



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Estudios de Postgrado  
Maestría en Artes en Energía y Ambiente

**EVALUACIÓN DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA LA  
ILUMINACIÓN DE SERVICIOS GENERALES DE AULAS Y ÁREAS COMUNES, EN EL  
CENTRO UNIVERSITARIO DEL SUR, DEPARTAMENTO DE ESCUINTLA**

**Ing. Jorge Remigio Sánchez Meléndez**

Asesorado por el MSc. Ing. Víctor Manuel de León Contreras

Guatemala, marzo de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA LA  
ILUMINACIÓN DE SERVICIOS GENERALES DE AULAS Y ÁREAS COMUNES, EN EL  
CENTRO UNIVERSITARIO DEL SUR, DEPARTAMENTO DE ESCUINTLA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**ING. JORGE REMIGIO SÁNCHEZ MELÉNDEZ**  
ASESORADO POR EL MSC. ING. VÍCTOR MANUEL DE LEÓN CONTRERAS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**MAESTRO EN ARTES EN ENERGÍA Y AMBIENTE**

GUATEMALA, MARZO DE 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton De León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Armando Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Coti
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque
EXAMINADOR	Mtro. Ing. César Ariel Villela Rodas
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**EVALUACIÓN DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA LA ILUMINACIÓN DE SERVICIOS GENERALES DE AULAS Y ÁREAS COMUNES, EN EL CENTRO UNIVERSITARIO DEL SUR, DEPARTAMENTO DE ESCUINTLA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 18 de agosto de 2021.

**Ing. Jorge Remigio Sánchez Meléndez**

LNG.DECANATO.OI.149.2022

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Estudios de Posgrado, al Trabajo de Graduación titulado: **EVALUACIÓN DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA LA ILUMINACIÓN DE SERVICIOS GENERALES DE AULAS Y ÁREAS COMUNES, EN EL CENTRO UNIVERSITARIO DEL SUR, DEPARTAMENTO DE ESCUINTLA**, presentado por: **Jorge Remigio Sánchez Meléndez**, que pertenece al programa de Maestría en artes en Energía y ambiente después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Aurelia Anabela Cordova 

Decana

Guatemala, marzo de 2022

AACE/gaoc



**Guatemala, marzo de 2022**

LNG.EEP.OI.149.2022

En mi calidad de Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del asesor, verificar la aprobación del Coordinador de Maestría y la aprobación del Área de Lingüística al trabajo de graduación titulado:

**“EVALUACIÓN DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA LA ILUMINACIÓN DE SERVICIOS GENERALES DE AULAS Y ÁREAS COMUNES, EN EL CENTRO UNIVERSITARIO DEL SUR, DEPARTAMENTO DE ESCUINTLA”**

presentado por **Jorge Remigio Sánchez Meléndez** correspondiente al programa de **Maestría en artes en Energía y ambiente** ; apruebo y autorizo el mismo.

Atentamente,

*“Id y Enseñad a Todos”*

  
**Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí**  
Director  
Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería





Guatemala, 23 de noviembre 2021

Como coordinador de la **Maestría en Artes en Energía y Ambiente** doy el aval correspondiente para la aprobación del Trabajo de Graduación titulado: "EVALUACIÓN DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA LA ILUMINACIÓN DE SERVICIOS GENERALES DE AULAS Y ÁREAS COMUNES, EN EL CENTRO UNIVERSITARIO DEL SUR, DEPARTAMENTO DE ESCUINTLA" presentado por el Ingeniero Jorge Remigio Sánchez Meléndez quien se identifica con carné 100018285.

Atentamente,

*"Id y Enseñad a Todos"*

**Mtro. Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque**  
**Coordinador de Maestría**  
**Escuela de Estudios de Postgrado**  
**Facultad de Ingeniería**



Guatemala, 16 de octubre de 2021.

M.A. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí  
Director  
Escuela de Estudios de Postgrado  
Presente

Estimado M.A. Ing. Álvarez Cotí

Por este medio informo a usted, que he revisado y aprobado el Trabajo de Graduación y el Artículo Científico: **“EVALUACIÓN DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA LA ILUMINACIÓN DE SERVICIOS GENERALES DE AULAS Y ÁREAS COMUNES, EN EL CENTRO UNIVERSITARIO DEL SUR, DEPARTAMENTO DE ESCUINTLA”** del estudiante **Jorge Remigio Sánchez Meléndez** del programa de Maestría en Energía y Ambiente, identificado con número de carné: **100018285**.

Agradeciendo su atención y deseándole éxitos en sus actividades profesionales me suscribo.



---

MSc. Ing. Víctor Manuel de León Contreras  
Colegiado No. 7739  
Asesor de Tesis

**Víctor Manuel De León Contreras**  
MSc. Ing. Electricista  
Colegiado 7739



## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Ser supremo y creador de este universo, con su guía he caminado siempre.
<b>Mis padres</b>	Por darme la vida y apoyo incondicional en mis proyectos y otras metas.
<b>Mis hermanos</b>	Por su apoyo, alegría y cariño, que siempre comparten conmigo.
<b>Mis hijos</b>	Jorge Andrés y Joel Isaac, que esta meta alcanzada, sirva de inspiración en sus vidas.
<b>Mi familia en general</b>	Que gran bendición tenerlos.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por brindarme la formación profesional.
<b>Centro Universitario del Sur</b>	Por formarme en la carrera y ocupación que desempeño.
<b>MSc. Ing. Víctor de León</b>	Por su asesoramiento, dirección y apoyo en el desarrollo de este proyecto.
<b>Dra. Aura Marina Rodríguez</b>	Por su guía y valiosas sugerencias en este trabajo de graduación.
<b>Mis amigos de maestría</b>	Por su apoyo y compañerismo durante la carrera y en la etapa final.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	IX
GLOSARIO .....	XI
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XIX
INTRODUCCIÓN.....	XXV
1. MARCO REFERENCIAL.....	1
2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Centro Universitario del Sur.....	5
2.1.1. Áreas comunes.....	5
2.1.2. Carreras que imparte.....	6
2.2. Iluminación .....	6
2.3. Radiación solar.....	6
2.4. Módulo solar fotovoltaico.....	8
2.4.1. Parámetros fundamentales.....	8
2.4.2. Efecto de los módulos FV, sobre la generación de energía .....	9
2.5. Sistema fotovoltaico conectado a la red .....	10
2.5.1. Estructuras de soporte.....	12
2.6. Efecto fotovoltaico .....	12
2.7. Tipos de célula solar.....	13
2.8. Panel solar.....	13
2.9. Tipos de paneles solares.....	14

2.9.1.	Paneles monocristalinos .....	14
2.9.2.	Módulos policristalinos .....	15
2.9.3.	Paneles silicio amorfo (capa fina).....	15
2.10.	Fabricación de células fotovoltaicas.....	16
2.10.1.	Proceso de fabricación de un módulo fotovoltaico .....	16
2.11.	Mantenimiento de paneles fotovoltaicos .....	18
2.12.	Irradiancia .....	18
2.13.	Irradiación .....	19
2.14.	Geometría solar .....	19
2.15.	Contador bidireccional.....	19
2.16.	Generación distribuida renovable.....	19
2.17.	Potencial solar en Guatemala .....	20
2.18.	Dióxido de carbono equivalente .....	20
2.19.	Factor de red para cálculo de emisiones CO <sub>2</sub> .....	20
2.20.	Tasa interna de retorno (TIR).....	21
2.21.	Valor Actual Neto (VAN).....	21
2.22.	Retorno de la inversión (ROI).....	22
3.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	23
3.1.	Objetivo 1. Estimar el consumo energético de las instalaciones y la tendencia al alza de la factura de energía eléctrica.....	23
3.2.	Objetivo 2. Analizar diferentes propuestas de los componentes de un sistema solar, para obtener un mejor indicador costo-beneficio.....	29
3.3.	Objetivo 3. Determinar los costos de equipo y mantenimiento, así como los ahorros en energía y	

	monetarios para realizar un análisis financiero de VAN, TIR y Retorno de la inversión .....	42
3.4.	Objetivo 4. Establecer la reducción de CO <sub>2</sub> en toneladas equivalentes. ....	48
4.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	51
	CONCLUSIONES .....	59
	RECOMENDACIONES .....	61
	REFERENCIAS .....	63
	APÉNDICES .....	69
	ANEXOS .....	81



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Sistema fotovoltaico conectado a la red.....	11
2.	Panel solar .....	14
3.	Salones del 11 al 16 en el Centro Universitario del Sur .....	23
4.	Esquema de vista de planta del techo disponible y cuarto para inversores, en Centro Universitario del Sur.....	24
5.	Gráfica de la tendencia al alza de la factura de electricidad en Centro Universitario del Sur, años 2018- 2019 .....	28
6.	Gráfica de la tendencia al alza de la factura de electricidad en Centro Universitario del Sur, años 2018- 2021 .....	29
7.	Gráfica de consumo mensual de las instalaciones del Centro Universitario del Sur, año 2018 .....	31
8.	Resultados de la simulación usado software de diseño fotovoltaico....	33
9.	Gráfica de producción solar de energía mensual estimada para un año... ..	33
10.	Ubicación de paneles solares en techo de aulas puras .....	34
11.	Gráfica de producción de energía mensual generada, utilizando programa de computadora versus energía mensual consumida.....	35
12.	Energía obtenida y perdidas, propuesta 1.....	36
13.	Resultados de la simulación para sistema, propuesta 2 .....	39
14.	Gráfica de producción solar de energía mensual del sistema, propuesta 2, estimada para un año.....	40

## TABLAS

I.	VARIABLES PARA ESTUDIAR .....	XXII
II.	Consumo energético mensual de las instalaciones del Centro Universitario del Sur, en año 2018.....	25
III.	Parámetros estadísticos de la energía eléctrica consumida, mensualmente por los dos servicios .....	25
IV.	Consumo y pago de energía eléctrica, medidor F86617, años 2018 – 2019.....	26
V.	Consumo y pago energía eléctrica, medidor M39134, años 2018 - 2021 .....	27
VI.	Pago anual energía eléctrica CUNSUR, medidor F86617 .....	30
VII.	Pago anual energía eléctrica CUNSUR, medidor M39134 .....	30
VIII.	Irradiación global mensual, del lugar, con ángulo de 15 grados, kWh/m <sup>2</sup> , años 2010-2015 .....	31
IX.	Resumen de parámetros de irradiación global, con ángulo de 15 grados, años 2010-2015.....	32
X.	Valores de parámetros mensuales, de la energía producida por el sistema fotovoltaico .....	35
XI.	Comparación de energía consumida vs energía producida.....	36
XII.	Elementos básicos, DC del sistema fotovoltaico, propuesta 1.....	37
XIII.	Arreglos de Inversores y paneles fotovoltaicos.....	38
XIV.	Parámetros estadísticos de la energía eléctrica consumida, mensualmente por el servicio de mayor consumo, contador M65358 .....	39
XV.	Parámetros estadísticos mensuales, de la energía fotovoltaica producida por el sistema, propuesta 2.....	40
XVI.	Comparación de energía consumida vs energía producida.....	41
XVII.	Elementos Básicos, DC del sistema fotovoltaico, propuesta 2 .....	41



XVIII.	Arreglos de Inversores y paneles fotovoltaicos .....	42
XIX.	Pago anual energía eléctrica de CUNSUR usando energía fotovoltaica .....	43
XX.	Desglose total de la inversión propuesta 1.....	44
XXI.	Análisis de la inversión y recuperación, propuesta 1 .....	44
XXII.	Análisis de valor actual neto y tasa interna de retorno y retorno de la Inversión, en los correspondientes flujos de efectivo, propuesta 1 .....	46
XXIII.	Desglose total de la inversión, propuesta 2.....	47
XXIV.	Análisis de valor actual neto, tasa interna de retorno y retorno de la Inversión en los correspondientes flujos de efectivo, propuesta 2 .....	48
XXV.	Reducción anual de CO <sub>2</sub> utilizando energía fotovoltaica (Descarbonización) .....	49



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>CO<sub>2</sub></b>	Dióxido de Carbono
<b>FV</b>	Fotovoltaico
<b>HSP</b>	Horas de sol pico
<b>kW</b>	Kilovatio
<b>MW</b>	Mega watts
<b>m<sup>2</sup></b>	Metros cuadrados
<b>V</b>	Voltios
<b>Wp</b>	Watt pico



## GLOSARIO

<b>CNEE</b>	Comisión Nacional de Energía Eléctrica.
<b>Corriente alterna</b>	Es un tipo de corriente eléctrica, en la que la dirección del flujo de electrones va y viene a intervalos regulares o en ciclos.
<b>Corriente continua</b>	Es la corriente eléctrica que fluye de forma constante en una dirección, como la que fluye en una linterna o en cualquier otro aparato con baterías es corriente continua.
<b>CUNSUR</b>	Centro Universitario del Sur.
<b>EEGSA</b>	Empresa Eléctrica Guatemalteca, S.A.
<b>Energía</b>	Capacidad que tiene la materia de producir trabajo en forma de movimiento, luz, calor, entre otros.
<b>Energía renovable</b>	Energía que utiliza los recursos inagotables de la naturaleza, como la biomasa, las radiaciones solares o el viento.
<b>GEI</b>	Gases de Efecto Invernadero.

<b>Irradiación</b>	Es la cantidad de irradiancia recibida en un lapso determinado, es decir, la potencia recibida por unidad de tiempo y por unidad de superficie. Se suele medir en Wh/m <sup>2</sup> o, en caso de un día, en Wh/m <sup>2</sup> /día o unidades equivalentes.
<b>Irradiancia</b>	Es la magnitud que describe la radiación o intensidad de iluminación solar que llega hasta nosotros medida como una potencia instantánea por unidad de superficie. Sus unidades en el SI (Sistema Internacional) son el W/m <sup>2</sup> .
<b>MEM</b>	Ministerio de Energía y Minas.
<b>SFCR</b>	Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red.

## RESUMEN

La presente investigación tiene como propósito evaluar la implementación de un sistema solar fotovoltaico para la producción de energía eléctrica.

El objetivo general fue la evaluación de la implementación de un sistema solar fotovoltaico para la iluminación de servicios generales de aulas y áreas comunes, para la reducción los costes de energía eléctrica, del Centro Universitario del Sur, municipio de Escuintla.

Los datos fueron obtenidos mediante observación directa en lugar, toma de datos de consumo de energía, Irradiancia del lugar, mediciones en instalaciones, fotografías, planos de edificios, conexiones eléctricas existentes, cuartos eléctricos, entre otros

Con el sistema fotovoltaico implementado, se disminuye la dependencia del sistema eléctrico tradicional y se reducen los costes de la factura eléctrica, antes del mediano plazo, de la vida útil de los equipos. El sistema fotovoltaico propuesto, no solo provee energía eléctrica para iluminación de aulas y áreas comunes, sino también proporciona electricidad para ser usada en diferentes servicios de la institución. Se contribuye a la mejora de la huella de carbono, por medio de la reducción anual de 42.00 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente, que se dejarían de emitir a la atmósfera, como resultado de la implementación del sistema fotovoltaico.





## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

- Contexto general

Según el MEM (2020) la matriz energética de Guatemala muestra que las principales fuentes energéticas, son la de generación hidráulica con un 52.30 % seguido muy cerca con un 24.72 % por la generación por medio de combustibles fósiles (carbón mineral, bunker, diésel, entre otros.), lo que indica que existe fuerte dependencia de este último tipo de energía, a la que se le atribuyen la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera y otros gases de efecto invernadero, a niveles ascendentes.

- Descripción del problema

A los gases de efecto invernadero también se les atribuye el calentamiento global, lo que a su vez provoca notables irregularidades en el clima. Lo que ocasiona daños a diferentes tipos de infraestructuras y especialmente al sector agrícola, trayendo consigo pérdidas económicas, siendo considerado nuestro país, como altamente vulnerable a fenómenos climatológicos o desastres naturales.

La falta de un aprovechamiento de la energía solar en las instalaciones del centro universitario conlleva a realizar pagos de facturas con altos consumos de energía eléctrica. Por medio de un sistema fotovoltaico conectado a la red, se pueden reducir esos costos. Los cuales son recursos económicos que pueden utilizarse para otros rubros en beneficio de la población estudiantil universitaria.

Además, se busca propiciar el uso de energías limpias y renovables, que puedan ser replicadas en otros lugares.

De esta cuenta se dispondrá de un sistema fotovoltaico conectado a la red, el cual suplirá de energía en los sistemas de iluminación de las aulas, de áreas comunes y otros servicios y a la vez por ser una unidad eléctrica auto productora puede inyectarse excedentes de energía al sistema de distribución eléctrica tradicional y recibir crédito utilizable en la siguiente factura de consumo.

Lo anterior supone que la investigación proporcionará conocimientos técnicos para poder aplicarlos sobre una base práctica para el funcionamiento, mantenimiento, posible ampliación y replicación del sistema solar fotovoltaico en este u otros lugares con características similares.

A nivel nacional, tanto en el sector público como privado la implementación de sistemas solares, con criterios técnicos adecuados en su implementación y mantenimiento, avista reducir los altos costos que la energía eléctrica representa.

- Formulación del problema
  - Pregunta central

¿Cómo se comporta un sistema solar en red fotovoltaico que inyectará energía para la iluminación y otros servicios generales de aulas y áreas comunes?

- Preguntas auxiliares
  - ¿Cuál es el consumo energético de las instalaciones y la tendencia al alza de la factura de energía eléctrica?
  - ¿Cómo se comportan diferentes propuestas de los componentes de un sistema solar, para obtener un mejor indicador costo-beneficio?
  - ¿Cuáles son los costos de equipo y mantenimiento, así como los ahorros en energía y monetarios para realizar un análisis financiero de VAN, TIR y Retorno de la inversión?
  - ¿Cuál es la reducción de CO<sub>2</sub> de toneladas equivalentes al implementar el sistema solar fotovoltaico?



# OBJETIVOS

## General

Evaluar la implementación de un sistema solar fotovoltaico en red, para la iluminación de servicios generales de aulas y áreas comunes, para la reducción los costes de energía eléctrica, del Centro Universitario del Sur, municipio de Escuintla.

## Específicos

- Estimar el consumo energético de las instalaciones y la tendencia al alza de la factura de energía eléctrica.
- Analizar diferentes propuestas de los componentes de un sistema solar, para obtener un mejor indicador costo-beneficio.
- Determinar los costos de equipo y mantenimiento, así como los ahorros en energía y monetarios para realizar un análisis financiero de VAN, TIR y Retorno de la Inversión.
- Establecer la reducción de CO<sub>2</sub> de toneladas equivalentes.



## RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

- Características del estudio

El enfoque de esta investigación fue mixto. Enfoque cuantitativo porque se utiliza la medición de variables en el diseño y dimensionamiento del sistema fotovoltaico propuesto y enfoque cualitativo porque utiliza revisión documental de investigaciones y publicaciones previas y se complementa con marco teórico relacionado.

La investigación es de tipo no experimental – transversal, ya que no se realizaron ensayos o análisis de laboratorios específicos, para la obtención de datos necesarios, pero si análisis de datos propios de la institución en una línea de tiempo para determinar el consumo energético, el potencial solar que tiene el lugar y la producción energética que se puede obtener.

El alcance de la investigación fue descriptivo, donde se evaluó la puesta en funcionamiento de un sistema fotovoltaico conectado a la red, que aportará conocimientos prácticos y beneficios económicos, se dispone también de energía eléctrica de una fuente externa y posterior inyección de excedentes a la red de distribución eléctrica.

