



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Estudios de Postgrado  
Maestría en Gestión de Mercados Eléctricos Regulados

**ANÁLISIS DE GENERACIÓN ENERGÉTICA MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DE  
RECURSO SOLAR FOTOVOLTAICO EN EL EDIFICIO T-3 Y SU CONEXIÓN AL SISTEMA  
ELÉCTRICO**

**Ing. Juan Alejandro Ortíz Chial**

Asesorado por la Msc. Inga. Ismelda Isabel López Tohom

Guatemala, octubre de 2021



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS DE GENERACIÓN ENERGÉTICA MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DE  
RECURSO SOLAR FOTOVOLTAICO EN EL EDIFICIO T-3 Y SU CONEXIÓN AL SISTEMA  
ELÉCTRICO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**ING. JUAN ALEJANDRO ORTÍZ CHIAL**

ASESORADO POR LA MSC. INGA. ISMELDA ISABEL LÓPEZ TOHOM

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**MAESTRO EN GESTIÓN DE MERADOS ELÉCTRICOS REGULADOS**

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2021



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
DIRECTOR	Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí
EXAMINADOR	Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque
EXAMINADOR	Ing. Víctor Manuel de León Contreras
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:

### **ANÁLISIS DE GENERACIÓN ENERGÉTICA MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DE RECURSO SOLAR FOTOVOLTAICO EN EL EDIFICIO T-3 Y SU CONEXIÓN AL SISTEMA ELÉCTRICO**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 14 de julio de 2020.



**Ing. Juan Alejandro Ortiz Chial**



**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

**Decanato**  
**Facultad de Ingeniería**  
**24189101 - 24189102**

DTG. 536.2021.

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 Postgrado, al Trabajo de Graduación titulado: **ANÁLISIS DE GENERACIÓN ENERGÉTICA MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DE RECURSO SOLAR FOTOVOLTAICO EN EL EDIFICIO T-3 Y SU CONEXIÓN AL SISTEMA ELÉCTRICO**, presentado por el Ingeniero Juan Alejandro Ortiz Chial, estudiante de la **Maestría en Gestión de Mercados Eléctricos Regulados** y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Inga. Anabela Cordova Estrada  
Decana



Guatemala, octubre de 2021.

AACE/cc





**Guatemala, octubre de 2021**

LNG.EEP.OI.037.2021

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:

**“ANÁLISIS DE GENERACIÓN ENERGÉTICA MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DE RECURSO SOLAR FOTOVOLTAICO EN EL EDIFICIO T-3 Y SU CONEXIÓN AL SISTEMA ELÉCTRICO”**

presentado por **Juan Alejandro Ortíz Chial** quien se identifica con carné **200413142** correspondiente al programa de **Maestría en artes en Gestión de mercados eléctricos regulados** ; 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, 16 de noviembre de 2020.

**M.Sc. Edgar Darío Álvarez Cotí**  
Director Escuela de Estudios de Postgrado  
Presente

**M.Sc. Ingeniero Álvarez Cotí:**

Por este medio informo que he revisado y aprobado el **INFORME FINAL** del trabajo de graduación titulado: **“ANÁLISIS DE GENERACIÓN ENERGÉTICA MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DE RECURSO SOLAR FOTOVOLTAICO EN EL EDIFICIO T-3 Y SU CONEXIÓN AL SISTEMA ELÉCTRICO”** del estudiante **Juan Alejandro Ortiz Chial** quien se identifica con número de carné 200413142 del programa de **Maestría en Gestión de Mercados Eléctricos Regulados**.

Con base en la evaluación realizada hago constar que he evaluado la calidad, validez, pertinencia y coherencia de los resultados obtenidos en el trabajo presentado y según lo establecido en el **Normativo de Tesis y Trabajos de Graduación aprobado por Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería Punto Sexto inciso 6.10 del Acta 04-2014 de sesión celebrada el 04 de febrero de 2014**. Por lo cual el trabajo evaluado cuenta con mi aprobación.

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

Atentamente,

**M.Sc. Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque**  
Coordinador  
Área de Desarrollo Socio Ambiental y Energético  
Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería USAC







## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Por darme salud, vida y sabiduría para poder concluir mis estudios.
- Mis padres** Benjamín Ortiz y Mercedes Chial, por el apoyo que me brindaron durante mis estudios.
- Mis hermanos** Por brindarme apoyo, cariño y comprensión
- Mi hijo** Berner Benjamín Ortíz quien me ha dado la fortaleza de ser mejor cada día.



## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por darme la oportunidad de formarme y ser parte de esta casa de estudios.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por brindarme todas las herramientas para poder desempeñarme como un profesional.
<b>Escuela de Estudios de Postgrado</b>	Por haberme proporcionado el conocimiento necesario para poder ser un profesional de éxito.





## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	IX
GLOSARIO.....	XI
RESUMEN .....	XIII
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	XV
OBJETIVOS .....	XVII
RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO .....	XIX
INTRODUCCIÓN .....	XXIII
1. MARCO REFERENCIAL.....	1
1.1. Estudios realizados previamente .....	1
2. MARCO TEÓRICO .....	5
2.1. Reseña histórica de energía solar fotovoltaica .....	5
2.1.1. Principios de funcionamiento de celdas fotovoltaicas.....	7
2.1.2. Módulo fotovoltaico .....	9
2.1.3. Aplicaciones de la energía solar fotovoltaica .....	9
2.1.4. Evolución de conversión de energía solar fotovoltaica..	12
2.2. Componentes de un sistema de generación de energía solar fotovoltaica .....	13
2.2.1. Estructuras de soportes para paneles solares .....	14
2.2.2. Paneles solares fotovoltaicos .....	15
2.2.3. Cables para sistemas de generación solar fotovoltaica.	17
2.2.4. Tipos de de Inversores, capacidades y conexiones existentes.....	18

2.2.5.	Protecciones eléctricas del sistema solar fotovoltaico ...	19
2.3.	Leyes y normativas para la generación de energía solar fotovoltaica .....	21
2.4.	Contadores bidireccionales.....	22
2.5.	Protecciones eléctricas y sistemas de tierra física.....	23
2.6.	Subsector eléctrico en Guatemala .....	24
2.6.1.	Marco regulatorio.....	24
2.6.2.	Pliegos tarifarios.....	25
3.	DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN .....	27
3.1.	Situación actual .....	27
3.2.	Características del estudio.....	28
3.3.	Variables e indicadores.....	29
3.4.	Fases del estudio .....	30
3.4.1.	Características del área a utilizar .....	30
3.4.2.	Selección de sistema solar fotovoltaico .....	37
3.4.3.	Instalaciones eléctricas existentes .....	40
3.4.4.	Proyección de la energía generada .....	49
3.4.5.	Prefactibilidad técnica .....	52
3.4.6.	Prefactibilidad económica .....	54
4.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS .....	55
4.1.	Características del área a utilizar .....	55
4.2.	Selección del sistema fotovoltaico.....	58
4.3.	Instalaciones eléctricas existentes .....	61
4.4.	Proyección de la energía generada .....	65
4.5.	Prefactibilidad técnica .....	67
4.6.	Prefactibilidad económica .....	74

5.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	77
5.1.	Características del área por utilizar.....	77
5.2.	Selección del sistema fotovoltaico .....	78
5.3.	Instalaciones eléctricas existentes.....	79
5.4.	Proyección de la energía generada .....	80
5.5.	Prefactibilidad técnica .....	81
5.6.	Prefactibilidad económica.....	83
	CONCLUSIONES .....	85
	RECOMEDACIONES .....	87
	REFERENCIAS.....	89
	APÉNDICES.....	93
	ANEXOS.....	99



# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1.	Célula solar fotovoltaica, unión p-n.....	7
2.	Parámetros de una celda solar y su respectivo modelo eléctrico.....	8
3.	Esquema de conexión SFCR.....	11
4.	Esquema de sistema PV en red .....	14
5.	Estructuras de soporte para paneles solares .....	15
6.	Módulo solar fotovoltaico.....	16
7.	Protecciones eléctricas de un sistema PV .....	20
8.	Azotea del edificio T-3.....	31
9.	Tanque elevado y ducto eléctrico en azotea, edificio T-3.....	32
10.	Área disponible para instalación de inversores .....	32
11.	Planos del edificio T-3, Nivel 0, 1 y 2 .....	34
12.	Planos del edificio T-3, Nivel 3, 4 y 5 .....	35
13.	Azotea del edificio T-3 con ejes.....	36
14.	Azotea del edificio T-3 con ejes.....	37
15.	Distribución de paneles solares en azotea del edificio T-3.....	38
16.	Orientación del edificio T-3 .....	39
17.	Ducto eléctrico y cuarto eléctrico en nivel 0, Edificio T-3.....	41
18.	Ubicación de ducto eléctrico y cuarto eléctrico en plano, edificio T-3.....	42
19.	Tablero principal, ubicado en cuarto eléctrico nivel 0, edificio T-3.....	44
20.	Transformador tipo pedestal de 500KVA, edificio T-3.....	45
21.	Medición primaria y contador eléctrico, edificio T-3 .....	46
22.	Red de tierra física.....	47
23.	Simbología de red de tierra física .....	48

24.	Detalle constructivo I, red de tierra .....	48
25.	Detalle constructivo II, red de tierra .....	49
26.	Detalle constructivo III, red de tierra .....	49
27.	Energía mensual generada .....	52
28.	Ubicación del edificio T-3, de la Facultad de Ingeniería, del campus central de la zona 12, de la Universidad de San Carlos de Guatemala .....	55
29.	Esquema de azotea, edificio T-3.....	56
30.	Vista de azotea A-A, del eje 5 al 1, edificio T-3 .....	56
31.	Vista B-B, del eje 1 al 5, edificio T-3.....	57
32.	Ducto Eléctrico T-3 .....	58
33.	Distribución de paneles solares en azotea, edificio T-3 .....	59
34.	Ampliación de ducto eléctrico y distribución de equipos .....	60
35.	Ubicación de tablero principal en nivel cero, edificio T-3 .....	61
36.	Tablero principal T-P, en cuarto eléctrico del edificio T-3 .....	62
37.	Interruptor principal del tablero de 2000 amperios, edificio T3 .....	62
38.	Espacio disponible en tablero principal, edificio T-3.....	63
39.	Diagrama unifilar, edificio T-3.....	64
40.	Ubicación de paneles solares en azotea, edificio T-3 .....	65
41.	Producción del sistema.....	65
42.	Energía mensual estimada en un año, edificio T-3.....	66
43.	Consumo mensual de energía edificio T-3 2018-2019.....	68
44.	Proyección de energía generada mensual utilizando programa por computadora vs. energía consumida mensual .....	69
45.	Aspectos técnicos de los elementos DC del sistema PV .....	70
46.	Materiales eléctricos AC del sistema PV.....	71

## TABLAS

I.	Evolución de celulares fotovoltaicas.....	12
II.	Norma UL-4703 .....	17
III.	Selección de inclinación de paneles.....	51
IV.	Inversores y paneles solares, edificio T-3.....	60
V.	Parámetros estadísticos de la energía estimada, edificio T-3 .....	66
VI.	Historial de consumo del edificio T-3, 2018-2019.....	67
VII.	Parámetros estadísticos históricos consumido del edificio T3.....	68
VIII.	Tabla de ingresos y egresos del sistema PV .....	75
IX.	Cálculo del VAN y TIR .....	75
X.	Comparación de energía estimada y consumida edificio T-3.....	82





## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>I</b>	Corriente
<b>D</b>	Eficiencia
<b>h</b>	Hora
<b>K</b>	Kilo
<b>kWh</b>	Kilo watt hora
<b>M</b>	Mega
<b>m</b>	Metro
<b>m<sup>2</sup></b>	Metro cuadrado
<b>R<sub>p</sub></b>	Resistencia en paralelo
<b>R<sub>s</sub></b>	Resistencia en serie
<b>V</b>	Voltaje



## GLOSARIO

<b>GEI</b>	Gases de efecto invernadero, son gases que se acumulan en la atmosfera de la tierra y que absorber energía infrarroja del Sol, esto crea el denominado efecto invernadero, que contribuye al calentamiento global del planeta.
<b>Isc</b>	Corriente de corto circuito, es la corriente máxima que puede llegar a obtener del panel solar cuando trabaja como generador.
<b>MPPT</b>	Son las siglas en ingles de Maximus Power Point Traker o seguidor de punto máximo de potencia, son reguladores incorporados al inverter que calculan la potencia óptima para alimentar al inversor.
<b>NTGDR</b>	Las normas técnicas de generación distribuida renovable y usuarios autoprodutores con excedente de energía.
<b>SFCR</b>	Sistema fotovoltaico conectado a la red, es un sistema que trabaja de manera conjunta a la red eléctrica.
<b>Sistema PV</b>	Componentes del sistema que transforma energía solar en energía eléctrica a través de la energía fotovoltaica.

**Voc**

Voltaje de circuito abierto, es un parámetro específico por el fabricante de paneles solares, el cual varía con la temperatura ambiente.

## RESUMEN

Esta investigación, tiene como objetivo analizar la generación energética, mediante el aprovechamiento del recurso solar fotovoltaico, dentro del edificio T-3, utilizando como base para el análisis; la prefactibilidad técnica para la instalación de un sistema solar fotovoltaico en azotea del edificio T-3, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Para lo cual se inició, realizando una investigación bibliográfica.

Luego se realizó una investigación de campo, donde se verificó el área disponible en azotea, tableros eléctricos existentes y rutas por donde se debe proponer la interconexión del sistema solar fotovoltaico, dentro del sistema eléctrico del edificio T-3. Esto con la finalidad de evaluar, qué el sistema solar fotovoltaico es el más eficiente de acuerdo con las características del área.

Se analizó la información recabada y se solicitó a la Empresa Eléctrica de Guatemala, el historial de consumo de energía eléctrica del edificio T-3 de los años 2018 y 2019.

Se utilizaron distintos métodos tradicionales y un programa por computadora, para realizar los cálculos de proyección de generación de energía del sistema PV seleccionado. Con esto se determinó que la energía generada por el sistema solar fotovoltaico es mucho menor a la energía consumida el edificio T-3.

