



**DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO DE
EMERGENCIA PARA LOS CUATRO MOTORES DEL SISTEMA DE
FILTRADO DE AIRE CONTINUO EN LA PLANTA DE ALIMENTOS
GIOMER**

Sergio Nicolás Melo Torres

Código

11481718972

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Mecatrónica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Bogotá, Sede Sur, Colombia

2023

**Dimensionamiento de un sistema fotovoltaico autónomo para el filtrado de
aire continuo en la planta de alimentos GIOMER**

Sergio Nicolás Melo Torres

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

Ingeniero Mecatrónico

Director (a):

Hugo Ferney Alba Díaz

halbadia@uan.edu.co

Línea de Investigación:

Uso de sistemas fotovoltaicos como respaldo en procesos de calidad en plantas de
alimentos.

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Mecatrónica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Bogotá, Sede Sur, Colombia

2023

NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado titulado
Dimensionamiento de un sistema fotovoltaico autónomo para el
filtrado de aire continuo en la planta de alimentos GIOMER,
Cumple con los requisitos para optar
Al título de Ingeniero Mecatrónico.

Firma del Tutor

Firma Jurado

Firma Jurado

Bogotá D.C, 09 Mayo 2023.

Contenido

1. Resumen	10
2. Abstract	11
3. Introducción.....	12
4. Antecedentes	17
5. Objetivos.....	21
5.1 Objetivo general	21
5.2 Objetivos específicos	21
6. Justificación.....	22
7. Marco Teorico.....	25
7.1 Radiación solar en Colombia.	25
7.1.1 Estaciones convencionales.	25
7.2 Sistemas fotovoltaicos.....	28
7.2.1 Sistema fotovoltaico conectado a la red:	29
7.2.2 Sistema fotovoltaico aislado:.....	30
7.3 Proceso de dimensionamiento.....	32
7.3.1 Determinación de los consumos:.....	33
7.3.2 Capacidad de acumulación de las baterías:	35
7.3.3 Parametrización del regulador de carga:	35
7.3.3.1 Corriente del generador:	36
7.3.4 Parametrización del inversor:	37
7.3.5 Estandarización de cableado a usar:	38
7.3.6 Parametrización del panel solar:.....	41
7.4 Optimización Lineal/ Programación Lineal:	42
7.5 Proyección económica	45
7.5.1 Payback (PB):.....	46
7.5.2 Valor Neto Actual (VAN):	46
7.5.3 Retorno de Inversión (ROI):.....	47

7.6	Software de desarrollo	48
8.	Diseño metodológico	49
8.1	Investigación	50
8.1.1	Consumos del sistema	50
8.1.2	Radiación incidente.	52
8.1.3	Selección de componentes.....	54
8.2	Diseños y cálculos.....	56
8.3	Validación en software.....	67
8.3.1	Definición de variables y constantes	67
8.3.2	Definición Funcion Objetivo.....	67
8.3.3	Definición de Restricciones.....	68
8.3.4	Proceso de Optimización.....	69
8.3.5	Resultados Optimización:.....	71
8.4	Diseño de esquemas eléctricos.....	72
8.5	Determinación de presupuesto	75
8.5.1	Desarrollo Payback (PB):	77
8.5.1	Desarrollo Valor Neto Actual (VAN):	78
8.5.1	Desarrollo del Retorno de Inversión (ROI):	79
9.	Conclusiones.....	80
10.	Referencias Bibliográficas	82

TABLA DE FIGURAS

Figura 1 Lado izquierdo actinógrafos lado derecho piranómetros. Fuente: [22]	26
Figura 2 Promedio anual 2022 de radiación solar. Fuente: [22]	27
Figura 3 Esquema de sistema fotovoltaico conectado a la red.....	30
Figura 4 Esquema de sistema fotovoltaico Aislado de la red	32
Figura 5 Caídas de tensión máximas permitidas.....	39
Figura 6 Clasificación de métodos de Optimización. Fuente: [31].....	44
Figura 7 Promedio mensual de Radiación global en el año 2022	53
Figura 8 Batería de Litio Pylontech 2.4 kWh 48V US2000C.....	58
Figura 9 Especificaciones Pylontech US2000C.....	59
Figura 10 Esquema modulo Inversor / Controlador.....	60
Figura 11 Modulo Solar Vertex S 420Wp	64
Figura 12 Definición variables y constantes Matlab.....	67
Figura 13 Definición funcion Objetivo.	67
Figura 14 Restricciones de la Optimización.	68
Figura 15 Optimización del Sistema.	69
Figura 16 Resultados.....	71
Figura 17 Command Windows de Matlab	72
Figura 18 Tabla de costos componentes.	76
Figura 19 Cotización de los componentes en la página de TeknoSolar.....	77

TABLA DE ECUACIONES.

Ecuación 1 Fuente: [6]	33	
Ecuación 2 Fuente: [6]	34	
Ecuación 3 Fuente: [6]	35	
Ecuación 4 Fuente: [6]	36	
Ecuación 5 Fuente: [7]	37	
Ecuación 6 Fuente: [6]	38	
Ecuación 7 Fuente: [9]	41	
Ecuación 8 Número total de paneles	42	
Ecuación 9 Módulos en Paralelo	Ecuación 10 Módulos en Serie.....	42
Ecuación 11 fuente: propia.....	44	
Ecuación 12 fuente: propia.....	45	
Ecuación 13 Fuente: [13]	46	
Ecuación 14 Fuente: [13]	47	
Ecuación 15 Fuente: [14]	47	
Ecuación 16.....	50	
Ecuación 17.....	51	
Ecuación 18 Potencia del sistema.	52	
Ecuación 19 Potencia del sistema en 15 minutos	52	
Ecuación 20.....	53	
Ecuación 21. Energía total consumida en corriente alterna.	57	
Ecuación 22 Consumo total diario.	63	

Ecuación 23 Capacidad de acumulación de las baterías.	63
Ecuación 24 Factor de seguridad	64
Ecuación 25 paneles totales requeridos.....	65
Ecuación 26 Inversión componentes.....	77
Ecuación 27 Flujo de caja mensual.....	78
Ecuación 28 Valor anual neto	79

TABLA DE TABLAS.

Tabla 1 Promedio horas de la radiación. FUENTE: IDEMA	28
Tabla 2 Calibres para cable de instalación eléctrica en cobre.....	40
Tabla 3 Muestreo con pinza amperimétrica FUENTE: Propia	50
Tabla 4 Datos placa del motor	51
Tabla 5 Características tipos de paneles solares.	54
Tabla 6 Características tipos Baterías	55
Tabla 7 Especificaciones en modo inversor.....	61
Tabla 8 Especificaciones modo de carga	62
Tabla 9 Especificaciones Panel Solar	65
Tabla 10 Calibre cable paneles solares	73
Tabla 11 Calibre cable braker-regulador-inversor.....	73
Tabla 12 Calibre cable carga batería.....	74
Tabla 13 Calibre alimentación motores	75
Tabla 14 Flujo de caja constante durante 1 año.....	77
Tabla 15 Flujos netos de costeo en reproceso durante diferentes periodos de tiempo.	78

1. Resumen

Este proyecto tiene como propósito solucionar el problema que se presenta en la planta de alimentos GIOMER, la cual cuenta con un conjunto de motores que permiten el suministro y la extracción de aire en una jornada completa de trabajo. Se requiere un suministro de energía aparte de la red convencional para el continuo funcionamiento del sistema en casos donde exista corte de energía sin previo aviso. Partiendo de esto, se realiza el dimensionamiento de un sistema fotovoltaico autónomo, que permite suplir el consumo de los motores en un lapso menor a 15 minutos.

El modelado de este sistema empieza con la recolección de información para obtener en base a un análisis todas las características que componen el sistema, las restricciones necesarias para hacer un modelamiento matemático mediante el método de optimización lineal entera mixta, el cual tendrá una resolución y verificación por medio del software de programación lineal suministrando los datos necesarios para poder definir la cantidad de paneles solares a utilizar, baterías necesarias, controlador e inversor para el uso continuo del sistema de filtrado de aire.

2. Abstract

The purpose of this project is to solve a problem at the GIOMER food plant. The plant has a set of motors that allow for the supply and extraction of air during a full day of work. In cases of unexpected power outages, a separate energy supply is needed to ensure the continuous operation of the system. To address this issue, an autonomous photovoltaic system is being designed to provide power to the motors in less than 15 minutes.

The system design process starts with the collection of information to analyze the system's characteristics and determine the necessary constraints for mathematical modeling using the mixed integer linear optimization method. This method will be verified using linear programming software, which will provide the necessary data to define the number of solar panels, required batteries, controller, and inverter for the continuous use of the air filtration system.

3. Introducción

La planta GIOMER ubicada en la Calle 32 Bis Sur # 4 B - 13, en la localidad de San Cristóbal, es una empresa dedicada a la producción de suplementos dietarios del tipo fito terapéuticos comercializados bajo el nombre de productos KEMI Figura 1, creada hace 47 años por el actual gerente Hermenegildo Lancheros. A medida del crecimiento y requisitos de la industria, se ha tenido que actualizar para cumplir con la calidad de su producción.



Figura 1. Productos KEMI fabricados en GIOMER. Fuente <https://giomer.com.co/>

En la empresa GIOMER se tienen 4 motores eléctricos trifásicos de 1.5 kW cada uno, 2 son utilizados para inyectar aire al sistema de aire acondicionado y los otros 2 evacuan el aire. Este sistema es esencial para el buen funcionamiento de los procesos y no puede haber interrupciones en el servicio de energía, por lo que la red eléctrica debe generar confianza a la planta garantizando un suministro constante de energía.

Con base a los registros históricos de cortes de energía sin previo aviso o de manera repentina en la planta GIOMER se tiene que en el año 2022 después de su apertura en el mes de mayo ha habido 3 cortes los cuales fueron controlados por la empresa CODENSA en un lapso no mayor a 15 minutos. En las tres ocasiones el sistema de filtrado de aire continuo detuvo su proceso afectando el aire que circula en las zonas de producción y alterando las condiciones de inocuidad de los productos.

Cuando esto ocurre la planta GIOMER debe hacer análisis de microbiología y material particulado, debido a que los productos que se encuentren en las zonas de mezclado, procesamiento, y envasado se ven afectados. El protocolo de evacuación determina que el operario se debe retirar lo antes posible dejando debidamente sellados los puntos donde la materia prima se encuentre. En estas ocasiones el personal de trabajo no realizó un correcto sellado de los tanques y de la maquinaria donde se llevan cabo los diferentes procesos de producción, ocasionado que por las tuberías del sistema de aire se produjera un asentamiento de material particulado y de olores impregnantes provenientes principalmente de otros tanques de mezcla o del exterior.

En el último evento de interrupción del servicio de energía eléctrica ocurrido en septiembre del 2022 los análisis de microbiología fueron encargados a la firma SGS Colombia S.A.S y tuvieron un costo de quinientos mil pesos colombianos más IVA. Los resultados, aunque no descartaron el producto si mostraron que este se encontraba fuera del rango de calidad por lo cual fue necesario hacer un reproceso para garantizar que el producto final resultara estéril. Por ende, la importancia de generar un sistema preventivo y correctivo sobre estas fallas de suministro de energía eléctrica.

Para solucionar el problema del suministro de energía se encuentran comercialmente los generadores de combustión interna, pero no son viables por la producción de trazas de partículas en el aire con emisión de vapores y olores impregnantes y en la planta GIOMER se debe garantizar la inocuidad en cada uno de los productos, por eso se piensa recurrir a los sistemas de energías renovables.

Presentados los tipos de energías alternativas fotovoltaica y eólica a GIOMER la gerencia se decide por un sistema fotovoltaico autónomo el cual supla temporalmente la demanda de potencia requerida por el sistema de filtrado. El espacio disponible para los módulos fotovoltaicos se verá limitado a un área de 10 metros cuadrados, y los componentes tales como el banco de baterías, regulador e inversor estarán en el cuarto de máquinas con suficiente espacio; este replanteo de abastecimiento de energía hacia el sistema de suministro y extracción de aire requiere también la modificación al cableado existente, respetando los parámetros necesarios que se obtienen a través de la optimización.

Se parte de que la energía renovable puede ser aprovechada de múltiples formas, con el tiempo, se ha dado paso a la búsqueda de diferentes fuentes entre las cuales se encuentran las energías solares, eólicas e hidráulicas. La integración de estas herramientas o mecanismos se han desarrollado, debido al incremento del coste de los combustibles fósiles y los problemas medioambientales derivados de su explotación [1] Las energías renovables se posicionan como un mecanismo beneficioso dado que, son inagotables y favorecen su integración [2] [3]

En ese sentido, se presenta un modelo preventivo para la mitigación de los cortes esporádicos de energía eléctrica que se presentan y afectan a la empresa GIOMER, debido a que la planta de producción de alimentos presenta una serie de requerimientos para evitar la contaminación de la producción, donde el sistema de filtrado de aire ejerce un rol fundamental. Cuando se presentan este tipo de cortes esporádicos, el sistema de filtrado de aire detiene su funcionamiento, lo que expone la producción a posibles casos de contaminación, generando pérdidas en términos de tiempo de comprobación de muestras contaminadas y en términos de dinero en los casos donde se compruebe contaminación en las muestras, debido al pago de los análisis microbiológicos y a su vez de las materias primas que se emplean de más para la corrección de algún tipo de parámetro fuera del estándar de calidad, dentro de estas materias primas se encuentra el sulfato de potasio, el ácido cítrico y algún tipos de vitaminas como la E y C.

Por consiguiente, la propuesta de un sistema fotovoltaico en la planta GIOMER, se encuentra orientada a la mitigación de estos riesgos, a partir de un sistema que proporcione el tiempo necesario para realizar el cierre de compuertas, evitando los reprocesos y las pérdidas por contaminación de la producción en estos cortes de energía. Del mismo modo, busca que la implementación de este sistema preventivo genere una contribución en términos de eficiencia energética, es decir, optimización del consumo. Todo esto, a partir del uso de energía solar fotovoltaica mediante paneles solares que alimentan varios motores de ventilación que facilitan la óptima operación del lugar de almacenamiento principal de la planta. [3]Así mismo, es menester mencionar que el beneficio económico de este sistema no

se mide en la retribución monetaria en un tiempo establecido, sino que, por el contrario, se sustentan los beneficios en la reducción de reprocesos de la planta.

Bajo este espectro, la presente investigación busca como objetivo principal dimensionar un sistema fotovoltaico para el filtrado de aire continuo en la planta de alimentos GIOMER, esto inicialmente a partir de un cálculo de la energía eléctrica del sistema de filtrado y del análisis de la radiación solar del lugar, posteriormente, el desarrollo de un modelado matemático en programación lineal entera mixta, el diseño de planos eléctricos para el sistema fotovoltaico y finalmente, presentar el análisis económico y plan retorno de inversión.

A continuación, se presentan los capítulos orientados al desarrollo de la investigación, donde se expone el recorrido investigativo desarrollado hasta el momento en torno al tema, la justificación de la implementación de esta investigación y el componente teórico que la sustenta, además del diseño metodológico que la direcciona.

4. Antecedentes

La recolección de diferentes estudios alrededor de los sistemas de generación fotovoltaicos se ha obtenido gracias a la gran variedad de estos, pues el desarrollo de estos procesos se ha encontrado inmerso y ha sido evaluado desde diferentes contextos, desde el suministro de energía de consumo doméstico, comunitario e industrial, hasta la utilización de las energías renovables para la reducción de daños medioambientales y mejoramiento de costos internos dentro de las empresas.