- Variables de interés

Las variables por estudiar durante el proceso de investigación son:

Tabla I. **Variables para estudiar**

<b>Variables</b>	<b>Descripción</b>
<b>Consumo de energía</b>	Demanda histórica del lugar, expresado en kWh al mes.
<b>Potencia del sistema</b>	Potencia y cantidad de paneles, expresada en kWp.
<b>Energía generada por el sistema</b>	Radiación solar del lugar, expresada en kWh al mes.
<b>Rentabilidad</b>	Valor actual neto, tasa interna de retorno, y retorno de la inversión, expresada en %.
<b>Ahorro energético</b>	Producción del sistema fotovoltaico, expresada en moneda nacional (quetzales).
<b>Impacto al ambiente</b>	Cantidad de CO <sub>2</sub> reducido con el proyecto, expresado en toneladas de CO <sub>2</sub> equivalente.
<b>Tiempo</b>	meses y años.

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

- Unidad de análisis

Son las instalaciones y funcionamiento del Centro Universitario del Sur, el consumo y demanda eléctrica del mismo. Se obtienen datos del historial de consumos energéticos, el espacio y material de techo disponible, así como las características propias del lugar, lo que aunado constituyó la muestra donde se establece el sistema fotovoltaico.

- Fases de la investigación

Queda definido con las siguientes fases.



- Fase I: revisión documental

Se consultan documentos sobre sistemas fotovoltaicos conectados a la red a nivel nacional y otros a nivel internacional de países sobresalientes con producción de este tipo de energía. Además de leyes nacionales publicadas sobre aspectos generales e incentivos para este tipo de generación eléctrica.

- Fase II: diseño y validación de instrumentos de recolección de información

Los datos fueron obtenidos mediante observación directa en lugar, toma de datos de consumo de energía, irradiancia del lugar, mediciones en instalaciones, fotografías, planos de edificios, conexiones eléctricas existentes, cuartos eléctricos, entre otros.

- Fase III: trabajo de campo

En la actualidad existen varios programas usados para el diseño de sistemas fotovoltaicos, sin embargo, estos dependen de los datos que se proporcionan por el usuario. Con el objetivo de diseñar un sistema fotovoltaico adecuado para el área de implementación, se tomaron los siguientes pasos:

- Se analiza la demanda eléctrica que se desea abastecer, por medio de las facturas eléctricas. Se realizan sumatorias de los datos, se obtienen medias aritméticas, desviaciones estándar, así como máximos y mínimos. Debido a la declaración mundial de pandemia por Covid-19, las facturas son tomadas en un periodo anterior a la misma, ya que los

consumos energéticos actuales no representan datos acordes al patrón de consumo en actividades normales.

- Se determinan las características y dimensiones del área disponible en el lugar previsto para la respectiva captación solar.
  - Se analizan los diferentes arreglos eléctricos, la orientación y el ángulo de captación de los paneles fotovoltaicos.
  - Se realiza la observación de la radiación solar del lugar y se propone un determinado potencial, usando el software de PVGIS.
  - Se determina la cantidad y dimensión de paneles solares necesarios para el abastecimiento del lugar, para ello se utiliza como primera referencia el programa Excel y luego el software de uso gratuito solaredge.
  - Se realiza el análisis de la energía fotovoltaica producida y el ahorro energético, así como rentabilidad del proyecto.
- Fase IV: redacción del informe final

Se contrastaron los datos obtenidos con la información bibliográfica recopilada, con el fin de obtener resultados para el análisis final de la información. Se ordenan los datos obtenidos y se redacta el informe final con sus respectivas conclusiones y recomendaciones de acuerdo con los logros y limitaciones del estudio.

## INTRODUCCIÓN

El presente estudio es una innovación porque se pretende orientarlo hacia el uso de energías renovables, en este caso la solar fotovoltaica. El uso de energía eléctrica es un sinónimo de bienestar y también de desarrollo humano, aun así, a nivel global, este recurso es obtenido de fuentes tradicionales basadas en la generación a partir de combustibles fósiles, los cuales son recursos limitados y su uso provoca daños ambientales, como el efecto invernadero, la destrucción de la capa de ozono, el calentamiento global.

Debido al número de estudiantes en el Centro Universitario del Sur, unidad académica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, se incrementó el consumo energético debido a la cantidad de dispositivos electrónicos, como computadoras portátiles, tabletas, teléfonos inteligentes, proyectores, entre otros.

La importancia de este estudio es que al estar en funcionamiento el sistema solar fotovoltaico integrado a la red, se reducirá el costo de la factura eléctrica de una institución educativa del sector público.

El aporte principal de este trabajo son las ventajas de la implementación del sistema por su simplicidad de equipos, instalación y bajo mantenimiento. Como resultado de la implementación de este sistema, se contribuye al uso y aprovechamiento de energías renovables, en este caso particular la solar fotovoltaica que no genera ningún contaminante y su fuente es limpia e inagotable. Las fases de la investigación llevadas a cabo fueron la revisión documental; diseño y validación de instrumentos de recolección de información; trabajo de campo donde se estimó el consumo energético del Centro

Universitario del Sur, por medio de las facturas del servicio prestado por la compañía de distribución eléctrica, así como el área disponible para coleccionar la energía y el potencial solar que posee dicho lugar. Para esto se realizaron cálculos y mediciones de forma tradicional y también usando software específico para dimensionamiento fotovoltaico.

El informe final se dividió en 3 capítulos. El primer capítulo es el marco teórico donde se describen aspectos relacionados a los sistemas fotovoltaicos en general y los sistemas conectados a la red, así como Leyes nacionales que regulan y fomentan el uso de energías renovables.

En el segundo capítulo se presentan los resultados de la investigación, como lo son: las características del área seleccionada para paneles solares, la propuesta de diseño fotovoltaico acorde al consumo eléctrico de dicha institución.

En el tercer capítulo, se presenta la discusión de resultados; así como los aspectos internos y externos que influyeron en la investigación. Por último, se presentan las conclusiones, recomendaciones del estudio.

## 1. MARCO REFERENCIAL

Una definición muy simple indica que la “generación distribuida, consiste en generar energía eléctrica en pequeña escala, la misma que se encuentra instalada muy cerca del lugar de consumo. En otras palabras, pequeños sistemas eléctricos de potencia, que tienen sus fuentes conectadas a los sistemas de distribución” (Durán, 2014, p. 28).

Perpiñán (2020) afirma que “los sistemas conectados a red producen energía eléctrica para ser inyectada íntegramente en la red convencional. Dado que no deben satisfacer ninguna demanda de consumo de forma directa ni garantizar el mismo, no necesitan incorporar equipos de acumulación de energía” (p. 1).

Un sistema equivalente, adaptado a las necesidades y condiciones particulares del lugar, es el que se propone instalar en el centro universitario del sur, que a la vez se estima una vida útil de 20 años.

La Agencia Internacional de Energía (AIE) informa que, la capacidad global de energía renovable aumentará en un 50 % en cinco años, impulsada por las instalaciones solares fotovoltaicas en hogares, edificios e industrias.

“La energía solar fotovoltaica representará casi el 60 % de este crecimiento y la energía eólica terrestre el 25 %, muestra el informe anual de la AIE sobre energías renovables globales” (Ojea, 2020, p. 1).

Según Schallenberg *et al.* (2008) todas las previsiones realizadas por distintos organismos indican un enorme incremento en el uso de las energías renovables a medio plazo. La Unión Europea se ha fijado como objetivo triplicar la aportación actual de las energías renovables en el año 2020, llegando al 20 % del consumo total de energía primaria y al 10 % de biocarburantes en Europa.

El carbón es un combustible fósil, una roca sedimentaria de origen orgánico. Sus propiedades termodinámicas permiten obtener una gran cantidad de energía calorífica durante su proceso de combustión. La energía obtenida se llama energía fósil. Se presenta de color negro o marrón oscuro. Es un recurso natural limitado. La generación es un proceso de varios millones de años, mientras que el consumo de este recurso energético es muy rápido. Por esta razón, se considera una fuente de energía no renovable.

El carbón mineral es una fuente de energía limitada, no renovable, que no se produce en el territorio guatemalteco y causante de Gases de Efecto Invernadero, como Vapor de Agua H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O y O<sub>3</sub>.

En Guatemala el 24.72 % de la energía eléctrica que se consume es proporcionada por combustibles fósiles, a los que se les atribuyen muchos problemas ambientales como lo son los gases de efecto invernadero (GEI), cambio climático, entre otros.

La energía fotovoltaica es segura, limpia y renovable. La ley de incentivos para el desarrollo de proyectos de energía renovable, en Guatemala, declara de urgencia e interés nacional el desarrollo racional de los recursos energéticos renovables. El órgano competente estimulará, promoverá, facilitará y creará las condiciones adecuadas para el fomento de inversiones que se hagan con ese fin. Y tiene por objeto promover el desarrollo de

proyectos de energía renovable y establecer los incentivos fiscales, económicos y administrativos para el efecto. (Congreso de La República de Guatemala, 2003, p. 2)

Para la lectura y crédito por energía inyectada al sistema de distribución por parte de usuarios auto productores con excedentes de energía (*Net metering*).

Los usuarios auto productores con excedentes de energía no recibirán ningún tipo de pago por la energía eléctrica inyectada al Sistema de Distribución. Para efectos de la facturación mensual del Usuario, el Distribuidor leerá cada mes los registros del medidor correspondiente; si la medición neta del mes corresponde a un consumo de energía, cobrará dicho consumo al usuario, de conformidad con la tarifa que le corresponda; por el contrario, si la medición neta corresponde a una inyección de energía del usuario hacia el sistema de distribución, el distribuidor se la reconocerá como crédito de energía a favor del usuario hasta que dicho crédito sea agotado contra el consumo del UAEE. (Comisión Nacional de Energía Eléctrica, 2014, p. 20)

Por lo anteriormente descrito los sistemas conectados a la red son versátiles y factibles, a la vez que disminuyen el uso de equipos como los que usan los sistemas fuera de red, permiten autonomía de conexión y pueden inyectar excedentes de energía al sistema de distribución. A nivel internacional el uso de energías renovables se encuentra en aumento, tal es el caso de un 60 % del total de las energías renovables, para los próximos años (Robles y Rodríguez, 2018, p. 10).

Sustainable Energy Sources (2020) afirma que, en Estados Unidos, en 2018, la capacidad de energía agregada a la red eléctrica provenía en un 30 %

de la energía solar. En total, para ese año la energía solar compuso el 2.3 % de la generación de electricidad de ese país, cuando en 2010 representaba sólo el 0.1 %. Lo cual demuestra un notable aumento.

Se han implementado la instalación y puesta en marcha de muchos sistemas fotovoltaicos, tanto conectados a la red, así como sistemas aislados fuera de red, para usos residenciales, comerciales, industriales, institucionales, entre otros. Así como se cuenta con generadores de energía fotovoltaica de hasta 5 MW conectados al sistema de distribución nacional. El país posee un potencial solar de 5.3 kilowatt-hora/m<sup>2</sup> al día. (Dirección General de Energía, 2018, p. 8)

Los estudios descritos anteriormente contribuyen a fortalecer la importancia del sistema solar fotovoltaico donde la energía generada es inagotable y no contamina por lo que esta contribuye al desarrollo sostenible. Tanto a nivel nacional como internacional la energía solar fotovoltaica es un recurso natural, que sigue aumentando en producción y aplicación para diversos fines, en Guatemala existen regulaciones, como lo es la ley de incentivos para el desarrollo de proyectos de energía renovable, que estimula y promueve el desarrollo de proyectos de este tipo.



## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Centro Universitario del Sur**

El Centro Universitario del Sur –CUNSUR-, es la unidad académica de investigación, docencia, extensión y servicio de la Universidad de San Carlos de Guatemala, con sede en la ciudad de Escuintla, encargada de desarrollar programas de interés nacional y regional. Responde a la necesidad de democratizar la educación universitaria, desconcentrar la población y los servicios universitarios, descentralizar las funciones de la universidad y atender las necesidades de formación de los recursos humanos en el departamento de Escuintla, área que cubrirá el Centro Universitario del Sur. El CUNSUR fue creado conforme el punto quinto del Acta 33-77 de la sesión celebrada por el Consejo Superior Universitario el 28 de septiembre de 1977, fue inaugurado oficialmente el 20 de febrero de 1978 y las actividades docentes se iniciaron a finales del mes de abril. (Universidad de San Carlos de Guatemala, 1988, p. 1)

#### **2.1.1. Áreas comunes**

Según el Catálogo CUNSUR 2021, Se cuenta con un módulo para la administración, donde se encuentra ubicado las siguientes oficinas: Control Académico, Bienestar Estudiantil, Secretaría de Coordinación Académica, Coordinador Académico, Secretaría de Dirección, Dirección, Salón de Sesiones, Departamento de Reproducción de Materiales, Secretaría de Ciencias Económicas, Coordinador Carrera Técnico en Procesos Agroindustriales, Secretaría carreras del Área Agroindustrial, Coordinador

Carreras Ciencias Económicas, Área de Tesorería, Tesorero, Área de Docentes de Ciencias Económicas, Área Comisión de Extensión y Servicio y una Bodega. Además, los salones de clases del 1-9, en la parte baja y salones del 10 al 16, en la parte Norte. Laboratorios de ciencias básicas, Laboratorio Experimental e Instrumental, Biblioteca, Área de Cafetería, Parqueo Norte y Sur, Garitas de control de ingreso Norte y Sur. (Universidad de San Carlos de Guatemala, 1988, p. 4)

### **2.1.2. Carreras que imparte**

- Técnico en Procesos Agroindustriales.
- Profesorado de Enseñanza Media en Pedagogía.
- Técnico en Administración Educativa.
- Ingeniería Agroindustrial.
- Administración de Empresas.
- Contador Público y Auditor.
- Ciencias Jurídicas y Sociales, Abogacía y Notariado.
- Médico y Cirujano.

## **2.2. Iluminación**

Según Pérez y Gardey (2009) la iluminación es la acción y efecto de iluminar, proviene del latín *illuminatio*. Hace referencia a alumbrar o dar luz y requiere siempre de un objeto directo para brindar su claridad.

## **2.3. Radiación solar**

La radiación solar que alcanza la tierra puede aprovecharse por medio del calor que genera y a través de la absorción por medio de dispositivos como,

por ejemplo, un panel fotovoltaico. La radiación solar presenta variaciones según el horario, la latitud y las condiciones atmosféricas, considerando óptimas condiciones el valor de la irradiación es de  $1000 \text{ W/m}^2$  en la superficie terrestre. (Frías, 2012, p. 11)

Siendo el hecho que la radiación solar puede ser modificada de su estado original al ingresar a la atmósfera terrestre. La radiación solar, al atravesar la atmósfera, sufre una modificación en su espectro como consecuencia del efecto de filtro que ejerce la masa atmosférica. La mayor parte de la radiación ultravioleta es absorbida por el ozono en la alta atmósfera, mientras la región visible de onda corta es dispersada por las moléculas de aire, dándole al cielo su característico tono azul. El vapor de agua de las capas bajas de la atmósfera es el causante de las características bandas de absorción en la región del infrarrojo cercano, fenómeno también producido en menor grado por el  $\text{CO}_2$ . (Martínez, 2012, p. 11)

La energía solar recibida cada 10 días sobre la tierra, equivale a todas las reservas conocidas de petróleo, carbón y gas, mientras que 86 minutos de radiación solar sobre la tierra equivalen a un año de la demanda energética mundial.

La radiación se clasifica como directa y difusa, considerando también la suma de ambas que se conoce como radiación global. Si es directa llega a la superficie de la tierra directamente con un valor de  $1353 \text{ W/m}^2$ , que corresponde a la constante solar, y se mide con un pirheliómetro, mientras que, si es difusa se ve afectada por fenómenos de reflexión y refracción, además de los efectos de las nubes y otros elementos terrestres y atmosféricos, y se mide con un pirómetro o un albedómetro. (Martínez, 2012, p. 12)

## **2.4. Módulo solar fotovoltaico**

“Los módulos están diseñados para suministrar electricidad a un determinado voltaje (normalmente 12 o 24 V)” (Fernández y Cervantes, 2017, p. 23).

La corriente producida depende del nivel de insolación. La estructura del módulo protege a las células del medio ambiente y son muy durables y fiables. Si bien es cierto, un módulo tiene capacidad para varias aplicaciones, dos o más módulos pueden ser conectados para formar un generador fotovoltaico. Los generadores o módulos fotovoltaicos producen corriente continua (CC) y pueden ser conectados en serie y/o paralelo para producir cualquier combinación de corriente y tensión. (Fernández y Cervantes, 2017, p. 23)

### **2.4.1. Parámetros fundamentales**

Según Nuevo (2020):

Como definición práctica de un módulo fotovoltaico se puede decir que consiste en la conexión de células en serie-paralelo hasta obtener unos valores de voltaje y corriente que se desean. Una vez obtenido el arreglo es encapsulado de tal forma que quede protegido de los elementos atmosféricos que le puedan afectar cuando esté trabajando en la intemperie.

Corriente de corto circuito ( $I_{sh}$ ) La corriente de corto circuito ocurre cuando la impedancia es aproximadamente cero (cortocircuito) y se calcula cuando el voltaje en el módulo PV es cero voltios, la corriente de

cortocircuito ocurre al principio de la polarización de la celda y representa el valor máximo de corriente en el cuadrante de potencia (IV), la corriente de corto circuito es la corriente total producida en la celda solar mediante irradiación solar; es decir, cuando la celda recibe la mayor excitación de fotones en su estructura interna. (párr. 1-2)

A su vez Nuevo (2020) hace referencia que el voltaje de circuito abierto (Voc) “es el voltaje que se mide a través del panel cuando no pasa corriente por el panel; es decir, sin carga conectada en la salida. El Voc se define igualmente como el voltaje máximo en el cuadrante de potencia (I-V)” (Nuevo, 2020, párr. 3).

Potencia Máxima (Pmax) desde la curva característica (I-V) es fácil calcular la potencia máxima que desarrolla el módulo fotovoltaico, la potencia en los puntos Isc y Voc es cero watts, si utilizamos la ecuación  $P= IV$ . La potencia máxima ocurre entre estos dos puntos, cuando la corriente y el voltaje tienen un valor de IMP y VMP, respectivamente. (Nuevo, 2020, párr. 4)

#### **2.4.2. Efecto de los módulos FV, sobre la generación de energía**

Un módulo fotovoltaico (FV) no es más que un arreglo de celdas solares individuales conectadas eléctricamente entre sí, para que de esta manera se sume la potencia de salida de cada una. Las celdas solares son encapsuladas para ser protegidas del ambiente y para que los usuarios sean también protegidos de posibles accidentes eléctricos. Unos conjuntos de módulos conectados entre sí conforman un panel. El conjunto de varios paneles constituye un sistema fotovoltaico (Energía Ecológica, 2018, párr. 1).

Es necesario realizar una evaluación de diferentes aspectos en los diferentes diseños de los módulos FV, con el objeto de mantener no reducir su tiempo de vida y obtener un mejor rendimiento. Los efectos más importantes en módulos FV o en arreglos son:

- Pérdida debido a la interconexión de celdas solares con distintas características.
- La temperatura del módulo.
- Modos de fallas de módulos.

La vida útil del módulo está entre los 25 y 30 años para el silicio cristalino o de volumen, indicando la robustez de un módulo FV encapsulado.

## **2.5. Sistema fotovoltaico conectado a la red**

Según Fernández y Cervantes (2017):

Los sistemas interconectados a la red requieren necesariamente interconexión con la red eléctrica nacional para operar; una ventaja de estos sistemas es no requerir el uso de baterías (o acumuladores) para funcionar, lo cual los vuelve la alternativa más económica y con los requerimientos de mantenimiento más bajos de todos los sistemas. Estos sistemas únicamente operan cuando la radiación solar incide sobre los paneles fotovoltaicos con suficiente intensidad para que estos generen la energía eléctrica necesaria para arrancar el sistema.

