC:

✓ **Módulos solares – Caja de conexión FV- DC**

Este tramo está comprendido entre la salida de cada uno de los ramales del generador FV y una caja de conexión DC.

La I_{cc} es la corriente máxima que va a circular por los conductores, cada ramal suministrara una corriente de 9,71 A. Por cada inversor existen 5 circuitos ramales, entonces tenemos una corriente máxima de 48.5 A. Atendiendo la tabla (CABLE CENTELSA FOTOVOLTAICO H1Z2Z2-K 1,0 kV AC (1,5 kV DC) 90°C HF FR (Centelsa, s.f.)) y la corriente máxima por ramal se selecciona el conductor del tipo 1,5 kV de 4 mm².

✓ **Caja de conexión DC – Inversor FRONIUS SYMO**

Estará comprendido entre cada caja de conexión DC hasta el inversor, de donde saldrán 2 conductores uno positivo y otro negativo hacia el inversor, junto con el cable de tierra. En esta caja de conexión DC se encuentran los elementos necesarios para la protección del generador

fotovoltaico completo. La corriente total de este tramo es de 48.5 A. Atendiendo la tabla (CABLE CENTELSA FOTOVOLTAICO H1Z2Z2-K 1,0 kv AC (1,5 kv DC) 90°C HF FR (Centelsa, s.f.)) y la corriente máxima por ramal se selecciona el conductor del tipo 1,5 kV de 4 mm².

Conexión AC:

✓ Inversores – Red de baja tensión: Estará comprendido desde la salida del inversor hasta el tablero del sistema fotovoltaico. Este circuito será en corriente alterna. Dos parámetros a tener en cuenta en este cálculo es la potencia máxima que puede entregar el inversor a su salida, 24 kW cada inversor y el nivel de tensión 440 V. En este caso se tiene una corriente nominal de 31.49 A

$$I = \frac{P}{V} = \frac{24 \text{ kW}}{1.73 \cdot 440 \text{ V}} = 31.49 \text{ A} \quad (30)$$

Para calcular la corriente máxima que soporta el inversor se usa Ec. (7)

$$I = I_{\text{nóminal}} * 1.25 = 31.49 * 1.25 = 39.36 \text{ A} \quad (31)$$

Atendiendo a la tabla 310.16 de la NTC 2050 se selecciona un conductor de calibre 8 AWG y con la tabla 250-94 de la NTC 2050 (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [ICONTEC], 1998) se selecciona el calibre del conductor de puesta a tierra que para este caso es de 8 AWG.

➤ **Puesta a tierra de la instalación fotovoltaica**

En todas las fuentes de energía fotovoltaica debe haber un conductor de un sistema bifilar de más de 50 V nominal y el conductor del neutro de un sistema trifilar que estén sólidamente puestos a tierra. Se debe instalar un sistema de electrodo de tierra que cumpla lo establecido en el artículo 250-81 NTC 2050 (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [ICONTEC], 1998) y además deben poner a tierra todas las partes metálicas expuestas (estructuras de los módulos, equipos y encerramiento de conductores).

➤ **Selección de protecciones**

El cálculo de protecciones se realizará por cada tramo de la instalación, un tramo de corriente continua y otro de corriente alterna.

- Protecciones DC: Para la protección de la corriente en DC es necesario que la interrupción se realice de manera gradual.

✓ **Módulos solares – Caja de conexión en DC**

-Fusibles: Cada ramal poseerá dos fusibles de características eléctricas idénticas. Para dimensionar los fusibles, se utilizará la Ec. (32)

$$I_{FUSIBLE} = I_{mppPanel} * 1.25 = 9.27 = 11.58 \text{ A (32)}$$

Por consiguiente, se utilizarán fusibles de 15 A en cada ramal de paneles conectados en serie.

-DPS: Para la elección de la protección contra sobretensiones a utilizar en la instalación, se tendrá en cuenta la tensión máxima de funcionamiento, que ocurre cuando los paneles trabajan en condiciones de circuito abierto, para este caso se produce una tensión de 611 V.

✓ **Caja de conexión en DC- Inversor**

-Interruptor –Seccionador

En la elección del interruptor – seccionador se tendrán en cuenta dos parámetros: la corriente de cortocircuito que pueda producirse en cada panel y la tensión bajo condiciones de circuito abierto.

-Protecciones AC

Las protecciones de corriente alternan estarán ubicadas aguas abajo del inversor, para la protección de los circuitos y de la conexión a red de la instalación.

✓ **Inversor- Red de baja tensión**

El inversor FRONIUS SYMO 20-3-480 cuenta con las protecciones contra polaridad inversa de CD, fallas a tierra con interruptor de aislamiento, desconexión de CD, protección RI, protección de máxima y mínima tensión y máxima y mínima frecuencia. Por esta razón la protección que se instalara en este tramo es un interruptor magnetotérmico por cada inversor. Para la selección de este se tiene en cuenta la corriente máxima que soporta en inversor en AC ecu. (23). Se elige un interruptor termomagnético de 40 A.

