

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y DE ENERGÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍA**



**“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 PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
EN ENERGÍA**

KATHERINE LEON VALVERDE

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Katherine Leon Valverde".

MIRYAM JOHANA FERNÁNDEZ ZÁRATE

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Miryam Johana Fernández Zárate".

Callao, 2021  
PERÚ

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Blas Zárate", positioned above a professional stamp. The stamp contains the text: "BLAS ZÁRATE INGENIERO ORLANDO", "ING. MECÁNICO ELÉCTRICISTA", and "Reg. Colegio de Ingenieros CIP Nº 124187".

(Resolución N°019-2021-C.U. del 20 de enero de 2021)

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS CON CICLO TALLER DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO EN ENERGÍA**  
**LIBRO N° 001, FOLIO N° 063, ACTA N° 037 DE SUSTENTACIÓN DE TESIS CON CICLO TALLER DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO EN ENERGÍA**

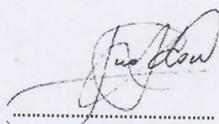
A los 16 días del mes setiembre, del año 2021, siendo las 16:35 horas, se reunieron, en la sala meet: <http://meet.google.com/npd-amoz-jcn>, el **JURADO DE SUSTENTACION DE TESIS** para la obtención del **TÍTULO** profesional de **Ingeniero en Energía** de la **Facultad de Ingeniería Mecánica y de Energía**, conformado por los siguientes docentes ordinarios de la **Universidad Nacional del Callao**:

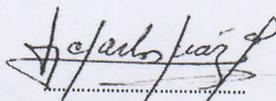
- Dr. Juan Manuel Palomino Correa : Presidente
- Mg. Carlos Zacarías Díaz Cabrera : Secretario
- Mg. Vladimiro Contreras Tito : Miembro
- Mg. Adolfo Orlando Blas Zarzosa : Asesor

Se dio inicio al acto de sustentación de la tesis del Bachiller **FERNÁNDEZ ZÁRATE MIRYAM JOHANA**, quien habiendo cumplido con los requisitos para optar el Título Profesional de Ingeniero en Energía sustenta la tesis titulada **“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”**, cumpliendo con la sustentación en acto público, de manera no presencial a través de la Plataforma Virtual, en cumplimiento de la declaración de emergencia adoptada por el Poder Ejecutivo para afrontar la pandemia del Covid-19, a través del D.S. N° 044-2020-PCM y lo dispuesto en el DU N° 026-2020 y en concordancia con la Resolución del Consejo Directivo N°039-2020-SUNEDU-CD y la Resolución Viceministerial N° 085-2020-MINEDU, que aprueba las "Orientaciones para la continuidad del servicio educativo superior universitario";

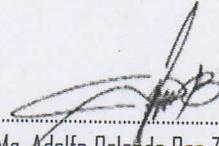
Con el quórum reglamentario de ley, se dio inicio a la sustentación de conformidad con lo establecido por el Reglamento de Grados y Títulos vigente. Luego de la exposición, y la absolución de las preguntas formuladas por el Jurado y efectuadas las deliberaciones pertinentes, acordó: Dar por **APROBADO** con la escala de calificación cualitativa **BUENO** y calificación cuantitativa **14 (catorce)**, la presente Tesis, conforme a lo dispuesto en el Art. 27 del Reglamento de Grados y Títulos de la UNAC, aprobado por Resolución de Consejo Universitario N° 245-2018- CU del 30 de Octubre del 2018.

Se dio por cerrada la Sesión a las 17:20 horas del día 16 del mes y año en curso.

  
.....  
Dr. Juan Manuel Palomino Correa  
Presidente de Jurado

  
.....  
Mg. Carlos Zacarías Díaz Cabrera  
Secretario de Jurado

  
.....  
Mg. Vladimiro Contreras Tito  
Miembro de Jurado

  
.....  
Mg. Adolfo Orlando Blas Zarzosa  
Asesor



**“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”**

## **DEDICATORIA**

Katherine, dedico esta tesis a mi madre y padre quienes me han dado la oportunidad de desarrollarme personal y profesionalmente.

Miryam, dedico esta tesis especialmente a mi madre, padre y hermano quienes han sido parte fundamental de mi vida.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecimiento especial a Dios y nuestras familias por su apoyo incondicional en esta etapa de nuestras vidas.

También agradecer a nuestro asesor el ingeniero Adolfo Orlando Blas Zarzosa por brindarnos su apoyo y experiencia en el presente trabajo de investigación.

## INDICE

<b>INDICE</b>	<b>1</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	<b>5</b>
<b>TABLA DE FIGURAS</b>	<b>7</b>
<b>TABLA DE GRAFICOS</b>	<b>9</b>
<b>TABLA DE ANEXOS</b>	<b>10</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>11</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>12</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>13</b>
<b>I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	<b>14</b>
1.1 Descripción de la realidad problemática.....	14
1.2 Formulación del problema .....	14
1.2.1 Problema General	15
1.2.2 Problemas específicos	15
1.3 Objetivos.....	15
1.3.1 Objetivo General	15
1.3.2 Objetivos Específicos	15
1.4 Limitantes de la investigación.....	16
1.4.1 Teórico	16
1.4.2 Temporal	16
1.4.3 Espacial	16
<b>II. MARCO TEÓRICO</b>	<b>17</b>
2.1 Antecedentes.....	17
2.1.1 Antecedentes Internacionales	17
2.1.2 Antecedentes Nacionales	18
2.2 Bases teóricas .....	20
2.2.1 La energía Solar	20
2.2.2 Energía Solar Fotovoltaica	20

2.2.3	Efecto Fotovoltaico	22
2.2.4	Componentes del sistema fotovoltaico	23
2.2.5	Módulos Fotovoltaicos	25
2.2.6	Horas solar pico	31
2.2.7	Orientación e inclinación y sombras	33
2.2.8	Conexiones de módulos fotovoltaicos	34
2.2.9	Parámetros característicos de un módulo fotovoltaico	36
2.2.10	Hoja de datos del fabricante	38
2.2.11	Software PvSyst	41
2.2.12	Interconexión y protecciones	42
2.2.13	Análisis de necesidades de inversión	42
2.2.14	Costo nivelado de energía (LCOE)	43
2.2.15	Criterios de inversión	44
2.3	Marco conceptual .....	46
-	La energía solar fotovoltaica en el Perú	46
-	La Energía Solar Fotovoltaica en los Sectores Económicos	46
-	Reglamentación de las Energía Solar Fotovoltaica en el Perú	47
2.3.1	Definición de términos básicos	48
<b>III.</b>	<b>HIPÓTESIS Y VARIABLES</b>	<b>50</b>
3.1	Hipótesis.....	50
3.1.1	Hipótesis General	50
3.1.2	Hipótesis Específicas	50
3.2	Definición conceptual de variables .....	50
3.2.1	Variable Independiente	50
3.2.2	Variable Dependiente	50
3.3	Operacionalización de variable.....	51
<b>IV.</b>	<b>DISEÑO METODOLÓGICO</b>	<b>52</b>
4.1	Tipo y diseño de investigación.....	52
4.2	Método de investigación .....	52
4.3	Población y muestra .....	53
4.4	Lugar de estudio .....	53

4.5 Técnicas e instrumentos para la recolección de la información.....	54
4.6 Análisis y procesamiento de datos .....	54
4.6.1 Determinación del cuadro de cargas	54
4.6.2 Costos por consumo de energía eléctrica conectado a la red	55
4.6.3 Determinación de la radiación solar	63
4.6.4 Inclinação óptima de la radiación solar	64
4.6.5 Determinación de la generación de la energía eléctrica mediante el sistema fotovoltaico	64
4.6.6 Determinación de la sección del conductor	73
4.6.7 Sistema de control de generación fotovoltaica	75
4.6.8 Determinación del sistema de medición de energía eléctrica bidireccional	76
4.6.9 Evaluación del sistema de protección para el sistema fotovoltaico	78
4.6.10 Consideración para la instalación y montaje del sistema fotovoltaico	78
<b>V. RESULTADOS</b>	<b>80</b>
5.1 Resultados descriptivos.....	80
5.1.1 Generación de la energía eléctrica del sistema fotovoltaico	80
5.1.2 Balance del consumo de energía eléctrica conectado a la red y el sistema fotovoltaico	82
5.1.3 Aporte de la red eléctrica en el sistema interconectado (carga del edificio, aporte de energía eléctrica)	83
5.1.4 Evaluación económica del sistema fotovoltaico	83
<b>VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b>	<b>91</b>
6.1 Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados.....	91
6.2 Contrastación de los resultados con otros estudios similares .....	91
6.3 Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes .....	92
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>93</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>94</b>

**REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

**95**

**ANEXO**

**97**

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores límite de las pérdidas por orientación e inclinación y sombras .....	34
Tabla 2. Operaciones variables.....	51
Tabla 3. Cuadro de consumo semanal de cargas eléctricas en Motorex S.A. .	54
Tabla 4. Perfil de uso de las cargas eléctricas de la Motorex S.A. en verano..	58
Tabla 5. Perfil de consumo de cargas eléctricas de la empresa Motorex S.A en verano.....	59
Tabla 6. Perfil de usos de las cargas de la empresa Motorex S.A. en invierno .....	60
Tabla 7. Perfil de consumo de cargas de la empresa Motorex S.A. en invierno .....	61
Tabla 8. Datos climatológicos por mes de acuerdo con las coordenadas geográficas de la empresa Motorex S.A.....	63
Tabla 9 Cálculos realizados para la corrección del módulo fotovoltaico en verano.....	70
Tabla 10 Cálculos realizados para la corrección del módulo fotovoltaico en invierno.....	70
Tabla 11 Cálculos realizados de los arreglos A y B .....	73
Tabla 12. Resumen de amperaje y tamaño de cable por sección de cada arreglo solar fotovoltaico.....	74
Tabla 13. Generación de energía fotovoltaica mensual .....	80
Tabla 14. Consumo mensual de energía .....	81
Tabla 15. Comparación de generación fotovoltaica y red eléctrica por mes ....	82
Tabla 16. Comparación de generación fotovoltaica, red eléctrica por mes y porcentaje de uso .....	83
Tabla 17 Análisis de resultados .....	84
Tabla 18 Cuadro de resultados para el cálculo del LCOE .....	85
Tabla 19 Cuadro de Valor actual neto por año de la empresa Motorex S.A. 2021.....	86
Tabla 20 Cuadro de tasa interna de retorno en la empresa Motorex S.A. ....	87

Tabla 21 Cuadro de valor actual de generación de energía anual, flujo de caja y flujo acumulado.....	89
---	----

## TABLA DE FIGURAS

Figura 1. Instalación fotovoltaica autónoma. Tomado del libro Instalaciones solares fotovoltaicas (Castejón, y otros, 2010) .....	20
Figura 2. Configuración de un sistema fotovoltaico conectado a la red. Tomado del libro Instalaciones y sistemas fotovoltaicos (Enríquez Harper, 2016). .....	21
Figura 3. Sistema fotovoltaico híbrida. Tomado del fabricante marca Fronius. 21	
Figura 4. Estructura de célula solar. Tomado del libro Instalaciones solares fotovoltaicas (Díaz Corcobado, y otros, 2010).....	23
Figura 5. Puntos importantes que caracterizan un módulo fotovoltaico. Tomado del libro Instalaciones y sistemas fotovoltaicos (Enríquez Harper, 2016). .....	24
Figura 6. Electromagnético de la radiación solar extra atmosférica y en la superficie terrestre. Tomado del libro de Instalaciones solares fotovoltaicas (Castejón, y otros, 2010). .....	26
Figura 7. Tipos de radiación sobre una superficie. Tomado del libro de Instalaciones solares fotovoltaicas (Castejón, y otros, 2010) pág. 15). ..	27
Figura 8. Escala de irradiancia en función de la composición de la radiación solar. Tomado del libro Instalaciones solares fotovoltaicas (Castejón, y otros, 2010) pág. 16) .....	29
Figura 9. El concepto de hora-pico como unidad de energía para la irradiación o recurso solar. Tomado del libro aplicaciones fotovoltaicas de la energía solar en los sectores residencial, servicio e industrial (Sánchez Juárez, y otros, 2017).....	33
Figura 10. Ejemplo de módulos fotovoltaicos integrados en la fachada (Schott Solar). Tomado del libro Instalaciones solares fotovoltaicas (Castejón, y otros, 2010).....	33
Figura 11. Conexión de $N_s$ módulos en serie. Tomado del libro Instalaciones solares fotovoltaicas (Castejón, y otros, 2010) pág. 36). .....	35
Figura 12. Conexión de $N_p$ módulos en paralelo. Tomado del libro Instalaciones solares fotovoltaicas (Castejón, y otros, 2010) pág. 37). ..	36

Figura 13. Características i-u y p-u de una célula solar. Tomado del libro Instalaciones solares fotovoltaicas de ingeniería (Castejón, y otros, 2010 pág. 25) .....	38
Figura 14 Software PVSYST. Tomado del software PVSYST. ....	41
Figura 15. Ubicación de empresa Motorex S.A. Tomado de Google Maps. ....	53
Figura 16 Arreglo A del sistema fotovoltaico e interconectado a la red. Dimensionamiento en base al área disponible de instalación. ....	65
Figura 17 Arreglo B del sistema fotovoltaico e interconectado a la red. Dimensionamiento en base a área disponible de instalación .....	65
Figura 18 Diagrama de cantidad de energía generada durante el día. Tomado del software de inversor marca Fronius.....	75
Figura 19 Diagrama de cantidad de energía generada durante el año. Tomado del software de inversor marca Fronius.....	75
Figura 20 Diagrama de visualización de cantidad de energía generada por inversor de interconexión. Tomado del inversor marca Fronius. ....	76
Figura 21 Diagrama de cantidad de energía consumida por edificio. Tomado del inversor marca Fronius. ....	76
Figura 22. Medidor de energía de marca Fronius. Tomado de la ficha técnica del medidor bidireccional del fabricante Fronius.....	77
Figura 23. Diagrama de configuración de un sistema solar fotovoltaico interconectado a la red eléctrica. Tomado del fabricante Fronius. ....	77
Figura 24. Estructura referencial metálica del arreglo solar fotovoltaico. Tomado del fabricante Autosolar.....	79
Figura 25. Tubo de plástico corrugado. Tomado del fabricante PROMATISA. ....	79

## TABLA DE GRAFICOS

Gráfica 1. Perfil de consumo de energía diaria en un día de la empresa Motorex S.A. en verano.....	60
Gráfica 2. Perfil de consumo de energía diaria en un día en la empresa Motorex S.A. en invierno .....	62
Gráfica 3. Radiación solar diaria - horizontal por mes.....	63
Gráfica 4. Consumo de energía por mes de la empresa Motorex S.A. ....	81
Gráfica 5. Comparación de generación fotovoltaica y red eléctrica por mes ...	82
Gráfica 6 Diagrama de tasa interna de retorno de la empresa Motorex S.A. ...	88

## **TABLA DE ANEXOS**

Anexo 1 Matriz de consistencia.....	97
Anexo 2 Ficha técnica del módulo fotovoltaico .....	98
Anexo 3 Ficha técnica de inversor Fronius para el sistema fotovoltaico e interconectado a la red para la empresa Motorex S.A.....	100
Anexo 4 Medidor de energía bidireccional .....	101
Anexo 5 Presupuesto del suministro e instalación del sistema fotovoltaico e interconectado para la empresa Motorex S.A.....	102
Anexo 6 Tablero eléctrico del sistema fotovoltaico e interconectado a la red	103
Anexo 7 Reporte del software PvSyst - LCOE .....	104
Anexo 8 Consentimiento informado de la empresa Motorex S.A. ....	106
Anexo 9 Esquema tentativo de instalación del sistema fotovoltaico e interconectado a la red para la empresa Motorex S.A.....	108

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó en el edificio de oficinas de la empresa Motorex S.A., ubicada en la ciudad de Lima, tiene como objetivo demostrar que la instalación de un sistema interconectado fotovoltaico reduce el costo de energía mensual de la empresa Motorex S.A. para ello se utilizaron procedimientos de cálculo para determinar la capacidad del sistema fotovoltaico, seleccionar los equipos necesarios para su implementación tales como módulo fotovoltaico, inversor de interconexión, tablero eléctrico, estructura metálica del rubro solar fotovoltaico, además de ello se validaron los cálculos con el software PvSyst que permitió validar el diseño y dar viabilidad técnica de los cálculos obtenidos de la presente investigación.

Se realizó un análisis de cargas en la empresa durante un año laboral, con ello se determinó la cantidad de energía demandada por mes y año; del cual se dimensionó un sistema solar fotovoltaico e interconectado que genera energía eléctrica para autoconsumo y que disminuye el costo de energía hasta en un 35.8% de la empresa Motorex S.A.

El tipo de investigación es tecnológica de diseño no experimental transversal y método deductivo analítico.

**PALABRAS CLAVE:** Tecnológico, Sistema solar fotovoltaico, software PvSyst, energía demandada, autoconsumo.

## **ABSTRACT**

The present research work was carried out in the office building of the company Motorex S.A., located in the city of Lima, its objective is to demonstrate that the installation of an interconnected photovoltaic system reduces the monthly energy cost of the company Motorex S.A. For this, calculation procedures were used to determine the quantity and capacity of the photovoltaic system, selection of validated equipment such as panel, inverter, board, metallic structure of the photovoltaic solar category, in addition to this, the calculations were validated with the PvSyst software that allowed demonstrating the design and provide technical and economic feasibility of the calculations obtained from this research. An analysis of loads was carried out in the company during a working year, with this the amount of energy demanded by month and year was determined; which was dimensioned a photovoltaic solar system that generates electrical energy for self-consumption and that reduced the consumption by cost of energy up to 35.8% of the company Motorex S.A.

The type of research is technological with a non-experimental cross-sectional design and an analytical deductive method.

**KEY WORDS:** Technological, photovoltaic solar system, PvSyst software, energy demand, self-consumption.

## INTRODUCCIÓN

La energía solar fotovoltaica en el Perú es poco explorada y aprovechada a pesar de ser el Perú un país de alto potencial de uso de este tipo de recurso el cual es ilimitado y gratuito.

Hasta hace una década el uso de esta tecnología resultaba poco atractiva para implementar en el sector residencial y comercial debido a que los costos de su materia prima eran muy elevados, actualmente la demanda a nivel global ha incrementado y por ello los precios se han reducido considerablemente, siendo los países de “Primer Mundo” los que lo han adoptado, normado y regulado dentro de su política de ahorro de energía.

La energía solar fotovoltaica se puede aplicar y relacionar con otros tipos de generación de energía convencional, teniendo los diferentes tipos de sistemas de generación fotovoltaica principalmente:

- Sistema aislado de la red fotovoltaica (Off Grid).
- Sistema interconectado fotovoltaico (On Grid).

Cabe recalcar que cada sistema es beneficiosamente aplicable dependiendo de la ubicación geográfica, demanda eléctrica y tipo de usuario que se esté analizando.

Las autoras de este documento han tomado como muestra las instalaciones de la empresa Motorex S.A. ubicada en la Av. Argentina 2989 – Lima para demostrar que el uso del sistema fotovoltaico e interconectado a su red interna ayuda a reducir los costos de consumo de energía para alimentar las cargas eléctricas del edificio.

## **I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1 Descripción de la realidad problemática**

En la actualidad el uso de las energías renovables representa el 9.7% de la matriz energética mundial de acuerdo a la BP 2017 (BP Statistical Review of World Energy, 2021).

El uso de sistemas fotovoltaicos está enfocado en cubrir la demanda eléctrica del usuario y reducir el uso de combustibles fósiles para minimizar el impacto ambiental.

En el Perú no existe reglamentación para la generación y uso de energías renovables en el sector, residencial, comercial e industrial. Esto ha generado un atraso tecnológico para la diversificación de nuestra matriz energética, sin embargo, en la última década el sector privado y público han mostrado interés en implementar sistemas alternativos de generación de energía limpia, principalmente de origen fotovoltaico.

El costo de energía de la empresa Motorex S.A. representa el 40% de los gastos administrativos, un valor elevado teniendo en cuenta que las tarifas eléctricas han venido incrementando en los últimos años debido al alza del costo y agotamiento de los combustibles fósiles.

Durante los procesos operativos de la empresa se presentan cortes inesperados de energía eléctrica por sobrecarga en las redes entre otras fallas del sistema eléctrico que administra la concesionaria Enel y esto debido a que la empresa se encuentra en una zona industrial, generar energía eléctrica con un grupo electrógeno resulta siendo un alto costo por el uso de combustible y más aún por la contaminación ambiental que genera.

### **1.2 Formulación del problema**

A continuación, se presenta el problema general y los problemas específicos:

### **1.2.1 Problema General**

¿Cómo el diseño de un sistema fotovoltaico e interconectado a la red ayuda a la reducción del costo por consumo de energía eléctrica de la empresa Motorex S.A. - 2021?

### **1.2.2 Problemas específicos**

- ¿Cómo la generación fotovoltaica ayuda con la reducción del costo por consumo de energía eléctrica de la empresa Motorex S.A. - 2021?
- ¿Cómo la facturación eléctrica se reduce con la interconexión del sistema generación fotovoltaica en el edificio de la empresa Motorex S.A. - 2021?
- ¿Cómo el tiempo de operación de los servicios ayuda con la reducción del costo por consumo de energía eléctrica de la empresa Motorex S.A. - 2021?

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo General**

Diseñar un sistema fotovoltaico e interconectado a la red que ayude a la reducción del costo por consumo de energía eléctrica de la empresa Motorex S.A. – 2021.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Dimensionar la generación fotovoltaica que ayude a la reducción del costo por consumo de energía eléctrica de la empresa Motorex S.A. – 2021.
- Disminuir la facturación eléctrica con la interconexión del sistema generación fotovoltaica en el edificio de la empresa Motorex S.A. - 2021.
- Optimizar el tiempo de operación de los servicios que ayude a la reducción del costo por consumo de energía eléctrica de la empresa Motorex S.A. – 2021.