Es importante señalar que estos sistemas, por su diseño y características, no operan como fuentes de respaldo de energía, por lo cual no pueden abastecer sus cargas cuando falla el suministro eléctrico en la

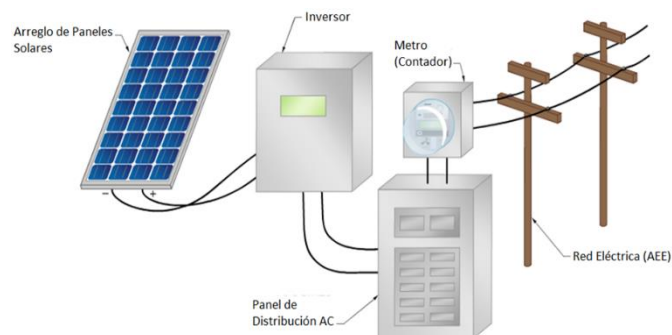
red. Durante los períodos nocturnos y de baja recepción de irradiación solar, en un día muy nublado. La energía entonces debe ser suministrada por la empresa de distribución eléctrica, con lo cual se asegura un suministro continuo. (p. 30)

Estos sistemas, fotovoltaicos, están compuestos, principalmente por:

- Módulos fotovoltaicos.
- Inversor para la conexión a red.
- Dispositivo de intercambio con la red eléctrica.
- Contador de energía bidireccional.

Existe diversidad en cuanto a la capacidad de los módulos fotovoltaicos desde 100 Wp hasta 400 Wp nominales, para aquellos que constituirán un sistema de conexión a la red. La potencia está relacionada con las condiciones de radiación solar de  $1000 \text{ W/m}^2$ , considerando que el módulo alcance una temperatura de  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  y sin ráfagas de viento.

Figura 1. **Sistema fotovoltaico conectado a la red**



Fuente: All Solar Energy Inc (2010). *Sistema fotovoltaico*. Consultado el 4 de junio de 2021.

Recuperado de <http://allsolarenergypr.com/residencial>.

### **2.5.1. Estructuras de soporte**

La sujeción de los módulos dependerá del lugar o superficie de apoyo, además de la posición, de forma que no se produzcan flexiones en los módulos superiores a las permitidas por el fabricante y los métodos homologados para el modelo de módulo.

“El diseño de la estructura se realizará para la orientación y el ángulo de inclinación especificado para el generador fotovoltaico, teniendo en cuenta la facilidad de montaje y desmontaje, y la posible necesidad de sustituciones de elementos” (Reifs, 2011, p. 13).

La estructura se protegerá superficialmente contra la acción de los agentes ambientales. La realización de taladros en la estructura se llevará a cabo antes de proceder, en su caso, al galvanizado o protección de la estructura. Se dispondrán las estructuras soporte necesarias para montar los módulos, tanto sobre superficie plana (terraza) como integrados sobre tejado. Se incluirán todos los accesorios y anclajes (Sunfields Europe, 2017, párr. 1)

### **2.6. Efecto fotovoltaico**

El efecto fotovoltaico es el efecto fotoeléctrico que produce la generación de una fuerza electromotriz, mediante la absorción de la radiación luminosa, en un material semiconductor dentro de un sistema heterogéneo. Dicho de otro modo, la corriente eléctrica se establece siempre en un circuito cerrado, la energía eléctrica se entrega sólo en elementos que actúan como cargas o de consumo.



## **2.7. Tipos de célula solar**

Para Sunfields Europe (2017):

La variedad de materiales empleados en la fabricación de células fotovoltaicas y las distintas tecnologías de fabricación y aplicaciones de la energía fotovoltaica es de tal amplitud en la actualidad, que se hace necesario clasificarlos de alguna forma, aquí establecemos la siguiente:

- Por el tipo de materiales.
- Por estructura interna de los materiales.
- Por estructura de dispositivos.
- Por sus aplicaciones. (párr. 4)

## **2.8. Panel solar**

Un panel solar es una estructura de aluminio formada por células solares compuestas de silicio, en las cuales, mediante el efecto fotovoltaico, se convierte la radiación recibida del sol en energía eléctrica. El efecto fotovoltaico se produce cuando incide la radiación solar sobre un electrón de un átomo de la célula.

Con esta nueva energía, el electrón es capaz de escapar de su posición normal asociada a un átomo, para formar parte de una corriente en un circuito eléctrico. De esta forma se consigue la corriente eléctrica que hace funcionar el mundo.

Figura 2. **Panel solar**



Fuente: DamiaSolar (2021). *Panel solar*. Consultado 4 de junio de 2021. Recuperado de <https://www.damiasolar.com/content/la-energia-solar-en-5-min.html>

## **2.9. Tipos de paneles solares**

“Hay tres tecnologías que destacan sobre el resto y que son las que se instalan en el 90 % de los sistemas fotovoltaicos actuales. La relativa a los módulos solares monocristalinos, policristalinos y amorfos” (Sunfields Europe, 2015, párr. 2).

### **2.9.1. Paneles monocristalinos**

Están compuestas por células monocristalinas, las que se caracterizan por su color negro y con las esquinas recortadas. “Son los módulos fotovoltaicos de más eficiencia que podemos encontrar, siempre superan en eficiencia y rendimiento a los policristalinos” (Sunfields Europe, 2015, párr. 3). Los paneles solares monocristalinos son los que mayor eficiencia tienen de entre todos los disponibles en el sector.

### **2.9.2. Módulos policristalinos**

Al igual que se comentó con los modelos monocristalinos, los paneles solares policristalinos están compuestos, en este caso, por células policristalinas. “Podemos diferenciar su color azulado y no poseen chaflán en las esquinas como los monocristalinos” (Sunfields Europe, 2015, párr. 5).

Las células de silicio policristalino (mc-Si) también utilizan obleas de silicio como sustrato, pero a diferencia de las monocristalinas, éstas proceden del corte de un bloque de silicio que se ha dejado solidificar lentamente en un crisol y que está formado por muchos pequeños cristales de silicio. (Sunfields Europe, 2015, párr. 6)

La diferencia entre este tipo de módulos y el anterior, es efectivamente que es más económica su elaboración, pero con la diferencia en la eficiencia de sus células.

### **2.9.3. Paneles silicio amorfo (capa fina)**

Es necesario reconocer que los paneles más comunes en el mercado son los denominados monocristalinos y policristalinos, sin embargo, también existen los denominados de capa fina fabricados de silicio amorfo.

La diferencia entre los unos y los últimos mencionados, radica en su fabricación y no precisamente en su funcionamiento, pues tienen la misma eficiencia. Este tipo de paneles se caracterizan por una fabricación sencilla, poco material, se reduce el gasto de energía y el costo, entre otras que maximizan su eficiencia.

A pesar de eficiencia su implantación es muy reducida, debido al reducido precio de los paneles solares cristalinos, muy por debajo del precio de éstos. La tecnología del silicio amorfo a-Si tiene una eficiencia considerablemente menor que las basadas en silicio cristalino, debido principalmente a la mala calidad del silicio utilizado, cuya estructura interna dificulta la recolección de los portadores foto generados. Sin embargo, son especialmente adecuadas para uso en interiores, en atmósferas con mucho polvo, entre otros. (Sunfields Europe, 2015, párr. 7)

## **2.10. Fabricación de células fotovoltaicas**

El proceso de fabricación de las celdas solares requiere que el silicio es purificado, fundido y cristalizado ya sea en lingotes o en láminas delgadas; posteriormente, el silicio es rebanado en obleas delgadas para formar las celdas individuales, posteriormente las obleas se pulen por ambas caras, durante el proceso de corte y pulido se desperdicia casi la mitad del material original, una vez pulidas las obleas se introduce por difusión a alta temperatura el material, típicamente boro y fósforo, con lo cual se convierte a la oblea en un semiconductor tipo P si se le añadió boro, o tipo N si se añadió fósforo, la mayoría de las celdas fotovoltaicas producen un voltaje de aproximadamente 0.5 V, independientemente del área superficial de la celda; sin embargo, mientras mayor sea la superficie de la celda mayor será la corriente que entregará. (Juárez y Vera, 2012, p. 24)

### **2.10.1. Proceso de fabricación de un módulo fotovoltaico**

El proceso de fabricación de un módulo fotovoltaico está compuesto por varias fases, de las cuales se van a explicar las más relevantes.

- El encintado
- La interconexión entre las células
- El Laminado y curado
- El enmarcado

Para Sunfields Europe (2017):

La rejilla frontal de las células se compone, por un lado, de lo que coloquialmente se denomina dedos, que es la parrilla de conductores que recogen la corriente foto generada en la célula y, por otro lado, de los *bus bars* que es son los colectores de corriente donde están conectados todos los dedos y que conduce la corriente hacia el exterior.

El encintado de las células consiste en soldar sobre los buses de la superficie frontal tres de tiras de cobre estañadas, como se puede apreciar en la imagen de una célula de un módulo real, aunque en el mercado actual ya es habitual encontrar placas solares con 5 Bus Bars en lugar de tres, que suponen mejoras en el rendimiento de los paneles solares que lo incorporan.

En este proceso se interconectan entre sí todas las células solares que componen un panel solar. Regularmente un módulo para sistemas fotovoltaicos aislados, de acuerdo al modelo y fabricante, se colocan 36 células en serie, pero hay otros módulos, generalmente para autoconsumo y conexión a red, en el que se conectan 60 células, o también incluso los hay de 72 células. (párr. 8-10)

En cualquier caso, el proceso de interconexión es siempre el mismo, es decir, las dos/tres o 5 Bus Bars que están en la cara frontal se sueldan a la cara

posterior de la siguiente célula y así sucesivamente. Se suelen hacer 4 tiras de 9 células, en el caso de los modelos de 36 células.

### **2.11. Mantenimiento de paneles fotovoltaicos**

“Los paneles solares cuentan con una gran resistencia y durabilidad, sin embargo, su producción se puede ver mermada si no realizamos un mantenimiento adecuado de los mismos” (AutoSolar, 2021, párr. 1).

El panel solar tiene una producción máxima que se alcanza únicamente en condiciones ideales, ya que en la realidad existen pérdidas ocasionadas por multitud de factores como: la mala orientación e inclinación, las sombras o polvo y suciedad acumulada, pudiendo esto ser solucionado por medio de una supervisión y mantenimiento periódico de los paneles solares. Las pérdidas ocasionadas por la ausencia de limpieza de los módulos podrían llegar hasta un 8 % en lugares donde se produzca mucho polvo, como puede ser una industria o cerca de una zona transitada por vehículos. Estas pérdidas pueden reducirse manteniendo una buena limpieza con frecuencia, manteniendo unas pérdidas por debajo del 1 %.

El panel está compuesto por células de silicio, que reaccionan ante el impacto de los fotones produciendo energía eléctrica, por lo que mantener limpia su superficie es esencial para que las células sean capaces de recibir la máxima radiación posible.

### **2.12. Irradiancia**

Es la magnitud que describe la radiación o intensidad de iluminación solar que llega hasta nosotros medida como una potencia instantánea por unidad de

superficie. Sus unidades en el SI (Sistema Internacional) son el  $W/m^2$  (Alonso, 2019).

### **2.13. Irradiación**

Según Alonso (2019) es la cantidad de irradiancia recibida en un lapso determinado, es decir, la potencia recibida por unidad de tiempo y por unidad de superficie. Se suele medir en  $Wh/m^2$  o, en caso de un día, en  $Wh/m^2/día$  o unidades equivalentes.

### **2.14. Geometría solar**

Uno de los valores necesarios para calcular la producción energética de la instalación fotovoltaica, es la irradiación solar en el plano que corresponde a la instalación, además de la trayectoria solar, para las diferentes épocas o temporadas del año en el lugar. La situación del sol en un lugar cualquiera viene determinada por la altura y el azimut del sol (Alonso, 2019).

### **2.15. Contador bidireccional**

Es el dispositivo que se encarga de contabilizar la energía que fluye en ambos sentidos: de la red eléctrica al usuario (al igual que cualquier otro contador digital), así como la energía que el usuario vierte en la red.

### **2.16. Generación distribuida renovable**

“Es la modalidad de generación de electricidad, producida por unidades de tecnologías de generación con recursos renovables, que se conectan a

instalaciones de distribución cuyo aporte de potencia neto es inferior o igual a cinco megavatios (5 MW)” (Comisión Nacional de Energía Eléctrica, 2014, p. 6).

### **2.17. Potencial solar en Guatemala**

El Perfil energético de Guatemala indicó que el potencial de energía solar de un día promedio en Guatemala ha sido estimado en 5.3 kWh/m<sup>2</sup>/día. El potencial de generación con energía solar total aún no ha sido estimado, pero podría superar los 10 GWh anuales. Los mapas de potencial solar en Guatemala fueron estimados mediante un modelo de energía solar desarrollado por el Laboratorio de Energía Renovable de Estados Unidos (NREL), y el proyecto *Swera (Solar and Wind Energy Resource Assessment)* (Universidad Rafael Landívar, 2018, p. 108).

### **2.18. Dióxido de carbono equivalente**

El dióxido de carbono equivalente (*Carbon Dioxide Equivalent* (CO<sub>2</sub>e) es una medida universal de medición utilizada para indicar la posibilidad de calentamiento global de cada uno de los gases con efecto invernadero. Es usado para evaluar los impactos de la emisión (o evitar la emisión) de diferentes gases que producen el efecto invernadero. (The World Bank, 2009, párr. 1)

### **2.19. Factor de red para cálculo de emisiones CO<sub>2</sub>**

De acuerdo con el Ministerio de Energía y Minas, el factor de red “es la proporción cuantitativa que determina la cantidad de emisiones de GEI liberadas por el consumo de energía eléctrica de la red nacional y es igual a 0.3671 Kg CO<sub>2</sub> equivalente / kWh” (Dirección General de Energía, 2017, p. 8).



## **2.20. Tasa interna de retorno (TIR)**

El criterio de la Tasa Interna de Retorno (TIR) evalúa el proyecto en función de una única tasa de rendimiento por periodo, con la cual la totalidad de los beneficios actualizados son exactamente iguales a los desembolsos expresados en moneda actual. La TIR, representa la tasa de interés más alta que un inversionista podría pagar sin perder dinero, si todos los fondos para el financiamiento de la inversión se tomaran prestados y el préstamo (principal e interés acumulado) se pagara con las entradas en efectivo de la inversión a medida que se fuesen produciendo. (Chain y Sapag, 2008, p. 23)

## **2.21. Valor Actual Neto (VAN)**

El Valor Actual Neto es el valor monetario que resulta de restar la suma de los flujos descontados a la inversión inicial. Sumar los flujos descontados en el presente y restar la inversión inicial equivale a comparar todas las ganancias esperadas contra todos los desembolsos necesarios para producir esas ganancias, en términos de su valor equivalente en este momento o tiempo cero. (Urbina, 2010, p. 182)

Según Chain y Sapag (2008), “este criterio plantea que el proyecto debe aceptarse si su Valor Actual Neto (VAN) es igual o superior a cero, donde el VAN es la diferencia entre todos sus ingresos y egresos expresados en moneda actual” (p. 321).

Al aplicar este criterio, el VAN puede tener un resultado igual a cero, indicando que el proyecto renta justo lo que el inversionista exige a la inversión; si el resultado fuese, por ejemplo, 100 positivos, indicaría que el

proyecto proporciona esa cantidad de remanente sobre lo exigido. Si el resultado fuese 100 negativos, debe interpretarse como la cantidad que falta para que el proyecto rente lo exigido por el inversionista (Chain y Sapag, 2008, p. 322).

## 2.22. Retorno de la inversión (ROI)

Según Custódio (2018):

El ROI es un indicador que permite saber cuánto dinero la empresa perdió o ganó con las inversiones hechas (en anuncios pagados, nuevas herramientas, entrenamientos, entre otros). De esta forma, se puede saber cuáles inversiones valen la pena y cómo optimizar aquellas que ya están funcionando para que tengan un rendimiento todavía mejor.

La métrica es importante porque permite evaluar cómo ciertas iniciativas contribuyen con los resultados de la empresa. De la misma forma, con base en el ROI, es posible planificar metas basadas en resultados tangibles y entender si está valiendo la pena o no invertir en determinados canales. (párr. 1-2)

$$ROI = \frac{\text{Ganancia} - \text{inversión}}{\text{inversión}} \quad (\text{Ec. 1})$$

Siendo ROI el Retorno Sobre la Inversión, ganancia: el beneficio obtenido.

### 3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

De acuerdo con los objetivos propuestos se presentan los siguientes resultados.

#### 3.1. **Objetivo 1. Estimar el consumo energético de las instalaciones y la tendencia al alza de la factura de energía eléctrica**

El lugar donde se realizó la investigación se encuentra ubicado en las coordenadas: Latitud: 14°19'01"N, Longitud: 90°46'59.9"W. Se encontró el área adecuada y la misma tiene una orientación Este – Oeste y techo material de concreto.

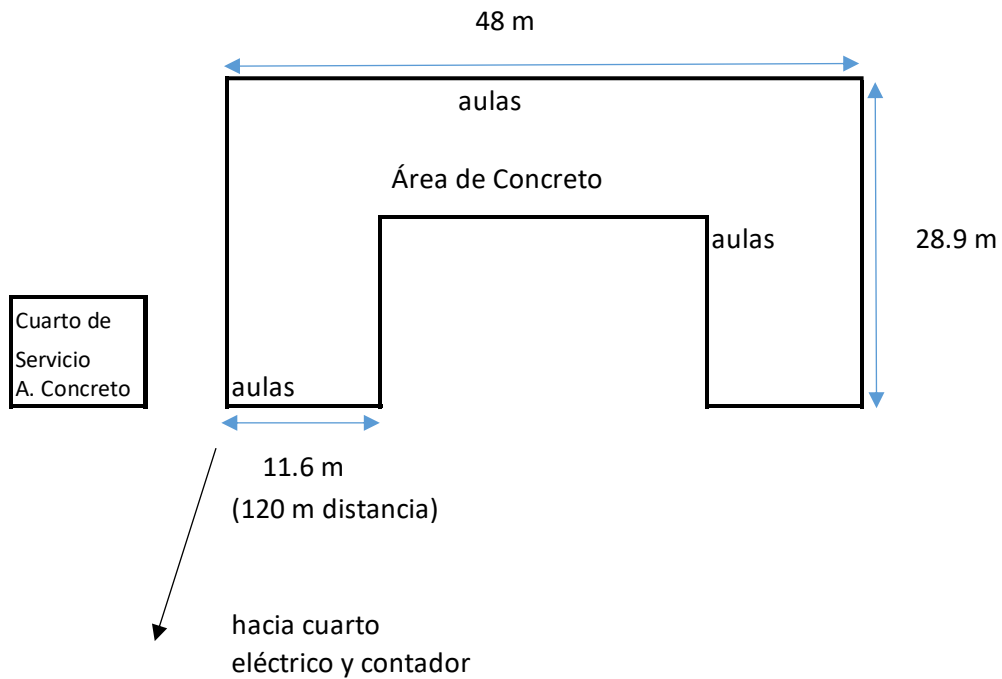
Figura 3. **Salones del 11 al 16 en el Centro Universitario del Sur**



Fuente: elaboración propia, utilizando software de SolarEdge

Las medidas disponibles en el techo de las instalaciones son 3 áreas de concreto con pequeños obstáculos que consisten en varillas de hierro, resultado de la construcción del edificio, que no dificultan la ubicación de paneles solares, en total se tiene un área disponible de 891.20 metros cuadrados.

Figura 4. **Esquema de vista de planta del techo disponible y cuarto para inversores, en Centro Universitario del Sur**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Para estimar el consumo energético de un año promedio, se tabulan los datos históricos de los dos medidores de energía eléctrica de las instalaciones. Se tienen contratados 2 servicios de energía eléctrica; uno en baja tensión con demanda fuera de punta y el otro en baja tensión simple.