➤ **Sistema de medida**

El medidor se sitúa próximo a la caja de protecciones en AC, se ubica en un sitio accesible al OR y al personal de la planta, para que puedan tomar lecturas de manera sencilla. Para la elección del medidor se deben tener en cuenta los parámetros mencionados en el numeral 2.6 del cap. 2 de este documento y el código de medida CREG 038 de 2014.

➤ **Mantenimiento**

El mantenimiento preventivo permite detectar y corregir fallas que afectan el funcionamiento del SFVC, implica analizar visualmente el sistema y luego medir su funcionamiento para detectar posibles fallas y proponer soluciones (Perpiñan Lamigueiro, 2012, pág. 194).

La tabla 18 presenta los resultados de dimensionamiento del caso de estudio aplicando el método seleccionado.

Tabla 18.

Resultados de Dimensionamiento del SFVCR.

Elementos	Sistema fotovoltaico conectado a la Red
# paneles FV	130
Superficie de paneles FV [m ²]	260 m ²
# inversores	2

Elementos			Sistema fotovoltaico conectado a la Red
Potencia nominal DC por inductor			20 kWp
Configuración del sistema			10 ramales conformados por 13 paneles en serie.

3.3 Aplicación del caso de estudio a la herramienta computacional, web y móvil

3.3.1 Herramienta computacional *BlueSol*

El caso de estudio planteado inicialmente se implementó en la herramienta computacional seleccionada. A continuación, se presenta un paso a paso del dimensionamiento del sistema junto con sus resultados.

Paso 1. Definición de propiedades del proyecto y ubicación del sistema

Se ingresa la ubicación exacta del proyecto y el software emplea su base de datos meteorológicos para obtener los valores de irradiación que nos permiten iniciar con el dimensionamiento.

Figura 22.

a) Datos principales del sistema b) Radiación promedio mensual Tolima-Espinal

The screenshot shows a 'Properties' dialog box with the following sections:

- Project:** Project Name: Sistema Solar Fotovoltaico 01-0002 Planta Pichincha-Espinal
- Location of system:**
 - Direction: Sistema solar de 4000 con inversor central
 - Address: (**) City: Tolima; (**) Country: Ecuador
 - State: Tolima; (**) Zip Code: ; (**) Country: Ecuador
- Customer:**
 - Name: Maria Mercedes Pedraza
 - Business: ; Company: Federación Nacional de Agricultores

At the bottom, there are instructions: (**) The "Country" field is to be entered manually. (**) The "City" and "Zip Code" fields are to be entered manually. At the very bottom, there is an 'Active Windows' section with buttons: < Back, Forward >, Cancel, and OK.

Nota. Tomado de: BlueSol Design for PV (s.f.) Professional tool for designing photovoltaic
<http://www.bluesolpv.com/dnnsite/Products/BlueSolDesign.aspx>

Paso 2. Definición de la potencia nominal del sistema y ajustes del proyecto

De acuerdo con el caso de estudio el proyectista realiza los respectivos ajustes de datos y además elige la secuencia con la que desea elegir los elementos que componen el sistema (Módulos FV-Inversores), en este caso se elige primero el inversor y luego el módulo FV. Como se mencionada anteriormente el software posee librerías para la elección del módulo FV y el inversor, pero en este caso se usaron referencias distintas a las sugeridas.

Nota. Tomado de: Programa, I. D. E. L. (s.f.) Programa de capacitación en energía solar fotovoltaica para liceos de educación media técnico profesional

Figura 23.

Definición de la potencia nominal del sistema y ajustes de datos importante en el dimensionamiento del proyecto

Project settings
Definition of the nominal power or the producibility of the system and setting general parameters of the project

Power of system

☐ Power or energy production calculated on the system layout
The power of system is calculated by the program based on the arrangement of the modules on the areas available for the placement of photovoltaic modules. This operation is carried out by drawing the system layout directly on the map.

☒ Power or energy production defined by designer
The system power is defined by designer, the wizard creates a system scheme with strings of equal length and same orientation and the same inverter model. The system layout and any changes to the system scheme can be made outside the wizard.

Arrangement

☐ Free arrangement of modules in the available areas

☒ Constrained arrangement by target power
Power peak required [kW]

☐ Arrangement constrained by energy to be produced
Energy to be produced annually [kWh]

Angle of inclination (Tilt)

Angle of orientation (Azimuth)

Settings

Maximum DC voltage from photovoltaic field ☐ System built using micro inverter

Storage layout ☒ DC battery storage ☐ AC battery storage

Tracking system of strings

System placement ☐ System on roof ☒ System on ground

Sequence of choice

☐ Choose the PV module primarily and secondarily the Inverter

☒ Choose the Inverter primarily and secondarily the PV module

Activar Windows
Ir a Configuración de PC para activar Windows.