## **1.4 Limitantes de la investigación**

### **1.4.1 Teórico**

El proyecto de tesis tiene como fundamento teórico el efecto fotoeléctrico el cual es la base para la generación de la energía solar a través de módulos fotovoltaicos, la misma que considerará fundamentos bibliográficos como tesis, informes, revistas y páginas web para sustentar nuestra hipótesis y obtener los resultados esperados.

### **1.4.2 Temporal**

El presente proyecto de investigación utilizará información relevante de datos de consumo y radiación del año 2021.

### **1.4.3 Espacial**

La investigación se encuentra limitada espacialmente dentro de un área aproximada de 176m<sup>2</sup>, considerando dentro de esto la arquitectura y estructura que se encuentra disponible en la azotea de la empresa Motorex S.A.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Antecedentes

Los antecedentes Internacionales se presentan a continuación:

#### 2.1.1 Antecedentes Internacionales

- Sánchez Guevara Sebastián y Franco Gil Julián (2016), en su tesis titulada **“Diseño e Implementación de un Sistema Fotovoltaico Interconectado a Red con Soporte de Almacenamiento en la Universidad Tecnológica de Pereira”**, cuyo objetivo principal es cubrir la demanda eléctrica que el sistema fotovoltaico instalado para el alumbrado público de la zona cubierta del puente helicoidal ubicado en la vía Pereira - Manizales. En este estudio se aplicó un diseño experimental dado que se realizó la instalación y verificó su operatividad.
- Erick Vladimir González Salazar y Francisco Javier Velásquez Mejía (2016), en su tesis titulada **“Diseño de un Sistema Solar Fotovoltaico de Bajo Consumo para Uso Domiciliar en Comunidades Rurales Fuera del Sistemas Interconectado Nacional”**, cuyo objetivo principal es plantear un diseño de sistema fotovoltaico como una opción energética alternativa para cubrir la demanda eléctrica en comunidades rurales minimizando el impacto ambiental, costo de instalación, generación y operación en Nicaragua. En este estudio se aplicó un diseño no experimental en el cual se demostró una propuesta técnico y económicamente rentable.
- Luis Felipe Castrillón Largo (2018), en su tesis titulada **“Implementación y Análisis de un Sistema Energético Fotovoltaico Interconectado a Red de 20 KW con Soporte de Almacenamiento”**, cuyo objetivo principal es realizar el análisis de balance energético del sistema híbrido (interconectado a red con soporte) a punto del sistema de 20Kw instalado en el Vivero UTP buscando así minimizar el impacto ambiental mediante generación de energía limpia y de calidad.

En este estudio se aplicó un diseño no experimental el cual se analiza una propuesta técnica y económicamente rentable.

- Agustín Cervantes Torres y Luis Guillermo Fernández García (2017), en su tesis titulada “**Diseño e Implementación de un Sistema Fotovoltaico de Interconexión a la Red Eléctrica en la Universidad Tecnológica de Altamira**”, cuyo objetivo principal es la implementación de un sistema fotovoltaico de interconexión a la red eléctrica de CFE en la Universidad Tecnológica de Altamira.

Este estudio es un diseño no experimental el cual demuestra una propuesta el cual logrará disminuir la facturación de energía eléctrica.

### 2.1.2 Antecedentes Nacionales

- MINISTERIO DEL AMBIENTE (2016), presenta proyecto “**Sistema Interconectado Fotovoltaico de 4KWP Instalados**”, el cual instalan el primer edificio generador de energía eléctrica a través de energía solar fotovoltaica con 4kWp instalados.

El sistema propuesto en este edificio fue: Sistema fotovoltaico interconectado a la red, para cubrir la demanda de luminarias del edificio, generándose por este sistema 16.5kWh/día de energía, la cual no es facturada en el recibo mensual y a su vez reduce la emisión de carbono a la atmosfera.

El MINAM decidió invertir en esta tecnología para servir de mentor en la promoción del uso de las energías renovables en el sector residencial y comercial en el Perú.

- ENGIE PERU S.A. (2017), presenta proyecto “**Sistema Interconectado Fotovoltaico de 31KWP Instalados**”, el cual instalan la oficina principal de la Generadora Engie S.A. ubicada en Av. República de Panamá 3490, San Isidro; el año 2017 instaló 31kWp de potencia instalada a través de energía solar fotovoltaica en su edificio, la cual cubre el 25% de su demanda diaria de energía. Los módulos fotovoltaicos se ubican en el techo del edificio y tienen una orientación al norte cardinal para su mayor aprovechamiento.

- Josimar Klever Cohaila Mayta (2018), en su tesis titulada **“Caracterización del Sistema Solar Fotovoltaico Conectado a la Red Eléctrica de la UNJBG utilizado un Aplicativo Informático Tacna - 2017”**, cuyo objetivo principal es desarrollar un aplicativo informático para el sistema solar fotovoltaico e interconectado a la red eléctrica, empleando el software Matlab.

Este estudio es un diseño descriptivo y aplicativo el cual analizará los procedimientos de cálculo y selección del sistema fotovoltaico.

- Juan Carlos Plasencia Coronel (2018), en su tesis titulada **“Diseño de un Sistema Fotovoltaico Interconectado a Red de 4.5 KW en el Complejo Policial de la Despensa – en el Distrito de José Leonardo Ortiz – Provincia de Chiclayo - Lambayeque”**, cuyo objetivo principal es la implementación de un sistema fotovoltaico e interconectado a la red.

Este estudio es un diseño de investigación aplicada en el cual se busca el estudio para alimentar parte de la demanda eléctrica en las luminarias led implementando el dimensionamiento y rentabilidad económica.

## 2.2 Bases teóricas

### 2.2.1 La energía Solar

La disponibilidad de la energía solar en todo el mundo y su carácter de fuente de energía renovable hacen de ésta una energía universal, la que es responsable también de la aparición de otras fuentes de energía como lo son: la energía del viento, la hidroeléctrica y la mareomotriz, sin considerar aquellas posibles fuentes derivadas de la descomposición de desechos biológicos (biomasa). (Sánchez Juaréz, y otros, 2017 pág. 27)

### 2.2.2 Energía Solar Fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica es la energía procedente del sol que se convierte en energía eléctrica de forma directa, sin ninguna conversión intermedia. (Castejón, y otros, 2010 pág. 8)

#### - Energía Solar Fotovoltaica Aislada de la Red (Off Grid)

Un sistema fotovoltaico autónomo (SFA) produce energía eléctrica para satisfacer el consumo de cargas eléctricas no conectadas a la red, empleando un sistema de acumulación energético para hacer frente a los periodos en los que la generación es inferior al consumo. (Perpiñán Lamigueiro, 2020 pág. 93)



Figura 1. Instalación fotovoltaica autónoma. Tomado del libro Instalaciones solares fotovoltaicas (Castejón, y otros, 2010)

### - Energía Solar Fotovoltaica e Interconectada a la Red (On Grid)

Un sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica (SFCR) es un sistema cuya función es producir energía eléctrica en condiciones adecuadas para poder ser inyectada en la red convencional.” (Perpiñán Lamigueiro, 2020 pág. 65)

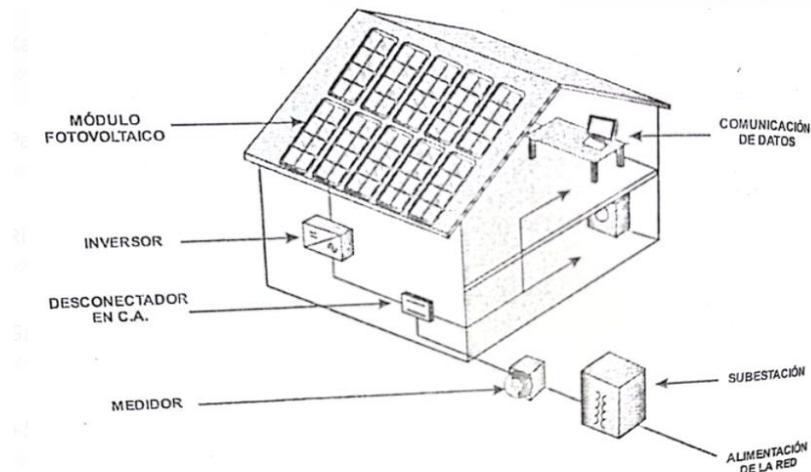


Figura 2. Configuración de un sistema fotovoltaico conectado a la red. Tomado del libro Instalaciones y sistemas fotovoltaicos (*Enríquez Harper, 2016*).

### - La Energía Solar Fotovoltaica Híbrida

Un sistema híbrido es un sistema fotovoltaico que además del generador incorpora otro generador de energía. Suelen emplearse para aprovechar algún recurso energético localizado cerca de la instalación o para tener mayor fiabilidad en el suministro de energía. La configuración de los sistemas híbridos puede ser variable. Además, depende del tipo de equipos de los que se haga uso en la adaptación de la potencia necesaria.”<sup>[u1]</sup> (Ortega Mateos, 2015 pág. 388)

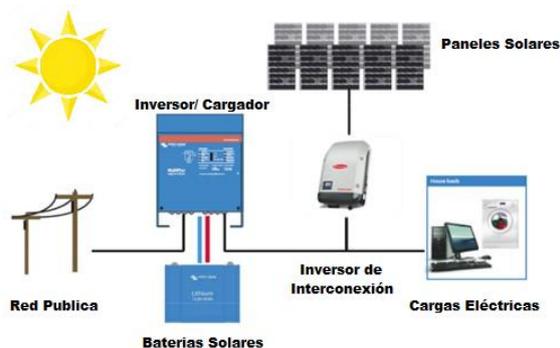


Figura 3. Sistema fotovoltaico híbrido. Tomado del fabricante marca Fronius.

### 2.2.3 Efecto Fotovoltaico

El efecto fotovoltaico (FV) se puede definir como la generación de una fuerza electromotriz (diferencia de tensión eléctrica o voltaje) en las terminales de un dispositivo debido a la absorción de la luz solar. Bajo estas condiciones, si se le conecta una carga, se producirá una corriente eléctrica que será capaz de realizar un trabajo en ella.” (Sánchez Juaréz, y otros, 2017 pág. 104)

Para **Harper** (2016 pág. 45), se presenta tres tipos de materiales semiconductores que son utilizados para la elaboración de celdas solares, los cuales son:

- **Silicio monocristalino:** Las celdas están hechas de un solo cristal de silicio de muy alta pureza. La eficiencia de estos módulos ha llegado hasta el 17%. Los módulos con estas celdas son los más maduros del mercado, proporcionando con esto confiabilidad en el dispositivo, de tal manera que algunos fabricantes los garantizan hasta por 25 años.
- **Silicio policristalino:** Su nombre indica que estas celdas están formadas por varios cristales de silicio. Esta tecnología fue desarrollada buscando disminuir los costos de fabricación. Dichas celdas presentan eficiencias de conversión un poco inferiores a las monocristalinas, pero se ha encontrado que pueden obtenerse hasta del orden del 15%. La garantía del producto puede ser hasta por 20 años, dependiendo del fabricante.
- **Silicio amorfo:** La palabra amorfo significa carencia de estructura geométrica. Los átomos de silicio que forman al sólido no tienen el patrón ordenado característico de los cristales, como es el caso del silicio cristalino. La tecnología de los módulos de silicio amorfo ha estado cambiando aceleradamente en los últimos años. En la actualidad, su eficiencia ha subido hasta establecerse en el rango de 5 a 10%, y promete incrementarse. La garantía del producto puede ser hasta por 10 años, dependiendo del fabricante.

## 2.2.4 Componentes del sistema fotovoltaico

### - Célula Solar

El elemento principal de cualquier instalación de energía solar es el generador, que recibe el nombre de célula solar. Se caracteriza por convertir directamente en electricidad los fotones provenientes de la luz del sol. Su funcionamiento se basa en el efecto fotovoltaico. Una célula solar se comporta como un diodo, la parte expuesta a la radiación solar es la N y la parte situada en la zona de oscuridad la P. Los términos de conexión de la célula se hallan sobre cada una de estas partes de diodo: la cara correspondiente a la zona P se encuentra metalizada por completo (no tiene que recibir luz), mientras que en la zona N el metalizado tiene forma de peine, a fin de que la radiación solar llegue al semiconductor.” (Díaz Corcobado, y otros, 2010 pág. 12)

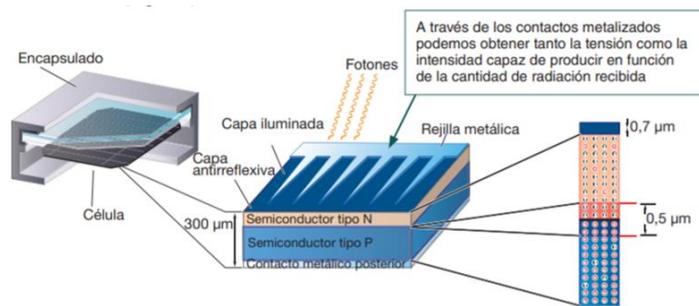


Figura 4. Estructura de célula solar. Tomado del libro Instalaciones solares fotovoltaicas (Díaz Corcobado, y otros, 2010).

La celda solar presenta ciertas características eléctricas que son de gran importancia conocer. El voltaje a circuito abierto, la corriente a corto circuito y la potencia máxima generada, la que permite evaluar la eficiencia de conversión de la luz a electricidad.” (Enríquez Harper, 2016 pág. 52)

Según Harper (2016 pág. 52), se estará presentando de la siguiente manera:

- **Corriente a corto circuito ( $I_{CC}$ ):** Es la máxima corriente generada por la celda solar y se mide cuando se conecta un circuito exterior a la celda con resistencia nula. Su valor depende del área superficial

y de la radiación luminosa. Normalmente se especifica en unidades de densidad de corriente: corriente entre área ( $Amp/cm^2$ ).

- **Voltaje a circuito abierto ( $V_{co}$ ):** Es el voltaje máximo que genera la celda solar. Este voltaje se mide cuando no existe un circuito externo conectado a la celda.
- **Máxima potencia generada ( $P_{máx}$ ):** Su valor queda especificado por una pareja de valores  $I_p$  y  $V_p$ , cuyo producto es máximo. La eficiencia de conversión de la celda  $\eta$ , se define como el cociente entre valor de la máxima potencia generada,  $P_{máx}$ , y la potencia de la radiación luminosa o irradiancia  $P_1$ .

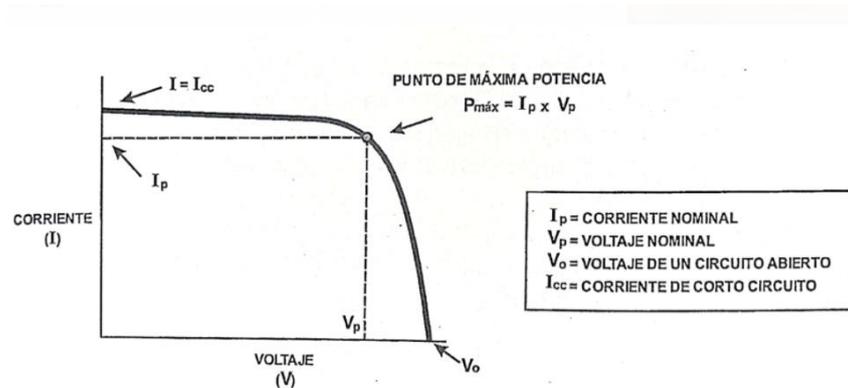


Figura 5. Puntos importantes que caracterizan un módulo fotovoltaico. Tomado del libro Instalaciones y sistemas fotovoltaicos (**Enríquez Harper, 2016**).

#### - Inversor

Una célula solar se comporta como un diodo, la parte expuesta a la radiación. Según Este equipo electrónico es el elemento central de una instalación fotovoltaica conectada a la red eléctrica. Además de realizar la conversión de continua a alterna, el inversor debe sincronizar la onda eléctrica generada con la de la corriente de la red, para que su compatibilidad sea total. El inversor dispone de funciones de protección, para garantizar tanto la calidad de la electricidad vertida a la red como la seguridad de la propia instalación y de las personas.” (Díaz Corcobado, y otros, 2010 pág. 27)

#### - Montaje o soporte de los paneles

Según Harper (2016 págs. 150-151): Es un elemento auxiliar del generador solar fotovoltaico fundamental, ya que debe asegurar su

correcta y segura fijación. Para las aplicaciones más habituales y de forma muy general, podemos decir que el lugar de colocación de los paneles fotovoltaicos y el tipo de soporte utilizado dependerá de diversos factores, como son:

- El tipo de instalación
- El lugar de instalación
- El costo de la instalación
- El tipo de módulo utilizado
- El número de módulos por panel
- El espacio disponible para colocar los paneles

### **2.2.5 Módulos Fotovoltaicos**

El bajo voltaje producido por la celda solar no es suficiente para todas las aplicaciones en donde se pueda usar. Para que se pueda generar una potencia útil, las celdas se agrupan en lo que se denomina el módulo solar o fotovoltaico. Este conjunto de celdas debe estar convenientemente conectadas, de tal forma que reúnan las condiciones óptimas para su integración en sistemas de generación de energía, siendo compatibles con las necesidades y los equipos estándares existentes en el mercado. Las celdas se pueden conectar en serie o en paralelo”. (Enríquez Harper, 2016 pág. 57)

#### **- Radiación solar**

Según **Castejón** (2010), “el sol genera energía mediante reacciones nucleares de fusión que se producen en su núcleo. Esta energía recibe el nombre de radiación solar, se transmite en forma de radiación electromagnética y alcanza la atmósfera terrestre en forma de conjunto de radiaciones o espectro electromagnético con longitudes de onda que van de  $0.15 \mu m$  a  $4 \mu m$  aproximadamente.” (Figura 6).

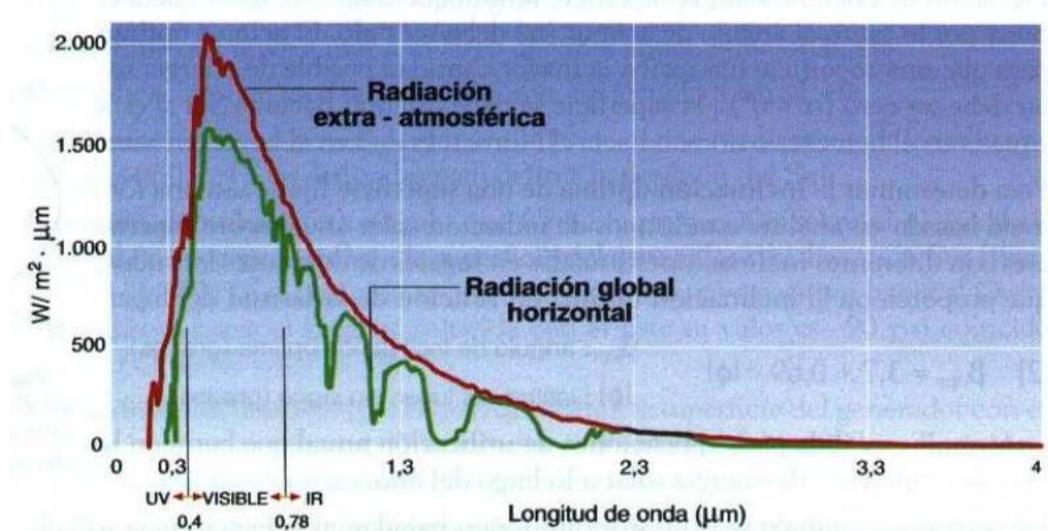


Figura 6. Electromagnético de la radiación solar extra atmosférica y en la superficie terrestre. Tomado del libro de Instalaciones solares fotovoltaicas (**Castejón, y otros, 2010**).

La parte del espectro que va de  $0.4 \mu m$  a  $0.78 \mu m$ , forma el espectro visible que denominamos comúnmente luz. El resto del espectro que no es visible, lo forman las radiaciones con longitudes de onda inferiores a  $0.4 \mu m$ , denominados radiaciones ultravioletas (UV) y con longitudes superiores a  $0.75 \mu m$  denominadas radiaciones infrarrojas (IR). (Castejón, y otros, 2010 pág. 14)

- **Tipos de radiación solar sobre una superficie**

La radiación solar sobre la superficie terrestre tiene variaciones temporales, siendo unas aleatorias, como la nubosidad y otras previsible, como son los cambios estacionales o el día y la noche, provocadas por los movimientos de la Tierra. (Castejón, y otros, 2010 pág. 15)

Para **Castejón** (2010 pág. 15), se tiene en cuenta tres calificaciones (Figura 7):

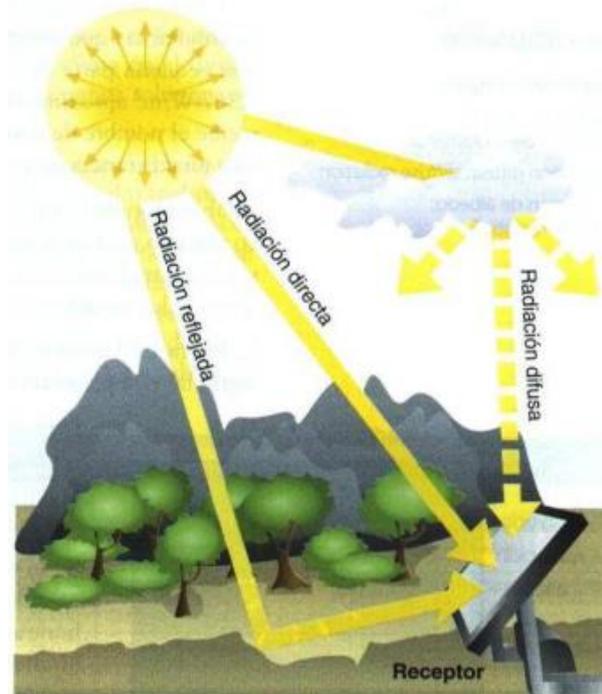


Figura 7. Tipos de radiación sobre una superficie. Tomado del libro de Instalaciones solares fotovoltaicas (**Castejón, y otros, 2010 pág. 15**).

