

Creación De Un Aplicativo Mediante El Uso De La Herramienta Software Excel Para El
Dimensionamiento De Sistemas Solares Fotovoltaicos

Mariana Carvajal Calderón y Juan Sebastián Suarez Ardila

Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero Electricista

Director

Rolando Andrés Rincón Saravia

Magister en Dirección de Empresas

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas

Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

2025

Tabla de contenido

Introducción.....	8
1. Objetivos y Metodología	10
1.1 Definición del Problema.....	10
1.2 Objetivo General.....	11
1.2.1 Objetivos Específicos.	11
1.3 Alcance	12
2. Conceptos Básicos.....	13
3. Marco Teórico	14
4. Factibilidad.....	16
4.1 Evaluación de Fuentes Digitales de Irradiancia para su Implementación	17
4.1.1 IDEAM	17
4.1.2 POWER NASA	18
4.1.3 PVGis	18
4.1.4 SolarGIS	19
4.2 Análisis y selección.	19
5. Proceso de Desarrollo del Aplicativo.....	20
5.1 Diseño de la Interfaz.....	20
6. Cálculos	21
6.1 Consumo.....	21
6.1.1 Consumo anual	21
6.1.2 Consumo mensual.	22
6.1.3 Consumo diario.	22
6.1.4 Consumo por elementos del hogar.	22
6.1.5 Estimación de consumo por sector.	22
6.2 Cálculo y selección de componentes	26
6.2.1 Módulos Fotovoltaicos.	27
6.2.1.1 Especificaciones del Módulo.....	28
6.2.2 Inversor.....	29
6.2.2.1 MPPT.....	31
6.2.2.2 Especificaciones del Inversor.	34
6.2.3 Baterías.....	35
6.2.3.1 Especificaciones de las Baterías.	36
6.2.4 Conductores Tipo Solar DC.	37
6.2.4.1 Breakers	38

6.2.4.2 Corriente de salida.....	38
6.2.4.3 Resistencia de carga y voltaje efectivo.....	39
6.2.5 Conductores Tipo AC.....	39
6.2.5.1 Regulación de Tensión	40
6.2.5.2 Momento eléctrico Ms.....	40
6.2.5.3 Factor K.....	40
6.2.5.4 Impedancia Efectiva Z_{eff}	41
6.2.5.5 Corriente de línea.....	41
6.2.5.6 La corriente al 125%.....	41
6.2.5.7 Perdidas por potencia.	42
7. Informe Final	42
8. Verificación del Aplicativo	43
9. Anexos	44
10. Conclusiones.....	47
Referencias	49

Lista de Tablas

Tabla 1. Tabla de comparación de resultados 44

Lista de Figuras

Figura 1. Estimación de consumo por sector residencial estrato 1 y 2	22
Figura 2. Estimación de consumo por sector residencial estrato 3	23
Figura 3. Estimación de consumo por sector residencial estrato 4	23
Figura 4. Estimación de consumo por sector residencial estrato 5	24
Figura 5. Estimación de consumo por sector residencial estrato 6	25
Figura 6. Estimación de consumo por sector residencial estrato comercial	25
Figura 7. Ficha técnica de un panel solar marca JA Solar	29
Figura 8. Ficha técnica de un inversor marca Growatt	34
Figura 9. Ficha técnica de una batería marca Tensite	37
Figura 10. Informe final	43
Figura 11. Manual de uso	45

Resumen

Título: Creación De Un Aplicativo Mediante El Uso De La Herramienta Software Excel Para El Dimensionamiento De Sistemas Solares Fotovoltaicos

Autores: Mariana Carvajal Calderón y Juan Sebastián Suarez Ardila

Palabras Clave: Energía solar fotovoltaica, dimensionamiento de sistemas solares, Microsoft Excel, VBA (Visual Basic for Applications), simulación fotovoltaica, normativa técnica colombiana, cálculo eléctrico, presupuesto de sistemas fotovoltaicos, herramientas accesibles, viabilidad económica.

Descripción: En la actualidad, estudiantes y profesionales del sector fotovoltaico enfrentan importantes desafíos al desarrollar sus proyectos, por un lado, los elevados costos de los simuladores comerciales los hacen inaccesibles para muchos; por otro, los métodos manuales de cálculo consumen tiempo valioso y dificultan la generación oportuna de informes técnicos. Esta situación limita significativamente la capacidad de diseñar sistemas solares óptimos, especialmente para quienes recién inician su carrera profesional. Frente a esta problemática, se hace evidente la necesidad de una herramienta accesible que permita realizar dimensionamientos precisos de manera eficiente, integrando todos los aspectos técnicos necesarios para proyectos fotovoltaicos residenciales e industriales. Este proyecto desarrolla una herramienta de dimensionamiento fotovoltaico basada en Excel (Microsoft Corporation, 2021), con programación VBA, ofreciendo una solución accesible y práctica para proyectos solares. A diferencia de simuladores comerciales, el aplicativo integra características específicas como los cálculos de cableado según normativa técnico colombiana, estimación de presupuestos, y gestión de bases de datos de componentes, combinando precisión técnica con facilidad de uso. Su enfoque en necesidades básicas desde análisis de irradiación hasta viabilidad económica lo posiciona como una alternativa completa para estudiantes y profesionales que requieren resultados confiables sin inversiones costosas en software especializado.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Fisiomecánicas. Escuela de ingeniería eléctrica, electrónica y de telecomunicaciones. Director: Rolando Andres Rincón Saravia. Magíster en Dirección de empresas. Codirector: Oscar Arnulfo Quiroga Quiroga. Doctor en tecnología.

Abstract

Title: Creation of an application using the excel software tool for the sizing of photovoltaic solar systems.

Author(s): Mariana Carvajal Calderón and Juan Sebastián Suarez Ardila

Key Words: Photovoltaic solar energy, solar system sizing, Microsoft Excel, VBA (Visual Basic for Applications), photovoltaic simulation, Colombian technical standards, electrical calculation, photovoltaic system budgeting, accessible tools, economic feasibility

Description: Currently, both students and professionals in the photovoltaic sector face considerable challenges when developing their projects. The high cost of commercial simulation software often makes these tools inaccessible, while manual calculation methods are time-consuming and hinder the efficient preparation of technical documentation. These limitations are especially critical for individuals at the early stages of their professional careers, as they restrict the ability to design optimal solar energy systems effectively. In response to this issue, the development of an accessible tool that facilitates accurate and efficient photovoltaic system sizing becomes essential—one that integrates all the necessary technical components for both residential and industrial applications. This project introduces an Excel-based sizing tool enhanced with VBA programming, providing a practical and affordable solution for solar energy projects. Unlike conventional commercial simulators, this application incorporates key functionalities such as conductor sizing in accordance with Colombian technical standards, cost estimation, and database management of system components. Its user-friendly interface and comprehensive approach—from solar irradiation analysis to financial evaluation—make it an ideal alternative for students and professionals seeking reliable results without the need for costly software licenses.

* Degree Work

** Faculty of Physiomechanics. School of electrical, electronic and telecommunications engineering. Director: Rolando Andres Rincón Saravia. Magíster en Dirección de empresas. Codirector: Oscar Arnulfo Quiroga Quiroga. Doctor en tecnología.

Introducción

El presente documento se enfoca en el desarrollo de un aplicativo diseñado en Microsoft Excel para el dimensionamiento de sistemas solares fotovoltaicos, en respuesta a la creciente demanda energética y al avance de la generación distribuida. Esta herramienta surge como una solución práctica y económica ante las limitaciones que enfrentan muchos profesionales recién egresados del sector eléctrico y energético, quienes, en su ejercicio profesional, requieren simuladores especializados para realizar un dimensionamiento preciso y conforme a la normativa vigente. Sin embargo, el alto costo de adquisición y licencia de estos softwares representa una barrera importante para su acceso.

El aplicativo desarrollado, denominado **INVICTUS**, busca brindar una alternativa asequible, intuitiva y didáctica, permitiendo no solo realizar cálculos técnicos confiables, sino también visualizar gráficamente los resultados, facilitando la interpretación y toma de decisiones. Asimismo, su estructura modular lo convierte en una herramienta útil tanto para uso profesional como académico, al integrarse fácilmente en procesos de formación relacionados con energías renovables, eficiencia energética y diseño de instalaciones solares. Para la elaboración de esta herramienta implicó la integración de conocimientos adquiridos a lo largo de la formación profesional, el estudio y aplicación de normativas internacionales (IEC, RETIE, NTC), así como la implementación de metodologías de cálculo y diseño técnico que abarcan desde el análisis del consumo hasta la selección de componentes, protecciones y banco de baterías. Todo este proceso se complementó con una etapa de validación, en la que los resultados obtenidos por INVICTUS fueron comparados con los entregados por simuladores comerciales como PV*SOL, obteniendo una concordancia técnica significativa.

Este libro de tesis presenta en detalle cada una de las etapas del desarrollo del aplicativo, su fundamentación teórica, estructura funcional y pruebas de validación realizadas, con el objetivo de ofrecer una herramienta útil, verificable y accesible para estudiantes, docentes y profesionales del sector energético.

1. Objetivos y Metodología

1.1 Definición del Problema

En las últimas décadas, la energía fotovoltaica experimenta un notable crecimiento en la industria energética, ya que presenta una implementación práctica en distintos campos, tanto residencial como comercial. Para ingenieros recién egresados, es una de las primeras opciones laborales que se presentan.