Pese a que históricamente los paneles solares han sido altamente costosos, desde finales de los años 70 la generación de energía solar fotovoltaica ha experimentado una reducción sustancial, debida en buena parte a los avances tecnológicos y la innovación. Dichas reducciones han derivado en la disminución de los costos relativos a: practicidad y eficiencia final, mantenimiento, transporte, y, como consecuencia; en la estandarización de precios mucho más accesibles. [4]. De manera posterior, este escenario trasciende al interés de las sociedades desarrolladas del mundo.

Diferentes trabajos académicos centran su temática en la generación de energía eléctrica para viviendas, utilizando principalmente energía solar fotovoltaica; es así como se encuentra un trabajo de grado de la Universidad de Cataluña, en Barcelona, donde se realizó la instalación de una planta fotovoltaica en una vivienda y la construcción de otra vivienda en una zona rural totalmente sostenible, basados en estudios previos y simulaciones que permitieron determinar la viabilidad y ventaja en costos y reducción de contaminación al utilizar la energía fotovoltaica en lugar de la electrificación convencional [5]

Así mismo, se destacan los aportes de [6], quien trabaja alrededor del dimensionamiento de un sistema de generación fotovoltaico aislado para el suministro de energía eléctrica a la localidad de Cruz De Pañala - Perú, dirigido a 38 viviendas, las cuales hacen parte de la localidad. Este proceso tuvo dentro de sus objetivos mostrar las ventajas que se pueden obtener a partir de la implementación de un sistema de suministro de energía que no contamina [7]. Aquí se puede evidenciar una serie de beneficios como la contribución a los pobladores de la localidad a no generar gastos adicionales sobre algunos elementos de su uso diario como velas, pilas, baterías o combustible.

Se encuentra también lo estudiado por parte de Santos [8] quien centra sus esfuerzos en el diseño de un sistema de electrificación autónomo para redes de telecomunicación en zonas rurales, donde tiene en cuenta diferentes parámetros como la eficiencia de dicha implementación, los costos y fabricantes. A partir de pruebas experimentales en los laboratorios de investigación energética, medioambiental y tecnológica con base en los niveles de radiación solar y de velocidades de viento de una zona determinada, pudo realizar una caracterización de los paneles solares, que lo lleva posteriormente a presentar propuestas de nuevos proyectos alrededor del caso. Aunque esta iniciativa no resulta ser de bajo costo de manera inicial.

Igualmente, Ruiz [6] va encaminado a la resolución del problema de falta de suministro de energía eléctrica en el Centro Poblado de San Martín-Perú, donde a partir de una caracterización pudo determinar que la energía promedio diaria para desarrollar este proyecto se logra con 24 paneles fotovoltaicos, baterías, reguladores e inversores [9]

De otro lado, también pueden encontrarse estudios con énfasis a la reducción de costos y con base en los impactos positivos en el medio ambiente [10]. En ese sentido, Perú, Abad y Flores trabajan direccionando su investigación en la reducción del consumo de combustible en la plataforma de descarga pesquera, donde enmarcan las energías renovables como fuentes inagotables que poseen una ventaja cuando se integran entre sí, es el caso de la energía solar fotovoltaica, mareomotriz y eólica [10]. Después del desarrollo del planteamiento por medio de cálculos y a partir de resultados, se pudo evidenciar que, con la instalación del sistema fotovoltaico se obtiene una disminución de emisiones de gases de efecto invernadero [10]. Los estudios relacionados anteriormente conllevan entonces a una mejoría en diferentes aspectos que van encaminados de manera positiva al medio ambiente, calidad de vida, y reducción de costos, ya que se encuentran ventajas que posee la energía solar, como ser fuente inagotable, limpia y no contaminante, que contribuye a la sostenibilidad.

Por otra parte, en relación a los sistemas de filtrado de aire en las plantas de alimentos, se evidencia en diversas investigaciones que los cortes esporádicos de energía pueden tener un impacto significativo en el sistema de filtrado lo que puede afectar la calidad de los productos alimenticios y la seguridad de los trabajadores. Autores como Yiannas [11], King [12] y Koutchman [13] proponen diversas soluciones para hacer frente a esta problemática, las cuales pueden ir desde instalar generadores de energía de respaldo con el fin de garantizar que el sistema de filtrado de aire de la planta de alimentos siga funcionando durante los cortes de energía. Koutchma [13] específicamente, propone el uso de “Sistemas de filtrado FV Grid-Off” para garantizar que el aire siga siendo filtrado incluso durante los

cortes de energía; adjuntando a esto procesos para el aislamiento de áreas críticas como las zonas de procesamiento y envasado, para minimizar el impacto de los cortes de energía en el sistema de filtrado de aire. [11]; [12].

Las investigaciones mencionadas anteriormente proporcionan información significativa, que permite a la planta GIOMER tener como opción de respaldo el sistema fotovoltaico, dado que, en caso de haber fallas con el sistema eléctrico tradicional, la planta de alimentos no se vea inmersa en un riesgo que le represente pérdidas, sino que, por medio de un mecanismo de reserva de energía solar, se pueda mantener el filtrado de aire de forma continua durante un tiempo adecuado para poner el marcha el protocolo de evacuación donde se aplica un correcto sellado de compuertas para los diversos productos se encuentren expuestos.

Según conversaciones entabladas con el gerente de GIOMER, se identificaron los avances que ha tenido y la disposición de las directivas para posteriores proyectos que aporten beneficios en pro a una futura sostenibilidad energética.

5. Objetivos

5.1 Objetivo general

Dimensionar un sistema fotovoltaico para los cuatro motores de 1.5 kW del sistema filtrado de aire continuo en la planta de alimentos GIOMER.

5.2 Objetivos específicos

Calcular la demanda de energía eléctrica de los 4 motores de 1.5KW del sistema de aire continuo en la empresa GIOMER para implementar el protocolo de emergencia en un tiempo de 15 minutos.

Obtener la radiación promedio solar incidente en la localidad de san Cristóbal donde se encuentra ubicada la planta de alimentos GIOMER.

Desarrollar un modelado matemático basado en programación lineal utilizando la optimización entera mixta a partir de los parámetros y lineamientos para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico autónomo en la planta de alimentos GIOMER.

Diseñar planos eléctricos de potencia y control del sistema fotovoltaico, los cuales estarán basados en la normativa colombiana.

Presentar un análisis económico y plan de retorno, donde se estimen tiempos y presupuesto del sistema fotovoltaico para el filtrado de aire continuo en la planta de alimentos GIOMER.

6. Justificación

En la industria alimentaria los métodos de higiene empiezan con la purificación y extracción de aire impuro en las diferentes secciones de tratado de materias primas. Este sistema resumido en extracción y suministro, está en funcionamiento constante desde el inicio de la jornada laboral hasta su finalización. En la planta de alimentos GIOMER se cuentan con cuatro secciones de este sistema cada uno con un motor con suministro de energía trifásica.

En ese orden de ideas, los métodos de higiene y control de la planta GIOMER, empiezan con la purificación y extracción de aire en las diferentes secciones de tratado de materias primas. Dicho sistema, resumido en extracción y suministro, está en funcionamiento constante desde el inicio de la jornada laboral hasta su fin.

La continuidad del sistema de filtrado debe ser una de las prioridades, por ende, el sistema fotovoltaico permitirá a los trabajadores en las diferentes zonas de producción durante un tiempo de 15 minutos, ejecutar un plan de acción donde se pueda verificar el correcto sellado de los tanques de mezclado y el embalaje hermético a las materias primas pulverulentas y líquidas, para posteriormente retirarse del área dejando compuertas y rejillas del sistema de filtrado cerradas. El anterior protocolo ejecutado de manera correcta y con el tiempo necesario permitirá conservar un ambiente controlado en las zonas trabajo, y que al momento de retomar la producción se logre continuar con el estándar de calidad necesario.

Así que el sistema fotovoltaico que se pretende aplicar por medio de optimización lineal permitirá tener una prevención contra daños en los productos por contaminantes aéreos como lo son material particulado y gases.

La inversión económica de este sistema tendrá un retorno a mediano plazo teniendo en cuenta que está hecho para evitar costos de análisis de laboratorio y los reprocesos que según datos provistos por la zona de contabilidad han sido entre 5 a 10 millones de pesos colombianos según el producto que se ha visto afectado.

Además de introducir la planta de alimentos en una lógica de consumo sostenible donde a partir de las características del entorno se posibilite el aprovechamiento, este proyecto busca generar procesos amigables con el medio ambiente y de esta forma aportar a la lógica de desarrollo sostenible del país.

En ese sentido, es necesario subrayar que, como aspecto general, la iniciativa que se propone en esta investigación se reviste de importancia en la medida en que instiga la innovación tecnológica y promueve el aprovechamiento de energías limpias desde el punto de vista de la producción industrial. Dicha importancia se debe a que el sector industrial es precisamente uno de los principales empleadores de energía fósiles [14], y, por tanto, la voluntad de migrar el uso de las energías tradicionales a energías renovables representa una gran contribución en el contexto actual, en el cual las sociedades industrializadas están destinando cada vez más esfuerzos en la transición energética. [15]

Desde una visión más precisa, el desarrollo de este proyecto es importante desde el punto de vista organizacional, dado que pretende solucionar la problemática alrededor de

los cortes de energía esporádicos y sin previo aviso. Estos cortes esporádicos representan una importante limitación de cara al óptimo funcionamiento de las plantas alimentarias, pues los sistemas que conservan tanto las cadenas de frío como el flujo de aire dentro del espacio de almacenamiento, funcionan a partir de corriente eléctrica [16]. Por lo tanto, una eventual falla de ventilación en la planta, ocasiona alteraciones en los productos, insumos o materias primas almacenadas; derivando en algunas ocasiones en pérdidas totales o parciales de los elementos en cuestión. [17].

Además, entre los puntos que se destacan dentro del repertorio de beneficios producto de la implementación de energía solar, se resalta el aumento de la eficiencia general [18] pues la incorporación de paneles solares y en general la apuesta por energía fotovoltaica, tiende a ser menos costosa en proporción con los gastos por energía convencionales [3], [19].

Bajo el análisis de los anteriores elementos, se determina que la importancia de la implementación del sistema se debe a aspectos como la mejora en la eficiencia desde el análisis de costos y gastos, la contribución o la voluntad de cambio que se hace en términos de transición energética y la manera en que a partir de la innovación se saca partido de ello; así como de la necesidad de conservación óptima de los alimentos a partir del cuidado de variables como la cadena de frío y el flujo general de ventilación que se requiere en una planta de alimentos. [20].

7. Marco Teorico

7.1 Radiación solar en Colombia.

El IDEAM es la entidad que se encarga en Colombia de hacer el seguimiento a la radiación solar teniendo la mayor cobertura de estaciones a nivel nacional, aunque también existen diversas entidades ya sea de carácter agrícola como: Cenicafé, Fedearroz o de carácter ambiental como la CAR. [21]

7.1.1 Estaciones metrológicas para medición de la radiación solar.

La red del IDEAM cuenta con sensores convencionales los cuales son (actinógrafos y piranómetros). Los primeros dan información diaria de radiación global acumulada y los segundos pueden darla minuto a minuto guardándola en la red de datos HYDRAS3 [21]. Con estos valores se genera un mapa el cual muestra la radiación en la superficie colombiana, se toman en cuenta 40 actinógrafos y 160 piranómetros CM11, Figura 1. Para la visualización al detalle consultar el Anexo 5.

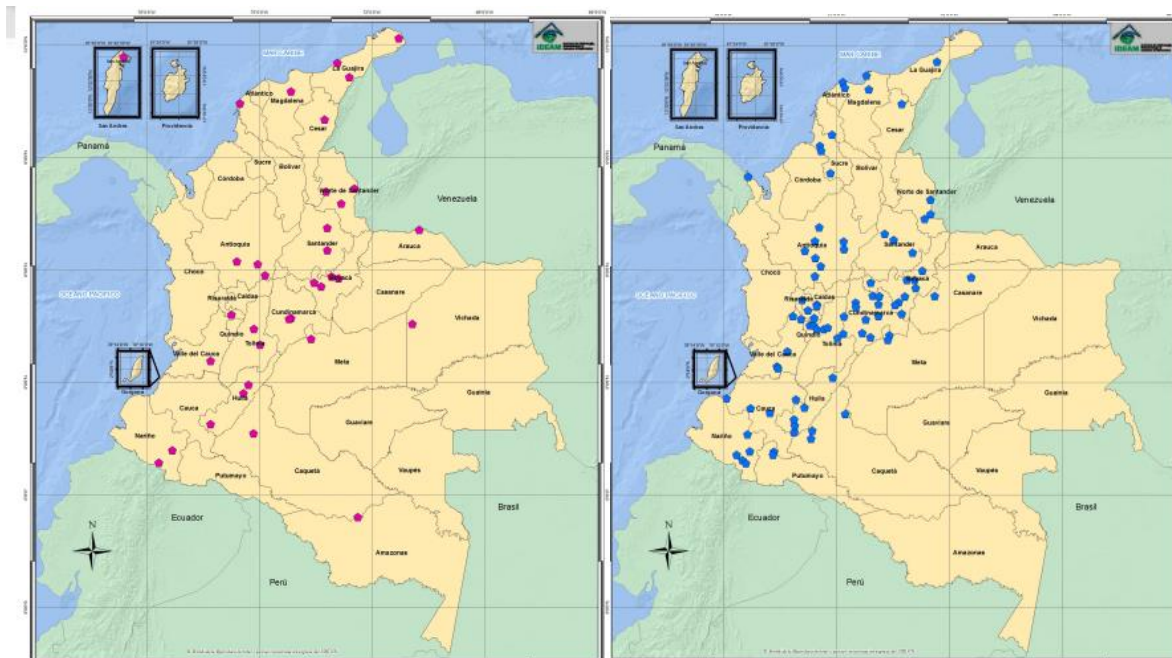


Figura 1 Lado izquierdo actinógrafos lado derecho piranómetros. Fuente: [22]

Posteriormente se hace un promedio de datos los cuales se disponen en un atlas de Colombia donde por colores se identifican las diversas zonas de mayor y menor radiación como se aprecia en el mapa anual del año 2022 de la Figura 2. [21]