- **Radiación directa:** la forman los rayos recibidos directamente del Sol.
- **Radiación difusa:** procedente de toda la bóveda del cielo, excluyendo el disco solar, la forman los rayos dispersados por la atmósfera en dirección al receptor (por ejemplo, en un día completamente nublado toda la radiación recibida es difusa).
- **Radiación reflejada o de albedo:** reflejada por la superficie terrestre hacia el receptor. Depende directamente de la naturaleza de las montañas, lagos, edificios, etc. Que rodean al receptor.

Para **Castejón** (2010 pág. 15), “la suma de todas las radiaciones descritas recibe el nombre de radiación global que es la radiación solar total que recibe la superficie de un receptor y por lo tanto la que nos interesa conocer y cuantificar.”

## - Irradiancia e irradiación

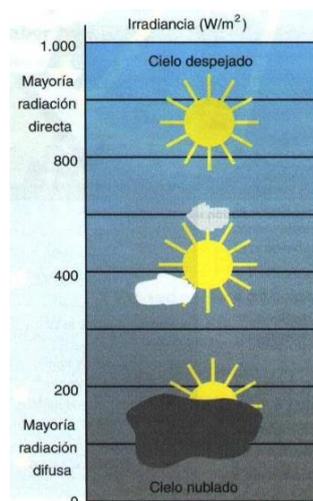
Según **Castejón** (2010 pág. 15): Para cuantificar la radiación solar se utilizan dos magnitudes que corresponden a la potencia y a la energía de la radiación que llegan a una unidad de superficie, se denominan irradiancia e irradiación, sus definiciones y unidades son las siguientes:

- **Irradiancia:** potencia o radiación incidente por unidad de superficie. Indica la intensidad de la radiación solar. Se mide en vatios por metro cuadrado ( $W/m^2$ ).
- **Irradiación:** integración o suma de las irradiancias en un periodo de tiempo determinado. Es la cantidad de energía solar recibida durante un periodo de tiempo. Se mide en julios por metro cuadrado por un periodo de tiempo ( $J/m^2$  por hora, día, semana, mes, año, etc., según el caso).

La irradiancia que genera el sol es de aproximadamente  $6,35 \times 10^7 W/m^2$  y solo una pequeña parte de esta radiación llega al exterior de la atmósfera terrestre,  $1,367 W/m^2$  aproximadamente. Este valor de la radiación solar extra atmosférica recibe el nombre de constante solar ( $B_0$ ) y se recibe cuando la tierra está situada a una distancia de  $1 \mu a$  del Sol. (Castejón, y otros, 2010 pág. 16)

La

Figura 8 es un ejemplo de valores de irradiancia sobre la superficie



terrestre según las componentes directa o difusa de la radiación solar.

Figura 8. Escala de irradiancia en función de la composición de la radiación solar.  
Tomado del libro Instalaciones solares fotovoltaicas (**Castejón, y otros, 2010 pág. 16**)

#### - **Efecto de la Temperatura y la Irradiancia en la curva I-V del panel**

Según **Borja** (2020), “tanto la curva I-V del módulo fotovoltaico, como su hoja técnica se dan para condiciones ambientales de STC (Standard Test Conditions), es decir, el funcionamiento del panel representado en las hojas de características corresponde con unas condiciones determinadas”, son las siguientes:

- Temperatura ambiente de 25°C
- Irradiancia de 1000 W/m<sup>2</sup>
- Masa de aire (Air Mass) de 1,5

#### - **Variación con la Temperatura**

Según **Borja** (2020 pág. 78), “la temperatura ambiente es uno de los factores que más afectan al rendimiento del módulo, siendo la tensión el parámetro más damnificado por las altas temperaturas.

Así pues, contradictoriamente, en las ubicaciones con mayor radiación solar, y donde a priori la capacidad de generación de los módulos solares es más alta, es también en los lugares en los que el rendimiento del es más reducido debido a las temperaturas. Para temperaturas ambientes de 35°C, temperaturas muy comunes en lugares con altas irradiancias, la temperatura de operación del módulo puede llegar a alcanzar los 70°C, cayendo de forma brusca su rendimiento. Los coeficientes que aparecen en las hojas de características determinan en qué medida afecta la temperatura a cada uno de los parámetros del módulo. (Borja Perez, 2020 pág. 76)

“Para obtener las condiciones de funcionamiento del panel a una determinada temperatura ambiente, el primer paso es calcular la temperatura del módulo. Esta debería de calcularse al menos para la máxima y mínima temperatura ambiente de la ubicación seleccionada.” (Borja Perez, 2020 págs. 77-78)

La siguiente ecuación muestra el procedimiento a seguir para el cálculo de la temperatura del módulo:

$$T_{módulo}(^{\circ}C) = T_{ambiente}(^{\circ}C) + G \left( \frac{kW}{m^2} \right) \times \frac{NOTC - 20^{\circ}C}{0,8 \left( \frac{kW}{m^2} \right)} \quad (1)$$

Donde:

- G es la irradiancia máxima del lugar y normalmente se considera 1 (kW/m<sup>2</sup>).
- NOTC es la temperatura de operación de la célula y es un parámetro que aparece en la hoja de características del panel.

Según **Borja** (2020): Una vez calculada la temperatura de operación de la célula, ha de calcularse la tensión de circuito abierto para la temperatura mínima y la potencia MPP, tensión MPP e intensidad de cortocircuito para la temperatura de operación del módulo máxima, para lo cual se utilizarán las siguientes fórmulas:

$$V_{CO}(T_{Min}) = V_{OC-T_{STC}} + \beta \times (T_{Min} - 25^{\circ}C) \quad (2)$$

$$V_{mpp}(T_{mód-max}) = V_{MPP-T_{STC}} + \beta \times (T_{módulos-max} - 25^{\circ}C) \quad (3)$$

$$I_{CC}(T_{mód-max}) = I_{SC-T_{STC}} + \alpha \times (T_{módulos-max} - 25^{\circ}C) \quad (4)$$

$$P_{mpp}(T_{mód-max}) = P_{MPP-T_{STC}} + \gamma \times (T_{módulos-max} - 25^{\circ}C) \quad (5)$$

## 2.2.6 Horas solar pico

Según **Sánchez-Aarón, Martínez-Dalia, Santos-Rocío, Ortega-José, Sanchez-Pedro** (2017), “para la aplicación del recurso solar en los sistemas fotovoltaicos, los ingenieros de diseño han convenido en usar otra unidad de medición de energía para especificar la irradiación. Si se considera que un captador horizontal puede recibir una irradiancia directa aproximada de 1,000 W/m<sup>2</sup> bajo las condiciones de día claro, al nivel del mar y estando el sol en el cenit del captador, entonces por convención a dicha cantidad se le ha llamado pico de la irradiación. En consecuencia, si un captador recibe hipotéticamente un pico de irradiancia durante una hora, a la cantidad de energía recibida se ha

convenido llamarla hora solar-pico o simplemente hora-pico.” Así, la transformación de unidades es:

$$1 \text{ h-p} = 1 \text{ hora-pico} = 1,000 \text{ Wh/m}^2$$

Según **Sánchez-Aarón, Martínez-Dalia, Santos-Rocío, Ortega-José, Sanchez-Pedro** (2017 pág. 77), “ya que el área bajo la curva de irradiancia contra tiempo es la irradiación, entonces desde el punto de vista geométrico, el recurso solar en un día expresado en horas-pico corresponde al área de un rectángulo cuya base es el número de horas en que supuestamente el captador ha estado recibiendo una irradiancia con una intensidad pico de  $1,000 \text{ W/m}^2$ .”

Con la anterior definición se tendrá que, para conocer las horas-pico que un determinado sitio tiene como recurso solar, se dividirá el valor de la irradiación entre el pico de la irradiancia ( $1,000 \text{ W/m}^2$ ); por ejemplo, para una irradiación de  $8.0 \text{ kWh/m}^2$  se tendrá una equivalencia de 8 horas solares pico. La

Figura 9. El concepto de hora-pico como unidad de energía para la irradiación o recurso solar. Tomado del libro aplicaciones fotovoltaicas de la energía solar en los sectores residencial, servicio e industrial.

muestra éste práctico concepto de unidad de energía. Así, las horas-pico son las horas en que el captador estuvo aparentemente recibiendo el valor pico de la irradiancia.”

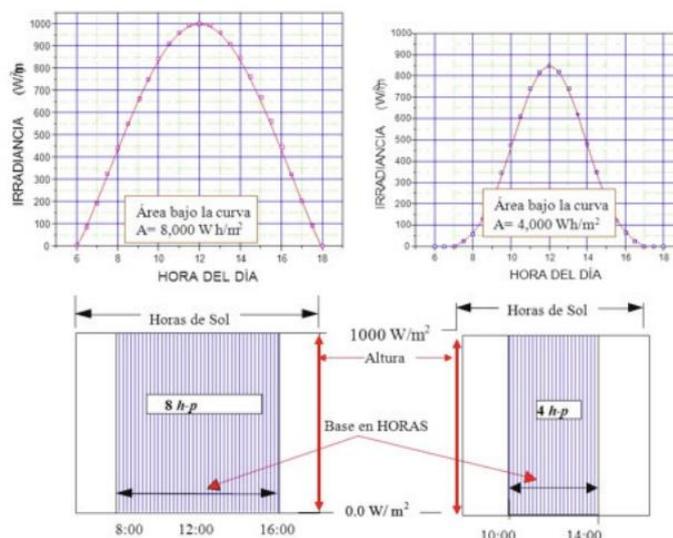


Figura 9. El concepto de hora-pico como unidad de energía para la irradiación o recurso solar. Tomado del libro aplicaciones fotovoltaicas de la energía solar en los sectores residencial, servicio e industrial (**Sánchez Juárez, y otros, 2017**).

### 2.2.7 Orientación e inclinación y sombras

Según **Castejón** (2010 pág. 173): La orientación e inclinación del generador fotovoltaico y las posibles sombras sobre el mismo serán tales pérdidas sean inferiores a los límites establecidos en la Tabla 1. Se consideran tres tipos de instalación para los módulos y diferentes porcentajes de pérdidas para cada caso:

- **Generador:** Módulos instalados con la única función de generar energía.
- **Integración arquitectónica:** Cuando los módulos fotovoltaicos cumplen una doble función, energética y arquitectónica (revestimiento, cerramiento o sombreado), además sustituyen a elementos constructivos convencionales:
  - Revestimiento: Los módulos constituyen parte de la envolvente de una construcción arquitectónica.
  - Cerramiento: Los módulos constituyen el tejado o la fachada de la construcción arquitectónica (Figura 10), debiendo garantizar la debida estanqueidad y aislamiento térmico.



Figura 10. Ejemplo de módulos fotovoltaicos integrados en la fachada (Schott Solar). Tomado del libro Instalaciones solares fotovoltaicas (**Castejón, y otros, 2010**).

- Sombreado: Los módulos protegen a la construcción arquitectónica de la sobrecarga térmica causada por los rayos

solares, proporcionando sombras en el tejado o en la fachada de este.

- **Superposición de módulos:** Colocación de los módulos paralelos a la envolvente del edificio sin la doble funcionalidad definida en el apartado de integración arquitectónica. No se aceptarán, dentro del concepto de superposición, módulos horizontales.

En todos los casos se han de cumplir tres condiciones: pérdidas por orientación e inclinación, pérdidas por sombreado y pérdidas totales inferiores a los límites estipulados en la *Tabla 1* respecto a los valores óptimos.

**Tabla 1. Valores límite de las pérdidas por orientación e inclinación y sombras**

Tipo de instalación de los módulos	Orientación e inclinación (OI)	Sombras (S)	Total (OI + S)
General	10%	10%	15%
Superposición	20%	15%	30%
Integración arquitectónica	40%	20%	50%

Nota: Tomado del libro Instalaciones solares fotovoltaicas (Castejón, y otros, 2010 pág. 173)

### 2.2.8 Conexiones de módulos fotovoltaicos

Según **Castejón** (2010 págs. 35-36): Pueden realizar tres tipos de conexión en función de las necesidades:

- Conexión serie: Para elevar la tensión del generador.
- Conexión en paralelo: Para elevar la intensidad del generador.

#### **Conexión de módulos en serie:**

La intensidad del generador es igual a la de un módulo y la tensión del generador es la tensión de un módulo por el número de módulos en serie:

$$I_G = I_M \quad (6)$$

Donde:

$I_G$ : Intensidad del generador (A)

$I_M$ : Intensidad de un módulo (A)

$$U_G = N_S \times U_M \quad (7)$$

Donde:

$N_S$ : Número de módulos conectados en serie

$U_G$ : Tensión del generador (V)

$U_M$ : Tensión de un módulo (V)

El conexionado en serie de los módulos (Figura 11) se realiza conectando el terminal positivo de un módulo con el negativo del siguiente módulo. El terminal negativo del primer módulo es el terminal negativo del generador y el terminal positivo del último módulo es el terminal positivo del generador. (Castejón, y otros, 2010 pág. 36)

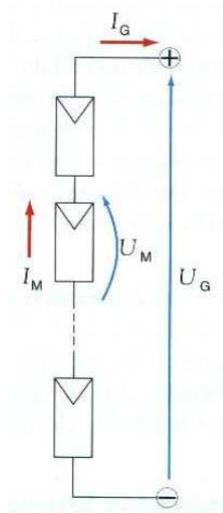


Figura 11. Conexión de  $N_S$  módulos en serie. Tomado del libro Instalaciones solares fotovoltaicas (Castejón, y otros, 2010 pág. 36).

### Conexión de módulos en paralelo:

Según Castejón (2010 págs. 36-37): La tensión del generador es igual a la de un módulo y la intensidad del generador es la intensidad de un módulo por el número de módulos en paralelo.

$$I_G = N_P \times I_M \quad (8)$$

Donde:

$I_G$ : Intensidad del generador (A)

$I_M$ : Intensidad de un módulo (A)

$N_P$ : Número de módulos conectados en paralelo

$$U_G = U_M \quad (9)$$

Donde:

$U_G$ : Tensión del generador (V)

$U_M$ : Tensión de un módulo (V)

El conexionado en paralelo de los módulos (Figura 12) se realiza conectando el terminal positivo de todos los módulos entre sí para formar el terminal positivo del generador y conectando el terminal negativo de todos los módulos entre sí para formar el terminal negativo del generador. (Castejón, y otros, 2010 pág. 37)

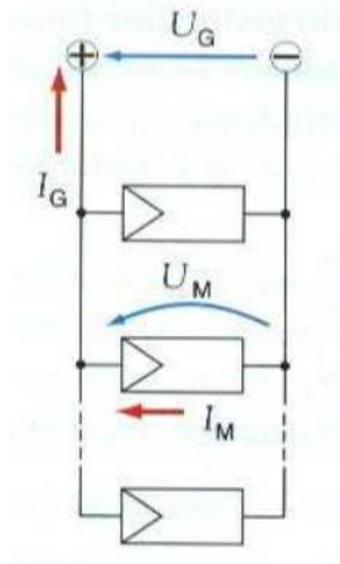


Figura 12. Conexión de  $N_p$  módulos en paralelo. Tomado del libro Instalaciones solares fotovoltaicas (Castejón, y otros, 2010 pág. 37).

### 2.2.9 Parámetros característicos de un módulo fotovoltaico

Según Castejón (2010 págs. 29-30): Un módulo fotovoltaico está constituido por varias células solares conectadas eléctricamente entre sí. Si todas las células son iguales y trabajan en las mismas condiciones de irradiación y temperatura, la tensión, la intensidad y potencia que puede proporcionar un módulo fotovoltaico cumplen las siguientes relaciones:

$$U_M = N_S \times U_C \quad (10)$$

Donde:

$U_M$ : Tensión del módulo (V)

$U_C$ : Tensión de una célula solar (V)

$N_S$ : Número de células asociadas en serie

$$I_M = N_P \times I_C \quad (11)$$

Donde:

$I_M$ : Intensidad del módulo (A)

$I_C$ : Intensidad de una célula solar (V)

$N_P$ : Número de células/ramas en paralelo

$$P_M = N_S \times N_P \times P_C \quad (12)$$

Donde:

$P_M$ : Potencia del módulo (W)

$P_C$ : Potencia de una célula solar (W)

$N_S$ : Número de células asociadas en serie

$N_P$ : Número de células/ramas en paralelo

Como se puede deducir de las expresiones anteriores, los parámetros eléctricos de un módulo fotovoltaico tienen una relación directa con los parámetros eléctricos de sus células y con la cantidad y el conexionado serie-paralelo de las mismas. (Castejón, y otros, 2010 pág. 30)

Según **Castejón** (2010): Todo lo anterior nos lleva a establecer que las características i-u y p-u de un módulo son proporcionales a las de sus células solares y las conclusiones obtenidas para una célula solar son válidas también para un módulo:

(Nota:  $i$ : tensión,  $u$ : tensión)

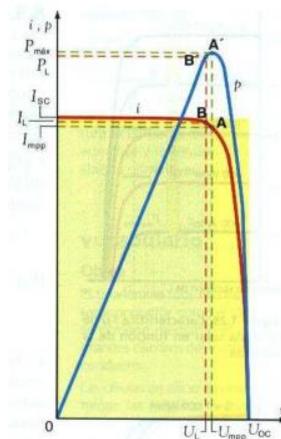


Figura 13. Características i-u y p-u de una célula solar. Tomado del libro Instalaciones solares fotovoltaicas de ingeniería (**Castejón, y otros, 2010 pág. 25**)

- El punto de trabajo en la característica i-u del módulo lo fijan la resistencia R de la carga conectada y la corriente  $I_M$  aportada por el módulo que depende de la radiación solar. La tensión  $U_M$  proporcionada por el módulo se obtiene aplicando la ley de Ohm:  
$$U_M = I_M \times R.$$
- Hay un punto en la característica i-u, de valores  $V_{mpp}$  e  $I_{mpp}$ , en el que la potencia entregada por el módulo es máxima.

Se cumple que:  $P_{m\acute{a}x} = V_{mpp} \times I_{mpp}$ . Este producto es la potencia máxima que el módulo es capaz de suministrar a un receptor. Es la potencia que se usa en los cálculos.

- La intensidad de la corriente proporciona un módulo fotovoltaico es proporcional a la irradiancia de la radiación solar y aunque se cortocircuite no puede sobrepasar el valor de la corriente de cortocircuito  $I_{SC}$ .
- Los efectos de la temperatura en las características del módulo son similares a los de una célula:
  - La tensión de circuito abierto disminuye al aumentar la temperatura
  - La intensidad de cortocircuito aumenta al aumentar la temperatura.
  - La potencia del módulo disminuye al aumentar la temperatura.

### 2.2.10 Hoja de datos del fabricante

Según **Castejón** (2010 págs. 31-32): Las hojas de datos de un módulo deben concluir información de un conjunto de parámetros característicos de acuerdo con las normas (UNE-EN50380-2003). Los parámetros de funcionamiento eléctrico que deben aparecer en las hojas de datos son:

- **Potencia eléctrica máxima ( $P_{m\acute{a}x}$ ):** Potencia correspondiente al punto de característica intensidad-tensión donde el producto de la

intensidad por la tensión es máximo. También se denomina potencia de pico.

- **Tensión en circuito abierto ( $V_{CO}$ ):** Tensión de salida de un módulo fotovoltaico en circuito abierto (sin carga) a una irradiancia y temperatura determinadas.
- **Intensidad de cortocircuito ( $I_{CC}$ ):** Intensidad de salida de módulo fotovoltaico en cortocircuito a una irradiancia y temperatura determinadas.
- **Tensión en el punto de máxima potencia ( $V_{mpp}$ ):** Tensión correspondiente a la potencia máxima.

Según **Castejón** (2010 pág. 32); Estos parámetros se tienen que especificar en dos condiciones de funcionamiento:

- **Condiciones estándar de medida (CEM – Standard test conditions – STC)** que corresponden a una irradiancia en el plano del módulo de 1000 W/m<sup>2</sup>, temperatura del módulo de 25±2°C y una distribución espectral de la irradiancia de acuerdo con el factor de masa de aire AM 1,5. (Castejón, y otros, 2010 pág. 32)
- **Condiciones de temperatura de operación nominal de la célula o celda (TONC – Nominal operating cell temperture – NOCT):** que corresponden a una irradiancia en el plano del módulo de 800 W/m<sup>2</sup>, con orientación normal a la radiación incidente al mediodía solar, temperatura ambiente 20°C, velocidad del viento a 1m/s y funcionamiento en circuito abierto. (Castejón, y otros, 2010 pág. 32)

Según **Castejón** (2010 pág. 32): Los parámetros térmicos de funcionamiento que deben aparecer en las hojas de datos son:

- **Temperatura de operación nominal de la célula o celda (TONC):** temperatura media de equilibrio de las células de un módulo en condiciones ambientales de referencia de 800 W/m<sup>2</sup> de irradiancia, 20°C de temperatura ambiente, 1 m/s de velocidad del viento, módulo en circuito abierto y soporte abierto con orientación normal a la radiación incidente al mediodía solar. (Castejón, y otros, 2010 pág. 32).



- **Coefficiente de temperatura**

- **Coefficiente intensidad – temperatura ( $\alpha$ ):** Variación de la intensidad de cortocircuito de un módulo fotovoltaico por grado centígrado de variación de la temperatura de sus células. Se especifica en valor absoluto en mA/°C o en valor relativo como %/°C. (Castejón, y otros, 2010 pág. 32)
- **Coefficiente tensión – temperatura ( $\beta$ ):** Variación de la tensión de circuito abierto de un módulo fotovoltaico por grado centígrado de variación de la temperatura de sus células. Se especifica en valor absoluto en mV/°C o en valor relativo como %/°C. (Castejón, y otros, 2010 pág. 32)

**2.2.11 Software Pvsyst**

El programa Pvsyst es un software especializado de cálculo, selección y evaluación financiera de sistemas fotovoltaicos.

El software viene incorporado con un amplio catálogo de componentes fotovoltaicos de diferentes fabricantes el cual permite al usuario elegir el componente de su elección sin afectar los resultados del proyecto.

