



Universidad Nacional
SAN LUIS GONZAGA



Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional

Esta licencia es la más restrictiva de las seis licencias principales Creative Commons, permitiendo a otras solo descargar sus obras y compartirlas con otras siempre y cuando den crédito, pero no pueden cambiarlas de forma alguna ni usarlas de forma comercial.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>



Recibo de pago N° 710778

Visto el Informe N° 167-2024-PIEO-UI-FIMEE-UNSLG, emitido la operaria del sistema de antiplagio se emite la siguiente constancia:

N° 152-2024

CONSTANCIA

El que suscribe, director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica y Electrónica, hace constar que se ha realizado el análisis con el software de verificación de similitud de la **Tesis** cuyo título es:

**DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA
CONECTADO A LA RED PARA LA REDUCCIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA
ELÉCTRICA EN LA EMPRESA GDS INFRAESTRUCTURA**

Presentado por:

ALBINO ARIAS, HERMES ERICSON

BACHILLER de la Facultad INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA – Escuela Profesional de INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA. El resultado obtenido es un porcentaje de CERO POR CIENTO (0%), por el cual se le otorga el calificativo de:

APROBADO

Se adjunta al presente, el reporte de evaluación con el software de verificación de originalidad.

Ica, 07 de Agosto del 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL "SAN LUIS GONZAGA"
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

Dr. José Luis Bonayre Pasache
DIRECTOR DE UNIDAD

UNIVERSIDAD NACIONAL "SAN LUIS GONZAGA"
VICERRECTORADO DE INVESTIGACION
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA Y
ELECTRÓNICA



**"Dimensionamiento de un sistema de generación fotovoltaica
conectado a la red para la reducción del consumo de energía
eléctrica en la empresa GDS Infraestructura."**

Línea de investigación

Ciencias naturales, ingeniería y tecnologías sostenibles

TESIS PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

ALBINO ARIAS HERMES ERICSON

Ica- Perú

2023

DEDICATORIA

Esta dedicatoria va dirigida a Dios y a mi familia por acompañarme durante mi formación profesional.

AGRADECIMINETOS

Gracias a mi familia por creer en mí, por apoyarme en cada paso, decisión y proyecto.

ÍNDICE.

ÍNDICE.....	IV
ÍNDICE DE TABLAS.....	V
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VI
RESUMEN.....	VIII
ABSTRACT.....	IX
I INTRODUCCIÓN.....	10
II ESTRATEGIA METODOLÓGICA.....	15
III RESULTADOS.....	17
IV DISCUSIÓN.....	59
V CONCLUSIONES.....	60
VI RECOMENDACIONES.....	61
VII REFERENCIA BIBLIOGRAFICAS.....	62
VIII ANEXOS.....	65

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1.	Demanda de energía año 2021	19
Tabla 2.	Irradiancia global media en el periodo (Julio 1983-Junio 2005).....	19
Tabla 3.	Sub coeficientes de diseño	22
Tabla 4.	Irradiación Global e Irradiación Efectiva.....	23
Tabla 5.	Características del módulo generador fotovoltaico acoplado a la red.....	24
Tabla 6.	Especificaciones del Panel Solar 455W 24V Monocristalino.....	25
Tabla 7.	Características del Inversor Interconexión FRONIUS Symo 12kW 208-240.	31
Tabla 8.	Arreglos conectados a cada inversor	33
Tabla 9.	Valores de los parámetros a utilizar en la simulación	35
Tabla 10.	Resultados de los voltajes – corrientes - potencias	44
Tabla 11.	Resultados de los Voltajes – Corrientes - Potencias	48
Tabla 12.	Definición de Variable Independiente – Notación Identificadora.....	50
Tabla 13.	Definición de Variable Dependiente – Notación Identificadora	50
Tabla 14.	Energía consumida vs Energía Generada.....	53
Tabla 15.	Características del módulo generador fotovoltaico acoplado a la red.....	54
Tabla 16.	Retribución anual producto del sistema generador	56

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Ubicación de la empresa GDS Infraestructura	17
Figura 2.	Ubicación de la Azotea donde serán colocados los paneles.....	18
Figura 3.	Cuadro de cargas	18
Figura 4.	Posicionamiento angular del módulo solar	21
Figura 5.	Efecto de la sombra en los módulos solares.....	27
Figura 6.	Distancia entre paneles solares en un sistema fotovoltaico.....	28
Figura 7.	Modelado en Simulink para calcular la fotocorriente.	36
Figura 8.	Reducción en Subsistema.....	36
Figura 9.	Modelado en simulink para calculo de Corriente de Saturacion.....	37
Figura 10.	Reducción en Subsistema.....	37
Figura 11.	Modelado en Simulink para calcular la Corriente de Saturación Reversa ..	38
Figura 12.	Reducción en Subsistema.....	38
Figura 13.	Modelado en Simulink para calcular la Corriente de Shunt.....	39
Figura 14.	Reducción en Subsistema.....	39
Figura 15.	Modelado en Simulink para calcular la Corriente fotovoltaico.....	40
Figura 16.	Reducción en Subsistema.....	40
Figura 17.	Modelado en Simulink el Sistema General	41
Figura 18.	Reducción en Subsistema.....	41
Figura 19.	Herramienta de ingreso de parámetros en Simulink	42
Figura 20.	Valores de constantes en Simulink.....	42
Figura 21.	Determinación de la temperatura e Irradiancia.	43
Figura 22.	Voltaje versus corriente.....	43
Figura 23.	Voltaje versus potencia.	44
Figura 24.	Determinación de la temperatura e Irradiancia.	46
Figura 25.	Voltaje versus corriente.....	46
Figura 26.	Voltaje versus potencia.	47
Figura 27.	Determinación de la temperatura e Irradiancia.	47

Figura 28.	Voltaje versus corriente.....	47
Figura 29.	Voltaje versus potencia.	48
Figura 30.	Irradiación solar que disponemos.....	51
Figura 31.	Irradiación efectiva solar que disponemos.....	51
Figura 32.	Consumo de energía año 2021	52
Figura 33.	Energía consumida vs Energía Generada.....	54
Figura 34.	Año de recuperación de inversión	56

RESUMEN

En la empresa GDS INFRAESTRUCTURA S.A.C. especializada en construcción de obras de ingeniería; se ha visto incrementado el consumo de energía eléctrica, debido a ello se pueden observar altos picos de demanda y un incremento en la factura de la compañía eléctrica, por lo que la empresa requiere instalar un sistema de generación fotovoltaica con el propósito de obtener una reducción en la compra de energía eléctrica. Este estudio tuvo como objetivo, realizar el dimensionamiento para la instalación de un sistema de módulos solares acoplado a la red eléctrica para reducir la compra de electricidad en la empresa GDS Infraestructura. Este estudio es aplicativo, de nivel descriptivo porque proporciona guías y orientaciones para ejecutar el estudio. El tipo de diseño que se usó en el trabajo es longitudinal. La muestra estuvo conformada por la empresa GDS Infraestructura. La empresa cuenta con una azotea como el espacio disponible para colocar el sistema fotovoltaico. En el área se ubicarán cada uno de los paneles para generar energía. Los resultados se obtuvieron a través de los cálculos matemáticos previos, se realizó el modelado en el SIMULINK de Matlab, donde con los valores de entrada de las temperatura e Irradiancia solar, nos proporcionó los niveles de voltaje y corriente que nos permite calcular la potencia eléctrica que entrega el sistema.

Con los valores históricos de los consumos de potencia eléctrica, determinamos que el sistema fotovoltaico acoplado a la red, inyecta la potencia eléctrica suficiente y necesaria para que la empresa GDS Infraestructura pueda cumplir con sus operaciones administrativas, ahorrando energía eléctrica y traduciendo en una mejora económica que genera réditos positivos.

Palabras Clave: Dimensionamiento, Sistema Fotovoltaica, Red, Reducción, Energía Eléctrica.

ABSTRACT.

In the company GDS INFRAESTRUCTURE S.A.C. specialized in construction of engineering works; the consumption of electricity has increased, due to this high peaks of demand and an increase in the electricity company's bill can be observed, so the company requires installing a photovoltaic generation system in order to obtain a reduction in the purchase of electricity. This study aimed to perform the sizing for the installation of a system of solar modules coupled to the electricity grid to reduce the purchase of electricity in the company GDS Infraestructura. This study is applicative and descriptive because it provides guides and guidelines to execute the study. The type of design that was used in the work is longitudinal. The exhibition was formed by the company GDS Infraestructura. The company has a rooftop as the space available to place the photovoltaic system. In the area will be located each of the panels to generate energy. The results were obtained through calculations.

The results were obtained through the previous mathematical calculations, the modeling was carried out in the SIMULINK of Matlab, where with the input values of the temperature and solar irradiance, we are provided with the voltage and current levels that allow us to calculate the electrical power. what delivery

With the historical values of electrical power consumption, we determined that the photovoltaic system coupled to the grid, injects sufficient and necessary electrical power so that the company GDS Infraestructura can comply with its operations, saving electrical energy and translating into an economic improvement that generates positive returns.

Keywords: Dimensioning, System Photovoltaic, Grid, Reduction, Electric Po

I INTRODUCCIÓN.

La producción de electricidad es un proceso muy costoso, pero, sobre todo forma parte del agotamiento creciente de los recursos del medio ambiente que se disponen actualmente. La tendencia de las empresas generadoras de energía eléctrica es la búsqueda de nuevas alternativas para obtener energía sustentable. Ahora bien, la mala calidad o escasez de servicio de energía eléctrica, conduce a diseñar sistemas fotovoltaicos, los mismos consisten en ser una fuente de alimentación energética limpia de manera natural por irradiación solar.

En este contexto, hay que decir que existe una gran cantidad de irradiación solar en el Perú en contraste con otros países, la cual debe ser aprovechada para producir energía eléctrica, estimada en: $6,0 - 6,5 \text{ kWh/m}^2$; $5,5 \text{ a } 6,0 \text{ kWh/m}^2$; tanto en la región costa, así como en la región selva unos $4,5 \text{ a } 5,0 \text{ kWh/m}^2$. Los resultados obtenidos representan el elevadísimo potencial de irradiación solar con que cuenta el Perú, este se debe aprovechar para así producir energía limpia y de esta manera reducir la compra de electricidad.[1]

En el Perú, gracias al Decreto Legislativo N° 1221 Artículo 2.- Generación distribuida, el cual menciona que todos los usuarios del servicio público de electricidad que cuenten con sistemas de generación renovable no convencional o de cogeneración, hasta la potencia máxima permitida para cada tecnología, tienen derecho a disponer de ellos para su propio consumo. Este Decreto Legislativo trajo consigo beneficios significativos para el medio ambiente reduciendo las emisiones de CO₂, para el sistema eléctrico interconectado ya que se reducen las pérdidas en transmisión y refuerzan las redes de distribución con generación local y para el consumidor permitiéndole generar ahorros en sus costos de energía.

La empresa GDS Infraestructura ubicada en Calle 7 Mz. B lote 17 Monte de los Olivos V Etapa, San Martín de Porres, Lima Perú, dedicada a proyectos de construcción ante la problemática existente del consumo elevado de electricidad y al contar con una pésima calidad de la energía, considerando el gran potencial de irradiación solar en el país se tiene como alternativa principal contar con un sistema fotovoltaico conectado a la red.

La presente investigación tiene como objetivo realizar el dimensionamiento de un sistema fotovoltaico conectado a la red mediante un cálculo teórico y matemático, logrando así simular el correcto funcionamiento del sistema.

La investigación internacional permite incluir los siguientes enfoques en el trabajo de investigación:

C. Buele y A. Chazi (2019), en su investigación: “MODELACIÓN DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO A LA RED ELÉCTRICA EN LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA de la UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA – ECUADOR”, concluye que el objetivo del análisis es examinar y diseñar el sistema de energía solar conectado a la red de la Universidad Politécnica Salesiana. Se emplean los datos experimentales de la estación climática emplazada en el recinto universitario para simular el circuito SFVR y llevar a cabo evaluaciones de control de la inyección de potencia. Las conclusiones de estas evaluaciones se exhiben mediante ilustraciones y complementos. [1]

Vega-Carranza, K., Piedra-Segura, J. F., & Richmond-Navarro, G. (2019), realizaron un artículo titulado: “DIMENSIONAMIENTO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS MEDIANTE UNA INTERFAZ GRÁFICA”. Este artículo contiene la implementación de una interfaz gráfica implementada con Matlab para determinar el tamaño de los componentes principales del sistema fotoeléctrico, conectado a la red automáticamente. [2]

Villegas, E y Alcivar, T. (2020), en su trabajo titulado: “DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA LA ESCUELA DE EDUCACIÓN BÁSICA SIMÓN BOLÍVAR EN LA COMUNIDAD MASA 2, GOLFO DE GUAYAQUIL” tuvieron como objetivo proporcionar energía eléctrica y promover la importancia de brindar energías renovables en zonas que no cuentan con servicios básicos. [3]

La investigación a nivel nacional tiene en cuenta aplicaciones específicas que permiten considerar:

Plasencia J (2018), en su investigación: “DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO INTERCONECTADO A RED DE 4.5 KW EN EL COMPLEJO POLICIAL LA DESPENSA -EN EL DISTRITO DE JOSÉ LEONARDO ORTIZ - PROVINCIA DE CHICLAYO - LAMBAYEQUE. de la UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO”, concluye que para la selección de los equipos que conforman el SFVI, no solo se han considerado los cálculos del proyecto, sino también las normativas establecidas para un dimensionamiento correcto. [4]

Chura, V (2020), en su investigación: “DISEÑO, IMPLEMENTACIÓN Y ANÁLISIS ECONÓMICO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO A LA RED DE 3 KW CON INVERSOR STRING ANALIZADO EN LAS CONDICIONES GEOGRÁFICAS Y CLIMATOLÓGICAS DE LA CIUDAD DE JULIACA de la “UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA [5]”, concluye que según el análisis económico efectuado, el proyecto ha disminuido el consumo de energía eléctrica de forma rentable. [5]

Chukiwanka (2020), presento un trabajo titulado “DISEÑO, IMPLEMENTACIÓN Y ANÁLISIS ECONÓMICO DE UN SISTEMA DE SUMINISTRO DE ENERGÍA RENOVABLE AL CIRCUITO DE DISTRIBUCIÓN INTERNA DE ILUMINACIÓN DEL EDIFICIO PEDRO PAULET DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA SAN PABLO – AREQUIPA”, donde se examinó la posibilidad de instalar un sistema de energía fotovoltaica conectado a la red eléctrica convencional para suministrar electricidad a la iluminación interna del edificio Pedro Paulet de la Universidad Católica San Pablo. [6]

Poclin E (2021), realizo un trabajo titulado: “DISEÑO Y ANÁLISIS DE UN SISTEMA DE PANELES FOTOVOLTAICOS PARA LA ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA DE EXTRACTORES HELICOCENTRÍFUGOS EN UNA DE LAS INSTALACIONES DEL NUEVO HOSPITAL DE MOQUEGUA”, donde el objetivo de esta investigación fue validar la factibilidad del proyecto a través del análisis energético, la economía y medio ambiente de los sistemas fotovoltaicos. [7]

Príncipe (2019), realizó un trabajo titulado “DISEÑO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO DE 3 KW EN ZONAS RURALES DE SOCORRO, HUARUMPA Y YANUNA DEL DISTRITO DE PAUCAS-HUARI-ANCASH”, en el cual concluye que la razón de este estudio es poder dar a los residentes sin electricidad acceso a la misma, por ello se propone como una alternativa al diseño de un sistema fotovoltaico independiente para las zonas rurales del distrito de Paucas. [8]

Leon, K., Fernández M. (2021), presentaron un trabajo de investigación titulado “DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO E INTERCONECTADO A LA RED PARA LA REDUCCIÓN DEL COSTO DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE LA EMPRESA MOTOREX S.A. – 2021”, en el cual se comprobó que la implementación de un sistema fotovoltaico e interconectado a la red para el edificio de oficinas de la empresa Motorex S.A. significa un ahorro de 35.8% en el costo energía anual. [9]

El estudio de este informe se enfoca en el dimensionamiento para un sistema que permita la generación fotovoltaica de energía acoplado a una red de electricidad, ya que el fin es optimizar el consumo eléctrico en la empresa GDS Infraestructura, lo que se verá plasmado en la minimización de costos para la misma.

En el aspecto práctico el gasto de electricidad en la actualidad es muy elevado, por lo que es necesario desarrollar estrategias de ahorro para la disminución de los gastos cuando hay alto consumo de energía. Mediante un análisis interno se llegó a la conclusión que el crecimiento de la empresa GDS Infraestructura escenario de este estudio opte por un dimensionamiento para un sistema que permita la generación fotovoltaica de energía

conectado a una red de electricidad para la reducción la compra de electricidad para paliar la situación en costos de electricidad debido a que se espera aumente al 100% el desarrollo de su infraestructura.

De los antes expuesto surgió el siguiente problema general:

¿Como el dimensionamiento de un sistema fotovoltaico permite la reducción del consumo de energía eléctrica en la empresa GDS Infraestructura?

También los siguientes problemas específicos:

¿De qué manera la energía solar coadyuva a reducir el consumo de energía eléctrica en la empresa GDS Infraestructura?

¿De qué manera la energía eléctrica puede ser reemplazada por energía Solar en la empresa GDS Infraestructura?

Y por consiguiente el objetivo general:

Realizar el dimensionamiento de un sistema fotovoltaico que permita la reducción del consumo de energía eléctrica en la empresa GDS Infraestructura.

También los siguientes problemas específicos:

Determinar de qué manera la energía solar coadyuva a reducir el consumo de energía eléctrica en la empresa GDS Infraestructura.

Determinar de qué manera la energía eléctrica puede ser reemplazada por energía Solar en la empresa GDS Infraestructura.

Considerando lo antes mencionado, se plantea la siguiente hipótesis general:

El dimensionamiento de un sistema fotovoltaico reduce el consumo de energía eléctrica en la empresa GDS Infraestructura.

Y las siguientes hipótesis específicas:

La energía solar coadyuva a reducir el consumo de energía eléctrica en la empresa GDS Infraestructura.

La energía eléctrica puede ser reemplazada por energía Solar en la empresa GDS Infraestructura.

Considerando lo antes mencionado se optó por considerar las siguientes variables:

Variable independiente (X)

Sistema de generación fotovoltaica.

Variable dependiente (Y)

Reducción del consumo de energía eléctrica.

II ESTRATEGIA METODOLÓGICA

Tipo, nivel y diseño de la investigación.

Tipo de Investigación.

La siguiente investigación es aplicada. A través de este tipo de investigación se miden variables para predecir acciones beneficiosas para el sector empresarial.

Diseño Metodológico

El tipo de diseño que se utilizó en el trabajo es longitudinal, se escogió este tipo de diseño porque reúne datos en dos o más momentos, es decir que durante el desarrollo del estudio sobre el sistema de generación fotovoltaica se pudo seguir recopilando datos.

Nivel de investigación

El nivel de investigación es descriptivo, incluye la presentación de la información al señalar las circunstancias en el momento de realizar la investigación, además, analiza, interpreta, imprime y evalúa lo que se necesita. [10]

Población y muestra

La preferencia por evaluar los fenómenos específicos de acuerdo a sus características se denomina muestreo de casos especiales, para este estudio se utilizará el muestreo probabilístico porque el escenario de ruptura propuesto tiene una mayor probabilidad cuando se presenta una máxima. De igual forma, precisan una muestra como parte muestral para desarrollar una indagación, en ciertos casos la muestra puede ser finita por lo pequeña de la población, cuando esto ocurre se considera tomar toda la población como muestra. Al tener una población pequeña, la muestra estará conformada por el escenario que será la empresa GDS Infraestructura.

Lugar de Estudio

El lugar de estudio se desarrolló en la empresa GDS Infraestructura ubicada en Calle 7 Mz. B lote 17 Monte de los Olivos V Etapa, San Martín de Porres, Lima Perú, esta empresa se dedica a proyectos de construcción.

Técnicas e instrumentación para la recolección de la información.

Las Técnicas de recolección de la información son:

Técnica de observación: la misma se aplicará directamente a la recolección de datos en campo, en la empresa GDS infraestructura.