Tabla II. **Consumo energético mensual de las instalaciones de Centro Universitario del Sur, en año 2018**

<b>Mes</b>	<b>Contador</b>	<b>Fecha de Lectura</b>	<b>Consumo (kWh)</b>	<b>Contador</b>	<b>Fecha de Lectura</b>	<b>Consumo (kWh)</b>	<b>Total de Consumo (kWh)</b>
Enero	F86617	08/01/2018	2,617	M39134	08/01/2018	772	3,389
Febrero	F86617	05/02/2018	7,414	M39134	05/02/2018	1,231	8,645
Marzo	F86617	08/03/2018	10,516	M39134	08/03/2018	1,898	12,414
Abril	F86617	07/04/2018	7,488	M39134	07/04/2018	1,376	8,864
Mayo	F86617	08/05/2018	9,746	M39134	08/05/2018	1,896	11,642
Junio	F86617	06/06/2018	8,755	M39134	06/06/2018	1,737	10,492
Julio	F86617	07/07/2018	7,510	M39134	07/07/2018	2,573	10,083
Agosto	F86617	07/08/2018	9,870	M39134	07/08/2018	2,092	11,962
Septiembre	F86617	06/09/2018	9,598	M39134	06/09/2018	1,999	11,597
Octubre	F86617	06/10/2018	8,664	M39134	06/10/2018	1,670	10,334
Noviembre	F86617	07/11/2018	8,848	M39134	07/11/2018	1,812	10,660
Diciembre	F86617	07/12/2018	8,705	M39134	07/12/2018	1,478	10,183

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de EEGSA (2018). *Facturas*.

Tabla III. **Parámetros estadísticos de la energía eléctrica consumida, mensualmente por los dos servicios**

<b>Parámetros estadísticos</b>	<b>Consumo</b>
Promedio kWh	10,022
Desviación estándar kWh	2,390
Máximo kWh	12,414
Mínimo kWh	8,645

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de EEGSA (2018). *Facturas*.

Tabla IV. **Consumo y pago de energía eléctrica, medidor F86617, años 2018 – 2019**

Número Documento	Fecha de Lectura	Consumo (kWh)	Importe Q.
108154921	08/01/2018	772	953.79
109726108	05/02/2018	1,231	1,547.25
111341607	08/03/2018	1,898	2,379.25
112908513	07/04/2018	1,376	1,728.12
120333685	08/05/2018	1,896	2,443.01
121932471	06/06/2018	1,737	2,239.13
123573372	07/07/2018	2,573	3,311.15
125187119	07/08/2018	2,092	2,646.56
126811676	06/09/2018	1,999	2,529.35
128393271	06/10/2018	1,670	2,114.71
130134374	07/11/2018	1,812	2,390.15
131779302	07/12/2018	1,478	1,951.42
133446335	08/01/2019	1,207	1,595.44
135068305	05/02/2019	1,474	2,041.86
136734331	07/03/2019	2,041	2,823.36
138372041	06/04/2019	2,026	2,802.69
140100796	08/05/2019	1,531	2,251.07
141739713	06/06/2019	1,723	2,532.08
143469787	08/07/2019	1,606	2,360.84
145121763	07/08/2019	1,727	2,596.09
146786161	05/09/2019	1,294	1,947.83
148527392	07/10/2019	1,388	2,088.55
150228250	06/11/2019	1,257	1,903.19
151940851	07/12/2019	980	1,486.16

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de EEGSA (2019). *Facturas*.

Tabla V. **Consumo y pago energía eléctrica, medidor M39134, años 2018 – 2021**

Número Documento	Fecha de Lectura	Consumo (kWh)	Importe Q.
108222537	08/01/2018	2,617	4,786.82
109793980	05/02/2018	7,414	9,813.90
111412751	08/03/2018	10,516	12,347.83
112993226	07/04/2018	7,488	9,886.14
120401533	08/05/2018	9,746	12,101.81
122000116	06/06/2018	8,755	11,088.31
123658689	07/07/2018	7,510	9,844.09
125255917	07/08/2018	9,870	12,306.43
126880251	06/09/2018	9,598	12,064.79
128379062	06/10/2018	8,664	11,122.55
130116728	07/11/2018	8,848	11,757.11
131873442	07/12/2018	8,705	11,724.74
133512744	08/01/2019	2,886	5,174.19
135135833	05/02/2019	6,944	10,202.81
136802517	07/03/2019	10,612	14,253.50
138457547	06/04/2019	10,776	14,638.67
140175619	08/05/2019	7,576	12,011.38
142108600	06/06/2019	8,336	12,838.50
143538597	08/07/2019	6,551	10,824.87
145195774	07/08/2019	9,445	14,339.95
146854812	05/09/2019	9,408	14,436.35
148967982	07/10/2019	8,163	13,044.91
150508463	06/11/2019	7,407	11,850.31
152029225	07/12/2019	7,561	12,039.42
153706426	08/01/2020	2,595	5,459.46
181680511	07/02/2020	7,751	13,274.98
183340684	06/03/2020	10,611	17,007.51
185195987	05/04/2020	5,270	10,837.89
186515986	07/05/2020	2,669	7,908.52
187706529	05/06/2020	3,962	7,392.03
132597480	07/07/2020	3,663	6,995.92
2094743998	06/08/2020	3,754	6,930.31
889799283	05/09/2020	4,111	7,321.04
193204805	06/10/2020	4,353	8,021.62
3075624737	05/11/2020	4,429	8,331.70
520440446	05/12/2020	5,266	11,889.12
384650001	07/01/2021	2,056	5,147.72
2944944908	04/02/2021	4,117	8,282.06
520440446	08/03/2021	5,275	9,768.79
753749330	08/04/2021	4,957	9,187.40
2213957205	07/05/2021	5,226	9,794.88
387018306	07/06/2021	5,679	10,315.00
2099269600	07/07/2021	3,844	7,862.46
3116255163	06/08/2021	5,197	9,603.63
722748157	05/09/2021	6,118	10,578.78

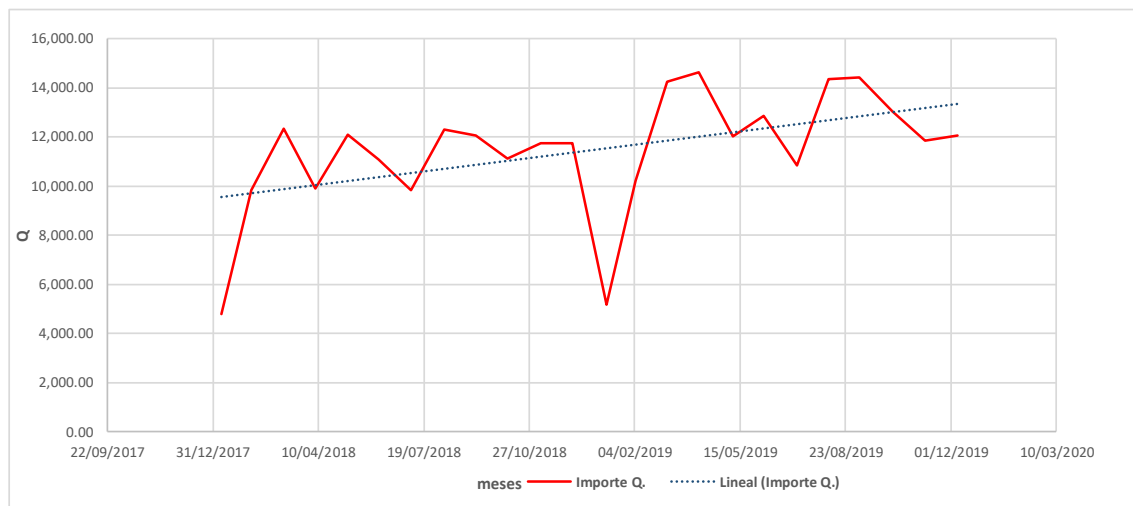
Continuación tabla V.

65686485	06/10/2021	6,280	10,754.22
1402293390	05/11/2021	5,972	10,629.65
1373520776	05/12/2021	6,186	10,922.33

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de EEGSA (2022). *Facturas.*

Se realizó una estimación de los consumos en un periodo de 2 años, para determinar la tendencia al alza de la factura eléctrica en relación con el pago en quetzales.

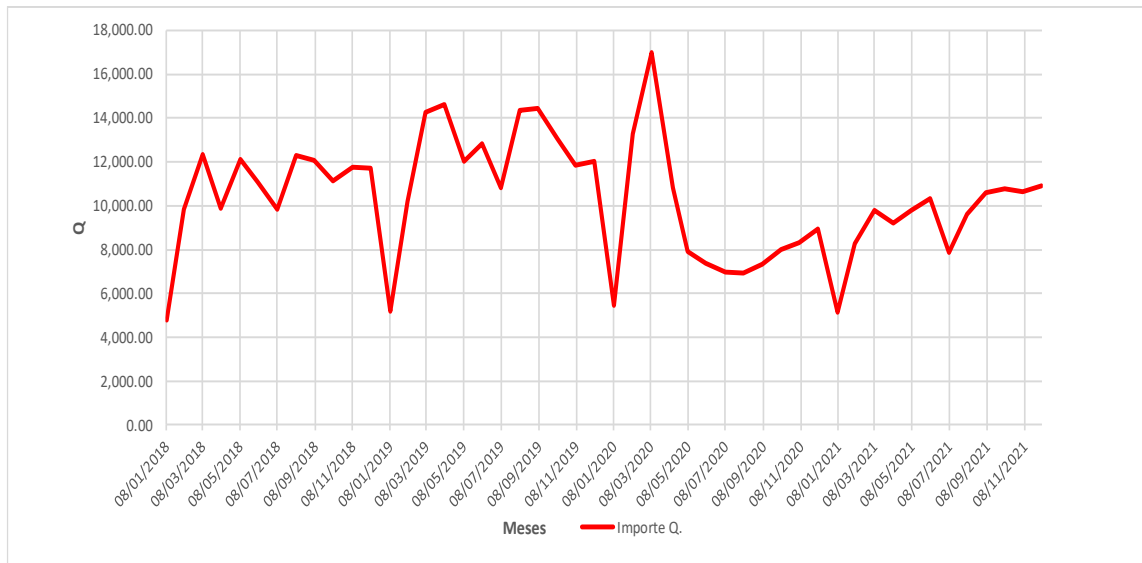
Figura 5. **Gráfica de la tendencia al alza de la factura de electricidad en Centro Universitario del Sur, años 2018- 2019**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.



Figura 6. **Gráfica de la tendencia al alza de la factura de electricidad en Centro Universitario del Sur, años 2018- 2021**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

### 3.2. **Objetivo 2. Analizar diferentes propuestas de los componentes de un sistema solar, para obtener un mejor indicador costo-beneficio**

- **Propuesta 1**

Se determinan los consumos y los costos de energía eléctrica, arrojados por los dos contadores que se encuentran en las instalaciones.

Tabla VI. Pago anual energía eléctrica CUNSUR, medidor F86617

2018	Cargo fijo por usuario (Q)	Tarifa (Q/kWh)	Demanda (Q/kW)	Potencia (Q/kW)	kWh	Demanda (kW)	Potencia (kW)	Cargo por distribución Q (Sin IVA)	Carpo por demanda Q(sin Iva)	Cargo por potencia Q(sin iva)	Total del Cargo Q (Sin IVA)	IVA	Total a pagar
enero	236.81	Q 0.70	Q 22.80	Q 29.01	2,617.00	12.70	63.40	Q 1,824.59	Q 289.58	Q 1,839.55	Q 4,190.53	Q 502.86	Q 4,786.82
febrero	240.95	Q 0.72	Q 22.81	Q 29.41	7,414.00	58.60	63.40	Q 5,320.18	Q 1,336.93	Q 1,864.35	Q 8,762.40	Q 1,051.49	Q 9,813.89
marzo	240.95	Q 0.72	Q 22.81	Q 29.41	10,516.00	60.20	63.40	Q 7,546.12	Q 1,373.43	Q 1,864.35	Q 11,024.85	Q 1,322.98	Q 12,347.84
abril	240.95	Q 0.72	Q 22.81	Q 29.41	7,488.00	59.10	63.40	Q 5,373.28	Q 1,348.33	Q 1,864.35	Q 8,826.91	Q 1,059.23	Q 9,886.14
mayo	240.95	Q 0.75	Q 22.66	Q 29.41	9,746.00	62.00	63.40	Q 7,295.19	Q 1,404.70	Q 1,864.35	Q 10,805.20	Q 1,296.62	Q 12,101.82
junio	240.95	Q 0.75	Q 22.66	Q 29.41	8,755.00	54.80	63.40	Q 6,553.40	Q 1,241.58	Q 1,864.35	Q 9,900.28	Q 1,188.03	Q 11,088.31
julio	240.95	Q 0.75	Q 22.66	Q 29.41	7,510.00	46.90	63.40	Q 5,621.48	Q 1,062.59	Q 1,864.35	Q 8,789.37	Q 1,054.72	Q 9,844.09
agosto	106.65	Q 0.79	Q 22.83	Q 26.61	9,870.00	59.80	63.40	Q 7,828.67	Q 1,365.24	Q 1,687.32	Q 10,987.88	Q 1,318.55	Q 12,306.43
septiembre	106.65	Q 0.79	Q 22.83	Q 26.61	9,598.00	59.80	63.40	Q 7,612.92	Q 1,365.24	Q 1,687.32	Q 10,772.14	Q 1,292.66	Q 12,064.79
octubre	106.65	Q 0.79	Q 22.83	Q 26.61	8,664.00	55.40	63.40	Q 6,872.09	Q 1,264.79	Q 1,687.32	Q 9,930.86	Q 1,191.70	Q 11,122.56
noviembre	106.65	Q 0.84	Q 22.83	Q 26.61	8,848.00	55.40	63.40	Q 7,438.66	Q 1,264.79	Q 1,687.32	Q 10,497.43	Q 1,259.69	Q 11,757.12
diciembre	106.65	Q 0.84	Q 22.83	Q 26.61	8,705.00	59.40	63.40	Q 7,318.44	Q 1,356.10	Q 1,687.32	Q 10,468.51	Q 1,256.22	Q 11,724.74
<b>PAGO ANUAL EN ENERGIA</b>											<b>Q 114,956.35</b>	<b>Q 128,844.54</b>	

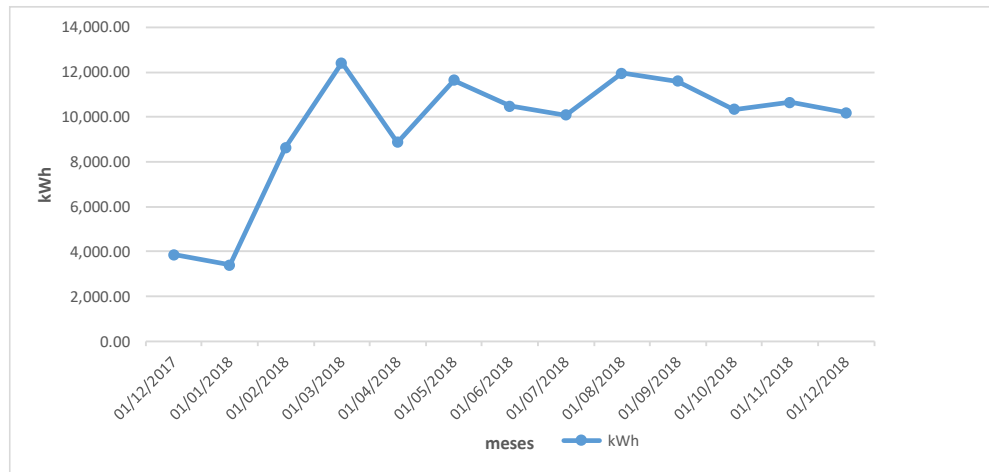
Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de EEGSA (2021). Facturas.

Tabla VII. Pago anual energía eléctrica CUNSUR, medidor M39134

2018	Cargo fijo por usuario (Q)	Tarifa (Q/kWh)	kWh	Cargo por distribución Q (Sin IVA)	Total del Cargo Q (Sin IVA)	IVA	Total a pagar
enero	Q 10.30	Q 1.09	772.00	Q 841.30	Q 851.59	Q 102.19	Q 953.79
febrero	Q 10.48	Q 1.11	1,231.00	Q 1,370.99	Q 1,381.47	Q 165.78	Q 1,547.25
marzo	Q 10.48	Q 1.11	1,898.00	Q 2,113.85	Q 2,124.32	Q 254.92	Q 2,379.24
abril	Q 10.48	Q 1.11	1,376.00	Q 1,532.48	Q 1,542.96	Q 185.16	Q 1,728.12
mayo	Q 10.48	Q 1.14	1,896.00	Q 2,170.78	Q 2,181.26	Q 261.75	Q 2,443.01
junio	Q 10.48	Q 1.14	1,737.00	Q 1,988.74	Q 1,999.22	Q 239.91	Q 2,239.12
julio	Q 10.48	Q 1.14	2,573.00	Q 2,945.90	Q 2,956.38	Q 354.77	Q 3,311.14
agosto	Q 8.89	Q 1.13	2,092.00	Q 2,354.11	Q 2,363.00	Q 283.56	Q 2,646.56
septiembre	Q 8.89	Q 1.13	1,999.00	Q 2,249.46	Q 2,258.35	Q 271.00	Q 2,529.35
octubre	Q 8.89	Q 1.13	1,670.00	Q 1,879.24	Q 1,888.13	Q 226.58	Q 2,114.70
noviembre	Q 8.89	Q 1.17	1,812.00	Q 2,125.17	Q 2,134.06	Q 256.09	Q 2,390.15
diciembre	Q 8.89	Q 1.17	1,478.00	Q 1,733.45	Q 1,742.33	Q 209.08	Q 1,951.41
<b>Q 23,423.06</b>						<b>Q 26,233.83</b>	

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de EEGSA (2021). Facturas.

Figura 7. **Gráfica de consumo mensual de las instalaciones del Centro Universitario del Sur, año 2018**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Observando el consumo promedio de energía eléctrica, de las instalaciones, se realiza el dimensionado del sistema fotovoltaico, determinando el número de paneles solares con capacidad de 410 watts cada uno, adecuados para este tipo de instalación y sistema.

- Potencia total = Número de paneles x potencia de cada panel
- Potencia total = 210 paneles x 410 watts
- Potencia total = 86.10 kW

Tabla VIII. **Irradiación global mensual, del lugar, con ángulo de 15 grados, kWh/m<sup>2</sup>, años 2010-2015**

Mes	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Enero	196.96	188.91	187.24	193.41	198.96	210.10
Febrero	165.42	174.82	161.74	172.36	188.39	185.22

Continuación tabla VIII.

Marzo	182.30	195.20	195.37	202.81	210.01	191.66
Abril	159.20	168.10	169.00	164.98	181.66	169.53
Mayo	149.82	170.46	153.73	169.31	152.06	172.98
Junio	132.77	138.92	149.15	149.87	143.63	150.38
Julio	142.60	144.00	170.87	164.45	175.65	165.33
Agosto	139.09	149.30	158.79	160.28	165.95	171.55
Septiembre	122.69	146.89	98.88	133.18	146.26	143.43
Octubre	183.85	136.55	155.61	150.18	149.54	151.46
Noviembre	171.35	181.67	196.52	162.36	173.52	156.96
Diciembre	205.37	195.98	198.64	174.05	194.72	196.12

Fuente: elaboración propia con datos obtenidos de *PVGIS (2021). Irradiación global.*

Tabla IX. **Resumen de parámetros de irradiación global, con ángulo de 15 grados, años 2010-2015**

<b>Parámetros</b>	<b>Mensual kWh/m<sup>2</sup></b>	<b>Diaría (HSP)</b>
Promedio	167.78	5.59
Desviación estándar	22.59	0.75
Máximo	210.1	7.00
Mínimo	98.88	3.30

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de *PVGIS (2021). Irradiación global.*

La orientación del panel se seleccionó en un ángulo tal, que los rayos del sol incidan en un ángulo perpendicular de la superficie del módulo solar y de esta forma se pueda aprovechar la máxima irradiación solar del lugar. En la latitud norte los paneles se deben orientar hacia el sur en un máximo de 15 grados.