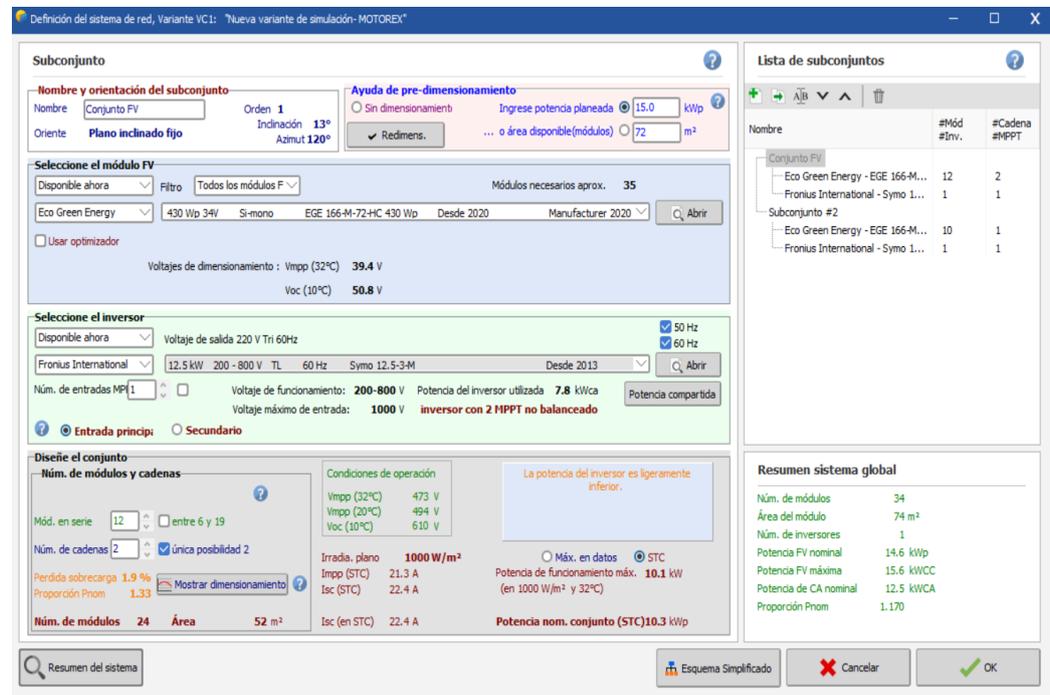


Figura 14 Software PVSYSY. Tomado del software PVSYSY.

### **2.2.12 Interconexión y protecciones**

La tensión del campo fotovoltaico es elevada, por lo que hay que disponer varios módulos en serie conectados en paralelo con otros grupos similares, hasta alcanzar la potencia prevista en el dimensionado. El hecho de conectar un gran número de módulos en serie añade un problema a la elección de éstos, como es el de la dispersión de la corriente pico. La elección de las células que componen un módulo y su clasificación para la futura potencia del mismo es fundamental, ya que, si una célula difiere mucho en producción de corrientes de otras, la corriente generada por el conjunto será precisamente la de la más desfavorable. En resumen, el módulo que menos corriente produzca a una determinada radiación en una conexión en serie, es el que marcará la corriente final del grupo de módulos. (Enríquez Harper, 2016 pág. 104)

Respecto a las protecciones, se debe tener en consideración las elevadas tensiones de trabajo en este tipo de instalaciones, que en algunos casos pueden llegar hasta 500 V en C.D. Es aconsejable que el campo fotovoltaico se proteja eléctricamente con interruptores que permitan el cortocircuito y el circuito abierto, para facilitar las conexiones y manipulaciones posteriores, así como elementos varistores o descargadores de sobretensiones que eviten la inducción de picos que pueden afectar a la electrónica interna del inversor. También es recomendable, si el número de módulos es elevado, distribuir por grupos la acometida de líneas, y facilitar la desconexión eléctrica de alguno de los grupos para revisión futura, no descartando además la posibilidad de disponer de armarios separados para el polo positivo y el negativo, evitando el contacto humano accidental con tensiones elevadas. (Enríquez Harper, 2016 pág. 104)

### **2.2.13 Análisis de necesidades de inversión**

La inversión necesaria en un proyecto se estima teniendo en cuenta todos los recursos que se asignarán al proyecto; esto incluye, entre otros, el personal, los materiales, el equipo, los servicios, las

instalaciones, así como otros posibles costes como los financieros o partidas para contingencias. Por tanto, antes de realizar el análisis de costes hay que disponer de una definición detallada del proyecto. Solo este conocimiento rotundo de las características del proyecto puede permitir una estimación de costes acertada. (Campo Arranz, y otros, 2014 pág. 53)

Según **Campo Arranz, Raquel; Del Campo Dominguez, María; Rodrigo Raya, Victor** (2014 pág. 53), se presenta dos tipos de análisis de inversiones, los cuales son:

- **Inversión inicial:** Se trata del presupuesto del proyecto, lo que debe desembolsar la empresa para tener el proyecto acabado y funcionando. En inglés se denomina **CAPEX** (CAPital EXpenditures)
- **Costo del mantenimiento:** Se trata de los costos periódicos (normalmente anuales) de mantenimiento del nuevo producto o servicio que se obtiene como resultado del proyecto. En inglés se denomina **OPEX** (OPerating EXpenses).

La fórmula para el cálculo del OPEX es el siguiente:

$$OPEX = \sum_1^t \frac{(M_t + R_t)}{(1 + r)^t} \quad (13)$$

Donde:

r: Tasa de interés

t: Tiempo

M<sub>t</sub>: Costo de mantenimiento anual

R<sub>t</sub>: Costo por equipos de reemplazo

#### **2.2.14 Costo nivelado de energía (LCOE)**

El costo nivelado de energía (LCOE, Levelized Cost of Electricity), es un valor de largo plazo que permite comparar económicamente diferentes tecnologías de generación de energía. Es consecuencia de los diferentes elementos involucrados en la construcción, operación y financiación del proyecto, así como del mercado eléctrico al que pertenecerá. La EIA define el LCOE como el costo por unidad de energía

en dólares reales que tiene que construir y generar con una planta durante el ciclo de vida técnico y financiero.” (Trespalacios Carrasquilla, y otros, 2017 pág. 161)

Según **Colmenar-Antonio, Borge-David, Collado-Eduardo y Castro-Manuel** (2015), se presenta fórmula empleada para el cálculo del LCOE:

$$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^N \frac{I_t + M_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^N \frac{E_t}{(1+r)^t}} \quad (14)$$

Donde:

I: Inversión.

M: costes de operación y mantenimiento.

E: energía producida.

r: tasa de descuento

*Nota: (EIA: Administración de información de energía)*

### 2.2.15 Criterios de inversión

#### - Valor actual neto (VAN)

Según **Arrojo y Vásquez** (2016 pág. 71): Al valor actual neto (VAN) se le denomina también valor presente neto (VPN). Se trata del valor actual de los beneficios netos que genera el proyecto, hallados utilizando el COK (costo de oportunidad de capital), menos la inversión realizada en el periodo cero.

Se presenta la fórmula empleada para el cálculo del VAN:

$$VAN = \sum_{t=0}^n \frac{BN_t}{(1+i)^t} - I_0 \quad (15)$$

Donde:

$BN_t$ : beneficios netos del periodo (t)

i: tasa de descuento (tasa de interés (%)) o costo de oportunidad del capital (%).

$I_0$ : inversión en el periodo cero

n: vida útil del proyecto

Los flujos futuros deben tener una sola periodicidad. Es decir, son flujos mensuales, trimestrales o anuales. La tasa de descuento debe estar en función de dicha periodicidad.

- **Interpretación del VAN**

Según **Arrojo y Vásquez** (2016 págs. 72-73): Los intervalos que puede tomar este indicador son los siguientes:

- VAN>0. Cuando el VAN es mayor que cero, es recomendable realizar la inversión del proyecto analizado. Un valor mayor a cero indica que se obtendrá una ganancia respecto a la inversión en la mejor alternativa.
- VAN=0. Si el VAN es igual a cero, para el inversionista es indiferente realizar la inversión en el proyecto u optar por la mejor alternativa.
- VAN<0. Si el VAN<0, el proyecto no resultará mejor que su alternativa, por lo que el inversionista deberá decidir no realizarlo.

- **Tasa interna de retorno (TIR):**

La TIR es una tasa porcentual que indica la rentabilidad promedio anual (o periódica, dependiendo de la periodicidad de los flujos) que genera el capital que permanece invertido en el proyecto, en caso se trate de una inversión.

Para el caso contrario, que es de financiamiento, la TIR representa el costo promedio anual (o periódico, dependiendo de la periodicidad de los flujos) que se debe pagar por un determinado capital. (Arroyo Gordillo, y otros, 2016 pág. 74)

Se presenta la fórmula empleada para el cálculo del TIR:

$$\sum_{t=0}^n \frac{BN_t}{(1+i)^t} - I_0 = f \quad (16)$$

- **Interpretación de la TIR:**

La TIR puede ser interpretada como el máximo costo el cual un inversionista podría tomar prestado dinero para financiar la totalidad de un proyecto y a su vez ser capaz de repagar tanto el capital como

los costos de su producción, sin perder dinero. La TIR debe ser mayor el costo de oportunidad. Con este criterio de aceptación el proyecto es viable.” (Arroyo Gordillo, y otros, 2016 pág. 77)

### **2.3 Marco conceptual**

#### **- La energía solar fotovoltaica en el Perú**

La PUCP ubicada en Lima, publica lo siguiente: “La energía solar es una de las opciones que se están desarrollando como alternativas a las energías provenientes de la quema de combustibles fósiles. A diferencia de los países nórdicos, el territorio peruano, por estar mucho más próximo al Ecuador, cuenta con sol durante la mayor parte del año. Según el Atlas Solar del Perú elaborado por el Ministerio de Energía y Minas, el Perú tiene una elevada radiación solar anual siendo en la sierra de aproximadamente 5.5 a 6.5 kWh/m<sup>2</sup>; 5.0 a 6.0 kWh/m<sup>2</sup> en la Costa y en la Selva de aproximadamente 4.5 a 5.0 kWh/m<sup>2</sup>. En el Perú hay tres ámbitos donde se ha desarrollado el uso de energía solar en el Perú.” (GRUPO DE APOYO AL SECTOR RURAL, 2017)

#### **- La Energía Solar Fotovoltaica en los Sectores Económicos**

Los Sectores económicos del Perú, de acuerdo con nuestro PBI son los mayores potenciales usuarios para implementar este tipo de tecnología, dado que cuentan con el poder adquisitivo para invertir en este sistema de generación y obtener el retorno de su inversión en un tiempo corto, dependiendo las actividades que producen.

Según Osinergmin indica lo siguiente: “De acuerdo con Irena (2020), hasta el año 2019, los sistemas fotovoltaicos producen más de 580 GW de energía a nivel mundial. La cantidad de capacidad instalada adicionada durante 2019 fue la más alta de las energías renovables. El 60% de los nuevos sistemas instalados en 2019 se ubicaron en Asia, principalmente en China, India, Japón y Corea del Sur, quienes sumaron 47.5 GW de la capacidad fotovoltaica instalada.” (OSINERMING, 2020 pág. 5)

- **Reglamentación de las Energía Solar Fotovoltaica en el Perú**

Según el diario El Peruano, “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.” (PERUANO, 2018)

A la hora de dimensionar la instalación solar fotovoltaica, es primordial conocer los parámetros eléctricos fundamentales de los módulos fotovoltaicos que están comercialmente disponibles:

- Punto de máxima potencia (PMP): producto del valor de la tensión ( $V_{mpp}$ ) e intensidad ( $I_{mpp}$ ) máximas para los que la potencia entregada es máxima.

Factor de forma (FF): cociente entre la potencia máxima que puede entregarse a una carga y el producto entre la tensión a circuito abierto y la intensidad de cortocircuito. Suelen ser habituales los valores comprendidos entre 0.7 y 0.8.

$$FF = \frac{I_m \times V_m}{V_o \times I_{cc}} \quad (17)$$

- Eficiencia de conversión energética: cociente entre la potencia eléctrica máxima y la potencia dependiente de la irradiancia incidente (PL) sobre la célula.

$$\eta = \frac{P_m}{P_L} = \frac{I_m \times P_m}{P_L} \quad (18)$$

- Temperatura: Es importante considerar los efectos de la temperatura ya que influye en cada uno de los parámetros de la célula mencionados. Para tener en cuenta, a mayor temperatura:
  - Aumenta la intensidad de cortocircuito ( $I_{cc}$ )

- Disminuye la tensión a circuito abierto ( $V_{co}$ )
  - Disminuye el factor de forma (FF)
  - Decrece el rendimiento
  - Esto se debe principalmente al calentamiento que sufren las células por su continuada exposición al sol, pudiéndose alcanzar temperaturas muy elevadas. Por ello, este factor es determinante a la hora de diseñar los sistemas fotovoltaicos, principalmente los de concentración, contando siempre con sistemas de disipación del calor.
- Intensidad de radiación: La intensidad de corriente aumenta con la radiación mientras que la tensión permanece aproximadamente constante. Esto es importante ya que la radiación cambia a lo largo del día, en función de la posición del sol, por lo que es imprescindible una adecuada posición de los paneles. Encontrar la posición adecuada es el origen del seguimiento del punto de máxima potencia, del que se hablará más adelante.

### **2.3.1 Definición de términos básicos**

- Radiación Solar: Conjunto de ondas electromagnéticas emitidas por el Sol.
- Irradiancia Solar: Es la potencia de la radiación solar medida en una superficie. Su unidad es  $W/m^2$ .
- Irradiación Solar: Es la cantidad de energía incidente sobre una superficie en el tiempo. Su unidad de medida es  $Wh/m^2$ .
- Insolación: Es la cantidad de energía acumulada en un periodo de tiempo determinado.
- Hora Solar Pico: Es el promedio diario de horas sol. Se representa como el área bajo la curva formada por la Irradiancia.
- Cargas eléctricas: Carga eléctrica es llamada al conjunto de aparatos que consumen energía eléctrica, se expresa en  $W$  o  $kW$  (según SI).
- Módulo fotovoltaico: Panel solar o módulo solar, está formado por células fotovoltaicas unidas en serie y paralelo.

- Inversor de Corriente: Es un equipo diseñado para convertir corriente continua en corriente alterna, en sistemas fotovoltaico es la parte fundamental del diseño ya que la energía transformada es directamente consumida por el usuario.
- Autoconsumo Fotovoltaico: Es un término utilizado para mencionar la generación de energía para el consumo del usuario.

### **III.HIPÓTESIS Y VARIABLES**

#### **3.1 Hipótesis**

##### **3.1.1 Hipótesis General**

Si se diseña un sistema fotovoltaico e interconectado a la red ayudará a la reducción del costo por consumo de energía eléctrica de la Empresa Motorex S.A. – 2021.

##### **3.1.2 Hipótesis Específicas**

- Si se dimensiona un sistema de generación fotovoltaica se reducirá el costo por consumo de energía eléctrica de la empresa Motorex S.A.- 2021.
- Si disminuye la facturación eléctrica del edificio se reducirá el costo por consumo de energía eléctrica de la empresa Motorex S.A.-2021.
- Si se optimiza el tiempo de operación de los servicios se reducirá el costo por consumo de energía eléctrica de la empresa Motorex S.A. – 2021.

#### **3.2 Definición conceptual de variables**

Las variables que se deben considerar en la presente tesis son:

##### **3.2.1 Variable Independiente**

- Sistema fotovoltaico e interconectado a la red

##### **3.2.2 Variable Dependiente**

- Costo por consumo de energía eléctrica

### 3.3 Operacionalización de variable

**Tabla 2. Operaciones variables**

<b>Variables</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>
<b>Variables independientes</b> V1. Sistema fotovoltaico e interconectado a la red	V.1.1 Generación eléctrica por cédulas fotovoltaicas	V.1.1.1 Diagrama de conexión fotovoltaico V.1.1.2 kWh generados
	V.1.2 Radiación solar	V.1.2.1 Hora solar pico V.1.2.2 Ángulo de inclinación solar
<b>Variables dependientes</b> V2. Costo por consumo de energía eléctrica	V.2.1 Generación fotovoltaica.	V.2.1.1 Energía fotovoltaica generada
	V.2.2 Facturación eléctrica.	V.2.1.2 Energía consumida
	V.2.3 Tiempo de operación de los servicios.	V.2.1.3 Energía consumida de la red eléctrica V.2.2.1 Cuadro de cargas eléctricas V.2.2.2 Horas uso V.2.2.3 Facturación de energías eléctricas V.2.3.1 Horas uso V.2.3.2 Plan de concientización al personal

Fuente: Elaboración propia.

## **IV. DISEÑO METODOLÓGICO**

El diseño se concreta de acuerdo con la naturaleza del problema a investigar. El problema determinará los métodos, las técnicas, estrategias y los instrumentos para la ejecución de la investigación, que puede ser básica, aplicada, de naturaleza filosófica o humanística.

### **4.1 Tipo y diseño de investigación**

La investigación tecnológica “su objetivo radica en la creación o modificación de los diversos instrumentos, mediante la validación y la optimización de las tecnologías y sus productos materiales. Este nivel de investigación se guía por un interés eminentemente práctico, orientado a producir bienes y servicios de utilidad económica o social.” (Valderrama Mendoza, 2002 pág. 40)

El presente trabajo es de tipo tecnológica porque se ve la necesidad de implementar un sistema de energía renovable (no convencional) para la reducción del costo de la electricidad mediante un sistema fotovoltaico interconectado a la red para la reducción del consumo eléctrico.

### **4.2 Método de investigación**

La investigación aplicada “movidada por el espíritu de la investigación fundamental, ha enfocado la atención sobre la solución de problemas más que sobre la formulación de teorías. Se refiere a resultados inmediatos y se halla interesada en el perfeccionamiento de los individuos implicados en el proceso de la investigación” (Valderrama Mendoza, 2002 pág. 39)

La investigación no experimental “son estudios que se realizan sin la manipulación deliberada de variables y en los que sólo se observan los fenómenos en su ambiente natural para después analizarlos.” (Hernández Sampieri, y otros, 2010 pág. 149)

El enfoque cualitativo “utiliza la recolección y análisis de los datos para afinar las preguntas de investigación o revelar nuevas interrogantes en el proceso de interpretación. (Hernández Sampieri, y otros, 2010 pág. 7)



## 4.5 Técnicas e instrumentos para la recolección de la información

Para la recolección de datos utilizaremos la técnica documental:

- Revisión e investigación de la radiación solar en el lugar de estudio.
- Revisión y análisis de la energía generada durante un año.
- Revisión y análisis de especificaciones técnicas de los paneles solares a seleccionar.
- Revisión y análisis de las especificaciones técnicas del inversor de Interconexión a seleccionar.
- Hojas de datos de los paneles y equipos complementarios para el sistema fotovoltaico.
- Manuales de los paneles solares e inversor de interconexión.

## 4.6 Análisis y procesamiento de datos

### 4.6.1 Determinación del cuadro de cargas

Se determinará las cargas eléctricas que existen en las oficinas de la empresa Motorex S.A., para ello se hizo una contabilización de los aparatos eléctricos y electrónicos existentes de acuerdo con el aforo permitido para la empresa.

**Tabla 3. Cuadro de consumo semanal de cargas eléctricas en Motorex S.A.**

N°	DESCRIPCION	CANTIDAD	POTENCIA (W)	HORAS USO (HORAS/DIA)	DIAS USO (DIA/SEMANA)
1	Computadoras	6	450	9	5
2	Laptops	24	250	9	5
3	Aire Acondicionado	8	3768	9	5
4	Microondas	2	1000	2	5
5	Audiovisual	2	100	9	5
6	Cargadores	30	15	9	5
7	Ventiladores	14	35	9	5
8	Luminarias	27	100	9	5
9	Extractores de Aire para combatir COVID 19	2	1500	9	5
10	Equipos de Seguridad	1	120	24	7
11	Servidores	1	500	24	7

Fuente: Elaboración propia.

Del cuadro podemos observar que se tienen once tipos de cargas las cuales son de uso individual y común en la empresa, siendo los ítems del 1 a 9 cargas que operan nueve horas a la semana de lunes a viernes,

los ítems 10 y 11 operan las 24 horas del día durante los 7 días de la semana.

#### **4.6.2 Costos por consumo de energía eléctrica conectado a la red**

De acuerdo con cuadro de cargas presentado en la sección anterior (*Tabla 3*) se consultó al usuario el uso de las cargas durante el día con el fin de obtener el consumo (kWh). Siendo la jornada laboral de lunes a viernes desde las 8:00am hasta las 5:00pm, y el horario de refrigerio empieza desde las 12:00pm hasta las 2:00pm (horario por grupos).

El jefe de calidad nos compartió la siguiente información:

- Las computadoras de escritorio están conectadas toda la jornada laboral, debido al comportamiento de los trabajadores de 8:00am hasta 9:00am están encendidas al 50%, el horario de refrigerio se diseñó para que el 70% del personal salga a almorzar y solo el 30% se quede operando, por último, al final del día el 20% del personal se queda haciendo horas extras hasta las 6:00pm.
- Las laptops que la empresa Motorex S.A. cuenta son de la marca HP las cuales se cargan al 100% en dos horas y su batería da operatividad por 4 horas, debido al comportamiento de los trabajadores de 8:00am hasta 9:00am el 50% inicia sus labores cargando la laptop, luego de las 2 horas de carga desconectan el cargador y usan la energía de la batería, el horario de refrigerio se diseñó para que el 70% del personal salga a almorzar y solo el 30% se quede operando, por último, al final del día el 20% del personal se queda haciendo horas extras hasta las 6:00pm.
- Las cargas de aire acondicionado son del tipo piso techo y frio solo de la marca Midea de capacidad 36kbtu/hr con compresor scroll, el cual tiene un tiempo de enfriamiento de 30 minutos. Cabe mencionar que los equipos se encienden solo en los meses de verano: diciembre, enero, febrero y marzo, el resto de los meses esta apagado.
- Los microondas se usan durante el horario de refrigerio, el cual inicia a las 12:00pm hasta las 2:00pm, cabe mencionar que existen 2 comedores

habilitados en el edificio de oficinas de la empresa, siendo 30 personas las que lo ocupan y usan por un tiempo de 2 minutos cada uno.