Técnica de la encuesta: para abordar el fenómeno y recolectar la información necesaria. Al respecto, la encuesta constituye una técnica que orienta la investigación social por la flexibilidad de la información obtenida, la característica, la equidad y la sencillez.[11]

Instrumentos de recolección de información

1. Encuestas.
2. Documentos.
3. Internet.
4. Repositorios de Revistas Científicas.

Técnicas de análisis e interpretación de datos

Una vez adquirida y organizada la información del trabajo de campo, esta será analizada e interpretada mediante métodos estadísticos ya conocidos que hacen referencia a la estadística descriptiva y estadística inferencial.

Análisis y procesamiento de datos

Después de realizar la factibilidad del sistema generador fotovoltaico mediante el cálculo matemático, realizamos la simulación del diseño utilizando el software de cálculo numérico MATLAB (Matriz Laboratorio) desarrollado por MathWorks, tiene un lenguaje de programación propio y permite realizar cálculos matemáticos avanzados. En esta oportunidad la herramienta Simulink será la que programaremos para que nos muestre los resultados en modo de simulación de las ecuaciones matemáticas de diseño.

Utilizamos las variables de diseño para dimensionar el sistema fotovoltaico y elegir las opciones de seguimiento. Para sustentar que el sistema generador sea viable, se debe verificar las especificaciones de los equipos utilizados y luego comparar los cálculos realizados teóricamente a fin que los valores sean confiables para la implementación.

En este trabajo una parte de los cálculos que se estimaron fueron recogidos en parte del relevamiento de proyectos existentes relacionados con paneles solares fotovoltaicos. De acuerdo con los cálculos obtenidos y la situación existente, se observó un gran avance hacia la transformación del consumo energético peruano, identificándose la existencia de varios organismos públicos y privados interesados en la investigación, desarrollo e implementación de sistemas fotovoltaicos como una alternativa sostenible. Además, en el ámbito de la cobertura geográfica, permite identificar las áreas en las que se deben impulsar nuevos proyectos fotovoltaicos.

III RESULTADOS

DESARROLLO DE LA INVESTIGACION

Datos geográficos de la empresa

El sistema fotovoltaico del presente trabajo está situado en calle 7 Mz b Lt 17 - ASOC. MONTE Los Olivos - SMP - Lima, Figura 1.



Figura 1. Ubicación de la empresa GDS Infraestructura

Las coordenadas geográficas de la empresa, según Google Earth, son las siguientes: Latitud: 11° 58' 33.86" S, Altitud: 77° 6' 13.22" W.

La empresa cuenta con una infraestructura, donde la azotea será el espacio disponible para colocar el sistema fotovoltaico. El área señalada se presenta en la Figura 2, en esa área se ubicarán cada uno de los paneles, debido a la necesidad de orientarlos con dirección este-oeste con Azimut: 7,64° y Elevación: -84.16.

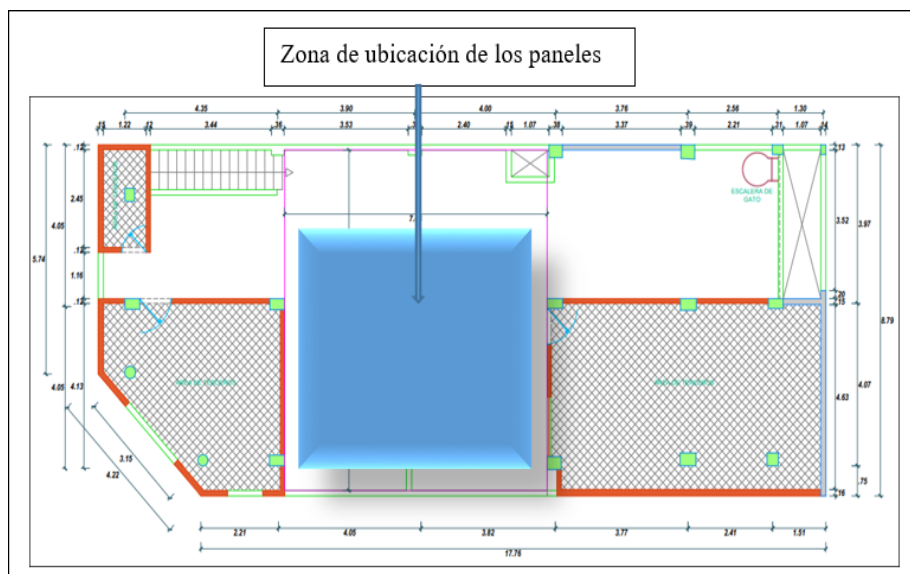


Figura 2. Ubicación de la Azotea donde serán colocados los paneles

Cálculo de la demanda energética de la empresa.

Se determinará la carga total de las oficinas de la empresa GDS INFRAESTRUCTURA S.A.C. según lo indicado en la Figura 3.

CUADRO DE CARGAS							
	DESCRIPCION			CARGA INSTALADA	FACTOR DE DEMANDA	MAXIMA DEMANDA	
	cant.	Un.x	pot.				
TG	ALUMBRADO TIPO PANEL LED CUADRADO DE 48W	18	Un.x	48 W	864	1	864
	ALUMBRADO 1x12W	10	Un.x	12 W	120	1	120
	EXTRACTOR AXIAL 14W	5	Un.x	14 W	70	1	70
	AIRE ACONDICIONADO UE-1/UC-1: 36,000 Btu/h	1	Un.x	3,600 W	3,600	0.8	2,880
	AIRE ACONDICIONADO UE-2/UC-2: 12,000 Btu/h	1	Un.x	1,200 W	1,200	0.8	960
	AIRE ACONDICIONADO UE-3/UC-3: 24,000 Btu/h	1	Un.x	2,400 W	2,400	0.8	1,920
	AIRE ACONDICIONADO UE-4/UC-4: 12,000 Btu/h	1	Un.x	1,200 W	1,200	0.8	960
	AIRE ACONDICIONADO UE-5/UC-5: 24,000 Btu/h	1	Un.x	2,400 W	2,400	0.8	1,920
	AIRE ACONDICIONADO UE-6/UC-6: 18,000 Btu/h	1	Un.x	1,500 W	1,500	0.8	1,200
	AIRE ACONDICIONADO UE-7/UC-7: 12,000 Btu/h	1	Un.x	1,200 W	1,200	0.8	960
	AIRE ACONDICIONADO UE-8/UC-8: 60,000 Btu/h	1	Un.x	6,000 W	6,000	0.8	4,800
	CARGA SUB TOTAL (SISTEMA NORMAL):				20,554		16,654
	TES	ALUMBRADO TIPO PANEL LED CUADRADO DE 48W	19	Un.x	48 W	912	1
ALUMBRADO 1x24W		4	Un.x	24 W	96	1	96
ALUMBRADO DE EMERGENCIA 2x1.2W		12	Un.x	2.4 W	29	1	29
TOMACORRIENTES EMERGENCIA		9	Un.x	200 W	1,800	0.5	900
TOMACORRIENTES COMPUTADORAS		54	Un.x	200 W	10,800	0.5	5,400
RACK DE COMUNICACIONES		1	Un.x	500 W	500	1	500
TOMACORRIENTES IMPRESORAS Y TRITURADORAS		2	Un.x	1600 W	3,200	0.5	1,600
CARGA SUB TOTAL (SISTEMA ESTABILIZADA):				14,500		7,500	
CARGA SUB TOTAL (SISTEMA EMERGENCIA):				17,337		9,437	
CARGA TOTAL DEL LOCAL				37,891		26,091	
Factor de Simultaneidad						0.90	
Maxima Demanda						23,481.72	
POTENCIA A CONTRATAR (KW)						25.00	
TIPO DE TARIFA						BT5B	
TIPO DE CONEXIÓN						TRIFASICO	

Figura 3. Cuadro de cargas

Para estimar el potencial nominal del sistema generador fotovoltaico también se puede tomar en cuenta los datos de facturación del año 2021. Para ello, se tomarán en cuenta los datos de la Tabla 1 correspondiente al consumo eléctrico de los 12 meses del año 2021, ya que representan un consumo significativamente mayor en relación con los anteriores años.

Tabla 1. Demanda de energía año 2021

Mes	Consumo [kWh/mes]	Días	Consumo [kWh/día]
Enero	993	31	32.03
Febrero	1010	28	36.07
Marzo	1032	31	33.29
Abril	1120	30	37.33
Mayo	1070	31	34.51
Junio	1015	30	33.83
Julio	971	31	31.32
Agosto	1048	31	33.81
Septiembre	897	30	29.9
Octubre	826	31	26.65
Noviembre	940	30	31.33
Diciembre	1090	31	35.16

Determinación de recurso solar que se dispone

Como se ha mencionado, al no contar con una estación meteorológica en la zona donde se ejecutará el proyecto, se utilizará la data recolectada de irradiancia global, aportados por la Surface Meteorology and Solar Energy, Atmospheric Science Data Center de la NASA para la determinación del recurso solar disponible presentando estos datos mensuales en la siguiente Tabla. [12]

Tabla 2. Irradiancia global media en el periodo (Julio 1983-Junio 2005)

Mes	Energía [kWh/m2]
Enero.	5.70
Febrero.	5.55
Marzo.	5.84
Abril.	5.38
Mayo.	4.88
Junio.	4.47
Julio.	4.48
Agosto.	4.91
Septiembre.	5.59
Octubre.	5.98

Noviembre.	5.86
Diciembre.	5.38

Fuente. Surface Meteorology and Solar Energy. [12]

A continuación, se mencionan algunos conceptos de energía solar que se deben tomar en cuenta para el diseño.

Irradiancia: Indica la intensidad de radiación solar por unidad de superficie, está dada por $[kWh/m^2]$. [17]

Irradiación: Es la integral bajo la curva de datos de la Irradiancia, en un periodo de tiempo determinado, y está dada por $\left[\frac{kWh}{m^2 \cdot día}, hora, día, mes, año, etc. \right]$

Determinación de la ubicación del sistema de generación fotovoltaica

Perú está muy bien ubicado para beneficiarse de la energía solar la mayor parte del año. Cabe señalar que la posición de los paneles solares debe ser tal que se reciba la máxima cantidad de radiación solar, teniendo en cuenta las coordenadas solares, acimut (α) y ángulo de inclinación (ω).

- **Coordenadas solares:** Sistema de representación que indica las posiciones del Sol durante el día, como si estuviera girando alrededor de la Tierra, trazando una trayectoria en el plano de una línea elíptica que forma un ángulo de $23,5^\circ$ con el ecuador. [13]
- **Ángulo Acimut (α):** Su valor varía de 0° a 90° si se mide de sur a oeste y de 0° a -90° si se mide de sur a este que es el valor angular medido al nivel del horizonte astronómico y el plano vertical que contiene al Sol. [14]
- **Ángulo de inclinación (ω):** Es el ángulo que forma la superficie del generador con el plano horizontal. [14]

Determinación de la orientación e inclinación óptima (α_{opt} , ω_{opt}).

El sistema fotovoltaico se posicionará de manera que la mayor parte de la radiación solar disponible sea aprovechada durante el periodo de gestión anual, mientras que la inclinación óptima dependerá de la latitud del lugar donde se ubicará. Teniendo en cuenta que siempre se colocará mirando al norte. Como la siguiente figura 3.

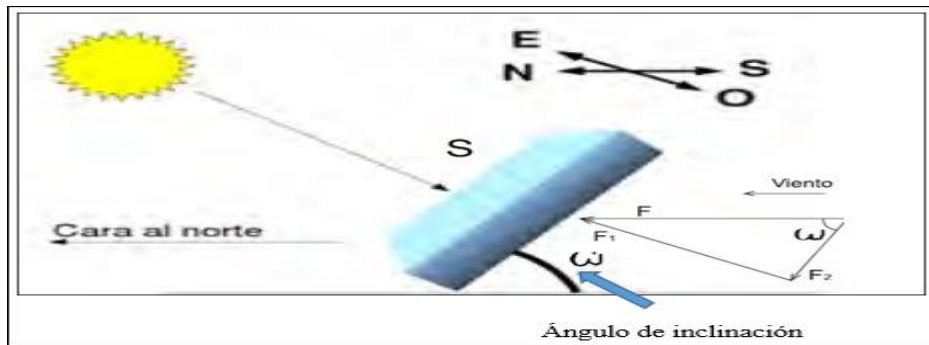


Figura 4. Posicionamiento angular del módulo solar

Fuente. Apuntes master en energía solar fotovoltaica MASTER-D (ESPAÑA) [15]

La inclinación se determinará mediante la siguiente ecuación 1.1 [16]

$$\omega_{opt} = 3,7 + 0,69 * Lt \dots\dots\dots(1.1)$$

Donde:

ω_{opt} : Ángulo de inclinación óptima del sistema de generación fotovoltaica [°].

Lt : Latitud [°] del lugar en el que se colocará el sistema.

Las coordenadas geográficas de la empresa, según Google Earth, son las siguientes: Latitud: 11° 58' 33.86", debemos hacer la conversión de minutos y segundos a grados que nos da como resultados 11.9760709.

$$\omega_{opt} = 3,7 + 0,69 * 11.9760709$$

$$\omega_{opt} = 11,963488921 [°]$$

El ángulo de inclinación óptimo según la Ecuación 1.1 debería ser 11.96 grados y teniendo en cuenta que para nuestro país tendremos siempre resultados similares.

Irradiación efectiva incidente

Esta se determinará a partir de la corrección de la irradiancia global horizontal, considerando algunos aspectos, como pérdidas técnicas que se deben a: la orientación, inclinación, niveles de suciedad, transmitancia de vidrio, entre otros. Se hace uso de la Ecuación 1.2 [16]

$$G_{efd}(\omega_{opt}) = \frac{G_d(0)}{(1 - 4,46 * 10^{-4} * \omega_{opt} - 1,19 * 10^{-4} * \omega_{opt}^2)} [kWh/m^2/día] \dots\dots(1.2)$$

Donde:

$G_{efd}(\omega_{opt})$: Irradiancia efectiva diaria a condiciones óptimas [kWh/m²/día].

$G_d(0)$: Irradiancia global horizontal diaria. [$kWh/m^2/día$].

ω_{opt} : Ángulo óptimo de inclinación [$^\circ$].

Dado que el sistema no se construirá en condiciones ideales, se necesita hacer una corrección para las condiciones de orientación e inclinación previamente calculada, para esto se utilizará la Ecuación 1.3 y la Ecuación 1.4 [17]

$$G_{efd}(\alpha, \omega) = G_{efd}(\omega_{opt}) * [g_1 * (\omega - \omega_{opt})^2 + g_2 * (\omega - \omega_{opt}) + g_3] \dots\dots(1.3)$$

$$g_i = g_{i1} * |\alpha|^2 + g_{i2} * |\alpha| + g_{i3} \dots\dots\dots (1.4)$$

Donde:

$G_{efd}(\alpha, \omega)$: Irradiación eficiente incidente diaria sobre el plano generador [$kWh/m^2/día$].

ω : Posicionamiento de inclinación [$^\circ$].

ω_{opt} : Posicionamiento de inclinación óptimo [$^\circ$].

g_i : Coeficientes de diseño.

g_{ii} : Sub coeficientes de diseño.

α : Posicionamiento azimut [$^\circ$]

La degradación por polvo y suciedad en la zona de los módulos solares reduce la corriente y tensión suministrada por el generador, lo que ocasiona pérdidas de contacto y pérdidas por la generación de puntos calientes. Tomando en cuenta estos detalles para resolver la ecuación 1.3 se tomarán en cuenta en el diseño los sub coeficientes presentados en la siguiente tabla. [17]

Tabla 3. Sub coeficientes de diseño

g_{ii}	$i = 1$	$i = 2$	$i = 3$
g_{1i}	$8*10^{-9}$	$3,8*10^{-7}$	$-1,218*10^{-4}$
g_{2i}	$-4,27*10^{-7}$	$8,2*10^{-6}$	$2,892*10^{-4}$
g_{3i}	$-2,58*10^{-5}$	$-1,034*10^{-4}$	0,9314

Ahora bien, la siguiente tabla muestra el resumen de la irradiación global horizontal e irradiación efectiva, la cual se obtuvo a través de los datos previamente calculados.

Tabla 4. Irradiación Global e Irradiación Efectiva

Mes	Irradiación Global [kWh/m ² /día]	Irradiación Efectiva [kWh/m ² /día]	Irradiación Efectiva [kWh/m ² /mes]
	$G_d(0)$:	$G_{efd}(\omega_{opt})$	$G_{efm}(\omega_{opt})$
Enero	5.70	5.417648885	167.9471154
Febrero	5.55	5.275079178	147.702217
Marzo	5.84	5.550713945	172.0721323
Abril	5.38	5.113500176	153.4050053
Mayo	4.88	4.638267817	143.7863023
Junio	4.47	4.248577284	127.4573185
Julio	4.48	4.258081931	127.005399
Agosto	4.91	4.666781759	144.6702345
Setiembre	5.59	5.313097766	159.392933
Octubre	5.95	5.655265064	175.313217
Noviembre	5.98	5.683779006	170.5133702
Diciembre	5.86	5.56972324	172.6615204

A continuación, se muestra cómo se obtuvieron los cálculos, usando la ecuación 1.2 se obtiene:

$$G_{efd}(\omega_{opt}) = \frac{5.70}{(1-4,46*10^{-4}*11.96-1,19*10^{-4}*11.96^2)} = 5.8303438098837169881$$

Ahora bien, usando la ecuación 1.4 se obtiene cada g_i obteniéndose lo siguiente:

$$g_1 = 8 * 10^{-9} * |7.64|^2 + 3,8 * 10^{-7} * |7.64| - 1,218 * 10^{-4} = -0.0001184298432$$

$$g_2 = -4,27 * 10^{-7} * |7.64|^2 + 8,2 * 10^{-6} * |7.64| + 2,892 * 10^{-4} = 0.0003269241808$$

$$g_3 = -2,58 * 10^{-5} * |7.64|^2 - 1,034 * 10^{-4} * |7.64| + 0,9314 = 0.92910408832$$

Finalmente, con la ecuación 1.3 se obtiene la Irradiación positiva incidente por día

$$G_{efd}(\alpha, \omega) = 5.8303438098837169881 * [-0.0001184298432 * |10 - 7.64|^2 + 0.0003269241808 * |7.64| + 0.92910408832] = 5.417648885$$

En el caso del mes de enero multiplicamos por 31 días y obtenemos

$$G_{efd}(\alpha, \omega) = 5.417648885 * 31 = 167.9471154 \text{ (mensual)}$$

El procedimiento se repite con cada uno de los meses faltantes.

Selección del Sistema Fotovoltaico y corrección de parámetros acordes a su posición geográfica

Teniendo en cuenta el inventario nacional a la fecha de estudio, se seleccionó El Kit Conexión Red Trifásico 12,740W 61 500Wh/día 220V el cual contiene 28 Panel Solar 455W 24V EcoGreen, un *Inversor de Conexión a Red FRONIUS Symo 12.0kW* y una estructura Cubierta Metálica KH915. A continuación, se presentan las características del sistema fotovoltaico elegido en la siguiente tabla.

Tabla 5. Características del sistema fotovoltaico acoplado a la red

Características del Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red	
Potencia Solar Fotovoltaica Instalada	12,740W
Potencia máxima de salida	12,000W
Producción diaria en Invierno	38.22kWh
Producción diaria en Verano	89.18kWh
Producción Media diaria Anual	63.70kWh
Numero de los Paneles Solares	28
Potencia de los Paneles Solares	455W
Energía Generada al día de media anual	61,50kWh

También se presenta la ficha técnica del Panel Solar fotovoltaico marca EcoGreen modelo 455W 24V Monocristalino PERC el cual es un módulo solar fotovoltaico de alta potencia. La eficiencia de los módulos solares es de un 20.81%. Todos estos datos se

dan cuando las condiciones de irradiación estándar son de $1000W/m^2$, y con una temperatura de célula de $25^{\circ}C$ y una masa de aire de $1.5AM$. El Módulo Solar $45W$ $24V$ Monocristalino tiene una tolerancia de la potencia de salida de $\pm 5W$. Los detalles se especifican en la siguiente tabla.