Se analizó la prefactibilidad técnica, se presenta una evaluación económica, donde se demuestra que el sistema PV, propuesto para el edificio T-3 es factible y a la vez replicable, si se tienen las condiciones mínimas para ser instalado.

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente el edificio T-3 de la Facultad de Ingeniería del campus central de zona 12, de la Universidad de San Carlos de Guatemala, consume energía eléctrica de forma convencional; es decir, suministrada por un distribuidor de energía eléctrica.

Debido al incremento de equipos de cómputo que se ha presentado en las últimas décadas en el edificio T-3, se ha generado un aumento de consumo de energía eléctrica y esto conlleva a que la facturación mensual de energía tenga un costo más elevado. Esta impacta de manera negativa a la población estudiantil de la Facultad de Ingeniería, tomando en cuenta que se disminuye la inversión en proyectos u oportunidades que pueden incidir en la educación de los estudiantes.

Cabe mencionar que, el uso de luminarias ineficientes como incandescentes o fluorescentes, en el sistema de iluminación y la falta de mantenimiento de todos los tableros eléctricos, genera pérdidas de energía en el sistema eléctrico del edificio T-3, lo cual produce, aumento en el consumo de energía y mayor aportación de gases de efecto invernadero (GEI) hacia el ambiente.

Por tal motivo surge la necesidad de buscar una solución al problema, tomando en consideración que según Ministerio de Energía y Minas (2018) Guatemala, por su posición geográfica cuenta con un gran potencial solar de aproximadamente 5.3 kWh/m<sup>2</sup>, ante tal situación, se puede pensar en aprovechar

el potencial energético utilizando un sistema de generación solar de tipo fotovoltaico.

De lo anterior se plantea la pregunta principal de investigación:

¿Cuál es el máximo potencial energético solar fotovoltaico que se puede aprovechar en el edificio T-3, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala?

Para responder esta pregunta principal, se auxilia de otras preguntas secundarias que se presentan a continuación:

¿La azotea del edificio T-3, tiene las características necesarias para la instalación del sistema solar fotovoltaico?

¿Qué tipo de sistema de generación de energía solar fotovoltaica, es el más adecuado para el edificio T-3?

¿Qué modificaciones deben realizarse en las instalaciones eléctricas existentes, para que el sistema solar fotovoltaico funcione eficientemente?

¿Técnicamente será factible la implementación de un sistema solar fotovoltaico en el edificio T-3?



# OBJETIVOS

## General

Evaluar cuál es el máximo potencial energético solar fotovoltaico, que se puede aprovechar en el edificio T-3, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

## Específicos

- Determinar si la azotea del edificio T-3, tiene las características necesarias para la instalación del sistema solar fotovoltaico.
- Evaluar el tipo de sistema de generación de energía solar fotovoltaica más adecuado para el edificio T-3.
- Desarrollar las modificaciones necesarias que se deben realizar en las instalaciones eléctricas existentes, para que el sistema solar fotovoltaico funcione correctamente.
- Evaluar la prefactibilidad técnica de la implementación de un sistema solar fotovoltaico, en la azotea del edificio T-3



## RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

Este estudio se centra en el análisis de generación energética mediante el aprovechamiento de recurso solar fotovoltaico, utilizando la azotea del edificio T-3, del campus central de la zona 12, de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

El enfoque de la metodología de investigación es descriptivo y de tipo cuantitativo, se desarrollaron métodos estadísticos como la media, media y la desviación estándar para dicho análisis.

Las técnicas de análisis de información utilizadas fueron, por medio de análisis de recopilación de datos y análisis documental.

El consumo de energía del edificio T-3, es la primera variable identificada, esta fue de tipo numérica, continua y observable, su nivel de medición fue a razón; el indicador de esta variable fue en kWh.

La potencia de diseño del sistema de energía PV, fue la segunda variable analizada, esta es independiente y su nivel de medición fue a razón, el indicador utilizado fue kW.

La tercera variable que se identificó, fue la energía generada por el sistema PV, esta variable es de carácter observable y su indicador es kWh, el instrumento de medición es un programa por computadora.

Las fases del estudio se dividieron en cinco unidades que se describen a continuación.

Características del área por utilizar, en esta fase se define el área a utilizar para la instalación del sistema PV, se editan planos de ubicación de equipos del sistema PV.

Selección del sistema PV, en esta fase se define la capacidad del panel a utilizar, la distribución de los paneles solares en el área seleccionada, como también la orientación e inclinación de los paneles solares.

Instalaciones eléctricas existentes, en esta fase se ubica el tablero eléctrico principal del edificio T-3 y sus respectivas cargas, dentro de la ubicación de ductos, cuartos eléctricos, transformadores eléctricos y acometida existente.

Proyección de la energía generada, en esta fase se realizan cálculos matemáticos para estimar la energía eléctrica que generará el sistema PV, además se estima también que esta energía generada por medio de un programa de computadora, el cual da como resultado un cálculo más preciso.

Prefactibilidad técnica, en esta fase se calcula la demanda de consumo de energía del edificio T-3, utilizando el historial de consumo de los años 2018 y 2019, luego se cuantifican todos los elementos técnicos que conforman el sistema PV.

Además, se enumeran los requisitos mínimos para que el sistema PV, funcione correctamente, se realiza una comprobación matemática a los inversores para verificar que trabajen en los rangos de voltaje y corriente

adecuados y al final se presenta un análisis de prefactibilidad económica del sistema PV.



## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación se realiza con la finalidad de aprovechar el potencial energético solar fotovoltaico en el edificio T-3, de la Facultad de Ingeniería, ubicado en el campus central de la zona 12, de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Para aprovechar dicho potencial, la investigación se centra en la prefactibilidad técnica de la instalación de un sistema de generación de energía renovable, de tipo solar fotovoltaica, en el área de la azotea del edificio T-3.

El objetivo de esta investigación es el aprovechamiento del potencial energético del edificio T-3, con lo cual también se pretende disminuir el costo del consumo de energía eléctrica. Al utilizar una fuente de energía de tipo renovable, como es la energía solar fotovoltaica se disminuye las aportaciones de GEI al medio ambiente.

Para la conexión al sistema eléctrico nacional, en el estudio se incluye el análisis de implementación de un contador bidireccional, el cual tiene la capacidad de medir, la energía entregada por la empresa suministradora para el consumo (en este caso el edificio T-3) y la energía entregada por el sistema de generación solar fotovoltaico, a esta medición se le denomina balance neto (Pradeep y Maharaja, 2016).

Dado lo anterior esta investigación, será un aporte positivo para la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, ya que, al aprovechar el recurso energético solar, se disminuye el costo de facturación de

energía eléctrica y se amplían las oportunidades de inversión en otros aspectos relacionados con la educación o infraestructura de la facultad.

Para una mejor comprensión de esta investigación, en el primer capítulo se presenta un marco referencial donde se mencionan estudios similares a esta investigación, que servirán de referencia durante la investigación.

En el segundo capítulo se desglosa en seis secciones. En la primera sección se expone una breve historia acerca de los orígenes de la energía solar fotovoltaica, luego se presentan los componentes que conforman un sistema de generación fotovoltaica, seguido de las normativas vigentes aplicadas a los sistemas de generación fotovoltaica, los contadores bidireccionales y por último un subcapítulo del sector eléctrico guatemalteco.

En el capítulo tres, se desarrolla la investigación de campo, en la cual está dedicada a la recolección de datos tales como, dimensiones del área disponible para la implementación del sistema PV, ubicación y características eléctricas de tableros, transformador, acometida y ductos eléctricos; para dicha recolección de datos, se tuvo el acompañamiento en todo momento del personal de mantenimiento del edificio T-3.

Con todos los datos obtenidos se desarrolla el capítulo cuatro, donde se presentan figuras y gráficas que representan los resultados de la investigación, posteriormente en el siguiente capítulo, se discuten los resultados para luego presentar las conclusiones de los mismo.



# 1. MARCO REFERENCIAL

A continuación, se presenta algunos estudios relacionados con esta investigación.

## 1.1. Estudios realizados previamente

Villatoro (2015) Guatemala, al estar en las cercanías del ecuador, cuenta con un alto potencial para el aprovechamiento de la energía solar. Tomando en consideración que los costos de los elementos que integran un sistema solar fotovoltaico, han disminuido en los últimos años, la generación de energía a partir del sol ha aumentado considerablemente.

Villatoro (2015) Para un diseño de un sistema de energía solar fotovoltaica (SGESF), se debe conocer los componentes que lo integran para su instalación y mantenimiento. Con el sistema se puede autoabastecer la edificación en donde sea instalado, sin dejar de tomar en cuenta el punto geográfico y su orientación donde esté ubicado, las gestiones ambientales para su aprobación, las normativas vigentes en el país donde sea instalados como también los incentivos que estén a favor de este tipo de tecnologías.

Yantuche y Reyes (2015) En el diseño de una planta generadora de energía solar fotovoltaica, debe también considerarse todos los elementos que la conforman, tales como banco de acumuladores, reguladores de carga, inversores, transformadores, paneles solares, cableados, elementos de protección y sistemas de medición. Al momento de su diseño como referencia se

puede tomar plantas que estén trabajando actualmente en el país; como ejemplo Horus Energía, la cual cuenta con 187,360 módulos solares, los cuales generan 88MW, también se puede mencionar SIBO Energía que tiene una capacidad de 5MW. Los elementos de instrumentación utilizados en dichas plantas son, voltímetros, amperímetros, termómetros industriales, cámaras termográficas, higrómetro, monitor de baterías, óhmetros, frecuencímetro, pirómetro; es de gran importancia conocer el funcionamiento de cada uno de estos elementos ya que la instrumentación es parte fundamental de una planta de generación fotovoltaica.

“Al momento del diseño de un sistema fotovoltaico y evaluar las instalaciones eléctricas existentes, se deben considerar normativas nacionales e internacionales para su correcto funcionamiento” (Wiles, 1996, pág. 4). “El Código Eléctrico Nacional se aplica a casi todas las instalaciones de energía fotovoltaica, incluso a aquellas con tensiones inferiores a 50 voltios. Abarca sistemas autónomos y conectados al sistema nacional interconectado” (Wiles, 1996, pág. 12).

Ortiz (2013) La viabilidad Técnica nos permite responder las preguntas de investigación de un proyecto, es viable técnicamente la instalación de un sistema de generación de electricidad a partir de la luz solar?, para poder responder estas preguntas, es necesario conocer el comportamiento principalmente a nivel internacional así como los sistemas instalados nacionalmente, también debe conocerse quienes son los mayores fabricantes a nivel nacional e internacional de los elementos que integran dichos sistemas. Se debe observar cómo los precios han ido variando con los años y estimar cuál es la tendencia a futuro de dichos componentes.

Pradeep y Maharaja (2016) Los sistemas de generación de energía solar fotovoltaicos (SGESF), son una solución perfecta para las áreas residenciales urbanas, ya que el sistema es silencioso. El principal problema los sistemas solares, es la variabilidad que se da a lo largo del día. Cuando los sistemas solares fotovoltaico (PV) se encuentran conectados al Sistema Eléctrico Nacional, la demanda se puede satisfacer mediante el uso del mismo, cuando el sistema PV no genera la suficiente energía para satisfacer la demanda.



## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Reseña histórica de energía solar fotovoltaica

Salazar y Serrato (2018) La energía solar fotovoltaica, es obtenida cuando la luz del sol incide sobre una célula especialmente fabricada, para absorber y transformar dicha luz en energía eléctrica.

El efecto fotovoltaico fue descubierto en 1,839 por el físico Alexandre Edmond Becquerel, este efecto consiste en transformar la luz en energía eléctrica utilizando un semiconductor (Bravo y Valdivia, 2018). El experimento de Becquerel consiste en la aparición de tensión entre los bornes de dos placas de metal, diluidas en un ácido e iluminando una de ellas (Salazar y Serrato, 2018).

No fue sino hasta el año de 1,877 que el inglés Willima Grylls, crea la primera célula fotovoltaica utilizando Selenio y Platino, en ese entonces Grylls era catedrático del prestigioso King Collage de Londres, junto a su estudiante Richard Evans, descubren que al iluminar una unión entre Platino y Selenio se creaba un efecto fotovoltaico. Con este descubrimiento se demostraba que se podía producir electricidad a partir de la luz sin utilizar partes móviles (Salazar *et al.*, 2018).

Debido a que la electricidad generada por esta célula era muy pequeña, fue descartada en su momento para aplicaciones prácticas (Alvarado, 2014).

El 25 de abril de 1,954 los laboratorios Bell, presentan la primera célula fotovoltaica práctica para aplicaciones, la cual estaba conformada por silicio y era mucho más eficiente que las células de Selenio. Esta célula fue creada por Gerald Pearson y perfeccionada por los científicos Daryl Chaplin y Calvin Fuller, luego de este hecho se inicia las aplicaciones de estas células como proveedoras de energía eléctrica haciéndolas cada vez más eficientes (Alvarado, 2014).

El aprovechamiento de transformar energía solar a energía eléctrica, ha ido evolucionando, desde aplicaciones pequeñas como electrodomésticos, iluminación, sensores remotos, aplicaciones hidroneumáticas, generadores aislados, hasta granjas solares de cientos de kilowatts.

La transformación de la energía solar a energía eléctrica, es denominada energía fotovoltaica, esta tecnología es obtenida a partir de la generación de corriente continua; mediante de la incidencia de luz sobre una unidad fotovoltaica (celda solar) y la medición de esta energía se realiza por medio de Vatios o KiloVatios (Salazar *et al.*, 2018).

Las celdas solares a diferencia de las baterías generan energía a partir de la incidencia de luz sobre ellas, por consiguiente, no necesitan ser cargadas, al mismo tiempo estas no pueden almacenar energía, es decir en ausencia de luz la generación de energía es cero.