Por tanto, se tiene la siguiente fórmula para calcular el tiempo de encendido del microondas:

$$T_e = N_p \times t_c. \quad (19)$$

Donde:

$T_e$ : Tiempo total de encendido del microondas (minutos)

$N_p$ : Número de personas

$t_c$ : Tiempo promedio de uso por persona (minutos)

Se tiene los siguientes valores:

$$N_p = 30 \text{ personas.} \quad (20)$$

$$t_c = 2 \text{ min.} \quad (21)$$

Remplazando los valores (20) y (21) en la ecuación (19) se obtiene:

$$T_e = 60 \text{ min.} \quad (22)$$

Luego determinaremos la fracción de uso por hora al día, el cual se determina de la siguiente manera:

$$F_{uso} = \frac{T_e}{N_m} \times \frac{1}{T_r}. \quad (23)$$

Donde:

$F_{uso}$ : Fracción de uso por hora

$T_e$ : Tiempo total de encendido del microondas (minutos)

$N_m$ : Número de microondas

$T_r$ : Tiempo de refrigerio por hora (minutos)

Se tiene los siguientes valores:

$$N_m = 2. \quad (24)$$

$$T_r = 60 \text{ min.} \quad (25)$$

Remplazando los valores (22), (24) y (25) en la ecuación (23) se obtiene:

$$F_{uso} = \frac{60 \text{ min}}{2} \times \frac{1}{60 \text{ min}} = 0.5 \quad (26)$$

Por ello durante las 2 horas habilitadas para el refrigerio del personal se tiene que el 50% de cada hora el microondas está en funcionamiento.

- Los equipos audiovisuales ubicados en la sala de reuniones de la empresa se encienden únicamente cuando se realizan presentaciones, de acuerdo con la política de uso de este ambiente las jefaturas de ventas y de operaciones se reúnen diariamente 1 hora al día.

- Los cargadores de celulares para fines de este estudio se está considerando que el personal usará el 50% del tiempo por fracción de hora.

- Los extractores de aires, son del tipo axial de la marca Soler & Palau de 35W que se ubican en los baños y ambientes comunes del edificio, por la pandemia del COVID 19, estos están encendidos toda la jornada laboral para garantizar la renovación de aire.

- Las luminarias están encendidas lo que dura la jornada laboral.

- Extractores de Aire para combatir COVID 19 son del tipo axial de 1.5kW de la marca Soler & Palau, estos están encendidos toda la jornada laboral para garantizar la renovación de aire.

- Los equipos de seguridad, están encendidos las 24 horas del día.

- Los servidores de datos, están encendidos las 24 horas para garantizar el almacenamiento de la información de la empresa.

Por tanto, tenemos dos perfiles de carga, el primero llamaremos perfiles de carga de verano (considerando las cargas de aire acondicionado), el segundo llamaremos perfiles de carga de invierno (no considerando las cargas de aire acondicionado):

a) Perfiles de carga de verano:

Tabla 4. Perfil de uso de las cargas eléctricas de la Motorex S.A. en verano.

Carga	Potencia Total (W)	Horas																							
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Computadoras	2700	0	0	0	0	0	0	0	0.5	1	1	1	0.3	0.3	0.3	1	1	1	0.2	0	0	0	0	0	0
Laptops	6000	0	0	0	0	0	0	0	0.5	1	1	0.5	0.5	0.5	1	1	0.5	0.5	0.5	0	0	0	0	0	0
Aire Acondicionado	30144	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0	0	0	0	0
Microondas	2000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.5	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Audiovisual	200	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cargadores	450	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0	0	0	0	0
Ventiladores	490	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
Luminarias	2700	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
Extractores de Aire para combatir COVID 19	3000	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
Equipos de Seguridad	120	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Servidores	500	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Fuente: Elaboración propia.

Donde:

0: Factor de uso nulo, las cargas están apagadas (0%)

0.1: Factor de uso parcial durante el día (10%)

0.2: Factor de uso parcial durante el día (20%)

0.3: Factor de uso parcial durante el día (30%)

0.5: Factor de uso parcial durante el día (50%)

1: Factor de uso al 100% durante el día.

**Tabla 5. Perfil de consumo de cargas eléctricas de la empresa Motorex S.A en verano**

Consumo de energía por hora	Cargas	Horas																							
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
	Computadoras	0	0	0	0	0	0	0	1.4	2.7	2.7	2.7	0.8	0.8	0.8	2.7	2.7	2.7	0.5	0	0	0	0	0	0
	Laptops	0	0	0	0	0	0	0	3.0	6.0	6.0	3.0	3.0	3.0	6.0	6.0	3.0	3.0	3.0	0	0	0	0	0	0
	Aire Acondicionado	0	0	0	0	0	0	0	15.1	15.1	15.1	15.1	15.1	15.1	15.1	15.1	15.1	15.1	15.1	0	0	0	0	0	0
	Microondas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.0	1.0	1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Audiovisual	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Cargadores	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0	0	0	0	0	0
	Ventiladores	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0	0	0	0	0
	Luminarias	0	0	0	0	0	0	0	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	0	0	0	0	0	0
	Extractores de Aire para combatir COVID 19	0	0	0	0	0	0	0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	0	0	0	0	0	0
	Equipos de Seguridad	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	Servidores	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
	<b>TOTAL (kWh)</b>	<b>0.6</b>	<b>26.5</b>	<b>31.0</b>	<b>30.8</b>	<b>27.8</b>	<b>26.9</b>	<b>26.9</b>	<b>29.9</b>	<b>30.8</b>	<b>27.8</b>	<b>27.8</b>	<b>25.6</b>	<b>0.6</b>	<b>0.6</b>	<b>0.6</b>	<b>0.6</b>	<b>0.6</b>	<b>0.6</b>						

Fuente: Elaboración propia.

Se presenta el perfil de cargas de consumo diario de energía en verano:

**Gráfica 1. Perfil de consumo de energía diaria en un día de la empresa Motorex S.A. en verano**



Fuente: Elaboración propia.

b) Perfiles de carga de invierno:

**Tabla 6. Perfil de usos de las cargas de la empresa Motorex S.A. en invierno**

Carga	Potencia Total (W)	Horas																							
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Computadoras	2700	0	0	0	0	0	0	0	0.5	1	1	1	0.3	0.3	0.3	1	1	1	0.2	0	0	0	0	0	0
Laptops	6000	0	0	0	0	0	0	0	0.5	1	1	0.5	0.5	0.5	1	1	0.5	0.5	0.5	0	0	0	0	0	0
Microondas	2000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.5	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Audiovisual	200	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cargadores	450	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0	0	0	0	0
Ventiladores	490	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
Luminarias	2700	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
Extractores de Aire para combatir COVID 19	3000	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
Equipos de Seguridad	120	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Servidores	500	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Fuente: Elaboración propia.

Donde:

0: Factor de uso nulo, las cargas están apagadas (0%)

0.1: Factor de uso parcial durante el día (10%)

0.2: Factor de uso parcial durante el día (20%)

0.3: Factor de uso parcial durante el día (30%)

0.5: Factor de uso parcial durante el día (50%)

1: Factor de uso al 100% durante el día.

**Tabla 7. Perfil de consumo de cargas de la empresa Motorex S.A. en invierno**

Cargas	Horas																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
<b>Computadoras</b>	0	0	0	0	0	0	0	1.4	2.7	2.7	2.7	0.8	0.8	0.8	2.7	2.7	2.7	0.5	0	0	0	0	0	0
<b>Laptops</b>	0	0	0	0	0	0	0	3.0	6.0	6.0	3.0	3.0	3.0	6.0	6.0	3.0	3.0	3.0	0	0	0	0	0	0
<b>Microondas</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.0	1.0	1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Audiovisual</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Cargadores</b>	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0	0	0	0	0	0
<b>Ventiladores</b>	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0	0	0	0	0
<b>Luminarias</b>	0	0	0	0	0	0	0	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	0	0	0	0	0	0
<b>Extractores de Aire para combatir COVID 19</b>	0	0	0	0	0	0	0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	0	0	0	0	0	0
<b>Equipos de Seguridad</b>	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
<b>Servidores</b>	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
<b>TOTAL (kWh)</b>	<b>0.6</b>	<b>11.4</b>	<b>15.9</b>	<b>15.7</b>	<b>12.7</b>	<b>11.8</b>	<b>11.8</b>	<b>14.8</b>	<b>15.7</b>	<b>12.7</b>	<b>12.7</b>	<b>10.6</b>	<b>0.6</b>	<b>0.6</b>	<b>0.6</b>	<b>0.6</b>	<b>0.6</b>	<b>0.6</b>						

Fuente: Elaboración propia.

Se presenta el perfil de cargas de consumo diario de energía en invierno:

**Gráfica 2. Perfil de consumo de energía diaria en un día en la empresa Motorex S.A. en invierno**



Fuente: Elaboración propia.

### 4.6.3 Determinación de la radiación solar

De acuerdo con la Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio, más conocida como NASA, en su página web <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>, para las coordenadas geográficas de la empresa Motorex S.A. se tiene los siguientes datos climatológicos durante el año:

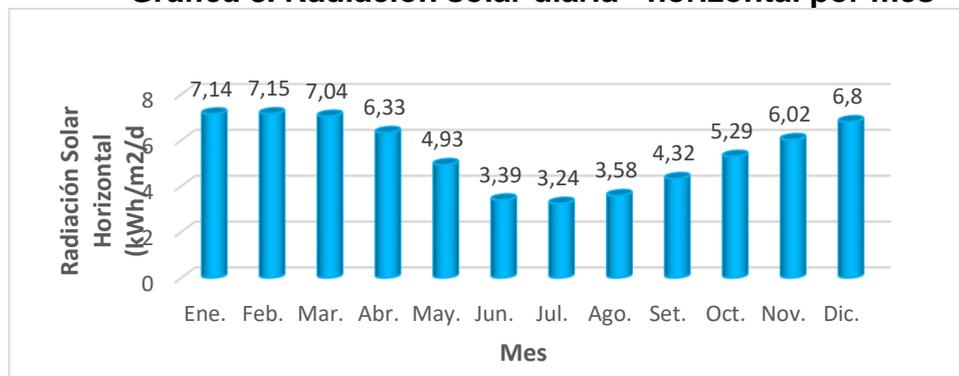
**Tabla 8. Datos climatológicos por mes de acuerdo con las coordenadas geográficas de la empresa Motorex S.A.**

Mes	Temperatura del Aire (°C)	Radiación Solar Diaria- Horizontal (kWh/m <sup>2</sup> /d)	Presión atmosférica (Pascal)	Velocidad del Viento (m/s)
Ene.	22.7	7.14	93.5	4.4
Feb.	23.4	7.15	93.5	3.9
Mar.	22.9	7.04	93.5	3.7
Abr.	21	6.33	93.5	3.4
May.	19.1	4.93	93.6	3.2
Jun.	17.9	3.39	93.7	3
Jul.	17.2	3.24	93.7	3.1
Ago.	16.8	3.58	93.7	3.2
Set.	17	4.32	93.7	3.5
Oct.	17.8	5.29	93.7	3.7
Nov.	19.2	6.02	93.6	4
Dic.	21.2	6.8	93.5	4.3
Anual	19.7	5.43	93.6	3.6

Fuente: Elaboración propia.

Para nuestros cálculos utilizaremos la variable de radiación solar diaria horizontal (kWh/m<sup>2</sup>/d), el cual varía respecto a cada mes del año, siendo los meses de noviembre a abril los de mayor radiación solar y los meses de mayo a septiembre los de menor radiación solar.

**Gráfica 3. Radiación solar diaria - horizontal por mes**



Fuente: Elaboración propia.

#### 4.6.4 Inclinación óptima de la radiación solar

Para ubicar en la orientación correcta un panel solar hay que valorar el ángulo azimutal, esto se refiere a la posición de los paneles solares con respecto a la línea ecuatorial.

Esta posición depende de la ubicación geográfica donde nos encontremos, es decir, los paneles siempre deben apuntar hacia el ecuador. El Perú se encuentra en el hemisferio sur, es decir, en la zona inferior de la línea ecuatorial, por ello, los paneles deben colocarse hacia el sur:

$$\alpha = \text{Latitud} = -12.05^\circ \quad (27)$$

El panel solar deberá orientarse al norte, siguiendo la línea ecuatorial.

#### 4.6.5 Determinación de la generación de la energía eléctrica mediante el sistema fotovoltaico

##### a) Determinación de la cantidad de paneles:

Para determinar la cantidad de paneles:

- Primero se debe delimitar el área disponible para la instalación del sistema fotovoltaico, el cual para nuestro caso contamos con 176 m<sup>2</sup> de área techada, del cual disponemos de 80m<sup>2</sup> para la instalación del sistema fotovoltaico a proponer.
- Segundo, debemos de seleccionar el panel solar fotovoltaico, el cual para nuestro proyecto optaremos por uno de uso comercial en el Perú, de la fábrica Eco Green Energy Group Ltd Solar de fabricación China y de 450Wp.

##### • Configuración óptima de paneles solares:

El arreglo óptimo se obtiene en función a la disponibilidad de espacio que se tiene para montar los paneles, el cual para nuestro caso contamos con 80 m<sup>2</sup> de área disponible, con una disponibilidad para instalar 34 paneles solares fotovoltaicos.

- **Arreglo A:** Consta de 12 paneles de 2 filas.

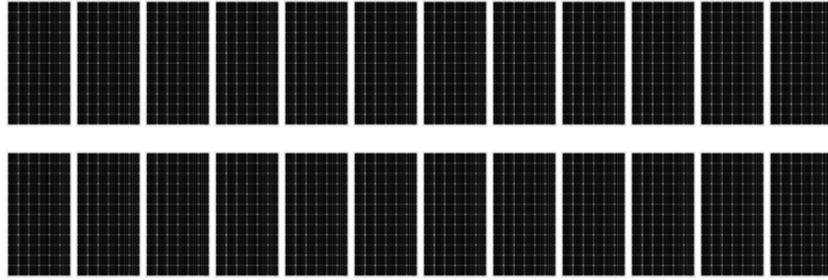


Figura 16 Arreglo A del sistema fotovoltaico e interconectado a la red. Dimensionamiento en base al área disponible de instalación.

- **Arreglo B:** Consta de 10 paneles de 1 fila.

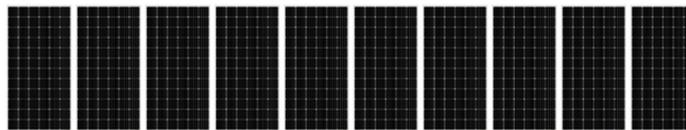


Figura 17 Arreglo B del sistema fotovoltaico e interconectado a la red. Dimensionamiento en base a área disponible de instalación

Modelo seleccionado del panel fotovoltaico a usar es: **EGE-450W-144M.**

- **Características técnicas de los paneles:**

- Potencia de salida: 450 Wp
- Voltaje de circuito abierto ( $V_{CO}$ ): 50.00 V
- Corriente de corto circuito ( $I_{CC}$ ): 11.44 A
- Voltaje en máxima potencia ( $V_{mpp}$ ): 41.40 V
- Corriente en máxima potencia ( $I_{mpp}$ ): 10.87 A

Para más detalles de las características técnicas se encuentra en el **Anexo 2.**

**b) Determinación del módulo fotovoltaico con variación de temperatura:**

Las variaciones de temperatura críticos se dan en las estaciones de verano e invierno, por ello se analizará ambos escenarios para calcular los valores del módulo fotovoltaico con corrección de temperatura.

- **VERANO:**

Para el presente trabajo de investigación se considera temperatura de diseño máxima en verano:

$$T_{VERANO} = 32^{\circ}C$$

- Para la ecuación (1) tenemos:

Notas de la ficha técnica del módulo fotovoltaico:

$$G = 1 \text{ kW}/m^2$$

$$NOTC = 41^{\circ}C$$

Reemplazando los datos obtenemos el siguiente resultado:

$$T_{módulo}(32^{\circ}C) = 58.25^{\circ}C \quad (28)$$

- Para la ecuación (2) tenemos:

Notas de la ficha técnica del módulo fotovoltaico:

$$V_{CO-T_{STC}} = 50.00V$$

$$\beta = -0.3$$

$$T_{Min} = T_{VERANO}$$

Reemplazamos los datos obtenemos el siguiente resultado:

$$V_{CO} = 47.90V \quad (29)$$

- Para la ecuación (3) tenemos:

Notas de la ficha técnica del módulo fotovoltaico:

$$V_{mpp-T_{STC}} = 41.40V$$

$$T_{módulo-max} = T_{módulo}(32^{\circ}C)$$

Reemplazamos los datos y el valor (28) obtenemos el siguiente resultado (2):

$$V_{mpp}(32^{\circ}C) = 31.43V \quad (30)$$

- Para la ecuación (4) tenemos:

Notas de la ficha técnica del módulo fotovoltaico:

$$I_{CC-T_{STC}} = 11.44A$$

$$\alpha = 0.05$$

Reemplazamos los datos y el valor (28) obtenemos el siguiente resultado:

$$I_{CC}(32^{\circ}C) = 13.10 A \quad (31)$$

- Para la ecuación (5) tenemos:

Notas de la ficha técnica del módulo fotovoltaico:

$$P_{mpp-T_{STC}} = 450Wp$$

$$\gamma = -0.35$$

Reemplazamos los datos y el valor (28) obtenemos el siguiente resultado:

$$P_{mpp}(32^{\circ}C) = 438W \quad (32)$$

- **INVIERNO:**

Para el presente trabajo de investigación se considera temperatura de diseño máxima en invierno:

$$T_{INVIERNO} = 10^{\circ}C$$

- Para la ecuación (1) tenemos:

$$G = 1 \text{ kW/m}^2$$

$$NOTC = 41^\circ\text{C}$$

Reemplazamos los valores obtenemos el siguiente resultado:

$$T_{\text{módulo}}(10^\circ\text{C}) = 36.25^\circ\text{C} \quad (33)$$

- Para la ecuación (2) tenemos:

Notas de la ficha técnica del módulo fotovoltaico:

$$V_{CO-T_{STC}} = 50.00\text{V}$$

$$\beta = -0.3$$

$$T_{Min} = T_{INVIERNO}$$

Reemplazamos los valores obtenemos el siguiente resultado:

$$V_{CO}(10^\circ\text{C}) = 54.50 \text{ V} \quad (34)$$

- Para la ecuación (3) tenemos:

Notas de la ficha técnica del módulo fotovoltaico:

$$V_{mpp-T_{STC}} = 41.40\text{V}$$

$$T_{\text{módulo-max}} = T_{\text{módulo}}(10^\circ\text{C})$$

Reemplazando los datos y el valor (33), obtenemos el siguiente resultado:

$$V_{mpp}(10^\circ\text{C}) = 38.03 \text{ V} \quad (35)$$

- Para la ecuación (4) tenemos:

Notas de la ficha técnica del módulo fotovoltaico:

$$I_{CC-T_{STC}} = 11.44A$$

$$\alpha = 0.05$$

Reemplazando los datos y el valor (33), obtenemos el siguiente resultado:

$$I_{CC}(10^{\circ}C) = 12.00 A \quad (36)$$

- Para la ecuación (5) tenemos:

Notas de la ficha técnica del módulo fotovoltaico:

$$P_{mpp-T_{STC}} = 450Wp$$

$$\gamma = -0.35$$

Reemplazando los datos y el valor (33), obtenemos el siguiente resultado:

$$P_{mpp}(10^{\circ}C) = 446W \quad (37)$$

### c) Determinación del inversor de interconexión:

Para la selección del inversor se tiene que calcular los valores de potencia, voltaje y corriente del arreglo fotovoltaico considerando los casos críticos por variación de temperatura.

En la sección anterior se ha determinado los valores de potencia, voltaje y corriente en las condiciones máximas y mínimas de temperatura[MF2].

**Tabla 9 Cálculos realizados para la corrección del módulo fotovoltaico en verano**

VERANO	
PARAMETRO	VALOR
$T_{MODULO}$	58.25 °C
$V_{CO}$	47.90 V
$V_{mpp}$	31.43 V
$I_{CC}$	13.10 A
$P_{mpp}$	438 W

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 10 Cálculos realizados para la corrección del módulo fotovoltaico en invierno**

INVIERNO	
PARAMETRO	VALOR
$T_{MODULO}$	36.25 °C
$V_{CO}$	54.50 V
$V_{mpp}$	38.03 V
$I_{CC}$	12.00 A
$P_{mpp}$	446 W

Fuente: Elaboración propia.