Tabla 6. Especificaciones del Panel Solar $455W$ $24V$ Monocristalino

Características del Panel Solar $455W$ $24V$ Monocristalino	
Potencia (Pmax) STC	455W
Tipo de Célula	Monocristalino (166x83mm)
Rigidez	Rígido
Dimensiones	2102x1040x35mm
Tensión máxima de Salida (Vmp) STC	41.06V
Corriente en Cortocircuito (Isc) STC	11.66A
Eficiencia STC	20.81%
Corriente máxima de Salida (Imp) STC	11.08A
Tensión en Circuito Abierto (Voc) STC	49.41V
Tensión de Trabajo	24V
Peso	24.5kg
Potencia (Pmax) NMOT	339.26W
Tensión máxima de Salida (Vmp) NMOT	38.49V
Corriente máxima de Salida (Imp) NMOT	8.80A
Tensión en Circuito Abierto (Voc) NMOT	45.82V
Corriente en Cortocircuito (Isc) NMOT	9.48A
Temperatura de funcionamiento ($^{\circ}C$)	$-40^{\circ}C / +85^{\circ}C$
NMOT	$41^{\circ}C \pm 3^{\circ}C$
Coefficiente de temperatura Pmax ($\%/^{\circ}C$)	$-0.35\%/^{\circ}C$
Coefficiente de temperatura Voc ($\%/^{\circ}C$)	$-0.30\%/^{\circ}C$
Coefficiente de temperatura Isc ($\%/^{\circ}C$)	$-0.05\%/^{\circ}C$

Para el diseño de un sistema de generación fotovoltaico se debe tener en cuenta las especificaciones del lugar donde se va a realizar la instalación, para llevar a cabo este objetivo se deben realizar algunas correcciones de diseño, para ello utilizaremos la siguiente formula:

$$T_p = T_a + I_e * \frac{NTC-20}{800} \dots\dots\dots (1.5)$$

Donde:

T_p : Valor que alcanza la temperatura de la célula en un ambiente determinado

T_a : Valor que alcanza la temperatura del ambiente en el lugar de instalación

I_e : Irradiación efectiva solar media

NTC : Nominal de temperatura de la célula

Dado que no se conoce la temperatura real de la célula, se tomará los datos de la temperatura máxima (Verano) de 31°C e irradiación solar diaria promedio 1000[Wh/m²] y $NTC = 45$ °C, luego

$$T_p(\text{Verano}) = 31 + 1000 * \frac{45 - 20}{800} = 62,25^\circ\text{C}$$

Por otro lado, la temperatura máxima (Invierno) de 17°C e irradiación solar diaria promedio 100[Wh/m²] y $NTC = 45$ °C, luego

$$T_p(\text{Invierno}) = 17 + 100 * \frac{45 - 20}{800} = 20,125^\circ\text{C}$$

Por otro lado, se determinará el valor de la tensión máxima que habrá a la salida de cada panel, debido a la variabilidad de las condiciones reales de operacionalización, se tomará en cuenta la siguiente formula:

$$V_{mmp}(T_p) = V^*_{mmp} + (T_p - T^*_p) * \Delta V_{mmp}(T) \dots \dots \dots (1.6)$$

Donde:

$V_{mmp}(T_p)$: Valor en condición real

V^*_{mmp} : Valor en condición con correcciones

T_p : Valor calórico de la célula

T^*_p : Valor calórico de la célula con corrección

$\Delta V_{mmp}(T)$: Coeficiente de variación de tensión máxima

$$V_{mmp}(62,25) = 38,49 + (62,25 - 25) * (38,49) \frac{-0.3}{100} = 34,19 [V]$$

$$V_{mmp}(20,125) = 38,49 + (20,125 - 25) * (38,49) \frac{-0.3}{100} = 39.05[V]$$

Dado el resultado del voltaje en el punto máximo V_{mmp} obtenido, y como las características del panel cambian al igual que las condiciones ideales de operación.

Obstáculos generados por sombras en el sistema fotovoltaico

La presencia de sombras proveniente de elementos externos como árboles, edificios o elementos del mismo sistema induce a una menor captación solar, esto supone una menor corriente y por ende una disminución de energía producida. En algunos casos esto puede derivar en pérdidas de conexionado, así como también se debe tener en cuenta que los paneles se pueden destruir sino cuentan con diodos bypass, lo cual funge como puente para la corriente eléctrica, esto evitará el sobrecalentamiento de las celdas de los paneles. [17]

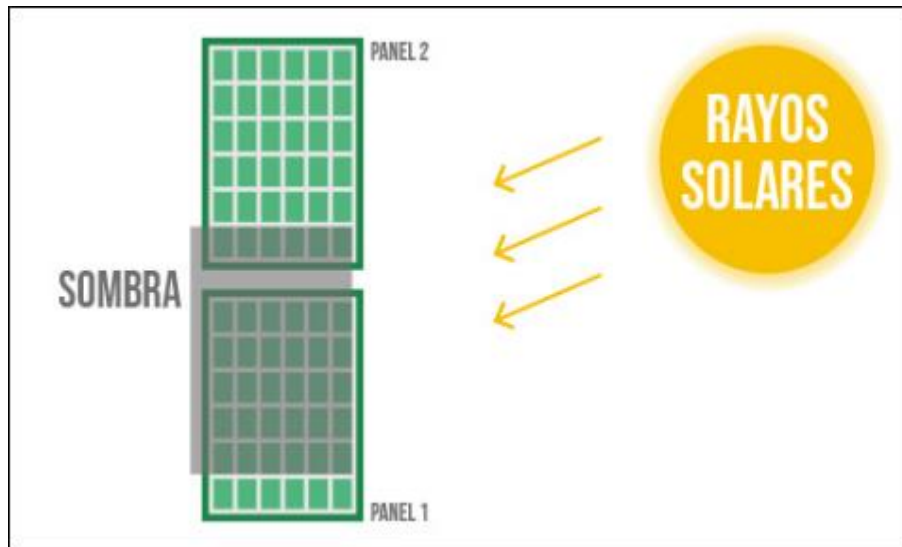


Figura 5. Efecto de la sombra en los módulos solares

Para la colocación de los módulos se tomará en cuenta el sistema estático, es por ello, que se estima la mínima distancia de separación entre cada par de filas de módulos (figura 5)

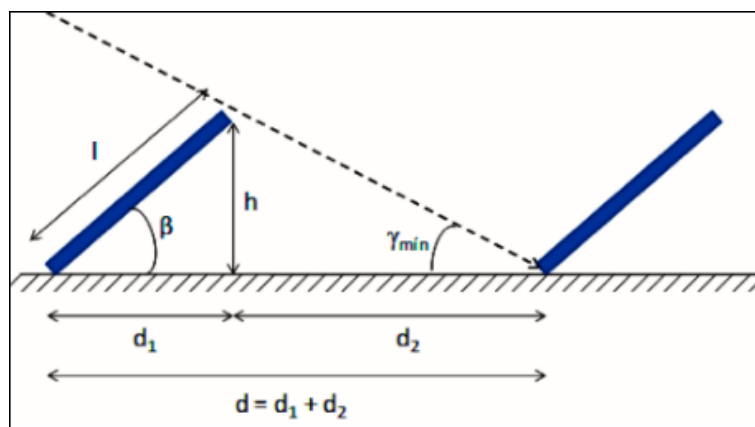


Figura 6. Distancia entre paneles solares en un sistema fotovoltaico

Dependiendo de la inclinación del ángulo de estos, y cuanto más pronunciado esté el módulo, se debe guardar mayor distancia entre cada par de módulos. Para calcular la distancia mínima se tomará la ecuación (1.7)

$$d = d_1 + d_2 \dots \dots \dots (1.7)$$

Donde

d : Distancia mínima

d_1 : Proyección de l sobre la horizontal

d_2 : Distancia de separación entre los paneles

h : Altura de la fila adyacente al panel

l : Longitud del panel

β : Ángulo de inclinación del panel

γ_{min} : Altura solar

$$d = l \cdot \cos\beta + \frac{h}{\tan\gamma_{min}}$$

$$d = 2102 \cdot \cos(10^\circ) + \frac{365,008}{\tan(78,024)} = 2147,49 \text{ mm} \approx 2,15 \text{ mts}$$

Potencia generada y corrección de paneles

En esta sección, se considerarán dos aspectos principales: el costo de inversión de instalar el sistema fotovoltaico y la disponibilidad de espacio para una planificación óptima. Usando esta información, es posible determinar la potencia máxima que generará el sistema. Ahora bien, considerando el consumo medio mostrado en la tabla 1 la cual es de 34,26 [kWh/día] y según la tabla 2 el resultado de la media de irradiación solar global es de 5,38 [kWh/m²/día]. Además, debido a la pérdida de energía por dispersión, temperatura, malas conexiones, polución, entre otros se considerará el factor global de perdidas (FR=0,65), aplicando esta información a la ecuación (1.8) se tiene

$$P_{min} = \frac{CPG}{HSP \cdot FGP} \dots \dots \dots (1.8)$$

Donde

P_{min} : Potencia mínima generada

CPG : Consumo promedio global de energía

HSP : Hora solar pico

FGP: Factor global de pérdidas

Luego,

$$P_{min} = \frac{34,26}{5,38 * 0,65} = 9,78 [kW]$$

Selección del espacio para la puesta del sistema de generación fotovoltaica

El área disponible para colocar los paneles se muestra en la figura 2, es un espacio de $60m^2$. Ahora bien, para determinar la cantidad de paneles necesario para el sistema fotovoltaico se debe tener en cuenta las dimensiones del mismo, teniendo en cuenta que se tiene que guardar una distancia prudente entre cada fila de paneles, con el fin de poder realizar las conexiones y mantenimiento general.

Luego para estimar la cantidad de paneles a colocar en el espacio disponible se aplica la ecuación [18]

$$N_{filas} = \frac{L_{ef}}{Lm+0.05} \dots\dots\dots (1.9)$$

Donde

N_{filas} : Número máximo de filas de paneles

L_{ef} : Largo del área disponible

Lm : Largo del módulo fotovoltaico

$$N_{filas} = \frac{7[m]}{2.10[m] + 0.05} = 3. [filas]$$

Haciendo una aproximación al menor entero se tomarán 3 filas. Además, teniendo en cuenta que se conocen las dimensiones del panel ($2102 \times 1040 \times 35$ [mm]) y las dimensiones del área donde se colocarán los paneles (7×8 [m]), se procede a estimar el número de paneles que se colocarán en el sistema de generación fotovoltaica, para ello usamos la ecuación [19]

$$N_{paneles} = \frac{A_{ef}}{Am+0.05} \dots\dots\dots (1.10)$$

Donde

$N_{paneles}$: Número máximo de paneles por filas

A_{ef} : Ancho del área disponible

Am : Ancho del módulo fotovoltaico

$$N_{\text{paneles}} = \frac{8[m]}{1.04[m] + 0.05} = 7,34 [\text{paneles}]$$

Tomando en cuenta el menor entero se consideran 7 paneles para la aproximación. Por otra parte, como todavía hay un espacio sobrante, veamos si este espacio es mayor la proyección del panel sobre la horizontal de la azotea para ver si es posible colocar una fila adicional, para ello emplearemos la siguiente formula [19]

$$N_{\text{sobrante}} = A_{ef} - N_{\text{filas}} \times (Am + d_2) \dots\dots\dots (1.11)$$

Donde

N_{sobrante} : Espacio sobrante

A_{ef} : Ancho del área disponible

N_{filas} : Número de filas del arreglo fotovoltaico

Am : Ancho del módulo fotovoltaico

d_2 : Distancia de separación entre los paneles

$$N_{\text{sobrante}} = 8 - 3 \times (1.04 + 0,775) = 2.555[m]$$

Observemos que $N_{\text{sobrante}} > Am$ la distancia sobrante es mayor a al ancho del módulo fotovoltaico entonces es posible colocar una fila adicional. Por lo que la distribución quedaría en 4 filas de 7 paneles cada una.

Cálculo de la energía mínima mensual requerida

Para estimar la mínima energía mensual, se necesita estimar la cantidad de módulos que se requieren teniendo en cuenta la demanda de energía consumida mensual promedio correspondiente para 2021. Según Villegas y Alcivar (2020) se considerará el 10% de factor de sombreado. Aplicamos la ecuación: [3]

$$E_{PMR} = P_{NMA} * N_{\text{paneles}} * \frac{E_{Iep}}{I_e^*} * F_{RSys} * (1 - F_{RSom}) \dots\dots\dots (1.12)$$

Donde

E_{PMR} : Promedio energía mensual requerida

P_{NMA} : Potencia nominal máxima actualizada del panel fotovoltaico

N_{paneles} : Número de paneles

E_{Iep} : Promedio de irradiación efectiva

I_e *:Irradiación efectiva solar media

F_{RSys} : Factor de rendimiento del generador

F_{RSom} : Factor de rendimiento de sombra

$$1041 = 450,10 * N_{paneles} * \frac{155,57}{1000} * 65\% * (1 - 10\%)$$

$$\text{Luego, } * N_{paneles} = 25,41 \approx 25$$

Cálculo y selección de inversores

Para el diseño del sistema generador fotovoltaico, se debe seguir el plan correcto al momento de elegir un inversor. El inversor debe cumplir con los requisitos y especificaciones tales como tensión eficaz, frecuencia, corrientes, etc., así como los requerimientos técnicos teniendo en cuenta la potencia generada en el sistema y las condiciones para el normal funcionamiento de los módulos solares a la hora de dar la potencia máxima cuando estén expuestos a condiciones de temperatura extremas diferentes a las señaladas en las condiciones estándar de medida. Teniendo en cuenta estos requerimientos se elige el Inversor *Interconexión FRONIUS Symo 12kW 208 – 240* el cual es un sistema moderno de autoconsumo directo sin baterías para una instalación de módulos solares. Una instalación solar para este tipo de inversor se satisface rápidamente los requerimientos si el consumo es alto en horas de sol. A continuación, se muestran las características principales del inversor elegido en la siguiente tabla.

Tabla 7. Características del Inversor Interconexión FRONIUS Symo 12kW 208-240

Características del Inversor Interconexión FRONIUS Symo 12kW 208 - 240	
Pico de Potencia del inversor	12000W
Voltaje de Trabajo del Inversor	208-240
Potencia de Salida continuada	12000W
Rango de Tensión MPP	240-480V
Min./Max. Tensión de entrada	300/600V
Eficiencia máxima del Inversor	97 %
Consumo en Vacío del Inversor	<1W
Peso del Inversor	41.7Kg
Dimensiones del Inversor	72.5 x 51.0 x 22.5 cm
Corriente máxima (Idc max)	37.5 A / 27.8 A

Corriente máxima de entrada de corto circuito por terminal	33A
Tensión de arranque en DC	200V
Eficiencia CEC	96.5%

Según Perpiñán (2012), Para estimar la cantidad de inversores que requiere el sistema, se debe tener en cuenta que los mismos deben trabajar en la zona máxima de eficiencia, por ello se toma en cuenta la relación entre el potencial pico en condiciones STC y la potencia de salida del inversor, con el fin de no permitir que opere en condiciones de baja frecuencia, aunque tampoco se debe sobrepasar de la carga, para ello empleamos la siguiente ecuación (1.13) [17]

$$N_{inversores} = N_{paneles} * \frac{P_{maxsalida}}{(1+15%)*P_{maxsalida}} \dots\dots\dots (1.13)$$

Donde

$N_{inversores}$: Cantidad de inversores a instalar

$N_{paneles}$: Número de paneles a instalar

$P_{maxsalida}$: Potencia máxima de salida

$$N_{inversores} = 28 * \frac{455,316}{(1+15%)*12000} = 0,92 \approx 1$$

Ajuste y adaptación de los módulos solares

Si se quiere que el sistema modular de paneles funcione eficientemente es necesario hacer una configuración de los paneles de tal manera que sus arreglos queden en serie y paralelo, así los que queden en paralelo determinaran la corriente de salida y los que queden en serie determinaran el voltaje producido. Ahora bien, para estimar la cantidad de paneles conectados en series usaremos la siguiente ecuación (1.14) [17]

$$N_{paneles\ en\ serie} = \frac{V_{maxinv}}{V_{circuitoabierto}} \dots\dots\dots (1.14)$$

Donde

$N_{paneles\ en\ serie}$: Número de paneles conectados en serie

V_{maxinv} : Rango de Voltaje al ingreso del inversor

$V_{\text{circuitoabierto}}$: Voltaje en circuito abierto

Dado que el punto de potencia máxima MPP tiene un rango superior e inferior es necesario calcular la cantidad máxima y mínima de módulos conectados en serie, y así asegurar una operación efectiva en la zona MPP

$$N_{\text{paneles en serie}} = \frac{600}{45,8} = 13,10 \approx 17 \text{ (Valor máximo)}$$

$$N_{\text{paneles en serie}} = \frac{300}{45,8} = 6,55 \approx 7 \text{ (Valor mínimo)}$$

Por lo tanto, se tomará el número mínimo de paneles (7) que estarán conectados en serie para garantizar el trabajo dentro de la zona de rendimiento. Ahora bien, los ramales en paralelo garantizan la salida de corriente del generador, teniendo en cuenta que la misma no puede ser mayor a la máxima energía al ingreso del inversor. Aplicaremos la siguiente ecuación (1.15) [17]

$$N_{\text{paneles en paralelo}} = \frac{I_{\text{maxinv}}}{I_{\text{cortocircuito}}} \dots\dots\dots (1.15)$$

Donde

$N_{\text{paneles en paralelo}}$: Número de paneles conectados en paralelo

I_{maxinv} : Máxima corriente al ingreso del inversor

$I_{\text{cortocircuito}}$: Corriente de cortocircuito de un modulo en condiciones STC

$$N_{\text{paneles en paralelo}} = \frac{41,5}{11,7} = 3,55 \approx 4$$

A fin de mostrar los resultados obtenidos se muestra una tabla resumen con los arreglos del sistema generador fotovoltaico final.

Tabla 8. Arreglos conectados a cada inversor

	Arreglo 1.	Arreglo 2.	Arreglo 3.	Arreglo 4.	total
Módulos en series	7	7	7	7	28
Módulos en paralelos	1	1	1	1	4
Inversores	1				1

Capacidad nominal instalada

Para calcular la capacidad nominal instalada es necesario conocer la cantidad total de potencial nominal en cada inversor y luego multiplicar por el número de inversores utilizados, esto es (ecuación 2.14)

$$V_{CNI} = N_{inv} * P_{max} \dots \dots \dots (1.16)$$

Donde

V_{CNI} : Capacidad nominal instalada

N_{inv} : Número de inversores instalados

P_{max} : Potencia nominal máxima

$$V_{CNI} = 1 * 12000 = 12000W$$

Simulación de diseño utilizando el software de cálculo numérico MATLAB

Para la simulación utilizaremos las siguientes ecuaciones de los valores fundamentales para la simulación:

- Fotocorriente.

$$I_{Ph} = [I_{sc} + K_i(T - 298)] \frac{G}{1000} \dots \dots (2.1)$$

- Corriente de Saturación.

$$I_0 = I_{rs} \left(\frac{T}{T_n}\right)^3 \exp\left[\frac{qE_{go}\left(\frac{1}{T_n} - \frac{1}{T}\right)}{nk}\right] \dots \dots (2.2)$$

- Corriente de Saturación Reversa.

$$I_{rs} = \frac{I_{sc}}{\frac{qV_{oc}}{e^{(nN_sKT)} - 1}} \dots \dots (2.3)$$

- Corriente de Shunt.

$$I_{sh} = \left(\frac{V + I R_s}{R_{sh}}\right) \dots \dots (2.4)$$

- Corriente fotovoltaico.

$$I_0 = I_{ph} - I_0 \left[\exp\left(\frac{q(V + I R_s)}{n k N_s T}\right) - 1 \right] - I_{sh} \dots \dots (2.5)$$

Tabla 9. Valores de los parámetros a utilizar en la simulación

	DESCRIPCION	VALORES
I_{ph}	Fotocorriente (A)	--
I_{sc}	Corriente de corto circuito (A)	9.48
K_i	Corriente de corto circuito de una celda a 25 °C y 1000W/m ²	0.0032
T	Temperatura de operación (k)	--
T_n	Temperatura nominal (k)	298
G	Irradiación Solar (W/m ²)	--
q	Carga de Electrón (C)	1.6e-19
V_{oc}	Voltaje de Circuito abierto (V)	49.41
n	Factor de diodo	1.3
K	Constante de Botzman (J/K)	1.38e-23
E_{go}	Grafico de banda de energía del semiconductor (eV)	1.1
N_s	Números de celdas conectadas en serie	28
N_p	Números de celdas conectadas en paralelo	--
R_s	Resistencia en serie (ohms)	0.221
R_{sh}	Resistencia shunt (ohms)	415.405

Modelado de las Ecuaciones en Simulink de Matlab

Fotocorriente

La fotocorriente lo modelamos en el Simulink haciendo que esta herramienta realice las operaciones matemáticas según la ecuación 2.1.

$$I_{ph} = [I_{sc} + K_i(T - 298)] \frac{G}{1000}$$

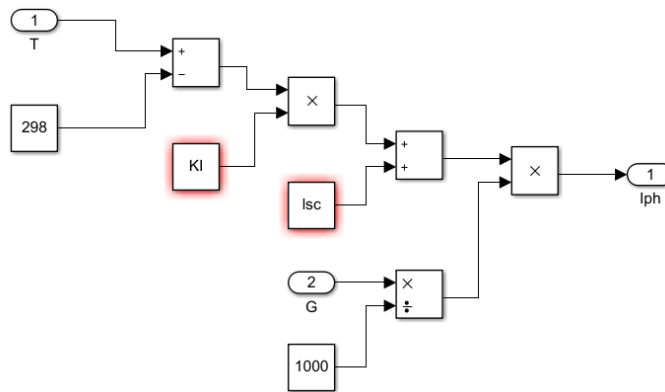


Figura 7. Modelado en Simulink para calcular la fotocorriente.