< Back Forward > Cancel Help

Nota. Tomado de: BlueSol Design for PV (s.f.) Professional tool for designing photovoltaic
<http://www.bluesolpv.com/dnnsite/Products/BlueSolDesign.aspx>

Paso 3. Vista previa del sistema

La interfaz muestra las características específicas del sistema, propiedades de los elementos que lo componen y datos de producción energética.

Figura 24.

Vista previa del dimensionamiento del sistema fotovoltaico

System preview
Following are the schema and the characteristics of the system you get. Clicking the Finish button will generate a scheme of system with characteristics specified in the wizard

Scheme of system

- Str:2
 - EP-DC - Inverter:1:3
 - EP-DC - Inverter:1:4
 - EP-DC - Inverter:1:5
 - EP-DC - Inverter:1:6
- Inverter:2
 - EP-DC - Inverter:2:7
 - EP-DC - Inverter:2:8
 - EP-DC - Inverter:2:9
 - EP-DC - Inverter:2:10
 - EP-DC - Inverter:2:11
 - EP-DC - Inverter:2:12

Composition of system

Number of inverters: 2
 Number of strings: 10
 Number of modules per string: 13
 Total number of PV modules: 130
 Total number of electrical DC panels: 12
 Total number of batteries:
 Number of battery banks:

Inverter: Fronius International GmbH SYMO 24.0-3 480
 Modules: Eco Green Energy Group Limited EGE-370M-72
 Batteries:
 Charge controller:
 Tracker: Fixed inclined plane
 Total modules area: 252,2 m²

Electrical parameters

Nominal power: 48,1 kWp
 Maximum DC voltage: 634,37 V
 Minimum MPPT voltage: 0,0 V
 Maximum DC current: 48,5 A
 Maximum MPPT voltage: 0,0 V

Energy delivery

Nominal voltage: 400,0 V
 Connection type: Low voltage - Three-phase

Energy production

Annual energy production: 73325,68 kWh
 Annual productivity: 1524,44 kWh/kWp

Activar Windows
 Ir a Configuración de PC para activar Windows.
 < Back Finish Cancel Help

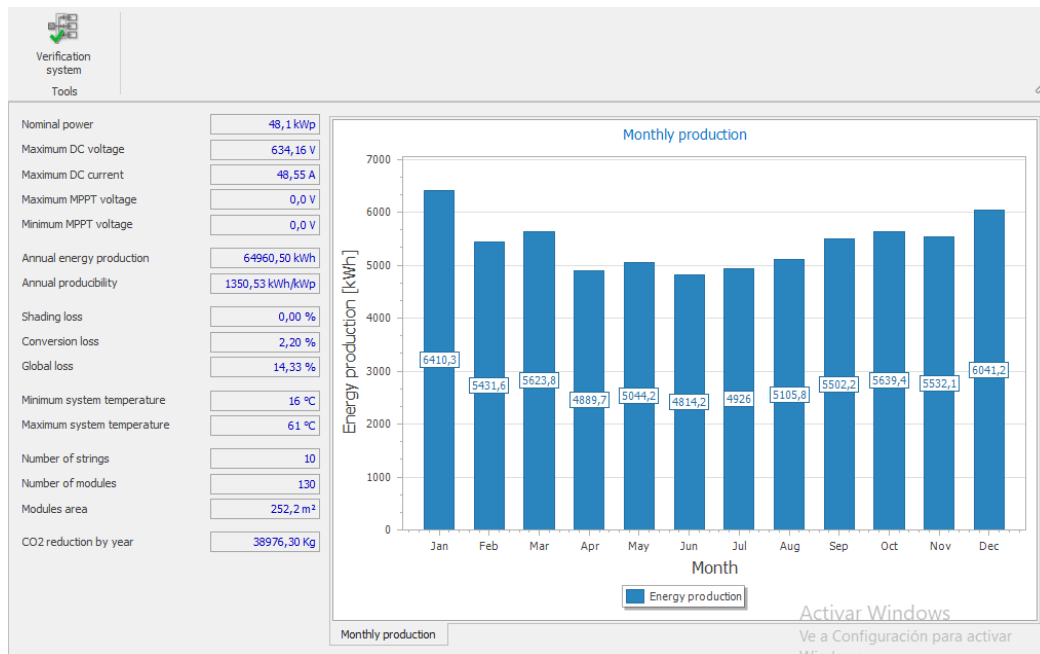
Nota. Tomado de: BlueSol Design for PV (s.f.) Professional tool for designing photovoltaic
<http://www.bluesolpv.com/dnnsite/Products/BlueSolDesign.aspx>

Paso 4. Resultados

Finalmente, el software le permite al usuario apreciar el comportamiento de su sistema junto con las características del mismo.

Figura 25.