Por consiguiente, se realizan estudios de diversos artículos que contribuyen al dimensionamiento de los paneles fotovoltaicos, tales como el artículo de Romero Aparicio y Susana Carolina (2010), titulado "Metodología para la formulación de proyectos de generación de energía eléctrica por medio de paneles fotovoltaicos", de la Universidad Industrial de Santander. Este trabajo presenta una metodología para el diseño y evaluación de proyectos de energía eléctrica con paneles fotovoltaicos, incluyendo el análisis del marco legal, el estudio de tecnologías y componentes técnicos, y la viabilidad económica en Bucaramanga, en el cual se identifican como desafíos el alto costo de la tecnología y la falta de incentivos legales y tributarios.

Con base en lo aprendido, se investiga sobre distintos tipos de diseños, resaltando la importancia de varios elementos, tales como las normativas requeridas, los cálculos necesarios y la programación en los proyectos.

En el campo del dimensionamiento de paneles fotovoltaicos, se requieren diversos estudios, entre los que se incluyen la elección de los paneles fotovoltaicos e inversores, la evaluación de la irradiancia en la ubicación y el cálculo del área necesaria. Debido a esto, la implementación de simuladores resulta sustancial para aproximarse a un uso óptimo del diseño; sin embargo, al investigar sobre el uso de varios softwares, se llega a la conclusión

de que las pruebas básicas son costosas. Los precios oscilan entre 730 y 1000 USD, o incluso más. Por ejemplo, el software PVSOL (Valentin Software, 2025), tiene un costo anual de 2000 euros, mientras que Archiluos Solar varía entre 800 y 2000 euros al año. Por su parte, PVsyst tiene un costo de 730 USD anuales. Además, el gasto en capacitaciones para el uso de estos programas representa una inversión significativa.

Para un ingeniero recién egresado, pagar por el uso de estos softwares es complejo, ya que no todos cuentan con las mismas herramientas para comenzar en el campo laboral de la energía solar. La solución que se plantea en este proyecto, además de ampliar los conocimientos de los estudiantes, abordando temas de normativa, diseño, reglamentación y cálculos, aporta a la comunidad la facilidad de acceder a un aplicativo dinámico para realizar los cálculos necesarios y aplicar de manera eficiente el dimensionamiento de paneles fotovoltaicos.

1.2 Objetivo General

Crear de un aplicativo mediante el uso de la herramienta software Excel (Microsoft Corporation, 2021), para el dimensionamiento de sistemas solares fotovoltaicos.

1.2.1 Objetivos Específicos.

Realizar la búsqueda de información necesaria para la creación del aplicativo, siguiendo normativas eléctricas establecidas a nivel nacional, así como información de libros, revistas y trabajos de investigación, la recopilación de datos necesarios para el dimensionamiento fotovoltaico.

Clasificar y ordenar datos de irradiancia y radiación solar específicos del Departamento de Santander por medio de agencias nacionales e internacionales y paginas

como la NASA (Prediction Of Worldwide Energy Resources, [POWER], 2025), IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, [IDEAM], 2025), Solargis (Datos, Software y Servicios Para Proyectos Solares [Solargis], 2025), PVGIS (JRC Photovoltaic Geographical Information System, [PVGIS], 2016).

Desarrollar el aplicativo por medio de la herramienta de software Excel (Microsoft Corporation, 2021), que permita el dimensionamiento fotovoltaico, considerando los requisitos de funcionamiento, confiabilidad de los resultados y teniendo en cuenta las limitaciones del programa establecidas.

1.3 Alcance

El programa incluirá datos de irradiancia y radiación a nivel local, específicamente del Departamento de Santander, para realizar los cálculos solares necesarios. El desarrollo se llevará a cabo en Excel (Microsoft Corporation, 2021), excluyendo el uso de otras aplicaciones. Además, no contará con un sistema de actualizaciones automáticas, lo que implica que cualquier persona que desee actualizar los datos de irradiancia y radiación deberá hacerlo manualmente. Si se desea ampliar los datos a nivel departamental o nacional para un dimensionamiento fotovoltaico, también deberá realizarse de manera manual. El alcance del proyecto se limitará al dimensionamiento fotovoltaico, abarcando la selección de paneles fotovoltaicos, inversores, cables, breakers, protecciones, limitando la selección de productos de en la página Autosolar (AutoSolar, 2025), y el cálculo presupuestal del proyecto. Asimismo, no se realizarán modelos 3D de la instalación fotovoltaica, ya que se trabajará con un sistema 2D para el dimensionamiento. Tampoco se entregará el diagrama unifilar de la instalación eléctrica. Además, no se abarcarán sistemas de dimensionamiento fotovoltaico

complejos, limitándose únicamente a inversores todo en uno. Contará con un sistema de cálculo de protección de apantallamiento de esferas.

El proyecto se centrará en proporcionar una solución práctica y específica para el dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos en el área mencionada, con ciertas limitaciones que deberán ser consideradas por los usuarios.

2. Conceptos Básicos

El diseño y construcción del aplicativo de dimensionamiento solar se fundamentó en los conocimientos previos adquiridos a lo largo de la formación académica en Ingeniería Eléctrica, en especial en las asignaturas relacionadas con sistemas de energía renovable, análisis de cargas, máquinas eléctricas, normatividad técnica y diseño de instalaciones eléctricas. Estos saberes constituyeron la base conceptual sobre la cual se estructuró la lógica del dimensionamiento fotovoltaico dentro del entorno de desarrollo.

Durante la carrera, se abordaron temáticas claves como el comportamiento de los módulos solares bajo distintas condiciones de irradiación, el cálculo de demanda energética, la eficiencia de los inversores, la selección de conductores, y la integración de sistemas de almacenamiento. Estos conocimientos permitieron comprender y aplicar criterios técnicos fundamentales al momento de desarrollar cada módulo del aplicativo. Por ejemplo, el cálculo de la capacidad del banco de baterías se basa directamente en el principio de conservación de energía, ajustado por factores de autonomía y profundidad de descarga, conceptos abordados en la asignatura de sistemas eléctricos aplicados a energías renovables.

Asimismo, se integraron herramientas de análisis aprendidas en cursos de software aplicado, como Microsoft Excel (Microsoft Corporation, 2021) y Visual Basic for

Applications (VBA), permitiendo automatizar procesos y construir una interfaz gráfica de usuario que facilita la navegación entre los distintos apartados del diseño. La capacidad de programar funciones lógicas, validaciones y cálculos automáticos se logró gracias a la formación previa en algoritmos y estructuras de programación básica, adquiridas en los primeros semestres de la carrera.

Otro componente clave en el desarrollo del aplicativo fue el conocimiento normativo, tales como la NTC 2050 (ICONTEC, 1998), las resoluciones CREG 030 de 2018 y CREG 060 de 2019 (CREG, 2018; CREG, 2019), que orientan el diseño y conexión de sistemas fotovoltaicos en Colombia, las cuales fueron previamente estudiadas en proyectos académicos y trabajos de aula, lo que permitió su correcta implementación dentro de la lógica de cálculo y selección de componentes del sistema.

3. Marco Teórico

El desarrollo e implementación de sistemas de generación fotovoltaica en Colombia ha estado acompañado por una evolución normativa significativa, esto por el gran incremento en la implementación de este nuevo recurso renovable en el sector energético, por ello se realizó el estudio de la normativa más representativa para el dimensionamiento solar, detallada a continuación.

La Resolución CREG 030 de 2018 (Comisión de Regulación de Energía y Gas [CREG], 2018), establece un marco regulatorio para la autogeneración a pequeña escala (AGPE) y la generación distribuida (GD), definiendo límites en su generación y en la capacidad de conexión según su ubicación, esto permite a usuarios residenciales, comerciales e industriales generar su propia energía y vender excedentes al Sistema Interconectado

Nacional (SIN), facilitando la conexión mediante procedimientos simplificados y estandarizados.

Posteriormente, la Resolución CREG 060 de 2019 (Comisión de Regulación de Energía y Gas [CREG], 2019), complementó este marco al introducir requerimientos técnicos más detallados para la conexión de plantas solares, eólicas y de tipo filo de agua. Esta resolución exigió la entrega de modelos de control, simulación, y pruebas como la curva PQ y control de frecuencia, con el objetivo de preservar la estabilidad del sistema eléctrico nacional frente a la variabilidad de estas fuentes. Además, estableció plazos específicos para que las plantas existentes se adaptaran a estos nuevos requisitos, consolidando así un entorno técnico más robusto para la integración de energías renovables.

la Sección 705 de la NTC 2050 (Código Eléctrico Colombiano) establece las condiciones de seguridad y operación para la interconexión de sistemas de generación eléctrica a la red, incluidos los sistemas solares fotovoltaicos, esta normativa aplica tanto a entornos residenciales como comerciales, y cubre aspectos esenciales como dispositivos de desconexión, protecciones contra sobrecorrientes, coordinación de protecciones, sincronización de voltaje y frecuencia, y medidas para evitar la retroalimentación de energía hacia redes desenergizadas (NTC 2050, Sección 705). Además, se exige la implementación de sistemas de monitoreo y medición, así como el cumplimiento de criterios de compatibilidad electromagnética y puesta a tierra adecuada.