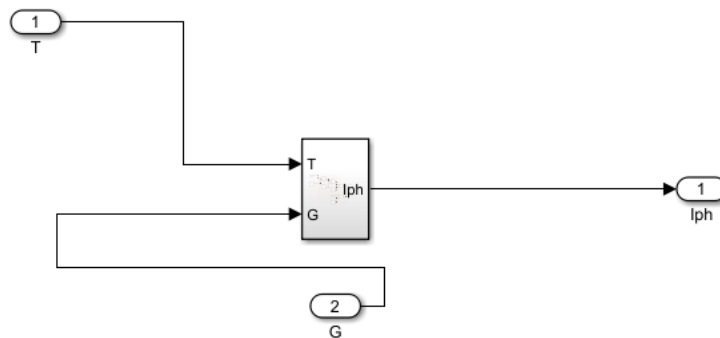


Figura 8. Reducción en Subsistema

Corriente de saturación

La corriente de saturación lo modelamos en el Simulink, haciendo que esta herramienta realice las operaciones matemáticas según la ecuación 2.2.

$$I_0 = I_{rs} \left(\frac{T}{T_n} \right)^3 \exp \left[\frac{qE_{g0} \left(\frac{1}{T_n} - \frac{1}{T} \right)}{nk} \right]$$

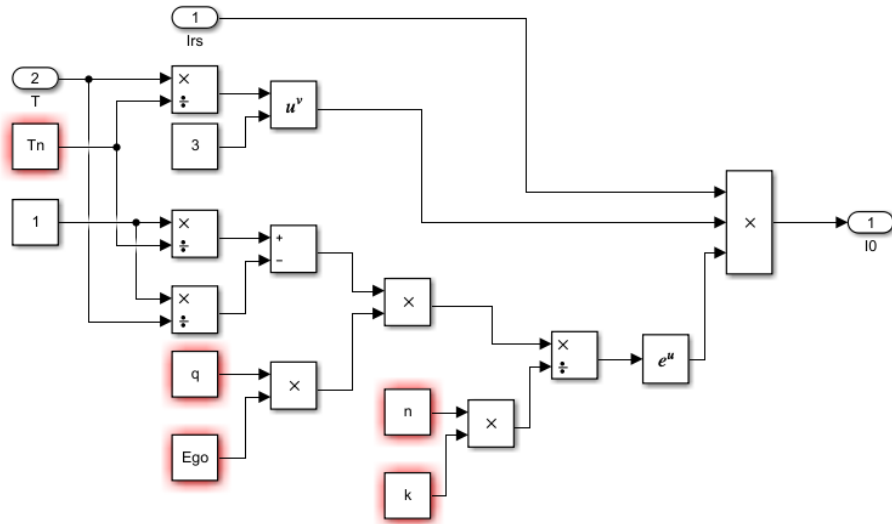


Figura 9. Modelado en simulink para calculo de Corriente de Saturacion

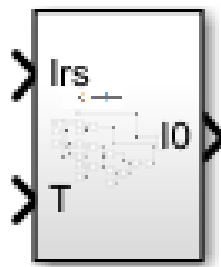


Figura 10. Reducción en Subsistema

Corriente de Saturación Reversa

La Corriente de Saturación Reversa lo modelamos en el Simulink, haciendo que esta herramienta realice las operaciones matemáticas según la ecuación 2.3.

$$I_{rs} = \frac{I_{sc}}{e^{\left(\frac{qV_{oc}}{n N_s K T}\right)} - 1}$$

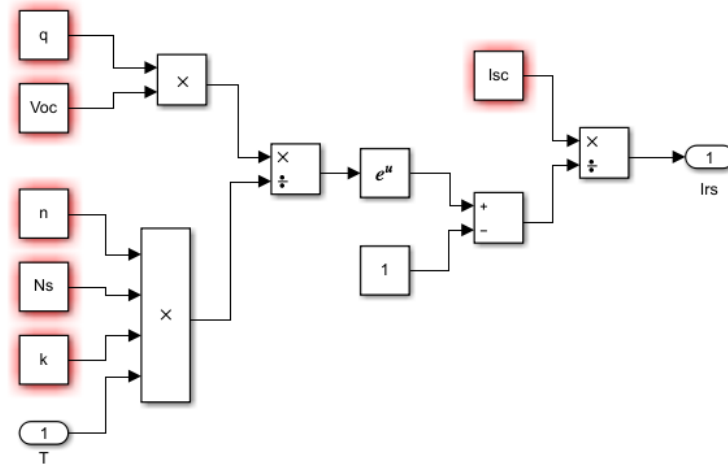


Figura 11. Modelado en Simulink para calcular la Corriente de Saturación Reversa

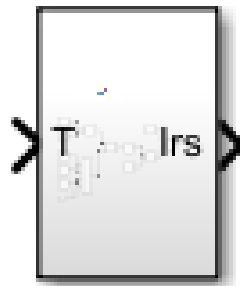


Figura 12. Reducción en Subsistema

Corriente de Shunt

La Corriente de Shunt lo modelamos en el Simulink, haciendo que esta herramienta realice las operaciones matemáticas según la ecuación 2.4.

$$I_{sh} = \left(\frac{V + IR_S}{R_{Sh}} \right)$$

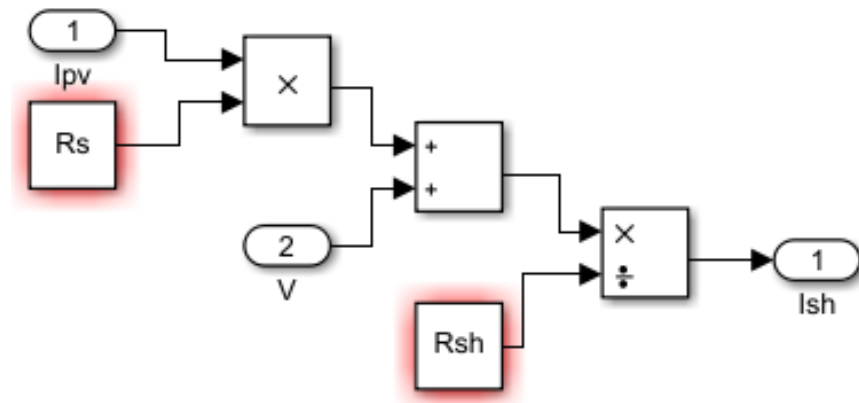


Figura 13. Modelado en Simulink para calcular la Corriente de Shunt



Figura 14. Reducción en Subsistema

Corriente Fotovoltaico

La Corriente Fotovoltaico lo modelamos en el Simulink, haciendo que esta herramienta realice las operaciones matemáticas según la ecuación 2.5.

$$I_0 = I_{ph} - I_0 \left[\exp \left(\frac{q(V + I R_S)}{n k N_S T} \right) - 1 \right] - I_{sh}$$

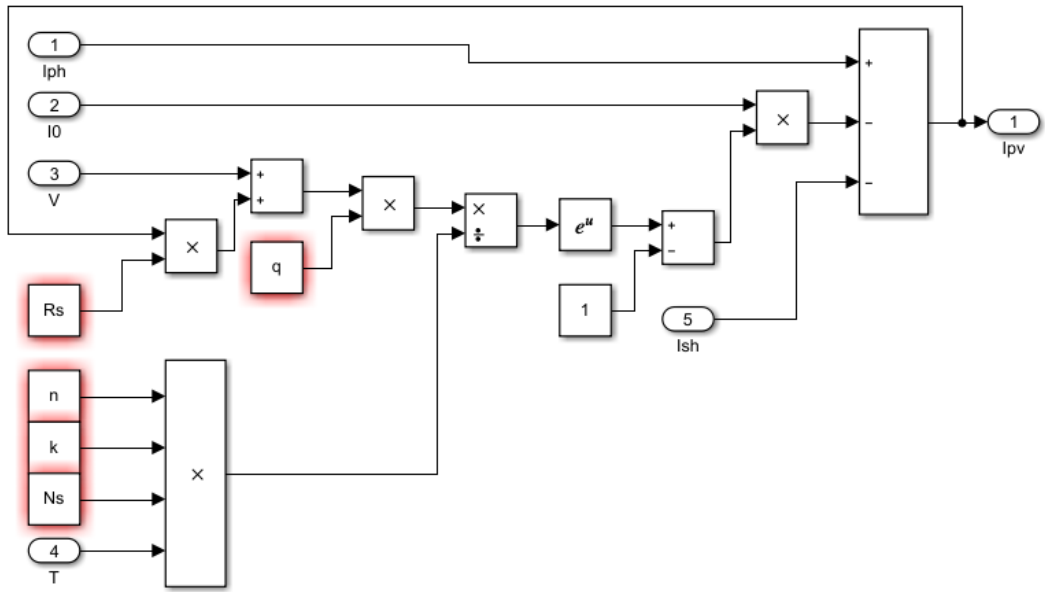


Figura 15. Modelado en Simulink para calcular la Corriente fotovoltaico

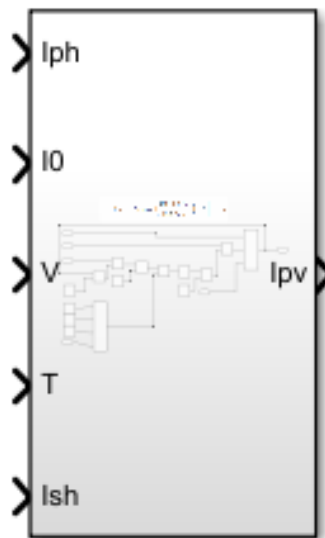


Figura 16. Reducción en Subsistema

Modelado final de la Simulación del panel Fotovoltaico

Realizamos la conexión de todos los bloques de subsistemas que previamente se han generado en cada una de las ecuaciones previas, tenemos un subsistema general cuyas entradas son la temperatura y la Irradiancia, como salida se obtiene la corriente y el voltaje del sistema fotovoltaico.

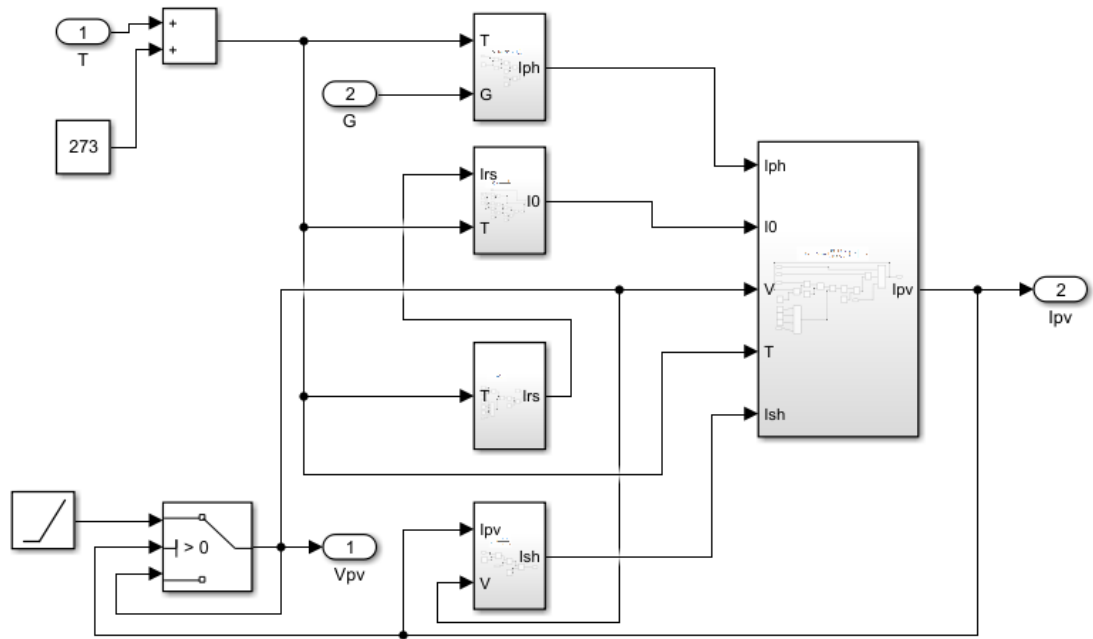


Figura 17. Modelado en Simulink el Sistema General

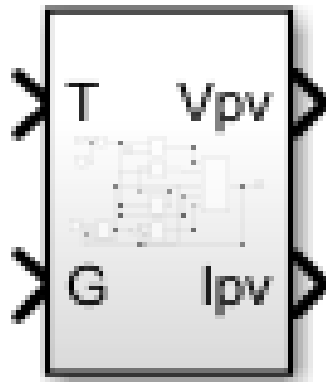


Figura 18. Reducción en Subsistema

Valores de las Constantes

De los cálculos matemáticos propios del diseño obtuvimos los valores de las constantes, estos se indican en la Tabla 10, es necesario realizar el ingreso de estos valores al Simulink del Matlab, según se indica en la figura 19.

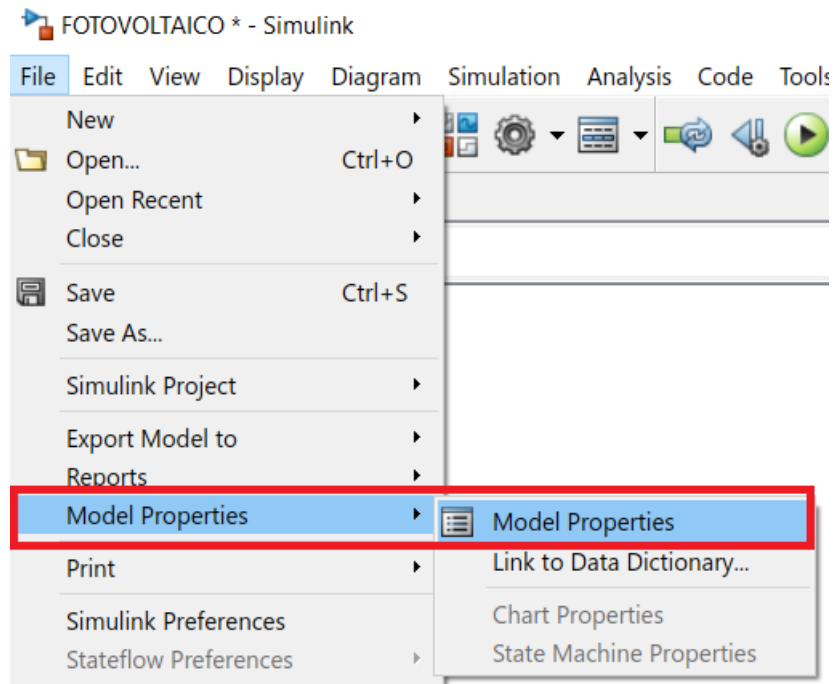


Figura 19. Herramienta de ingreso de parámetros en Simulink

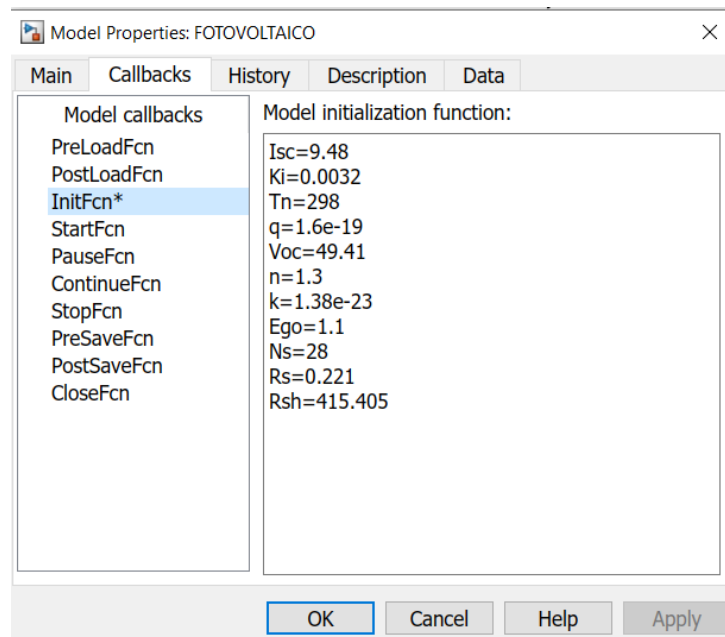


Figura 20. Valores de constantes en Simulink

Graficas resultantes de la ejecución de la simulación.

Para el análisis de los valores resultantes, mostramos dos gráficos que están en función del voltaje y la corriente, en la figura 21 se muestra los resultados del voltaje versus la corriente de salida, en la figura 22 mostramos el voltaje versus potencia de salida.

Como valores de entrada y en concordancia con los cálculos previos utilizaremos una temperatura igual a 35 °C y una irradiancia igual a 5000 Watts.

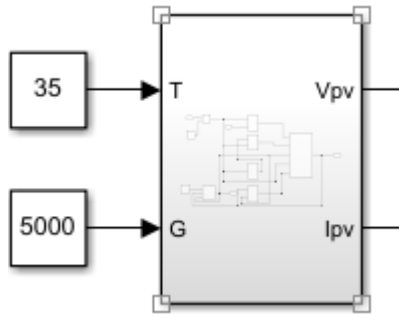


Figura 21. Determinación de la temperatura e Irradiancia.

El eje X representa los valores del voltaje y el eje Y representa los valores de la corriente.

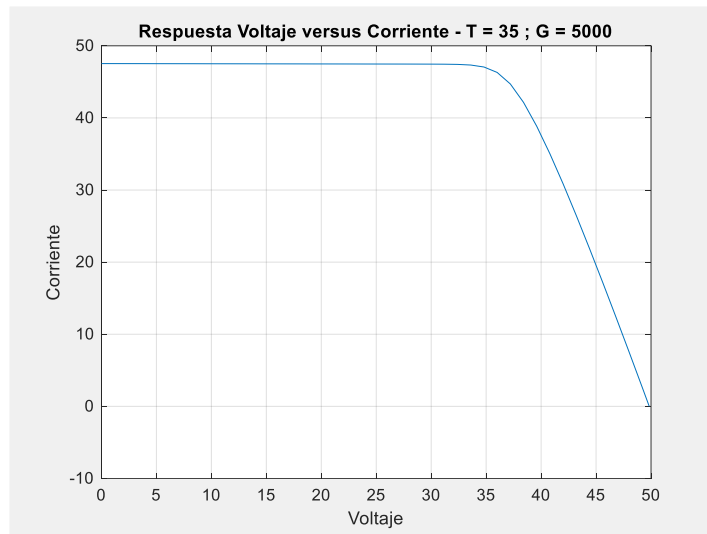


Figura 22. Voltaje versus corriente.

El eje X representa los valores del voltaje y el eje Y representa los valores de la corriente.