Resultados del dimensionamiento del sistema fotovoltaico



Nota. Tomado de: BlueSol Design for PV (s.f.) Professional tool for designing photovoltaic
<http://www.bluesolpv.com/dnnsite/Products/BlueSolDesign.aspx>

3.3.2 Aplicativo web y móvil- FroniousSolar

Una vez se energice el sistema se procede a configurar el inversor con el fin de monitorizar la instalación. Para establecer la conexión con el Fronious Datamanager debe estar activado el dispositivo final (ordenador, portátil, Tablet, etc.). A continuación, se presenta un conjunto de pasos para la puesta en marcha del inversor [54].

1. Cablear el inversor Fronious Symo en la Fronious Solar Net.
2. Cuando se conectan en red varios inversores en Fronious SolarNet.

Se establece el maestro / esclavo de Fronius Solar Net en la tarjeta Fronius datamaneger

2.0.

☒ Un inversor con Fronius Datamanager 2.0 = maestro

☒ Todos los demás inversores con Fronius Datamanager 2.0 = esclavo

3. Activar el punto de acceso inalámbrico a través del menú de configuración del inversor.

Tabla 19.

Pasos para la sincronización del inversor con la Red .

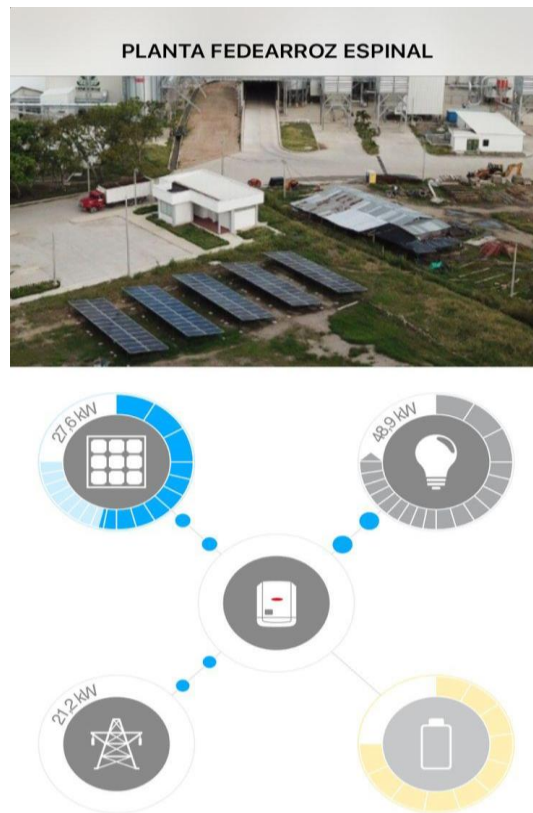
Instalación mediante Fronius Solar. Web App	Instalación mediante navegador web
4. Descargar Fronius Solar. Web LIVE o Solar Web Pro-APP	4. Conectar dispositivo final al WLAN Access Point -Buscar una red con el nombre “FRONIUS_24. XXXXX”, establecer conexión con la red e introducir la contraseña. (o conectar el dispositivo final y el inversor mediante un cable Ethernet)
5. Ejecutar la Fronius Solar. Web App	5. Introducir en el navegador dirección IP para la conexión inalámbrica o dirección IP para la conexión LAN

Nota. Tomado de: Charging, P.; Welding, P.; Energy, S. (s.f.) Fronius Primo – Instalação

6. Ejecutar el asistente de Fronius Solar.Web y seguir las instrucciones que aparecen en la página de inicio de Fronius Solar. Web (Charging, Welding, & Energy, s.f.). Una vez se configura el inversor, inicia la monitorización de la instalación fotovoltaica en tiempo real.

Figura 26.

Monitorización del sistema fotovoltaico para el caso de estudio- Planta Fedearroz Espinal.



4. Conclusiones

Las herramientas computacionales identificadas cuentan con características que permiten al usuario dimensionar sus sistemas fotovoltaicos de manera completa y obtener resultados precisos, pero ninguna de estas ofrece una interfaz accesible a personas con capacidades educativas especiales.

Los métodos identificados son útiles para el dimensionamiento de SFV conectados a la red, sin embargo el más recomendado para dimensionar estos sistemas fue el método analítico ya que cumplió con la mayor cantidad de criterios establecidos.

La descripción de los métodos y herramientas le facilita al usuario acceder a la información que se emplea al momento de dimensionar SFV conectados a la red de una forma puntual y sencilla.

El uso de aplicativos web y móviles para propietarios e instaladores del proyecto fotovoltaico resulta atractivo ya que permiten interactuar con el sistema en tiempo real, obteniendo datos tanto de generación como posibles fallas en el sistema. Gracias a las notificaciones se pueden detectar y corregir rápidamente las eventuales fallas en el sistema.