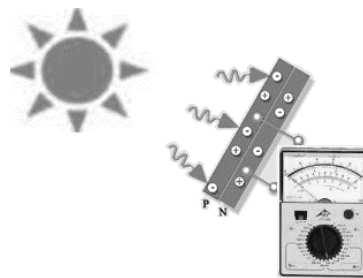
En los últimos años, el generar energía a partir de la luz solar ha ido aumentando, en países como Austria y Estados Unidos; esto se debe a que la fabricación de elementos que conforman los sistemas PV, ha ido disminuyendo en su coste de fabricación. También ha influido el impacto de las energías convencionales, sobre el medio ambiente.

En la actualidad la tecnología fotovoltaica, están basadas en silicio cristalino, pero aún sigue mejorándose la eficiencia de esta tecnología, con la finalidad de disminuir costos de producción de energía, ya que se pasó de una eficiencia del 16 % en 1,960 a un 27 % en la actualidad (Salamanca, 2012).

### 2.1.1. Principios de funcionamiento de celdas fotovoltaicas

Una célula solar está compuesta por una junta P-N, la junta P es una capa ubicada por debajo de la célula que está compuesta de Silicio dopado de tipo P, es decir cuenta con un número medio menor de electrones libres que el Silicio puro. Esto significa que, cuenta con espacios libres positivos, pero esta sigue siendo eléctricamente neutra. La junta N es la capa que se encuentra en la parte superior de celda solar, es de Silicio dopado de tipo N, es decir cuenta con un mayor número de electrones libres que el Silicio puro, cuando la luz incide sobre dicho material, esta es absorbida excitando los electrones de valencia de la capa N, pasando a la capa P, dando lugar a una carga positiva en la región N y en la región P, una carga de igual valor, pero negativa (Alvarado, 2014).

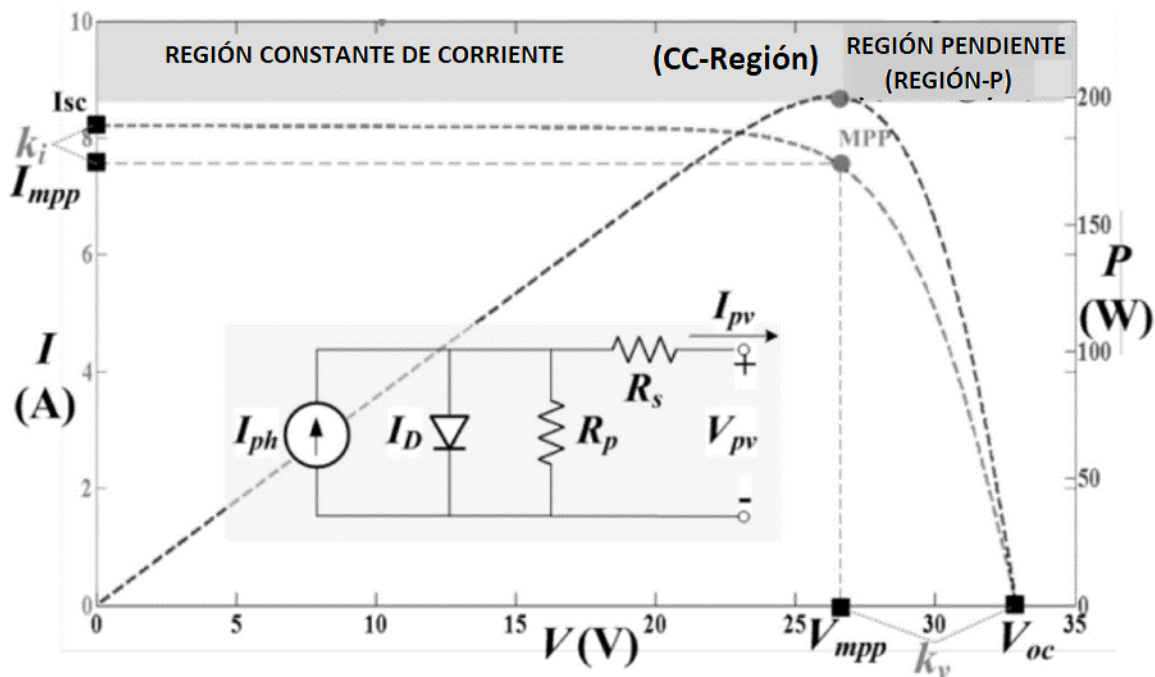
Figura 1. **Célula solar fotovoltaica, unión p-n**



Fuente: elaboración propia.

Una celda solar se caracteriza por los siguientes parámetros, voltaje de circuito abierto ( $V_{oc}$ ), corriente de corto circuito ( $I_{sc}$ ), voltaje de máxima potencia ( $V_{mpp}$ ), corriente de máxima potencia ( $I_{mpp}$ ), eficiencia de conversión ( $\eta$ ) y factor de llenado ( $FF$ ), este último es un índice de calidad de la celda, (Salamanca, 2012).

Figura 2. **Parámetros de una celda solar y su respectivo modelo eléctrico**



Fuente: Murtza, Munir, y Chiaberge, (2018) *Variable parameters for a single exponential model of photovoltaic modules in crystalline-silicon.*

En el circuito equivalente de la figura 2, se muestra una resistencia en serie ( $R_s$ ) que representan la resistencia debida al contacto metálico con el semiconductor, capas semiconductoras y la malla de metalización y una resistencia en paralelo ( $R_p$ ), que representa las fugas de corriente en los bornes de las células (Perpiñan, 2012).



### **2.1.2. Módulo fotovoltaico**

Una célula solar no genera la suficiente energía para alimentar cargas eléctricas de uso cotidiano, por lo tanto, es necesario utilizar arreglos en serie y paralelo para formar un módulo fotovoltaico, los cuales tienen la capacidad de entregar corrientes y voltajes adecuados.

El módulo fotovoltaico provee a la célula fotovoltaica, protección física a la intemperie, así como rigidez mecánica al conjunto.

Las configuraciones actuales de los módulos fotovoltaicos están constituidas con células fotovoltaicas, que permiten obtener potencias superiores a 200 Watts, y voltajes de corrientes continuas que oscilan entre 30 y 50 V (Perpiñan, 2012).

### **2.1.3. Aplicaciones de la energía solar fotovoltaica**

La energía solar fotovoltaica, tiene un sin número de aplicaciones en la actualidad, ya que la podemos encontrar en video juegos de mano, relojes, linternas y radios pequeños, así como también en generadores eléctricos de mediana escala, utilizados para alimentar hogares, granjas, equipos de telecomunicaciones aislados y aplicados a gran escala como plantas solares que generan cientos de kilovatios (Perpiñan, 2012).

Los sistemas de generación fotovoltaicos se pueden categorizar de la siguiente manera:

- Sistema fotovoltaico aislado
- Sistemas solares fotovoltaicos conectados a la red

Las instalaciones aisladas, son aplicadas en granjas, hoteles y viviendas, las cuales pueden estar ubicadas en lugares alejados, donde es más económico transformar la energía solar, que extender las líneas de transmisión del sistema eléctrico (Velásquez, 2015).

Dado que la energía solar fotovoltaica, es de tipo renovable no es necesario la presencia de combustible fósiles; pero en sistemas aislados este debe utilizar baterías para almacenar la energía, para ser utilizada durante la noche.

Entre las aplicaciones de los sistemas aislados se puede mencionar, la iluminación de alumbrado público, carteles publicitarios, paradas de autobuses, señalizaciones para el uso aéreo, balizas y satélites, para estos últimos los generadores fotovoltaicos deben contar con parámetros de diseño más robustos para soportar los ambientes a los que serán expuestos.

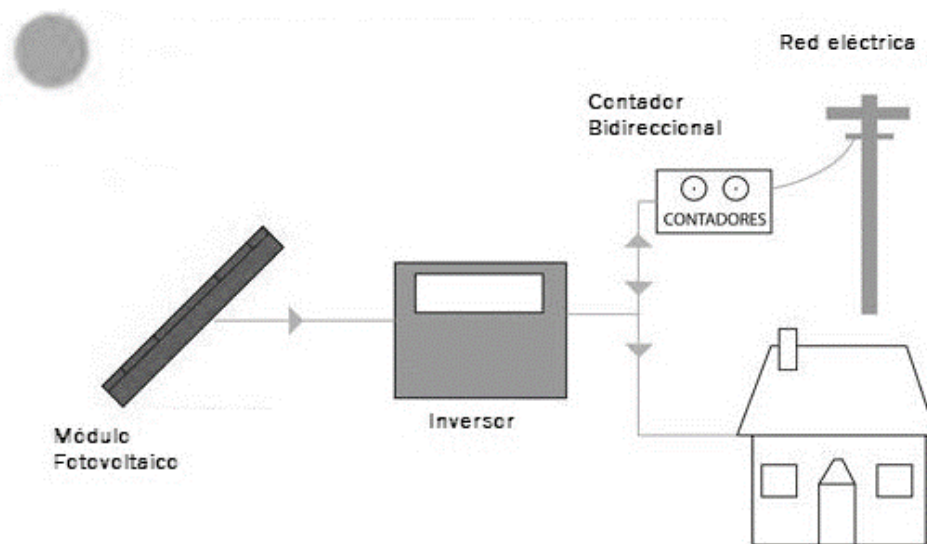
Los sistemas de generación de energía aislada, se utilizan en telecomunicaciones, especialmente teléfonos móviles, repetidores de radio y televisión, porque en algunos casos; es económicamente más caro conectar el sistema de cableado desde la red eléctrica hasta estos puntos de consumo (Grupo NAP, 2002).

Los sistemas aislados que utilizan la energía solar, son muy utilizados en áreas rurales ya que con ayuda de inversores de ondas senoidales especializados y bancos de baterías, es posible la conexión de electrodomésticos, con restricción de la potencia o limitando el número máximo de estos funcionando al mismo tiempo.

Por último, otra aplicación que se le ha dado al sistema PV aislado, es en la explotación agrícola y ganadera, la cual es utilizada para la alimentación de bombas de riego, bombas de abrevadero de ganado, sistema de ordeño y refrigeración de leche.

Un sistema de generación solar fotovoltaica que está conectado a una red eléctrica, debe generar energía para el autoconsumo, y el exceso puede inyectarse en la red, respetando los normativos y estándares del país donde sea instalado dicho generador (Velásquez, 2015).

Figura 3. **Esquema de conexión SFCR**



Fuente: elaboración propia, utilizando Paint.

Los sistemas fotovoltaicos conectados a la red (SFCR), se clasifican en dos grupos: los que se encuentran en piso y los que se ubican en edificaciones (Perpiñan, 2012).

Los sistemas en piso, pueden ser de tipo estáticos o con seguimiento, la selección de este se realiza para mejorar la productividad (Perpiñan, 2012).

#### 2.1.4. Evolución de conversión de energía solar fotovoltaica

Las células solares fotovoltaicas, han evolucionado con los años y han sido clasificadas en primera generación, segunda generación y tercera generación (Lima y Pereira, 2019).

Tabla I. Evolución de celulares fotovoltaicas

Primera Generación	<p>Son constituidas de obleas de silicio, tienen buena eficiencia y buen rendimiento a largo plazo, estas pueden ser monocristalina o policristalina.</p> <p>Las monocristalina presentan una eficiencia de 17 % al 27 %, pero el costo de fabricación es mayor en comparación a las policristalina.</p> <p>Policristalinas presentan una eficiencia del 12 % al 20 %.</p>
Segunda Generación	<p>Se presentan en películas delgadas y por esto mismo tienen un mayor ahorro en materiales, la vida útil de estas se encuentra alrededor de los 25 años.</p> <p>Para fabricarlas se utilizan los siguientes materiales:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Silicio amorfo</li> <li>• Teluro de cadmio</li> <li>• Compuesto de CIGS</li> </ul>
Tercera Generación	<p>Esta generación es también llamada nuevas tecnologías, debido a que aún está en fase de desarrollo y no se encuentran disponibles a escala industrial. Para su construcción se utilizan nanocristales, polímeros colorantes y perovskitas. Dado que estas aún están en proceso de investigación su eficiencia es menor en comparación de las generaciones anteriores, pero presentan varias ventajas tales como:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Flexibilidad mecánica</li> <li>• bajo costo</li> <li>• Facilidad de procesamiento</li> </ul>

Fuente: elaboración propia.

## **2.2. Componentes de un sistema de generación de energía solar fotovoltaica**

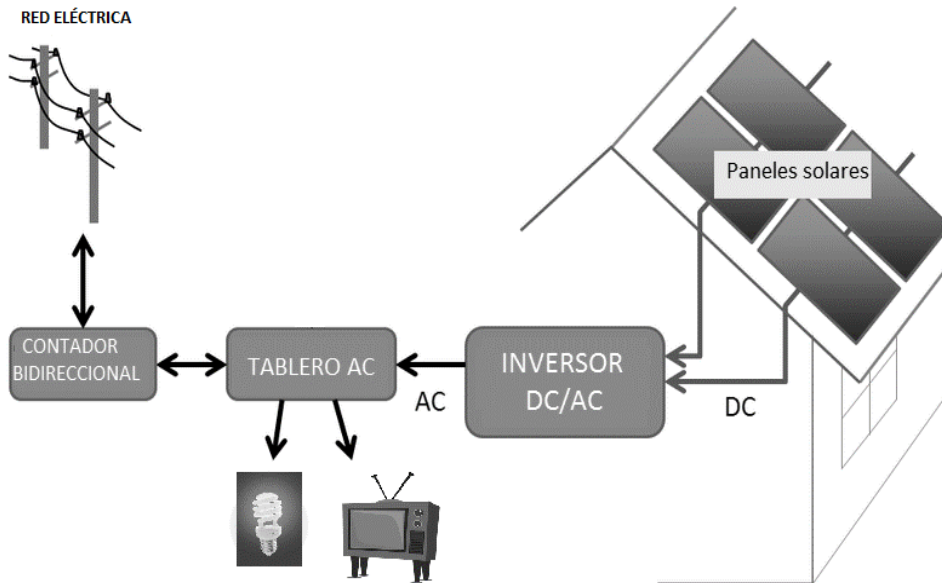
Los componentes, son los dispositivos que integran el sistema y hacen que este funcione coordinadamente, de forma eficiente, los sistemas están integrados por estructuras de soporte en paneles solares (módulo fotovoltaico), cableados tipo PV, cajas de nivel 1 y 2, inversores y protecciones eléctricas (Grupo NAP, 2002).