Del mismo modo los módulos fotovoltaicos deben cumplir con estándares internacionales que aseguren su rendimiento, durabilidad y seguridad. Para ello la norma IEC 61215 garantiza la calidad del diseño y la resistencia ambiental de los módulos fotovoltaicos, mediante pruebas que simulan condiciones reales como humedad, ciclos térmicos, radiación

UV y cargas mecánicas. Esta norma es fundamental para validar el desempeño a largo plazo de los módulos solares en diferentes entornos (International Electrotechnical Commission [IEC], 2021).

La norma IEC 61701 evalúa la resistencia de los módulos a la corrosión por niebla salina, una característica crucial para instalaciones en zonas costeras. Esta prueba permite garantizar que los módulos mantendrán su funcionamiento incluso en ambientes con alta salinidad (International Electrotechnical Commission [IEC], 2011).

Por otro lado, las normas IEC 61730-1 e IEC 61730-2 abordan aspectos de seguridad eléctrica y mecánica. La primera se enfoca en la construcción del módulo, asegurando que materiales y diseño minimicen riesgos como descargas eléctricas o incendios. La segunda establece los ensayos necesarios para comprobar esta seguridad, como pruebas de aislamiento, impacto y exposición térmica (IEC 61730-1, IEC 61730-2).

Finalmente, la norma UL 1703, desarrollada por Underwriters Laboratories, es ampliamente exigida en países como Estados Unidos. Esta norma asegura que los módulos solares cumplan con condiciones estrictas de seguridad eléctrica, resistencia térmica y estructural, así como protección contra incendios, para garantizar una operación segura en el tiempo (Underwriters Laboratories [UL], 2013).

4. Factibilidad

Para la creación del aplicativo de dimensionamiento solar, en principio se estableció una digitación manual para los datos de radiación, por ende, se estableció un rango anual para la obtención de estos, sin embargo, la facilidad del software Excel (Microsoft Corporation, 2021) y su programación de visual basic (VBA), implemento un modo eficiente

de exportación de datos limitando únicamente las variables a escoger, detalladas en el manual de uso.

4.1 Evaluación de Fuentes Digitales de Irradiancia para su Implementación

Para garantizar la confiabilidad de los datos de irradiancia requeridos en cada instalación, resulta fundamental evaluar la precisión de las páginas que proporcionan dicha información. Dado que existe una amplia variedad de fuentes digitales disponibles, se seleccionaron cuatro plataformas de referencia, IDEAM, POWER NASA, PVGIS y SolarGIS. La elección de estas páginas se fundamentó en conocimientos previos adquiridos en el ámbito académico, particularmente a través de la asignatura de Dimensionamiento de Sistemas Fotovoltaicos impartida por la Universidad Industrial de Santander (UIS), en la cual dichas fuentes son empleadas como herramientas de apoyo para el análisis y la toma de decisiones técnicas.

4.1.1 IDEAM

El IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, [IDEAM], 2025) es la fuente oficial en Colombia para datos de irradiación solar, entre otros parámetros climáticos y ambientales. La eficacia de sus datos es buena, ya que se basa en mediciones realizadas por una red de estaciones meteorológicas automáticas y de radiación solar instaladas en distintas regiones del país. Estas mediciones siguen estándares internacionales, como los de la Organización Meteorológica Mundial (OMM), lo que respalda su calidad técnica.

4.1.2 POWER NASA

La plataforma NASA POWER (Prediction Of Worldwide Energy Resources, [POWER], 2025), proporciona datos de irradiación solar derivados de observaciones satelitales y modelos de reanálisis atmosférico. Su principal ventaja es la cobertura global y la facilidad de acceso gratuito a información histórica y actualizada. NASA POWER ha sido validada en distintas regiones del mundo, y los estudios muestran que, en general, ofrece una alta precisión en sus estimaciones de radiación solar, especialmente para análisis a gran escala o en zonas donde no existen estaciones meteorológicas locales, además de proporcionar la descarga de estos datos en distintos formatos de fácil manejo.

4.1.3 PVGIS

PVGIS (JRC Photovoltaic Geographical Information System, [PVGIS], 2016), es una plataforma desarrollada por el Centro Común de Investigación (JRC) de la Comisión Europea, que ofrece datos de irradiación solar y potencial fotovoltaico para casi todo el mundo. La información que proporciona se basa en una combinación de datos satelitales, mediciones terrestres y modelos de simulación atmosférica. Gracias a este enfoque, PVGIS ha demostrado ser una herramienta muy eficaz para estimar el recurso solar, especialmente para proyectos de energía solar en fases de evaluación y planificación, sus modelos han sido validados mediante comparaciones con mediciones reales en múltiples ubicaciones de Europa, África, América Latina y otras regiones. Estas validaciones muestran que, en general, los datos de irradiancia global horizontal (GHI) de PVGIS tienen errores relativamente bajos, a menudo inferiores al 5-10% en promedio anual. Sin embargo, como ocurre con cualquier sistema basado en interpolaciones y datos satelitales, puede haber

mayores desviaciones en zonas de topografía compleja o en condiciones atmosféricas extremas que los modelos no capturen perfectamente.

4.1.4 SolarGIS

En cuanto a la veracidad, SolarGIS ha demostrado ser uno de los sistemas más confiables disponibles actualmente. Diversos estudios de validación en Europa, América Latina, Asia y África han mostrado que sus datos presentan errores muy bajos, típicamente con desviaciones absolutas medias menores al 5% en irradiancia diaria o anual, comparados con mediciones de campo de alta calidad. Además, SolarGIS continuamente actualiza y mejora sus modelos y algoritmos, lo que refuerza su posición como una fuente de referencia para proyectos de gran escala y evaluaciones detalladas de recurso solar.

4.2 Análisis y selección.

Después de haber investigado y probado cada página de datos, se seleccionaron dos para otorgar diversidad de análisis en el dimensionamiento, estas fueron POWER NASA (Prediction Of Worldwide Energy Resources, [POWER], 2025) y PVGIS (JRC Photovoltaic Geographical Information System, [PVGIS], 2016), dado a su versatilidad en el manejo y descarga de datos. POWER NASA genera datos de irradiancia con mayor precisión que las otras páginas recomendadas, además de entregar los resultados en archivo cvs, proporcionando una manera eficiente de exportación y carga de datos al aplicativo. Por otro lado, PVGIS genera una confianza más baja en la obtención de los datos, dado que maneja un sistema de interpolación aproximando valores en base a otras ubicaciones, pero al igual que POWER NASA genera un método eficiente de exportación y manejo de los datos en cvs. El aplicativo diseñado enlaza el archivo descargado de estas dos plataformas, limpia los datos y genera un análisis eficiente y didáctico, con un manejo sencillo para los usuarios.

5. Proceso de Desarrollo del Aplicativo

La construcción del aplicativo se organizó en diversas etapas, con el propósito de garantizar su verificación progresiva durante la programación. Esta metodología permitió optimizar la eficiencia y la versatilidad en su uso, al tiempo que facilitó la identificación de posibles falencias y la implementación de soluciones al culminar cada fase de desarrollo.

5.1 Diseño de la Interfaz

Para la elaboración de la interfaz se implementó un diseño sencillo, donde cada ingreso de datos o generador de cálculos cuenta con un botón de ayuda, para mayor facilidad, se esforzó por la practicidad en el manejo y el uso de definiciones sencillas para mayor comprensión, así mismo como el apoyo con un manual de funciones, para el cargue de datos y cada una de las aplicaciones. Los formularios han sido construidos utilizando distintos controles de interfaz gráfica proporcionados por la plataforma de desarrollo, por ejemplo, para la interfaz de datos de cliente, se implementaron Labels para la presentación de títulos y encabezados, Textbox para el ingreso de datos por parte del usuario, y CommandButton para ejecutar acciones específicas como abrir un calendario o avanzar entre formularios. La programación incluye un calendario desplegable activado mediante un botón, lo cual permite una selección de fechas precisa y sencilla.

Además, se han incorporado funciones para seleccionar imágenes en formatos comunes (*.gif, *.jpg, *.png), así como un botón “Continuar” que permite pasar a la siguiente sección cerrando automáticamente la ventana activa, lo cual optimiza la experiencia del usuario. Este diseño está orientado a permitir un ingreso de datos ordenado y guiado, adecuado para la elaboración posterior de reportes técnicos en sistemas solares.

Para un mayor entendimiento de la construcción, diseño y uso, de cada interfaz que conforman el aplicativo, se recomienda consultar el **anexo 3** (Programación e VBA del aplicativo INVICTUS, creación propia, 2025).

6. Cálculos

El proceso de dimensionamiento solar implica una serie de cálculos técnicos que permiten definir con precisión los componentes del sistema fotovoltaico, garantizando su eficiencia y viabilidad, en esta sección se desarrollan las fórmulas necesarias para estimar la energía requerida, la cantidad de módulos solares, el número de baterías (en caso de sistemas autónomos), así como la selección adecuada del inversor y demás elementos.

6.1 Consumo

Una sección especial es la estimación del consumo de la instalación, para dimensionar un sistema solar fotovoltaico de forma precisa, es necesario estimar el consumo energético del hogar tomando como base la curva de demanda residencial o comercial proporcionada por la ESSA (Empresa Electrificadora de Santander S.A. E.S.P, 2025).