El desarrollo y la implementación de un algoritmo de diseño y cálculo para el caso de estudio se empleó para determinar la potencia generada por su sistema, los componentes del sistema fotovoltaico, el equipamiento del sistema eléctrico de la instalación y la generación del mismo.

El desarrollo de la guía metodológica resulta útil para que el lector aumente su conocimiento sobre SFV, aplique estrategias de implementación y comprenda el conjunto de pasos a seguir para dimensionar y poner en marcha un SFV conectado a la red.

Referencias Bibliográficas

Aguilera Hintelholher, R. M. (2013). Método y Metodología. *Estudios Políticos*, 9(28), 81–103.

Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/4264/426439549004.pdf>

Alvarado Castañeda, R. (2015). *Manual para la evaluación técnica-económica de: “Sistemas Fotovoltaicos Interconectados a la Red apoyados a través del Programa de Fideicomiso de Riesgo Compartido”*. México, D.F.: Oficina de Representación de la GIZ en México.

Obtenido de https://energypedia.info/images/6/67/GIZ_Manual_SF_Interconectados_Red_2015.pdf

Alvarado, R. (2015). *Manual para la evaluación técnica-económica de: “Sistemas Fotovoltaicos Interconectados a la Red apoyados a través del Programa de Fideicomiso de Riesgo Compartido”*. Obtenido de

https://energypedia.info/images/6/67/GIZ_Manual_SF_Interconectados_Red_2015.pdf

Aurora Solar. (s.f.). *The World’s #1 Solar Design Software*. Obtenido de <https://www.aurorasolar.com/>

Baumgartner, F. P., Schmidt, H., Burger, B., Brundlinger, R., Haberlin, H., & Zehner, M. (2007). Status and relevance of the DC voltage dependency of the inverter efficiency. *22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference, Milano, 1999(September)*, 3–7.

Blog Intellimeter. (s.f.). *Tipos de medidores eléctricos y cómo funcionan*. Obtenido de <https://blog.intellimeter.com/esp/tipos-de-medidores-eléctricos-y-cómo-funcionan>

BlueSol Design for PV. (s.f.). *Professional tool for designing photovoltaic*. Obtenido de <http://www.bluesolpv.com/dnnsite/Products/BlueSolDesign.aspx>

Celsia. (s.f.). *Clientes*. Obtenido de <https://nube.celsia.com:4443/clientes/paga-tus-facturas>

Celsia. (s.f.). *Solicitud de conexión para autogeneradores*. Obtenido de <https://www.celsia.com/es/informacion-regulatoria-y-res-creg-080/solicitud-de-conexion-para-autogeneradores>

Centelsa. (s.f.). *Fotovoltaicos*. Obtenido de www.centelsa.com

Charging, P., Welding, P., & Energy, S. (s.f.). *Fronius Primo – Instalação*.

Comision de Regulacion de Energia y Gas CREG. (2018). *Resolución No. 30 de mayo de 2018*. In *Mme*. Obtenido de [http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/83b41035c2c4474f05258243005a1191/\\$FILE/Creg030-2018.pdf](http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/83b41035c2c4474f05258243005a1191/$FILE/Creg030-2018.pdf)

Comisión Nacional De Riego. (2018). *Manual De Inspección Y Revisión De Sistemas Fotovoltaicos. Estudio Solar*.

Conexión En, L. A. . (s.f.). *Diseño de sistemas fotovoltaicos somos energías renovables*.

Cornejo, H. (2013). *Micro-inversores: principales topologías*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/301687589_MICRO-INVERSORES_PRINCIPALES_TOPOLOGIAS

Cornejo, H. (2013). *Sistema solar fotovoltaico de conexion a red en el centro materno Infantil de la universidad de piura*.

Días, T., & Carmona, G. (s.f.). *Componentes de una instalación solar fotovoltaica*.

Ebscohost. (s.f.). *Principios y aplicaciones de la energia fotovoltaica y de las baterias*. Obtenido de http://web.b.ebscohost.com/ehost/ebookviewer/ebook?sid=86d523c7-87d9-437a-b649-b37152589d04%40pdc-v-sessmgr02&ppid=pp_C&vid=0&format=EB

Economipedia. (2021). *Método - Qué es, definición y concepto*. Obtenido de <https://economipedia.com/definiciones/metodo.html>

Energema S.A. (2014). *Departamento Renovables Hora Solar Pico (Hsp). 1–8*. Obtenido de <https://www.grupoelektra.es/blog/wp-content/uploads/2014/10/como-somos-los-delektra-que-son-las-HSP.pdf>

Fernández, G. (2007). *Creación de Interfaces Gráficas de Usuario (GUI) con Matlab. Salamanca*. Obtenido de [http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Creaci?n+de+Interface+Gr?ficas+de+Usuario+\(GUI\)+con+MatLab#0](http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Creaci?n+de+Interface+Gr?ficas+de+Usuario+(GUI)+con+MatLab#0)