- **Potencia del sistema fotovoltaico:**

$$P_t = n_p \times P_p \quad (38)$$

Donde:

$P_t$  : Potencia total de los paneles (Wp)

$n_p$ : Número de paneles a instalar

$P_p$  : Potencia de salida del módulo fotovoltaico seleccionado (Wp)

Datos:

$$P_p = 450Wp$$

$$n_p = 34 \text{ paneles}$$

Reemplazando los valores en la ecuación (38), se obtiene:

$$P_t = 15,3kWp \quad (39)$$

- **Voltaje de circuito abierto del sistema fotovoltaico:**

Para determinar el voltaje de circuito abierto del sistema se tiene que usar el valor crítico de voltaje de circuito abierto en invierno, dado que éste aumenta cuando la temperatura es menor a 25°C.

$$V_{CO} = \sum_0^{n_{pf}} V_{CO} \quad (40)$$

Donde:

$V_{CO}$ : Voltaje de circuito abierto (V)

$n_{pf}$ : Número de paneles a instalar por fila

Considerando el resultado (34):

$$V_{CO(10^{\circ}C)} = 54.50V.$$

- Para el arreglo A:

Si:

$$n_{pf} = 12.$$

Aplicando la ecuación (40) se obtiene el siguiente resultado:

$$V_{CO_A} = 654 V \quad (41)$$

- Para el arreglo B:

Si:

$$n_{pf} = 10$$

Aplicando la ecuación (40) se obtiene el siguiente resultado:

$$V_{CO_B} = 545 V \quad (42)$$

- **Voltaje de máxima potencia:**

Para determinar el voltaje de máxima potencia del sistema, utilizaremos el valor de la ficha técnica del módulo fotovoltaico, el cual es el más crítico para nuestros cálculos.

$$V_{mpp} = \sum_1^{n_{pf}} V_{mpp} , \quad (43)$$

Donde:

$V_{mpp}$ : Voltaje de máxima potencia (V)

$n_{pf}$ : Número de paneles a instalar por fila

Considerando el dato de la ficha técnica del módulo fotovoltaico, tenemos:

$$V_{mpp_{STC}} = 41.40 V$$

- Para el arreglo A:

Si

$$n_{pf} = 12.$$

Aplicando la ecuación (43) se obtiene el siguiente resultado:

$$V_{mpp_A} = 496.80 V \quad (44)$$

- Para el arreglo B:

Si:

$$n_{pf} = 10.$$

Aplicando la ecuación (43) se obtiene el siguiente resultado:

$$V_{mpp_A} = 496.80 V \quad (45)$$

- **Corriente de corto circuito del sistema:**

Para determinar la corriente de corto circuito del sistema utilizaremos la corriente de corto circuito corregida por variación de temperatura en verano, dado que ésta aumenta cuando la temperatura es mayor, respecto a las condiciones estándares de la ficha técnica del módulo fotovoltaico.

$$I_{cc_{arreglo}} = \sum_0^{n_f} I_{cc}. \quad (46)$$

Donde:

$I_{cc_{arreglo}}$ : Corriente de corto circuito del arreglo (Amp)

$I_{cc}$ : Corriente de corto circuito del panel seleccionado (Amp)

$n_f$ : Número de filas del arreglo fotovoltaico

Considerando el resultado (31):

$$I_{cc(32^{\circ}C)} = 13.10 A$$

- Para el arreglo A:

Si:

$$n_{pf} = 2.$$

Aplicando la ecuación (46) se obtiene el siguiente resultado:

$$I_{ccA} = 26.20 A \quad (47)$$

- Para el arreglo B:

Si:

$$n_{pf} = 1.$$

Aplicando la ecuación (46) se obtiene el siguiente resultado:

$$I_{ccB} = 13.10 A \quad (48)$$

Se presenta tabla de resultado del arreglo A y B:

**Tabla 11 Cálculos realizados de los arreglos A y B**

	Arreglo A	Arreglo B
$V_{co}$	654.00 V	545.00 V
$V_{mpp}$	496.80 V	414 V
$I_{cc}$	26.21A	13.10 A

Fuente: Elaboración propia.

Con los resultados obtenidos seleccionamos el inversor de corriente el cual debe de tener dos seguidores MPP para conectar el arreglo A y B respectivamente.

Para nuestro caso elegimos el modelo **Symo 12.5.0-3-M** (marca Fronius), el cual cumple con los requerimientos técnicos de nuestro sistema fotovoltaico. (**Anexo 3**)

#### 4.6.6 Determinación de la sección del conductor

Para determinar la sección del cable solar debemos de seleccionarlo en función a la corriente de cortocircuito que pasa por cada fila del arreglo de cada panel, con corrección de temperatura:

$$I_{cc\text{fila}} = I_{cc}, \quad (49)$$

Donde:

$I_{cc\text{fila}}$ : Corriente de corto circuito por fila (Amp)

$I_{cc}$ : Corriente de corto circuito del panel seleccionado (Amp)

- Para el arreglo A:

Del resultado (31) obtenemos los siguientes valores:

$$I_{ccA1} = 13.10 \text{ A},$$

$$I_{ccA2} = 13.10 \text{ A},$$

Considerando la ecuación (46) obtenemos:

$$I_{ccA} = 26.20 \text{ A}, \quad (50)$$

- Para el arreglo B:

Del resultado (31) obtenemos los siguientes valores:

$$I_{ccB1} = 13.10 \text{ A},$$

Considerando la ecuación (46) obtenemos:

$$I_{ccB} = 13.10 \text{ A}. \quad (51)$$

Con los resultados obtenidos podemos determinar que los cables a utilizar son:

**Tabla 12. Resumen de amperaje y tamaño de cable por sección de cada arreglo solar fotovoltaico**

Corriente	Amperaje	Tamaño de cable AWG (American Wire Gauge)
$I_{ccA1}$	13.10 A	14
$I_{ccA2}$	13.10 A	14
$I_{ccA}$	26.20 A	10
$I_{ccB1}$	13.10 A	14
$I_{ccB}$	13.10 A	14

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.6.7 Sistema de control de generación fotovoltaica

Para el control del sistema fotovoltaico e interconectado se utilizará un dispositivo de control, el cual vendrá incorporado en el inversor de interconexión que tiene las siguientes funciones: Permitirá monitorear y gestionar el sistema fotovoltaico, a través de su plataforma virtual Fronius Solar web.

Esta plataforma permitirá:

- Visualizar en tiempo real la cantidad de energía generada por el sistema fotovoltaico.

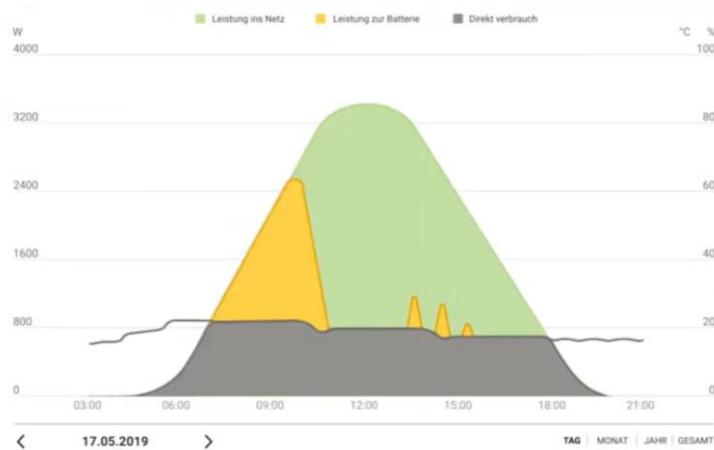


Figura 18 Diagrama de cantidad de energía generada durante el día. Tomado del software de inversor marca Fronius.

- Visualizar la cantidad de energía anual generada por el sistema fotovoltaico.

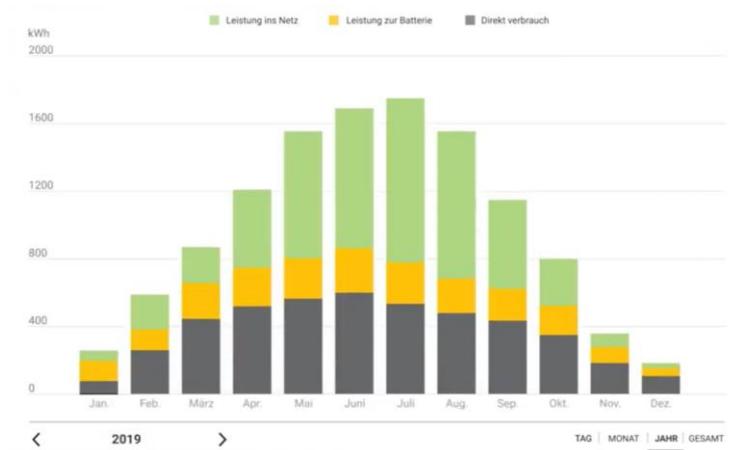


Figura 19 Diagrama de cantidad de energía generada durante el año. Tomado del software de inversor marca Fronius.

- Visualizar la cantidad de energía generada por cada inversor de interconexión que cuente el sistema fotovoltaico.

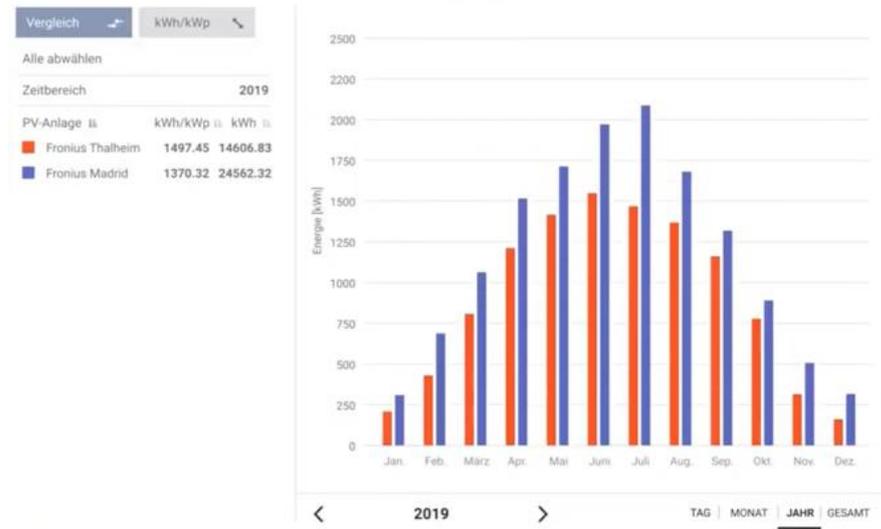


Figura 20 Diagrama de visualización de cantidad de energía generada por inversor de interconexión. Tomado del inversor marca Fronius.

- Visualizar cantidad de energía consumida por el edificio:



Figura 21 Diagrama de cantidad de energía consumida por edificio. Tomado del inversor marca Fronius.

#### 4.6.8 Determinación del sistema de medición de energía eléctrica bidireccional

Para determinar la cantidad de energía generada y consumida se debe de añadir al sistema un medidor de energía bidireccional, el cual es características similares a uno tradicional, con la diferencia que gira en

doble sentido, y cuando lo hace al revés los paneles solares interconectados a la red generan energía.

En un futuro, cuando en el Perú se regule el uso de las energías renovables este dispositivo permitirá no solo medir la cantidad consumida y generada, sino que permitirá al usuario saber qué cantidad de energía que genera está inyectando a la red eléctrica.

Para nuestro sistema estamos eligiendo el medidor bidireccional Fronius smart meter del fabricante Fronius.



Figura 22. Medidor de energía de marca Fronius. Tomado de la ficha técnica del medidor bidireccional del fabricante Fronius.

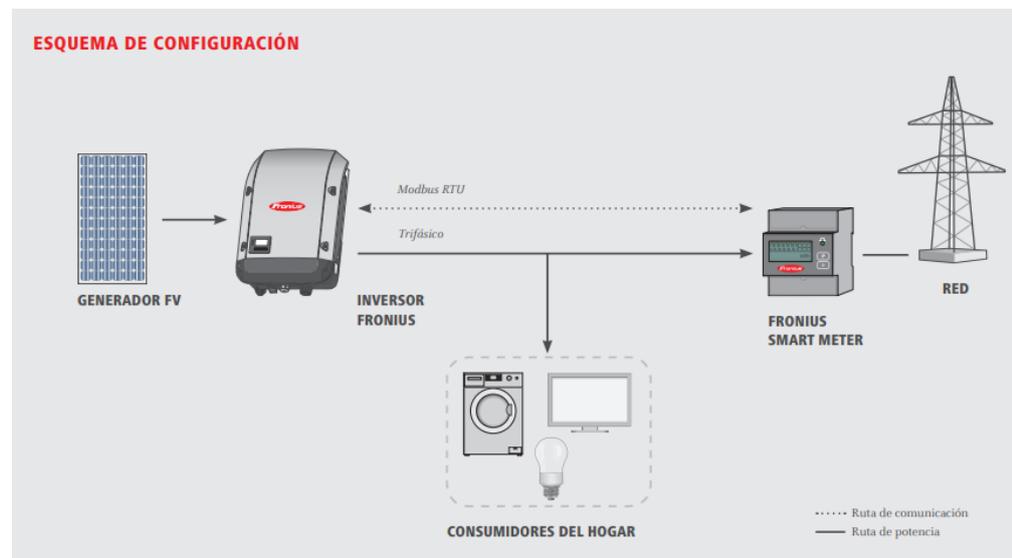


Figura 23. Diagrama de configuración de un sistema solar fotovoltaico interconectado a la red eléctrica. Tomado del fabricante Fronius.

#### **4.6.9 Evaluación del sistema de protección para el sistema fotovoltaico**

De acuerdo con el código eléctrico nacional el sistema no requiere sistema de protección eléctrica, dado que el voltaje de corto circuito es menos a 1000Vdc.

#### **4.6.10 Consideración para la instalación y montaje del sistema fotovoltaico**

##### **a) Estructuras metálicas**

Las estructuras deberán de fabricarse teniendo las siguientes consideraciones:

- La tornillería de la estructura elevada ELV 2x10 paneles 20° 3M es de acero inoxidable A2-70 y cumple con la normativa de tornillería DIN/ISO 4759, DIN/ISO 3269, DIN/ISO 3506, DIN/ISO 8992 y DIN/ISO 267.
- La estructura modelo estructura elevada ELV 2x10 paneles 20° 3M está fabricada con aluminio EN AW 6005A T6 crudo y cumple con la normativa del aluminio respecto a la composición química S/EN573-3, respecto a las características mecánicas S/EN755-2 y de tolerancias U.N.E.-EN 755-9:2001.
- Las patas sobre las que se apoyan los perfiles superiores de la estructura están fabricadas en aluminio anodizado, para asegurar una gran longevidad a pesar de la intemperie.
- Este modelo de estructura tiene un formato de pérgola cuya elevación de los paneles es de 3 metros sobre el suelo. Se deberá prever una cimentación para asegurar bien los soportes al suelo.
- La inclinación de los paneles será de 12°.
- La distribución de los paneles será de uno de 2 filas de 12 paneles y otro de 1 filas de 10 paneles cada uno.



Figura 24. Estructura referencial metálica del arreglo solar fotovoltaico. Tomado del fabricante Autosolar.

### b) Entubado de conductores

Los cables solares deben de protegerse de la intemperie a través de un tubo corrugado de la marca Promatisa de las siguientes características técnicas:

- Marca: Promatisa
- Características: Es flexible por lo que puede curvarse y deformarse sin efectos adversos.
- Material: HDPE (Polietileno, polímero termoplástico)
- Medidas: 3/4" x 5 m
- Distorsión térmica de temperatura: 80°C
- Resistencia al frío: -30°C
- Color: Negro
- Usos: Canalizaciones visibles eléctricas
- Procedencia: Peruana
- Tipo: Tubería flexible



Figura 25. Tubo de plástico corrugado. Tomado del fabricante PROMATISA.

## V. RESULTADOS

### 5.1 Resultados descriptivos

#### 5.1.1 Generación de la energía eléctrica del sistema fotovoltaico

##### a) Distribución de la energía diaria

De acuerdo con el análisis de datos de la sección anterior obtenemos que la generación mensual por año de acuerdo con la radiación solar diaria - horizontal es:

**Tabla 13. Generación de energía fotovoltaica mensual**

Meses	Radiación Solar Diaria - Horizontal (kWh/m <sup>2</sup> /d)	Generación (kWh)
Enero	7.1	3053
Febrero	7.2	2762
Marzo	7.0	3011
Abril	6.3	2620
Mayo	4.9	2108
Junio	3.4	1403
Julio	3.2	1386
Agosto	3.6	1531
Setiembre	4.3	1788
Octubre	5.3	2262
Noviembre	6.0	2491
Diciembre	6.8	2908

Fuente: Elaboración propia.

##### b) Determinación del consumo mensual de energía.

De acuerdo con el perfil de cargas para invierno y verano desarrollado en la sección anterior obtenemos lo siguiente:

**Tabla 14. Consumo mensual de energía**

Meses	Consumo (kWh)
Enero	9919
Febrero	8959
Marzo	9919
Abril	4625
Mayo	4779
Junio	4625
Julio	4779
Agosto	4779
Setiembre	4625
Octubre	4779
Noviembre	4625
Diciembre	9919

Fuente: Elaboración propia.

Se presenta el diagrama de consumo mensual:

**Gráfica 4. Consumo de energía por mes de la empresa Motorex S.A.**



Fuente: Elaboración propia.

### 5.1.2 Balance del consumo de energía eléctrica conectado a la red y el sistema fotovoltaico

Al realizar el balance de energía para la empresa Motorex S.A. tenemos como resultado la cantidad de energía requerida del sistema interconectado a la red para cubrir la demanda del edificio:

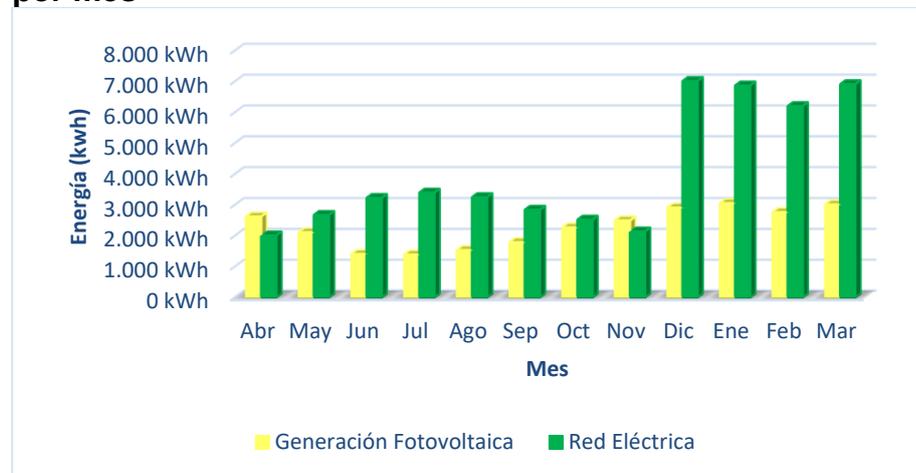
**Tabla 15. Comparación de generación fotovoltaica y red eléctrica por mes**

Meses	Generación Fotovoltaica (kWh)	Red Eléctrica (kWh)
Enero	3053	6865
Febrero	2762	6197
Marzo	3011	6908
Abril	2620	2005
Mayo	2108	2671
Junio	1403	3222
Julio	1386	3394
Agosto	1531	3248
Setiembre	1788	2837
Octubre	2262	2517
Noviembre	2491	2134
Diciembre	2908	7011

Fuente: Elaboración propia.

Se cuenta con el diagrama comparativo:

**Gráfica 5. Comparación de generación fotovoltaica y red eléctrica por mes**



Fuente: Elaboración propia.

### 5.1.3 Aporte de la red eléctrica en el sistema interconectado (carga del edificio, aporte de energía eléctrica)

De la sección anterior podemos determinar el porcentaje de aporte necesario de la red eléctrica, la cual es variable durante los meses del año.

**Tabla 16. Comparación de generación fotovoltaica, red eléctrica por mes y porcentaje de uso**

Meses	Generación Fotovoltaica (kWh)	Red Eléctrica (kWh)	% de Uso
Enero	3053	6865	31%
Febrero	2762	6197	31%
Marzo	3011	6908	30%
Abril	2620	2005	57%
Mayo	2108	2671	44%
Junio	1403	3222	30%
Julio	1386	3394	29%
Agosto	1531	3248	32%
Setiembre	1788	2837	39%
Octubre	2262	2517	47%
Noviembre	2491	2134	54%
Diciembre	2908	7011	29%

Fuente: Elaboración propia.

### 5.1.4 Evaluación económica del sistema fotovoltaico

- **Determinación del costo de inversión inicial (CAPEX)**

Se presenta a continuación la cotización por el suministro e instalación del sistema fotovoltaico dimensionado en presente tesis, el cual tiene un costo total de **S/. 63,954. (Anexo 5)**

- **Determinación del costo de mantenimiento (OPEX)**

Se está considerando que bimestralmente se realizará el mantenimiento a los módulos fotovoltaicos, el cual consiste en la limpieza de los módulos fotovoltaico, el cual tiene un costo de S/ 75 por evento. Se está considerando que la vida útil del sistema es por 20 años, donde:

- Los módulos fotovoltaicos tienen una vida útil con 25 años de garantía por lo que no se está considerando cambio de equipos dado que si presenta fallas el módulo fotovoltaico se reclamará la garantía al proveedor.

- El inversor de interconexión marca Fronius tiene una vida útil de 15 años, con un adecuado plan de mantenimiento y además considerando que el inversor estará instalado en un cuarto de control ventilado para evitar la disminución de la vida útil del inversor. Se considerará para nuestra evaluación un reemplazo en el año 10.

Mediante la ecuación (13), el valor actual del costo de implementación y mantenimiento por cada año es:

**Tabla 17 Análisis de resultados**

Año	Valor actual del Costo de Implementación y Mantenimiento	
1	S/	409.09
2	S/	371.90
3	S/	338.09
4	S/	307.36
5	S/	279.41
6	S/	254.01
7	S/	230.92
8	S/	209.93
9	S/	190.84
10	S/	4,662.45
11	S/	157.72
12	S/	143.38
13	S/	130.35
14	S/	118.50
15	S/	107.73
16	S/	97.93
17	S/	89.03
18	S/	80.94
19	S/	73.58
20	S/	66.89
<b>Total</b>	<b>S/</b>	<b>8,320.06</b>

Fuente: Elaboración propia.

- **Determinación del costo nivelado de la energía (LCOE)**

A continuación, mostraremos el costo de implementación del sistema solar fotovoltaico para la empresa Motorex S.A. el cual cuenta con una tasa de interés del 10% y una tarifa de S/ 0.603/kWh, estos valores serán utilizados para todos los cálculos de la evaluación económica del proyecto de investigación.

Se está considerando una tasa de degradación del módulo fotovoltaico de -0.5% anual a recomendación del fabricante.