Depende del sistema PV que se desea diseñar, son los elementos que deben tomarse en consideración, tomando en cuenta que los sistemas PV están divididos en: sistemas fuera de red y sistemas en red.

Los sistemas PV fuera de red, necesitan un sistema de baterías de almacenamiento de energía, con la finalidad de tener una potencia fiable, por lo que aumenta considerablemente el precio del sistema PV. Los sistemas PV que están conectados a la red tienen, ventajas ya que cuando estos no están generando energía eléctrica, por factores externos o ajenos a él, la demanda de energía puede ser tomada de la red, y cuando la energía que se genera supera la demanda, los excedentes puede ser inyectadas a la red, (Pradeep y Maharaja, 2016).

Para fines de esta investigación, no se estudiarán los sistemas fuera de red. En la siguiente figura, se presenta un esquema conectado a la red.

Figura 4. Esquema de sistema PV en red



Fuente: elaboración propia, utilizando Paint.

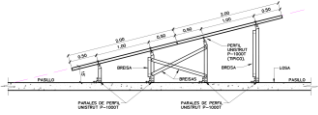



A continuación, se define cada elemento de un sistema PV conectado a la red.

### 2.2.1. Estructuras de soportes para paneles solares

Las estructuras de soportes son parte esencial de un sistema de generación fotovoltaica, ya que además de soportar los paneles solares aseguran la orientación e inclinación del diseño (Calvo, 2015).

Existen diferentes tipos de estructuras aplicadas a los sistemas PV, en la tabla siguiente se exponen las existentes.

Figura 5. **Estructuras de soporte para paneles solares**

Estructura fija	Inclinada a un ángulo óptimo para una ubicación definida.	
Seguimiento un eje horizontal	De acuerdo a (Calvo, 2015) la superficie del panel realiza un seguimiento del sol, norte-sur o este-oeste.	
Seguimiento vertical	El ángulo de la superficie del panel es constante e igual a la latitud (Calvo, 2015, pág. 30).	
Seguimiento a dos ejes	La superficie del panel se mantiene siempre perpendicular al sol, esto se logra con movimientos en el eje vertical y el eje horizontal (Calvo, 2015, pág. 30).	

Fuente: elaboración propia.

## 2.2.2. Paneles solares fotovoltaicos

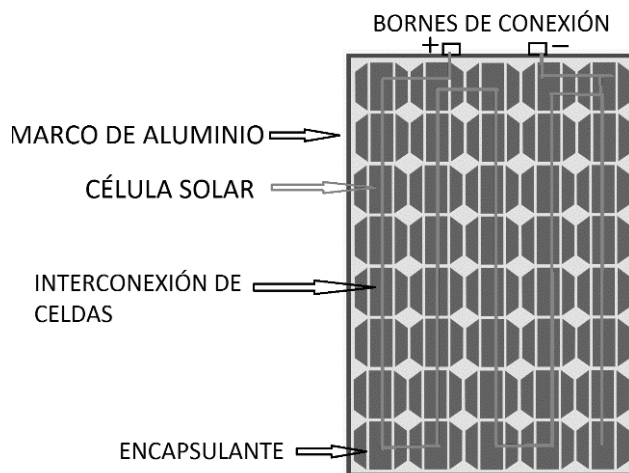
El panel o módulo solares fotovoltaico, es el componente destinado a absorber y transformar la energía del sol en energía eléctrica; por medio del efecto fotovoltaico (Alvarado, 2014).

Los paneles solares también conocidos como módulos solares están compuestos por un grupo de células conectadas entre sí, en serie o paralelo y aisladas físicamente del ambiente exterior, por ende, es un elemento rígido, que entrega tensiones y corrientes adecuadas al sistema de generación PV (Perpiñan, 2012).

En la actualidad, para la construcción de módulos fotovoltaicos, se utilizan células solares de silicio, mono o policristalino, así como de silicio amorfo; esta se encuentra encapsuladas en vidrio en el área superior y polímero termoplástico en el área inferior, enmarcada con aluminio anodizado para soportar los esfuerzos mecánicos a los que será sometido durante su uso y facilitar el anclaje del mismo (Grupo NAP, 2002).

Dependiendo de las características de construcción las potencias entregadas por los paneles solares, en la actualidad son superiores a 200 watts y con voltajes de corrientes continuas del rango de 30 a 50 voltios (Perpiñan, 2012).

Figura 6. **Módulo solar fotovoltaico**



Fuente: elaboración propia, utilizando Paint.



### 2.2.3. Cables para sistemas de generación solar fotovoltaica

Los cableados utilizados en los generadores fotovoltaicos conocidos como cable PV, es un cable utilizado para transportar la energía eléctrica generada por los paneles solares a los diferentes elementos del sistema solar.

Los cables utilizados en los sistemas PV deben estar regidos por la norma UL-4703, que se visualiza en la tabla siguiente.

Tabla II. **Norma UL-4703**

UL 4703 Version	2005 Issue #1	2010 Issue #4
Other standards referenced by 4703	UL Standard 493 thermoplastic UF and UL Standard 854 USE-2	UL Standard 83 THW-2 and UL Standard 44 RHW-2
Temperature ratings	90°C wet or dry	90, 105, 125 and 150°C dry or 90°C wet
Voltage ratings	600 V only	600 V*, 1,000 V. 2,000 V*
Conductor types	Stranded copper	Stranded copper, copper-clad aluminum or aluminum
Conductor sizes	18-8 AWG	18 AWG 2,000 kormil copper or 12 AWG-2,000 komil aluminum
Direct burial optional rating	No	Yes
Cold impact test	No	Yes
600 V insulation thickness 10 (no jacket)	0.075" of PVC or 0.060" of XUPE	0.075" of PVC or 0.060" of XLPE

Fuente: Norma UL-4703, (2014), *Photovoltaic wire*. Consultado el 2 de mayo 2020. Recuperado de <https://www.anixter.com/content/dam/anixter/resources/techbriefs/anixter-summary-of-photovoltaic-wire-requirements-as-outlined-in-ul-4703-techbriefs-en.pdf>.

Este tipo de cableado debe tener resistencia a la exposición de la luz solar y rangos de temperatura arriba de los 90° centígrados, debido a que son utilizados en intemperie y están disponibles de acuerdo con el voltaje requerido que puede soportar, de 600 voltios, 1000 voltios y 2000 voltios, además este tipo de cable puede estar enterrado directamente sin necesidad de estar blindado.

Las normas requeridas de este tipo de cable están desarrolladas en Código Eléctrico Nacional, 2008, en el artículo 690 sobre sistemas fotovoltaicos solares.

#### **2.2.4. Tipos de Inversores, capacidades y conexiones existentes**

Los inversores, son elementos que transforman la corriente continua que proviene de los paneles solares en corriente alterna, que posteriormente es inyectada al sistema eléctrico, cumpliendo con los parámetros de nivel de voltaje, eficiencia, rendimiento, disposición de armónicos y seguridad eléctrica (Perpiñan, 2012).

Para seleccionar adecuadamente un inversor, es necesario considerar los siguientes parámetros: potencia nominal y máxima de diseño, tensión máxima de entrada, tensión de salida, eficiencia máxima y umbral de arranque (John Wiles Southwest Technology Development Institute, 1996).

Los inversores están clasificados en tres categorías.

- Inversor central: un solo inversor, destinado a toda la generación solar.
- Inversor a rama: inversor dedicado a un ramal del generador solar, es decir conectado a una cadena de paneles solares.
- Módulo AC: es un inversor destinado a un solo módulo del generador.

Las partes que componen internamente un inversor son, filtro de entrada, convertidor AC/DC, puente inversor, salida de filtro, transformador y control (Perpiñan, 2012).

### **2.2.5. Protecciones eléctricas del sistema solar fotovoltaico**

Las protecciones eléctricas de un sistema PV, debe tomar en consideración dos aspectos importantes, primero que la protección eléctrica se diseña para proteger a los usuarios y luego para protección de los elementos eléctricos (Wiles, 1996).

Considerando lo anterior, se debe instalar un sistema de tierra física, en el que se deben conectar todos los elementos metálicos, como canaletas metálicas, tuberías metálicas, cajas metálicas, además de los equipos electrónicos y eléctricos del sistema PV, esto con la finalidad de disminuir el riesgo de choque eléctrico entre masas con diferentes niveles equipotenciales (Wiles, 1996).

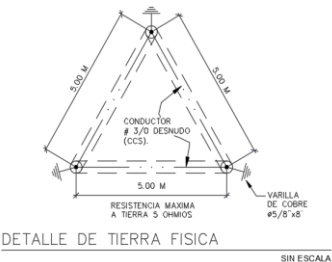



La protección por corto circuito de los equipos en corriente continua, se pueden realizar con la utilización de fusibles en cada polo de conexión, en el caso del generador solar fotovoltaico, se coloca al final de cada cadena o antes de la conexión del inversor.

La protección de por sobretensión normalmente se coloca, en la conexión inicial de los equipos electrónicos, en el caso los sistemas PV, debe colocarla en el inversor y estas protecciones se define con bases al Voc (voltaje de circuito abierto) del sistema PV.

En el lado del voltaje alterno la protección utilizada es un interruptor termomagnético, el cual se deberá seleccionar en función a la corriente nominal y la corriente de corto circuito máximo (Perpiñan, 2012).

Para la protección de falla a tierra, se utiliza un interruptor diferencial en el lado de voltaje alterno (Perpiñan, 2012).

Figura 7. Protecciones eléctricas de un sistema PV

Protección	Descripción	Figura de referencia
Tierra física	Es un sistema de protección para las personas y equipos de eléctricos, la finalidad de este sistema es limitar la tensión con respecto a tierra, que se pueda presentar en un momento dado.	 <p>DETALLE DE TIERRA FISICA SIN ESCALA</p>
Fusible	Es un elemento de protección para circuitos eléctricos y su función principal es romperse en caso de que la corriente que pasa por él, sobrepase la corriente su nominal.	
Protección de sobre corriente	Estos elementos son destinados a proteger los circuitos eléctricos cuando se presente una sobrecarga o un corto circuito.	
Protección de falla a tierra	Es un dispositivo que protege a las personas contra choque eléctrico, el principio de funcionamiento de este es monitorear continuamente la corriente balanceada entre el conductor de fase y el conductor de neutro.	

Fuente: elaboración propia.

### **2.3. Leyes y normativas para la generación de energía solar fotovoltaica**

De acuerdo con la Ley General de Electricidad en su artículo uno, inciso a) es libre la generación de electricidad y no se requiere para ello autorización o condición previa por parte del estado, más que la reconocida por la Constitución Política de la República de Guatemala y las leyes del país (Ley General de electricidad decreto N° 93-96, 1996).

En referencia al párrafo anterior es considerado legal el explotar la energía que se consideran renovables, respetando en todo momento normativo y leyes del país.

Se considera que un generador distribuido renovable, es aquel que genera energía eléctrica utilizando fuentes renovables contando con una potencia máxima de 5MW (Ley General de electricidad decreto N° 93-96, 1996).

Las normas técnicas de generación distribuida renovable y usuarios autoprodutores con excedentes de energía (NTGDR), en este normativo se indican: los pasos a seguir y equipos necesarios para conectar al sistema eléctrico nacional, los sistemas de generación a partir de energías renovables, la operación, control y la comercialización, es decir contratos, peajes, (Normas técnicas de generación distribuida renovable y usuarios autoprodutores con excedentes de energía, 2014).

En el año 2003, el Gobierno de Guatemala, considera de urgencia nacional la utilización de las energías renovables para la producción de electricidad y esto queda constituido en: la Ley de Incentivos para el Desarrollo de Proyecto de Energías Renovables, el cual tiene como objetivo promover el desarrollo de

proyectos de energía renovables. Se establecen incentivos fiscales como exención de aranceles de importación, IVA, cargos en importación de equipos y materiales para las etapas de pre-inversión y ejecución, exención de ISR por 10 años, durante la operación y comercialización, esto está indicado en, (Congreso de la República de Guatemala, 2003).

#### **2.4. Contadores bidireccionales**

La energía que es consumida en una vivienda, comercio o industria es medida por medio de un contador de energía, que registra el consumo desde el sistema de red eléctrica, a esto se le llama contador unidireccional. Dado que actualmente en Guatemala y otros países del mundo con la implementación de generadores de energía solar fotovoltaica, cada consumidor puede ser a su vez productor de energía eléctrica inyectando los sobrantes de su energía a la red eléctrica que se encuentre conectado, esto también debe ser medido y para esto se utilizan los contadores bidireccionales.

Los contadores bidireccionales son capaces de medir la energía en dos direcciones, esto quiere decir que tiene la capacidad de medir la energía que se consume del sistema y la energía que se puede aportar al sistema, este hace un balance de medición.

Este tipo de contadores se implementa en consumidores que cuentan con instalaciones de energía renovable fotovoltaica y de cualquier otro tipo, en Guatemala desde el año 2008 se ha normado este tipo de instalaciones eléctricas, con lo cual los usuarios pueden entregar sus excedentes de energía eléctrica a la red, en que se encuentran conectados para ser utilizados cuando el usuario lo requiera.

En el portal de la comisión nacional de energía eléctrica está disponible una guía para constituirse como usuario autoprodutor con excedentes de energía (UAEE), dicha guía puede ser descargada del siguiente link: <http://www.cnee.gob.gt/pdf/normas/docs/GDR/Guia%20UAEE.pdf>.