Fronius Solar. (s.f.). *Aplicación para la visualización de los datos del sistema fotovoltaico: para móvil*. Obtenido de <https://www.interempresas.net/MetalMecanica/FeriaVirtual/Producto-Aplicacion-para-visualizacion-de-datos-del-sistema-fotovoltaico-Fronius-Solar-web-App-66833.html>

Fronius Solar. (s.f.). *Página Principal*. Obtenido de <https://www.solarweb.com>

Google Earth. (s.f.). *Ubicación Fedearroz tolima Espinal*. Obtenido de [47.https://earth.google.com/web/search/fedearroz+tolima+espinal/@4.15937437,-74.91224953,335.01342724a,298.31762977d,35y,0.00000001h,44.99519896t,-0r/data=CoMBG1kSUwolMHg4ZTNiZDM4NWl5ZmNjZW5kOjB4MTcy](https://earth.google.com/web/search/fedearroz+tolima+espinal/@4.15937437,-74.91224953,335.01342724a,298.31762977d,35y,0.00000001h,44.99519896t,-0r/data=CoMBG1kSUwolMHg4ZTNiZDM4NWl5ZmNjZW5kOjB4MTcy)

Homer Energy. (2019). *Homer Pro. Manual Homer Energy, 1–241*. Obtenido de <http://www.homerenergy.com/pdf/HOMERHelpManual.pdf>

IDEAM. (s.f.). *Atlas Interactivo*. Obtenido de <http://atlas.ideam.gov.co/presentacion/>

INGENIERIAS. (s.f.). *Herramientas computacionales*. Obtenido de <https://sites.google.com/site/ingenierias116/herramientas-computacionales>

- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [ICONTEC]. (1998). *Código eléctrico colombiano NTC2050. Código Eléctrico Colombiano, 847*. Obtenido de https://www.idrd.gov.co/sitio/idrd/sites/default/files/imagenes/ntc_20500.pdf
- Instituto Costarricense de Electricidad. (2006). Estudio del potencial solar en Costa Rica. *Informe Final. 2001997*, 1–65.
- Ley 2099. (10 de Julio de 2021). *Por medio de la cual se dictan disposiciones para la transición energética, la dinamización del mercado energético, la reactivación económica del país y se dictan otras disposiciones. Establece priorización de los trámites ambientales para proyectos del s.* Obtenido de <https://dapre.presidencia.gov.co/normativa/normativa/LEY%202099%20DEL%2010%20DE%20JULIO%20DE%202021.pdf>
- Loaeza, F., Ramiro, C., & Tenorio, J. (2012). *Metodología de un sistema fotovoltaico conectado a la red (SFCR) para uso en luminarias del edificio 3 de la ESIME Zacatenco*. México, D. F.
- Mermoud, A., & Wittmer, B. (2014). PVsyst user's manual. *Pvsyst Sa, January*, 1–102.
- Mrinal, R. (2016). *Helioscope User Manual*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/335009620/Helioscope-User-Manual>
- Nataly, A., & Olarte, R. (2017). *Modelo de ordenamiento territorial, para dinamizar la integración subregional desde Espinal-Tolima, Colombia*.
- Página. (2021). *Selección y conexión de equipos del sistema de medida de energía eléctrica centros de excelencia técnica unidad cet normalización y laboratorios selección y conexión de equipos del sistema de medida de energía eléctrica*.

- Pereira Manrique, F. (2013). Psicología del error y sistema de gestión de recursos para el control de riesgos (SisGRECOR). *Revista Academia y Virtualidad*, 6(1), 53–61. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5777664>
- Pérez Álvarez, J. C. (2019). *Conectados y aplicación de la resolución CREG 030 De 2018 para inyectar excedentes de energía a la red*. Medellín, Colombia: Universidad de Antioquia Ingeniería , Ingeniería Eléctrica.
- Perpiñan Lamigueiro, O. (2012). *E S Fotovoltaica*. Obtenido de <http://procomun.wordpress.com/documentos/libroesf>
- Programa, I. D. E. L. (s.f.). *Programa de capacitación en energía solar fotovoltaica para liceos de educación media técnico profesional*.
- PV Complete. (s.f.). *PV Engineering & AutoCAD for Solar Design Software*. Obtenido de <https://pvcomplete.com/pvcad/>
- PV*SOL and PV*SOL premium. (s.f.). *PV*SOL – Plan and design better pv systems with professional solar software*. Obtenido de <https://pvsol.software/en/>
- RETIE. (2013). *RETIE resolución 9 0708 de agosto 30 de 2013 con sus ajustes. Resolucion 90708, 127*.
- Silvestre, S., Castañar, L., & Guasch, D. (2008). Herramientas de Simulación para Sistemas Fotovoltaicos en Ingeniería. *Formación Universitaria*, 1(1), 13–18. Obtenido de <https://doi.org/10.4067/s0718-50062008000100003>
- Software Fotovoltaico PV. (s.f.). *Trace Software Spain*. Obtenido de <https://www.trace-software.com/es/archelios-pro/software-diseno-instalaciones-fotovoltaicas/>
- Solar.web. (s.f.). *Aplicaciones en Google Play*. Obtenido de <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.fronius.solarweb>