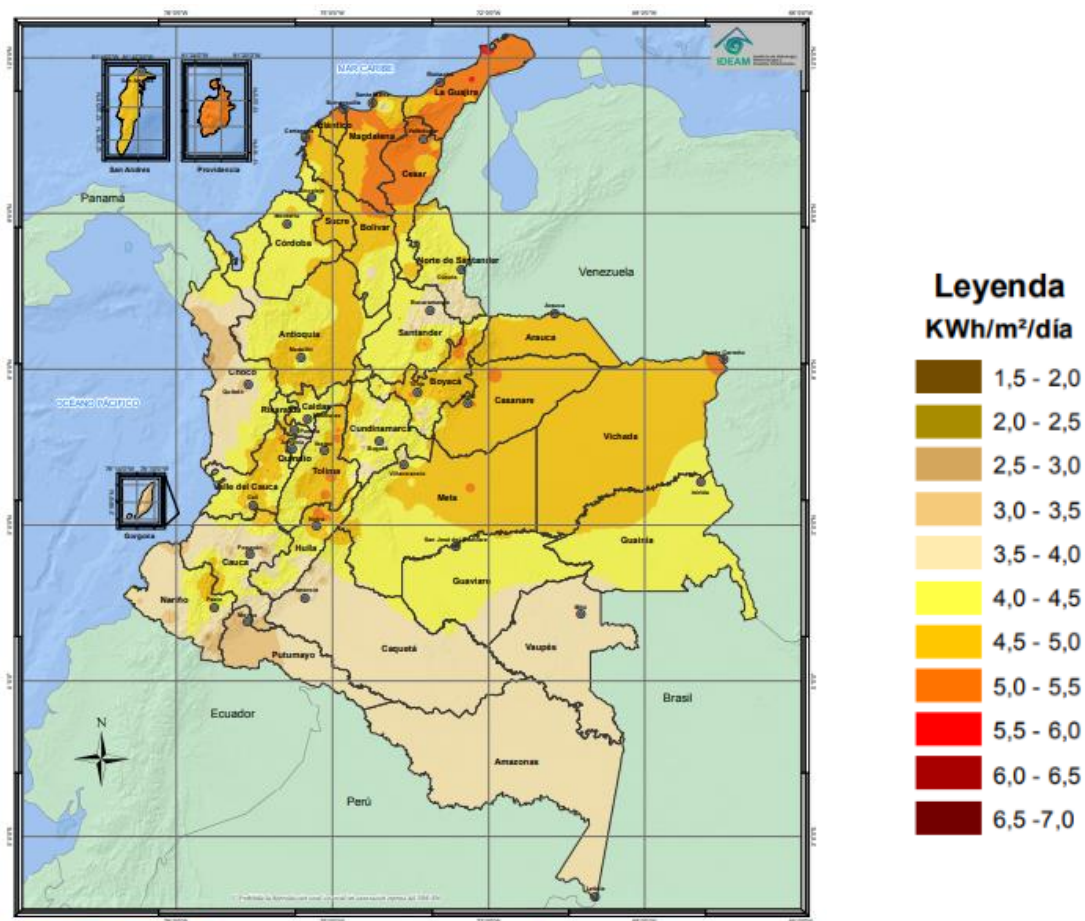


Figura 2 Promedio anual 2022 de radiación solar. Fuente: [22]

Todo el contexto ilustrativo se deja plasmado en una tabla de valores promedios de cada mes y a su vez de cada hora durante el lapso de este tiempo. El IDEAM en su repositorio de información anexa una tabla anual con los datos descritos. [22]

ESTACION UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA (BOGOTÁ)												
PROMEDIO HORARIO DE LA RADIACIÓN (Wh/m ²)												
HORA	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
0-1	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,2	0,3	0,3
1-2	0,3	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,4	0,5	0,4	0,2	0,4	0,4
2-3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,5	0,5	0,4	0,2	0,3	0,3
3-4	0,2	0,2	0,1	0,3	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,2	0,3	0,3
4-5	0,1	0,1	0,3	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,2	0,4	0,3
5-6	0,2	0,1	0,3	1,3	2,5	1,9	1,2	1,2	2,0	3,0	2,7	0,7
6-7	31,8	28,1	39,5	52,9	66,3	62,0	55,2	50,6	60,2	71,0	61,4	50,2
7-8	184,9	162,3	149,3	177,2	188,3	188,0	191,0	172,9	180,6	205,6	198,3	208,9
8-9	351,3	342,2	264,3	309,3	294,4	291,3	313,7	290,8	284,5	346,4	356,3	378,8
9-10	507,6	455,8	366,7	388,1	391,4	389,5	399,7	387,8	399,5	457,6	458,6	504,3
10-11	589,9	543,7	469,8	425,6	431,5	447,8	476,8	467,0	460,2	501,8	519,1	545,5
11-12	607,4	544,1	483,3	433,2	455,7	497,2	520,6	491,4	489,4	458,0	488,2	533,5
12-13	560,1	503,8	433,2	412,9	464,7	490,0	544,6	494,3	481,1	442,4	414,1	491,1
13-14	475,7	465,6	389,8	365,9	404,2	476,3	499,4	457,5	432,5	393,3	355,3	423,4
14-15	375,9	357,0	313,5	307,7	334,2	391,8	404,2	392,0	398,2	315,9	274,7	348,9
15-16	304,4	275,2	231,1	225,1	245,4	275,5	292,9	305,2	298,4	209,9	188,3	254,7
16-17	171,2	145,7	145,0	135,4	143,1	158,6	177,2	168,1	168,4	111,0	90,2	124,9
17-18	46,4	48,7	47,7	35,6	35,7	46,3	59,4	48,9	34,5	16,7	13,0	26,0
18-19	0,5	0,9	0,7	0,2	0,3	0,5	1,1	0,9	0,4	0,3	0,4	0,4
19-20	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,3	0,2	0,3	0,3	0,2
20-21	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0,3	0,3
21-22	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,3	0,4	0,2	0,3	0,2
22-23	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,4	0,3	0,2	0,2	0,3
23-0	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,3	0,3	0,5	0,2	0,3	0,2
Acumulada diaria	4207,3	3873,1	3334,2	3270,4	3457,9	3716,7	3937,1	3728,5	3690,0	3533,0	3420,7	3891,2

Entre 0 y 200 (Wh/m²)

Entre 200 y 400 (Wh/m²)

Entre 400 y 600 (Wh/m²)

Entre 600 y 800 (Wh/m²)

Mayor a 800 (Wh/m²)

Tabla 1 Promedio horas de la radiación. FUENTE: IDEAM

En la Tabla 1 se muestra, a través de una convención de colores, las horas del día en las que el sol emite mayor radiación solar durante cada uno de los 12 meses del año. Dado que Colombia es un país tropical, se puede observar que las variaciones en la intensidad de la radiación solar a lo largo de los meses no son constantes. Se nota que en enero es el periodo con la mayor incidencia solar, mientras que abril presenta la menor incidencia.

7.2 Sistemas fotovoltaicos.

Cuando se va a hablar de instalaciones solares hay que definir qué tipo de sistemas se usará en base al cumplimiento de los objetivos de demanda energética que se deseen cumplir. Actualmente existen dos tipos de instalaciones solares:

- Sistemas fotovoltaicos conectados a la red.

- Sistema fotovoltaico aislado de la red.

7.2.1 Sistema fotovoltaico conectado a la red:

También conocidos como sistemas "on-grid", que utilizan paneles solares e inversores montados en paralelo a la red existente para aportar energía eléctrica cuando hay condiciones ambientales óptimas. Estos sistemas no necesitan baterías adicionales, puesto que utilizan la red eléctrica en momentos en que los paneles no generan energía y pueden devolver el excedente de energía eléctrica producida a la red pública para su uso. Sin embargo, estos sistemas no proporcionan energía durante interrupciones en la red debido a su diseño; están sincronizados con la red eléctrica existente y no pueden funcionar independientemente de ella. Estos sistemas son autofinanciados y compensan el pago de la energía eléctrica facturada, minimizando el consumo de energía de la red pública. [23]

Ventajas:

- Costo en su instalación es más económico con respecto a los sistemas aislados de la red Grid Off.
- No necesitar baterías y permitir la instalación en etapas ya que tiene la red de respaldo.

Desventajas:

- La disponibilidad de energía depende de las condiciones atmosféricas. [24]

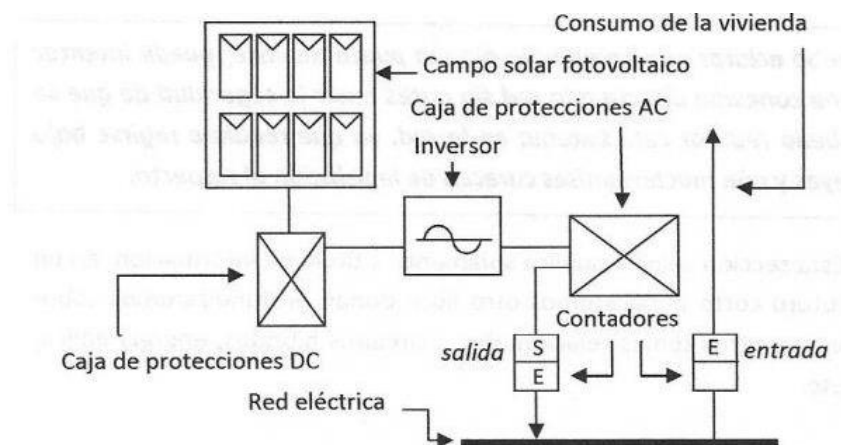


Figura 3 Esquema de sistema fotovoltaico conectado a la red

Fuente: <https://www.aulafacil.com/cursos/medio-ambiente/energia-solar-fotovoltaica-1/aplicaciones-fotovoltaicas-conectadas-a-la-red-137925>

7.2.2 Sistema fotovoltaico aislado de la red:

El sistema fotovoltaico off-grid, se utiliza en lugares donde no hay una red eléctrica disponible debido a la topografía del terreno o la ubicación remota, este sistema consta de varios componentes esenciales para su funcionamiento. A continuación, se describe brevemente cada uno de ellos:

- **Paneles solares:** Son dispositivos que contienen células fotovoltaicas capaces de convertir la radiación solar en electricidad. Estos paneles capturan la energía solar y la convierten en corriente continua (CC).
- **Regulador de carga:** Es un dispositivo encargado de controlar la carga de la batería del sistema. Regula la cantidad de energía que se envía a la batería desde los paneles solares para evitar sobrecargas o descargas excesivas, protegiendo así la vida útil de la batería.

- **Baterías:** Almacenan la energía generada por los paneles solares para su uso posterior. Las baterías proporcionan energía durante la noche o en momentos en los que no hay suficiente luz solar. Son esenciales para garantizar el suministro continuo de electricidad.
- **Inversor:** Este dispositivo convierte la corriente continua (CC) generada por los paneles solares y almacenada en las baterías en corriente alterna (CA), que es la forma de electricidad utilizada en la mayoría de los dispositivos y electrodomésticos convencionales.
- **Cables y conexiones:** Los cables conducen la electricidad entre los distintos componentes del sistema fotovoltaico. Deben ser de alta calidad y estar dimensionados adecuadamente para minimizar pérdidas y asegurar una transmisión eficiente de la energía.
- **Protecciones eléctricas:** Se incluyen dispositivos como fusibles y disyuntores para proteger el sistema de sobrecargas, cortocircuitos u otras situaciones de emergencia que podrían dañar los componentes.

Los sistemas off-grid son completamente independientes y se utilizan a menudo en áreas aisladas sin acceso a la red eléctrica o en los casos donde se desea una completa independencia. [23]

Ventaja:

- La ventaja de este tipo de sistema es que puede proporcionar electricidad en lugares donde no hay acceso a la red eléctrica, lo que permite tener independencia eléctrica con el adecuado dimensionamiento del sistema.

Desventaja:

- El costo de los sistemas off-grid es mayor debido a la necesidad de invertir en baterías y su mantenimiento.
- Durante el proceso de carga, las baterías pueden liberar hidrógeno, lo que representa un peligro en ambientes con poca ventilación.
- El derrame de ácido sulfúrico de las baterías representa un peligro para la piel y el suelo. [24]

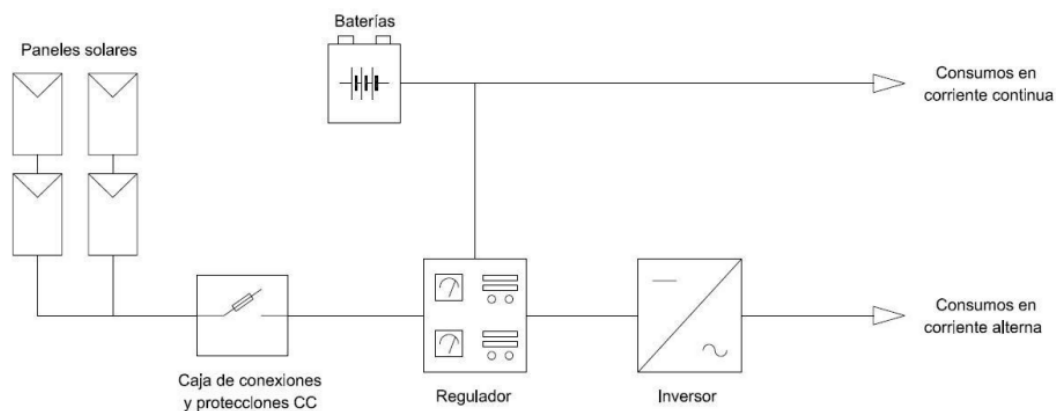


Figura 4 Esquema de sistema fotovoltaico Aislado de la red

Fuente: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/1025>

7.3 Proceso de dimensionamiento.

En el proceso de creación de un proyecto fotovoltaico ya sea conectado a la red o de modo independiente que sea de respaldo o que funcione durante un determinado tiempo, se tendrá un proceso el cual va desde el planteo del problema con los requerimientos del

sistema hasta la planeación de toda la implementación. En este contexto el dimensionamiento de un sistema fotovoltaico tendrá como factor relevante calcular la cantidad de cada uno de los componentes y las conexiones del sistema [25].

Cuando se contempla un sistema fotovoltaico autónomo se tendrá como fin lograr tener la electricidad disponible durante el mayor tiempo posible, por ende, se tendrán que realizar unos cálculos para el desarrollo de la implementación en 5 pasos fundamentales:

7.3.1 Determinación de los consumos:

7.3.1.1 Energía consumida en corriente alterna AC (Wh):

La fórmula para calcular la energía consumida en corriente alterna (AC) se basa en la ley de Joule, que establece que la energía consumida en un circuito eléctrico es igual al producto de la corriente (I), el voltaje (V) y el tiempo (t). En el caso de corriente alterna, se utiliza el valor eficaz del voltaje y la corriente lo cual se traduce en la potencia nominal del sistema.

$$E_{AC} = \sum P_{(AC)i} * t_{di}$$

Ecuación 1 Fuente: [26]

Donde:

- $P_{(AC)i}$ = Potencia nominal del equipo i (W)
- t_{di} = Tiempo de uso diario (h)

7.3.1.2 Consumo total diario (Wh):

La Ecuación 2 nos permite obtener el consumo total de energía eléctrica utilizado en un día tomando en cuenta las eficiencias de los componentes de tales como la batería y el inversor a usar en la instalación de un sistema fotovoltaico, lo cual es útil para evaluar la carga eléctrica de un sistema, dimensionar adecuadamente un sistema de generación de energía o para llevar un registro del consumo energético en un hogar o establecimiento.

$$E_T = \frac{E_{DC}}{\eta_{BAT}} + \frac{E_{AC}}{\eta_{BAT}\eta_{INV}}$$

Ecuación 2 Fuente: [26]

Donde:

- E_{DC} = Es la energía consumida en corriente directa DC, en caso de que el sistema a implementar sea para una instalación en AC esta variable se hará 0.
- η_{BAT} = Eficiencia de la batería.
- η_{INV} =Eficiencia del inversor.

**Los datos de eficiencia de los componentes tales como el inversor y la batería serán dados según la selección del más adecuado, así que este factor se encontrara en la ficha técnica del componente.*

7.3.2 Capacidad de acumulación de las baterías:

Esta se calcula en relación a la energía real consumida por el sistema en una temporalidad dada en días. [26]

$$C_b = \frac{E_T N}{DOD * \eta_c}$$

Ecuación 3 Fuente: [26]

Donde:

- N = Días de autonomía.
- DOD = Profundidad máxima de descarga que se puede permitir para la batería. (dato suministrado en las fichas técnicas de los tipos de batería)
- η_c = Capacidad de acumulación requerida en las baterías.