## **2.5. Protecciones eléctricas y sistemas de tierra física**

Es necesario tomar en cuenta el análisis de las instalaciones eléctricas antes de la instalación de un sistema solar fotovoltaico, esto con la finalidad de verificar aspectos técnicos que a continuación se mencionan, algunos de estos son:

- Sistemas de tierras físicas
- Centros de carga
- Protecciones eléctricas

En los sistemas de puesta a tierra, es necesario verificar la medición de estas ya que, según el Código Eléctrico Nacional, 2008, un único electrodo que consiste en una varilla de tubo o placa que no tenga una resistencia a tierra de 25 ohm o menos, se debe incrementar con un electrodo adicional.

El sistema debe ser capaz de drenar la energía que se produce cuando se produce una falla a tierra.

Los centros de carga deben contar con protecciones de acuerdo a su corriente nominal y contar con barras acorde a dicha corrientes, así como sus respectivos ramales y contar con un plan de mantenimiento eléctrico.

## **2.6. Subsector eléctrico en Guatemala**

En Guatemala el sector energético está compuesto por dos subsectores, subsector eléctrico y subsector de hidrocarburos, estos son administrados por el Ministerio de Energía y Minas (MEM).

El MEM, es el encargado de elaborar políticas, planes de estado y programas indicativos del subsector eléctrico, como se indica en la (Congreso de la República de Guatemala, 1996).

El marco institucional del subsector eléctrico de Guatemala está conformado por el Ministerio de Energía y Minas, quien es el ente rector, de la Comisión Nacional de Energía eléctrica (CNEE), quien es el ente regulador y el Administrador del Mercado Mayorista (AMM), quien es el ente operador del sistema (Ley General de Electricidad , 1996).

### **2.6.1. Marco regulatorio**

El marco regulatorio se refiere a todas las leyes y reglamento que rigen el subsector eléctrico de Guatemala y estos son:

- Ley General de Electricidad y su Reglamento.
- Reglamento del Administrador Mercado Mayorista.
- Ley de Incentivos para el Desarrollo de Proyectos de Energías Renovables y su Reglamento.

El marco regulatorio también contempla los acuerdos ministeriales publicados por el MEM, normas y resoluciones emitidas por el AMM y la CNEE.



### **2.6.2. Pliegos tarifarios**

Cumpliendo lo indicado en el artículo 86 y 87 de la Ley General de Electricidad y con aprobación de la CNEE, en Guatemala, se definen las tarifas vigentes para las distintas distribuidoras de energía eléctrica.

A continuación, se describen los pliegos tarifarios existentes y se describirán a fondo los que impactan en esta investigación

- Baja Tensión Simple Social (BTSS)
- Baja Tensión Simple (BTS)
- Baja Tensión Simple Horaria (BTSH)
- Baja Tensión Simple Autoproductores (BTSA)
- Baja Tensión Simple Prepago (BTSP)
- Baja Tensión Horaria con Demanda (BTHD)
- Media Tensión Horaria con Demanda (MTHD)

MTHD, es una tarifa para usuarios de media tensión en general y cualquier uso de energía y con una potencia superior a 11 kW, se mide la energía por banda horaria, medición de potencia máxima demandada y medición de potencia de punta demandada, posee un sistema de medición inteligente, compuesta por: cargo por consumidor (CF), cargo por energía de punta (CEP), cargo por energía intermedia (CEI), cargo por energía de valle (CEV), cargo por energía de valle Adicional (CEVA), cargo por potencia de punta (CPP), cargo por potencia contratada (CPC), es una tarifa ideal para clientes que puedan adecuar su consumo o utilizar la energía en horarios fuera de punta) (Empresa Eléctrica de Guatemala, 2019).

- Baja Tensión con Demanda Autoprodutores (BTDA)
- Media Tensión con Demanda Autoprodutores (MTDA)

MTDA es una tarifa para usuarios autoprodutores con excedentes de energía, que requieran servicio en media tensión con una potencia máxima demanda superior a 11 kW, se mide la energía con medidor bidireccional, potencia máxima demandada y potencia de punta demandada, compuesta por: cargo por consumidor (CF), cargo por energía (CE), cargo por potencia de punta (CPP) y cargo por potencia contratada (CPC) (Empresa Eléctrica de Guatemala, 2019).

- Alumbrado Público (AP)
- Alumbrado Privado o Publicitario Nocturno (APPN)
- Vigilancia Señalización o Comunicaciones (VSC)

### **3. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN**

En esta sección se presenta de forma ordenada y paso a paso como fue desarrollada la investigación.

#### **3.1. Situación actual**

Debido a la pandemia del COVID-19, que afecta a la mayor parte de las naciones, el 13 de marzo del 2020, el presidente de la república de Guatemala, Alejandro Giammattei, anuncia oficialmente el primer caso de COVID-19 en el país.

Luego del anuncio oficial del presidente, el rector de la Universidad de San Carlos de Guatemala, Murphy Paiz, manifestó que todas las clases presenciales quedaron suspendidas desde el 14 de marzo para todos los centros universitarios del país.

El rector explicó que se autoriza que los docentes utilicen plataformas virtuales para impartir clases.

El impacto que tiene esta suspensión de clases en la investigación presentada es que los consumos de energía eléctrica de toda la Universidad de San Carlos y en especial del edificio T-3 de la Facultad de Ingeniería, han disminuidos drásticamente, esto debido a la falta de uso de las instalaciones.

Por tal motivo no se realizó, una medición de consumos de energía eléctrica con un aparato de calidad de energía en el edificio T-3, como se había planteado al inicio de la investigación, ya que la medición daría valores que no coinciden con los consumos en condiciones normales.

Dicho lo anterior, los valores para realizar los cálculos de energía consumida por la edificación se centrarán en valores históricos.

### **3.2. Características del estudio**

Este estudio se centra en el análisis de generación energética, mediante el aprovechamiento de recurso solar fotovoltaico utilizando la azotea del edificio T-3, del campus central de la zona 12, de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

La investigación que se realizó es de tipo cuantitativa, ya que los fenómenos fueron observables y generaron datos numéricos. Se emplearon métodos estadísticos como el valor promedio, los valores máximos, valores mínimos y desviación estándar para analizarlos.

El enfoque de la metodología de investigación es descriptivo, ya que se recopilaban datos, que fueron utilizados tal y como se obtuvieron en la realidad; para representar gráficas, cuadros y resúmenes.

Las técnicas de análisis de información utilizadas, fueron por medio de análisis de recopilación de datos y análisis documental.

### 3.3. Variables e indicadores

Para el análisis de datos se procedió con identificación de variables y patrones tales como: consumo de energía del edificio T-3, siendo la primera variable identificada, esta variable fue de tipo numérica, continua, observable y su nivel de medición fue a razón; el indicador de esta variable fue en kWh.

El instrumento de medición para la primera variable era un equipo de calidad de energía, que la evaluaría en tiempo real el consumo de energía en kWh, pero este aparato ya no pudo ser utilizado debido a la situación actual del COVID-19. Por tal motivo solo se utilizó el historial de consumo de energía eléctrica de los años 2018 y 2019 proporcionados por la empresa suministradora de energía Empresa Eléctrica de Guatemala (EEGSA), para evaluar la medición de consumo de energía en meses anteriores.

Para analizar esta y las siguientes variables se utilizó, la media y la desviación estándar.

$$\text{Media } x = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N X_i$$

$$\text{Desviación estándar } \sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N (X_i - x)^2}$$

Siendo  $X_1, X_2, X_3 \dots X_N$  el conjunto de observaciones en ambas ecuaciones.

La potencia de diseño del sistema de energía PV, fue la segunda variable analizada, dado que está relacionada con las dimensiones con que se cuenta para la instalación y el tipo de sistema seleccionado. Esta variable independiente, ya que las potencias generadas vienen definidas por el número de paneles

máximo que se puedan instalar en la azotea del edificio; por lo cual fue de carácter manipulable y su nivel de medición fue a razón, el indicador utilizado fue kW.

La tercera variable que se identificó fue la energía generada por el sistema PV, ya que esta depende de la radiación solar y las horas útiles de sol. Esta variable es de carácter observable y su indicador es kWh, para su medición se utilizaron programas por computadora dedicados a este tipo de cálculo, y métodos matemáticos tradicionales, con ayuda de informes que presenta el Ministerio de Energía y Minas.

### **3.4. Fases del estudio**

Se inició con una investigación documental, utilizando como fuente: libros, estudios científicos sobre el tema, publicaciones, de informes e historiales de consumo de energía del edificio T-3.

Para tener un mayor control de la investigación, esta se desglosa en fases que se mencionan a continuación.

#### **3.4.1. Características del área a utilizar**

El área analizada para la instalación del sistema PV, es la azotea del edificio T-3, para evaluar el área se gestionaron permisos con ayuda de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería, para el ingreso a la azotea del edificio y cuartos eléctricos.

Al obtener el permiso, se designó por parte de la facultad de ingeniería al personal de mantenimiento para dar acompañamiento y para proporcionó el ingreso a la azotea, ductos eléctricos y cuarto eléctrico del edificio T-3.

Se inició tomando medidas del área de la azotea utilizando, una cinta métrica de 50 metros de longitud y con asesoría del personal de mantenimiento, se definieron las áreas disponibles para la instalación de paneles solares; así como el lugar donde se pueden colocar inversores y tableros eléctricos.

Figura 8. **Azotea del edificio T-3**



Fuente: [Fotografía de Alejandro Ortíz]. (Edificio T3 USAC 2020). Colección particular Guatemala.

Figura 9. **Tanque elevado y ducto eléctrico en azotea, edificio T-3**



Fuente: [Fotografía de Alejandro Ortíz]. (Edificio T3 USAC 2020). Colección particular Guatemala.

Figura 10. **Área disponible para instalación de inversores**

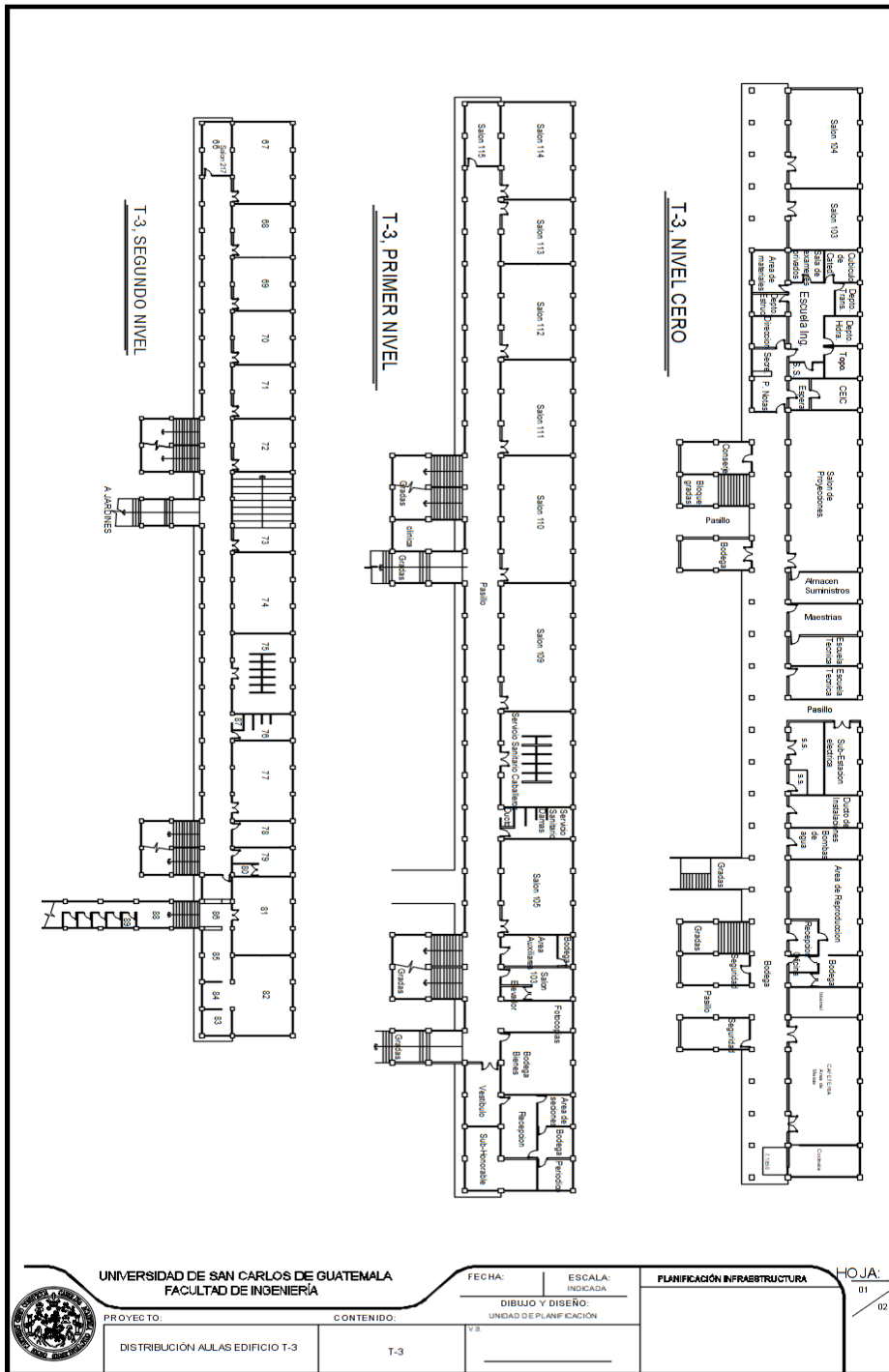


Fuente: [Fotografía de Alejandro Ortíz]. (Edificio T3 USAC 2020). Colección particular Guatemala.



Al momento de realizar la investigación de campo, personal de mantenimiento indicó la existencia de planos de la edificación. Se realizaron cartas de solicitud de dichos planos (ver anexo 1 y 2) y con el apoyo de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería, se tuvo acceso a esta información en formato CAD, que se muestran en las siguientes figuras.