El lugar donde se ubican los paneles está orientado de Este a Oeste, de acuerdo con esto los mismos se ubicaron hacia el sur en un ángulo de 15 grados. Debido a que los cálculos para dimensionar paneles no contemplan variables

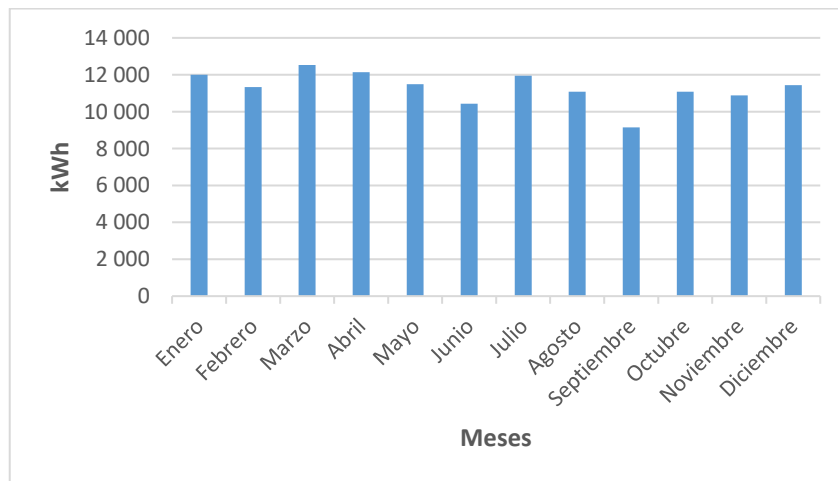
como el clima, temperatura, altitud del lugar, entre otros. Se utilizó un software de diseño fotovoltaico, de uso libre, para determinar la producción de energía fotovoltaica del lugar.

Figura 8. **Resultados de la simulación usado software de diseño fotovoltaico**



Fuente: elaboración propia, empleando SolarEdge.

Figura 9. **Gráfica de producción solar de energía mensual estimada para un año**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Se estimó la producción de energía fotovoltaica tomando en cuenta las características del lugar. Se realizó una simulación con los datos del lugar para determinar la ubicación de los paneles solares.

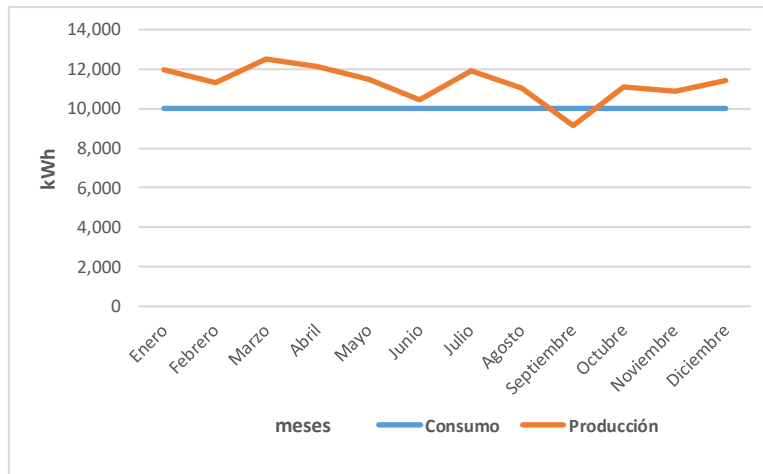
Figura 10. **Ubicación de paneles solares en techo de aulas puras**



Fuente: elaboración propia, empleando SolarEdge.

Para determinar si la producción de energía fotovoltaica es suficiente para cubrir la demanda energética de las instalaciones se recurrió a analizar conjuntamente estos valores.

Figura 11. **Gráfica de producción de energía mensual generada, utilizando programa de computadora versus energía mensual consumida**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tabla X. **Valores de parámetros mensuales, de la energía producida por el sistema fotovoltaico**

Parámetros estadísticos	Generación
Promedio kWh	11,291
Desviación estándar kWh	896
Máximo kWh	12,526
Mínimo kWh	9,144

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Se observa en la siguiente tabla que la generación eléctrica del sistema siempre supera en valores a la del consumo interno.

Tabla XI. **Comparación de energía consumida versus energía producida**

Parámetros estadísticos	Consumo	Generación
Promedio kWh	10,022	11,291
Desviación estándar kWh	2,390	896
Máximo kWh	12,414	12,526
Mínimo kWh	8,645	9,144

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Se realizó un análisis de energía neta, por medio del software especializado. El cual toma en cuenta pérdidas de energía por condiciones climatológicas, como temperatura, vientos, lluvia, entre otros. Así como las propias del equipo.

Figura 12. **Energía obtenida y perdidas, propuesta 1**



Fuente: elaboración propia, empleando SolarEdge.



Tabla XII. **Elementos Básicos, DC del sistema fotovoltaico, propuesta 1**

No.	Modelo	Descripción	Imagen	Cantidad
1	Panel Yingli Solar 144 Cells, Monocristalino, 410 W.	Weight:19 KW Size 2000*992*40mm		210
2	Inversor Huawei 20 KTL	120- 208 V		4
3	PV Cable	PV 4mm <sup>2</sup>		300
4	Estructura	Aluminio		1set
5	Conectores Compatibles	Rated current:30 A Rated Voltage: 1000 VDC		53
6	Proteccion electrica	Flipones, fusibles y protector de transientes		4

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Se determinan los equipos básicos de un sistema fotovoltaico, incluyendo 210 paneles de 410 W, 4 inversores de 20 kW, además de otros costos del sistema de corriente alterna lo que arroja un costo inicial de Q. 408,065.17.

Tabla XIII. **Arreglos de Inversores y paneles fotovoltaicos**

<b>No. de inversor</b>	<b>Potencia de inversor</b>	<b>Cantidad de paneles</b>	<b>Arreglos</b>
Inversor 1	20 kW	52	1 de 18 paneles 2 de 17 paneles
Inversor 2	20 kW	52	1 de 18 paneles 2 de 17 paneles
Inversor 3	20 kW	53	2 de 18 paneles 1 de 17 paneles
Inversor 4	20 kW	53	2 de 18 paneles 1 de 17 paneles
<b>Total</b>	<b>80 kW</b>	<b>210</b>	

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Para el uso eficiente del sistema se debe realizar un arreglo eléctrico de paneles e inversores, así obtener la mayor eficiencia de los equipos.

- Propuesta 2

Debido a que el Centro Universitario del Sur cuenta con 2 medidores de energía eléctrica, se realiza una simulación, correspondiente a conectar el sistema fotovoltaico sólo con el contador de mayor consumo, que promedia en el año 2018; 8,311 kWh al mes.

Tabla XIV. **Parámetros estadísticos de la energía eléctrica consumida, mensualmente por el servicio de mayor consumo, contador M65358**

<b>Parámetros estadísticos</b>	<b>Consumo</b>
Promedio kWh	8,311
Desviación estándar kWh	2,052
Máximo kWh	10,516
Mínimo kWh	2,617

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Figura 13. **Resultados de la simulación para sistema, propuesta 2**

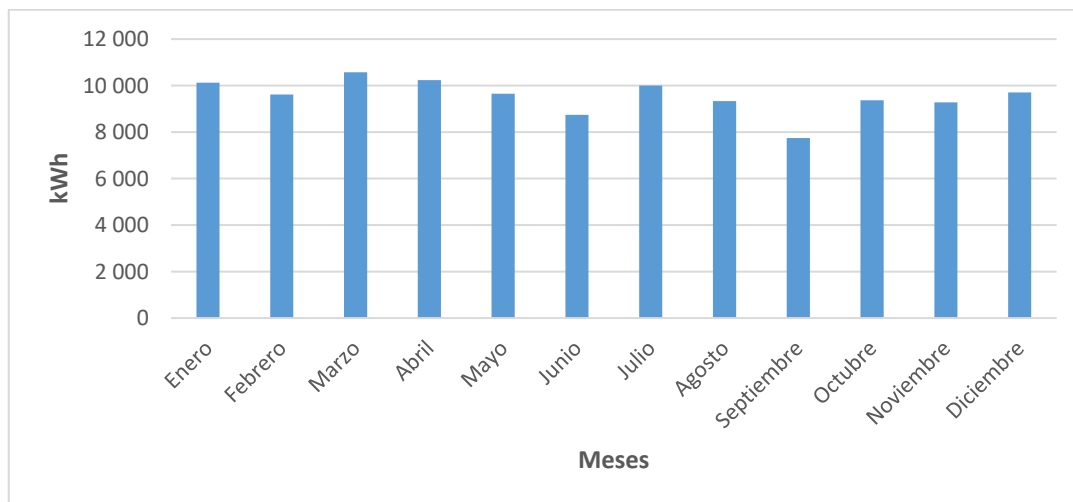


Fuente: elaboración propia, empleando SolarEdge.

En este caso se usan 180 paneles de 410 Watts. Y se obtiene la siguiente potencia eléctrica instalada:

- Potencia total = Número de paneles x potencia de cada panel
- Potencia total = 180 paneles x 410 watts
- Potencia total = 73.80 kW

Figura 14. **Gráfica de producción solar de energía mensual del sistema, propuesta 2, estimada para un año**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tabla XV. **Parámetros estadísticos mensuales, de la energía fotovoltaica producida por el sistema, propuesta 2**

<b>Parámetros estadísticos</b>	<b>Generación</b>
Promedio kWh	9,531
Desviación estándar kWh	748
Máximo kWh	10,573
Mínimo kWh	7,745







Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tabla XVI. **Comparación de energía consumida vs energía producida**

<b>Parámetros estadísticos</b>	<b>Consumo</b>	<b>Generación</b>
Promedio kWh	8,311	9,531
Desviación estándar kWh	2,052	748
Máximo kWh	10,516	10,573
Mínimo kWh	2,617	7,745

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tabla XVII. **Elementos Básicos, DC del sistema fotovoltaico, propuesta 2**

No.	Modelo	Descripción	Imagen	Cantidad
1	Panel Yingli Solar 144 Cells, Monocristalino, 410 W.	Weight: 19 KW Size 2000*992*40mm		180
2	Inversor Huawei 20 KTL	120- 208 V		3
3	PV Cable	PV 4mm <sup>2</sup>		280
4	Estructura	Aluminio		1set
5	Conectores Compatibles	Rated current: 30 A Rated Voltage: 1000 VDC		45
6	Proteccion electrica	Flipones, fusibles y protector de transientes		3

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Se determinan los equipos básicos de un sistema fotovoltaico, incluyendo 180 paneles de 410 W, 3 inversores de 20 kW, además de otros costos del sistema de corriente alterna lo que arroja un costo inicial de Q. 335,244.08.

Tabla XVIII. **Arreglos de Inversores y paneles fotovoltaicos**

No. de inversor	Potencia de inversor	Cantidad de paneles	Arreglos
Inversor 1	20 kW	60	4 de 15 paneles
Inversor 2	20 kW	60	4 de 15 paneles
Inversor 3	20 kW	60	4 de 15 paneles
<b>Total</b>	60 kW	180	

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Para el uso eficiente del sistema se debe realizar un arreglo eléctrico de paneles e inversores, así obtener la mayor eficiencia de los equipos.

### **3.3. Objetivo 3. Determinar los costos de equipo y mantenimiento, así como los ahorros en energía y monetarios para realizar un análisis financiero de VAN, TIR y Retorno de la inversión**

Para poder determinar el ahorro que representa usar un sistema fotovoltaico se determinan los consumos y los respectivos pagos de los contadores de energía eléctrica, en un año para estimar el ahorro en quetzales que representa un sistema fotovoltaico se introducen los costos establecidos en los pliegos tarifarios establecidos en los consumos mensuales, que en este caso por tratarse de un sistema con igual o mayor producción energética los consumos son muy bajos o inexistentes.

Tabla XIX. **Pago anual energía eléctrica de CUNSUR usando energía fotovoltaica**

2018	Cargo fijo por usuario	Tarifa (Q/kWh)	Demanda (Q/kW)	Potencia (Q/kW)	Demanda (kW)	Potencia (kW)	Carpo por demanda Q(sin Iva)	Cargo por potencia Q(sin iva)	Total del Cargo Q (Sin IVA)	IVA	Total a pagar
enero	124.430	0.801	39.337	33.414	65	65.5	Q 2,556.89	Q 2,188.62	Q 4,869.94	Q 584.39	Q 5,454.34
febrero	124.430	0.801	39.337	33.414	65	65.5	Q 2,556.89	Q 2,188.62	Q 4,869.94	Q 584.39	Q 5,454.34
marzo	124.430	0.801	39.337	33.414	65	65.5	Q 2,556.89	Q 2,188.62	Q 4,869.94	Q 584.39	Q 5,454.34
abril	124.430	0.801	39.337	33.414	65	65.5	Q 2,556.89	Q 2,188.62	Q 4,869.94	Q 584.39	Q 5,454.34
mayo	124.430	0.801	39.337	33.414	65	65.5	Q 2,556.89	Q 2,188.62	Q 4,869.94	Q 584.39	Q 5,454.34
junio	124.430	0.801	39.337	33.414	65	65.5	Q 2,556.89	Q 2,188.62	Q 4,869.94	Q 584.39	Q 5,454.34
julio	124.430	0.801	39.337	33.414	65	65.5	Q 2,556.89	Q 2,188.62	Q 4,869.94	Q 584.39	Q 5,454.34
agosto	124.430	0.801	39.337	33.414	65	65.5	Q 2,556.89	Q 2,188.62	Q 4,869.94	Q 584.39	Q 5,454.34
septiembre	124.430	0.801	39.337	33.414	65	65.5	Q 2,556.89	Q 2,188.62	Q 4,869.94	Q 584.39	Q 5,454.34
octubre	124.430	0.801	39.337	33.414	65	65.5	Q 2,556.89	Q 2,188.62	Q 4,869.94	Q 584.39	Q 5,454.34
noviembre	124.430	0.849	39.337	33.414	65	65.5	Q 2,556.89	Q 2,188.62	Q 4,869.94	Q 584.39	Q 5,454.34
diciembre	124.430	0.849	39.337	33.414	65	65.5	Q 2,556.89	Q 2,188.62	Q 4,869.94	Q 584.39	Q 5,454.34
<b>PAGO ANUAL EN ENERGIA</b>									<b>Q 58,439.31</b>		<b>Q 65,452.03</b>

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

En la anterior gráfica se observa el pago anual que se deberá hacer a la empresa eléctrica distribuidora, que son los cargos fijos indicados en los pliegos tarifarios para un usuario de baja tensión de energía, auto productor, BTDA. Se realiza la integración de otros costos, para obtener la inversión final.

Tabla XX. **Desglose total de la inversión propuesta 1**

<b>Costo de producción</b>		
Equipos AC	Q	26,129.70
Sistema solar	Q	352,067.47
Sub- total	<b>Q</b>	<b>378,197.17</b>
<b>Costos de instalación</b>		
Electricista	Q	15,000.00
Ayudante de electricista	Q	7,000.00
Ing. Supervisor	Q	8,000.00
Sub- total	<b>Q</b>	<b>30,000.00</b>
<b>Costos de producción + instalación</b>	<b>Q</b>	<b>408,197.17</b>
Institución exenta de IVA		
<b>Sub- Total</b>	<b>Q</b>	<b>408,197.17</b>
<b>Total cotización</b>	<b>Q</b>	<b>408,197.17</b>

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

En base al ahorro anual se determina la recuperación de la inversión.

Tabla XXI. **Análisis de la inversión y recuperación, propuesta 1**

<b>Año</b>	<b>Inversion</b>	<b>Ahorro</b>	<b>Diferencia</b>
0	Q 408,197.17		
1		Q 91,954.59	Q 316,242.58
2		Q 91,954.59	Q 224,287.99
3		Q 91,954.59	Q 132,333.40
4		Q 91,954.59	Q 40,378.81
5		Q 91,954.59	-Q 51,575.77
6		Q 91,954.59	-Q 143,530.36
7		Q 91,954.59	-Q 235,484.95
8		Q 91,954.59	-Q 327,439.54
9		Q 91,954.59	-Q 419,394.13
10		Q 91,954.59	-Q 511,348.72
11		Q 91,954.59	-Q 603,303.31
12		Q 91,954.59	-Q 695,257.90

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.



En el cuadro anterior se observa la recuperación de la inversión en 4 años, si no hubiera egresos, como gastos de mantenimiento y repuestos.

Se obtuvieron los costos de los equipos necesarios para el sistema solar fotovoltaico, los gastos de mantenimiento, el cual es básicamente limpieza periódica de los paneles y una supervisión anual de los equipos y conexiones, por parte de alguna empresa especializada, así mismo para los repuestos que pudieran necesitarse; se contempla un fondo monetario anual, pero debido a la tecnología de fabricación de los equipos, estos no necesitan una alta inversión en mantenimiento y repuestos, su vida útil oscila en 25 años.

Se evaluó el proyecto del sistema solar fotovoltaico, con los datos de consumo de los dos medidores de energía eléctrica, ya que en conjunto presentan un mayor ahorro anual.

Los ingresos monetarios anuales, lo constituyen la producción mensual de energía fotovoltaica conectada a la red, utilizando un precio promedio de 1.11 Q/kWh. Menos los costos fijos mensuales, que incluye el pago que siempre se debe pagar a la empresa distribuidora, mantenimiento y repuestos.

**Tabla XXII. Análisis de valor actual neto y tasa interna de retorno y retorno de la inversión, en los correspondientes flujos de efectivo, propuesta 1**

Tasa de descuento	8%														
<b>Costos Fijos</b>															
Mantenimiento y limpieza	6,000.00														
<b>COSTOS VARIABLES</b>															
Repuestos	5,000.00														
<b>INVERSIÓN</b>															
<b>IMPUESTOS</b>															
IVA	12%														
ISR (exonerados los primeros 10 años)	5%														
Pérdida de eficiencia del sistema	0.80%														
<b>AÑO</b>	<b>0.00</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>
Pérdida de eficiencia del sistema	0.00	0	0.80%	0.80%	0.80%	0.80%	0.80%	0.80%	0.80%	0.80%	0.80%	0.80%	0.80%	0.80%	0.80%
Ahorro generado por el Sistema Sola	0.00	91,954.59	91,218.95	90,489.20	89,765.29	89,047.16	88,334.79	87,628.11	86,927.08	86,231.67	85,541.81	84,857.48	84,178.62	83,505.19	82,837.15
Costos fijos	0.00	6,000.00	6,000.00	6,000.00	6,000.00	6,000.00	6,000.00	6,000.00	6,000.00	6,000.00	6,000.00	6,000.00	6,000.00	6,000.00	6,000.00
Costos variables	0.00	5,000.00	5,000.00	5,000.00	5,000.00	5,000.00	5,000.00	5,000.00	5,000.00	5,000.00	5,000.00	5,000.00	5,000.00	5,000.00	5,000.00
<b>Ahorros variables</b>	<b>0.00</b>	<b>80,954.59</b>	<b>80,218.95</b>	<b>79,489.20</b>	<b>78,765.29</b>	<b>78,047.16</b>	<b>77,334.79</b>	<b>76,628.11</b>	<b>75,927.08</b>	<b>75,231.67</b>	<b>74,541.81</b>	<b>73,857.48</b>	<b>73,178.62</b>	<b>72,505.19</b>	<b>71,837.15</b>
Impuestos	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Ahorros netos</b>	<b>0.00</b>	<b>80,954.59</b>	<b>80,218.95</b>	<b>79,489.20</b>	<b>78,765.29</b>	<b>78,047.16</b>	<b>77,334.79</b>	<b>76,628.11</b>	<b>75,927.08</b>	<b>75,231.67</b>	<b>74,541.81</b>	<b>73,857.48</b>	<b>73,178.62</b>	<b>72,505.19</b>	<b>71,837.15</b>
Inversión	408,197.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Total de ahorro</b>	<b>0.00</b>	<b>91,954.59</b>	<b>91,218.95</b>	<b>90,489.20</b>	<b>89,765.29</b>	<b>89,047.16</b>	<b>88,334.79</b>	<b>87,628.11</b>	<b>86,927.08</b>	<b>86,231.67</b>	<b>85,541.81</b>	<b>84,857.48</b>	<b>84,178.62</b>	<b>83,505.19</b>	<b>82,837.15</b>
<b>Total de egresos</b>	<b>408,197.17</b>	<b>11,000.00</b>	<b>11,000.00</b>	<b>11,000.00</b>	<b>11,000.00</b>	<b>11,000.00</b>	<b>11,000.00</b>	<b>11,000.00</b>	<b>11,000.00</b>	<b>11,000.00</b>	<b>11,000.00</b>	<b>11,000.00</b>	<b>11,000.00</b>	<b>11,000.00</b>	<b>11,000.00</b>
<b>Flujo neto de fondos</b>	<b>-408,197.17</b>	<b>80,954.59</b>	<b>80,218.95</b>	<b>79,489.20</b>	<b>78,765.29</b>	<b>78,047.16</b>	<b>77,334.79</b>	<b>76,628.11</b>	<b>75,927.08</b>	<b>75,231.67</b>	<b>74,541.81</b>	<b>73,857.48</b>	<b>73,178.62</b>	<b>72,505.19</b>	<b>71,837.15</b>

DATOS	a 3 años	a 4 años	a 5 años	a 6 años	a 7 años	a 8 años	a 9 años	a 10 años	a 11 años	a 12 años	a 13 años	a 14 años
TIR	-22.45%	-9.17%	-0.89%	4.53%	8.22%	10.82%	12.69%	14.07%	15.1%	15.89%	16.50%	16.98%
VAN	-Q201,363.31	-Q149,468.47	-Q90,350.88	-Q41,616.85	Q10,949.92	Q44,115.96	Q81,750.53	Q116,277.81	Q147,954.02	Q177,014.25	Q203,674.26	Q228,130.01
ROI	-41.04%	-21.75%	-2.63%	16.32%	35.05%	53.68%	72.12%	90.38%	108.48%	126.40%	144.17%	161.76%

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Se evidencia que, en el año 7, se iguala la TIR a la tasa de interés utilizada que es de 8 %, donde el VAN se vuelve positivo.