Solarius PV . (s.f.). *ACCA Software*. Obtenido de <https://photovoltaic-software.com/pv-softwares-calculators/pro-photovoltaic-softwares-download/solarius-pv-acca-software>

Unidad de Planeación Minero-Energética UPME. (2014). *Guía práctica para la aplicación de los incentivos tributarios de la Ley 1715 de 2014. Ministerio Minas y Energía, 1*, 28. Obtenido de https://www1.upme.gov.co/Documents/Cartilla_IGE_Incentivos_Tributarios_Ley171

Unidad de Planeación Minero-Energética UPME. (s.f.). *Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia*. Obtenido de <http://www1.upme.gov.co/sgic/>

Universidad Industrial de Santander UIS. (2017). *Innovación y Cualificación, S. L. Montaje eléctrico y electrónico en instalaciones solares fotovoltaicas. ENAE0108 (2a. ed.)*. Antequera, Málaga: IC Editorial. Obtenido de <https://bibliotecavirtual.uis.edu.co:4259/es/ereader/uis/45074?page=146>

Villaseñor Rodríguez, I. (2008). Metodología para la elaboración de guías de fuentes de información. *Investig. bibl vol.22 no.46 Ciudad de México sep./dic.* . Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-358X2008000300006

Apéndices

Apéndice A. Datasheet Modulo FV empleado en el dimensionamiento del sistema

INFORMACIÓN ELÉCTRICA EN STC*

Potencia máxima (Pmax)	370 W
Tolerancia de potencia	0~+5 W
Eficiencia del módulo	19,07 %
Máxima capacidad de voltaje (Vmp)	39,55 V
Máxima capacidad de corriente (Imp)	9,35 A
Voltaje de circuito abierto (Voc)	47,46 V
Corriente de cortocircuito (Isc)	9,71 A

*Condiciones Estándar de Medida: Radiación: 1000 W/m² · Temperatura de las celdas: 25°C · AM: 1,5

INFORMACIÓN ELÉCTRICA EN NOCT*

Potencia máxima de salida (Pmax)	275,88 W
Capacidad máxima de voltaje (Vmp)	37,08 V
Capacidad máxima de corriente (Imp)	7,43 A
Voltaje de Circuito Abierto (Voc)	44,01 V
Corriente de cortocircuito (Isc)	7,90 A

*Temperatura Nominal de Operación de la Celda: Irradiación: 800W/m² · Temperatura ambiente: 20°C · AM: 1,5 · Velocidad del viento: 1 m/s

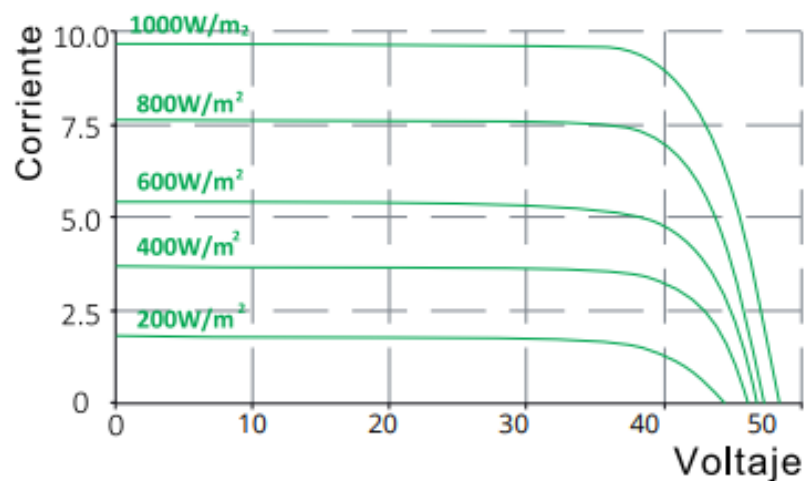
CARACTERÍSTICAS DE TEMPERATURA

NOCT	45 °C \pm 2 °C
Coeficiente de temperatura de Pmax	-0,396%/°C
Coeficiente de temperatura de Voc	-0,31%/°C
Coeficiente de temperatura de Isc	+0,06%/°C

RANGO MÁXIMO

Rango de temperatura de operación	-45°C ~+85 °C
Máximo voltaje del sistema	1500 V
Rango máximo de capacidad del fusible	15 A
Máxima carga frontal (ejem. nieve)	5400 Pa
Máxima carga posterior (ejem. viento)	2400 Pa