Estas curvas reflejan el comportamiento típico de consumo de energía durante las distintas horas del día, permitiendo no solo calcular el total de energía requerida, sino también identificar los momentos de mayor demanda para el correcto dimensionamiento del inversor y del sistema de almacenamiento.

6.1.1 Consumo anual

El aplicativo proporciona la sección donde el usuario o técnico requerido ingresa el valor del consumo anual estimado de la instalación, se recalcula para encontrar el valor

estimado mensual dividiendo el valor anual entre 12 y luego este valor en un estimado de 30 días, para encontrar el valor diario estimado de la instalación.

6.1.2 Consumo mensual.

El aplicativo proporciona la sección donde el usuario o técnico requerido ingresa el valor del consumo mensual estimado de la instalación, por cada mes, para de este modo obtener un valor estimado anual y calcular el valor diario dividiendo entre 30 días.

6.1.3 Consumo diario.

El aplicativo proporciona la sección donde el usuario o técnico requerido ingresa el valor del consumo diario.

6.1.4 Consumo por elementos del hogar.

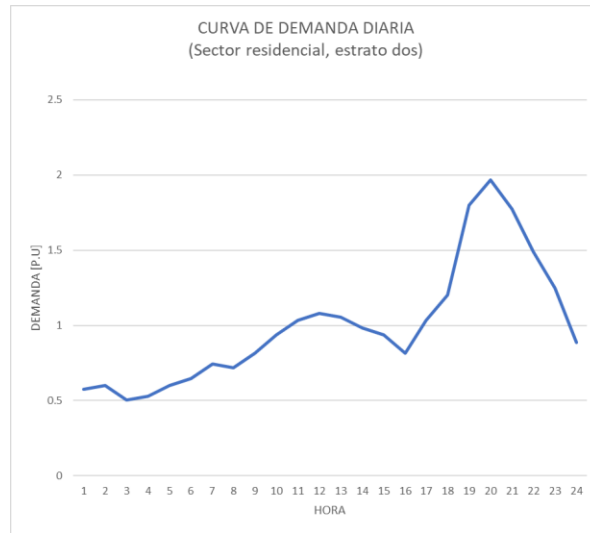
El aplicativo proporciona la sección donde el usuario o técnico requerido ingresa cada elemento eléctrico encontrado en la instalación

6.1.5 Estimación de consumo por sector.

Se incorpora la curva de demanda horaria proporcionada por la ESSA. Esta curva establece qué porcentaje del consumo diario ocurre en distintas franjas horarias del día. Por ejemplo, puede indicarse que el 40% del consumo ocurre entre las 6:00 p.m. y 10:00 p.m., mientras que solo un 5% se concentra en la madrugada. Al aplicar estos porcentajes al consumo diario estimado, se obtiene la distribución horaria de la carga, lo cual es fundamental para determinar la demanda pico del sistema y verificar si los equipos seleccionados (inversores, baterías, etc.) pueden manejar dicha carga en los momentos críticos. (ESSA, 2021).

Figura 1.

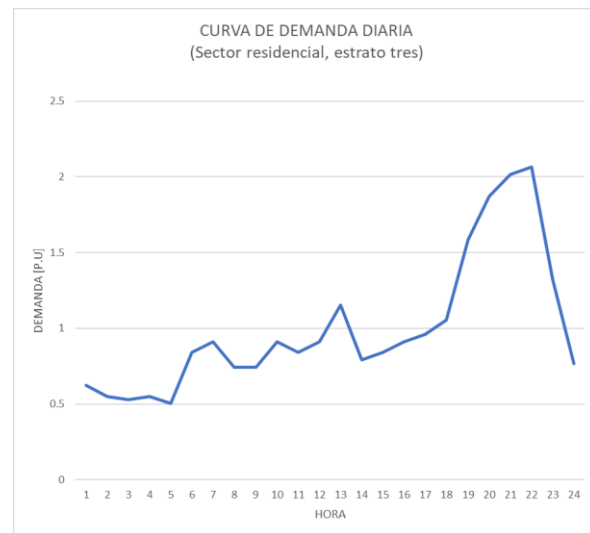
Estimación de consumo por sector residencial estrato 1 y 2



Nota: Progreso gestión expansión del sistema, Normas para el cálculo y diseño de sistemas de distribución, Pag 115, ESSA, Recuperado el 2 de agosto de 2025, de <https://www.essa.com.co/site/Portals/14/Docs/Norma%20tecnica/Norma%20T%C3%A9cnica%20ESSA.pdf>

Figura 2.

Estimación de consumo por sector residencial estrato 3

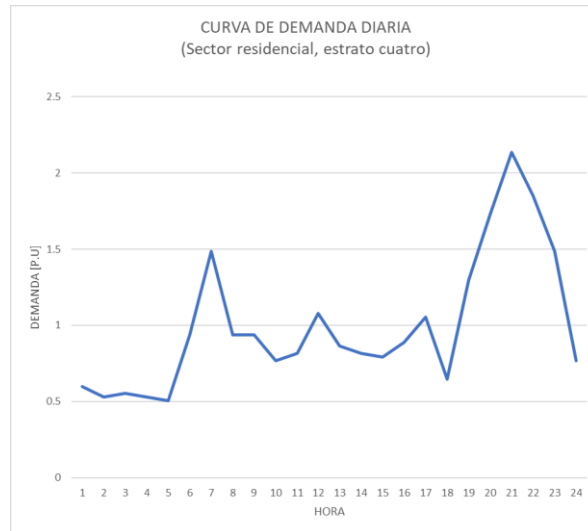


Nota: Progreso gestión expansión del sistema, Normas para el cálculo y diseño de sistemas de distribución, Pag 116, ESSA, Recuperado el 2 de agosto de 2025, de

<https://www.essa.com.co/site/Portals/14/Docs/Norma%20tecnica/Norma%20T%C3%A9cnica%20ESSA.pdf>

Figura 3.

Estimación de consumo por sector residencial estrato 4



Nota: Progreso gestión expansión del sistema, Normas para el cálculo y diseño de sistemas de distribución, Pag 117, ESSA, Recuperado el 2 de agosto de 2025, de <https://www.essa.com.co/site/Portals/14/Docs/Norma%20tecnica/Norma%20T%C3%A9cnica%20ESSA.pdf>

Figura 4.

Estimación de consumo por sector residencial estrato 5



Nota: Progreso gestión expansión del sistema, Normas para el cálculo y diseño de sistemas de distribución, Pag 118, ESSA, Recuperado el 2 de agosto de 2025, de <https://www.essa.com.co/site/Portals/14/Docs/Norma%20tecnica/Norma%20T%C3%A9cnica%20ESSA.pdf>

Figura 5.

Estimación de consumo por sector residencial estrato 6



Nota: Progreso gestión expansión del sistema, Normas para el cálculo y diseño de sistemas de distribución, Pag 119, ESSA, Recuperado el 2 de agosto de 2025, de

<https://www.essa.com.co/site/Portals/14/Docs/Norma%20tecnica/Norma%20T%C3%A9cnica%20ESSA.pdf>

Figura 6.

Estimación de consumo por sector comercial



Nota: Progreso gestión expansión del sistema, Normas para el cálculo y diseño de sistemas de distribución, Pag 120, ESSA, Recuperado el 2 de agosto de 2025, de <https://www.essa.com.co/site/Portals/14/Docs/Norma%20tecnica/Norma%20T%C3%A9cnica%20ESSA.pdf>

6.2 Cálculo y selección de componentes

Como parte del dimensionamiento solar el cálculo y la selección de componentes es una etapa fundamental en el dimensionamiento de un sistema solar fotovoltaico, ya que garantiza que todos los elementos del sistema trabajen de manera eficiente, segura y adaptada a las necesidades energéticas del usuario. En esta sección se detallan los procedimientos técnicos para determinar las características y capacidades de los principales componentes del sistema, como los paneles solares, inversores y baterías.

6.2.1 Módulos Fotovoltaicos.

Para garantizar que el sistema solar genere la energía necesaria, es indispensable calcular el número y tipo de módulos fotovoltaicos requeridos. Este cálculo se basa en el consumo energético estimado, la irradiación solar disponible en la ubicación del proyecto y el rendimiento del sistema. Se empleó un análisis en base a los datos de irradiancia promedio empleado por el software elegido (POWER NASA o PVGIS), el software lanza los datos empleando un estudio del cargue proporcionado por la medición de los satélites, sin embargo, estos datos deben ser recalculado para la obtención del ángulo óptimo en la instalación, los cálculos detallados para el dimensionamiento fueron obtenidos del documento de estudio del SEAS (Energía solar fotovoltaica, Estudios Abiertos SEAS grupo San Valero, [SEAS], 2015) para ello se emplea la Ecuación 1.

$$\beta_{opt} = 3,7 + 0,69 * |\varphi| \quad (1)$$

En la Ecuación 1 β representa el ángulo de inclinación óptima en grados y φ representa la latitud del lugar, sin signo en grados. Al obtener el ángulo óptimo de implementación en el sistema, se calculan las pérdidas por inclinación para poder recalculer los valores de irradiancia. Para el cálculo de pérdidas por inclinación se emplea la Ecuación 2 para una inclinación del panel dentro del rango, mínimo 15 grados y máximo 90 grados y la Ecuación 3 para una inclinación del panel dentro del rango, máximo 15 grados.

$$Pérdidas [\%] = 100 * [1,2 * 10^{-4} * (\beta - \varphi + 10)^2 + 3,5 * 10^{-5} \alpha^2] \quad (2)$$

$$Pérdidas [\%] = 100 * [1,2 * 10^{-4} * (\beta - \varphi + 10)^2] \quad (3)$$

Al obtener las pérdidas por inclinación se recalculan los datos de irradiancia con la Ecuación 4.

$$\frac{\text{Irradiancia cargada mensual} * (100 - \text{Pérdidas [\%]})}{100} \quad (4)$$

Con los datos de irradiancia recalculados, se estima el promedio anual, este valor equivale a la irradiancia global en Kwh/m² a emplear en el sistema, el siguiente paso es calcular la potencia pico del proyecto, para esto se necesita la irradiancia global y el consumo anual y se emplea la Ecuación 5, donde E representa el consumo anual y HSP (Hora solar pico) es la irradiancia global.

$$P_{pico} = \frac{E}{HSP} \quad (5)$$

A partir del valor de potencia pico calculado se obtendrá el número de paneles requeridos para el consumo del sistema, para esto se emplea la Ecuación 6, resaltando que el usuario puede seleccionar el cubrimiento que desee, esto vuelve al valor de “1.25” una variable dependiente de esta cantidad.