Se observa que el retorno de la inversión se obtiene en el año 6 de los ingresos netos.

Tabla XXIII. **Desglose total de la inversión, propuesta 2**

<b>Costo de producción</b>		
Equipos AC	Q	22,016.41
Sistema solar	Q	290,148.47
Sub- total	<b>Q</b>	<b><u>312,244.08</u></b>
<b>Costos de Instalación</b>		
Electricista	Q	10,000.00
Ayudante electricista	Q	6,000.00
Ing. Supervisor	Q	7,000.00
Sub- total	<b>Q</b>	<b><u>23,000.00</u></b>
<b>Costos de producción + instalación</b>	<b>Q</b>	<b><u>335,164.88</u></b>
Institución exenta de IVA		
<b>Sub- Total</b>	<b>Q</b>	<b><u>335,164.88</u></b>
<b>Total cotización</b>	<b>Q</b>	<b><u><u>335,164.88</u></u></b>

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Se obtuvieron los costos de los equipos, los gastos de mantenimiento, y de repuestos necesarios. Para elaborar una segunda propuesta de sistema solar fotovoltaico. Se evaluó con los datos de consumo del medidor de energía eléctrica, de más alta demanda en las instalaciones de CUNSUR.

Los ingresos monetarios anuales, lo constituyen la producción mensual de energía fotovoltaica conectada a la red, utilizando un precio promedio de 1.11 Q/kWh. Menos los costos fijos mensuales, que es el pago que siempre se debe pagar a la empresa distribuidora.

**Tabla XXIV. Análisis de valor actual neto, tasa interna de retorno y retorno de la inversión en los correspondientes flujos de efectivo, propuesta 2**

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
Tasa de descuento	8%															
Costos Fijos																
Mantenimiento y limpieza	5,000.00															
<b>COSTOS VARIABLES</b>																
Repuestos	3,500.00															
<b>INVERSIÓN</b>																
<b>IMPUESTOS</b>																
IVA	12%															
ISR (exonerados los primeros 10 años)	5%															
Perdida de eficiencia del sistema	0.80%															
AÑO	0.00	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
Perdida de eficiencia del sistema	0.00	0	0.80%	0.80%	0.80%	0.80%	0.80%	0.80%	0.80%	0.80%	0.80%	0.80%	0.80%	0.80%	0.80%	0.80%
Ahorro generado por el Sistema Solar	0.00	68,519.16	67,971.01	67,427.24	66,887.82	66,352.72	65,821.90	65,295.32	64,772.96	64,254.77	63,740.74	63,230.81	62,724.96	62,223.16	61,725.38	
Costos fijos	0.00	5,000.00	5,000.00	5,000.00	5,000.00	5,000.00	5,000.00	5,000.00	5,000.00	5,000.00	5,000.00	5,000.00	5,000.00	5,000.00	5,000.00	
Costos variables	0.00	3,500.00	3,500.00	3,500.00	3,500.00	3,500.00	3,500.00	3,500.00	3,500.00	3,500.00	3,500.00	3,500.00	3,500.00	3,500.00	3,500.00	
Ahorros variables	0.00	60,019.16	59,471.01	58,927.24	58,387.82	57,852.72	57,321.90	56,795.32	56,272.96	55,754.77	55,240.74	54,730.81	54,224.96	53,723.16	53,225.38	
Impuestos	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Ahorros netos		60,019.16	59,471.01	58,927.24	58,387.82	57,852.72	57,321.90	56,795.32	56,272.96	55,754.77	55,240.74	54,730.81	54,224.96	53,723.16	53,225.38	
Inversión	335,164.88	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<b>Total de ahorro</b>	0.00	68,519.16	67,971.01	67,427.24	66,887.82	66,352.72	65,821.90	65,295.32	64,772.96	64,254.77	63,740.74	63,230.81	62,724.96	62,223.16	61,725.38	
<b>Total de egresos</b>	335,164.88	8,500.00	8,500.00	8,500.00	8,500.00	8,500.00	8,500.00	8,500.00	8,500.00	8,500.00	8,500.00	8,500.00	8,500.00	8,500.00	8,500.00	
<b>Flujo neto de fondos</b>	-335,164.88	60,019.16	59,471.01	58,927.24	58,387.82	57,852.72	57,321.90	56,795.32	56,272.96	55,754.77	55,240.74	54,730.81	54,224.96	53,723.16	53,225.38	

DATOS	a 3 años	a 4 años	a 5 años	a 6 años	a 7 años	a 8 años	a 9 años	a 10 años	a 11 años	a 12 años	a 13 años	a 14 años
TIR	-16.00%	-12.63%	-4.17%	1.43%	5.28%	8.01%	10.00%	11.48%	12.61%	13.47%	14.15%	14.68%
VAN	-0181,826.44	-0138,909.65	-099,536.06	-063,413.55	-030,274.02	0128,550	028,019.77	053,606.92	077,080.03	098,613.51	0118,367.40	0136,488.57
ROI	-46.77%	-29.35%	-12.09%	5.02%	21.96%	38.75%	55.39%	71.87%	88.20%	104.38%	120.41%	136.29%

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Se evidencia que, en el año 8, se obtiene una TIR más alta, a la tasa de interés utilizada, que es de 8 %, y donde también el VAN es positivo. Se observa que el retorno de la inversión se obtiene en el año 6, de los ingresos netos.

### 3.4. Objetivo 4. Establecer la reducción de CO<sub>2</sub> en toneladas equivalentes.

Los coeficientes de emisión del sector eléctrico en Guatemala son indicadores de eficiencia que determinan la cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero, GEI, liberadas por la generación o consumo de energía

eléctrica. Se realiza de acuerdo con el factor proporcionado por el Ministerio de Energía y Minas de Guatemala. En este caso se usa la cantidad producida por el sistema solar fotovoltaico al año, para la propuesta 1, se producen 135,490 kWh y se multiplican por el factor 0.3771 kg de CO<sub>2</sub> equivalente/kWh. Para la propuesta 2, se producen 114,377 Kwh al año.

El resultado es el dato de la cantidad de kg de CO<sub>2</sub> equivalente, reducido de la atmósfera en un año. Se calcula de la siguiente manera.

$$\text{Coeficientes de emisión} = [\text{Kg CO}_2\text{e/ kWh}] \quad (\text{Ec. 2})$$

Siendo Kg de Dióxido de carbono.

**Tabla XXV. Reducción anual de CO<sub>2</sub> utilizando energía fotovoltaica (Descarbonización)**

<b>Propuesta</b>	<b>Producción anual (kWh)</b>	<b>Factor de kg de CO<sub>2</sub> equivalente por kWh</b>	<b>Emisiones en kg de CO<sub>2</sub> equivalente, reducido</b>	<b>Emisiones en toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente, reducido</b>
<b>1</b>	135,490	0.3671	49,558.50	49.60
<b>2</b>	114,377	0.3671	41,987.80	42.00

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.



## 4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- Análisis interno

A lo interno de la investigación se conocen los consumos energéticos de la institución, así como un alza anual, de los costos de la factura eléctrica en los años 2018 al 2019. Se encuentran en las instalaciones las condiciones adecuadas para la implementación de un sistema solar fotovoltaico, con conexión a la red y que produce excedentes de energía, mismos que según el artículo 40 de la norma de generación distribuida renovable de auto productores, se obtienen créditos en la factura eléctrica subsiguiente. Se propone un sistema solar fotovoltaico buscando el mayor crédito en costo-beneficio.

En la propuesta 1, se tiene un sistema fotovoltaico conectado a los dos servicios eléctricos con que cuenta la institución. En la evaluación financiera (VAN, TIR) del proyecto, se observa de forma positiva a los 7 años, misma que también tiene un valor del retorno de la inversión (ROI) a los 6 años. Lo que hace rentable el proyecto, pero con una inversión inicial más alta.

En la propuesta 2, se tiene un sistema fotovoltaico conectado solo al servicio eléctrico de mayor consumo con que cuenta la institución. En la evaluación financiera (VAN, TIR) del proyecto, se observa de forma positiva a los 8 años, misma que también tiene un valor del retorno de la inversión (ROI) a los 6 años. Lo que hace rentable el proyecto, puesto que la vida útil de servicio de los equipos ronda los 25 a 30 años.

Se determina que el área seleccionada para la ubicación de los paneles solares, de las dos propuestas tiene disponibilidad de espacio, hay pequeños obstáculos consistentes en varillas de metal, resultado de la construcción de la instalación y un compresor de aire acondicionado, mismos que no representan inconvenientes para el proyecto, así mismo por la inspección al lugar, se evidencia que no hay cerca edificaciones y árboles que puedan provocar sombras, lo cual afectaría el aprovechamiento de radiación solar efectiva.

Como se observa en las figuras 4 y 5. También se encuentra disponible a 2.5 metros del lugar un cuarto de servicio, construido de block y techo de cemento donde es ideal colocar los inversores y protecciones del sistema solar.

El consumo energético de las instalaciones se estima en 10,022 kWh/mes, tomando los períodos de los años 2018- 2019. No se consideran datos más recientes debido a que el año 2020 se declaró la pandemia mundial de Covid 19, y los resultados difieren de los consumos reales cuando la población estudiantil y personal del lugar asiste con normalidad.

Analizando los consumos de dichos años se evidencia un alza anual, en la factura eléctrica en relación con el pago por este servicio en los años 2018 y 2019. Como se observa en la figura 5.

Esto como resultado de mayor consumo eléctrico, debido al aumento de servicios, de estudiantes y el incremento tarifario por parte de la empresa distribuidora que se apega a factores de inflación nacional y mundial, aumento de precios de los combustibles fósiles como el petróleo y el carbón, entre otros. Se analizan los datos de consumo energético de los años del 2018 al 2021, figura 6 y no observa tendencia al alza, esto debido a la irregularidad del consumo en



los últimos dos años, provocado por la pandemia, cuando la población estudiantil y personal no asisten con normalidad.

Los componentes básicos de un sistema fotovoltaico son: paneles solares, inversores, protecciones eléctricas, cables fotovoltaicos.

Se recurre a observar los consumos energéticos de las instalaciones y a encontrar la incidencia de radiación solar del lugar, usando un ángulo de 15 grados, para lo cual se usa el software especializado *PVGIS* y corresponde a un promedio de 5.59 kWh/día-m<sup>2</sup>. Con estos datos se recurre a dimensionar los equipos con cálculos matemáticos, mismos que no contemplan todas las variables a tomar en cuenta como lo son: clima, vientos, temperatura. Por lo cual se utiliza un software especializado.

Con respecto a lo que afirma Durán (2014), que la Generación Distribuida consiste en generar energía eléctrica en pequeña escala, la misma que se encuentra muy cerca del lugar de consumo. Se diseña un sistema de generación distribuida, para consumo y producción de energía.

Se elabora un sistema solar que cumple con las demandas de energía que necesita el centro universitario del sur. Consistiendo para la propuesta 1, en 210 paneles solares de 410 watts, y 4 inversores de 20 kW. Para la propuesta 2 en 180 paneles de 410 watts, y 3 inversores de 20 kW.

A estos sistemas se les puede agregar optimizadores, pero buscando opciones costo-beneficio, estos últimos son convenientes, pero no indispensables y aumentan el costo del sistema, por lo cual no se toman como parte del diseño no afectando la calidad del mismo.

Se determinan los costos del equipo con proveedores locales, los cuales básicamente consisten en equipos y accesorios para corriente continua y para corriente alterna, protecciones eléctricas, postes de metal, mano de obra especializada para la instalación, pago de mantenimientos, repuestos, entre otros.

Se encuentra que los precios de los equipos de corriente continua (DC) constituyen en promedio el 90 % de los costos totales.

De acuerdo con el artículo 40, de la norma técnica de generación distribuida renovable. Habiendo excedentes de energía por parte del sistema solar diseñado, estos se inyectan a la red de distribución. La empresa distribuidora reconoce estos excedentes como crédito a favor del generador.

En la primera propuesta el sistema cumple con lo establecido, ya que tiene excedentes de energía que siempre se deben pagar como un auto productor de energía renovable. En la segunda propuesta se genera una cantidad de energía cercana a la que se consume y con excedentes en algunos meses lo que resulta en crédito otorgado para el pago de la siguiente factura.

Con el sistema en funcionamiento se ahorra un 42 % del pago de la factura eléctrica de los dos servicios de energía del lugar. Y con el sistema conectado al contador de mayor consumo un 51 %. Esto siempre pagando los costos fijos, establecidos en los pliegos tarifarios al tipo de sistema contratado a la empresa de distribución eléctrica y que se aplican a los productores de energía renovable, inyectada a la red.

Aunque manteniendo consumos bajos, con el sistema fotovoltaico que serán nulos o mínimos, se puede solicitar el cambio a tarifa social a la distribuidora eléctrica.

Se encuentra que el valor actual neto del proyecto es positivo al igual que la TIR, entre 7 y 8 años respectivamente, esto se atribuye a los costos fijos que deben pagarse y a los precios actuales de los equipos de corriente continua que constituyen un 90 % de la inversión inicial.

Según Ojea (2010), indica que la energía solar fotovoltaica representa actualmente, casi el 60 % de crecimiento a nivel mundial. Por lo anterior se ha observado un descenso considerable de los costos de los equipos fotovoltaicos en los últimos años y se espera que estos tiendan en el futuro cercano, a la baja de precios y a la mejor calidad.

El Retorno de la Inversión (ROI) se encuentra a los 6 años respectivamente, de funcionamiento del proyecto, lo cual es un indicador positivo para realizarlo, según la vida útil de los equipos que ronda los 25 – 30 años. Debido a que el retorno de la inversión es el mismo tiempo para las dos propuestas y la inversión es más alta en la primera. Se considera como mejor opción costo beneficio la propuesta 2, para ser implementada.

El Ministerio de Energía y Minas (2020) indica que el 24.72 % de la energía producida en nuestro país, proviene de fuentes no renovables, las que generan gases de efecto invernadero, entre los principales el bióxido de carbono, CO<sub>2</sub>, a dichos gases se les atribuye muchos de los problemas ambientales existentes.

Se determinó que, con el sistema solar fotovoltaico propuesto, se generan un promedio de 135,490 kWh y 114,377 kWh por propuesta, al año lo representa

una remoción de 49.60 y 42.00 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalentes, respectivamente. Lo cual constituye una contribución a la disminución de este gas en la atmósfera, y con esto mejorar la salud, el bienestar y la economía de los seres humanos, así como muchos beneficios a otros componentes de los sistemas naturales.

- Análisis externo

A lo externo de la investigación, se encuentra que existe un alto índice de radiación solar en el país y aunado a esto hay incentivos fiscales que permiten a los auto productores no solo reducir los costos de energía eléctrica, sino la ley los exime de pagar el impuesto sobre la renta en un periodo de 10 años, entre otros beneficios.

También se encuentra que, debido al crecimiento del uso de la energía solar, existen varios programas en línea, de uso libre y de pago, para determinar con un alto grado de precisión el índice de radiación solar, en las diferentes regiones a nivel mundial y también proporcionan el dimensionado de los sistemas solares fotovoltaicos con características y requerimientos específicos.

Planas (2016), indica que el carbón es un recurso natural limitado. La generación es un proceso de varios millones de años, mientras que el consumo de este recurso energético es muy rápido. Por esta razón, se considera una fuente de energía no renovable. Con la puesta en funcionamiento del sistema fotovoltaico propuesto, se promueve el uso de energías renovables, las cuales no contaminan al medio ambiente y su fuente es ilimitada. La generación de energía del proyecto arroja una remoción anual de CO<sub>2</sub> equivalente, en la atmósfera.

Así como indica Durán (2014), la generación distribuida consiste en generar energía eléctrica en pequeña escala, la misma que se encuentra instalada muy cerca del lugar de consumo. La energía del sistema fotovoltaico es de generación distribuida, ya que se consume en el mismo lugar donde se produce, lo que se traduce en ahorro e independencia de los sistemas energéticos tradicionales.

El sistema solar fotovoltaico no debe satisfacer ninguna demanda de consumo de forma directa ni garantizar el mismo, no necesitan incorporar equipos de acumulación de energía. Con los sistemas propuestos se cumple con lo anterior ya que no se requiere de sistemas de almacenamiento y siempre están conectados a la red eléctrica, sin tener que garantizar demandas energéticas, esto es muy adecuado ya que la radiación solar es irregular debido a varios factores, especialmente en épocas de invierno e incidencia de sombras en los paneles fotovoltaicos.

El proyecto es viable al igual que presenta Ojea (2010), donde indica que la energía solar fotovoltaica representará casi el 60 % del crecimiento de la energía renovable. El tiempo de recuperación de la inversión en el sistema fotovoltaico actual puede encontrarse alto, por la razón de que los equipos fotovoltaicos (DC) representan el 90 % de los costos. Pero debido al crecimiento de las energías renovables, en los últimos años, especialmente la fotovoltaica, los equipos están aumentando en eficiencia y disminuyendo en precios.

Al poner en marcha un sistema fotovoltaico, es factible solicitar a la empresa de distribución, una tarifa social lo que traerá mayor ahorro económico anual y por consiguiente un menor tiempo de recuperación de la inversión.

El diseño tecnológico y la riqueza de los recursos naturales abre la posibilidad de plantear alternativas que permiten complementar y disminuir la

dependencia de combustibles para la obtención de energía eléctrica a través de fuentes no convencionales de energía renovable.

Los sistemas fotovoltaicos por su diseño tecnológico requieren de bajo mantenimiento y su duración puede alcanzar los 25 o más años de servicio. La fuente de radiación solar es inagotable, sólo limitada en la actualidad por la noche, para el futuro se prevén paneles solares capaces de aprovechar parcialmente la radiación lunar.