7.3.3 Parametrización del regulador de carga:

El regulador es el encargado de controlar las cargas y descargas de la batería. Para realizar la correcta caracterización es necesario obtener la corriente pico que estará en el sistema, la cual se puede encontrar a partir del cálculo de la corriente que produce el generador y la corriente que consume la carga. [27]

7.3.3.1 Corriente del generador:

Se evalúa tomando la máxima corriente que puede producir el generador solar fotovoltaico, también conocida como corriente de cortocircuito. La Ecuación 4 se aplica a un solo generador, ya que este define las características de los paneles solares que se colocarán en un arreglo fotovoltaico. Este arreglo suministra la corriente al regulador de carga y contempla la topología de conexión de los paneles, incluyendo la opción de conexión en paralelo si es necesario.

$$I_{input} = I_{Generador,SC} = 1.25 * (I_{Panel,SC} * N_p)$$

Ecuación 4 Fuente: [26]

Donde:

- $I_{Generador,SC}$ (A) = Corriente en corto circuito del generador.
- $I_{Panel,SC}$ (A) = Corriente en corto circuito en el módulo o panel.
- N_p = Ramas en paralelo del generador.

**Se recomienda un factor de seguridad de 1.25 a consideración de los días nublados donde por lapsos de tiempo el panel recibe menor radiación que en los días de cielos despejados.*

7.3.3.2 Corriente de consumo de la carga:

Se calcula a partir de la corriente máxima que consume la carga, también puede ser llamada la corriente de salida del sistema [27]

$$I_{out} = IC = (P_{DC}/V_{BAT} + P_{AC} /110)$$

Ecuación 5 Fuente: [27]

Donde:

- $IC(A)$ = Consumo de la carga.
- $P_{DC}(W)$ = Potencia carga en DC.
- $P_{AC}(W)$ = Potencia carga en AC.
- $V_{BAT}(V)$ = tensión nominal de la batería.

Teniendo los datos obtenidos de estas dos corrientes se escoge la que del resultado más grande siendo esta la que deberá soportar el regulador (I_R), este dato se utiliza para su elección en posterior gestión de compra.

7.3.4 Parametrización del inversor:

Partiendo de las características de funcionamiento se definen los datos a tener en cuenta:

- **Tensión nominal de entrada (V):** hay que resaltar que la tensión de entrada en el inversor no siempre será la misma debido a la variación de recepción de radiación solar en el módulo fotovoltaico, entonces debe ser capaz de transformar diferentes tensiones dentro de un rango $\pm 15\%$. [27]
- **Potencia Nominal (kW):** Se debe elegir un inversor el cual tenga una potencia nominal un 20% superior a la potencia de demanda de la carga. [26]

$$P_{inv} \approx 1.2 P_{AC}$$

Ecuación 6 Fuente: [26]

- **Tensión Nominal de salida (V).**
- **Frecuencia de Operación (Hz).**
- **Rendimiento (%) = η_{INV}** evaluada en aspecto porcentual.

7.3.5 Estandarización de cableado a usar:

Los cables que se usan para la instalación de cualquier sistema con estructura apartada de la red deben contar con el aislamiento adecuado, se tendrá que la sección de los mismos dependerá del punto de conexión en el sistema y los resultados de corrientes existentes en las entradas y salidas. Los cálculos serán en base a las tablas establecidas en la Norma técnica colombiana “NTC” y el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas “RETIE” [28]. Aun así, se contemplan diversas caídas de tensión estandarizadas en cada uno de los componentes para realizar la correcta selección, tales que; [27]

- Entre Generador Fotovoltaico y regulador inversor: 3%
- Entre Regulador y batería: 1%
- Entre Inversor y batería: 1%
- Entre Regulador e inversor: 1%
- Entre Inversor/regulador y cargas: 3%.

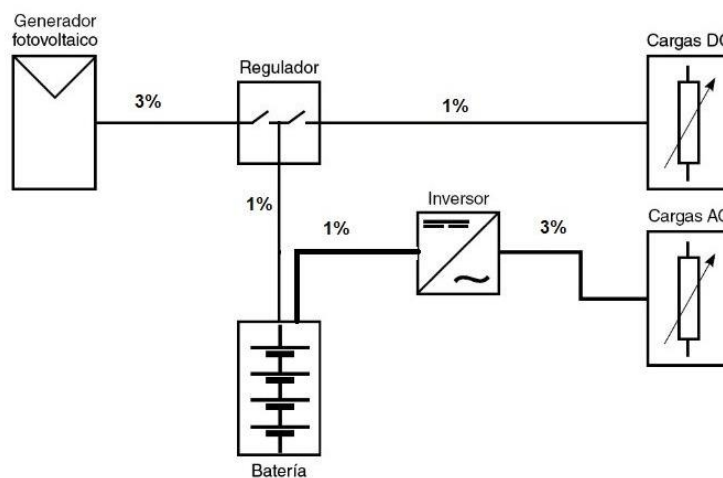


Figura 5 Caídas de tensión máximas permitidas.

Fuente: <https://www.areatecnologia.com/electricidad/cables-fotovoltaica.html>

Para determinar el tamaño adecuado de los conductores en un sistema solar fotovoltaico, es necesario seguir la norma técnica colombiana NTC2050, la cual establece que la capacidad de corriente de los conductores y el ajuste de disparo de los dispositivos de protección contra sobre corriente en un circuito no deben ser menores al 125% de la corriente

alculada.

Calibre	Área	Resistencia Nominal DC a 20 °C	Espesor de Aislamiento	Espesor de Nylon	Diámetro Exterior Aproximado	Ampacidad (*)	Tensión Máxima de Halado	Radio mínimo de curvatura	
	mm ²	Ohm / km	mm	mm	mm	A	Kg-F	mm	
AWG	14	2,08	8,444	0,38	0,10	2,89	25	15	12
	12	3,31	5,315	0,38	0,10	3,36	30	23	14
	10	5,26	3,344	0,51	0,10	4,21	40	37	17
	8	8,37	2,102	0,76	0,13	5,53	55	59	22,12
	6	13,3	1,323	0,76	0,13	6,47	75	93	25,88
	4	21,15	0,832	1,02	0,15	8,23	95	148	32,92
	2	33,63	0,523	1,02	0,15	9,72	130	235	38,88
	1/0	53,51	0,329	1,27	0,18	12,03	170	375	48,12
	2/0	67,44	0,261	1,27	0,18	13,12	195	472	52,48
	3/0	85,03	0,207	1,27	0,18	14,35	225	595	57,4
kcmil	4/0	107,22	0,164	1,27	0,18	15,74	260	751	62,96
	250	126,68	0,139	1,52	0,20	17,86	290	887	71,44
	300	152,01	0,116	1,52	0,20	19,22	320	1064	76,88
	350	177,35	0,099	1,52	0,20	20,46	350	1241	81,84
	400	202,68	0,087	1,52	0,20	21,61	380	1419	86,44
	500	253,35	0,069	1,52	0,20	23,73	430	1773	94,92

Tabla 2 Calibres para cable de instalación eléctrica en cobre.

A su vez la Tabla 2 asociada a la norma NTC2050 proporciona información detallada sobre los calibres de cable recomendados para diferentes aplicaciones en sistemas fotovoltaicos. Esta información incluye el diámetro del conductor, la capacidad de corriente admisible y otras características relevantes.

El propósito de la tabla es ayudar a los diseñadores, instaladores y profesionales del sector fotovoltaico a seleccionar los calibres de cable adecuados para cada componente del sistema, como paneles solares, reguladores de carga, inversores y baterías. Esto asegura que se cumpla con las demandas de corriente y se eviten problemas como pérdidas de energía excesivas, sobrecalentamiento o sobrecargas en los cables.

Es importante consultar la norma NTC2050 y la tabla correspondiente al seleccionar los calibres de cable para sistemas fotovoltaicos en Colombia, ya que seguir estas recomendaciones contribuye a la eficiencia y seguridad del sistema, así como al cumplimiento de las regulaciones nacionales.

7.3.6 Parametrización del panel solar:

Este apartado consiste en la determinación matemática del número de módulos o paneles solares, partiendo del total de la energía producida por los paneles, y las pérdidas pertenecientes al módulo. Un factor importante es la determinación del HSP (Hora solar pico) [29] la cual se calcula a partir de la locación donde se ubicará el sistema fotovoltaico. Por parte procedimental se requiere saber cuánta es la energía que produce el panel solar calculada a partir de la Ecuación 7.

$$E_{panel} \left(\frac{Ah}{día} \right) = \eta_{panel} * I_{maxpanel} * HSP$$

Ecuación 7 Fuente: [29]

Donde:

- η_{panel} : eficiencia del panel
- $I_{maxpanel}$: Corriente máxima de panel
- HSP : Horas solares pico

El cálculo anterior provee un dato técnico de la energía máxima producida, ahora si se desea contemplar el valor numérico de la cantidad de paneles es necesario verlo desde la energía total de consumo del sistema, donde a partir de la Ecuación 8 se llega al dato

numérico , y seguido de esto se procede a la solución de las Ecuación 9 y Ecuación 9 las cuales aportan la estructura organizacional de ubicación de los paneles (serie –paralelo)

$$N_T = \frac{E_T}{HDP * Pp * P_G}$$

Ecuación 8 Número total de paneles

$$N_{pp} = \frac{(N_T)}{N_{ps}}$$

Ecuación 9 Módulos en Paralelo

$$N_{ps} = \frac{(V_{nom})}{V_{maxpanel}}$$

Ecuación 10 Módulos en Serie

Fuente: [29]

Donde:

- E_{panel} : Energía panel.
- V_{nom} : Voltaje nominal del panel.
- $V_{maxpanel}$: Voltaje máximo del panel.
- Pp : Potencia pico panel.
- P_G : Factor global de pérdidas usualmente entre 0.65 - 0.9.

7.4 Optimización Lineal/ Programación Lineal:

Es una técnica la cual tiene su fuerte en el modelamiento de sistemas usando un paso a paso el cual indica un proceso de una serie de decisiones para cumplir un objetivo determinado, la solución de este problema se puede resumir en tres fases. [30]

1. Identificación: donde se deduce una variable a estudiar la cual es la que define el problema; (se busca la optimización del objetivo con variables cuantitativas).

2. Determinación: caracteriza las decisiones que pueden caber dentro del problema para luego ir a un grupo de restricciones.

3. Coste/beneficio: en este apartado se deja expresada la función objetivo donde se determinan el conjunto de valores posibles para las variables de la decisión.

Las tres fases mencionadas dan la base para el modelamiento del sistema a estudiar partiendo del problema en cuestión, así mismo de acuerdo con (Cornejo, 2002) se requieren identificar los siguientes componentes del problema:

1. Conjunto de datos.
2. Conjunto de variables, con sus rangos de definición.
3. Conjunto de restricciones lineales, que definen las soluciones admisibles.
4. Función lineal que se puede optimizar por minimización o maximización.

Los diferentes tipos de modelos de optimización lineal se clasifican en métodos clásicos, ejemplos de estos son (lineal, lineal entera mixta, dinámica y estocástica), estos garantizan un óptimo local, que es el mejor resultado obtenido para una región específica de un espacio de soluciones. A diferencia del óptimo global, que es el valor más alto o más bajo que la función puede alcanzar en todo el conjunto factible estos también son definidos como metaheurísticos, teniendo como ejemplo (algoritmos evolutivos y recorridos simulados). [30]

Los autores Caballero y Grossman [31], determinan la clasificación métodos de optimización como se observa en la Figura 6 donde parten de las variables discretas y

continuas las cuales permiten tener la solución del problema de programación lineal y no lineal.

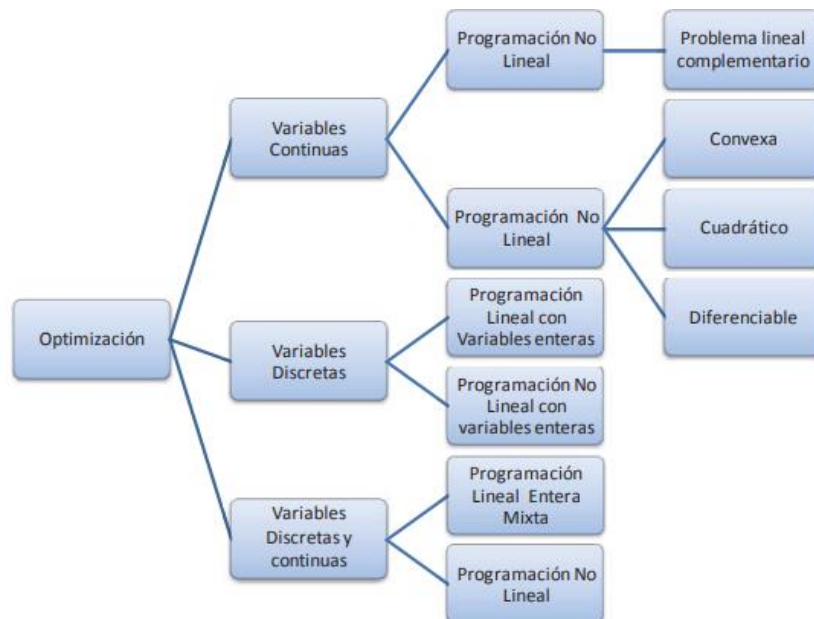


Figura 6 Clasificación de métodos de Optimización. Fuente: [31]

Para cualquier estudio de problemas en relación a programación matemática, se tiene en cuenta la formulación matemática donde según las variables más comunes ya sea discretas o continuas se tendrá que, para los métodos de programación lineal entera, tendrá como punto de inicio el conjunto de los valores enteros, ejemplo de esto es el siguiente planteamiento:

$$Ax \leq b$$

$$x \in \mathbb{Z}_+^n$$

Ecuación 11 fuente: propia

Donde;

- A constante que define el problema.
- x variable.
- b restricción.
- Z^+_n espacio dimensional entero únicamente positivo.

Tomando en consideración que hay casos en donde el espacio dimensional es acotado en variables continuas se usa el método de programación lineal entera mixta esquematizando en un problema tal que:

$$Ax + By \leq b$$

$$x \in R^n_+$$

$$y \in Z^p_+$$

Ecuación 12 fuente: propia

Donde;

- A, B constante que define el problema
- x,y variable
- b restricción
- Z^+_n espacio dimensional entero únicamente positivo
- R^n_+ espacio dimensional racional únicamente positivo

7.5 Proyección económica

El ciclo del proceso de inversión incluye las etapas de diseño, preparación, ejecución, operación y control de la inversión. Desde la detección de un problema o necesidad hasta la

evaluación de la viabilidad de la mejor alternativa, seguido de su implementación y control para verificar el cumplimiento de los objetivos previstos. Por lo tanto, el proceso completo cubre todas las fases de la inversión, desde la planificación inicial hasta la supervisión continua. [32]

En contexto a un retorno de inversión aproximada, se simula el flujo de caja anual y se estimarán los parámetros VAN, TIR y PB, indicadores utilizados habitualmente para el análisis de viabilidad de inversiones.