De igual modo el resultado para la cantidad de módulos es una estimación proporcionada por el aplicativo, el usuario puede tener en cuenta este cálculo o puede realizar una elección mayor a la suministrada.

$$N_{paneles} = \frac{P_{pico} * 1.25}{P_{panel}} \quad (6)$$

Una vez finalizada la selección de módulos y su cantidad dependiendo de los cálculos realizados se procede a seleccionar el inversor.

6.2.1.1 Especificaciones del Módulo. El aplicativo cuenta con un anexo 8 (Base de datos) que almacena las principales especificaciones técnicas de los módulos fotovoltaicos, extraídas directamente de sus fichas técnicas. Esta información es fundamental para realizar

un dimensionamiento preciso y confiable del sistema. Entre los datos registrados se encuentran: nombre y marca del módulo, tensión de trabajo, potencia máxima (Pmax), tensión y corriente en el punto de máxima potencia (Vmp e Imp), tensión en circuito abierto (Voc), corriente de cortocircuito (Isc), eficiencia del módulo, coeficientes de temperatura (Isc, Voc y Pmax), temperatura nominal de operación (TONC), dimensiones físicas (largo y ancho), y precio. Estos parámetros permiten al usuario comparar y seleccionar adecuadamente los módulos más convenientes según las condiciones del proyecto.

Figura 7.

Ficha técnica de un panel solar marca JA Solar.

ELECTRICAL PARAMETERS AT STC						
TYPE	JAM60S10 - 330/MR	JAM60S10 - 335/MR	JAM60S10 - 340/MR	JAM60S10 - 345/MR	JAM60S10 - 350/MR	
Rated Maximum Poer(Pmax) [W]	330	335	340	345	350	
Open Circuit Voltage(Voc) [V]	41.08	41.32	41.55	41.76	42.02	
Maximum Power Voltage (Vmp) [V]	34.24	34.48	34.73	34.99	35.25	
Short Circuit Current(Imp) [A]	10.3	10.38	10.46	10.54	10.62	
Maximum Power Current(Imp) [A]	9.64	9.72	9.79	9.86	9.92	
Module Efficiency [%]	19.6	19.9	20.2	20.5	20.8	
Power Tolerance	0+5W					
Temperature Coefficient of Isc (α_{Isc})	-0.044%/°C					
Temperature Coefficient of Voc (β_{Isc})	-0.272%/°C					
Temperature Coefficient of Pmax (γ_{Isc})	-0.350%/°C					
STC	Irradiance 1000W/m2, cell temperature 25°C,AM 1.5G					
Remark: Electrical data in this catalog do not refer to a sing a module and they are not part of the offer. They only save for comparasion among different						
ELECTRICAL PARAMETERS AT NOCT					OPERATING CONDITIONS	
TYPE	JAM60S10 - 330/MR	JAM60S10 - 335/MR	JAM60S10 - 340/MR	JAM60S10 - 345/MR	JAM60S10 - 350/MR	
Rated max power(Pmax) [W]	249	253	257	261	265	Maximum system voltage 1000V/1500V DC (IEC)
Open Circuit Voltage(Voc) [V]	38.46	38.68	38.9	39.09	39.31	Operating temperature ~40°C ~+85°C
Max power voltage(Vmp) [V]	32.02	32.21	32.4	32.61	32.84	Maximum series fuse 20A
Short Circuit Current(Isc) [A]	8.21	8.28	8.35	8.42	8.49	Maximum static load, front 500Pa
Max power current(Imp) [A]	7.78	7.85	7.93	8	8.07	Maximum static load, back 2400Pa
	Irradiance 800 W/m2, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s,					NOCT 45+2°C
NOCT	AM1 5G					Safety Class Class

Nota. Las fichas técnicas de los paneles proporcionan al cliente toda la información necesaria del módulo, sin embargo, para el aplicativo se toman datos específicos para los cálculos necesarios. (Tienda de la Energía Solar, [Autosolar], 2025).

6.2.2 Inversor.

El inversor es el encargado de transformar la energía generada en corriente continua por los paneles solares en corriente alterna utilizable, para el dimensionamiento de este elemento, se debe tener en cuenta las especificaciones del módulo seleccionado y la potencia

total demandada. Lo primero es dimensionar el inversor en base a la corriente máxima soportada y la corriente de corto circuito del sistema, como se presentan dos tipos de conexión (Conexión Serie y Conexión Paralelo) cada una utiliza un método diferente para el dimensionamiento.

En la conexión serie, se analiza teóricamente la conexión de los paneles como un circuito eléctrico, al tener un sistema en serie la corriente de corto circuito es la misma dentro del sistema, por esto se utiliza la Ecuación 7 de validación.

$$I_{sc (serie)} < I_{\max (Inversor)} \quad (7)$$

Para la conexión paralelo, se analiza teóricamente la conexión de los paneles, concluyendo que la corriente de corto circuito de cada panel se multiplica por la cantidad de paneles conectados en este tipo de conexión, una vez se obtenga el valor correspondiente se valida con la Ecuación 8.

$$I_{sc (paralelo)} < I_{\max (Inversor)} \quad (8)$$

Una vez finalizada la verificación por corriente, se realiza la validación partiendo de la potencia del sistema, para esto se necesita calcular la potencia real del sistema teniendo en cuenta las pérdidas. Al obtener estos resultados se realiza la validación según la Ecuación 9.

$$P_{sistema} < P_{inversor} \quad (9)$$

Así mismo para la selección del inversor cuenta con un factor de dimensionamiento el cual estima que el elemento seleccionado cumpla con una potencia mínima para su selección y no sobredimensionar el sistema.

6.2.2.1 MPPT. El aplicativo a su vez cuenta con la validación de cada seguidor de potencia dependiente del inversor seleccionado, donde se puede simular distintos modelos de conexión, variando la cantidad de paneles conectado a cada MPPT.

Para asegurar el correcto dimensionamiento es fundamental considerar las condiciones ambientales extremas del sitio de instalación, principalmente las temperaturas mínima y máxima, estas condiciones influyen directamente sobre los valores eléctricos de los módulos, como la tensión en circuito abierto, la corriente de cortocircuito y la potencia máxima.

Nuevamente este análisis varía según el tipo de conexión de los paneles (conexión serie y conexión paralelo), dada la variabilidad de ciertos parámetros en el sistema, para la conexión serie se tiene en cuenta calcular la tensión que generarán los módulos en las condiciones más frías, ya que el voltaje aumenta a menor temperatura, para ello, se ajusta el valor de la tensión de vacío y de la tensión a máxima potencia, usando su coeficiente de temperatura.

$$V_{oc(Tmin)} = V_{oc} + (T_{min} - 25^{\circ}C) * CoefV_{oc} * V_{oc} \quad (10)$$

Continuando con la Ecuación 9, se obtiene la corrección del valor de vacío en base a la temperatura mínima, esta corrección permite prever el voltaje más alto que puede entregar un panel en condiciones frías, lo cual es fundamental para dimensionar correctamente el sistema eléctrico y proteger los equipos de posibles daños por sobretensión. Para seguir en el dimensionamiento se debe obtener la corrección de tensión máxima de potencia, partiendo con la Ecuación 11 y Ecuación 12.

$$V_{mp(Tmin)} = V_{mp} + (T_{min} - 25^{\circ}C) * CoefV_{oc} * V_{oc} \quad (11)$$

$$V_{mp(Tmax)} = V_{mp} + (T_{max} - 25^{\circ}C) * CoefV_{oc} * V_{oc} \quad (12)$$

La Ecuación 11 permite conocer el valor más alto que puede alcanzar la tensión de operación del módulo a bajas temperaturas, mientras la Ecuación 12, por otro lado, entrega el valor más bajo que puede presentar la tensión de operación a altas temperaturas. Con los factores corregidos se procede a calcular los valores mínimos y máximos de paneles instalados por cada MPPT.