## CONCLUSIONES

1. Se estimó el consumo energético de las instalaciones y la tendencia al alza de la factura de energía eléctrica donde el consumo energético de las instalaciones del centro universitario del sur es de 10,022 kWh/mes. Se encuentra una tendencia anual, al alza de la factura de energía eléctrica.
2. Se analizaron diferentes propuestas de los componentes de un sistema solar. Los costos de los equipos fotovoltaicos representan el 90 % de la inversión inicial. Para el sistema solar fotovoltaico conectado a la red, se debe usar la propuesta 2, que es acorde a las necesidades energéticas del centro universitario del sur y brinda mejor costo beneficio a lo largo de la vida útil de los equipos, que oscila en 25 años.
3. El ahorro en los costos de energía eléctrica para la propuesta 2, es del 51 %. Así mismo, el análisis financiero de VAN, es positivo a los 8 años de iniciado el proyecto, en este mismo tiempo la TIR es igual a la tasa de interés utilizada para su evaluación. El análisis de Retorno de la Inversión es positivo a los 6 años. Lo que indica que el proyecto es rentable antes del mediano plazo de la vida útil de los equipos.
4. Se estableció la reducción de CO<sub>2</sub> en el ambiente; ya que, con el proyecto solar fotovoltaico, se realiza una reducción de 42.00 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalentes anualmente. Esto se traduce en una significativa contribución en la reducción de gases de efecto invernadero en la atmósfera, a la protección y mejoramiento del ambiente. Así mismo al aumento del uso de

energías limpias y renovables, como una alternativa efectiva, frente a la generación de energía eléctrica por medio de combustibles fósiles.

5. Se evaluó la implementación de un sistema solar fotovoltaico en red, para la iluminación de servicios generales de aulas y áreas comunes, que contribuye a la reducción de los costes de energía eléctrica, del Centro Universitario del Sur, del municipio de Escuintla y se encontró que el sistema solar fotovoltaico no solo provee iluminación a las aulas y áreas comunes del centro universitario del sur, sino también provee electricidad para ser usada en diferentes servicios y a su vez representa un importante ahorro para la reducción de los costes del servicio de energía eléctrica.



## RECOMENDACIONES

1. Proponer al sector gubernamental e instituciones privadas, el uso de sistemas de generación de energía eléctrica, provenientes de fuentes limpias y renovables, como lo es la energía solar fotovoltaica.
2. Realizar mantenimientos de rutina en los paneles solares, que básicamente consisten en limpieza de la cubierta superficial de los mismos. Se exhorta a las autoridades del centro universitario del sur, coordinar el mantenimiento preventivo y correctivo de los techos de loza de cemento donde se encuentran los paneles, a efecto de mantener el buen funcionamiento de estos y su vida útil.
3. Ejecutar este tipo de proyectos en otros lugares y observar los valores de consumo y producción de energía eléctrica y de esta forma obtener datos puntuales que permitan evaluar la rentabilidad y los beneficios obtenidos.
4. Promover a pequeña y mediana escala, el uso de otras fuentes de energía renovable, como lo son: eólica, solar térmica, biomasa, entre otros. Que contribuyen al mejoramiento del medio ambiente y a la no generación de gases de efecto invernadero.
5. Solicitar a las autoridades del centro universitario del sur, realizar una reestructuración de la red eléctrica existente, que consiste en cambio de cableado, tuberías, cajas de flipones, entre otros. Ya que la misma es muy antigua, y cada vez tiene mayor demanda, como consecuencia del

crecimiento institucional, aumento del número de estudiantes y personal;  
que usa dispositivos eléctricos y electrónicos.

## REFERENCIAS

1. All Solar Energy Inc. (15 de enero, 2010). Interconexión a la Red, Grid Tie. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <http://allsolarenergypr.com/residencial>.
2. Alonso, J. (22 de enero, 2019). Radiación, Geometría, Recorrido óptico, Irradiancia y HSP. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/energia-fotovoltaica-radiacion-geometria-recorrido-optico-irradiancia-y-hsp/>.
3. AutoSolar. (13 de agosto, 2021). ¿Qué mantenimiento requiere un panel solar? [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://autosolar.es/blog/placas-fotovoltaicas/que-mantenimiento-requiere-un-panel-solar>.
4. Chain, N. S. y Sapag, R. (2008). *Preparación y Evaluación de Proyectos. Quinta edición*. Colombia: McGraw-Hill Interamericana S.A. Recuperado de <https://untdfproyectos.files.wordpress.com/2018/04/sapag-2008-preparacion-y-evaluacion-de-proyectos.pdf>.
5. CNEE-227-2014. Norma técnica de generación distribuida renovable y usuarios autoprodutores con excedentes de energía. Comisión Nacional de Energía Eléctrica. Diario de Centroamérica. Guatemala. 25 de agosto de 2014.

6. Custódio, M. (20 de octubre, 2018). ¿Qué es el ROI? Aprende cómo calcular el Retorno sobre la Inversión [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://www.rdstation.com/es/blog/roi/>.
7. DamiaSolar. (Septiembre 2021). La energía solar. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://www.damiasolar.com/content/la-energia-solar-en-5-min.html>.
8. Decreto 52-2003. Ley de incentivos para el desarrollo de proyectos de energía renovable. Congreso de La República de Guatemala. Diario de Centroamérica. Guatemala. 10 de Noviembre de 2003.
9. Dirección General de Energía. (2018). *Energía Solar en Guatemala*. Guatemala: Ministerio de Energía y Minas.
10. Dirección General de Energía. (2017). *Balance Energético*. Guatemala: Ministerio de Energía y Minas.
11. Durán, E. (enero, 2014). La Generación Distribuida: Retos frente al Marco Legal del Mercado Eléctrico Ecuatoriano. *Energía*, 10(1), 28-34.
12. Empresa Eléctrica de Guatemala, Sociedad Anónima. (2018). *Facturas*. Guatemala: Autor.
13. Empresa Eléctrica de Guatemala, Sociedad Anónima. (2019). *Facturas*. Guatemala: Autor.

14. Empresa Eléctrica de Guatemala, Sociedad Anónima. (2021). *Facturas*. Guatemala: Autor.
15. Empresa Eléctrica de Guatemala, Sociedad Anónima. (2022). *Facturas*. Guatemala: Autor.
16. Energía Ecológica. (24 de febrero, 2018). Energía solar: paneles fotovoltaicos. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://energia-ecologica.com/energia-solar/paneles-fotovoltaicos/>.
17. Fernández, L. y Cervantes, A. (2017). *Proyecto de diseño e implementación de un sistema fotovoltaico de interconexión a la red eléctrica en la Universidad Tecnológica de Altamira* (Tesis de maestría). Centro de Investigación en Materiales Avanzados, México. Recuperado de <https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/1927/1/TESIS%20MER.pdf>.
18. Frías, T. (2012). *Colector térmico fotovoltaico interconectado a la red* (Tesis de maestría). Centro de Investigación en Materiales Avanzados, México. Recuperado de <http://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1004/447>.
19. Juárez, E. y Vera, A. (2012). *Estudio de sistema automatizado de riego por goteo por medio de energía solar para invernadero* (Tesis de maestría). Universidad Nacional Autónoma de México, México. Recuperado de [https://nanopdf.com/download/capitulo-1-celdas-fotovoltaicas-11-sistema-de-generacion-solar\\_pdf#](https://nanopdf.com/download/capitulo-1-celdas-fotovoltaicas-11-sistema-de-generacion-solar_pdf#).

20. Martínez, T. Y. (2012). *Colector Térmico Fotovoltaico Interconectado a la Red* (Tesis de maestría). Centro de Investigación en Materiales Avanzados, México. Recuperado de <https://1library.co/document/y966w6ry-colector-termico-fotovoltaico-interconectado-a-la-red.html>.
21. Ministerio de Energía y Minas. (2020). *Informe General 2020*. Guatemala: Autor.
22. Nuevo, D. (31 de enero, 2020). Es energía: portal de energía solar fotovoltaica y termosolar. Cómo entender un panel fotovoltaico. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://esenergia.es/como-entender-un-panel-fotovoltaico/>.
23. Ojea, L. (14 de marzo, 2010). La energía renovable crecerá en el mundo un 50 % en los próximos cinco años impulsada por la fotovoltaica. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://elperiodicodelaenergia.com/la-energia-renovable-crecera-en-el-mundo-un-50-en-los-proximos-cinco-anos-impulsada-por-la-fotovoltaica/>.
24. Pérez, J. y Gardey, A. (2009). Definición de iluminación. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://definicion.de/iluminacion/>.
25. Perpiñán, O. (2020). *Energía solar fotovoltaica*. España: Autor. Recuperado de <https://oscarperpinan.github.io/esf/ESF.pdf>.
26. Petrel, C. (2021). *Diseño de sistema solar fotovoltaico aislado e individual en el corregimiento Bocas del Atrato-Turbo* (Tesis de licenciatura).

Universidad de Antioquia, Colombia. Recuperado de [http://200.24.17.10/bitstream/10495/18523/7/PetrelCristian\\_2021\\_SistemaSolarFotovoltaico.pdf](http://200.24.17.10/bitstream/10495/18523/7/PetrelCristian_2021_SistemaSolarFotovoltaico.pdf).

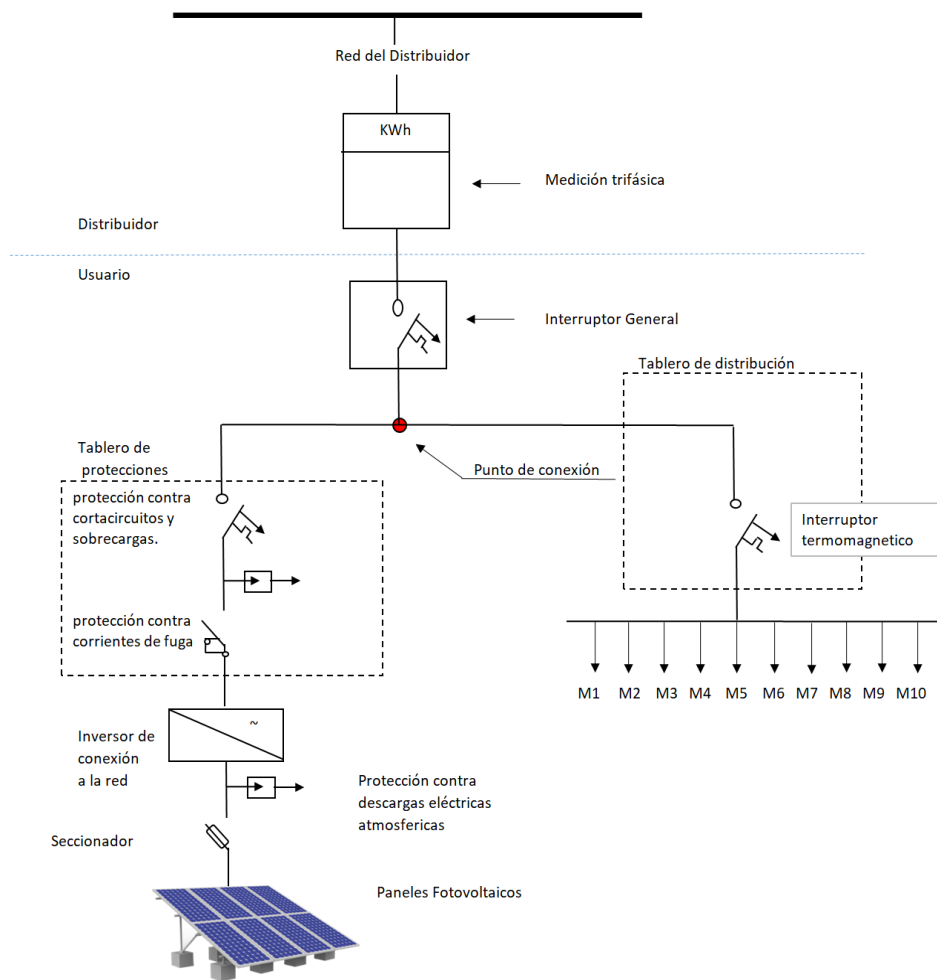
27. Planas, O. (12 de julio, 2016). Carbón, origen, tipos y características de este combustible fósil. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://solar-energia.net/energias-no-renovables/combustibles-fosiles/carbon>.
28. Reifs, J. (2011). *Sistema fotovoltaico conectado a red en vivienda situada en la Sierra de Madrid*. (Tesis de maestría). Universidad Internacional de Andalucía, España. Recuperado de [https://dspace.unia.es/bitstream/handle/10334/1806/0120\\_Reifs.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://dspace.unia.es/bitstream/handle/10334/1806/0120_Reifs.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
29. Robles, C. y Rodríguez, O. (abril, 2018). Un panorama de las energías renovables en el Mundo, Latinoamérica y Colombia. *Espacios*, 39(34), 10.
30. Schallenberg, J., Piernavieja, G., Hernández, C., Unamunzaga, P., García, R., Díaz, M. y Subiela, V. (2008). *Energías renovables y eficiencia energética*. Santa Cruz de Tenerife, España: Instituto Tecnológico de Canarias, S.A. Recuperado de <https://www.cienciacanaria.es/files/Libro-de-energias-renovables-y-eficiencia-energetica.pdf>.
31. Sunfields Europe. (20 de febrero, 2015). Tipos de paneles solares: usos, aplicaciones y tipos de placas solares. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://www.sfe-solar.com/paneles-solares/tipos/>.

32. Sunfields Europe. (15 de mayo, 2017). Encintado y conexión de células en módulos fotovoltaicos. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/modulo-fotovoltaico-encintado-y-conexion-de-celulas/>.
33. Sustainable Energy Sources (21 de enero, 2020). El crecimiento de la energía solar superará todas las expectativas. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://www.seslatam.com/novedades/2020/el-crecimiento-de-la-energia-solar-supera-todas-las-expectativas/>.
34. The World Bank. (2009). Obtenido de Dióxido de carbono equivalente. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://global.mongabay.com/es/ranforests/carbono-lexico/Dioxido-de-carbono-equivalente.html>.
35. Universidad de San Carlos de Guatemala. (1988). *Centro Universitario del Sur*. Guatemala: Autor. Recuperado de <https://www.usac.edu.gt/catalogo/cunsur.pdf>.
36. Universidad Rafael Landívar. (2018). *Perfil energético de Guatemala. Bases para el entendimiento del estado actual y tendencias de la energía*. Guatemala: Autor.
37. Urbina, G. B. (2010). *Evaluación de Proyectos*. México: McGraw Hill Interamericana Editores, S.A.



# APÉNDICES

## Apéndice 1. Diagrama Unifilar de conexión de paneles solares a tablero principal



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

## Apéndice 2. Diagrama unifilar de conexiones existentes

DESCRIPCIÓN	CALIBRE - CABLE (AWG)	POTENCIA (VA)	CAPACIDAD DE LA PROTECCIÓN (A)	No. CIRCUITO/MODULO	BARRAS	No. CIRCUITO/MODULO	CAPACIDAD DE LA PROTECCIÓN (A)	POTENCIA (VA)	CALIBRE - CABLE (AWG)	DESCRIPCIÓN	
LABORATORIO DE AGROINDUSTRIA		70000		M1		M2		35000		SALON DE OFICINAS (EN MODULO 1)	
NUEVAS OFICINAS (CAFFETERIA)		45000		M3		M4		16000		SALONES DE CLASES DEL 1-5	
OFICINAS ADMINISTRATIVAS		55000		M5		M6		15000		SALONES 5.1 Y BIBLIOTECA	
SALONES DEL 6 AL 9		48000		M7		M8		19000		SALÓN DE USOS MULTIPLES	
LABORATORIOS DE QUIMICA		25000		M9		M10		15000		SALONES DEL 11 AL 16	
KVA/ LINEA	BARRA "R" BARRA "S" BARRA "T"					INTERRUPTOR PRINCIPAL 3 X xxx Amp.					
CARGA CONECTADA DEMANGA MÁXIMA DM. MAX + 10 %						CABLE PRINCIPAL : VOLTAJE : FACTOR DE POTENCIA :			AMPERAJE DE LINEA : FACTOR DE DEMANDA : AMPERAJE DE LINEA + 10% : FACTOR DE DISEÑO :		AMPERAJE DE DISEÑO :

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

## Apéndice 3. Cálculo de voltaje y corriente de arreglos de paneles e inversores, para sistema de propuesta 1

Valores Panel	V/A	No. De Paneles/Strings	Resultado	Inversor	
Voltage Pmax	41.65	18	749.7 V	Max Input Voltage	750 V
Voc	50.6	18	910.8 V		
Current Pmax	9.85	3	29.55 A	Max Current per MPPT	26 A
Isc	10.38	3	31.14 A	Max Short Circuit Current per MPPT	40 A

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

**Apéndice 4. Cálculo de voltaje y corriente de arreglos de paneles e inversores para sistema propuesta 2**

Valores Panel	V/A	No. De Paneles/Strings	Resultado	Inversor	
Voltage Pmax	41.65	15	624.75 V	Max Input Voltage	750 V
Voc	50.6	15	759 V		
Current Pmax	9.85	4	39.4 A	Max Current per MPPT	26 A
Isc	10.38	4	41.52 A	Max Short Circuit Current per MPPT	40 A

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

**Apéndice 5. Distribución de las instalaciones por módulos**

<b>MÓDULO No.</b>	<b>NOMBRE DEL MÓDULO</b>	<b>ALIMENTADOS ELÉCTRICAMENTE DESDE</b>
1	LABORATORIO DE AGROINDUSTRIA	
2	SALON DE OFICINAS (EN MÓDULO 1	
3	NUEVAS OFICINAS (CAFETERÍA)	
4	SALON DE CLASES DEL 1 AL 5	ACOMETIDA 1 (CUARTO ELÉCTRICO CENTRAL)
5	OFICINAS ADMINISTRATIVAS	
6	SALONES 5.1 Y BIBLIOTECA	
7	SALONES 6.0 AL 9	
8	SALON DE USOS MÚLTIPLES	
9	LABORATORIO DE QUÍMICA	
10	SALONES DEL 11 AL 16	ACOMETIDA 1 Y ACOMETIDA 2
11	LABORATORIO DE COMPUTACIÓN	ACOMETIDA 2

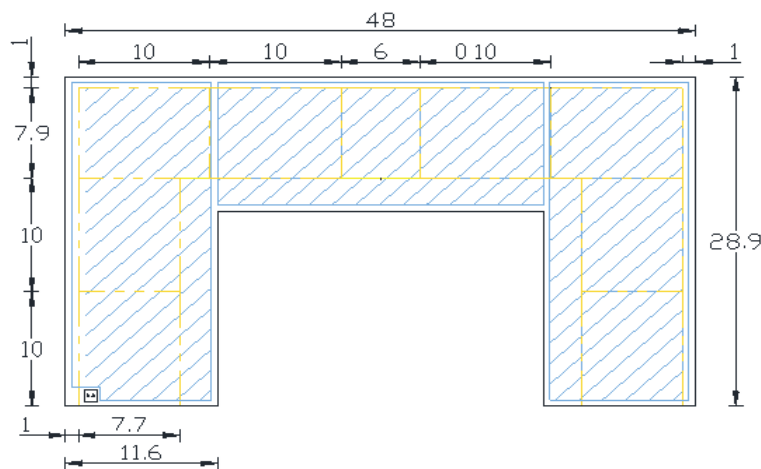
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Apéndice 6. **Distribución de cargas eléctricas en las instalaciones**

MÓDULO No.	TENSIÓN (VOLTIOS)	POTENCIA (WATTS)
1	208	60,667
2	208	30,333
3	208	39,000
4	208	13,867
5	208	47,667
6	208	13,000
7	208	41,600
8	208	16,467
9	208	21,667
10	208	13,000
11	208	30,333

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Apéndice 7. **Esquema de planta de edificio salones del 11 al 16, medidas en metros**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

## Apéndice 8. **Cuarto de tableros eléctricos**



Fuente: [Fotografía de Jorge Sánchez]. (Centro Universitario del Sur, Escuintla. 2021).  
Colección particular. Guatemala.