7.5.1 Payback (PB):

Es un indicador utilizado en las empresas para calcular el periodo de retorno de inversión en un proyecto. En términos técnicos, Payback se refiere al tiempo que tarda en recuperarse la inversión inicial hasta que los rendimientos acumulados sean iguales al valor de la inversión. [33]

$$PB = \frac{INVERSION}{FLUJO DE CAJA}$$

Ecuación 13 Fuente: [33]

7.5.2 Valor Neto Actual (VAN):

Representa la diferencia en dinero entre los ingresos brutos de un proyecto y las inversiones y costos asociados, todo esto referido al valor actual de dicho capital. En otras palabras, el VAN es un indicador financiero que mide la rentabilidad de un proyecto en términos de dinero presente, y se utiliza para evaluar la rentabilidad de las inversiones a

largo plazo, teniendo en cuenta el costo de oportunidad y la tasa de descuento “Inflación” aplicada en la [33] Ecuación 14.

$$VAN = -I_0 + \frac{FN1}{(1+i)^1} + \frac{FN2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{FNn}{(1+i)^n}$$

Ecuación 14 Fuente: [33]

Donde:

- I_0 = Inversión inicial
- FN_n = Flujos netos para el periodo n
- i = Tasa de descuento (costo de capital) inflación

7.5.3 Retorno de Inversión (ROI):

Se define como el retorno que se obtiene al comparar la cantidad de dinero que se ha invertido en el lanzamiento de un producto, la mejora del servicio al cliente o una campaña publicitaria, con la cantidad de dinero que se ha obtenido en relación a esa inversión. Esta medida financiera puede ser positiva o negativa y refleja el éxito en la recuperación del dinero invertido en un negocio. [34]

$$\%ROI = \frac{INGRESOS - INVERSION}{INVERSION} * 100$$

Ecuación 15 Fuente: [34]

***Tomar en cuenta que las utilidades se traducen en el total de los ingresos deducidos sobre la inversión.*

Los cálculos de estos diferentes parámetros de contabilización se hacen esenciales para el proceso de viabilidad de un proyecto y las justificaciones económicas que abarquen la implementación del mismo.

7.6 Software de desarrollo

MATLAB es un software de computación técnica utilizado en una amplia variedad de campos, incluyendo ingeniería, física y finanzas. Fue creado en la década de 1980 por MathWorks y ha sido utilizado por ingenieros y científicos de todo el mundo para analizar y visualizar datos, modelar sistemas, diseñar algoritmos y crear prototipos de productos. Además de las herramientas de análisis numérico y estadístico, MATLAB también proporciona un entorno de programación que permite a los usuarios personalizar y automatizar sus procesos de análisis de datos. [35]

En la ingeniería, MATLAB se utiliza en diversas áreas, como el procesamiento de señales, la comunicación inalámbrica, el control de sistemas, la ingeniería mecánica y la modelización de sistemas eléctricos y electrónicos. La capacidad de MATLAB para simular sistemas físicos y analizar datos de sensores lo convierte en una herramienta esencial para los ingenieros que necesitan diseñar y optimizar sistemas complejos. También se utiliza en la educación en ingeniería, permitiendo a los estudiantes aprender y aplicar los conceptos teóricos a través de ejemplos prácticos y proyectos. [35]

Optimization Toolbox: Ofrece una variedad de funciones para encontrar los parámetros óptimos que satisfagan restricciones y minimicen o maximicen los objetivos.

Este toolbox de herramientas incluye solucionadores para programación lineal (LP), programación lineal de enteros mixtos (MILP), programación cuadrática (QP), programación de cono de segundo orden (SOCP), programación no lineal (NLP), mínimos cuadrados lineales restringidos, mínimos cuadrados no lineales y ecuaciones no lineales.

Para el desarrollo del programa se utilizó la siguiente función:

- **Intlinprog: Programación lineal de enteros mixtos (MILP):**

Es un solver de programación lineal de enteros mixta el cual encuentra el mínimo de un problema especificado por:

$$\min_x f^T x \text{ subject to } \begin{cases} x(\text{intcon}) \text{ are integers} \\ A \cdot x \leq b \\ Aeq \cdot x = beq \\ lb \leq x \leq ub. \end{cases}$$

f, **x**, **intcon**, **b**, **beq**, **lb** y **ub** son vectores, y **A** y **Aeq** son matrices, se puede especificar **f**, **intcon**, **lb** y **ub** como vectores o arreglos. [35]

8. Diseño metodológico

En este proyecto se utilizó una metodología desarrollada en cinco etapas la cuales buscan solucionar los objetivos para el dimensionamiento de un sistema fotovoltaico autónomo para el filtrado de aire continuo en la planta de alimentos GIOMER para implementar el protocolo de emergencia en un tiempo de 15 minutos.

8.1 Investigación

8.1.1 Consumos del sistema

Durante una jornada de trabajo continua de 8 horas se hizo la medida de corriente con una pinza amperimétrica en las líneas de suministro las cuales alimentan el sistema de filtrado de aire con el objetivo de comparar los datos teóricos que aparecen en la tabla de parametrización de cada motor con el resultado de las muestras tomadas cada hora con la pinza amperimétrica.

HORA	Motor 1 Consumo (A)	Motor 2 Consumo (A)	Motor 3 Consumo (A)	Motor 4 Consumo (A)
1	20,15	20,21	20,12	20,13
2	20,13	20,2	20,15	20,2
3	20,16	20,22	20,15	20,22
4	20,15	20,18	20,15	20,15
5	20,18	20,2	20,16	20,15
6	20,3	20,22	20,14	20,16
7	20,15	20,22	20,14	20,14
8	20,18	20,22	20,15	20,16
PROMEDIO	20,18	20,21	20,15	20,16

Tabla 3 Muestreo con pinza amperimétrica FUENTE: Propia

La sumatoria del total de cada uno de los promedios de consumo de corriente es lo que necesita el sistema de suministro de aire para su funcionamiento constante.

$$\sum \text{Consumo corriente}(A) = 20.18A + 20.21A + 20.15A + 20.16A = \mathbf{80.69A}$$

Ecuación 16

Teóricamente se cumplen las especificaciones de los motores existentes en el sistema ya que la placa de los 4 motores contiene los siguientes datos de operación:

1.	Potencia Nominal:1.119 kW
2.	Corriente Nominal:20.1/10.0 A
3.	Eficiencia Energética: 68.0%
4.	Factor de potencia: 0.71
5.	Tensión nominal:115/230 V
6.	Frecuencia nominal:60 Hz

Tabla 4 Datos placa del motor

Donde en el ítem 2 de la Tabla 4 Datos placa del motor se tiene una corriente nominal de 20.1A a 115V lo cual argumenta el ejercicio de toma de muestras con la pinza amperimétrica ya que da un dato bastante cercano al teórico.

Posterior al proceso de medición amperimétrica se determina la potencia de funcionamiento del sistema partiendo de la fórmula de potencia activa donde al sustituir los valores se obtendrá la potencia activa de un motor del sistema.

$$P(\text{activa}) = 20.16A * 110V * 0.71 * 0.68$$

$$P(\text{activa}) = \mathbf{1.070kW}$$

Ecuación 17

***como son datos en la práctica, se tendrá que el voltaje nominal del sistema será*

110V en una red de alimentación convencional en el territorio colombiano.

El resultado de la Ecuación 17 deberá ser multiplicado por el total de motores existentes y este será el total de potencia requerida para el funcionamiento del sistema.

$$P(\text{activa Total}) = 1.070kW * 4$$

$$P(\text{activa Total}) = 4.282kW$$

Ecuación 18 Potencia del sistema.

Según la descripción del problema se requiere mantener los motores funcionando después de un corte de energía durante 15 minutos que es el tiempo suficiente para activar el protocolo de emergencia donde se evacua y almacena el producto en las diferentes secciones de la planta de alimento. Así que la potencia debe quedar en función de horas de uso para el sistema fotovoltaico.

$$P(\text{activa Total} * \text{tiempo}) = 4.282kW * 15min * \left(\frac{1hora}{60min}\right)$$

$$P(\text{activa Total} * \text{tiempo}) = 1.070kWh$$

Ecuación 19 Potencia del sistema en 15 minutos

8.1.2 Radiación incidente.

Se realizó una investigación en la entidad gubernamental IDEAM, del análisis estadístico de los datos de radiación incidente solar en diferentes épocas del año con respecto a las variaciones de condiciones climáticas.

Los datos que provee la base de datos de IDEAM son de radiación en general en la ciudad de Bogotá, esto lo hacen promediando los valores de los actinógrafos y los piranómetros ubicados en diferentes puntos de la ciudad, se tiene como factor relevante de lectura los datos provistos por la Universidad Nacional y sus sistemas de medición. Como consecuente a esto se realiza la Tabla 1 Promedio horas de la radiación. De esta tabla se procede a realizar

un diagrama de barras el cual permitirá por medio de los promedios mensuales saber cuál es el mes con menos incidencia y las variaciones relevantes entre mes y mes.

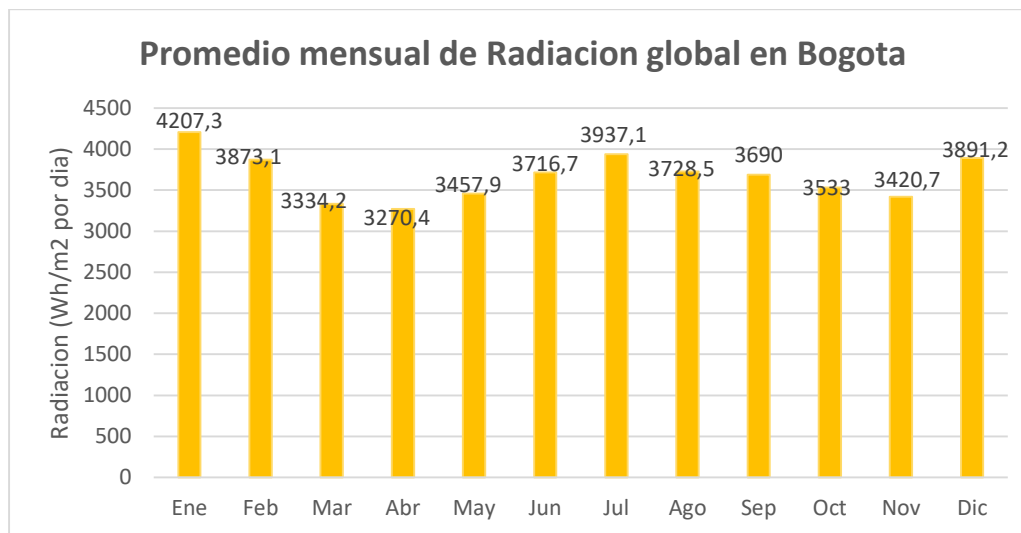


Figura 7 Promedio mensual de Radiación global en el año 2022

La Figura 7 es útil para el posterior dimensionamiento del sistema fotovoltaico ya que se debe tener en cuenta la potencia de radiación sobre la superficie donde se posicionara. La determinación de irradiación en un día promedio será llamada HPSP (Horas solares pico promedio), la cual se traduce en la energía total que proporcionará un panel en un día completo. Las HPSP deben ser seleccionadas de manera tal que sean el dato estadístico menor, ya que si se contempla el sistema en la peor situación se tendrá que en cualquier día y época del año funcionará y proveerá la energía necesaria en caso de ser usado el sistema fotovoltaico. Para el caso de Bogotá en el año 2022 se tiene que el dato de menor radiación es en el mes de abril.

$$HPSP = 3270.4Wh/m^2$$

Ecuación 20

8.1.3 Selección de componentes

En la sección 7.3 se realiza el proceso de dimensionamiento de los componentes pertenecientes a un sistema fotovoltaico autónomo, en este proceso se discretizan los valores requeridos para la selección de los componentes. Comercialmente se tienen generalidades para escoger el componente que cumpla dichas características, a continuación, se presentaran tablas comparativas de los tipos de cada uno y la selección de los mismos.

8.1.3.1 Panel solar

Tipo de panel solar	Tecnología	Eficiencia	Costo	Espacio requerido	Flexibilidad en instalación	Durabilidad	Rendimiento en climas cálidos	Rendimiento en climas fríos
Policristalino	Silicio	Media	Bajo	Alto	Baja	Buena	Bueno	Regular
Monocristalino	Silicio	Alta	Alto	Medio	Baja	Excelente	Regular	Bueno
Película fina	Varios materiales (CIGS, CdTe, etc.)	Baja	Bajo	Alto	Alta	Regular	Regular	Regular
Bifacial	Silicio y otros materiales	Alta	Muy alto	Medio	Alta	Buena	Excelente	Excelente

Tabla 5 Características tipos de paneles solares.

Fuente: <https://www.repsol.com/es/energia-futuro/transicion-energetica/tipos-de-placas-solares/index.cshtml>

En la actualidad para procesos de inversión moderada, los paneles solares con tecnología de silicio monocristalino son la opción más usada ya que son los que proveen la vida útil más larga y sus niveles de eficiencia energética están entre el 70 y 80 por ciento, además como se aprecia en la Tabla 5 se pueden destacar las siguientes ventajas comparativas.

- La eficiencia es alta manejando cerca de los mismos rangos que el de tipo Bifacial y por un costo mucho más considerable.
- El rendimiento en climas fríos como la ciudad de Bogotá es bueno en comparación a los de tipo poli cristalino y de película fina, siendo el monocristalino uno de los más aptos para trabajar en climas de este tipo.
- De los 4 tipos de paneles comparados es el que más durabilidad en vida útil provee siendo esta de hasta 15 años o más todo dependiendo de las condiciones de mantenimiento y climáticas donde se posicione.

Para este caso se usarán los paneles monocristalinos por las ventajas que genera sobre el sistema a implementar, las cuales están descritas anteriormente.

8.1.3.2 Banco de Baterías.

Tipo de batería	Características
Baterías de plomo-ácido	Son las baterías más comunes y económicas para sistemas fotovoltaicos. Tienen una vida útil de entre 3 y 5 años, un bajo costo y una eficiencia de descarga del 80-85%, profundidad de descarga del 40%.
Baterías de gel	Son baterías selladas que utilizan gel de sílice como electrolito. Tienen una vida útil de 5 a 10 años, una alta eficiencia de carga/descarga del 85-90% y una capacidad de profundidad de descarga del 30%.
Baterías de iones de litio	Son baterías livianas y compactas con una alta eficiencia de carga/descarga del 95-98%. Tienen una vida útil de 10 a 15 años y una capacidad de profundidad de descarga del 80-90%. Son más caras que las baterías de plomo-ácido y de gel.
Baterías de flujo	Son baterías que utilizan electrolitos líquidos almacenados en tanques separados. Tienen una vida útil de más de 20 años y una alta eficiencia de carga/descarga del 85-90%. Son ideales para aplicaciones de almacenamiento de energía a gran escala. Son más caras que las baterías de plomo-ácido y de gel.

Tabla 6 Características tipos Baterías

Fuente: <https://www.teknosolar.com>

Según el análisis comparativo de las baterías contenido en la Tabla 6 Características tipos Baterías, se tiene que en la implementación de sistemas fotovoltaicos influye mucho el costo de inversión, ya que se tiene que las baterías con composición “plomo- acido” son una de las más comunes en estos sistemas por su bajo costo y su capacidad de poder suministrara altos voltajes y amperajes en un tiempo corto; cabe resaltar que este tipo de baterías son las que más mantenimiento requieren y las que producen cierto tipo de trazas de vapores contaminantes.

Por otro lado, se encuentran las baterías de “ion de litio” las cuales son el mejor sistema de suministro de carga en la actualidad, primero por su poder de descarga profunda sin afectar los ciclos de vida útil y en segundo aspecto por su estructura la cual la hace ser la más ligera de esta sección.

El sistema fotovoltaico que se requiere implementar en la empresa de alimentos GIOMER tiene una delimitación de espacio de 15 metros cuadrados por lo que es necesario maximizar el espacio usado, a partir de este análisis se usara un banco de baterías de ion de litio las cuales tienen una inversión alta en su implantación, pero son las que mejor características proveen para minimizar mantenimientos y una vida útil por encima de cualquier banco de baterías encontrado en el mercado.