De la ecuación (14) obtenemos los siguientes resultados por año:

**Tabla 18 Cuadro de resultados para el cálculo del LCOE**

<b>Año</b>	<b>Valor actual de Generación de Energía</b>	<b>Valor actual del Costo de Implementación y Mantenimiento</b>	
0	27,322 kWh	S/	63,954.00
1	24,714 kWh	S/	409.09
2	22,355 kWh	S/	371.90
3	20,221 kWh	S/	338.09
4	18,291 kWh	S/	307.36
5	16,545 kWh	S/	279.41
6	14,965 kWh	S/	254.01
7	13,537 kWh	S/	230.92
8	12,245 kWh	S/	209.93
9	11,076 kWh	S/	190.84
10	10,019 kWh	S/	4,662.45
11	9,062 kWh	S/	157.72
12	8,197 kWh	S/	143.38
13	7,415 kWh	S/	130.35
14	6,707 kWh	S/	118.50
15	6,067 kWh	S/	107.73
16	5,488 kWh	S/	97.93
17	4,964 kWh	S/	89.03
18	4,490 kWh	S/	80.94
19	4,061 kWh	S/	73.58
20	3,674 kWh	S/	66.89
<b>Total</b>	<b>251,413 kWh</b>	<b>S/</b>	<b>72,274.06</b>

Fuente: Elaboración propia.

Por lo tanto, reemplazando los valores obtenidos en la Tabla 18 en la ecuación (14) obtenemos el siguiente resultado:

$$LCOE = S/. 0.287 kWh$$

- **Determinación del VAN (Valor actual neto):**

Para determinar el VAN, utilizaremos la ecuación (15), así obteniendo los siguientes valores:

**Tabla 19 Cuadro de Valor actual neto por año de la empresa Motorex S.A. 2021**

Año	Flujo de Caja
0	-S/. 63,954.00
1	S/. 14,902.33
2	S/. 13,479.84
3	S/. 12,193.12
4	S/. 11,029.23
5	S/. 9,976.44
6	S/. 9,024.15
7	S/. 8,162.75
8	S/. 7,383.58
9	S/. 6,678.78
10	S/. 6,041.26
11	S/. 5,464.60
12	S/. 4,942.98
13	S/. 4,471.15
14	S/. 4,044.36
15	S/. 3,658.30
16	S/. 3,309.10
17	S/. 2,993.23
18	S/. 2,707.52
19	S/. 2,449.07
20	S/. 2,215.30
<b>SUMA</b>	<b>S/ 71,173.09</b>

Fuente: Elaboración propia

Haciendo la sumatoria de los valores de la *Tabla 19* se obtiene el siguiente resultado:

$$VAN = S/. 71,173.09 \text{ Soles.}$$

Como  $VAN > 0$ , se concluye que el proyecto es rentable.

- **Determinar el TIR (Tasa Interna de Retorno)**

Para determinar el valor del TIR se evaluarán las tasas de interés desde 0% hasta el 100% y se obtendrá el valor actual neto referente a cada tasa utilizando la ecuación (16), obteniendo los siguientes resultados:

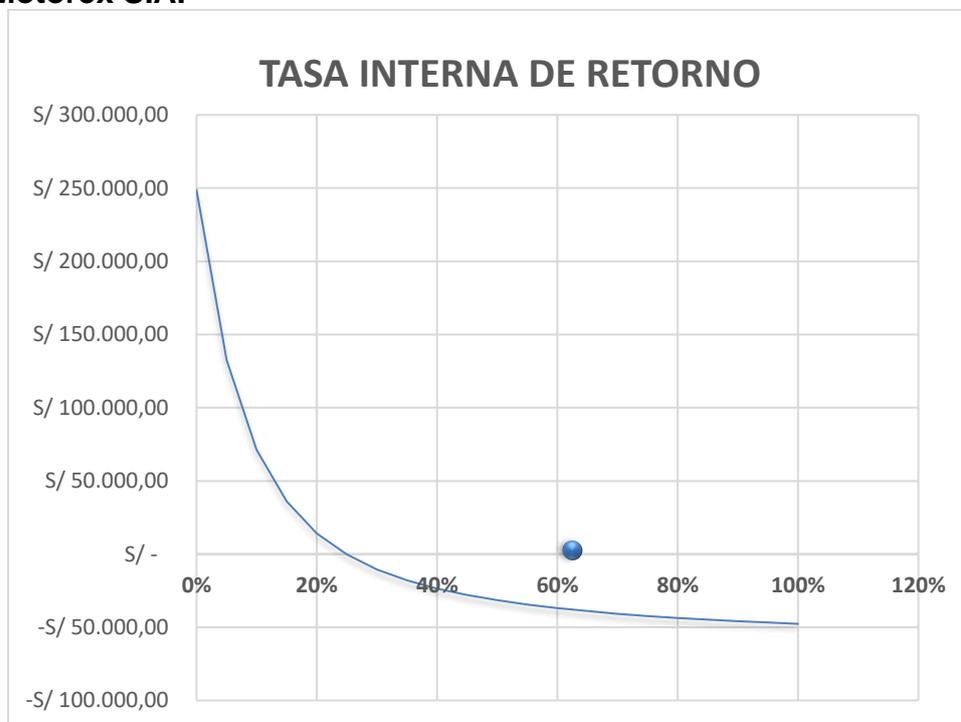
**Tabla 20 Cuadro de tasa interna de retorno en la empresa Motorex S.A.**

Tasa de Interés	Valor actual neto
0%	S/ 248,781.76
5%	S/ 132,477.15
10%	S/ 71,173.09
15%	S/ 35,959.00
20%	S/ 14,122.91
25%	-S/ 339.89
30%	-S/ 10,463.71
35%	-S/ 17,881.09
40%	-S/ 23,522.29
45%	-S/ 27,945.69
50%	-S/ 31,502.31
55%	-S/ 34,422.02
60%	-S/ 36,860.88
65%	-S/ 38,928.20
70%	-S/ 40,702.65
75%	-S/ 42,242.27
80%	-S/ 43,590.71
85%	-S/ 44,781.49
90%	-S/ 45,840.71
95%	-S/ 46,789.04
100%	-S/ 47,643.01

Fuente: Elaboración propia

Se presenta diagrama de tasa interna de retorno del 0% al 100% de tasa de interés:

**Gráfica 6 Diagrama de tasa interna de retorno de la empresa Motorex S.A.**



Fuente: Elaboración propia.

La tasa interna de retorno máxima para la presente investigación es de 25%, mayor a ello no es viable endeudarse.

- **Determinación del tiempo de retorno de inversión**

Para determinar el tiempo de retorno de inversión tenemos que obtener el valor actual neto acumulado hasta que este sea mayor a la inversión inicial.

Para ello utilizaremos la siguiente fórmula:

$$\text{Tiempo de retorno} = (n - 1) + \frac{I - F_{(n-1)}}{VAN_{(n)}} \text{ años} \quad (52)$$

Donde:

n: año más próximo al retorno de la inversión,

$F_{(n-1)}$  : Flujo acumulado en el año n-1,

$VAN_{(n)}$ : Valor actual neto en el año n-1.

I: Costo de inversión inicial.

Tenemos en cuenta cuadro de valores actuales de generación de energía anual, flujo de caja y flujo acumulado para proceder con el cálculo:

**Tabla 21 Cuadro de valor actual de generación de energía anual, flujo de caja y flujo acumulado.**

Año	Generación de Energía anual	Flujo de caja		Flujo acumulado	
0	27,322 kWh	S/	63,954.00		-
1	27,185 kWh	S/	14,902.33	S/	14,902.33
2	27,049 kWh	S/	13,479.84	S/	28,382.17
3	26,914 kWh	S/	12,193.12	S/	40,575.29
4	26,779 kWh	S/	11,029.23	S/	51,604.53
<b>5</b>	<b>26,645 kWh</b>	<b>S/</b>	<b>9,976.44</b>	<b>S/</b>	<b>61,580.97</b>
6	26,512 kWh	S/	9,024.15	S/	70,605.12
7	26,380 kWh	S/	8,162.75	S/	78,767.87
8	26,248 kWh	S/	7,383.58	S/	86,151.45
9	26,116 kWh	S/	6,678.78	S/	92,830.23
10	25,986 kWh	S/	6,041.26	S/	98,871.50
11	25,856 kWh	S/	5,464.60	S/	104,336.09
12	25,727 kWh	S/	4,942.98	S/	109,279.07
13	25,598 kWh	S/	4,471.15	S/	113,750.22
14	25,470 kWh	S/	4,044.36	S/	117,794.57
15	25,343 kWh	S/	3,658.30	S/	121,452.88
16	25,216 kWh	S/	3,309.10	S/	124,761.98
17	25,090 kWh	S/	2,993.23	S/	127,755.21
18	24,964 kWh	S/	2,707.52	S/	130,462.73
19	24,840 kWh	S/	2,449.07	S/	132,911.80
20	24,715 kWh	S/	2,215.30	S/	135,127.09

Fuente: Elaboración propia.

De la *Tabla 21* en el año 5 presenta el valor más próximo al costo inicial de inversión del proyecto, por tanto, consideramos los siguientes valores:

$$n = 5.$$

$$F_{(n-1)} = S/51,604.53$$

$$VAN_{(n)} = S/9,976.44$$

$$I = S/63,954.00$$

Reemplazando los valores mencionados en la ecuación (52) obtenemos el siguiente resultado:

$$\textit{T tiempo de retorno} = 5.24 \text{ años.}$$

- **Validación de resultados con el software PVSYST**

Se validó el procedimiento de cálculo realizado con el software de diseño PVSYST (**Anexo 7**) donde se validan los resultados de generación de energía anual y selección del equipamiento para la implementación del sistema fotovoltaico e interconectado a la red para la empresa Motorex S.A.

## **VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

### **6.1 Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados**

- 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.
- Se comprobó que el sistema fotovoltaico e interconectado a la red planteado en la siguiente investigación es rentable y tiene un tiempo de retorno de inversión de 5.24 años.
- Se verificó y determinó los componentes seleccionados para la instalación del sistema fotovoltaico e interconectado a la red; tales como módulo fotovoltaico, inversor de interconexión, cables, accesorios y soportes; los cuales están dentro de los límites de operación que el fabricante asegura su operatividad por un tiempo de 20 años.

### **6.2 Contrastación de los resultados con otros estudios similares**

- De acuerdo con el proyecto de fin de carrera de Luis Felipe Castrillón la implementación del sistema energético fotovoltaico disminuye el costo de energía anual y también minimiza el impacto ambiental, en consideración con nuestra tesis se obtienen los mismos resultados dado que el edificio produce su propia energía para su autoconsumo.
- De acuerdo con el proyecto de tesis de maestría de Agustín Cervantes Torres y Luis Guillermo Fernández García, la implementación de un sistema fotovoltaico e interconectado disminuye la facturación de energía del edificio, dado ello, en nuestra tesis significa 35.8% de reducción de costo anual de energía.
- De acuerdo con el sistema fotovoltaico e interconectado implementado para el edificio de oficinas de la empresa Engie, ubicado en la ciudad de Lima, nuestra tesis sigue el mismo lineamiento comprobando la viabilidad y el uso de sistemas fotovoltaicos e interconectados en los edificios de oficinas dado que el mayor consumo de estas se produce en horas con presencia de radiación solar, el cual puede ser aprovechado para la generación fotovoltaica.

### **6.3 Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes**

El presente trabajo es una tesis original y sin plagios, se asume toda la responsabilidad de demostrarse lo contrario, ha sido elaborado bajo los estatutos de la Universidad Nacional del Callao.

## CONCLUSIONES

- Se diseñó el sistema fotovoltaico e interconectado a la red que reduce el costo por consumo de energía eléctrica de la empresa Motorex S.A. – 2021, teniendo en cuenta que dicho sistema fotovoltaico consta 34 paneles de 450Wp generando un total de 27,322kWh.
- Se dimensionó el sistema fotovoltaico que ayuda a la reducción de costo por consumo de energía eléctrica de la empresa Motorex S.A. – 2021 siendo esta reducción de un 35.8% con respecto a lo que se consume actualmente.
- Se logró disminuir la facturación eléctrica con la interconexión del sistema generación fotovoltaica en el edificio de la empresa Motorex S.A. – 2021, representando esta disminución en promedio 35.8% respecto a la facturación.
- Se optimizó el tiempo de operación de los servicios evaluando la reducción del consumo de energía considerando el tiempo de operación de los servicios 9 horas como máximo durante el día, es decir respetando la jornada laboral de la empresa Motorex S.A., para que ayude a la reducción del costo por consumo de energía eléctrica.
- El costo nivelado de energía (LCOE) es S/.0.287 /kWh el cual es óptimo para este tipo de instalación.
- El sistema fotovoltaico e interconectado a la red tiene una vida útil promedio de 20 años, para la presente investigación resultó 5.24 años de tiempo de retorno de inversión. Considerando que el sistema diseñado es de larga vida podemos concluir que la propuesta es viable y sostenible en el tiempo.

## **RECOMENDACIONES**

- Se recomienda utilizar esta investigación para promover el uso de sistemas fotovoltaicos e interconectados a la red en el sector residencial y comercial, su uso ayudará a reducir el costo de consumo de energía y además ayudará a reducir el efecto invernadero causado por el uso de combustibles fósiles.
- Se recomienda al lector analizar el espacio disponible de instalación para iniciar su proyecto de investigación, dado que para una instalación de generación fotovoltaica está limitada por el terreno disponible.
- Se recomienda al usuario final evaluar la optimización de las cargas eléctricas actuales, reemplazar las de mayor antigüedad o disminuir su frecuencia de uso.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. **Arroyo Gordillo, Pedro y Vásquez Rivas Plata, Ruth. 2016.** *INGENIERÍA ECONÓMICA: ¿CÓMO MEDIR LA RENTABILIDAD DE UN PROYECTO?* LIMA : Fondo Editorial, Universidad de Lima, 2016.
2. **Borja Perez. 2020.** *TODO LO QUE NECESITAS SABER SOBRE LA ENERGIA FOTOVOLTAICA PARA DUMMIES.* s.l. : BYSOLARENERGY ACADEMY, 2020.
3. **BP Statistical Review of World Energy. 2021.** BP Statistical Review of World Energy. *BP Statistical Review of World Energy.* [En línea] 2021. <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>.
4. **Campo Arranz, Raquel, Del Campo Dominguez, María y Rodrigo Raya, Victor. 2014.** *Gestion de Proyectos.* MADRID : RA MA, 2014.
5. **Castejón, Agustín y Santamaría, German. 2010.** *INSTALACIONES SOLARES FOTOVOLTAICAS.* ESPAÑA : EDITEX, 2010.
6. **Colmenar Santos, Antonio, y otros. 2015.** *Generación distribuida, autoconsumo y redes inteligentes.* España : UNED, 2015.
7. **Díaz Corcobado, Tomás y Carmona Rubio, Guadalupe. 2010.** *INSTALACIONES SOLARES FOTOVOLTAICAS.* Madrid : MC GRAW HILL Interamericana de España S.A., 2010. Vol. 1.
8. **Enríquez Harper, Gilberto. 2016.** *INSTALACIONES Y SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.* MEXICO : LIMUSA, 2016.
9. **GRUPO DE APOYO AL SECTOR RURAL. 2017.** SITIO WEB DE LA PUCP. *SITIO WEB DE LA PUCP.* [En línea] 1 de MARZO de 2017. <https://gruporural.pucp.edu.pe/nota/el-desarrollo-de-la-energia-solar-en-el-peru/>.
10. **Hernández Sampieri, Roberto, Fernández Collado, Carlos y Baptista Lucio, Pilar. 2010.** *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.* México : Mc Graw Hill, 2010.
11. **Ortega Mateos, Rocio. 2015.** *Instalaciones de edificios.* España : Elearning, 2015.

12. **OSINERMINING. 2020.** *Reporte del Análisis Económico Sectorial.* Lima : s.n., 2020.
13. **Perpiñán Lamigueiro, Oscar. 2020.** *Energía solar fotovoltaica.* España : Creative Commons, 2020.
14. **PERUANO, DIARIO OFICIAL EL. 2018.** RESOLUCION MINISTERIAL. *NORMAS LEGALES.* 2018.
15. **Sánchez Juaréz, Aarón, y otros. 2017.** *APLICACIONES FOTOVOLTAICAS DE LA ENERGIA SOLAR EN LOS SECTORES RESIDENCIAL, SERVICIO E INDUSTRIAL.* MEXICO : COMERCIALIZADORA NAXFRA S.A., 2017.
16. **Trespalacios Carrasquilla, Alfredo, Pantoja Robayo, Javier Orlando y Fernández Taborda, Oscar Alonso. 2017.** *Análisis de Mercados de Electricidad.* Medellin : EAFIT, 2017.
17. **Valderrama Mendoza, Santiago. 2002.** *PASOS PARA ELABORAR PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA CUANTITATIVA, CUALITATIVA Y MIXTA.* LIMA : SAN MARCOS DE ANÍBAL JESÚS PAREDES GALVÁN, 2002.

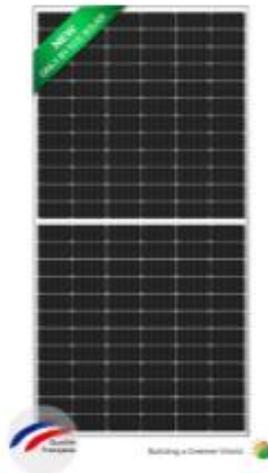
## ANEXO

### Anexo 1 Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	METODOLOGIA	POBLACION
<p><b>Problema General:</b> ¿Cómo el diseño de un sistema fotovoltaico e interconectado a la red ayuda a la reducción del costo por consumo de energía eléctrica de la empresa Motorex S.A. - 2021?</p> <p><b>Problemas Específicos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ¿Cómo la generación fotovoltaica ayuda con la reducción del costo por consumo de energía eléctrica de la empresa Motorex S.A. - 2021?</li> <li>- ¿Cómo la facturación eléctrica se reduce con la interconexión del sistema de generación fotovoltaica en el edificio de la empresa Motorex S.A. - 2021?</li> <li>- ¿Cómo el tiempo de operación de los servicios ayuda con la reducción del costo por consumo de energía eléctrica de la empresa Motorex S.A. - 2021?</li> </ul>	<p><b>Objetivo General:</b> Diseñar un sistema fotovoltaico e interconectado a la red que ayude a la reducción del costo por consumo de energía eléctrica de la empresa Motorex S.A. – 2021.</p> <p><b>Objetivos Específicos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Dimensionar la generación fotovoltaica que ayude a la reducción del costo por consumo de energía eléctrica de la empresa Motorex S.A. – 2021.</li> <li>- Disminuir la facturación eléctrica con la interconexión del sistema de generación fotovoltaica en el edificio de la empresa Motorex S.A. – 2021.</li> <li>- Optimizar el tiempo de operación de los servicios que ayude a la reducción del costo por consumo de energía eléctrica de la empresa Motorex S.A. – 2021.</li> </ul>	<p><b>Hipótesis General:</b> Si se diseña un sistema fotovoltaico e interconectado a la red ayudará a la reducción del costo por consumo de energía eléctrica de la empresa Motorex S.A. – 2021.</p> <p><b>Hipótesis Específicas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Si se dimensiona la generación fotovoltaica ayudará para la reducción del costo por consumo de energía eléctrica de la empresa Motorex S.A. – 2021.</li> <li>- Si se optimiza la facturación eléctrica del edificio se reducirá el costo por consumo de energía eléctrica de la empresa Motorex S.A. – 2021.</li> <li>- Si se optimiza el tiempo de operación de los servicios ayudará con la reducción del costo por consumo de energía eléctrica de la empresa Motorex S.A. – 2021.</li> </ul>	<p><b>Variable Independiente:</b> Sistema fotovoltaico e interconectado a la red</p> <p><b>Variable dependiente:</b> Costo por consumo de energía eléctrica</p>	<p><b>Tipo de investigación:</b> Investigación tecnológica</p> <p><b>Nivel:</b> Investigación aplicada</p> <p><b>Método:</b> Método de investigación cualitativa</p> <p><b>Diseño de la investigación:</b> Diseño no experimental</p>	<p><b>Población:</b> Empresa Motorex S.A</p> <p><b>Muestra:</b> Instalaciones de la empresa Motorex S.A.</p>

Fuente: Elaboración propia

## Anexo 2 Ficha técnica del módulo fotovoltaico



Eco Green Energy's modules are only made of grade A solar cells with a very high efficiency and ensured more than 25 years lifespan.

### KEY FEATURES

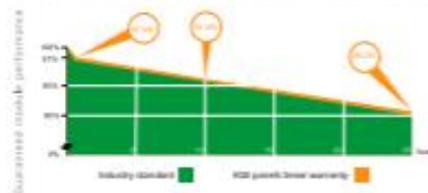
-  Reduce the temperature of the solar hot spot above 20 °C and current intensity between each cells, increase of the efficiency and power
-  Lower temperature coefficient
-  Lower LCOE (Levelized Cost of Energy), larger size of light receiving area and power
-  Reduction of the risk of Micro-cracks
-  Reducing the loss of current mismatch and resistance between each cells

### CERTIFICATES

ISO 9001:2015 / PV CYCLE / CE

### LINEAR PERFORMANCE WARRANTY

12-Year Product Warranty + 25-Year Linear Power Warranty



-  **25 YEARS** OUTPUT POWER WARRANTY
-  **12 YEARS** PRODUCT WARRANTY



Eco Green Energy Group Ltd. 2018. All rights reserved.