Figura 11. Planos del edificio T-3, Nivel 0, 1 y 2



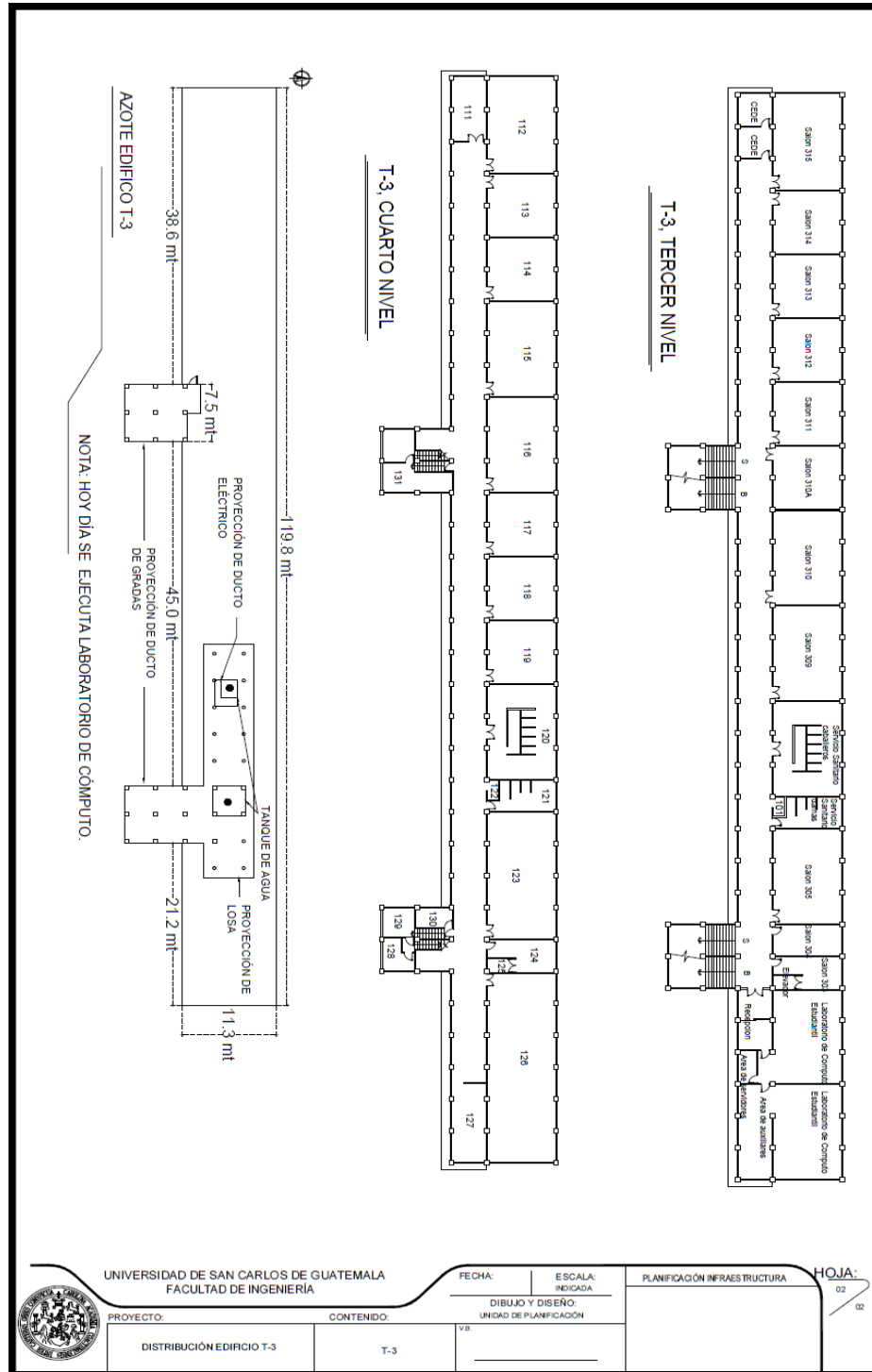
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



PROYECTO: DISTRIBUCIÓN AULAS EDIFICIO T-3		CONTENIDO: T-3		FECHA: V.3	ESCALA: INDICADA	PLANIFICACIÓN INFRAESTRUCTURA	HOJA: 01
				DIBUJO Y DISEÑO: UNIDAD DE PLANIFICACIÓN			02

Fuente: Unidad de Planificación, (2018). *Facultad de Ingeniería USAC.*

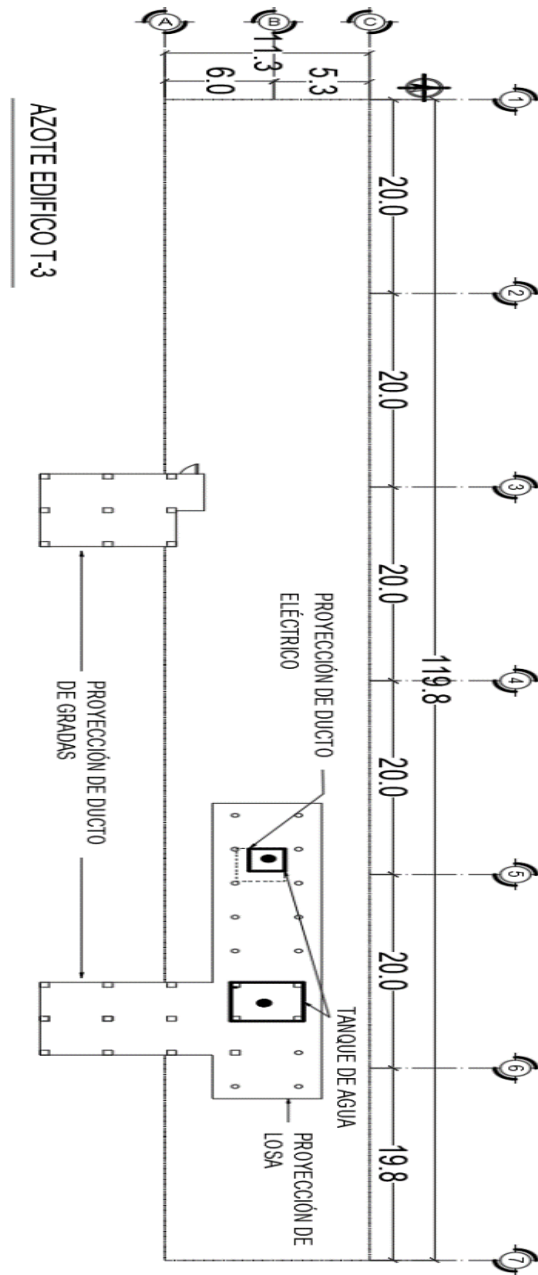
Figura 12. Planos del edificio T-3, Nivel 3, 4 y 5



Fuente: Unidad de Planificación, (2018). Facultad de Ingeniería USAC.

Para una mejor ubicación dentro de los planos, a estos se les colocó ejes como se muestra a continuación.

Figura 13. **Azotea del edificio T-3 con ejes**



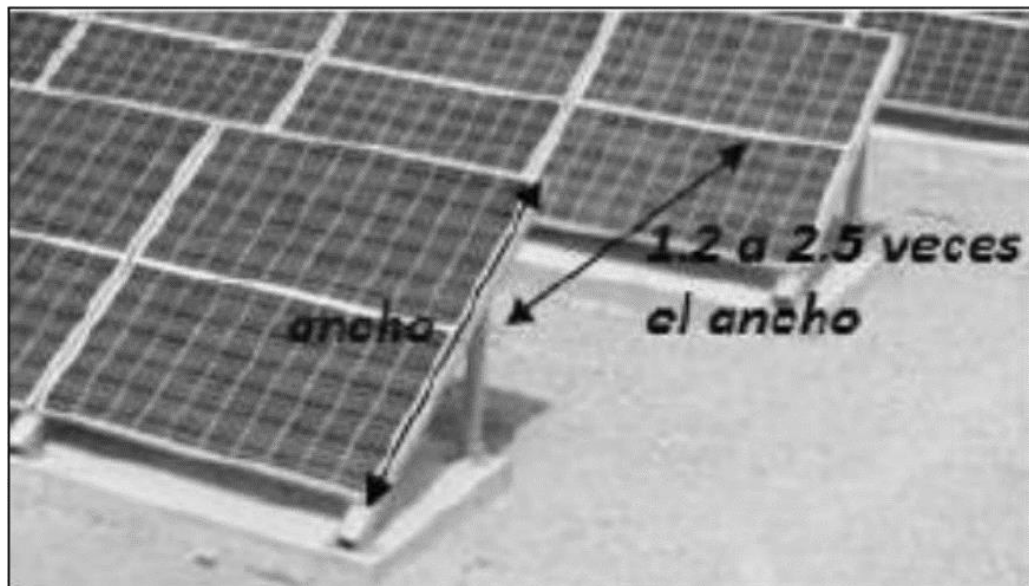
Fuente: Unidad de Planificación, (2018). *Facultad de Ingeniería USAC.*

### 3.4.2. Selección de sistema solar fotovoltaico

Ya con el espacio definido en azotea del Edificio T-3, se evaluó y seleccionó el sistema PV más adecuado, en función de inversores, estructuras, paneles solares y protecciones eléctricas.

Se inició seleccionando paneles de 345 Watts de potencia (ver especificaciones técnicas del panel en apéndice 1), los cuales fueron distribuidos en función del espacio en la azotea del edificio T-3. Para evitar que los paneles generen sombras entre ellos mismos, se colocaron a una distancia mínima de 1.2 veces el ancho de estos, tal como se muestra en la siguiente figura.

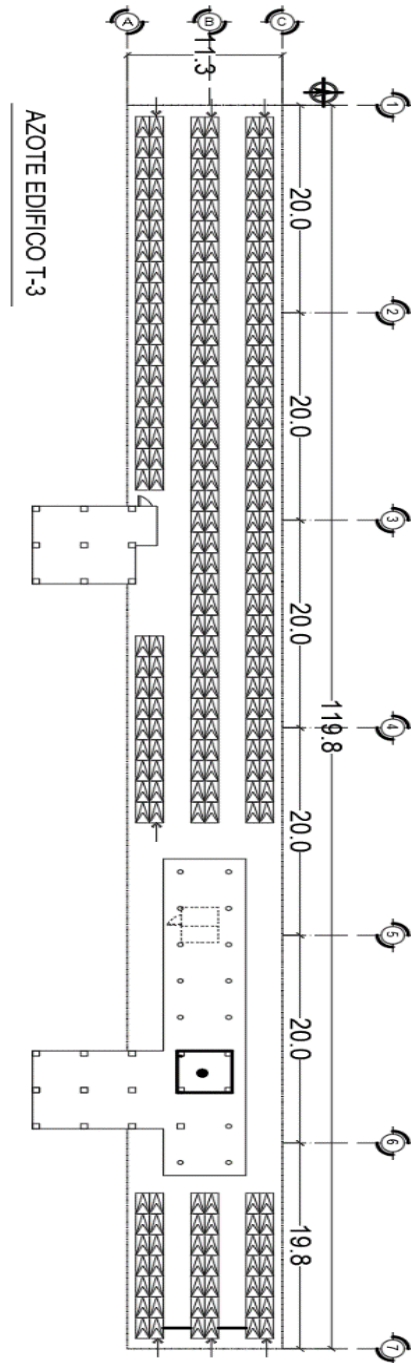
Figura 14. Azotea del edificio T-3 con ejes



Fuente: Facultad de Ingeniería. (2018). *Escuela de Estudios de Postgrado, curso Eficiencia Energética*

La distribución de paneles solares se muestra en la siguiente figura.

Figura 15. **Distribución de paneles solares en azotea del edificio T-3**



Fuente: Unidad de Planificación. (2018). *Facultad de Ingeniería USAC.*

Con dicha distribución se colocaron 232 paneles solares. Se calculó la potencia de diseño utilizando la siguiente fórmula.

$$\text{Potencia total} = \text{Numero de paneles} \times \text{Potencia de cada panel}$$

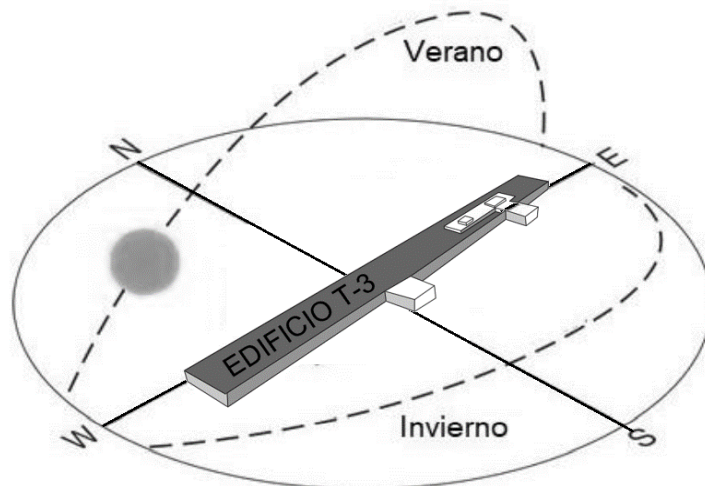
$$\text{Potencia total} = 232 \times 345W$$

$$\text{Potencia total} = 80,040 W$$

La orientación de los paneles solares se debe seleccionar en función, de aprovechar la máxima irradiación; esto se logra, haciendo que los rayos del sol incidan perpendicularmente en la superficie del panel solar.

La orientación de los paneles debe tener un máximo de 15 grados, orientados al sur.

Figura 16. **Orientación del edificio T-3**



Fuente: elaboración propia, empleando Paint.

En la figura anterior se visualiza que el edificio T-3, se encuentra orientado de este a oeste; por tal motivo los paneles quedaron orientados 8° hacia el sur, en los cálculos realizados.

De acuerdo con el número de paneles solares, se seleccionó inversores DC/AC de 17kWp y de 20kWp, trifásicos 120/208V, adecuado para la configuración del sistema eléctrico que se tiene actualmente en el edificio T-3, es de gran importancia que al momento de adquirir los inversores solicitar a fábrica que sean configurados para trabajar en 120/208V, trifásico. Ver especificación técnica en el apéndice 2.