8.2 Diseños y cálculos

En la planta de alimentos GIOMER se tiene 4 motores monofásicos los cuales proveen el suministro y la extracción de aire en las diversas zonas de la planta, este sistema está en funcionamiento desde el inicio de la jornada hasta el final. El modelo fotovoltaico autónomo a implantar debe suplir la demanda de estos motores durante un lapso de 15 minutos después de un imprevisto corte de energía, tiempo para aplicar el protocolo de emergencia, este planteo de problema se explica de manera detalla en la sección 1.

En la sección 5.3 se especifican 5 pasos fundamentales para la implementación del sistema.

La determinación de los consumos se simplifica en este desarrollo ya que el sistema solo requiere una carga AC a la salida la cual es la suma de las potencias activas de los 4 motores del sistema de suministro y extracción.

Con los datos obtenidos de la potencia total= **4.282kW** en la Ecuación 18 y la energía requerida para un tiempo de 15 minutos de **1.070kWh** en la Ecuación 19, se procede a determinar la energía consumida en corriente alterna reemplazando la Ecuación 1.

$$E_{AC} = 1.070kWh$$

Ecuación 21. Energía total consumida en corriente alterna.

Teniendo el valor de la energía alterna del sistema se deben detallar los componentes a utilizar en el mismo específicamente el inversor y la batería, este proceso se hace con el

fin de tener los datos de eficiencias de los componentes para tener un modelado enmarcado en un ámbito real de funcionamiento.

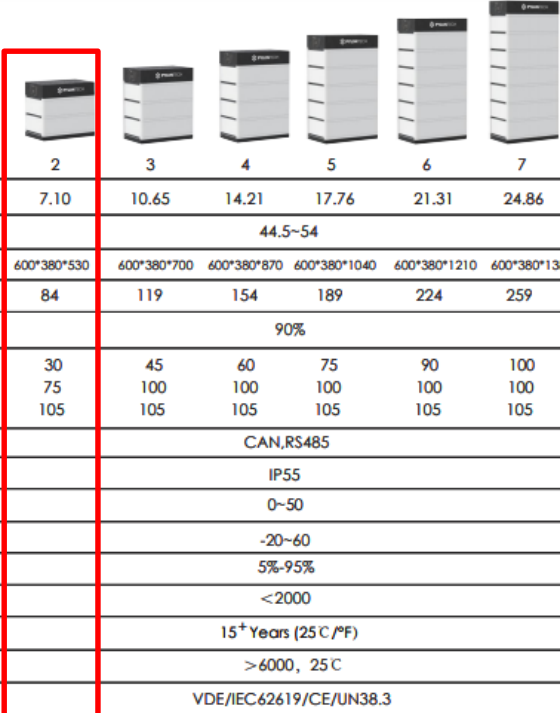
La investigación de componentes se hizo por medio de la empresa “Teknosolar” la cual lleva más de 25 años en la industria de proyectos fotovoltaicos y abarca un stock de componentes diversos según la necesidad. En el inciso 6.1.3.2 se detalló la selección de un banco de baterías de litio.

Batería:

Tomando el valor de la Ecuación 21 se selecciona la Batería de Litio de referencia “Pylontech 2.4 kWh 48V US2000C”, con características descritas en la Figura 9 Especificaciones Pylontech US2000C, la cual muestra una innovadora técnica de suministro de carga mediante la apilación de módulos de batería, incrementando la potencia por cada batería apilada como se observa en la Figura 8 Batería de Litio Pylontech 2.4 kWh 48V US2000C evitando el uso de cables de interconexión, garantizando menos pérdidas en los conductores y conservando la eficiencia, además al ser de litio permiten una profundidad de descarga de hasta un 90% logrando el uso casi en su totalidad del almacenamiento de energía.



Figura 8 Batería de Litio Pylontech 2.4 kWh 48V US2000C

Fuente: <https://www.teknosolar.com>


Battery Module	2	3	4	5	6	7
Battery System Capacity (kWh)	7.10	10.65	14.21	17.76	21.31	24.86
Voltage Range (V)	44.5~54					
Dimension (W*D*H mm)	600*380*530	600*380*700	600*380*870	600*380*1040	600*380*1210	600*380*1380
Weight (kg)	84	119	154	189	224	259
Depth of Discharge	90%					
Charge/Discharge (Recommend)	30	45	60	75	90	100
Current(A)	75	100	100	100	100	100
(Continuous)	105	105	105	105	105	105
(Peak@15s)	CAN,RS485					
Communication	IP55					
Protection Class	0~50					
Working Temperature(C)	-20~60					
Storage Temperature(C)	5%-95%					
Humidity	<2000					
Altitude (M)	15 ⁺ Years (25 C /°F)					
Design Life	>6000, 25 C					
Cycle Life	VDE/IEC62619/CE/UN38.3					
Authentication Level						

Figura 9 Especificaciones Pylontech US2000C

Fuente: <https://www.teknosolar.com>

La selección de esta referencia de batería se obtuvo debido a los requerimientos energéticos de funcionamiento del sistema ya que esta puede suplir una demanda energética de 2.4 kWh siendo un valor por encima del requerido por el sistema, a su vez la selección de este banco de batería tuvo factores relevantes como la capacidad de descarga profunda siendo esta una de las más altas en el mercado actual y también tuvo en cuenta la duración de vida útil.

El parámetro de eficiencia energética en este banco de baterías normalmente se encuentra entre el (90 -95%), para el caso de modelado del sistema se deben siempre contemplar los valores en el peor de los casos quedando

$$\eta_{BAT} = 90\%$$

Inversor/ controlador:

En la actualidad se encuentran inversores que tiene integrado el controlador de carga de la batería esto evita la adquisición de un módulo aparte facilitando el esquema del sistema fotovoltaico a implementar como se aprecia en la Figura 10, para este caso entonces es necesario tener presente la capacidad de carga del banco de baterías Pylontech US2000C el cual tiene el voltaje de estas es de 44.5-54 V según datos de la Figura 9.

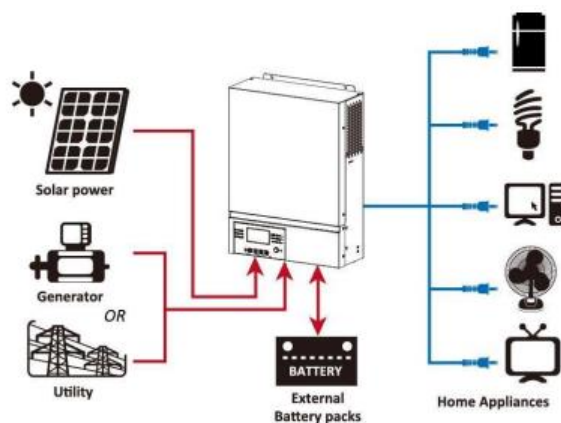


Figura 10 Esquema modulo Inversor / Controlador

Fuente: <https://autosolar.es>

Con el proveedor “Teknosolar” se encuentra el Inversor/Cargador AXPERT VM III 5000W 48V con Regulador MPPT 80A 500V, el cual cumple la capacidad de carga de la

batería y a su vez supe la demanda energética que requiere el sistema de suministro y extracción de aire para su funcionamiento.

MODELO DE INVERSOR	1.5KW	3KW	5KW
Potencia nominal	1.5KVA/1.5KW	3KVA/3KW	5KVA/5KW
Forma de onda del voltaje de salida	Onda sinusoidal pura		
Regulación del voltaje de salida	230Vac±5%		
Frecuencia de salida			
Eficiencia pico	93%		
Protección ante sobrecargas	5s@≥130% carga; 10s@105%~130% carga		
Capacidad de sobretensión	2* potencia nominal por 5 segundos		
Voltaje DC de entrada nominal	24Vdc		48Vdc
Voltaje de inicio en frío	23.0Vdc		46.0Vdc
Voltaje de advertencia CC bajo			
@ carga < 50%	23.0Vdc		46.0Vdc
@ carga ≥ 50%	22.0Vdc		44.0Vdc
Voltaje de retorno tras advertencia por voltaje CC bajo			
@ carga < 50%	23.5Vdc		47.0Vdc
@ carga ≥ 50%	23.0Vdc		46.0Vdc
Bajo voltaje de corte CC			
@ carga < 50%	21.5Vdc		43.0Vdc
@ carga ≥ 50%	21.0Vdc		42.0Vdc
Alto voltaje de recuperación CC	32Vdc		62Vdc
Alto voltaje de corte de CC	33Vdc		63Vdc
Consumo sin cargas conectadas	<35W		<50W

Tabla 7 Especificaciones en modo inversor

Fuente: <https://autosolar.es>

Modo de carga mediante red			
MODELO DE INVERSOR	1.5KW	3KW	5KW
Algoritmo de carga	3-pasos		
Corriente de carga AC (Max)	40Amp (@V _{UP} =230Vac)	60Amp (@V _{UP} =230Vac)	
Voltaje de carga Bulk	Batería bañada	29.2	58.4
	Batería AGM / Gel	28.2	56.4
Voltaje de carga flotante	27Vdc		54Vdc
Curva de carga			
Modo de carga solar MPPT			
MODELO DE INVERSOR	1.5KW	3KW	5KW
Potencia máx. del campo FV	2000W	4000W	
Voltaje nominal FV	240Vdc		
Rango de voltaje del campo FV MPPT	120~380Vdc	120~450Vdc	
Voltaje max. del campo en cir. abierto	400Vdc	500Vdc	
Corriente de carga máxima (Cargador AC + cargador solar)	60A	80Amp	

Tabla 8 Especificaciones modo de carga

Fuente: <https://autosolar.es>

Como se evidencia en la Tabla 7 se tiene una eficiencia del componente de

$$\eta_{INV} = 93\%$$

Con las eficiencias obtenidas de los componentes (batería, inversor/controlador), se determina el consumo total diario del sistema de suministro y extracción de aire, reemplazando las variables de la Ecuación 2.

$$E_T = \frac{0}{0.90} + \frac{1.070kWh}{0.90 * 0.93}$$

$$E_T = 1.278kWh$$

Ecuación 22 Consumo total diario.

Una implementación fotovoltaica exitosa dependerá de un correcto sistema de almacenamiento de carga. Habiendo realizado una preselección del banco de baterías con el modelo Pylontech US2000C por medio del dato de energía existente en el sistema, a partir de la Ecuación 3 se procede a verificar si la elección fue la correcta para la implementación fotovoltaica.

$$C_b = \frac{1.278kWh * 15 \text{ min} \left(\frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} \right) \left(\frac{1 \text{ dia}}{24 \text{ h}} \right)}{0.9 * 0.01}$$

$$C_b = 1,479kWh \text{ dia}$$

Ecuación 23 Capacidad de acumulación de las baterías.

El porcentaje de pérdida en cables se estandariza según reglamento técnico RETIE quedando que entre la batería y el inversor debe ser 1% como se ilustra en la Figura 5.

Comparando el resultado de la capacidad requerida para la batería en la Ecuación 23 y la referencia de batería Pylontech US2000C que tiene una carga de 2.4 kWh se evidencia que el componente seleccionado está dentro del parámetro requerido por sistema, en este caso la batería en el sistema implementado, no solo funcionara para un límite de 15 minutos si no también será capaz de dar un factor de seguridad el cual se traduce en un tiempo adicional que duraran los motores prendidos.

$$F.S. \text{ bateria} = \left(\frac{2.4kWh}{1.479kWh} \right) = 1.6$$

Ecuación 24 Factor de seguridad

Prosiguiendo con el proceso de dimensionamiento es necesario la selección del panel a usar en el sistema según la energía total y las características de la carga a mantener en funcionamiento durante el tiempo determinado, es decir se tiene la selección del banco de batería la cual tiene una tensión de 48V y con los datos de catálogo del proveedor Teknosolar se realizó la selección del panel modelo “Solar Vertex S 420Wp THIRD-Cut Black Frame”, Figura 11 el cual cumple también con una estructura monocristalina según el proceso de caracterización de los componentes en el inciso 6.1.3.1.

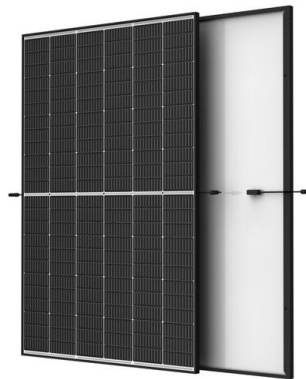


Figura 11 Modulo Solar Vertex S 420Wp

ELECTRICAL DATA (STC)		TSM-420 DE09R.08	
Peak Power Watts- P_{MAX} (Wp)*	420	MECHANICAL DATA	
Power Tolerance- P_{MAX} (W)	0/+5	Solar Cells	Monocrystalline
Maximum Power Voltage- V_{MPP} (V)	41.3	No. of cells	144 cells
Maximum Power Current- I_{MPP} (A)	10.17	Module Dimensions	1762×1134×30mm
Open Circuit Voltage- V_{OC} (V)	49.7	Weight	21.8 kg
Short Circuit Current- I_{SC} (A)	10.69	Glass	3.2 mm, High Transmission, AR Coated Heat Strengthened Glass
Module Efficiency η_m (%)	21.0	Encapsulant material	EVA/POE
		Backsheet	White
		Frame	30 mm Anodized Aluminium Alloy
		J-Box	IP 68 rated
		Cables	Photovoltaic Technology Cable 4.0 mm ² Landscape: 1100/1100 mm Portrait: 280/350 mm*
		Connector	TS4/MC4 EVO2*

Tabla 9 Especificaciones Panel Solar

A partir de la Tabla 9 se desarrolla la Ecuación 8 Número total de paneles donde se calcula el número total de paneles por balance energético

$$N_T = \frac{1278Wh}{420W / \left(\frac{kW}{m^2}\right) * 3,2704kWh m^2 * 0.65}$$

$$N_T = 1.43 \text{ paneles}$$

Ecuación 25 paneles totales requeridos

- Cálculo del número de paneles en serie a partir de la Ecuación 9 Módulos en Paralelo Ecuación 10 Módulos en Serie.

$$N_S = \frac{48V}{41.3V} = 1.16 \text{ Paneles en serie}$$

- Cálculo del número de paneles en paralelo a partir de la Ecuación 9 Módulos en Paralelo Ecuación 10 Módulos en Serie

$$N_p = \frac{1.43}{1.16} = 1.23 \text{ ramas en paralelo}$$

Según los cálculos realizados, se obtuvo un resultado de 1.16 paneles en serie y 1.23 paneles en paralelo. Sin embargo, como no es posible tener una configuración exacta con estas cantidades, se decidió utilizar una configuración alternativa.

En lugar de utilizar 1.16 paneles en serie y 1.23 paneles en paralelo, se eligió emplear una configuración de 3 paneles solares fotovoltaicos en paralelo. Cada panel tiene una potencia pico de 420 Watts y un voltaje de 48V.

El sistema total consume 1278 Watts en un período de 15 minutos. Al tener tres paneles en paralelo, la potencia total generada por los paneles solares sería de 1260 Watts ($420 \text{ Watts} * 3$) en condiciones ideales.

La elección de utilizar tres paneles en paralelo se hizo para que la potencia total generada se acercara a la demanda del sistema de 1278 Watts en 15 minutos. Aunque la potencia generada es ligeramente menor que la demanda, es una elección razonable considerando la disponibilidad de paneles y su capacidad de generación. Es importante tener en cuenta que al tener paneles en paralelo, el voltaje se mantiene constante en 48V, pero la corriente se suma. Esto permite satisfacer la demanda de potencia del sistema.