El número máximo de paneles conectados en serie soportado por cada MPPT se encuentra empleando la Ecuación 3.

$$N_{max} = \frac{R_{Vmax}}{V_{mp}(Tmin)} \quad (13)$$

Los módulos fotovoltaicos, cuando están conectados en serie, suman sus tensiones, estos entregan un voltaje más alto, lo que puede llevar a que el conjunto de paneles en serie supere la tensión máxima que soporta el MPPT y puede dañar el inversor o, en el mejor de los casos, hacer que deje de funcionar para protegerse. Por esto lo principal es asegurar que no se sobre pase esta tensión, empleando las correcciones por temperatura.

El número mínimo de paneles conectados en serie soportado por cada MPPT se encuentra empleando la Ecuación 14.

$$N_{min} = \frac{R_{Vmin}}{V_{mp}(Tmax)} \quad (14)$$

Así como el aplicativo proporciona un valor máximo y un valor mínimo, de igual modo calcula el valor óptimo del sistema, empleando la Ecuación 15.

$$N_{op} = \frac{R_{Vmax}}{V_{oc}(Tmin)} \quad (15)$$

Para la conexión paralelo se realiza el mismo procedimiento que con la conexión anterior, el cambio en las ecuaciones es que las variables de tensión son reemplazadas con las variables de corriente (dado que la variable con mayor variación en la conexión serie es la tensión y en la conexión paralelo es la corriente). Para ello, se ajusta el valor de la corriente de corto circuito y de la corriente a máxima potencia, usando su coeficiente de temperatura, empleando la Ecuación 16.

$$I_{sc}(Tmin) = I_{sc} + (T_{min} - 25^{\circ}C) * CoefI_{sc} * I_{sc} \quad (16)$$

Continuando con el proceso anterior se realiza la sucesión de las ecuaciones con la variable de la corriente de corto circuito.

$$I_{mp}(Tmin) = I_{mp} + (T_{min} - 25^{\circ}C) * CoefI_{sc} * I_{sc} \quad (17)$$

$$I_{mp}(Tmax) = I_{mp} + (T_{max} - 25^{\circ}C) * CoefI_{sc} * I_{sc} \quad (18)$$

El número máximo de paneles conectados en paralelo soportado por cada MPPT se encuentra empleando la Ecuación 19.

$$N_{max} = \frac{I_{max}}{I_{sc}(Tmin)} \quad (19)$$

El número mínimo de paneles conectados en paralelo soportado por cada MPPT se encuentra empleando la Ecuación 20.

$$N_{min} = \frac{I_{max}}{I_{mp}(Tmin)} \quad (20)$$

El número óptimo de paneles conectados en paralelo soportado por cada MPPT se encuentra empleando la Ecuación 21.

$$N_{op} = \frac{I_{max}}{I_{mp (Tmax)}} \quad (21)$$

6.2.2.2 Especificaciones del Inversor. El aplicativo cuenta con una base de datos que almacena las principales especificaciones técnicas de los diferentes tipos de inversor, extraídas directamente de sus fichas técnicas. Esta información es esencial para realizar un dimensionamiento adecuado y garantizar la compatibilidad entre los diferentes componentes del sistema. Entre los datos registrados se incluyen, nombre y marca del inversor, potencia nominal de salida, tensión de entrada máxima y mínima (rango MPPT), corriente máxima de entrada por cada MPPT, cantidad de MPPT, eficiencia, tipo de onda, frecuencia, número de fases, y tipo de conexión (monofásica o trifásica). Estos parámetros permiten al usuario comparar y seleccionar el inversor más adecuado según la configuración del sistema y las características del sitio de instalación.

Figura 8.

Ficha técnica de un inversor marca Growatt.

Hoja de datos	MIN 2500TL-X2	MIN 3000TL-X2	MIN 3600TL-X2	MIN 4200TL-X2	MIN 4600TL-X2	MIN 5000TL-X2	MIN 6000TL-X2
Datos de entrada (DC)							
Maxima potencia FV recomendada	3750W	4500W	5250W	6300W	6900W	7500W	9000W
Maximo Voltaje DC	500V	500V	550V	550V	550V	550V	550V
Voltaje de arranque	50V						
Voltaje nominal	360V						
Rango de Voltaje de MPPT	40V-500V	40V-500V	40V-550V	40V-550V	40V-550V	40V-550V	40V-550V
Numero de MPPTs	2						
Cadenas por MPPT	1						
Maxima corriente de entrada por	16A						
Corriente max de cortocuito por	24A						
Datos de entrada (AC)							
Potencia nominal AC	2500W	3000W	3600W	4200W	4600W	5000W	6000W
Potencia aparente maxima	2500VA	3000VA	3600VA	4200VA	4600VA	5000VA	6000VA
Voltaje nominal CA (Rango)	240V(211-264V)						
Frecuencia de red CA (Rango)	50/60 Hz (45-55Hz/54-65Hz)						
Corriente maxima de salida	11.3A	13.6A	16A	19A	20.9A	22.7A	27.2A
Factor de potencia ajustable	0.8 de adelanto..... 0.8 atraso						
Distorsion armonica total	<3%						
Tipo de conexión CA	Monofasico						
Eficiencia							
Maxima eficiencia	98.20%	98.20%	98.40%	98.40%	98.40%	98.40%	98.40%
Eficiencia europea	97.10%	97.20%	97.50%	97.50%	97.50%	97.50%	97.50%
Eficiencia de MPPT	99.90%						

Nota. Las fichas técnicas de los inversores contienen toda la información necesaria, sin embargo, para el aplicativo se toman datos específicos para los cálculos necesarios. (Tienda de la Energía Solar, [Autosolar], 2025).

6.2.3 Baterías.

Un banco de baterías se encarga de almacenar la energía generada por el sistema solar durante el día para poder utilizarla durante la noche o en momentos sin generación. El diseño adecuado del banco asegura que se cubran los consumos eléctricos del usuario y de paso asegura que el sistema tenga autonomía durante varios días sin sol.

Primero se calcula la energía diaria que debe suministrar el banco de baterías, empleando la Ecuación 22, la cual toma la energía que necesita entregar el banco y la divide sobre la tensión de operación.

$$Ah\ banco = \frac{Wh/día\ banco}{V\ operación} \tag{22}$$

Para calcular la energía que necesita entregar el banco se emplea la Ecuación 23, para este cálculo se tiene en cuenta no solo el consumo diario, sino también la autonomía (cuántos días debe durar el banco sin recarga) y el porcentaje de descarga permitido (para proteger la vida útil de las baterías).

$$Wh/día\ banco = \frac{Wh\ efectivos\ (consumo) * días\ de\ autonomia}{Porcentaje\ de\ descarga} \quad (23)$$

Para finalmente calcular el número de baterías conectadas en el tipo de conexión que se elija, para la conexión en serie se utiliza la Ecuación 24, para esta se divide la tensión de operación sobre la tensión de la batería.

$$Batería\ serie = \frac{V\ operación}{V\ batería} \quad (24)$$

Para la conexión en paralelo se emplea la Ecuación 25, para la cual se toma la capacidad total requerida sobre la capacidad de cada batería.

$$Batería\ paralelo = \frac{Ah\ banco}{Ah\ batería} \quad (25)$$

6.2.3.1 Especificaciones de las Baterías. El aplicativo cuenta con una base de datos que almacena las principales especificaciones técnicas de las baterías utilizadas en sistemas solares, extraídas directamente de sus fichas técnicas. Esta información es clave para realizar un dimensionamiento confiable del banco de baterías, asegurando la autonomía y el correcto funcionamiento del sistema en condiciones variables. Entre los datos registrados se encuentran: nombre y marca de la batería, capacidad nominal (en Ah o Wh), tensión nominal, tipo de batería (plomo-ácido, gel, AGM, litio, entre otras), profundidad de descarga

recomendada (DoD), eficiencia, ciclos de vida, temperatura de operación, dimensiones físicas, peso y precio.

Figura 9.

Ficha técnica de una batería marca Tensite.

MODELO DE BATERIA	Voltaje nominal		12 v	
	Capacidad nominal (100 Horas)		100 Ah	
	Celdas por batería		6	
DIMENSIONES	Longitud	Ancho	Altura	Altura total
	329 mm	172 mm	218 mm	225 mm
PESO APROXIMADO	26.2 Kg +- 3%			
CAPACIDAD @ 25°C	10 horas	5 horas	3 horas	1 hora
	91 Ah	75.5 Ah	71.4 Ah	67.6 Ah
CORRIENTE DE DESCARGA MAXIMA	900 A (5 seg)			
CORRIENTE DE DESCARGA MAXIMA	18 A			
RESISTENCIA INTERNA	Cargador por completo a 25°C Aproximadamente 4.4 mΩ			
CAPACIDAD VS TEMPERATURA	40°C	25°C	0°C	-15°C
	102%	100%	85%	65%
AUTODESCARGA @25°C	Despues de 3 meses en almacenamiento		Tras 6 meses	Tras 12 meses
	91%		82%	64%
METODO DE CARGA @25°C	Rango de tension carga uso en ciclos (Bulk)		Rango de tension de carga uso en flotacion	
	14.30 - 14.60 v		13.60 - 13.80 v	

Nota. Las fichas técnicas de las baterías contienen toda la información necesaria, sin embargo, para el aplicativo se toman datos específicos para los cálculos necesarios. (Tienda de la Energía Solar, [Autosolar], 2025).