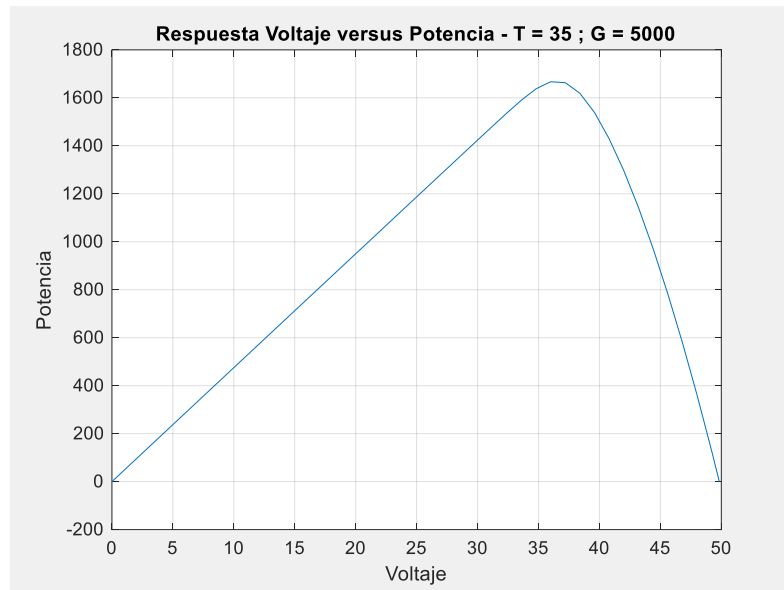


Figura 23. Voltaje versus potencia.

El eje X representa los valores de los voltajes y el eje Y representa los valores de la potencia.

Entonces las graficas de las figuras 21 y 22, se formaron con los valores de voltaje, corriente y potencia que detallamos en la tabla 10, donde el valor máximo se muestra en el ítem 32, que tiene una potencia de 1.6671 KWatts.

Tabla 10. Resultados de los voltajes – corrientes - potencias

T = 35 ; G = 5000			
Ítem	Voltaje	Corriente	Potencia (1.0e+03)
1	0	47.5347	0
2	0	47.5347	0
3	1.2	47.5318	0.057
4	2.4	47.5289	0.1141
5	3.6	47.526	0.1711
6	4.8	47.5232	0.2281
7	6	47.5203	0.2851
8	7.2	47.5174	0.3421
9	8.4	47.5145	0.3991
10	9.6	47.5116	0.4561
11	10.8	47.5087	0.5131
12	12	47.5058	0.5701
13	13.2	47.503	0.627
14	14.4	47.5001	0.684
15	15.6	47.4972	0.741

16	16.8	47.4943	0.7979
17	18	47.4914	0.8548
18	19.2	47.4885	0.9118
19	20.4	47.4856	0.9687
20	21.6	47.4827	1.0256
21	22.8	47.4799	1.0825
22	24	47.477	1.1394
23	25.2	47.4741	1.1963
24	26.4	47.4711	1.2532
25	27.6	47.4681	1.3101
26	28.8	47.4646	1.367
27	30	47.4595	1.4238
28	31.2	47.4493	1.4804
29	32.4	47.4212	1.5364
30	33.6	47.3333	1.5904
31	34.8	47.0593	1.6377
32	36	46.3071	1.6671
33	37.2	44.7072	1.6631
34	38.4	42.1559	1.6188
35	39.6	38.8499	1.5385
36	40.8	35.0291	1.4292
37	42	30.8647	1.2963
38	43.2	26.4647	1.1433
39	44.4	21.8968	0.9722
40	45.6	17.2047	0.7845
41	46.8	12.4178	0.5812
42	48	7.5566	0.3627
43	49.2	2.6358	0.1297
44	49.8378	0	0
45	49.8378	0	0
46	49.8378	0	0
47	49.8378	0	0
48	49.8378	0	0
49	49.8378	0	0
50	49.8378	0	0
51	49.8378	0	0
52	49.8378	0	0
53	49.8378	0	0
54	49.8378	0	0
55	49.8378	0	0

Como valores de entrada y en concordancia con los cálculos previos utilizaremos una temperatura igual a 25 °C y una irradiancia igual a 5000 Watts.

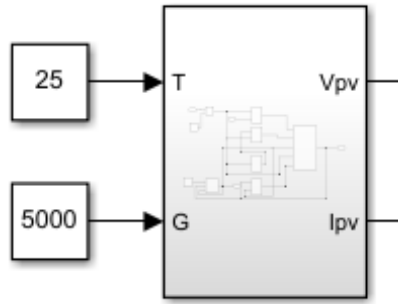


Figura 24. Determinación de la temperatura e Irradiancia.

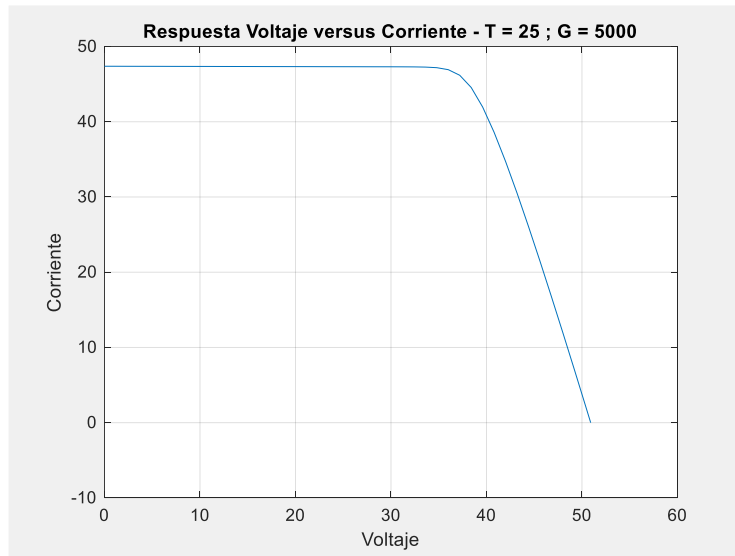


Figura 25. Voltaje versus corriente.

El eje X representa los valores de los voltajes y el eje Y representa los valores de la corriente.

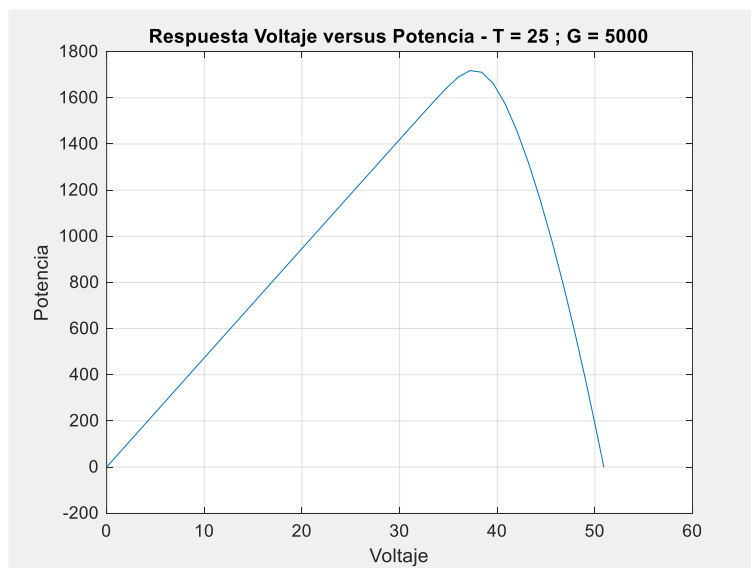


Figura 26. Voltaje versus potencia.

El eje X representa los valores de los voltajes y el eje Y representa los valores de la potencia.

Como valores de entrada y en concordancia con los valores estándares iniciales previos utilizaremos una temperatura igual a 25 °C y una irradiancia igual a 1000 Watts.

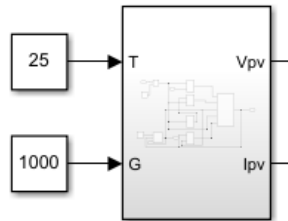


Figura 27. Determinación de la temperatura e Irradiancia.

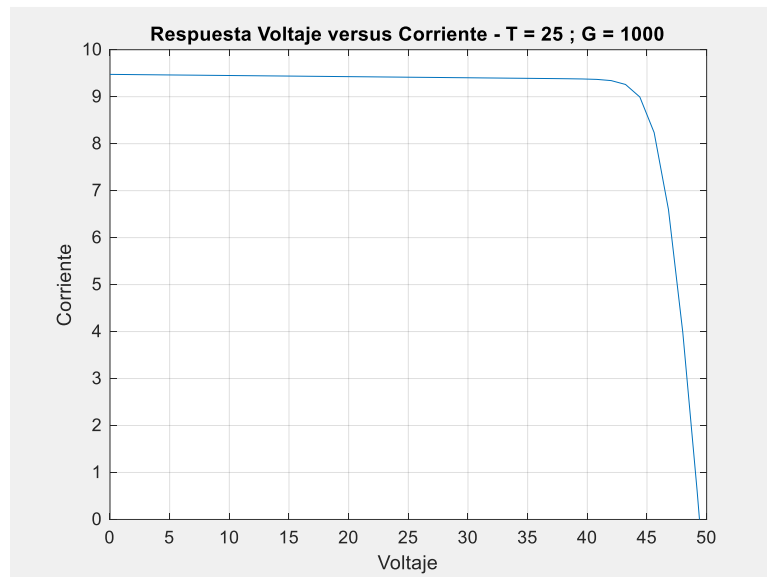


Figura 28. Voltaje versus corriente.

El eje X representa los valores de los voltajes y el eje Y representa los valores de la corriente.

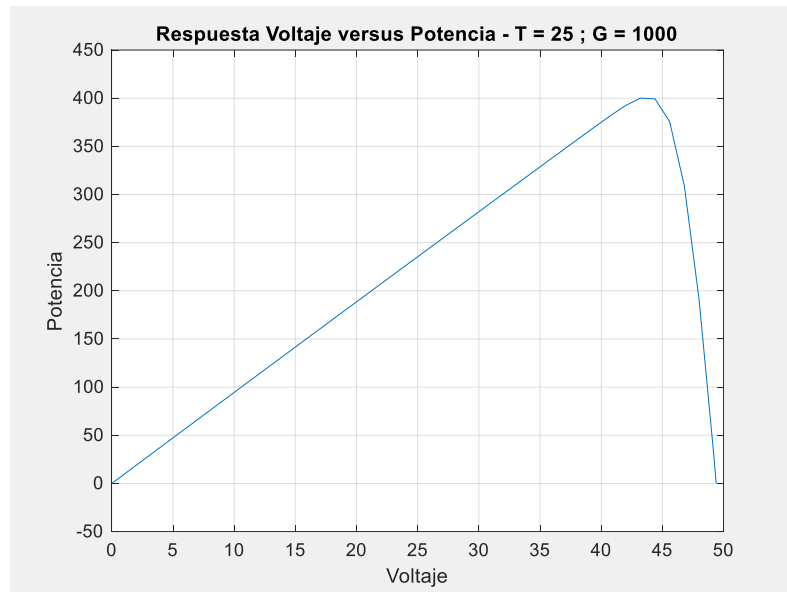


Figura 29. Voltaje versus potencia.

El eje X representa los valores de los voltajes y el eje Y representa los valores de la potencia.

Entonces las graficas de las figuras 27 y 28, se formaron con los valores de voltaje, corriente y potencia que detallamos en la tabla 11, donde el valor máximo se muestra en el ítem 38, que tiene una potencia de 400.0486 Watts.

Tabla 11. Resultados de los Voltajes – Corrientes - Potencias

T = 25; G = 1000			
It	Voltaje	Corriente	Potencia
1	0	9.475	0
2	0	9.475	0
3	1.2	9.4721	11.3665
4	2.4	9.4692	22.726
5	3.6	9.4663	34.0787
6	4.8	9.4634	45.4244
7	6	9.4605	56.7631
8	7.2	9.4576	68.095
9	8.4	9.4547	79.4199
10	9.6	9.4519	90.7379
11	10.8	9.449	102.0489
12	12	9.4461	113.353
13	13.2	9.4432	124.6502
14	14.4	9.4403	135.9405
15	15.6	9.4374	147.2238
16	16.8	9.4345	158.5002

17	18	9.4317	169.7697
18	19.2	9.4288	181.0323
19	20.4	9.4259	192.2879
20	21.6	9.423	203.5366
21	22.8	9.4201	214.7783
22	24	9.4172	226.0132
23	25.2	9.4143	237.2411
24	26.4	9.4114	248.462
25	27.6	9.4086	259.6761
26	28.8	9.4057	270.8832
27	30	9.4028	282.0834
28	31.2	9.3999	293.2766
29	32.4	9.397	304.4629
30	33.6	9.3941	315.6422
31	34.8	9.3912	326.8143
32	36	9.3883	337.9785
33	37.2	9.3853	349.132
34	38.4	9.3819	360.2648
35	39.6	9.3773	371.3393
36	40.8	9.3681	382.2171
37	42	9.3426	392.3903
38	43.2	9.2604	400.0486
39	44.4	8.9935	399.3132
40	45.6	8.2358	375.5524
41	46.8	6.5969	308.7332
42	48	3.9821	191.1407
43	49.2	0.6111	30.0652
44	49.3982	0	0
45	49.3982	0	0
46	49.3982	0	0
47	49.3982	0	0
48	49.3982	0	0
49	49.3982	0	0
50	49.3982	0	0
51	49.3982	0	0
52	49.3982	0	0
53	49.3982	0	0
54	49.3982	0	0

PRESENTACIÓN E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Resultados Descriptivos

Ahora mostraremos los resultados de la información recogida en el trabajo de campo, así como los cálculos realizados teóricamente y los resultados obtenidos en el Simulink de Matlab. Para esto debemos tomar como punto de partida las variables, sus dimensiones e indicadores los cuales son la base de la presente investigación.

Tabla 12. Definición de Variable Independiente

Variable Independiente	Dimensiones	Indicadores
Sistema de Generación Fotovoltaica. (X)	Fuente de Energía. (X1)	Energía Solar (X1.1)
		Energía Eléctrica. (X1.2)

Tabla 13. Definición de Variable Dependiente

Variable Dependiente	Dimensiones	Indicadores
Reducción del consumo de energía eléctrica. (Y)	Potencia eléctrica. (Y1)	Potencia Generada. (Y1.1)
		Mejora Económica. (Y1.2)

Variable independiente

Análisis de Indicadores

Energía Solar (X1.1)

Las coordenadas geográficas de la empresa GDS Infraestructura: Latitud: 11° 58' 33.86" S, Altitud: 77° 6' 13.22" W., dirección este-oeste con Azimut: 7,64° y Elevación: -84.16. datos obtenidos del Google Earth.

La energía solar la mediremos en función a la cantidad de irradiación global disponible, realizamos una recopilación de datos que se detallan en la Tabla 2, siendo que la radiación mínima se dio en el mes de mayo con valor de 4.88 KWh/mes y la radiación máxima se dio en octubre con valor de 5.98 KWh/mes.

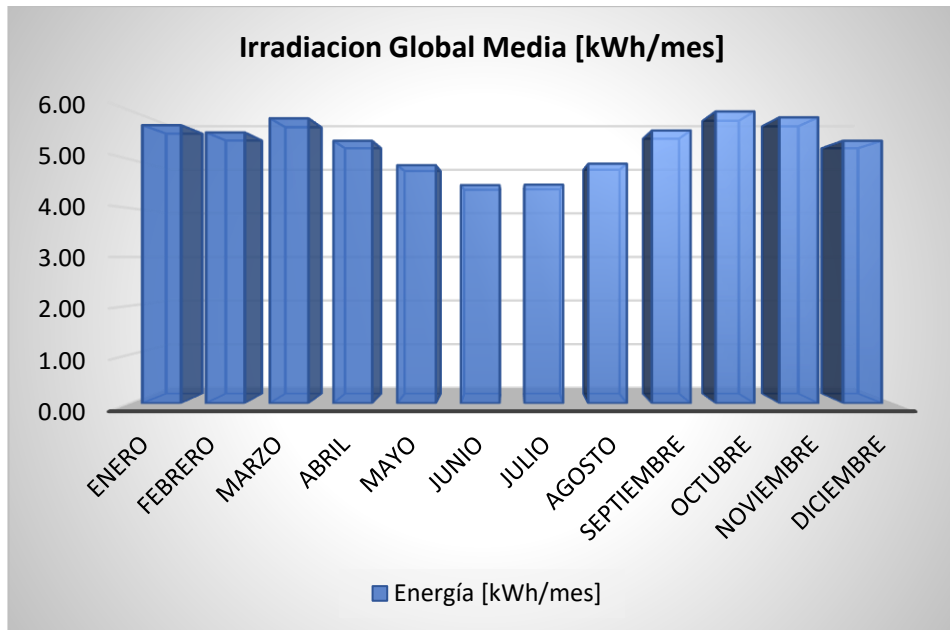


Figura 30. Irradiación solar que disponemos.

La radiación efectiva lo calculamos en base a la radiación global disponible, los datos se detallan en la Tabla 4, siendo que la radiación mínima se dio en el mes de julio con un valor de 127.00 KWh/m²/mes y la radiación máxima se dio en octubre con valor de 175.31 KWh/m²/mes.

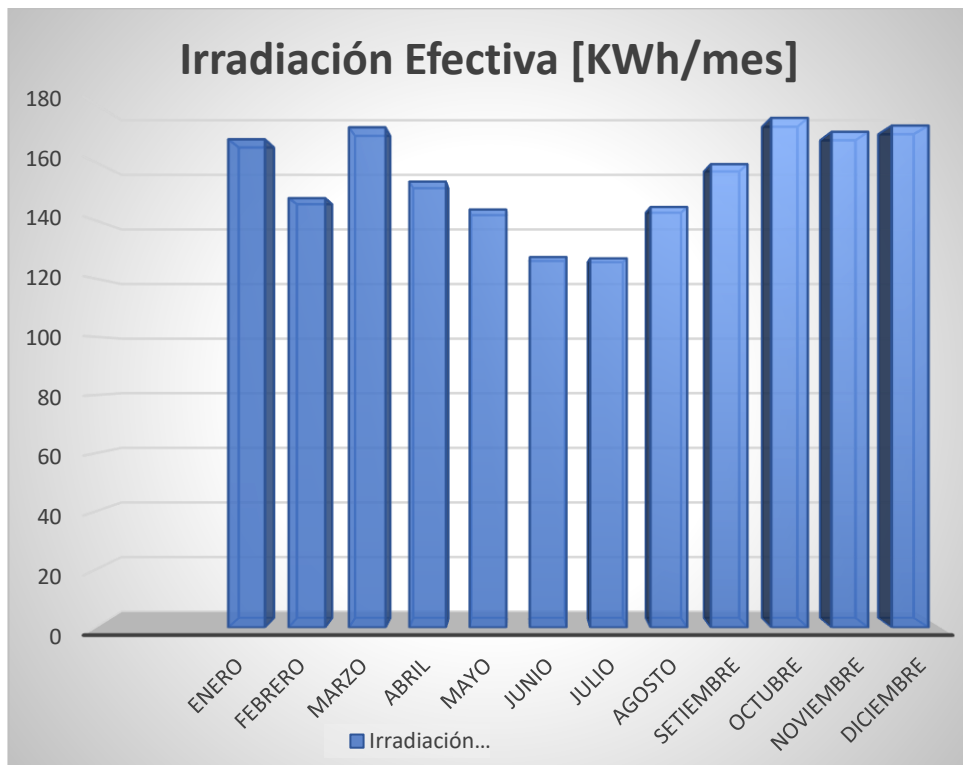


Figura 31. Irradiación efectiva solar que disponemos.

Lo que se puede apreciar es que la energía solar nos proporciona una irradiación que está disponible en todo momento de las horas del día, inclusive hasta los días que se tiene presencia de nubes (día nublado).

Energía Eléctrica (X1.2)

Como punto de partida, cuantificamos la energía eléctrica que consume la empresa para realizar sus actividades de producción. Indicamos el consumo mensual y el consumo diario expresando en kilo watts. Resaltamos que el consumo mensual máximo se dio en el mes de abril con un valor de 1 359 KWh/mes y el consumo mínimo se dio octubre con un valor de 826 KWh/mes.