En resumen, los cálculos se basaron en la capacidad de generación de los paneles solares y la cantidad de energía que el sistema necesita. La elección de utilizar tres paneles en paralelo con una potencia pico de 420 Watts y un voltaje de 48V se hizo para aproximarse a la demanda del sistema de 1278 Watts en 15 minutos.

8.3 Validación en software

Retomando las tres fases mencionadas en el inciso 7.4 las cuales permiten el desarrollo del código en un entorno de programación con lenguaje base de Matlab, se esquematiza el código de la siguiente manera.

8.3.1 Definición de variables y constantes

La recolección del conjunto de datos estratégicos y específicos para el procesamiento del programa de optimización es el factor más relevante. A partir de los resultados matemáticos realizados en la sección de dimensionamiento 8.2, se pudo deducir que los parámetros establecidos en la Figura 12, son los únicos necesarios para desarrollar el programa.

```

6      P_panel = 420; % Potencia de cada panel solar (W)
7      P_consumo = 4282; % Consumo energético (W)
8      t = 15/60; % Tiempo de funcionamiento (horas)
9      eta_bateria = 0.9; % Eficiencia de la batería
10     V_bateria = 48; % Voltaje de la batería (V)
11     eta_inversor = 0.93; % Eficiencia del inversor

```

Figura 12 Definición variables y constantes Matlab.

8.3.2 Definición Funcion Objetivo.

```

14     f = [1 1]; % Minimizar el número total de paneles
15     lb = [1 1]; % Límite inferior de las variables
16     ub = [inf inf]; % Límite superior de las variables

```

Figura 13 Definición funcion Objetivo.

En la sección del código en Matlab de la Figura 13 indica que:

- La variable “**f**” corresponde a la función objetivo del problema de programación lineal. En este caso, la función objetivo se define como $f = [1 \ 1]$, Figura 13 lo que significa que el objetivo es minimizar la suma de las variables de decisión, que corresponden al número de paneles en serie y en paralelo.
- La variable “**lb**” define el límite inferior de las variables de decisión, que en este caso es $lb = [1 \ 1]$, Figura 13 lo que significa que el número mínimo de paneles en serie y en paralelo es uno.
- La variable “**ub**” define el límite superior de las variables de decisión, que en este caso se establece en $ub = [inf \ inf]$, Figura 13 lo que significa que no hay un límite superior en el número de paneles que se pueden utilizar en serie o en paralelo.

En resumen, la función objetivo **f**, junto con los límites inferiores y superiores **lb** y **ub**, se utilizan para definir el problema de programación lineal y asegurar que la solución obtenida produzca el mínimo número de paneles requeridos para satisfacer el consumo energético en un período de tiempo determinado.

8.3.3 Definición de Restricciones.

```

18 % Restricciones
19 A = [P_panel*eta_bateria*eta_inversor*t 0; V_bateria -44];
20 b = [P_consumo*t; 0];
21 Aeq = [];
22 beq = [];
23 intcon = [1 2]; % Variables enteras

```

Figura 14 Restricciones de la Optimización.

En la sección del código de la Figura 14, la matriz **A** y el vector **b** corresponden a las restricciones del problema de programación lineal, donde **A** es la matriz de coeficientes de las restricciones y **b** es el vector de términos independientes.

En particular, la matriz **A** tiene dos filas y dos columnas. La primera fila corresponde a la restricción de que la potencia total generada por los paneles solares menos la potencia entregada por la batería debe ser igual al consumo energético total multiplicado por el tiempo de operación, ajustado por las eficiencias de la batería y el inversor. La segunda fila corresponde a la restricción de que el voltaje de la batería debe ser mayor o igual que 46 voltios, que es el voltaje mínimo requerido para cargar la batería.

La matriz **b** es un vector que contiene los valores de las restricciones. El primer elemento de **b** corresponde al valor mínimo que debe tomar la primera fila de **A**, es decir, el consumo de energía del sistema multiplicado por el tiempo de operación. El segundo elemento de **b** es cero, ya que no hay restricciones adicionales en la segunda fila de **A**.

En resumen, estas restricciones aseguran que la cantidad de energía generada por los paneles solares y entregada por la batería sea mayor o igual al consumo de energía del sistema, y que el voltaje de la batería sea mayor o igual a 46 voltios.

8.3.4 Proceso de Optimización.

```

25 % Resolución del problema de optimización lineal
26 [x, fval] = intlinprog(f, intcon, A, b, Aeq, beq, lb, ub);
27

```

Figura 15 Optimización del Sistema.

La línea de código presente en la Figura 15 es la que desarrolla las inecuaciones del sistema las cuales quedaron plasmadas en las restricciones, se desarrolla la optimización lineal utilizando la función **intlinprog()** de Matlab.

La función **intlinprog** () resuelve problemas de programación lineal con restricciones de igualdad y desigualdad, y con algunas variables de decisión enteras.

Los argumentos de la función **intlinprog**() son:

- **f**: la función objetivo, que debe ser minimizada o maximizada.
- **intcon**: un vector de índices enteros que indica que variables deben ser enteras en la solución del problema.
- **A** y **b**: las restricciones de desigualdad del problema.
- **Aeq** y **beq**: las restricciones de igualdad del problema.
- **lb** y **ub**: los límites inferiores y superiores de las variables de decisión.

La función **intlinprog** () se utiliza para resolver el problema de optimización lineal definido por la función objetivo **f**, las restricciones **A** y **b**, las restricciones de igualdad vacías **Aeq** y **beq**, y los límites inferiores y superiores de las variables de decisión **lb** y **ub**. La solución óptima del problema se almacena en la variable **x**, y el valor óptimo de la función objetivo se almacena en la variable **fval**.

- **x**: el valor de la solución óptima del problema.
- **fval**: el valor óptimo de la función objetivo.

8.3.5 Resultados Optimización:

```
29     n_s = x(1);
30     n_p = x(2);
31
32     fprintf('Número máximo de paneles en serie: %d\n', n_s);
33     fprintf('Número máximo de paneles en paralelo: %d\n', n_p);
34
```

Figura 16 Resultados.

Posterior al planteo de la síntesis del problema de optimización lineal utilizando la función `intlinprog()`, se almacena la solución óptima del problema en la variable **x**. La variable **x** es un vector que contiene los valores de las variables de decisión del problema, en el mismo orden en que se definieron en la función objetivo.

En este caso, se definió la función objetivo como $\mathbf{f} = [1 \ 1]$, lo que significa que la primera variable de decisión corresponde al número de paneles en serie **n_s**, y la segunda variable de decisión corresponde al número de paneles en paralelo **n_p**.

Por lo tanto, como se evidencia en el apartado del código Figura 16, se asignan los valores óptimos de **n_s** y **n_p** a las variables **n_s** y **n_p**, respectivamente, extrayéndolos del vector **x** mediante la notación de índice: **n_s = x(1)** y **n_p = x(2)**. Estos valores óptimos son los que cumplen con las restricciones del problema y minimizan la función objetivo definida.

```

LP:                Optimal objective value is 3.000000.

Optimal solution found.

Intlinprog stopped at the root node because the
objective value is within a gap tolerance of the optimal
value, options.AbsoluteGapTolerance = 0. The intcon
variables are integer within tolerance,
options.IntegerTolerance = 1e-05.
|
Número máximo de paneles en serie: 1
Número máximo de paneles en paralelo: 2

```

Figura 17 Command Windows de Matlab

- **n_s = 1** módulos fotovoltaicos en serie.
- **n_p = 2** módulos fotovoltaicos en paralelo.

Según los resultados de la optimización tanto teóricos como en la implementación del software se evidencio una configuración de conexión de paneles solares no es posible, por lo que se opta por tres módulos fotovoltaicos en paralelo debido a que la potencia suministrada será suficiente para la requerida en el sistema teniendo en cuenta el consumo energético.

8.4 Diseño de esquemas eléctricos

Por medio del programa Cade Simu y de la Tabla 2 se obtuvo la siguiente información. En base a la Tabla 9 de los paneles fotovoltaicos suministro máximo de cada uno va a ser de 10A, por tal razón referenciándose en la Tabla 10 el cable de conexión para cada panel debe tener un calibre de AWG14 en cobre.

Calibre	Área	Resistencia Nominal DC a 20 °C	Espesor de Aislamiento	Espesor de Nylon	Diámetro Exterior Aproximado	Ampacidad (*)	Tensión Máxima de Halado	Radio mínimo de curvatura
	mm ²	Ohm / km	mm	mm	mm	A	Kg-F	mm
AWG	14	2,08	8,444	0,38	0,10	2,89	25	12
	12	3,31	5,315	0,38	0,10	3,36	30	14
	10	5,26	3,344	0,51	0,10	4,21	40	17
	8	8,37	2,102	0,75	0,13	5,53	55	22,12
	6	13,3	1,323	0,75	0,13	6,47	75	25,88
	4	21,15	0,832	1,02	0,15	8,23	95	32,92
	2	33,63	0,523	1,02	0,15	9,72	130	38,88
	1/0	53,51	0,329	1,27	0,18	12,03	170	48,12
	2/0	67,44	0,261	1,27	0,18	13,12	195	52,48
	3/0	85,03	0,207	1,27	0,18	14,35	225	57,4
kcmil	4/0	107,22	0,154	1,27	0,18	15,74	250	62,96
	250	126,68	0,139	1,52	0,20	17,86	290	88,7
	300	152,01	0,116	1,52	0,20	19,22	320	106,4
	350	177,35	0,099	1,52	0,20	20,45	350	124,1
	400	202,68	0,087	1,52	0,20	21,61	380	141,9
	500	253,35	0,069	1,52	0,20	23,73	430	177,3

Tabla 10 Calibre cable paneles solares

El *braker* Q1 de protección entre los paneles y el regulador- inversor debe ser de 32A, que es el comercialmente encontrado y solventa el circuito de los tres paneles que sumaría 30A. Igualmente el cable entre el *braker* y el regulador-Inversor debe ser de AWG12.

Calibre	Área	Resistencia Nominal DC a 20 °C	Espesor de Aislamiento	Espesor de Nylon	Diámetro Exterior Aproximado	Ampacidad (*)	Tensión Máxima de Halado	Radio mínimo de curvatura
	mm ²	Ohm / km	mm	mm	mm	A	Kg-F	mm
AWG	14	2,08	8,444	0,38	0,10	2,89	25	12
	12	3,31	5,315	0,38	0,10	3,36	30	14
	10	5,26	3,344	0,51	0,10	4,21	40	17
	8	8,37	2,102	0,75	0,13	5,53	55	22,12
	6	13,3	1,323	0,75	0,13	6,47	75	25,88
	4	21,15	0,832	1,02	0,15	8,23	95	32,92
	2	33,63	0,523	1,02	0,15	9,72	130	38,88
	1/0	53,51	0,329	1,27	0,18	12,03	170	48,12
	2/0	67,44	0,261	1,27	0,18	13,12	195	52,48
	3/0	85,03	0,207	1,27	0,18	14,35	225	57,4
kcmil	4/0	107,22	0,154	1,27	0,18	15,74	250	62,96
	250	126,68	0,139	1,52	0,20	17,86	290	88,7
	300	152,01	0,116	1,52	0,20	19,22	320	106,4
	350	177,35	0,099	1,52	0,20	20,45	350	124,1
	400	202,68	0,087	1,52	0,20	21,61	380	141,9
	500	253,35	0,069	1,52	0,20	23,73	430	177,3

Tabla 11 Calibre cable braker-regulador-inversor.

La Tabla 8 indica el amperaje en modo de carga del inversor/ controlador, donde se define que en la referencia de 5kW es de 60 A, por lo que se debe trabajar con cable de calibre AWG 6.

Calibre	Área	Resistencia Nominal DC a 20 °C	Espesor de Aislamiento	Espesor de Nylon	Diámetro Exterior Aproximado	Ampacidad (*)	Tensión Máxima de Halado	Radio mínimo de curvatura	
	mm ²	Ohm / km	mm	mm	mm	A	Kg-F	mm	
AWG	14	2,08	8,444	0,98	0,10	2,89	25	15	12
	12	3,31	5,315	0,98	0,10	3,36	30	23	14
	10	5,26	3,344	0,51	0,10	4,21	40	37	17
	8	8,37	2,102	0,75	0,13	5,53	55	59	22,12
	6	13,3	1,323	0,75	0,13	6,47	75	93	25,88
	4	21,16	0,832	1,02	0,16	8,23	95	148	32,92
	2	33,63	0,523	1,02	0,16	9,72	130	235	38,88
	1/0	53,51	0,329	1,27	0,18	12,03	170	375	48,12
	2/0	67,44	0,261	1,27	0,18	13,12	195	472	52,48
	3/0	85,03	0,207	1,27	0,18	14,35	225	595	57,4
kcmil	4/0	107,22	0,164	1,27	0,18	15,74	250	751	62,96
	250	126,68	0,139	1,52	0,20	17,85	290	887	71,44
	300	152,01	0,116	1,52	0,20	19,22	320	1064	75,88
	350	177,35	0,099	1,52	0,20	20,45	350	1241	81,84
	400	202,68	0,087	1,52	0,20	21,61	380	1419	86,44
	500	253,35	0,069	1,52	0,20	23,73	430	1773	94,92

Tabla 12 Calibre cable carga batería

El braker Q2 de protección el regulador- inversor y la batería debe ser de 63A, que es el comercialmente encontrado y es el requerido para el circuito del sistema de carga.

El amperaje pico máximo de cada motor es de 20A, el calibre a usar para la alimentación de cada uno es AWG 14, como se realiza la conexión en paralelo el braker Q3 de protección general es de 80-90A y el cable AWG4.

	Calibre	Área	Resistencia Nominal DC a 20 °C	Espesor de Aislamiento	Espesor de Nylon	Diámetro Exterior Aproximado	Ampacidad (*)	Tensión Máxima de Halado	Radio mínimo de curvatura
		mm ²	Ohm / km	mm	mm	mm	A	Kg-F	mm
AWG	14	2,08	8,444	0,38	0,10	2,89	25	15	12
	12	3,31	5,310	0,38	0,10	3,36	30	23	14
	10	5,26	3,344	0,51	0,10	4,21	40	37	17
	8	8,37	2,102	0,76	0,13	5,53	55	59	22,12
	6	13,3	1,323	0,76	0,13	6,47	75	93	26,88
	4	21,16	0,832	1,02	0,16	8,23	95	148	32,92
	2	33,63	0,523	1,02	0,16	9,72	130	230	38,88
	1/0	53,51	0,329	1,27	0,18	12,03	170	375	48,12
	2/0	67,44	0,261	1,27	0,18	13,12	195	472	52,48
	3/0	85,03	0,207	1,27	0,18	14,35	225	595	57,4
kcmil	4/0	107,22	0,164	1,27	0,18	15,74	260	751	62,96
	250	126,68	0,139	1,52	0,20	17,86	290	887	71,44
	300	152,01	0,116	1,52	0,20	19,22	320	1064	76,88
	350	177,36	0,099	1,52	0,20	20,46	350	1241	81,84
	400	202,68	0,087	1,52	0,20	21,61	380	1419	86,44
	500	263,36	0,069	1,52	0,20	23,73	430	1773	94,92

Tabla 13 Calibre alimentación motores

El plano eléctrico del sistema fotovoltaico autónomo a implementar se encuentra en la sección de anexos como Anexo1.