6.2.4 Conductores Tipo Solar DC.

Los conductores en corriente continua (DC) conectan los módulos fotovoltaicos con el resto del sistema, por lo que deben estar dimensionados para soportar la corriente generada, minimizar las pérdidas y resistir condiciones ambientales exigentes, dada su importancia se deben seguir los siguientes pasos rigurosamente.

La regulación de tensión indica la proporción de caída de voltaje permitida entre el punto de generación (arreglo fotovoltaico) y el punto de carga, esta caída de voltaje debe mantenerse por debajo de un valor límite, comúnmente del 3%. Se calcula mediante la Ecuación 26.

$$T_o = 1 - \frac{V_{carga}}{V_{arreglo}} \quad (26)$$

La variable voltaje de carga, es el voltaje que recibe la carga y el voltaje del arreglo es el voltaje que entregan los paneles fotovoltaicos. Una vez conocida la regulación, se puede calcular la cantidad de voltios que se pierden en la línea con la Ecuación 26.

$$V_k = V_{arreglo} * T_o \quad (27)$$

Este valor permite dimensionar adecuadamente la sección del conductor, ya que una caída de tensión excesiva reduce el rendimiento del sistema.

6.2.4.1 Breakers. Los breakers o interruptores térmicos DC “Los breakers eléctricos son dispositivos fundamentales en los sistemas de protección, ya que interrumpen el paso de corriente en caso de sobrecargas o cortocircuitos, previniendo daños mayores en las instalaciones eléctricas” (Dielco, s.f.). Según las normas, la protección debe cubrir al menos el 125% de la corriente.

$$Proteccion \geq Corriente * 1.25 \quad (28)$$

Este margen adicional permite cubrir aumentos ocasionales sin que se dispare el sistema innecesariamente, pero al mismo tiempo lo protege ante fallos.

6.2.4.2 Corriente de salida. La corriente de salida que circulará por los conductores depende de cómo están conectados los paneles. En una configuración en serie, la corriente es igual a la de un solo panel y se calcula según la Ecuación 29.

$$I_{serie} = \frac{P_{panel}}{V_{arreglo}} \quad (29)$$

En cambio, en una configuración en paralelo, las corrientes de los distintos paneles se suman, mientras que el voltaje permanece constante y se calcula según la Ecuación 30.

$$I_{paralelo} = \frac{\sum Potencias}{V_{arreglo}} \quad (30)$$

Saber la corriente total es esencial para dimensionar el calibre del conductor, ya que este debe soportar dicha corriente sin sobrecalentarse ni deteriorarse.

6.2.4.3 Resistencia de carga y voltaje efectivo. Para tener en cuenta las pérdidas en el conductor, se evalúa la resistencia que presenta la carga, calculada en base a la Ecuación 31.

$$R_{carga} = \frac{V_{arreglo}}{I_{calculada}} \quad (31)$$

Posteriormente, se puede calcular el voltaje real que llega a la carga considerando tanto la resistencia de la carga como la del conductor.

$$V_{carga} = V_{arreglo} * \frac{R_{carga}}{R_{carga} + R_{conductor}} \quad (32)$$

Finalmente, la resistencia del conductor depende del material, la longitud y la sección transversal, y se puede expresar según la Ecuación 33.

$$R_{conductor} = \frac{R_{especifica} * Distancia}{1000} \quad (33)$$

6.2.5 Conductores Tipo AC.

Los conductores en corriente alternan (AC) conecta al inversor con la carga eléctrica de la instalación, por lo que deben estar dimensionados para soportar la corriente generada,

minimizar las pérdidas y resistir condiciones ambientales exigentes, dada su importancia se deben seguir los siguientes pasos rigurosamente.

6.2.5.1 Regulación de Tensión. La regulación de tensión indica la proporción de caída de voltaje permitida entre el punto de generación (arreglo fotovoltaico) y el punto de carga, esta caída de voltaje debe mantenerse por debajo de un valor límite, comúnmente del 3%, al tener una distribución de inversor a carga de corriente alterna, se debe manejar con valores de fase dependiendo del número de fases de la instalación, si la instalación es trifásica se usa la Ecuación 34, si es bifásica se usa la Ecuación 35, si es monofásica la Ecuación 36.

$$R_{v3} = \frac{\text{Momento Electrico } M_s * \text{Factor}_K}{100} \quad (34)$$

$$R_{v2} = \frac{\text{Momento Electrico } M_s * \text{Factor}_K * 1.5}{100} \quad (35)$$

$$R_{v1} = \frac{\text{Momento Electrico } M_s * \text{Factor}_K * 3}{100} \quad (36)$$

6.2.5.2 Momento eléctrico Ms. El momento eléctrico Ms, también conocido como momento de cortocircuito, es un parámetro fundamental que determina la capacidad de los equipos eléctricos para soportar los esfuerzos electrodinámicos durante una falla, se calcula utilizando la ecuación.

$$M_s = \frac{\text{Potencia aparente inversor} * \text{Distancia}}{1000} \quad (37)$$

6.2.5.3 Factor K. El factor K, es un indicador clave que sirve para evaluar en una instalación eléctrica el impacto de los armónicos generados por las cargas no lineales, sobre los diferentes componentes que cubren una instalación eléctrica, se calcula usando la siguiente ecuación.

$$Factor_K = \frac{Impedancia\ Efectiva\ Zeff}{N^{\circ}fases * V_L} * 100 \quad (38)$$

6.2.5.4 Impedancia Efectiva Zeff. La impedancia efectiva Zeff, es un parámetro clave en toda instalación eléctrica ya que es aquella que “ve” la corriente de falla en condición de falla o condición de desbalanceo, ya que representa una impedancia equivalente en condición de falla, se calcula usando la siguiente ecuación.

$$Impedancia\ efectiva\ Zeff = \frac{Fp * R_{CONDUCTOR\ 60C^{\circ}}}{Sen(\theta) * XL_{CONDUCTOR\ 60C^{\circ}}} * 100 \quad (39)$$

$$Sen(\theta) = Sin^{-1}(Fp) \quad (40)$$

6.2.5.5 Corriente de línea. La corriente de línea que circula por un conductor en un sistema de corriente alterna (AC) depende del tipo de sistema eléctrico (monofásico, bifásico o trifásico) y de las condiciones de carga, si el sistema es trifásico se utiliza la Ecuación 41, si el sistema es bifásico se utiliza la Ecuación 42, si el sistema es monofásico se utiliza la Ecuación 43.

$$I_{L3} = \frac{Potencia\ aparente\ Inversor}{v_l * \sqrt{3}} \quad (41)$$

$$I_{L2} = \frac{Potencia\ aparente\ Inversor * 2}{v_l * \sqrt{3}} \quad (42)$$

$$I_{L1} = \frac{Potencia\ aparente\ Inversor * \sqrt{3}}{v_l} \quad (43)$$

6.2.5.6 La corriente al 125%. La corriente al 125% es un criterio de diseño para garantizar que los conductores y dispositivos de protección tengan un margen de seguridad

ante variaciones de carga o condiciones de operación continuas, se calcula con la ecuación, dependiendo de corriente de línea del sistema.

$$I_{L3(125\%)} = I_{L3} * 1.25 \quad (44)$$

$$I_{L2(125\%)} = I_{L3} * 1.25 \quad (45)$$

$$I_{L1(125\%)} = I_{L3} * 1.25 \quad (46)$$

6.2.5.7 Pérdidas por potencia. Las pérdidas por potencia es un criterio utilizado en instalaciones eléctricas ya que son la diferencia entre la potencia eléctrica suministrada por la fuente y la potencia útil aprovechada por la carga, las pérdidas por potencia no deben superar el 5.22 % se calcula usando la siguiente ecuación

$$P_P = \frac{I_l * R_{CONDUCTOR\ 60C} * \frac{Distancia}{1000}}{Potencia\ aparente\ Inversor * Fp} \quad (47)$$

7. Informe Final

Una de las principales fortalezas del aplicativo INVICTUS es su capacidad para generar informes finales completos y organizados, adaptados a los distintos tipos de sistemas fotovoltaicos: On-Grid, Off-Grid e Híbridos, estos informes permiten al usuario obtener un documento técnico detallado que incluye los datos generales del proyecto, el análisis del consumo energético, la curva de demanda diaria y los parámetros eléctricos fundamentales, facilitando su presentación ante clientes, entes reguladores o en contextos académicos.

Además, los informes integran el dimensionamiento de paneles, inversores y bancos de baterías cuando aplica, incluyendo la distribución por seguidores de máxima potencia (MPPT) y los valores de rendimiento del sistema, presentan análisis de pérdidas, curvas de

generación, esquemas eléctricos, cálculos de cableado y protecciones, así como un resumen económico con el ahorro estimado y tiempo de retorno de la inversión. Todo esto convierte los informes generados por INVICTUS en una herramienta integral, técnica y visualmente clara para respaldar cualquier diseño de sistema solar fotovoltaico.

Figura 10.

Informe final



Nota. Creación propia.

8. Verificación del Aplicativo

Como en todo proyecto técnico, fue necesario realizar un proceso de verificación para validar la precisión de los cálculos del sistema, para ello, se llevaron a cabo pruebas con varios usuarios seleccionados, todos con conocimientos básicos en AGPE. Cada uno de ellos diseñó un proyecto de prueba, el cual fue implementado tanto en el aplicativo desarrollado como en un simulador de referencia (Valentin Software, [PVSolar], 2025).