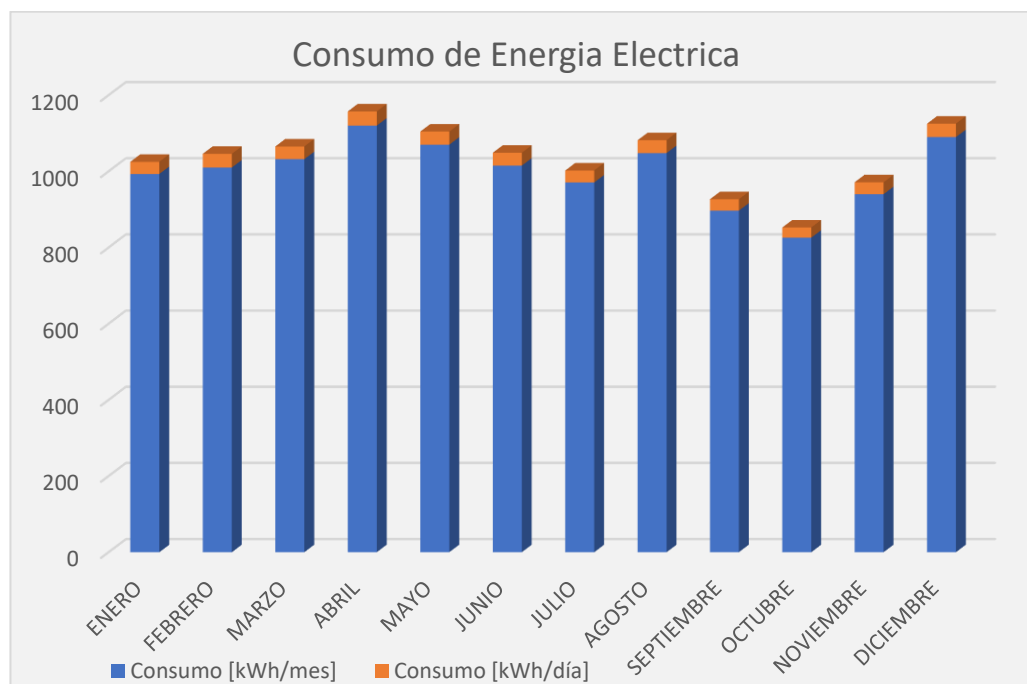


Figura 32. Consumo de energía año 2021

Análisis de la Dimensión Fuente de energía (X1)

Como alcances del presente trabajo, analizamos las fuentes de energía requeridas para que la empresa GDS Infraestructura pueda desarrollar sus actividades económicas, la Energía Solar se analiza con la finalidad de ver su disponibilidad continua y si es una alternativa más económica para que reemplace a la energía eléctrica, y se analiza la fuente de Energía Eléctrica con el fin de determinar si la potencia eléctrica consumida por la empresa es inferior a la que se puede generar con la energía Solar.

La energía solar, al ser inacabable y de disponibilidad permanente y continua, sirve como fuente generadora de potencia eléctrica, su capacidad está en función del dimensionamiento

del Sistema de Generación Fotovoltaica, y de la temperatura e Irradiancia solar que se expone los paneles solares.

Variable Independiente - Sistema de Generación Fotovoltaica (X)

La empresa GDS Infraestructura para el desarrollo de sus actividades económicas, requiere energía eléctrica, la cual puede ser sustituida por energía solar, esta energía solar directamente no puede ser utilizada, previamente requiere del Sistema de Generación Fotovoltaica, quien es la encargada de aprovechar la temperatura e irradiancia, que se encuentra de manera gratuita en la naturaleza y para generar energía eléctrica.

Variable Dependiente (Y)

Análisis de los indicadores

Potencia Generada (Y1.1)

A través del efecto fotovoltaico se genera energía eléctrica, la cuantificamos por su potencia, como principio la potencia generada por el efecto fotovoltaico deberá ser mayor a la potencia consumida por la empresa GDS Infraestructura. Entonces de los valores calculados de las ecuaciones e introducidas al Software Simulink de Matlab, obtenemos los valores que mostramos en la tabla 14.

Tabla 14. Energía consumida vs Energía Generada

Mes	Días	Numero de Paneles	Horas de Exposición	Energía consumida	Energía generada	
				[kWh/mes]	[Wh/dia]	[kWh/mes]
ENERO	31	28	4	993	400.0486	1,389
FEBRERO	28	28	4	1010	400.0486	1,255
MARZO	31	28	4	1032	400.0486	1,389
ABRIL	30	28	4	1120	400.0486	1,344
MAYO	31	28	4	1070	400.0486	1,389
JUNIO	30	28	4	1015	400.0486	1,344
JULIO	31	28	4	971	400.0486	1,389
AGOSTO	31	28	4	1048	400.0486	1,389
SEPTIEMBRE	30	28	4	897	400.0486	1,344
OCTUBRE	31	28	4	826	400.0486	1,389
NOVIEMBRE	30	28	4	940	400.0486	1,344
DICIEMBRE	31	28	4	1336	400.0486	1,389

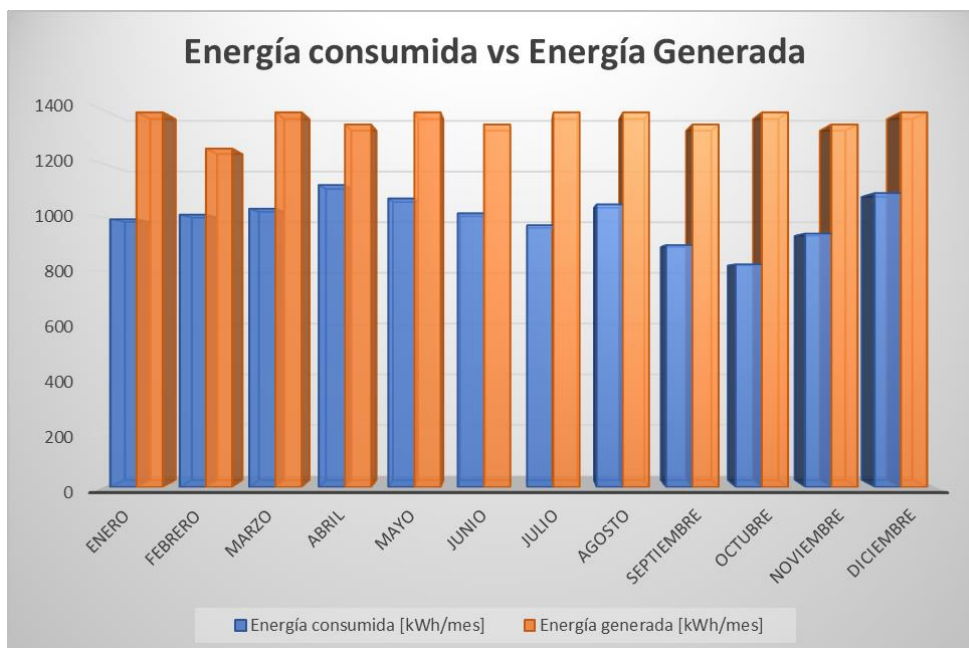


Figura 33. Energía consumida vs Energía Generada

Los cálculos y la simulación nos indica que efectivamente la utilización de un sistema fotovoltaico conectado a la red, suministra la potencia eléctrica necesaria para que la empresa GDS Infraestructura tenga cubierta gran parte de su necesidad energética. Esta necesidad se cubrirá con el Kit Conexión Red Trifásico 12,740W 61 500Wh/día 220V el cual contiene 28 Panel Solar 455W 24V EcoGreen, un Inversor de Conexión a Red FRONIUS Symo 12.0kW y una estructura Cubierta Metálica KH915.

Tabla 15. Características del módulo generador fotovoltaico acoplado a la red

Características del Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red	
Potencia Solar Fotovoltaica Instalada	12,740W
Potencia máxima de salida	12,000W
Producción diaria en Invierno	38.22kWh
Producción diaria en Verano	89.18kWh
Producción Media diaria Anual	63.70kWh
Numero de los Paneles Solares	28
Potencia de los Paneles Solares	455W
Energía Generada al día de media anual	61,50kWh

Mejora Económica (Y1.2)

El sistema generador fotovoltaico producirá 16, 354 KWh en el primer año y de acuerdo al costo de energía se puede calcular el reintegro económico que producirá el sistema.

La empresa GDS Infraestructura tiene un consumo anual de energía y según el pliego tarifario del 2021 el precio unitario por kilo Watts (S/. KWh) es de S/. 1.0772, por tanto:

Valor obtenido en el simulador (Simulink)	16,354 KWh
Promedio Tarifario Eléctrico (PTE) o Tarifa de Energía (TE)	S/. 1.0772 KW
Remuneración lograda por inserción de electricidad producida	S/.17,531.47

Considerando la Selección del Sistema Fotovoltaico con las características que se menciona en la Tabla 5 se presenta la siguiente propuesta económica por concepto de suministro e instalación del Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red:

Tabla 16. Características del módulo generador fotovoltaico conectado a la red

Propuesta económica Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red					
ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANT	PRECIO UNITARIO	COSTO DIRECTO
1	Panel solar JA SOLAR 455W 24V MONOCRISTALINO PERC	UND	28	983.33	27,533.24
2	Inversor Interconexión FRONIUS SYMO 12KW 208-240	UND	1	24,628.50	24,628.50
3	Estructura 6 paneles 30-45mm	UND	4	1,002.08	4,008.32
4	Estructura 4 paneles 30-45mm	UND	1	700.90	700.90
5	Fronius Smart Meter US-240V	UND	1	2,404.63	2,404.63
6	Cable Unifilar 6 mm ² SOLAR PV ZZ-F Rojo	M	75	9.89	741.75
7	Cable Unifilar 6 mm ² SOLAR PV ZZ-F Negro	M	75	9.89	741.75
8	Conector MC4 Multicontact Macho-Hembra	UND	3	19.98	59.94
9	Sensor Toroidal Split Core 50A UL	UND	3	303.15	909.45
10	Instalación de Sistema	UND	1	6,172.85	6,172.85
TOTAL:					67,901.33

Monto expresado en nuevos soles e incluye IGV.

Ahora bien, dado que el costo de inversión, a la fecha de elaboración del proyecto es de S/.67,901.33 y si se tiene en cuenta que la razón de aumento de costo de energía es de 4% anual, se espera recuperar la inversión en aproximadamente 4 años como se observa en la tabla 17.

Tabla 17. Retribución anual producto del sistema generador

Año	Costo de Energía	Generación Anual (Kwh/año)	Retribución	Acumulado
2021	S/ 1.0772	16,354.00	S/ 17,616.53	S/ 17,616.53
2022	S/ 1.1203	16,354.00	S/ 18,321.19	S/ 35,937.72
2023	S/ 1.1651	16,354.00	S/ 19,054.04	S/ 54,991.76
2024	S/ 1.2117	16,354.00	S/ 19,816.20	S/ 74,807.96



Figura 34. Año de recuperación de inversión

Gráficamente se puede ver de la figura 33, que en el cuarto año se recupera lo invertido inicialmente como costo de implementación del proyecto.

Análisis de la dimensión Potencia Eléctrica (Y1)

La cuantificación de la energía eléctrica se realiza con la unidad de energía del Whatts, que indica la potencia, como alcances del presente trabajo, analizamos las fuentes de energía requeridas para que la empresa GDS Infraestructura pueda desarrollar sus actividades económicas, la Energía Solar se analiza con la finalidad de ver su disponibilidad continua y si es una alternativa más económica para que reemplace a la energía eléctrica, y se analiza la fuente de Energía Eléctrica con el fin de determinar si la potencia eléctrica consumida por la empresa es inferior a la que se puede generar con la energía Solar.

La energía solar, al ser inacabable y de disponibilidad permanente y continua, sirve como fuente generadora de potencia eléctrica, su capacidad está en función del dimensionamiento del Sistema de Generación Fotovoltaica, y de la temperatura e Irradiancia solar a la cual se expone los paneles solares.

Variable Dependiente – Reducción del consumo de energía eléctrica (Y)

La empresa GDS Infraestructura para el desarrollo de sus actividades económicas, requiere energía eléctrica, la cual puede ser sustituida por energía solar, esta energía solar directamente no puede ser utilizada, previamente requiere del Sistema de Generación Fotovoltaica, quien es la encargada de aprovechar la temperatura e irradiancia, que se encuentra de manera gratuita en la naturaleza para generar energía eléctrica.

Queda aquí demostrado que al utilizar la energía eléctrica producida por el Sistema de Generación Fotovoltaica, se deja de consumir la energía eléctrica generada por la empresa proveedora del servicio eléctrico, reduciendo el consumo y contribuyendo a una mejora económica luego del periodo previsto para la inversión inicial.

COMPROBACIÓN DE HIPÓTESIS

Contrastación de hipótesis general

En la presente investigación se muestra el dimensionamiento de un Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red, el cual llega a reducir la facturación en el consumo de la demanda de la energía eléctrica de la empresa GDS Infraestructura de hasta un 100% manteniendo el consumo previsto de la empresa en el año 2021.

Contrastación de hipótesis específicas

La energía solar coadyuva a reducir el consumo de energía eléctrica en la empresa GDS Infraestructura.

Es esencial que los paneles solares se implementen en el área descrita en la figura 2 para evitar la generación de sombras y el sistema pueda obtener energía solar de manera natural. Logrando con esto generar la energía eléctrica suficiente para satisfacer la demanda eléctrica de la empresa de acuerdo al dimensionamiento desarrollado en la presente investigación.

La energía eléctrica puede ser reemplazada por energía Solar en la empresa GDS Infraestructura.

Como resultado de la presente investigación obtuvimos que la energía eléctrica suministrada por el Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red planteado puede reemplazar

en un 100% a la energía eléctrica suministrada por el concesionario eléctrico durante el día.

IV DISCUSIÓN

Se contempló determinar el ángulo de inclinación y la temperatura ambiente para dimensionar sistemas fotovoltaicos. Para determinar la potencia nominal de la instalación fotovoltaica se tomaron en consideración los datos de pago de electricidad del año 2021, correspondiente al consumo eléctrico durante ese año, donde se observó un consumo sumamente alto debido a que la empresa se encuentra en un proceso de expansión y crecimiento.

El propósito de generar energía solar a través de paneles solares se ha centrado principalmente en disminuir el consumo de electricidad en las instalaciones de la empresa y, por consiguiente, la emisión de CO₂, cuidando el medio ambiente.

En los sistemas acoplados a una red, el objetivo es maximizar la producción de energía, incluso durante períodos de baja radiación solar. La diferencia fundamental entre un sistema fotovoltaico autónomo y los conectados a red, consiste en la ausencia, en este último caso, del subsistema de acumulación, formado por la batería y la regulación de carga. La interfaz del sistema acoplado a una red permite elegir opciones de monitoreo según el tipo de sistema en el que esté trabajando.

Se evaluó el costo de inversión para instalar el sistema generador fotovoltaico y la disponibilidad del espacio para la colocación óptima de los paneles solares. Se consideró la proyección del panel sobre la horizontal de la azotea para ver si es posible colocar una fila adicional.

V CONCLUSIONES.

Se pudo comprobar que al dimensionar el sistema de generación fotovoltaica conectado a la red, se logró reducir el consumo de energía eléctrica de la empresa GDS Infraestructura.

Se determino que la empresa GDS infraestructura cuenta con el espacio suficiente para poder instalar 28 paneles solares los cuales podrán recibir energía solar de manera natural, sin presencia de sombras que dificulten la generación eficiente de energía eléctrica como se plantea en la presente investigación.

Mediante la simulación en el software Matlab se pudo llegar a la conclusión que la energía eléctrica suministrada por el Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red dimensionado en la presente investigación puede cubrir al 100% la demanda de energía eléctrica en la empresa GDS Infraestructura, logrando así reemplazar la energía eléctrica suministrada por el concesionario eléctrico durante el día.

VI RECOMENDACIONES

Para lograr el objetivo de reducir el consumo de energía eléctrica planteado en la presente investigación se debe de implementar el SFCCR siguiendo los lineamientos técnicos mencionados en la presente investigación. De lo contrario se debe de especificar y sustentar con cálculos determinados el cambio del equipamiento sugerido.

El conjunto del panel solar debe colocarse en un ángulo constante de 11.98° , lejos de concentraciones de polvo. La disposición de los paneles fotovoltaicos deberá realizarse teniendo en cuenta las magnitudes eléctricas necesarias para integrar estos elementos en el sistema. Los módulos fotovoltaicos a instalar deben cumplir con: *IEC 61215*, con *IEC 60529* para determinar el grado de protección y la norma *IEC 61730* que cubre los factores de seguridad eléctrica en la construcción, uso y pruebas de calidad.

El potencial de energía solar que se tiene en la ubicación de la empresa es considerable. Por tal motivo la generación de energía eléctrica en esta zona es de sumo interés. Se debe de incrementar el interés en la normativa vigente la cual aun no implementa un reglamento específico para la inyección de energía eléctrica excedente de nuestro sistema eléctrico al Sistema Eléctrico Interconectado Nacional.

VII REFERENCIA BIBLIOGRAFICAS

- [1] C. Buele y A. Chazi, «Modelación del sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica en la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca. Repositorio Institucional UPS. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/18210/1/UPS-CT008653.pdf>».
- [2] Vega-Carranza, K., Piedra-Segura, J. F., & Richmond-Navarro, G. (2019), «Dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos mediante una interfaz gráfica | Revista Tecnología en Marcha», sep. 2019, Accedido: 7 de febrero de 2023. [En línea]. Disponible en: https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/4480/4076
- [3] Villegas, E y Alcivar, T. (2020), «Diseño de un sistema fotovoltaico para la Escuela de Educación Básica Simón Bolívar en la comunidad Masa 2, Golfo de Guayaquil. [Tesis de Licenciatura, Universidad Politécnica Salesiana Ecuador]. Repositorio Institucional UPS.», [En línea]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19525/1/UPS-GT003047.pdf>
- [4] Placencia, J (2018), «Diseño de un Sistema Fotovoltaico Interconectado a Red de 4.5 Kw en el Complejo Policial la Despensa - en el Distrito de José Leonardo Ortiz - Provincia de Chiclayo - Lambayeque [Tesis de grado, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]. Repositorio Institucional UNPRG», [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/2631/BC-TES-TMP-1505.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [5] «Chura, V (2020). "Diseño, implementación y análisis económico de un sistema fotovoltaico conectado a la red (SFCCR) de 3 kw con inversor string analizado en las condiciones geográficas y climatológicas de la ciudad de Juliaca".pdf». Accedido: 8 de febrero de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.unaj.edu.pe/bitstream/handle/UNAJ/118/Vianey%20Daysi%20Chura%20Palli%20TESIS%20FINAL%20%281%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [6] Chukiwanka A (2020), «Diseño, implementación y análisis económico de un sistema de suministro de energía renovable al circuito de distribución interna de iluminación del edificio Pedro Paulet de la Universidad Católica San Pablo – Arequipa», *Univ. Católica San Pablo*, 2020, Accedido: 8 de febrero de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.ucsp.edu.pe/handle/20.500.12590/16559>
- [7] Poclin, E. (2021), «Diseño y análisis de un sistema de paneles fotovoltaicos para la alimentación eléctrica de extractores helicocentrífugos en una de las instalaciones del nuevo Hospital de Moquegua», *Repos. Tesis - UNMSM*, 2021, Accedido: 8 de febrero de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/16737>

- [8] «Príncipe, Y. (2019). Diseño del sistema fotovoltaico de 3 kw en zonas rurales de Socorro, Huarumpa y Yanuna del Distrito de Paucas-Huari-Ancash. [Tesis de grado, Universidad Tecnológica del Perú]. Repositorio Institucional UTP». Accedido: 8 de febrero de 2023. [En línea]. Disponible en: https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/2945/Yonaldo%20Principe_Trabajo%20de%20Suficiencia%20Profesional_Titulo%20Profesional_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [9] Leon, K., Fernández M. (2021). DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO E INTERCONECTADO A LA RED PARA LA REDUCCIÓN DEL COSTO DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE LA EMPRESA MOTOREX S.A. – 2021. [Tesis de grado, Universidad Nacional del Callao]. Repositorio Institucional UNAC.
- [10] «Hernández, R., Fernández, C y Baptista, P. (2014). Metodología de la investigación. (6ª edición.). México D.F.: McGraw-Hill. <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>». Accedido: 10 de febrero de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>
- [11] «Arias, F. (2012). El proyecto de investigación. Introducción a la metodología científica (6ª edición.). Caracas: Editorial Episteme.» Accedido: 10 de febrero de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://abacoenred.com/wp-content/uploads/2019/02/El-proyecto-de-investigaci%C3%B3n-F.G.-Arias-2012-pdf-1.pdf>
- [12] P. W. Stackhouse, «Surface meteorology and Solar Energy». Accedido: 9 de febrero de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://ntrs.nasa.gov/citations/20080012200>
- [13] Villegas, W. (2021), «ESTUDIO PARA EL SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA EL “MERCADO SAN ROQUE”». [Tesis de Licenciatura, Escuela Politécnica Nacional]. Repositorio Institucional EPN., [En línea]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/21569/1/CD%2011073.pdf>
- [14] Ramos, JA., Campayo, JJ., Zamora, B., Zueleta, E., & Puelles, E. (2010), «Modelling of Photovoltaic Module. International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ), 23(25). <https://icrepq.com/icrepq'10/619-Hernanz.pdf>», *Renew. Energy Power Qual. J.*, vol. 1, n.º 08, pp. 1186-1190, abr. 2010, doi: 10.24084/repqj08.619.
- [15] «Escuela Universitaria de Formación Abierta (2010). Energía Solar Fotovoltaica. España: Master D, Universidad Camilo José Cela.»