8.5 Determinación de presupuesto

Se realiza el planteamiento y alcance del proyecto con la cantidad y costo de cada uno de los componentes requeridos, teniendo en cuenta como proveedor para este proyecto la empresa Teknosolar, la cual tiene un catálogo de productos bastante amplio y ofrece buenos precios con respecto a las otras empresas existentes.


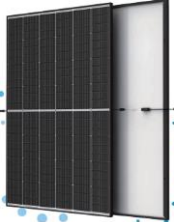

ILUSTRACION	DESCRIPCION	CANTIDAD	COSTO EN EUROS (€)	COSTO EN PESO COLOMBIANO (COP)
	Inversor Cargador AXPERT VM III 5000W 48V con Regulador MPPT 80A 500V	1	695	3527159,75
	Placa Solar Trina Solar Vertex S 420Wp	3	185	938884,25
	Batería de Litio Pylontech 2.4 kWh 48V US2000C	1	1135	5760181,75
TOTAL INVERSION				10226225,75

Figura 18 Tabla de costos componentes.

Para argumentar a la veracidad de los precios se realizó una cotización el mes de mayo del año 2023 en la página oficial de TeknoSolar, quedando ilustrado de la siguiente manera.

PRODUCTO	PRECIO	CANTIDAD	SUBTOTAL
 Placa Solar Trina Solar Vertex S 420Wp Entrega en 5-7 días	225,00€	- 1 +	225,00€
 Inversor Cargador AXPERT VM III 5000W 48V con Regulador MPPT 80A 500V Entrega en 3-5 días	695,00€	- 1 +	695,00€
 Batería de Litio Pylontech 2.4 kWh 48V US2000C Entrega en 5-7 días	1.275,00€ 1.135,00€	- 1 +	1.275,00€ 1.135,00€

TOTAL DEL CARRITO	
Subtotal	2.055,00€
Envío	Calcular envío
Total	2.055,00€ (incluye 356,65€ IVA)
<small>Paga en 3 plazos sin intereses tus compras de 30€ a 2.000€ con PayPal. 0% TAE. Más información</small>	
FINALIZAR COMPRA	

Figura 19 Cotización de los componentes en la página de TeknoSolar.

Fuente:teknosolar.com

Como se indica en el inciso 7.5 para la evaluación del coste del sistema era necesario tener presente todo el modelamiento del mismo donde se verificó y se encontró que según la Figura 18 Tabla de costos componentes, el total de costo de los componentes a usar será de:

$$INVERSION = \$10'226.225,75 \text{ COP}$$

Ecuación 26 Inversión componentes.

Posteriormente, en el desarrollo del plan económico se dejaron enmarcados 3 procesos los cuales brindan la viabilidad en costos y del retorno de inversión.

8.5.1 Desarrollo Payback (PB):

La planta de alimentos GIOMER dio un valor promedio del desarrollo que hay que realizar cuando el sistema de filtrado se detiene de manera inesperada en un proceso de producción. Esto se contempló teniendo en cuenta factores tales como (Análisis de microbiología, reprocesos que involucran más activos y excipientes en el producto final, mano de obra, sobre costo de servicios públicos, mantenimiento de equipos, etc).

Análisis de microbiología	\$	3.000.000,00
Mano de Obra	\$	4.500.000,00
Sobre costo Servicios	\$	500.000,00
Materia prima	\$	6.000.000,00

TOTAL	\$ 14.000.000,00
--------------	------------------

Tabla 14 Flujo de caja constante durante 1 año.

$$FLUJO DE CAJA = \frac{\$14'000.000}{12meses}$$

$$FLUJO DE CAJA = \$1'166.667 COP$$

Ecuación 27 Flujo de caja mensual.

En base a los resultados de la Ecuación 26 y Ecuación 27 se realizó el cálculo del Payback (PB) reemplazando los valores en la Ecuación 13.

$$PB = \frac{\$10'226.225,75}{\$1'166.667}$$

$$PB = 8.77 \text{ meses (aproximadamente 9 meses)}$$

8.5.1 Desarrollo Valor Neto Actual (VAN):

Teniendo en cuenta el coste de inversión presente en la Ecuación 26 al momento de evaluar la rentabilidad del proyecto fotovoltaico para la planta de alimentos GIOMER, se tuvo contemplado una inflación de 16%, además se analizaron 3 periodos de costeo de reprocesos en los productos en tres años diferentes.

Flujo Neto Año 1	\$2.322.000
Flujo Neto Año 2	\$6.200.000
Flujo Neto Año 3	\$2.110.500

Tabla 15 Flujos netos de costeo en reproceso durante diferentes periodos de tiempo.

Fuente: Gerencia GIOMER

Luego del análisis de flujos netos durante tres años evidenciados en la Tabla 15 se procede a sustituir los valores de la Ecuación 14 Fuente: Ecuación 14.

$$VAN = -10'226.225,75 + \frac{2.322.000}{(1 + 0.16)^1} + \frac{6.200.000}{(1 + 0.16)^2} + \frac{2.110.500}{(1 + 0.16)^3}$$

$$VAN = \$ 2.264.782$$

Ecuación 28 Valor anual neto

Entendiendo el valor de la Ecuación 28 se tiene que esto representa un costo económico ahorrado para la empresa, dado que la inversión a realizar se evaluó en tres periodos donde se realizaron reprocesos en los productos ,debido a la detención del sistema de filtrado por cortes eléctricos, así que con este muestreo se resume en que la inversión se recupera y el valor dado será un aproximado de ahorro durante un periodo de detención de la producción debido al corte de energía repentino o sin previo aviso.

8.5.1 Desarrollo del Retorno de Inversión (ROI):

En este apartado se evalúan los ingresos como el factor ahorrado que tendrá la planta de alimentos GIOMER, sustituyendo los valores de la Ecuación 15 da un retorno de inversión de

$$\%ROI = \frac{\$14.000.000 - \$10'226.225,75}{\$10'226.225,75} * 100$$

$$\%ROI = 36.9\%$$

9. Conclusiones.

- En base a la información proporcionada, se puede concluir que el sistema de filtrado de aire de la planta de alimentos GIOMER funciona correctamente con tres paneles solares en paralelo, lo que indica que la cantidad de paneles solares es suficiente para suministrar energía a los 4 motores que componen el sistema. El consumo total de los motores de suministro y extracción de aire, que es de 1070 watts, puede ser satisfecho por los paneles solares, lo que hace que el sistema sea eficiente en términos de consumo de energía.

Es importante destacar que el sistema de filtrado de aire es una parte crítica en la industria alimentaria para garantizar la calidad del aire y la seguridad alimentaria. Al utilizar energía solar para alimentar el sistema, se reduce la dependencia de la red eléctrica y se contribuye a la sostenibilidad ambiental. Por lo tanto, el uso de paneles solares es una opción viable y rentable para garantizar el correcto funcionamiento del sistema de filtrado de aire en la planta de alimentos GIOMER.

- La optimización entera mixta proporciona una oportunidad a través de la planificación y las restricciones del sistema fotovoltaico para abordar el dimensionamiento de un sistema fotovoltaico aislado de la red. Tanto los datos teóricos como los obtenidos a través de simulaciones arrojan un sistema que tiene el potencial de satisfacer los requisitos establecidos. La interacción entre estos resultados y la persona que los analiza garantizará que la implementación de este proyecto, u otro similar que busque optimizarse, sea correcta y evaluada en función de posibles cambios en los resultados. Este enfoque se basa en un modelado matemático flexible que puede adaptarse a perturbaciones en determinadas ocasiones. Esto permite tener en cuenta posibles variaciones o incertidumbres en los resultados y ajustar el proyecto en consecuencia.
- Se puede concluir que el sistema fotovoltaico a implementar es una inversión muy rentable, ya que el periodo de retorno de inversión es bastante corto, de tan solo 8.7 meses aproximadamente, lo que significa que el costo inicial de la inversión se recuperará en un corto periodo de tiempo.

Además, la tasa de retorno de inversión del 36,9% indica que el proyecto generará ganancias considerables a largo plazo, lo que lo convierte en una inversión sólida y rentable para la planta de alimento GIOMER.

10. Referencias Bibliográficas

- A. M. y. F. Mendo, «Dimensionamiento de un sistema fotovoltaico autonomo para reducir el consumo de combustible en la plataforma de descarga de la pesquera Exalmar,» Chimbote Peru, 2016.
- 1]
- O. Slazar, «Historia y uso de energías renovables history and use of renewable energies.,» *Daena Int*, vol. 10, nº 1, pp. 1-118, 2015.
- 2]
- T. D. J. A.-R. F. C.-B. G. & O.-U. J. M. Guzmán-Hernández, « Uso de la energía solar en sistemas de producción agropecuaria: producción más limpia y eficiencia energética.,» *Revista Tecnología en Marcha*, pp. 46-56, (2016)..
- 3]
- M. Jofra, « Energía Solar Fotovoltaica. En: Energías renovables para todos. Fundación de Energía de la Comunidad de Madrid.,» pp. 2-19. , 2010.
- 4]
- A. Arias Navarro, « Casa Rural Sostenible. Proyecto finl de Carrera de la especialización en electricidad. Barcelona.,» Universidad de Cataluña. , (2009).
- 5]
- A. J. Chapoñan Cuzo, « Dimensionamiento de un sistema de generación fotovoltaico aislado para suministrar energía eléctrica a la localidad de Cruz de Pañala-Mórrope-Lambayeque.,» Cruz de Pañala-Mórrope-Lambayeque, (2018)..
- 6]

D. Pérez-Bustamante Yábar, « Las energías renovables en la Unión Europea: régimen jurídico. Las energías renovables en la Unión Europea,» pp. 1-200. , (2012).
7]

R. D. e. a. Santos, « Sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica, su diseño. Presentado en II Congreso Cubano de Ingeniería Eléctrica,» La Habana, Cuba. , (2012).
8]

M. B. R. A. O. M. W. S. J. y. L. G. Müller, «PV-off-grid hybrid systems and MPPT charge controllers, a state of the art analyses. Energy Procedia,» n° 57, , pp. 1421-1430., (2014). .
9]

P. S. & F. M. E. A. Abad Mariños, « Dimensionamiento de un sistema fotovoltaico autónomo para reducir el consumo de combustible en la plataforma de descarga de la pesquera Exalmar,» -Chimbote Perú., (2016)..
10]

F. Yiannas, « Food safety culture: Creating a behavior-based food safety management system,» de *Springer Science & Business Media.*, 2008.
11]

H. King, «. Food safety management: implementing a food safety program in a food retail business,» de *Springer Science & Business Media.*, (2013).
12]

T. Koutchma, «Food Plant Safety,» de *UV Applications for Food and Non-food Surfaces.*, Elsevier., (2014). .
13]

C. G. & P. J. E. S. Quijano, «Una aplicación del marco de las Cinco Fuerzas de Porter al grupo BMW. 3C Tecnología: Glosas de innovación aplicadas a la pyme, 7(2.,» de *Glosas de innovación aplicadas a la pyme*, (2018),, pp. 10-27..

B. M. Fornillo, «Sudamérica Futuro: China global, transición energética y posdesarrollo.,» Consejo Latinoamericano de Ciencias Sociales., China, (2016). .

W. W. Tito, «Diseño conceptual de la Planta de Innovación de Alimentos y el Laboratorio de Análisis Sensorial del Departamento de Agroindustria Alimentaria.,» (2020)..

L. E. & S. G. J. A. Cespedes Molano, « Evaluación técnica y diagnóstico de la calidad de energía eléctrica en la Planta Quala SA.,» (2007)..

A. P.-S. A. & P.-S. U. Salazar-Peralta, «La energía solar, una alternativa para la generación de energía renovable.,» *Revista de Investigación y Desarrollo*, , vol. 2, pp. 11-20., (2016). .

B. G. D. & B. G. Van Campen, «Energía solar fotovoltaica para la agricultura y el desarrollo rural sostenibles.,» Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación., (2000).

J. C. J. & F. R. R. F. Mattioli Olazabal, « Estudio de factibilidad económica-financiera para la instalación de una planta alimentada por energía solar en una

empresa productora de alimentos. Caso: Alimentos Casera-Line CA,» *Caso: Alimentos Casera-Line CA (Doctoral dissertation)*, (2013)..

- «República de Colombia Promedio Mensual de la Irradiación Global Acumulada Diaria Recibida en Superficie,» [En línea]. Available: <http://www.ideam.gov.co/documents/11769/1287468/1.08+HM+Irradacion+global+acumulada.pdf/f57e428e-b412-4ecb-bbdb-99d8b602b98f>.

- «ATLAS DE RADIACIÓN SOLAR, ULTRAVIOLETA Y OZONO DE COLOMBIA,» *EVALUACIÓN DE LA IRRADIACIÓN GLOBAL HORIZONTAL EN COLOMBIA*, vol. 1, p. 12, 2022.

- Victor-Gonzales-Zamora, «Obtenido de La diferencia entre On-Grid y Off-Grid Solar,» 11 noviembre 2011. [En línea]. Available: https://es.futuregreenbattery.com/on-grid-vs-off-grid-solar_n38. . [Último acceso: 2023].

- S. Juan P, «Obtenido de Tipos de instalaciones solares: on-grid, offgrid e híbridos,» 11 febrero 2018. [En línea]. Available: <https://www.suriaenergy.com/tipos-de-instalacionessolares-ongrid-offgrid-e-hibrido>.

- L. P. Viñas, «DIMENSIONADO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS,» Univeridad de Cataluña, Barcelona, 2020.

- M. A. Abella, «Master en energias renovables y mercado energetico.,»
- 26] *CIEMAT*, vol. I, p. 15, 2021.
- L. H. F. J. M. Jorge Aguilera, «Dimensionado de sistemas fotovoltaicos
- 27] autonomos,» vol. I, p. 62, 2019.
- P. D. V. Salas, «DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA EL
- 28] SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA A 15 COMPUTAPORTÁTILES EN LA PUCPDORAS,» *PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ*, p. 74, 22 Junio 2015.
- E. J. M. G. Andrés Felipe Serna Ruiz, «Herramienta para el
- 29] dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos aislados,» 12 2016. [En línea]. Available:
<https://revistas.ucatolicaluisamigo.edu.co/index.php/lampsakos/article/view/1936/1785>.
- A. J. C. P. P. G. ., N. A. Enrique Castillo, *Formulacion y Resolucion y*
- 30] *resolucion de modelos de programacion matematica en ingenieria y ciencias*, 2002.
- J. y. G. I. Caballero, «Revisión del estado del arte en optimización,»
- 31] *Iberoamericana de Automatización e Informática Industrial*, vol. 4, nº 5, p. 23, 2007.

- C. A. H. PALACIO, «repositorio universidad pontificia bolivariana,» 1
- 32] ferbero 2017. [En línea]. Available: <https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/3123/Propuesta%20para%20el%20análisis%20de%20eficiencia%20y%20retorno.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Mariano Cabrera L. -, «¿Cómo saber si un proyecto es rentable? – ROI, TIR, VAN y más.,» [En línea]. Available: <https://www.marianocabrera.com/como-saber-si-un-proyecto-es-rentable/>.
- «¿Qué es el ROI y cómo se calcula? (fórmula y ejemplos),» [En línea].
- 34] Available: <https://blog.hubspot.es/marketing/que-es-roi>.
- «mathworks,» The MathWorks, Inc., 2020. [En línea]. Available:
- 35] https://es.mathworks.com/?s_tid=gn_logo. [Último acceso: 2023].