Para este análisis se tomó el perfil de consumo de un proyecto estimado y se empleó el dimensionamiento con el tipo de paneles e inversor (para las distintas conexiones)

implementados en la base de datos construida, el paso a paso de la comparación de resultados se encuentra en el **anexo 7** (Comparación de resultados, creación propia, 2025).

Tabla 1.

Tabla de comparación de resultados

Conexiones	Diferencia de numero de módulos [%]	Confiabilidad del inversor	Diferencia de numero de paneles conectados por MPPT [%]	Diferencia de numero de baterías por Banco [%]
On Grid	2%	OPTIMA	0%	0%
Off Grid	0%	OPTIMA	0%	0%
Hibrido	4.20%	OPTIMA	0%	0%

Posteriormente, se compararon los resultados obtenidos en ambas plataformas, observándose un margen de error del 2.07% (La descripción detallada de este cálculo se encuentra en el **anexo 7. Comparación de resultados**) lo cual confirma la confiabilidad y exactitud del sistema propuesto.

9. Anexos

Además, se elaboró un video tutorial de apoyo en el que se explican y simulan tres proyectos distintos, facilitando la comprensión del funcionamiento del sistema, la implementación de este video lo encuentra en el **anexo 2. Video explicativo**.

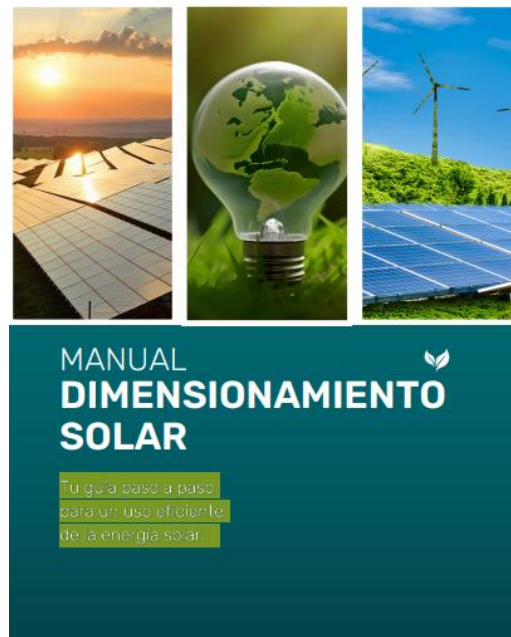
Asimismo, el aplicativo incorpora una sección de ayuda contextual en cada interfaz, diseñada para resolver dudas específicas del usuario durante su uso. También se implementaron mensajes emergentes informativos, como “Cargado exitosamente” o “Error”, que ofrecen retroalimentación inmediata sobre las acciones realizadas dentro de la plataforma. Encuentra más información en el **anexo 3 (Programación en VBA del aplicativo INVICTUS, creación propia, 2025)**.

El **Anexo 4. Diagramas Unifilares** presenta los esquemas elaborados como apoyo gráfico, los cuales fueron incorporados en el informe final con el fin de respaldar el proceso de dimensionamiento del sistema.

El aplicativo desarrollado incluye un manual de usuario que detalla paso a paso el proceso de dimensionamiento para las diferentes conexiones del sistema, brindando una guía práctica y accesible para los usuarios. **Anexo 5. Manual del aplicativo INVICTUS.**

Figura 11.

Manual de uso



Nota. Creación propia.

El **Anexo 6. Apoyo gráfico**, incluye los recursos gráficos elaborados para complementar la presentación de la información. Estos elementos visuales se incorporaron al informe final con el propósito de facilitar la comprensión de los diferentes tipos de conexiones.

El **Anexo 7. Comparación de resultados**, presenta un análisis comparativo de los resultados obtenidos, permitiendo evaluar la coherencia entre los distintos métodos aplicados y verificando la validez de los datos empleados en el proceso de dimensionamiento.

El **Anexo 8. Base de datos**, contiene la base de datos utilizada como insumo principal en el desarrollo del aplicativo. Dicha información, organizada y estructurada, sirvió como fundamento para los cálculos y análisis realizados.

El **Anexo 9. Tablas de Apoyo para los Cálculos de Cableado**, presenta las tablas de referencia empleadas en los cálculos de cableado, las cuales proporcionan parámetros técnicos esenciales para garantizar la correcta selección y dimensionamiento de los conductores. Estas tablas constituyen un respaldo fundamental para la validación de los resultados obtenidos en el proceso de diseño.

10. Conclusiones

El desarrollo del aplicativo de dimensionamiento solar basado en Microsoft Excel con programación en VBA ha demostrado ser una solución práctica, accesible y técnicamente adecuada tanto para entornos profesionales como educativos. Su diseño aprovecha la familiaridad del entorno Excel, facilitando una curva de aprendizaje reducida y eliminando barreras asociadas a la instalación de software especializado o a la necesidad de infraestructura adicional, esto permite su uso eficiente por parte de usuarios con distintos niveles de formación técnica, sin sacrificar precisión ni funcionalidad.

Una de las principales oportunidades de mejora identificadas es la integración del reglamento técnico NTC 4552 en sus tres volúmenes, lo que permitirá al aplicativo alinearse completamente con los estándares normativos vigentes en Colombia. Asimismo, la incorporación de APIs con fuentes de datos confiables como los son POWER NASA y PVGIS representa una estrategia clave para mejorar la precisión en la caracterización geográfica y climática de los proyectos. De igual manera, la vinculación con bases de datos de fabricantes mediante APIs permitiría la actualización automática del catálogo de componentes, incrementando la vigencia y la precisión de las simulaciones realizadas.

Las pruebas comparativas efectuadas entre el aplicativo y herramientas comerciales del sector evidencian un margen de error controlado del 2.07%. Este resultado valida la solidez de su enfoque metodológico, basado en estimaciones conservadoras adaptadas a condiciones reales de operación, a diferencia de otros simuladores que tienden al sobredimensionamiento para maximizar la cobertura teórica, el aplicativo prioriza soluciones realistas y económicamente viables, alineadas con las necesidades del usuario final.

En conclusión, el aplicativo presenta un alto potencial para consolidarse como una herramienta profesional integral. Su equilibrio entre accesibilidad, escalabilidad y precisión técnica lo posiciona como una opción competitiva para el diseño y análisis de sistemas fotovoltaicos. Con la implementación de las mejoras proyectadas, podría convertirse en una referencia valiosa tanto en contextos académicos como en aplicaciones prácticas del sector energético.

Se identifican varias oportunidades de mejora en la construcción del aplicativo, entre ellas la incorporación de un mayor número de configuraciones de conexión, la optimización de la interfaz para facilitar su uso, la integración de un mapa interactivo, la implementación de cálculos automáticos para los dispositivos de protección contra sobretensiones (DPS), así como la posibilidad de ingresar simultáneamente los apoyos existentes para evaluar su disponibilidad de manera más eficiente.

Adicionalmente, se recomienda que el uso del aplicativo INVICTUS se realice siguiendo los lineamientos establecidos en el manual de usuario, disponible en el Anexo 5: *Manual del aplicativo INVICTUS*.

Referencias

- Alejandro - Resolución 30 de 2019 CREG. Comisión de Regulación de Energía y Gas CREG. Recuperado el 14 de octubre de 2024, de [Alejandro - Resolución 30 de 2019 CREG](#)
- Alejandro - Resolución 60 de 2019 CREG. Comisión de Regulación de Energía y Gas CREG. Recuperado el 14 de octubre de 2024, de [Alejandro - Resolución 60 de 2019 CREG](#)
- Código Eléctrico Colombiano NTC 2050 Segunda Actualización. (2020).
- Icontec.org. [PB 9 - Código Eléctrico Colombiano NTC 2050 Segunda Actualización](#)
- Reglamento técnico de instalaciones eléctricas - RETIE. (2024). Gov.Co. [Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas - RETIE](#)
- International Electrotechnical Commission. (2024). <https://iec.ch/homepage>
- International Electrotechnical Commission. (2021). <https://iec.ch/homepage>
- International Electrotechnical Commission. (2011). <https://iec.ch/homepage>
- Iluminación | UL Solutions LATAM*. (24). UL Solutions LATAM. [Iluminación | UL Solutions LATAM](#)
- Dielco, W. B. (2023, mayo 29). Conoce Todo Sobre Los Breakers Eléctricos (Interruptor Automático). *Dielco.co*. [Conoce Todo Sobre Los Breakers Eléctricos \(Interruptor Automático\)](#)
- Valentin Software. (2025). PVSOL: Software de simulación fotovoltaica profesional*. <https://pvsol.software/es/>

Datos, software y servicios para proyectos solares / Solargis. (s. f.). <https://solargis.com/es>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. (2025). *IDEAM*

[Portal web]. <https://www.ideam.gov.co/>

Valentin Software GmbH. (s. f.). *PV*SOL – Take your solar installations to the next level of efficiency.* <http://pvsol.software/es/>

JRC Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) - European Commission.

(2016, 11 enero). https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/

Progreso gestión expansión del sistema, Normas para el cálculo y diseño de sistemas de distribución, ESSA,

<https://www.essa.com.co/site/Portals/14/Docs/Norma%20tecnica/Norma%20T%C3%A9cnica%20ESSA.pdf>