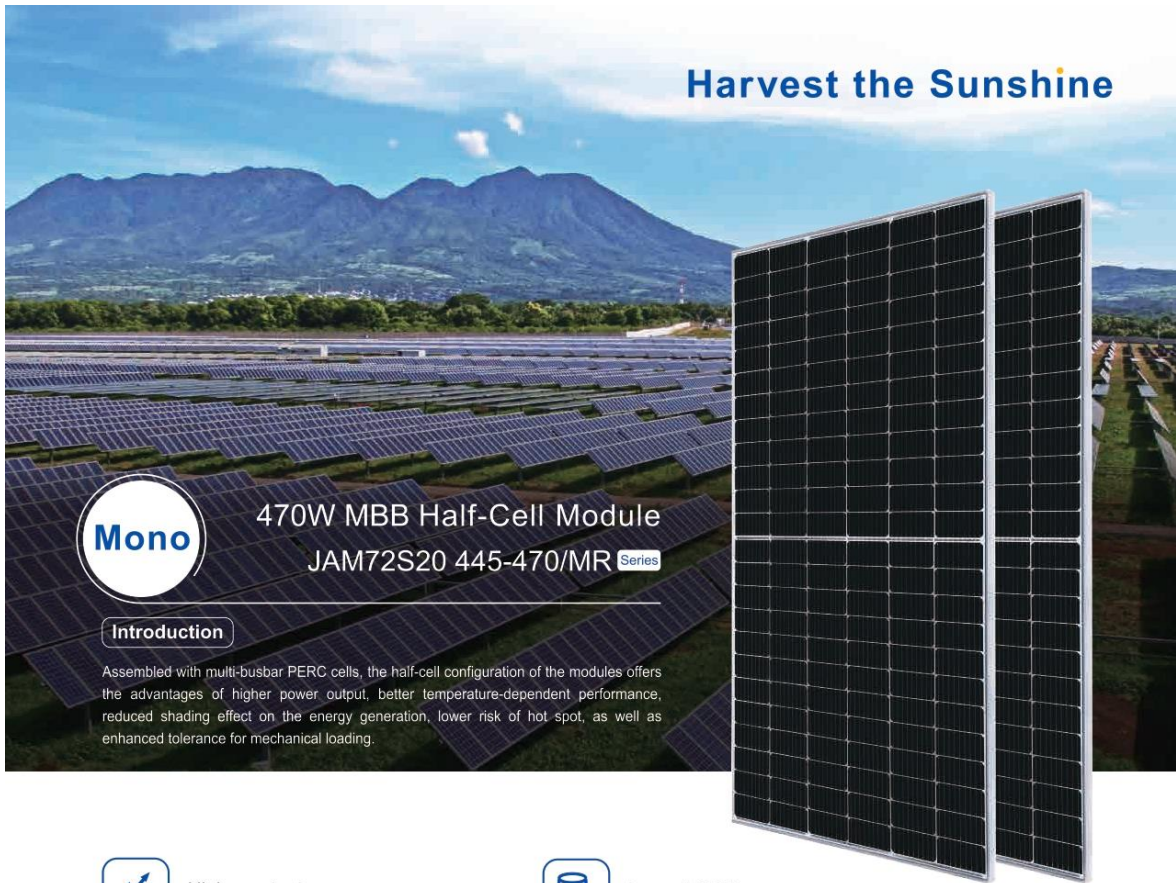
- [16] Álvarez, A y Serna, F. (2012), «Normativa sobre energía solar térmica y fotovoltaica.» https://nanopdf.com/download/normatividad-sobre-energia-solar-termica-y-fotovoltaica_pdf (accedido 9 de febrero de 2023).
- [17] «Perpiñán, O., Colmenar, S., y Castro, M. (2012). Diseño de sistemas fotovoltaicos. (1ª .edición)». Accedido: 9 de febrero de 2023. [En línea]. Disponible en: https://www.soltuyo.com/libros/esf_imgr-051tco-4.pdf
- [18] «Germán, A. (2010). Instalaciones solares fotovoltaicas. (1ª .edición)», *Scribd*. <https://es.scribd.com/document/556578025/Instalaciones-Solares-Fotovoltaicas-Agustin-Castejon-Oliva-German-Santamaria-Herranz-Indice-1-Modulos-Fotovoltaicos-Energia-Solar-Fotovoltaica-Coorden> (accedido 10 de febrero de 2023).
- [19] Germán, A. (2010), «Instalaciones solares fotovoltaicas. (1ª .edición). Editex», *Scribd*. <https://es.scribd.com/document/556578025/Instalaciones-Solares-Fotovoltaicas-Agustin-Castejon-Oliva-German-Santamaria-Herranz-Indice-1-Modulos-Fotovoltaicos-Energia-Solar-Fotovoltaica-Coorden> (accedido 9 de febrero de 2023).

VIII ANEXOS

ANEXO A: Matriz de consistencia del dimensionamiento de un sistema de generación fotovoltaica conectado a la red para la reducción del consumo de energía eléctrica en la empresa GDS Infraestructura.

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPOTESIS	OPERACIONALIZACION DE VARIABLES			METODOS
Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Variable Independiente	Dimensiones	Indicadores	METODOS
¿Como el dimensionamiento de un sistema fotovoltaico permite la reducción del consumo de energía eléctrica en la empresa GDS Infraestructura?	Realizar el dimensionamiento de un sistema fotovoltaico que permita la reducción del consumo de energía eléctrica en la empresa GDS Infraestructura.	El dimensionamiento de un sistema fotovoltaico reduce el consumo de energía eléctrica en la empresa GDS Infraestructura.	Sistema de Generación Fotovoltaica.	Fuente de Energía.	Energía Solar	Tipo de investigación: es del tipo aplicada
					Energía Eléctrica.	
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Especificas	Variable Dependiente	Dimensiones	Indicadores	
¿De que manera la energía solar coadyuva a reducir el consumo de energía eléctrica en la empresa GDS Infraestructura?	Determinar de que manera la energía solar coadyuva a reducir el consumo de energía eléctrica en la empresa GDS Infraestructura.	La energía solar coadyuva a reducir el consumo de energía eléctrica en la empresa GDS Infraestructura.	Reducción del consumo de energía eléctrica.	Potencia eléctrica.	Potencia Generada.	Diseño de investigación: El tipo de diseño es transversal.
¿De que manera la energía eléctrica puede ser reemplazada por energía Solar en la empresa GDS Infraestructura?	Determinar de que manera la energía eléctrica puede ser reemplazada por energía Solar en la empresa GDS Infraestructura.	La energía eléctrica puede ser reemplazada por energía Solar en la empresa GDS Infraestructura				

ANEXO B: Ficha técnica Panel Solar JA SOLAR 455W 24V Monocristalino PERC



Mono

470W MBB Half-Cell Module
JAM72S20 445-470/MR Series

Introduction

Assembled with multi-busbar PERC cells, the half-cell configuration of the modules offers the advantages of higher power output, better temperature-dependent performance, reduced shading effect on the energy generation, lower risk of hot spot, as well as enhanced tolerance for mechanical loading.



Higher output power



Lower LCOE



Less shading and lower resistive loss

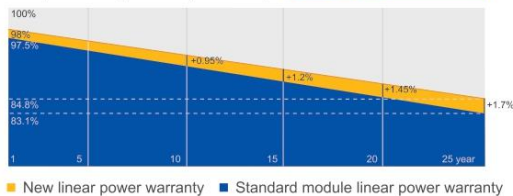


Better mechanical loading tolerance

Superior Warranty

- 12-year product warranty
- 25-year linear power output warranty

0.55% Annual Degradation Over 25 years



Comprehensive Certificates

- IEC 61215, IEC 61730, UL 61215, UL 61730
- ISO 9001: 2015 Quality management systems
- ISO 14001: 2015 Environmental management systems
- ISO 45001:2018 Occupational health and safety management systems
- IEC 62941: 2019 Terrestrial photovoltaic (PV) modules - Quality system for PV module manufacturing



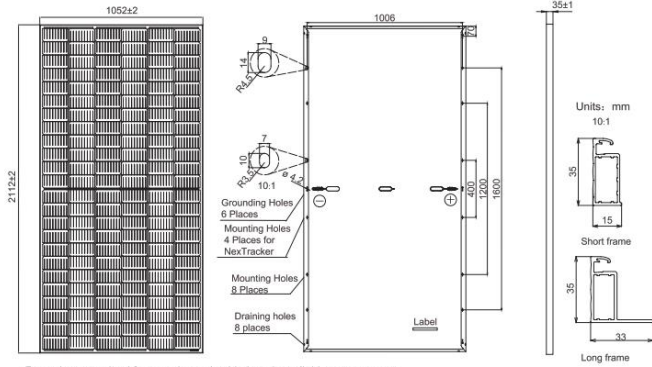
JA SOLAR

www.jasolar.com

Specifications subject to technical changes and tests.
JA Solar reserves the right of final interpretation.



MECHANICAL DIAGRAMS



Remark: customized frame color and cable length available upon request

SPECIFICATIONS

Cell	Mono
Weight	24.5kg
Dimensions	2112±2mm×1052±2mm×35±1mm
Cable Cross Section Size	4mm ² (IEC) . 12 AWG(UL)
No. of cells	144 (6×24)
Junction Box	IP68, 3 diodes
Connector	MC4-EVO2/ QC 4.10-35
Cable Length (Including Connector)	Portrait: 300mm(+)/400mm(-); Landscape: 1200mm(+)/1200mm(-)
Packaging Configuration	31pcs/pallet 682pcs/40ft Container

ELECTRICAL PARAMETERS AT STC

TYPE	JAM72S20 -445/MR	JAM72S20 -450/MR	JAM72S20 -455/MR	JAM72S20 -460/MR	JAM72S20 -465/MR	JAM72S20 -470/MR
Rated Maximum Power(Pmax) [W]	445	450	455	460	465	470
Open Circuit Voltage(Voc) [V]	49.56	49.70	49.85	50.01	50.15	50.31
Maximum Power Voltage(Vmp) [V]	41.21	41.52	41.82	42.13	42.43	42.69
Short Circuit Current(Isc) [A]	11.32	11.36	11.41	11.45	11.49	11.53
Maximum Power Current(Imp) [A]	10.80	10.84	10.88	10.92	10.96	11.01
Module Efficiency [%]	20.0	20.3	20.5	20.7	20.9	21.2
Power Tolerance	0~+5W					
Temperature Coefficient of Isc(α _{Isc})	+0.044%/°C					
Temperature Coefficient of Voc(β _{Voc})	-0.272%/°C					
Temperature Coefficient of Pmax(γ _{Pmp})	-0.350%/°C					
STC	Irradiance 1000W/m ² , cell temperature 25°C, AM1.5G					

Remark: Electrical data in this catalog do not refer to a single module and they are not part of the offer. They only serve for comparison among different module types.

ELECTRICAL PARAMETERS AT NOCT

TYPE	JAM72S20 -445/MR	JAM72S20 -450/MR	JAM72S20 -455/MR	JAM72S20 -460/MR	JAM72S20 -465/MR	JAM72S20 -470/MR
Rated Max Power(Pmax) [W]	336	340	344	348	352	355
Open Circuit Voltage(Voc) [V]	46.65	46.90	47.15	47.38	47.61	47.84
Max Power Voltage(Vmp) [V]	38.95	39.19	39.44	39.68	39.90	40.10
Short Circuit Current(Isc) [A]	9.20	9.25	9.29	9.33	9.38	9.42
Max Power Current(Imp) [A]	8.64	8.68	8.72	8.76	8.81	8.86
NOCT	Irradiance 800W/m ² , ambient temperature 20°C, wind speed 1m/s, AM1.5G					

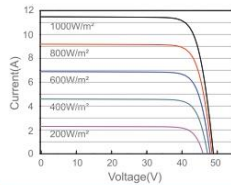
*For NexTracker installations, Maximum Static Load, Front is 1800Pa while Maximum Static Load, Back is 1800Pa.

OPERATING CONDITIONS

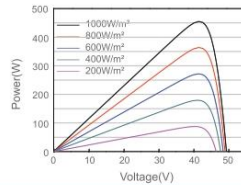
Maximum System Voltage	1000V/1500V DC
Operating Temperature	-40°C~+85°C
Maximum Series Fuse Rating	20A
Maximum Static Load, Front*	5400Pa(112 lb/ft ²)
Maximum Static Load, Back*	2400Pa(50 lb/ft ²)
NOCT	45±2°C
Safety Class	Class II
Fire Performance	UL Type 1

CHARACTERISTICS

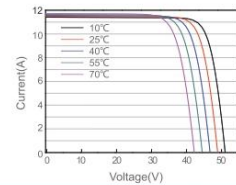
Current-Voltage Curve JAM72S20-455/MR



Power-Voltage Curve JAM72S20-455/MR



Current-Voltage Curve JAM72S20-455/MR



ANEXO C: Ficha técnica Inversor Interconexión FRONIUS Symo 12kW 208-240

/ Perfect Welding / Solar Energy / Perfect Charging



FRONIUS SYMO

Máxima flexibilidad para las aplicaciones de mañana





PC Board
Proceso de
reemplazo



Tecnología
SnapInverter



Comunicación
de datos
integrados



Diseño
Superflex



Smart Grid &
Certificación
NEC 2014



Dynamic Peak
Manager



AFCI
Integrado

Con categorías de potencia del 10 al 24 kW, el inversor trifásico sin transformador Fronius Symo es una perfecta solución compacta para aplicaciones comerciales. Su doble seguimiento del punto de máxima potencia, alta tensión máxima del sistema, amplio rango de voltaje de garantía y el uso sin restricciones en interiores y exteriores garantiza la máxima flexibilidad en el diseño del sistema fotovoltaico. Como miembro de la nueva familia SnapInverter, el Fronius Symo cuenta con el sistema de montaje SnapInverter, lo que permite instalaciones y servicios de campo seguros y convenientes. Las características líderes en la industria ahora vienen de serie con el Fronius Symo, incluyendo: protección de arco, monitorización inalámbrica integrada e interfaces SunSpec Modbus para el seguimiento y registro de datos a través de la plataforma móvil o en línea Fronius, Solar.web. Esto hace al Fronius Symo uno de los inversores con mayor conectividad, eficiencia y de fácil uso en el mercado. La versión SYMO Light no incluye la tarjeta de monitoreo integrada.

DATOS TÉCNICOS

DATOS GENERALES		ESTÁNDAR PARA TODOS LOS MODELOS SYMO		DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN ESTÁNDAR PARA TODOS LOS MODELOS SYMO																	
Dimensiones (ancho x alto x largo)		72.5 x 51.0 x 22.5 cm		AFCI & Conformidad NEC 2014																	
Envoltorio		NEMA 4X		Interrupción de falla a tierra por monitorización de aislamiento																	
Consumo nocturno		< 1 W		Desconexión de CD																	
Tecnología del inversor		Sin transformador		Polaridad inversa CD																	
Enfriamiento		Ventilador de velocidad variable																			
Instalación		Interior y Exterior																			
Temperatura ambiente admisible		-40 a 60°C																			
Humedad relativa admisible		0 - 100 % (sin condensación)																			
Terminales de conexión CD		6x CD+ y 6x CD- terminales de tornillo para cobre (sólido / trenzado / trenzado fino) o aluminio (sólido / trenzado)																			
Terminales de conexión CA		Terminales de tornillo 14-6 AWG																			
Certificaciones y cumplimiento de estándares (Excepto Symo 15.0 208)		UL 1741-2010, UL 1998 (para funciones: AFCI, RCMU y monitorización de aislamiento), IEEE 1547.1-2003, IEEE 1547.1-2008, ANSI/IEEE C62.41, FCC Parte 15 A y B; NEC 2014 Artículo 690, C.2.2 No. 107.1-01 (Septiembre 2001), UL1699B Issue 2-2013, CSA TIL M-07 Issue 1-2013		<table border="1"> <thead> <tr> <th>INTERFACES</th> <th>DISPONIBILIDAD</th> <th>DISPONIBLE EN TODOS LOS MODELOS SYMO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>USB (Socket tipo A)</td> <td>Estándar</td> <td>Registro de datos y actualización de firmware via USB</td> </tr> <tr> <td>2x RS422 (RJ45 socket)</td> <td>Estándar</td> <td>Fronius Solar.Net; protocolo de interfaz</td> </tr> <tr> <td>WiFi® / Ethernet / Serie / Datalogger y servidor web</td> <td>Opcional</td> <td>Estándar inalámbrico 802.11 b/g/n Fronius Solar.web, SunSpec Modbus TCP, JSO/N, SunSpec Modbus RTU</td> </tr> <tr> <td>6 E/S digitales configurables + 4 entradas digitales + 1 contacto de rele</td> <td>Opcional</td> <td>Gestión de cargas eléctricas; encendido de señales, E/S multipropósito</td> </tr> </tbody> </table>			INTERFACES	DISPONIBILIDAD	DISPONIBLE EN TODOS LOS MODELOS SYMO	USB (Socket tipo A)	Estándar	Registro de datos y actualización de firmware via USB	2x RS422 (RJ45 socket)	Estándar	Fronius Solar.Net; protocolo de interfaz	WiFi® / Ethernet / Serie / Datalogger y servidor web	Opcional	Estándar inalámbrico 802.11 b/g/n Fronius Solar.web, SunSpec Modbus TCP, JSO/N, SunSpec Modbus RTU	6 E/S digitales configurables + 4 entradas digitales + 1 contacto de rele	Opcional	Gestión de cargas eléctricas; encendido de señales, E/S multipropósito
INTERFACES	DISPONIBILIDAD	DISPONIBLE EN TODOS LOS MODELOS SYMO																			
USB (Socket tipo A)	Estándar	Registro de datos y actualización de firmware via USB																			
2x RS422 (RJ45 socket)	Estándar	Fronius Solar.Net; protocolo de interfaz																			
WiFi® / Ethernet / Serie / Datalogger y servidor web	Opcional	Estándar inalámbrico 802.11 b/g/n Fronius Solar.web, SunSpec Modbus TCP, JSO/N, SunSpec Modbus RTU																			
6 E/S digitales configurables + 4 entradas digitales + 1 contacto de rele	Opcional	Gestión de cargas eléctricas; encendido de señales, E/S multipropósito																			
Certificaciones y cumplimiento de estándares Fronius Symo 15.0 208		UL 1741-2015, UL 1998 (para funciones: AFCI, RCMU y monitorización de aislamiento), IEEE 1547-2003, 1547.1-2008, IEEE 1547.1-2008, ANSI/IEEE C62.41, FCC Parte 15 A y B; NEC 2014 Artículo 690, C.2.2 No. 107.1-01 (Septiembre 2001), UL1699B Issue 2-2013, CSA TIL M-07 Issue 1-2013																			

DATOS DE ENTRADA CD	SYMO 10.0-3 208/240	SYMO 12.0-3 208/240	SYMO 10.0-3 480	SYMO 12.5-3 480	SYMO 15.0-3 208
Peso (kg)	41.7		34.8		35.8
Potencia FV Recomendada (kWp)	8.0 - 13.0	9.5 - 15.5	8.0 - 13.0	10.0 - 16.0	12.0 - 19.5
Máxima corriente de entrada nominal (MPPT1/MPPT2)	25.0 A / 16.5 A		-		50.0 A
Máxima corriente (MPPT1 + MPPT2)	41.5 A		-		50.0 A
Máxima corriente de entrada admisible (MPPT1/MPPT2)	37.5 A / 24.8 A		-		75.0 A
Rango de tensión de operación	300 - 500 V		300 - 800 V	350 - 800 V	325 - 850 V
Máxima tensión de entrada	600 V		1000 V		-
Tensión nominal de entrada	208	350 V	350 V	-	-
	240	370 V	370 V	-	325 V
	480	-	675 V	665 V	-
Tamaño de conductor admisible de CD	AWG 14 - AWG 6 Cobre directo, AWG 6 Aluminio directo, AWG 4 Cobre o Aluminio con combinador de entrada				
Rango de tensión MPP	200 V - 480 V		240 V - 480 V		270 V - 480 V
Número de MPPT	-		2		1

DATOS TÉCNICOS

DATOS DE SALIDA CA		SYMO 10.0-3 208/240	SYMO 12.0-3 208/240	SYMO 10.0-3 480	SYMO 12.5-3 480	SYMO 15.0-3 208
Potencia máxima de salida	208 V	9995 VA	11995 VA	-	-	15000 VA
	240 V	9995 VA	11995 VA	-	-	-
	480 V	-	-	9995 VA	12495 VA	-
Máxima corriente de salida	208 V	27.7 A	33.3 A	-	-	41.6 A
	220 V	26.1 A	31.5 A	-	-	39.4 A
	240 V	24.0 A	28.9 A	-	-	-
	440 V	-	-	13.1 A	16.4 A	-
	480 V	-	-	12.0 A	15.0 A	-
OCPD / Breaker CA recomendado	208 V	35 A	45 A	-	-	60 A
	240 V	30 A	40 A	-	-	-
	480 V	-	-	15 A	20 A	-
Eficiencia máxima		97.0 %	-	-	98.1 %	97.3 %
	208 V	96.5 %	-	-	-	96.5 %
	240 V	96.5 %	-	-	-	-
	480 V	-	-	96.5 %	97.0 %	-
Tamaño de conductor de CA admisible		AWG 14 - AWG 6				
Tensión de red		208 / 220 / 240 V Delta		480V Delta + N**		208 / 220 V Delta
Frecuencia nominal		60 Hz				
Distorsión armónica Total		< 1.5 %		< 1.75 %		< 1.5 %
Factor de potencia (cos φ _{av})		1 (ajustable - 0.85 ind./0.85 cap.)				