CURVA I-V



Apéndice B. Datasheet Inversor empleado en el dimensionamiento del sistema

DATOS DE ENTRADA CD	SYMO 15.0-3 480	SYMO 20.0-3 480	SYMO 22.7-3 480	SYMO 24.0-3 480
Potencia FV Recomendada (kWp)	12.0 – 19.5	16.0 - 26.0	18.0 - 29.5	19.0 - 31.0
Máxima corriente de entrada nominal (MPPT1/MPPT2)	33.0 A / 25.0 A			
Maxima corriente (MPPT 1 + MPPT 2)	51 A			
Máxima corriente de entrada de corto circuito admisible (MPPT 1/MPPT 2)	49.5 A / 37.5 A			
Tensión nominal de entrada	480 V	685 V	710 V	720 V
Rango de tensión de operación	200-1000 V			
Tensión de puesta en marcha	200 V			
Rango de tensión MPP	350-800 V	450-800 V	500-800 V	
Tensión máxima de entrada	1000 V			
Máximo conductor admisible en CD	6 AWG cobre, 6 AWG aluminio, 2 AWG cobre o aluminio con peinetas de distribución			
Portafusibles integrados en CD	NA	6- y 6+		
Corriente máxima de entrada de corto circuito por terminal	33A	15A		
Número de MPPT	2			

* Se requiere Fronius Shade Cover para montaje en ángulo menor a 15° en exterior.

DATOS TÉCNICOS FRONIUS SYMO (VERSIONES 480)

DATOS DE SALIDA CA		SYMO 15.0-3 480	SYMO 20.0-3 480	SYMO 22.7-3 480	SYMO 24.0-3 480
Potencia Máxima de salida	480 V	14995 VA	19995 VA	22727 VA	23995 VA
Configuración de salida		480 V Delta +N**			
Rango de frecuencia (ajustable)		45-65 Hz			
Frecuencia nominal de operación		60 Hz			
Tamaño de conductor de CA admisible		AWG 14-AWG 6			
Distorsión armónica total		≤1.5 %	≤1.0 %	≤1.25 %	≤1.0 %
Factor de potencia (cos φ)		Ajustable (0.85 ind./0.85 cap.)			
Máxima corriente de salida	480 V	18.0 A	24.0 A	27.3 A	28.9 A
DCPD / Interruptor CA recomendado	480 V	25 A	30 A	35 A	40 A
Máxima eficiencia		98.0 %			
Eficiencia CEC	480 V	97.0 %	97.5 %	97.5 %	97.5 %

Apéndice C. Fotografías de la planta de secamiento, almacenamiento y trilla Fedearroz-El Espinal

Figura AC1.

Sistema fotovoltaico ubicado en la planta Fedearroz-Espinal



Figura AC2.

Vista superior sistema fotovoltaico conectado a la red



Figura AC3.

Modulo fotovoltaico 370 W Monocristalino



Figura AC4 .

Ubicación de caja en DC



Figura AC5 .

Elementos de protección que conforma la caja en DC



Figura AC6.

Conjunto de inversores-Master/ Esclavo



Figura AC7.

Tablero general del sistema fotovoltaico

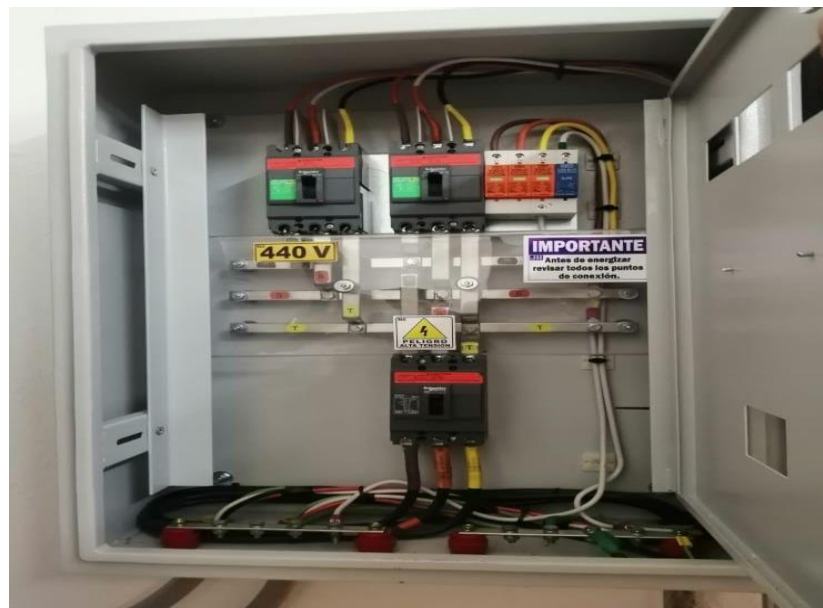


Figura AC8.

Conexiones del módulo fotovoltaico



Figura AC9.

Sistema de puesta a tierra del sistema fotovoltaico



Figura AC9.

Sistema de medida del sistema fotovoltaico



Diagrama unifilar del sistema fotovoltaico