Para la selección de los inversores se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Capacidad de inversor} = \text{Potencia de paneles} / 1.25$$

Donde, el factor de 1.25, se utiliza por el *oversizing* del inverso, ya que este tiene la capacidad de poder soportar sobrecargas del 25 % de su capacidad en tiempos cortos de producción.

Los inversores fueron ubicados en la posición que se indicó en la figura 10, e interconectados con los paneles solares utilizando tubería HG de 3/4" y cable PV de 4 mm<sup>2</sup>.

### **3.4.3. Instalaciones eléctricas existentes**

Se verificó la existencia de ductos eléctricos y se ubicó el cuarto eléctrico que se encuentra en el nivel 0, del edificio T-3.

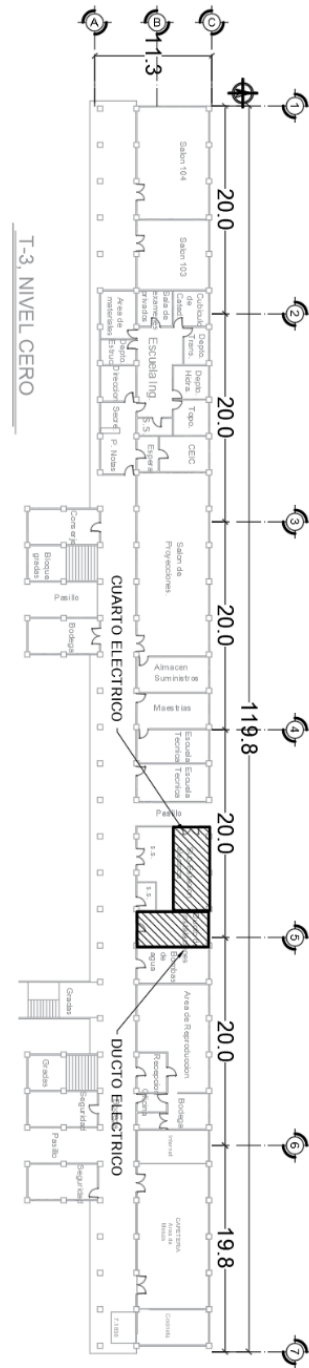


Figura 17. **Ducto eléctrico y cuarto eléctrico en nivel 0, Edificio T-3**



Fuente: [Fotografía de Alejandro Ortíz]. (Edificio T3 USAC 2020). Colección particular Guatemala.

Figura 18. **Ubicación de ducto eléctrico y cuarto eléctrico en plano, edificio T-3**



Fuente: elaboración propia, utilizando AutoCAD.

En el cuarto eléctrico se verificó las características del tablero principal, las cuales se mencionan a continuación:

- Voltaje: 120/208 trifásico.
- Frecuencia: 60Hz
- Capacidad de barra 2000 amperios
- Interruptor principal 3x2000 amperios
- Un ramal de 3x400 amperios que alimenta carga actual
- Un ramal de 3x400 amperios que alimenta carga actual 2
- Un ramal de 3x250 amperios que alimenta 013 y 014
- Un ramal de 3x225 amperios que alimenta RSI T-2
- Un ramal de 3x150 amperios que alimenta RSI T-3
- Un ramal de 3x150 amperios que alimenta T-4
- Un ramal de 3x125 amperios que alimenta T-5

Al analizar los ramales se evidenció que este tablero alimenta a otros edificios aledaños, algo que no estaba contemplado durante en la etapa inicial de la investigación.

Figura 19. **Tablero principal, ubicado en cuarto eléctrico nivel 0, edificio T-3**



Fuente: [Fotografía de Alejandro Ortíz]. (Edificio T3 USAC 2020). Colección particular Guatemala.

Luego se verifico las características eléctricas del transformador eléctrico que se encuentra en el área exterior del edificio T-3, siendo este de 500KVA, trifásico, voltaje primario 13.2KV y voltaje secundario 120/208.

Figura 20. **Transformador tipo pedestal de 500KVA, edificio T-3**



Fuente: [Fotografía de Alejandro Ortíz]. (Edificio T3 USAC 2020). Colección particular Guatemala.

La medición del edificio T-3, es una medición primaria; como se muestra en la siguiente figura.

Figura 21. **Medición primaria y contador eléctrico, edificio T-3**



Fuente: [Fotografía de Alejandro Ortíz]. (Edificio T3 USAC 2020). Colección particular Guatemala.

Toda la información anteriormente descrita, se obtuvo con la finalidad de generar el diagrama unifilar de la instalación eléctrica del edificio T-3.

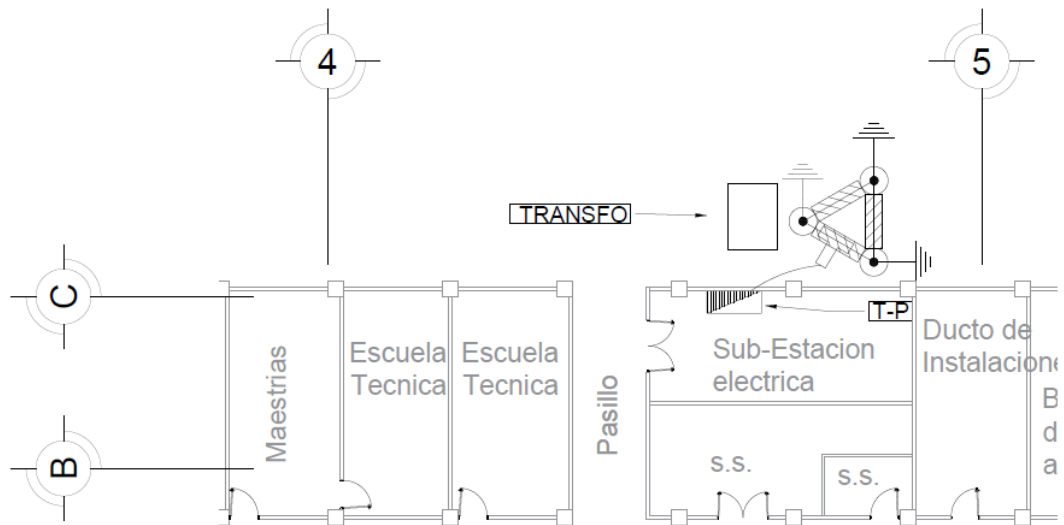
Se debe instalar una red de tierra física cercana al transformador tipo plataforma de 500KVA, la cual estará constituida por tres varillas de cobre de 5/8" x 8', formando una delta, con 5 metros por lado, interconectadas entre sí con cable de cobre calibre 1/0 sin forro.

Para la unión de las varillas con el cable se debe utilizar soldadura exotérmica y en cada varilla debe contar con una caja de registro tipo contador de agua de 0.40x0.20 metros cada una.

La red de tierra física deberá ser instalada detrás del cuarto eléctrico y se debe interconectar al sistema de tierra existente.



Esta red de tierra será utilizada para conectar todo elemento metálico y equipo eléctrico y electrónico que integran al sistema PV, además el inversor debe ser conectado a tierra ya que este utilizar el cero lógico para referencia del buen funcionamiento del equipo.

Figura 22. Red de tierra física



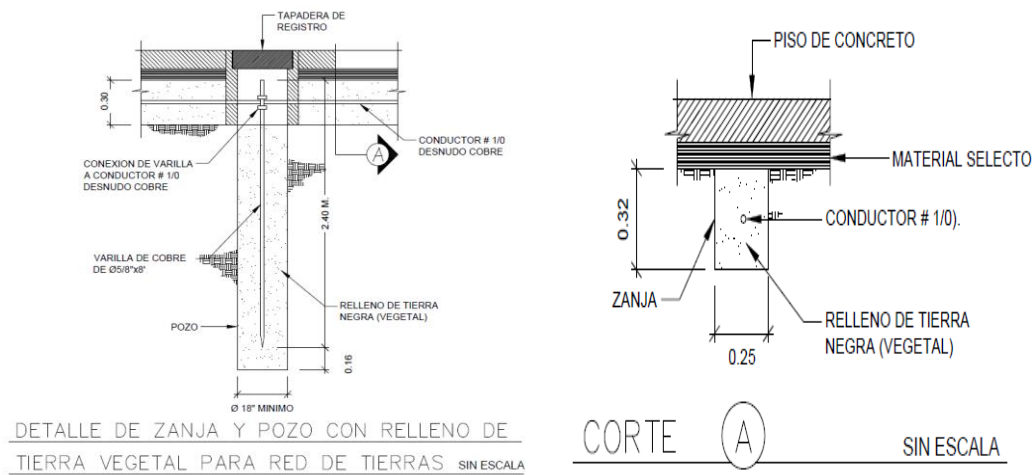
Fuente: elaboración propia, utilizando AutoCAD.

Figura 23. Simbología de red de tierra física

<b>SIMBOLOGÍA</b>	
SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
—————	CONDUCTOR # 3/0 DESNUDO CONDUcido EN SUELO. PARA RED DE TIERRAS. COPPER CLAD STEEL (CCS).
	INDICA VARILLA DE COBRE Ø 5/8" x 8' PARA RED DE TIERRAS.
	"T" DE DERIVACIÓN PARA CABLE DE COBRE 3/0 DESNUDO (SOLDADURA CADWELD).
SNPT	INDICA SOBRE NIVEL DE PISO TERMINADO.

Fuente: elaboración propia.

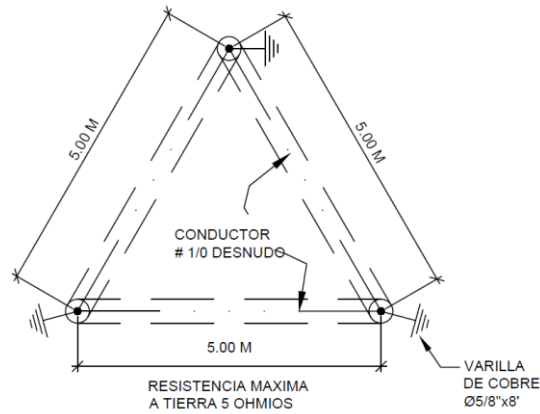
Figura 24. Detalle constructivo I, red de tierra



Fuente: elaboración propia, utilizando AutoCAD



Figura 25. **Detalle constructivo II, red de tierra**



Fuente: elaboración propia, utilizando AutoCAD

Figura 26. **Detalle constructivo III, red de tierra**



Fuente elaboración propia, utilizando AutoCAD.

### 3.4.4. **Proyección de la energía generada**

Para la proyección de energía generada, se utilizaron, cálculos matemáticos tradicionales y un programa de computadora de uso libre en línea.

El cálculo de un generador fotovoltaico solar, con métodos matemáticos tradicionales. Se define de la siguiente forma

$$\text{Energía Generada por día} = \text{Potencia instalada} \times \text{HSP} \times 0.89$$

Dónde:

$$\text{HSP} = \text{Horas pico de sol}$$

$$\text{HSP} = 4.99$$

También se puede definir que las 4.99 horas pico de sol, equivalen a un factor de utilización de 0.2079 de las 24 horas del día.

$$\text{Constante de ajuste} = 0.89$$

$$\text{Constante de ajuste} = \text{Perdidas en conductores} \times \text{perdidas en inversores} \times \text{perdidas en paneles fotovoltaicos}$$

Aplicando la fórmula, se obtuvo lo siguiente.

$$\text{Energía Generada por día} = 80,040 \text{Wp} \times 4.99 \text{horas} \times 0.89$$

$$\text{Energía Generada por día} = 355,132 \text{Wh}$$

$$\text{Energía Generada por día} = 355,132 \text{Wh}/1000 = 355.13 \text{kWh}$$

Para el cálculo de la energía generada mensualmente se multiplica la energía diaria por 30 días en promedio que tiene un mes.

$$\text{Energía Generada por mes} = \text{energía generada por día} \times 30$$

$$\text{Energía Generada por mes} = 355.13 \text{kWh} \times 30 = 10,653 \text{kWh}$$

$$\text{Energía Generada por mes} = 10,653 \text{kWh}/1000 = 10.653 \text{MWh}$$

En los cálculos anteriores no se contempla algunos parámetros como: las condiciones climáticas del lugar, variaciones de irradiación, temperatura, altura a nivel del mar, entre otras. Se utilizó dos programas de computadora de uso libre en línea, los cuales pueden ser visitados en la siguiente dirección: <https://designer.solaredge.com> y <https://re.jrc.ec.europa.eu>.

Los pasos a seguir para realizar un diseño de un sistema solar fotovoltaico en este programa de computadora de uso libre en línea, se describen en el apéndice 2.