## Apéndice 9. **Tablero y Caja de Flipones**



Fuente: [Fotografía de Jorge Sánchez]. (Centro Universitario del Sur, Escuintla. 2021).  
Colección particular. Guatemala.

## Apéndice 10. Cuarto para inversores








Fuente: [Fotografía de Jorge Sánchez]. (Centro Universitario del Sur, Escuintla. 2021).  
Colección particular. Guatemala.

## Apéndice 11. Cotización equipo DC, propuesta 1

No.	Modelo	Descripción	Imagen	Cantidad	Precio Unitario	Total
1	Panel Yingli Solar 144 Cells, Monocristalino, 410 W.	Weight:19 KW Size 2000*992*40mm		210	Q 1,215.00	Q 255,150.00
2	Inversor Huawei 20 KTL	120- 208 V		4	Q 21,922.99	Q 87,691.96
3	Estructura	Aluminio		1 set	Q 50,844.71	Q 50,844.71
4	Conectores Compatibles	Rated current:30 A Rated Voltage: 1000 VDC		53	Q 30.00	Q 1,590.00
5	Proteccion electrica	Flipones, fusibles y protector de transientes		4	Q 1,200.00	Q 4,800.00

Fuente: elaboración propia.

## Apéndice 12. Cotización equipo DC, propuesta 2

No.	Modelo	Descripción	Imagen	Cantidad	Precio Unitario	Total
1	Panel Yingli Solar 144 Cells, Monocristalino, 410 W.	Weight:19 KW Size 2000*992*40mm		180	Q 1,215.00	Q 218,700.00
2	Inversor Huawei 20 KTL	120- 208 V		3	Q 21,922.99	Q 65,768.97
3	Estructura	Aluminio		1set	Q 40,295.20	Q 40,295.20
4	Conectores Compatibles	Rated current:30 A Rated Voltage: 1000 VDC		45	Q 30.00	Q 1,350.00
5	Proteccion electrica	Flipones, fusibles y protector de transientes		3	Q 1,200.00	Q 3,600.00

Fuente: elaboración propia.

### Apéndice 13. Equipos y materiales de corriente continua, propuesta 1

LISTADO DE MATERIALES PARA LA INSTALACIÓN DE CONDUCTOR CUADRUPLEX EN POSTES METALICOS				
Cantidad	Material		Costo Unitario	Costo total
2	Postes metalicos de 35'	Q	2,075.00	Q 4,150.00
4	Soporte para aislador de 1 carrizo	Q	18.75	Q 75.00
4	Aislador tipo carrizo	Q	11.85	Q 47.40
4	Amarradores para cable	Q	14.20	Q 56.80
8	Argollas sin Rosca	Q	22.00	Q 176.00
4	Grapa de suspensión para cable forrado # 1/0 - 4/0	Q	11.10	Q 44.40
4	Grapa plástica de remate para cable forrado # 1/0 - 4/0	Q	32.25	Q 129.00
4	Tornillos maquina 5/8" X 10"	Q	10.42	Q 41.68
4	Arandela cuadrada galv. 11/16"	Q	2.05	Q 8.20
120	Cable Alum. Cuadruplex # 1/0 para 600 voltios	Q	43.40	Q 5,208.00
130	Cable Alum. Triplex # 2/0 conch	Q	19.18	Q 2,493.40
<b>CUARTO ELECTRICO</b>				
1	Tablero Trifasico de 30 polos	Q	1,116.61	Q 1,116.61
1	Breaker de 300 amp	Q	1,700.00	Q 1,700.00
1	Mufa 1 1/2" de Aluminio	Q	27.00	Q 27.00
LISTADO DE MATERIALES PARA ACOMETIDA Y BAJADA A LAS INSTALACIONES DEL CUARTO DE LOS INVERSORES				
Cantidad	Material		Costo Unitario	Costo total
8	Cajas de conexiones para los modulos	Q	94.00	Q 752.00
150	Cable Fotovoltaico PV ZZ-F 10 Color Rojo (4mm <sup>2</sup> )	Q	13.00	Q 1,950.00
150	Cable Fotovoltaico PV ZZ-F 10 Color Negro (4mm <sup>2</sup> )	Q	13.00	Q 1,950.00
35	Rejillas portacable 4" x 4" x 8'	Q	112.54	Q 3,938.90
650	Cinchos plásticos sujetacables de varias medidas y colores	-		Q 124.99
4	Canaleta plastica color gris 80 x 60 x 2000 mm	Q	391.00	Q 1,564.00
2	Tablero trifasico 18 polos, 150 A	Q	910.42	Q 1,820.84
8	Breaker de 25 Amp	Q	100.00	Q 800.00
<b>PUESTA A TIERRA</b>				
1	Varilla para conexión a tierra cobre	Q	62.52	Q 62.52
1	Mordaza para varilla de conexión a tierra	Q	7.00	Q 7.00
4	Cable verde #8	Q	8.79	Q 35.16
SUBTOTAL				Q 28,278.90
Imprevistos 5%				Q 1,413.95
				Q 29,692.85
Iva (Exenta)				Q 3,563.14
<b>TOTAL</b>				<b>Q 26,129.70</b>

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.



## Apéndice 14. Equipos y materiales de corriente continua, propuesta 2

LISTADO DE MATERIALES PARA LA INSTALACIÓN DE CONDUCTOR CUADRUPLEX EN POSTES METALICOS			
Cantidad	Material	Costo Unitario	Costo total
2	Postes metalicos de 35'	Q 2,075.00	Q 4,150.00
2	Soporte para aislador de 1 carrizo	Q 18.75	Q 37.50
2	Aislador tipo carrizo	Q 11.85	Q 23.70
2	Amarradores para cable	Q 14.20	Q 28.40
4	Argollas sin Rosca	Q 22.00	Q 88.00
2	Grapa de suspensión para cable forrado # 1/0 - 4/0	Q 11.10	Q 22.20
4	Grapa plástica de remate para cable forrado # 1/0 - 4/0	Q 32.25	Q 129.00
4	Tornillos maquina 5/8" X 10"	Q 10.42	Q 41.68
4	Arandela cuadrada galv. 11/16"	Q 2.05	Q 8.20
120	Cable Alum. Cuadruplex # 1/0 para 600 voltios	Q 43.40	Q 5,208.00
<b>CUARTO ELECTRICO</b>			
1	Tablero Trifasico de 30 polos	Q 1,116.61	Q 1,116.61
1	Breaker de 300 amp	Q 1,700.00	Q 1,700.00
1	Mufa 1 1/2" de Aluminio	Q 27.00	Q 27.00
LISTADO DE MATERIALES PARA ACOMETIDA Y BAJADA A LAS INSTALACIONES DEL CUARTO DE LOS INVERSORES			
Cantidad	Material	Costo Unitario	Costo total
6	Cajas de conexiones para los modulos	Q 94.00	Q 564.00
140	Cable Fotovoltaico PV ZZ-F 10 Color Rojo (4mm <sup>2</sup> )	Q 13.00	Q 1,820.00
140	Cable Fotovoltaico PV ZZ-F 10 Color Negro (4mm <sup>2</sup> )	Q 13.00	Q 1,820.00
35	Rejillas portacable 4" x 4" x 8'	Q 112.54	Q 3,938.90
650	Cinchos plásticos sujetacables de varias medidas y colores	-	Q 124.99
4	Canaleta plastica color gris 80 x 60 x 2000 mm	Q 391.00	Q 1,564.00
1	Tablero trifasico 18 polos, 150 A	Q 910.42	Q 910.42
4	Breaker de 25 Amp	Q 100.00	Q 400.00
<b>PUESTA A TIERRA</b>			
1	Varilla para conexión a tierra cobre	Q 62.52	Q 62.52
1	Mordaza para varilla de conexión a tierra	Q 7.00	Q 7.00
4	Cable verde #8	Q 8.79	Q 35.16
SUBTOTAL			Q 23,827.28
Imprevistos 5%			Q 1,191.36
Iva (Exenta)			Q 25,018.64
<b>TOTAL</b>			<b>Q 3,002.24</b>
<b>TOTAL</b>			<b>Q 22,016.41</b>

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

## Apéndice 15. Matriz de coherencia

Preguntas de Investigación	Objetivos	Metodología	Conclusiones	Recomendaciones
¿Cuál es el consumo energético de las instalaciones y la tendencia al alza de la factura de energía eléctrica?	Estimar el consumo energético de las instalaciones y la tendencia al alza de la factura de energía eléctrica.	Historial energético en los años 2018 - 2019	Se estimó el consumo energético de las instalaciones y la tendencia al alza de la factura de energía eléctrica donde el consumo energético de las instalaciones del centro universitario del sur es de 10,022 kWh/mes. Se encuentra una tendencia anual al alza de la factura de energía eléctrica.	Se propone al sector gubernamental e instituciones privadas, el uso de sistemas de generación de energía eléctrica. provenientes de fuentes renovables, como lo es la energía solar fotovoltaica.
¿Cómo se comportan diferentes propuestas de los componentes de un sistema solar, para obtener un mejor indicador costo-beneficio?	Analizar diferentes propuestas de los componentes de un sistema solar, para obtener un mejor indicador costo-beneficio.	Instalaciones, costos de equipo, producción energética del sistema solar	Se analizaron diferentes propuestas de los componentes de un sistema solar. Los costos de los equipos fotovoltaicos representan el 90% de la inversión inicial. Para el sistema solar fotovoltaico conectado a la red, se debe usar la propuesta 2, que es acorde a las necesidades energéticas del centro universitario del sur y brinda mejor costo beneficio a lo largo de la vida útil de los equipos, que oscila en 25 años.	Se deben realizar mantenimientos de rutina en los paneles solares, que básicamente consisten en limpieza de la cubierta superficial de los mismos. Se recomienda a las autoridades del centro universitario del sur, coordinar el mantenimiento preventivo y correctivo de los techos de loza de cemento donde se encuentran los paneles, a efecto de mantener el buen funcionamiento de estos y su vida útil.

## Continuación apéndice 15.

<p>¿Cuáles son los costos de equipo y mantenimiento, así como los ahorros en energía y monetarios para realizar un análisis financiero de VAN, TIR y Retorno de la inversión?</p>	<p>Determinar los costos de equipo y mantenimiento, así como los ahorros en energía y monetarios para realizar un análisis financiero de VAN, TIR y Retorno de la inversión.</p>	<p>Ahorro energético en KWH, económico en Q.</p>	<p>El ahorro en los costos de energía eléctrica para la propuesta 2, es del 51 %. Así mismo el análisis financiero de Valor Actual Neto, es positivo a los 8 años de iniciado el proyecto, en este mismo tiempo la Tasa Interna de Retorno es igual a la tasa de interés utilizada para su evaluación. El análisis de Retorno de la Inversión es positivo a los 6 años.</p>	<p>Es muy importante poner en marcha este tipo de proyectos en otros lugares y observar los valores de consumo y producción de energía eléctrica y de esta forma obtener datos puntuales que permitan evaluar la rentabilidad y los beneficios obtenidos.</p>
<p>¿Cuál es la reducción de CO<sub>2</sub> de toneladas equivalentes al implementar el sistema solar fotovoltaico?</p>	<p>Establecer la reducción de CO<sub>2</sub> de toneladas equivalentes.</p>	<p>Factor de medición por producción de energía renovable.</p>	<p>Se estableció la reducción de CO<sub>2</sub> en el ambiente; ya que, con el proyecto solar fotovoltaico, se realiza una reducción de 42.00 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalentes anualmente. Esto se traduce en una significativa contribución en la reducción de gases de efecto invernadero en la atmósfera, a la protección y mejoramiento del ambiente. Así mismo al aumento del uso de energías limpias y renovables, como una alternativa efectiva.</p>	<p>Es necesario promover el uso de otras fuentes de energía renovable, como lo son: <i>eólica</i>, solar térmica, biomasa, entre otros. Que contribuyen a mejoramiento del medio ambiente y a la no generación de gases de efecto invernadero.</p>

Fuente: elaboración propia.



## ANEXOS

### Anexo 1. Especificaciones técnicas de panel solar Yingli Solar, YLM 144 Cell, 410 w

#### ELECTRICAL PERFORMANCE

Electrical parameters at Standard Test Conditions (STC)					
Module type			YLxxxD-36b 1/2 (xxx=Pmax)		
			YLxxxD-36b 1500V 1/2 (xxx=Pmax)		
Power output	$P_{max}$	W	400	405	410
Power output tolerances	$\Delta P_{max}$	W	0/+5		
Module efficiency	$\eta_m$	%	19.9	20.1	20.4
Voltage at $P_{max}$	$V_{mpp}$	V	41.15	41.40	41.65
Current at $P_{max}$	$I_{mpp}$	A	9.73	9.79	9.85
Open-circuit voltage	$V_{oc}$	V	50.00	50.30	50.60
Short-circuit current	$I_{sc}$	A	10.26	10.32	10.38

STC: 1000W/m<sup>2</sup> irradiance, 25°C module temperature, AM1.5g spectrum according to EN 60904-3.  
Average relative efficiency reduction of 3.0% at 200W/m<sup>2</sup> according to EN 60904-1.

Electrical parameters at Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)					
Power output	$P_{max}$	W	303.4	307.2	311.0
Voltage at $P_{max}$	$V_{mpp}$	V	39.0	39.2	39.5
Current at $P_{max}$	$I_{mpp}$	A	7.78	7.83	7.88
Open-circuit voltage	$V_{oc}$	V	47.4	47.7	48.0
Short-circuit current	$I_{sc}$	A	8.28	8.33	8.37

NOCT: open-circuit module operation temperature at 800W/m<sup>2</sup> irradiance, 20°C ambient temperature, 1m/s wind speed.

#### OPERATING CONDITIONS

Max. system voltage	1000V <sub>dc</sub> or 1500V <sub>dc</sub>
Max. series fuse rating	15A
Limiting reverse current	15A
Operating temperature range	-40°C to 85°C
Max. static load, front (e.g., snow)	5400Pa
Max. static load, back (e.g., wind)	2400Pa
Max. hailstone impact (diameter / velocity)	25mm / 23m/s

Fuente: WNF (2020). *Panel solar*. Consultado el 12 de septiembre de 2021. Recuperado de <https://es.ensolar.com/yingli-green-energy>.

## Anexo 2. Medidas de panel solar Yingli Solar, YLM 144 Cell, 410 w

### GENERAL CHARACTERISTICS

Dimensions (L / W / H)	2015mm / 996mm / 35mm
Weight	22.7kg

### PACKAGING SPECIFICATIONS

Number of modules per pallet	30
Number of pallets per 40' container	22
Packaging box dimensions (L / W / H)	2055mm / 1110mm / 1150mm
Box weight	730kg

Fuente: WNF (2020). *Panel solar*. Consultado el 12 de septiembre de 2021. Recuperado de <https://es.ensolar.com/yingli-green-energy>.

## Anexo 3. Inversor Huawei 20 KTL, 120 – 208 V

Technical Specification	SUN2000-20KTL-M3
<b>Efficiency</b>	
Max. Efficiency	97.6%
European Efficiency	97.2%
<b>Input</b>	
Recommended Max. PV Power	30,000 Wp
Max. Input Voltage <sup>1</sup>	750 V
Max. Current per MPPT	26 A
Max. Short Circuit Current per MPPT	40 A
Start Voltage	200 V
MPPT Operating Voltage Range <sup>2</sup>	200 V – 750V
Rated Input Voltage	360 V
Number of Inputs	8
Number of MPP Trackers	4
<b>Output</b>	
Rated AC Active Power	20,000 W
Max. AC Apparent Power	22,000 VA
Max. AC Active Power (cosφ=1)	22,000 W
Rated Output Voltage	120 Vac / 208 Vac, 3W/N+PE 127 Vac / 220 Vac, 3W/N+PE
Rated AC Grid Frequency	50 Hz / 60Hz
Rated Output Current	57.2 A / 202 Vac 52.5 A / 220 Vac 63.2 A / 202 Vac 58.0 A / 220 Vac
Max. Output Current	58.0 A / 220 Vac
Adjustable Power Factor Range	0.8 LG ... 0.8 LD
Max. Total Harmonic Distortion	<3%

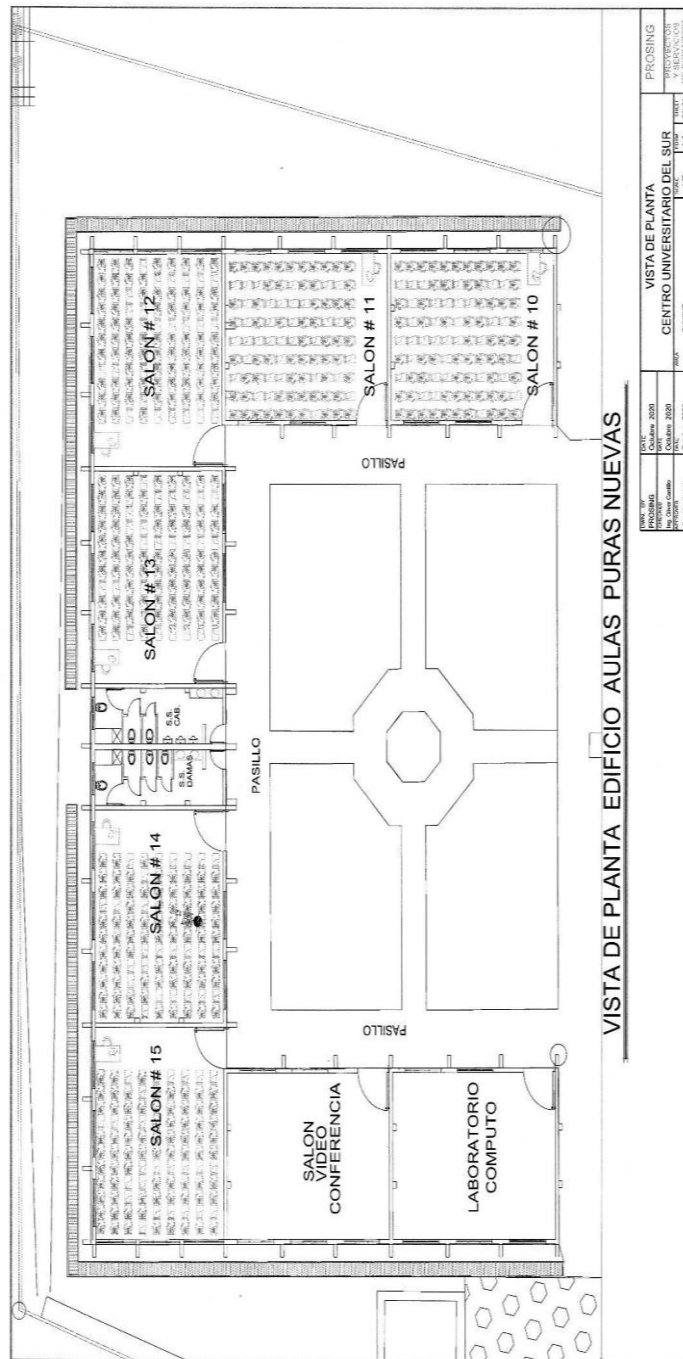
Fuente: WNF (2020). *Panel solar*. Consultado el 12 de septiembre de 2021. Recuperado de <https://es.ensolar.com/yingli-green-energy>.

#### Anexo 4. Distribución de las instalaciones



Fuente: Oficina de planificación de CUNSUR (2020). *Planos*.

Anexo 5. Vista de planta de aulas utilizadas para paneles solares



Fuente: Oficina de planificación de CUNSUR (2020). Planos.