### ELECTRICAL DATA AT STC\*

Power output (Pmax)	425 W	430 W	435 W	440 W	445 W	450 W
Power tolerance	0~+5 W					
Module efficiency	19.4 %	19.7 %	19.9 %	20.1 %	20.4 %	20.6 %
Maximum power voltage (Vmp)	40.40 V	40.60 V	40.80 V	41.00 V	41.20 V	41.40 V
Maximum power current (Imp)	10.52 A	10.60 A	10.67 A	10.74 A	10.81 A	10.87 A
Open circuit voltage (Voc)	49.00 V	49.20 V	49.40 V	49.60 V	49.80 V	50.00 V
Short circuit current (Isc)	11.09 A	11.16 A	11.23 A	11.30 A	11.37 A	11.44 A

\*Standard Test Conditions: Irradiance: 1 000 W / m<sup>2</sup> • Cell temperature: 25°C • AM: 1.5

### ELECTRICAL DATA AT NMOT\*

Power output (Pmax)	316.16 W	320.12 W	323.71 W	327.71 W	331.74 W	335.40 W
Maximum power voltage (Vmp)	38.00 V	38.20 V	38.40 V	38.60 V	38.80 V	39.00 V
Maximum power current (Imp)	8.32 A	8.38 A	8.43 A	8.49 A	8.55 A	8.60 A
Open circuit voltage (Voc)	46.00 V	46.20 V	46.40 V	46.60 V	46.80 V	47.00 V
Short circuit current (Isc)	8.93 A	8.99 A	9.05 A	9.10 A	9.16 A	9.21 A

\*Nominal Operating Cell Temperature: Irradiance: 800 W / m<sup>2</sup> • Ambient temperature: 20°C • AM: 1.5 • Wind speed: 1 m/s

### TEMPERATURE CHARACTERISTICS

NMOT	41 °C ±3 °C
Temperature coefficient of Pmax	-0.35%/°C
Temperature coefficient of Voc	-0.30%/°C
Temperature coefficient of Isc	+0.05%/°C

### MAXIMUM RATINGS

Operating temperature range	-40 °C ~+85 °C
Maximum system voltage	1000V/DC(IEC)/1500V/DC(IEC)
Max series fuse rating	20 A
Max front load (e.g.: snow)	5400 Pa
Max back load (e.g.: wind)	2400 Pa

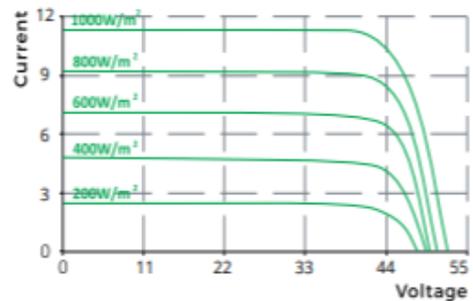
### MECHANICAL CHARACTERISTICS

Cell type	Monocrystalline (166x83 mm)
Number of cells	144
Dimensions	2102x1040x35mm
Weight	24.5 kg
Glass	3.2 mm tempered glass
Frame	Anodized aluminium alloy
Junction box	IP68
Cable	4.0 mm <sup>2</sup> , 300/1300mm
Connector	MC4 EVO2 compatible

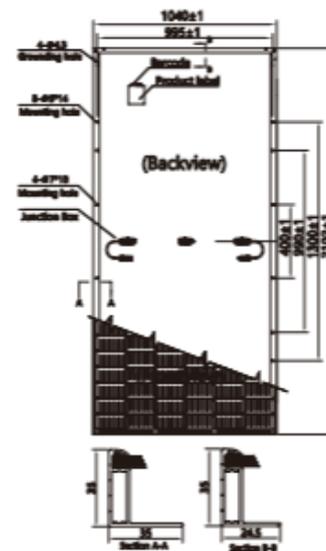
### PACKAGING

Type	Pcs/ Type	Weight
Per Pallet	30 pcs	780 kg
20ft GP Container	296 pcs	7.70 t
40ft GP Container	624 pcs	16.22 t
40ft HQ Container	686 pcs	17.84 t

### I-V CURVES



### ENGINEERING DRAWINGS (mm)



## Anexo 3 Ficha técnica de inversor Fronius para el sistema fotovoltaico e interconectado a la red para la empresa Motorex S.A.

/ Perfect Welding / Solar Energy / Perfect Charging



### PROYECTO

País	Perú
Nombre del proyecto	MOTOREX S.A

### MÓDULO FV

Módulo FV fabricante	Eco Green Energy Group Ltd.
Modelo	EGE-450-144M (M6)
Temp. de módulo mín. / máx.	10 °C / 32 °C
Rendimiento adicional módulo bifacial	0%

### INVERSOR

Tipo de Inversor	Symo 12.5-3-M
------------------	---------------

### RESUMEN

Relación de potencia	120%
Pmpp para 25 °C	15,30 kWp
MPPT	PV1: 2x12                      PV2: 1x10
Corriente factor	1,00

### MPPT DETALLES

	PV1	PV2
Cableado (series. x mód.)	2 x 12	1 x 10
Corriente de cortocircuito 25 °C	22,88 A	11,44 A
Umpp para 32 °C	484,20 V	403,50 V
Tensión circuito abierto para 10 °C	627,00 V	522,50 V
Tensión de MPP para 25°C	496,80 V	414,00 V
Pmpp para 25 °C	10,80 kWp	4,50 kWp
Fusibles de string requeridos	no	no
Caja de string requerida	no	no
Pérdida de rendimiento	no	no

FRONIUS International GmbH no asume responsabilidad alguna por la integridad de los datos de módulos e inversores empleados ni por las configuraciones incorrectas, diseños erróneos o ineficientes de instalaciones creados mediante el configurador. Todos los derechos de responsabilidad frente a Fronius que guarden relación con daños materiales o inmateriales debidos al uso del Solar configurador, quedan excluidos siempre que Fronius no haya actuado de forma dolosa o negligente grave. El diseño Quirk se basa en los siguientes supuestos: No se tiene en consideración cosφTe, tensión de CA, carga desequilibrada o limitación de potencia específicas de países. Lugar de instalación = 2000m. Rendimiento específico para cálculo de almacenamiento = 1000 kWh/MWh. Recomendación de fusibles basada en el IEC 60364-7-712: 2016. Podrían existir modificaciones debido a posibles requisitos específicos de país por parte de eléctricas o autoridades estatales.

## Anexo 4 Medidor de energía bidireccional

/ Perfect Welding / Solar Energy / Perfect Charging

**Fronius**  
SHIFTING THE LIMITS

# FRONIUS SMART METER

/ Contador bidireccional para registrar el consumo de energía en su hogar



/ El Fronius Smart Meter es un contador bidireccional que optimiza el autoconsumo y registra la curva de consumo de su hogar. Gracias a la medición de alta precisión y la rápida comunicación a través del interface Modbus RTU, la limitación de potencia remota, cuando hay límites impuestos, es más rápida y precisa que con SO. Junto con Fronius Solar.web, ofrece una visión detallada del consumo de energía en su hogar. Para la solución de almacenaje Fronius Energy Package basada en el Fronius Symo Hybrid, el Fronius Smart Meter permite realizar una gestión sistematizada de los distintos flujos de energía, optimizando así la energía total. Es perfecto para su uso junto al Fronius Symo, Fronius Symo Hybrid, Fronius Galvo y Fronius Datamanager 2.0.

### FRONIUS SMART METER

DATOS TÉCNICOS	
Tensión nominal	230V - 400V
Máxima potencia	3.683W
Cable nominal de potencia	3 - 16 mm <sup>2</sup>
Cable nominal de comunicación	3 x 0,5 - 4 mm <sup>2</sup>
Instalación	Indoor/Outdoor
Cantidad canales	4 canales (3x 120V 16A y 1x 240V)
Clase de precisión	1
Protocolo	Modbus RTU (RS485)
Display	4 dígitos LCD

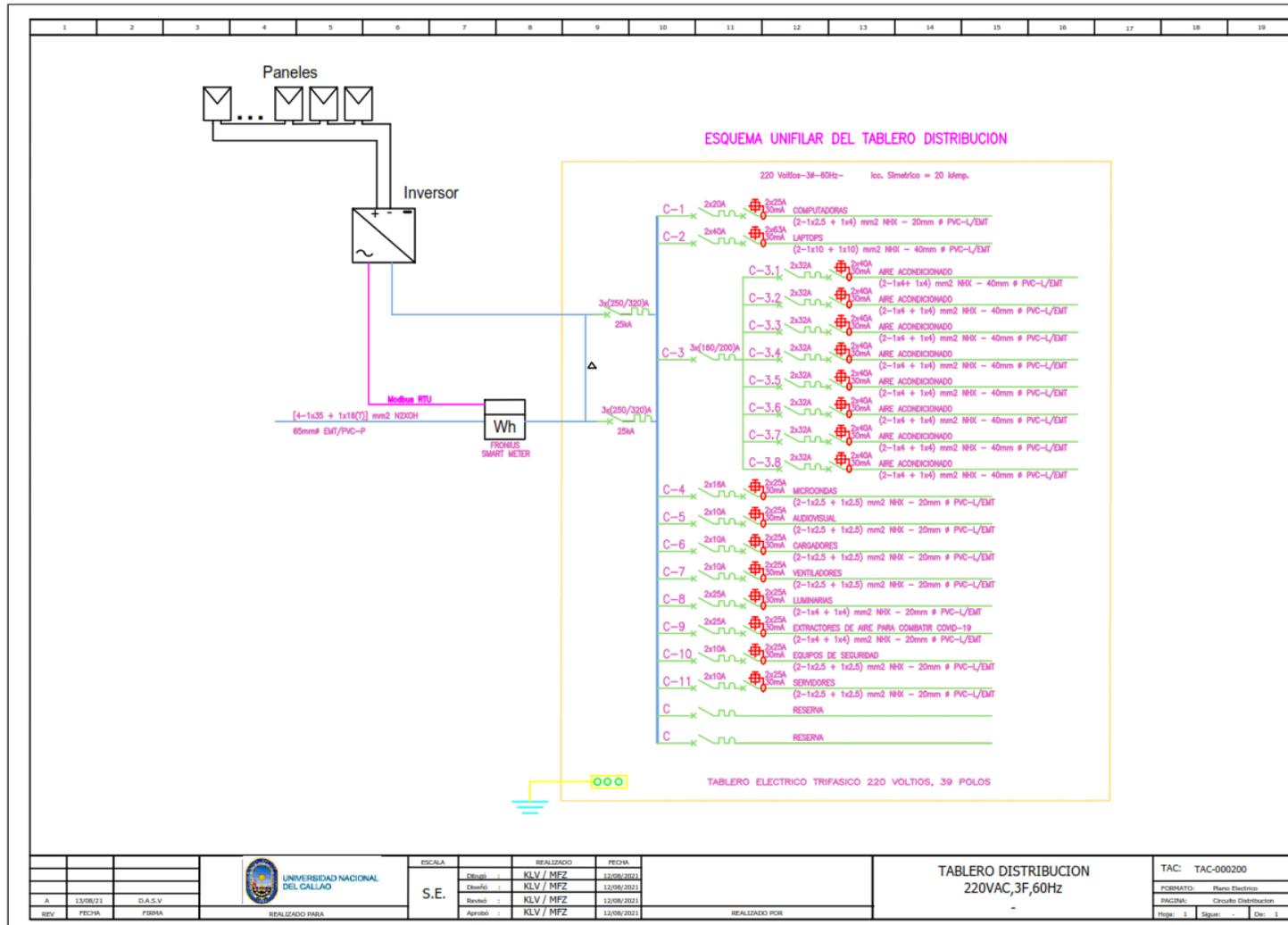
### VENTAJAS

- / Limitación de potencia remota rápida y precisa
- / Junto con el Fronius Solar.web ofrece una visión detallada del consumo de energía en su hogar
- / Optimiza la gestión de energía con la solución de almacenaje Fronius Energy Package





## Anexo 6 Tablero eléctrico del sistema fotovoltaico e interconectado a la red



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO		
REV	FECHA	PIRMA
A	13/08/21	D.A.S.V

ESCALA	REALIZADO	FECHA
Diseño	KLV / MFZ	12/08/2021
Dibujó	KLV / MFZ	12/08/2021
Revisó	KLV / MFZ	12/08/2021
Aprobó	KLV / MFZ	12/08/2021

REALIZADO POR
---------------

TABLERO DISTRIBUCION 220VAC,3F,60Hz
--

TAC: TAC-000200
FORMATO: Plano Electrico
PROYECTO: Circuito Distribucion
Hoja: 1 Signo: - Det: 1

# Anexo 7 Reporte del software PvSyst - LCOE



## Project: DISEÑO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO E INTERCONECTADO PARA LA EMPRESA MOTOREX S.A

Variant: Nueva variante de simulación- MOTOREX

PVsyst V7.2.4

VC0, Simulation date:  
02/09/21 04:15  
with v7.2.4

### Main results

#### System Production

Produced Energy 27.11 MWh/year Specific production 1772 kWh/kWp/year  
Performance Ratio PR 80.87 %

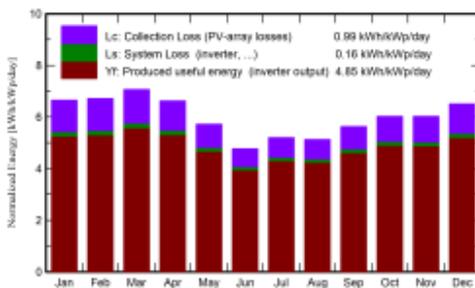
#### Economic evaluation

**Investment**  
Global 63'954.00 PEN  
Specific 4.18 PEN/Wp

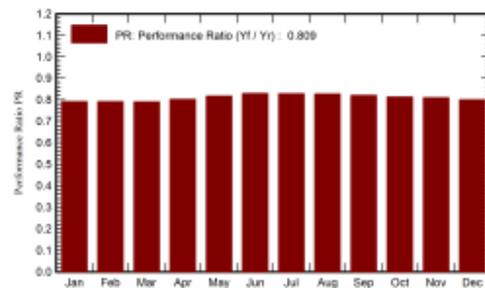
**Yearly cost**  
Annuities 0.00 PEN/yr  
Run. costs 546.69 PEN/yr  
Payback period 5.5 years

**LCOE**  
Energy cost 0.28 PEN/kWh

#### Normalized productions (per installed kWp)



#### Performance Ratio PR



### Balances and main results

	GlobHor	DiffHor	T_Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_Grid	PR
	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	°C	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	MWh	MWh	ratio
January	214.0	76.64	22.76	206.2	200.0	2.580	2.497	0.792
February	190.3	75.93	23.52	187.9	183.1	2.350	2.275	0.791
March	215.2	68.83	22.87	218.9	213.7	2.737	2.649	0.791
April	188.9	53.50	20.54	198.8	194.3	2.522	2.441	0.802
May	164.3	57.35	18.83	177.4	173.0	2.293	2.220	0.818
June	132.1	57.75	17.50	143.2	139.0	1.875	1.816	0.829
July	149.1	58.61	17.14	161.2	156.9	2.109	2.043	0.828
August	151.3	73.28	16.37	159.0	154.5	2.079	2.014	0.828
September	164.8	71.45	16.30	168.9	164.3	2.190	2.120	0.821
October	187.4	80.95	17.52	186.8	181.3	2.400	2.324	0.813
November	186.3	83.64	18.69	180.8	174.8	2.314	2.241	0.810
December	210.6	80.21	20.86	201.6	195.4	2.550	2.469	0.800
Year	2154.4	838.14	19.39	2190.8	2130.3	27.999	27.109	0.809

#### Legends

GlobHor Global horizontal irradiation  
DiffHor Horizontal diffuse irradiation  
T\_Amb Ambient Temperature  
GlobInc Global incident in coll. plane  
GlobEff Effective Global, corr. for IAM and shadings  
EArray Effective energy at the output of the array  
E\_Grid Energy injected into grid  
PR Performance Ratio



Project: DISEÑO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO E  
INTERCONECTADO PARA LA EMPRESA MOTOREX S.A

Variant: Nueva variante de simulación- MOTOREX

PVsyst V7.2.4

VC0, Simulation date:  
02/09/21 04:15  
with v7.2.4

Financial analysis

Simulation period

Project lifetime 20 years Start year 2021

Income variation over time

Inflation 2.00 %/year  
Production variation (aging) -0.50 %/year  
Discount rate 10.00 %/year

Income dependent expenses

Income tax rate 0.00 %/year  
Other income tax 0.00 %/year  
Dividends 0.00 %/year

Financing

Own funds 63'954.00 PEN

Electricity sale

Feed-in tariff 0.60 PEN/kWh  
Duration of tariff warranty 20 years  
Annual connection tax 0.00 PEN/kWh  
Annual tariff variation 0.0 %/year  
Feed-in tariff decrease after warranty 0.00 %

Return on investment

Payback period 5.5 years  
Net present value (NPV) 66'302.04 PEN  
Return on investment (ROI) 103.7 %

Detailed economic results (PEN)

	Electricity sale	Run. costs	Deprec. allow.	Taxable income	Taxes	After-tax profit	Cumul. profit	% amorti.
2021	16'347	450	0	15'897	0	15'897	-49'503	22.6%
2022	16'265	459	0	15'806	0	15'806	-36'440	43.0%
2023	16'183	468	0	15'715	0	15'715	-24'633	61.5%
2024	16'101	478	0	15'624	0	15'624	-13'962	78.2%
2025	16'020	487	0	15'532	0	15'532	-4'317	93.2%
2026	15'938	497	0	15'441	0	15'441	4'399	106.9%
2027	15'856	507	0	15'349	0	15'349	12'275	119.2%
2028	15'774	517	0	15'257	0	15'257	19'393	130.3%
2029	15'693	527	0	15'165	0	15'165	25'825	140.4%
2030	15'611	538	0	15'073	0	15'073	31'636	149.5%
2031	15'529	549	0	14'981	0	14'981	38'867	157.7%
2032	15'447	560	0	14'888	0	14'888	41'630	165.1%
2033	15'366	571	0	14'795	0	14'795	45'916	171.8%
2034	15'284	582	0	14'702	0	14'702	49'787	177.8%
2035	15'202	594	0	14'609	0	14'609	53'285	183.3%
2036	15'121	606	0	14'515	0	14'515	56'443	188.3%
2037	15'039	618	0	14'421	0	14'421	59'297	192.7%
2038	14'957	630	0	14'327	0	14'327	61'873	196.7%
2039	14'875	643	0	14'233	0	14'233	64'201	200.4%
2040	14'794	656	0	14'138	0	14'138	66'302	203.7%
<b>Total</b>	<b>311'401</b>	<b>10'934</b>	<b>0</b>	<b>300'467</b>	<b>0</b>	<b>300'467</b>	<b>66'302</b>	<b>203.7%</b>

## Anexo 8 Consentimiento informado de la empresa Motorex S.A.



### CARTA DE AUTORIZACIÓN DE USO DE DATOS DE LA EMPRESA



Yo, JAIME OSCAR KRISTIAN ANTUNEZ DE MAYOLO MORELLI, identificado con DNI 07831959, en mi calidad de REPRESENTANTE LEGAL de la empresa MOTOREX S.A. con R.U.C N° 20101461786, ubicada en la ciudad de LIMA.

#### OTORGO LA AUTORIZACIÓN

A la señorita KATHERINE LEON VALVERDE, identificado con DNI N° 47233380, bachiller de la escuela profesional de INGENIERÍA EN ENERGÍA que utilice la siguiente información de la empresa: Planos de arquitectura, diagramas unifilares y recibo de energía mensual.

Con la finalidad de que pueda desarrollar su Tesis para optar el Título Profesional.

Recuerda que para el trámite deberás adjuntar también, el siguiente requisito según tipo de empresa:

- Vigencia de Poder. (para el caso de empresas privadas).
- ROF / MOF / Resolución de designación, u otro documento que evidencie que el firmante está facultado para autorizar el uso de la información de la organización. (para el caso de empresas públicas)
- Copia del DNI del Representante Legal o Representante del área para validar su firma en el formato.

Indicar si el Representante que autoriza la información de la empresa, solicita mantener el nombre o cualquier distintivo de la empresa en reserva, marcando con una 'X' la opción seleccionada

- Mantener en Reserva el nombre o cualquier distintivo de la empresa; o  
 Mencionar el nombre de la empresa

Firma y sello del Representante Legal  
DNI: 07831959

El Bachiller declara que los datos emitidos en esta carta y en el Trabajo de Investigación, en la Tesis son auténticos. En caso de comprobarse la falsedad de datos, el bachiller será sometido al inicio del procedimiento disciplinario correspondiente; asimismo, asumirá toda la responsabilidad ante posibles acciones legales que la empresa, otorgante de información, pueda ejecutar.

Firma del Bachiller  
DNI: 47233380



## CARTA DE AUTORIZACIÓN DE USO DE DATOS DE LA EMPRESA



Yo **ANTUNEZ DE MAYOLO MORELLI JAIME OSCAR KRISTIAN RICARDO**, identificado con DNI N° **07831959**, en mi calidad de **REPRESENTANTE LEGAL** de la empresa **MOTOREX S.A.** con R.U.C N° **20101461786**, ubicada en la ciudad de **LIMA**.

### OTORGO LA AUTORIZACIÓN

A la señorita **FERNÁNDEZ ZÁRATE, MIRYAM JOHANA**, identificado con DNI N° **72746361**, bachiller de la escuela profesional de **INGENIERÍA EN ENERGÍA** que utilice la siguiente información de la empresa:

Planos y arquitectura, diagramas unifilares, recibo de energía mensual, con la finalidad de que pueda desarrollar su tesis para optar el Título Profesional.

Recuerda que para el trámite deberás adjuntar también, el siguiente requisito según tipo de empresa:

- Vigencia de Poder: *(para el caso de empresas privadas)*
- ROF / MOF / Resolución de designación, u otro documento que evidencie que el firmante está facultado para autorizar el uso de la información de la organización. *(para el caso de empresas públicas)*
- Copia del DNI del Representante Legal o Representante del área para validar su firma en el formato.

Indicar si el Representante que autoriza la información de la empresa, solicita mantener el nombre o cualquier distintivo de la empresa en reserva, marcando con una "X" la opción seleccionada.

- Mantener en Reserva el nombre o cualquier distintivo de la empresa; o  
 Mencionar el nombre de la empresa.

Firma y sello del Representante Legal  
DNI: **07831959**

El Bachiller declara que los datos emitidos en esta carta y en el Trabajo de Investigación, en la Tesis son auténticos. En caso de comprobarse la falsedad de datos, el bachiller será sometido al inicio del procedimiento disciplinario correspondiente; asimismo, asumirá toda la responsabilidad ante posibles acciones legales que la empresa, otorgante de información, pueda ejecutar.

Firma del Bachiller  
DNI: **72746361**

**Anexo 9 Esquema tentativo de instalación del sistema fotovoltaico e interconectado a la red para la empresa Motorex S.A.**