DATOS DE ENTRADA CD		SYMO 15.0-3 480	SYMO 17.5-3 480	SYMO 20.0-3 480	SYMO 22.7-3 480	SYMO 24.0-3 480
Potencia FV recomendada (kWp)		12.0 - 19.5	14.0 - 23.0	16.0 - 26.0	18.0 - 29.5	19.0 - 31.0
Máxima corriente de entrada nominal (MPPT1 / MPPT2)		33.0 A / 25.0 A				
Máxima corriente total MPPT1 + MPPT2 (Usando kit de conector CD)		51 A				
Máxima corriente de entrada admisible (MPPT1 / MPPT2)		49.5 A / 37.5 A				
Portafusibles incluidos CD		6- y 6+ incluidos (4,251,006)				
Rango de voltaje MPP		350 - 800 V	400 - 800 V	450 - 800 V	500 - 800 V	
Tensión de operación		200 - 1000 V				
Máxima tensión de entrada		1000 V				
Tensión nominal de entrada		480 V	685 V	695 V	710 V	720 V
Tamaño de conductor admisible de CD		AWG 14 - AWG 6 cobre directo, AWG 6 aluminio directo, AWG 4 - AWG 2 cobre o aluminio con combinator de entradas				
Número de MPPT		2				

DATOS DE SALIDA CA		SYMO 15.0-3 480	SYMO 17.5-3 480	SYMO 20.0-3 480	SYMO 22.7-3 480	SYMO 24.0-3 480
Máxima potencia de salida		14995 VA	17495 VA	19995 VA	22727 VA	23995 VA
Máxima corriente de salida		18.0 A	21.0 A	24.0 A	27.3 A	28.9 A
OCPD / Breaker CA recomendado		25 A	30 A		35 A	40 A
Máxima eficiencia		98 %				
Eficiencia CEC		97.5 %				
Tamaño de conductor de CA admisible		AWG 14 - AWG 6				
Tensión de red		480V Delta + N**				
Frecuencia nominal		60 Hz				
Distorsión armónica Total		< 1.5 %	< 1.25 %	< 1.0 %	1.25 %	< 1.0 %
Factor de potencia (cos φ _{av})		1 (ajustable - 0.85 ind./0.85 cap.)				

* El término Wi-fi es una marca registrada de la alianza Wi-fi

** Neutro indispensable para su correcto funcionamiento.

Nota: Información válida para México, Belize, Guatemala, Nicaragua, Honduras, El Salvador, Costa Rica y Panamá

/ Perfect Welding / Solar Energy / Perfect Charging

SOMOS TRES UNIDADES DE NEGOCIO CON UN MISMO OBJETIVO: ESTABLECER LOS ESTÁNDARES MEDIANTE EL AVANCE TECNOLÓGICO.

/ Lo que comenzó en 1945 como una operación unipersonal ahora establece estándares tecnológicos en los campos de tecnología de soldadura, energía fotovoltaica y carga de baterías. Hoy la compañía tiene alrededor de 3.800 empleados en todo el mundo y 1.242 patentes para el desarrollo de productos muestran el espíritu innovador dentro de la empresa. El desarrollo sostenible significa para nosotros implementar aspectos ambientales relevantes y sociales por igual con los factores económicos. Nuestro objetivo se ha mantenido constante durante todo el tiempo para ser el líder de innovación.

Para obtener información más detallada sobre todos los productos de Fronius y nuestros distribuidores y representantes en todo el mundo, visite www.fronius.mx

Fronius México S.A. de C.V.
Fronius Monterrey
Carretera Monterrey Saltillo 3279
Privadas de Santa Catarina
66367 Santa Catarina, N.L.
México
Teléfono +52 81 8882 8200
pv-sales-mexico@fronius.com
www.fronius.mx

Texto e imágenes según el estado técnico en el momento de la impresión. Sujeto a modificaciones. No podemos garantizar la exactitud de todos los datos a pesar de su cuidadosa edición, declinamos por ello cualquier responsabilidad. Copyright © 2019 Fronius®. Todos los derechos reservados.

ANEXO D: Ficha técnica Fronius Smart Meter US-240V

/ Perfect Welding / Solar Energy / Perfect Charging



FRONIUS SMART METER

/ Bidirectional energy meter for feed-in management and energy consumption monitoring



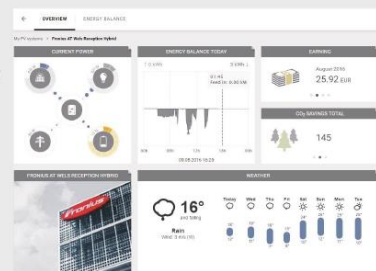
/ Are you facing feed-in limitations for a solar system, or would you like to monitor a house's energy consumption? Fronius has you covered: Introducing the Fronius Smart Meter, a bidirectional energy meter. Thanks to high accuracy and fast communication via Modbus RTU, the meter is suitable for various applications, such as dynamic feed-in management. Together with Fronius Solar.web, the Fronius Smart Meter offers a detailed overview of energy consumption within a home or business. The Fronius Smart Meter is compatible with the Fronius Galvo, Fronius Primo, Fronius Symo and the upcoming Fronius Primo Hybrid inverters.

FRONIUS SMART METER

TECHNICAL DATA	FRONIUS SMART METER 240 V-3 UL	FRONIUS SMART METER 480 V-3 UL
Operating Voltage Range (Line to Line)	166 V – 276 V	384 V – 552 V
Power Line Frequency Range	50 Hz to 60Hz	
Connectors	Euroblock style pluggable terminal blocks (12 AWG)	
Power Consumption	1,2 W (60 Hz) / 1,5 W (50 Hz)	1,2 W (60 Hz) / 1,6 W (50 Hz)
Maximum Rated Apparent Power	4 VA	3 VA
Accuracy	± 0,5 % (see manual for details)	
Mounting	Indoor: Wall-mounted Outdoor: If mounted inside an electrical enclosure that is rated NEMA 3R or 4 / IP 66	
Temperature Range	-30°C to +55°C	
Weight	10.8 oz	
Dimensions (Height x Width x Depth)	1.5" x 5.63" x 3.34"	
Interface to Inverter	Modbus RTU (RS-485)	
Certifications / Listings	UL 61010-1, CAN/CSA-C22.2 No. 61010-1-04, IEC 61010-1, EN 61326:2002, EN61000-4-2, EN61000-4-3, EN61000-4-4, EN61000-4-5, EN61000-4-6, EN61000-4-11, FCC Part 15 Class B, EN 55022:1994 Class B	
Current Transformers	Primary: 1 – 3000 A / secondary: use only CTs with voltage output 333 mV	
Supported Grid Types	1-phase 3-wire (split-phase), 1-phase 2-wire without N, 3-phase 4-wire (WYE), 3-phase 3-wire without N (Delta), 3-phase 4-wire delta (High-leg delta / stinger grid)	
Power supply	Self-supplied, No external power supply required	

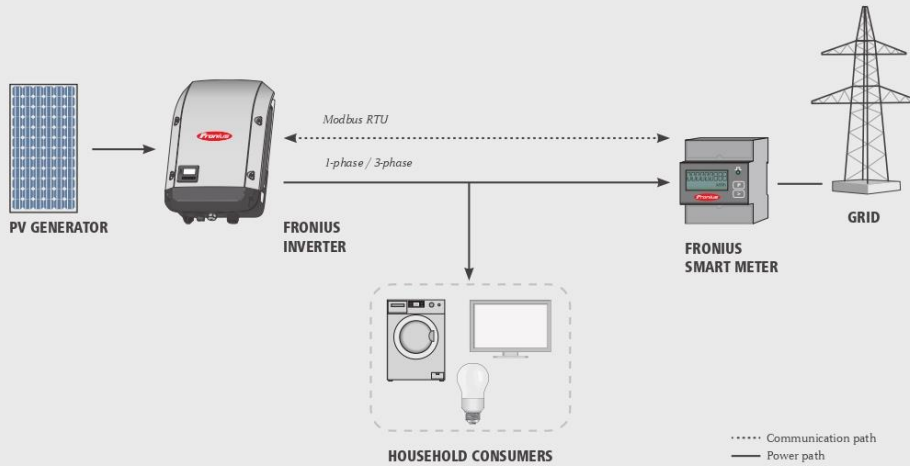
THE ADVANTAGES AT A GLANCE

- / Feed-in management and dynamic power reduction
- / Easy configuration of dynamic feed-in on the Fronius Datamanager 2.0 software interface
- / Self-consumption systems
- / Visualization of energy consumption in Fronius Solar.web
- / Optimized energy management with the Fronius storage solution



Please note: Product picture may vary slightly from actual product.

CONFIGURATION DIAGRAM



/ The Fronius Smart Meter is compatible with all Fronius inverters with an integrated Fronius Datamanager 2.0 (RS485 interface for Modbus RTU), which is included in Fronius Galvo, Fronius Primo and Fronius Primo Hybrid inverters, and can be added to any Fronius Symo, Fronius IG, IG Plus and IG Plus A inverter.

/ Perfect Welding / Solar Energy / Perfect Charging

WE HAVE THREE DIVISIONS AND ONE PASSION: SHIFTING THE LIMITS OF POSSIBILITY.

/ Whether welding technology, photovoltaics or battery charging technology – our goal is clearly defined: to be the innovation leader. With around 3,700 employees worldwide, we shift the limits of what's possible - our record of over 800 granted patents is testimony to this. While others progress step by step, we innovate in leaps and bounds. Just as we've always done. The responsible use of our resources forms the basis of our corporate policy.

Further information about all Fronius products and our global sales partners and representatives can be found at www.fronius.com

v06 Apr 2016 EN

Fronius Canada Ltd.
2875 Argenta Road, Units 4, 5 & 6
Mississauga, ON L5N 8G6
Canada
pv-sales-canada@fronius.com
www.fronius.ca

Fronius USA LLC
6797 Fronius Drive
Portage, IN 46368
USA
se.cop.usa@fronius.com
www.fronius-usa.com

Fronius International GmbH
Froniusplatz 1
4600 Wels
Austria
pv-sales@fronius.com
www.fronius.com

Text and images correspond to the current state of technology at the time of printing. Subject to modifications. All information is without guarantee in spite of careful editing. Liability excluded. Copyright © 2011 Fronius™. All rights reserved.

EN_V01_Aug 2016_a16

ANEXO E: Decreto Legislativo N° 1221 Artículo 2.- Generación Distribuida

Normas Legales del 24.09.2015

33

“**Artículo 83.-** Para la dotación de nuevos suministros o ampliación de una potencia contratada, el concesionario podrá exigir una contribución, con carácter reembolsable, para el financiamiento de la extensión de las instalaciones hasta el punto de entrega y/o para la ampliación de la capacidad de distribución necesaria.

Estas contribuciones tendrán las siguientes modalidades, que deberán ser determinadas previo acuerdo entre el concesionario y el usuario.

a) Aportes por kW, previamente fijado por el concesionario para los diferentes casos;

b) Construcción de las obras de extensión por el solicitante, previa aprobación del proyecto por el concesionario, fijándose el valor nuevo de reemplazo de estas instalaciones en la oportunidad de aprobar el proyecto; y,

c) Financiamiento por el solicitante para ejecutar las obras requeridas, al valor determinado por el concesionario, obligándose éste a ejecutarlas en un plazo determinado”.

“**Artículo 85.-** En los casos de solicitantes pertenecientes a zonas habitadas o agrupaciones de viviendas que cuenten con habilitación urbana, o en su defecto, cuenten con planos de lotización, trazado de vías, así como la constancia de posesión; éstos aprobados y emitidos por la Municipalidad correspondiente; y que en ambos casos tengan un índice de ocupación predial -habitabilidad - mayor o igual a cuarenta por ciento (40%); corresponde al concesionario ejecutar, a su costo, todas las obras definitivas de la red primaria, red secundaria y alumbrado público que sean necesarias.

En los casos referidos en el párrafo anterior, cuando dicho índice de ocupación predial sea menor al cuarenta por ciento (40%), la ejecución de las obras corresponde a los interesados, conforme al proyecto previamente aprobado y bajo la supervisión de la empresa concesionaria que atiende el área. En estos casos, las instalaciones serán recibidas por el concesionario, fijándose en tales oportunidades el monto de la contribución con carácter reembolsable correspondiente al Valor Nuevo de Reemplazo (VNR), para efectos de reembolsar al interesado, de acuerdo a lo establecido por el artículo 84° de la presente Ley de Concesiones Eléctricas, correspondiendo efectuar la devolución de contribuciones reembolsables a partir de la fecha en que el índice de ocupación predial sea mayor o igual a cuarenta por ciento (40%).

En los casos de nuevas habilitaciones urbanas y electrificación de nuevas agrupaciones de vivienda, promovidas por el Estado o por inversionistas privados, corresponde a los interesados ejecutar las obras correspondientes a la red secundaria y alumbrado público, conforme al proyecto previamente aprobado y bajo la supervisión de la empresa concesionaria que atiende el área. En estos casos, las instalaciones serán recibidas por el concesionario fijándose en tal oportunidad el monto de la contribución con carácter reembolsable correspondiente al Valor Nuevo de Reemplazo (VNR), para efectos de reembolsar al interesado, de acuerdo a lo establecido por el artículo 84° de la presente Ley, correspondiendo efectuar la devolución de contribuciones reembolsables a partir de la fecha en que el índice de ocupación predial sea mayor o igual a cuarenta por ciento (40%).

Al momento de efectuar la devolución de las contribuciones reembolsables, éstas serán actualizadas con los factores de reajuste de las tarifas.

En el caso de zonas habitadas que no cuentan con la habilitación urbana o agrupaciones de viviendas que no dispongan de certificados de posesión ni de planos de lotización y trazado de vías aprobado por la respectiva Municipalidad, los interesados podrán solicitar al concesionario la instalación de suministros provisionales de venta en bloque en baja tensión, de conformidad con el procedimiento establecido en el Reglamento de la presente Ley.

“**Artículo 90.-** Los concesionarios podrán efectuar el corte inmediato del servicio, sin necesidad de aviso previo al usuario ni intervención de las autoridades competentes, en los siguientes casos:

a) Cuando estén pendientes el pago de comprobantes debidamente notificados de dos meses derivados de la

prestación del Servicio Público de Electricidad, con los respectivos intereses y moras;

b) Cuando se consuma energía eléctrica sin contar con la previa autorización de la empresa o cuando se vulneren las condiciones del suministro; y,

c) Cuando se ponga en peligro la seguridad de las personas o las propiedades por desperfecto de las instalaciones involucradas; estando ellas bajo administración de la empresa, o sean instalaciones internas de propiedad del usuario.

d) Cuando el usuario incumpla las distancias de seguridad establecidas en las normas técnicas. En este caso, el concesionario, bajo responsabilidad, debe comunicar el corte a OSINERGMIN, entidad que debe verificar el incumplimiento alegado por el concesionario, en los plazos establecidos en el reglamento. El reglamento determina las sanciones aplicables ante un corte injustificado del servicio o la ausencia de comunicación de dicho hecho.

Los concesionarios deberán enviar las respectivas notificaciones de cobranza a los usuarios que se encuentren con el suministro cortado, en la misma oportunidad en que lo realiza para los demás usuarios, quedando facultados a cobrar un cargo mínimo mensual.

El OSINERGMIN fijará periódicamente los importes por concepto de corte y reconexión de acuerdo a lo que establezca el Reglamento”.

Artículo 2.- Generación Distribuida.

2.1 Los usuarios del servicio público de electricidad que disponen de equipamiento de generación eléctrica renovable no convencional o de cogeneración, hasta la potencia máxima establecida para cada tecnología, tienen derecho a disponer de ellos para su propio consumo o pueden inyectar sus excedentes al sistema de distribución, sujeto a que no afecte la seguridad operacional del sistema de distribución al cual está conectado.

2.2 La potencia máxima señalada en el numeral anterior, las condiciones técnicas, comerciales, de seguridad, regulatorias y la definición de las tecnologías renovables no convencionales que permitan la generación distribuida, entre otros aspectos necesarios, son establecidos en el reglamento específico sobre generación distribuida que aprueba el Ministerio de Energía y Minas.

DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS FINALES

PRIMERA.- Reglamentación.

En un plazo de ciento veinte días calendario desde la entrada en vigencia del presente Decreto Legislativo, el Ministerio de Energía y Minas emite las disposiciones reglamentarias correspondientes.

SEGUNDA.- Vigencia.

El presente decreto legislativo entra en vigencia al día siguiente de su publicación, con excepción de lo dispuesto en el artículo 2, el mismo que entrará en vigencia a la fecha de publicación del reglamento específico a que se refiere el citado artículo.

DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS TRANSITORIAS

PRIMERA.- Ejercicio del derecho preferente de concesiones temporales

Las personas jurídicas que a la fecha de publicación de la presente norma, cuentan con el derecho preferente para solicitar concesión definitiva por haber sido titulares de una concesión temporal emitida en el marco de lo dispuesto por el Decreto Ley N° 25844, Ley de Concesiones Eléctricas, podrán ejercer el citado derecho bajo el marco legal vigente a la fecha de publicación de la respectiva resolución de concesión temporal.

SEGUNDA.- Vigencia del VAD

Excepcionalmente, y de forma justificada, mediante Resolución Ministerial a propuesta del OSINERGMIN, el Ministerio de Energía y Minas, puede prorrogar la vigencia del VAD correspondiente al período 2013-2017, por un plazo máximo de dos años, para todos o algunos de los titulares de distribución eléctrica, a fin