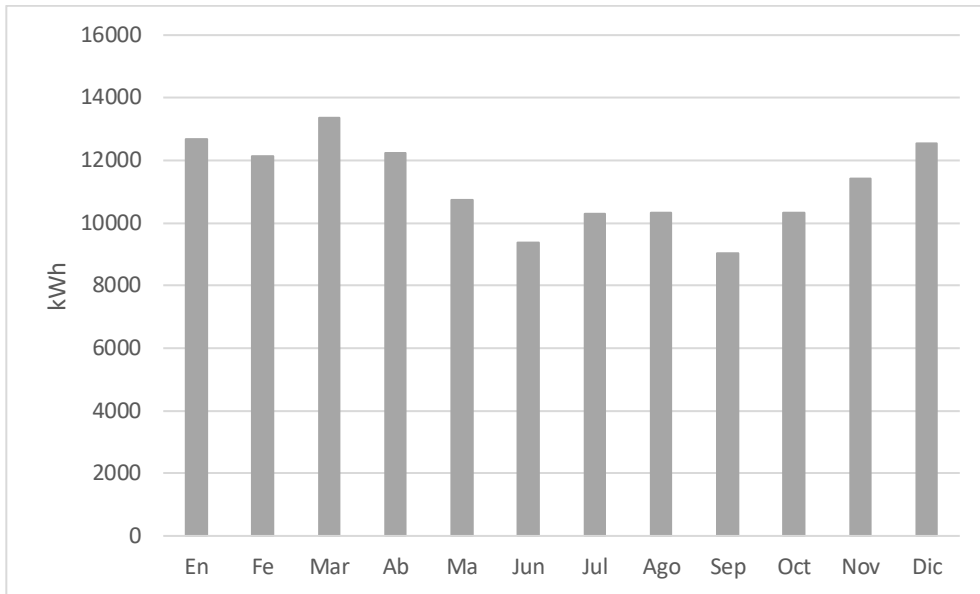
Al realizar el diseño en el programa de computadora de uso libre en línea, se realizan varias simulaciones para obtener el ángulo de inclinación óptimo, con la mayor potencia generada por el sistema PV, tal como se muestra a continuación:

**Tabla III. Selección de inclinación de paneles**

Inclinación de los paneles solares	Angulo de inclinación y energía generada en kWh							
	0°	10°	15°	20°	30°	40°	50°	60°
Enero	10849	12152	12684.50	13135	13787	14099	14060	13666
Febrero	10976	11808	12116.00	12351	12602	12554	12199	11531
Marzo	12908	13286	13363.00	13366	13150	12629	11800	10658
Abril	12514	12400	12247.00	12032	11413	10544	9432	8071
Mayo	11333	10975	10724.00	10417	9650	8696	7559	6251
Junio	10071	9642	9363.00	3037	8263	7359	6300	5155
Julio	11017	10595	10306.30	9968	9154	8182	7025	5741
Agoste	10723	10502	10316.00	10083	9474	8686	7718	6582
Septiembre	9031	9078	9038.30	8956	8666	8206	7575	6775
Octubre	9722	10167	10311.40	10402	10422	10222	9795	9140
Noviembre	10016	11005	11400.00	11726	12168	12321	12178	11734
Diciembre	10527	11955	12550.00	13062	13833	14256	14321	14023
TOTAL	129687	133565.00	134419.50	128535.00	132582.00	127754.00	119962.00	109327.00

Fuente: elaboración propia.

Figura 27. **Energía mensual generada**



Fuente: elaboración propia.

Con un ángulo de 15° de inclinación se obtiene 134421 kWh anual, como se mostró en la tabla IV.

### 3.4.5. Prefactibilidad técnica

Para analizar la prefactibilidad técnica, se realizaron los siguientes pasos:

Primero, se identifica la demanda de energía del edificio T-3 y la energía eléctrica estimada que generaría el sistema PV. Para luego ser evaluadas entre sí.

Para identificar la demanda del edificio T-3, se solicitó el histórico de consumo de energía eléctrica de los años 2018, 2019 y 2020, a la Empresa Eléctrica de Guatemala (ver apéndice 4).

Debido a la pandemia del año 2020, el historial de consumo, del año 2020; no fue utilizado ya que los valores de demanda serían muy bajos y se obtendría un resultado erróneo.

Segundo, se indicaron todos los elementos técnicos necesarios para la implementación del sistema PV; con todos los elementos identificados se realizó un presupuesto y una evaluación financiera que se puede visualizar en el apéndice 5.

Tercero, se presenta una serie de requisitos mínimos para que el sistema PV, funcione adecuadamente.

Cuarto, se reevaluó el sistema PV, comprobando los resultados obtenidos.

Para comprobar los resultados del diseño, se evaluó que los inversores seleccionados trabajen en el rango de voltaje y corriente adecuado, y que estos no sobrepasen los valores máximos del mismo.

Esta evaluación se realizó comprobando que: las sumatorias de los voltajes en circuito abierto ( $V_{oc}$ ) de los paneles solares colocados en serie por cadena, no supere el máximo rango de voltaje del inversor.

En la evaluación también se comprobó: que la corriente de corto circuito  $I_{sc}$  de los paneles solares colocados en serie por cadena, no supere la máxima corriente que soporta el inversor por MPP.

### 3.4.6. Prefactibilidad económica

Para analizar la prefactibilidad económica se utilizará el valor actual neto (VAN), esto para proyectar el valor de la inversión monetaria en el tiempo y se determina el período de recuperación de la inversión. Para realizar esto se utilizarán hojas de cálculo de Excel aplicando la siguiente fórmula.

$$VAN = -I_0 + \sum_{p=1}^n \left( \frac{FBp}{(1+i)^p} \right)$$

$-I_0 =$  Inversión inicial

$n =$  Número de período

$i =$  tasa de interés mínima esperada

$FBp =$  Flujo de efectivo del período  $p$

$p =$  período de capitalización

$$VAN = -I_0 + \frac{FN1}{(1+i)^1} + \frac{FN2}{(1+i)^2} + \frac{FN3}{(1+i)^3} + \dots, \quad \frac{FNn}{(1+i)^n}$$

También se evaluará la tasa interna de retorno (TIR) del proyecto, esto para obtener la tasa de utilidad sobre la inversión realizada en períodos anualizados, se utilizará Excel aplicando la siguiente fórmula.

$$TIR = \sum_{T=0}^n \left( \frac{Fn}{(1+i)^n} = 0 \right)$$

$n =$  Número de período

$Fn =$  Flujo de efectivo del período  $p$

$i =$  Tasa de interés donde el valor de capital es igual o mayor cero

## 4. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

En esta sección se presentan los resultados obtenidos durante la investigación, cada uno de estos es descrito a continuación.

### 4.1. Características del área a utilizar

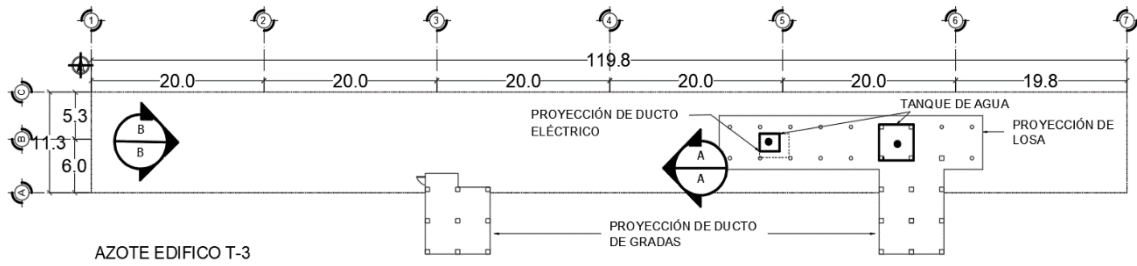
Al momento de evaluar el área que será utilizada para la instalación del sistema solar fotovoltaico, en el edificio T3 de la Facultad de Ingeniería, se deberá tomar en cuenta las dimensiones de dicho lugar, que esta, esté libre de obstáculos, sombras para el mayor aprovechamiento de los paneles solares y los espacios libres para colocar equipos eléctricos.

Figura 28. **Ubicación del edificio T-3, de la Facultad de Ingeniería, del campus central de la zona 12, de la Universidad de San Carlos de Guatemala**



Fuente: Google Maps (2020). Consultado el 10 de febrero del 2021 Recuperado de <https://n9.cl/ftewz>.

Figura 29. **Esquema de azotea, edificio T-3**



Fuente: elaboración propia, utilizando AutoCAD.

Figura 30. **Vista de azotea A-A, del eje 5 al 1, edificio T-3**



Fuente: [Fotografía de Alejandro Ortíz]. (Edificio T3 USAC 2020). Colección particular Guatemala.



Figura 31. **Vista B-B, del eje 1 al 5, edificio T-3**



Fuente: [Fotografía de Alejandro Ortíz]. (Edificio T3 USAC 2020). Colección particular Guatemala.

Figura 32. **Ducto Eléctrico T-3**

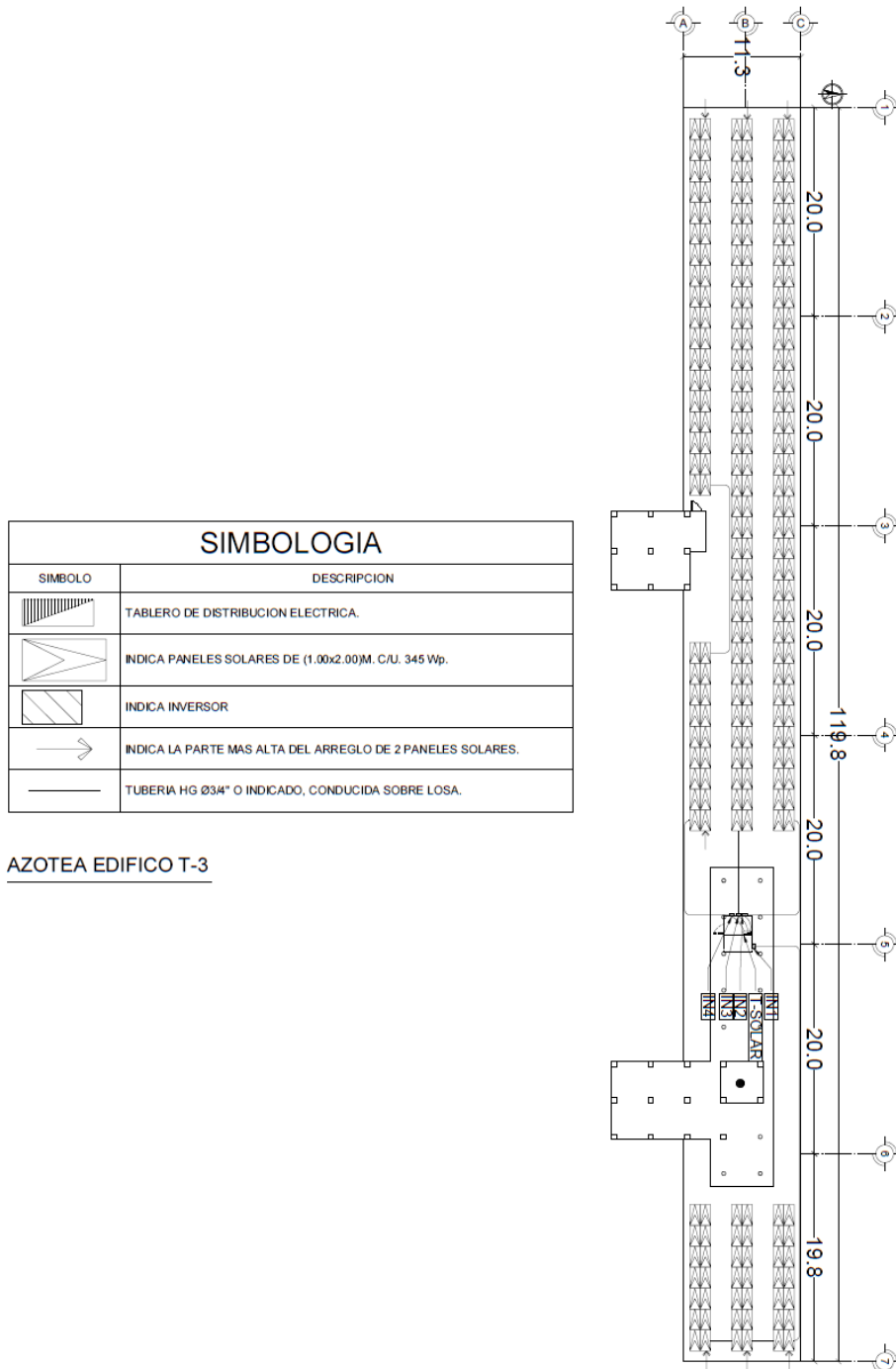


Fuente: [Fotografía de Alejandro Ortíz]. (Edificio T3 USAC 2020). Colección particular Guatemala.

#### **4.2. Selección del sistema fotovoltaico**

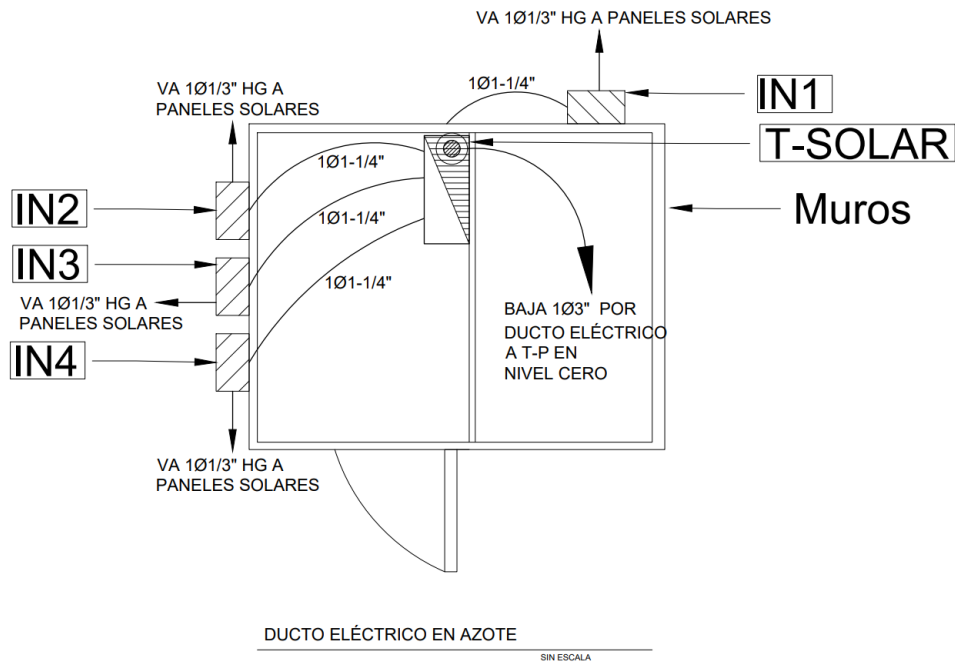
A continuación, se presenta el esquema de la azotea del edificio T-3, de la Facultad de Ingeniería, de la Universidad de San Carlos de Guatemala, y el diseño del sistema PV.

Figura 33. **Distribución de paneles solares en azotea, edificio T-3**



Fuente: elaboración propia, utilizando AutoCAD.

Figura 34. **Ampliación de ducto eléctrico y distribución de equipos**



Fuente: elaboración propia, utilizando AutoCAD.

Tabla IV. **Inversores y paneles solares, edificio T-3**

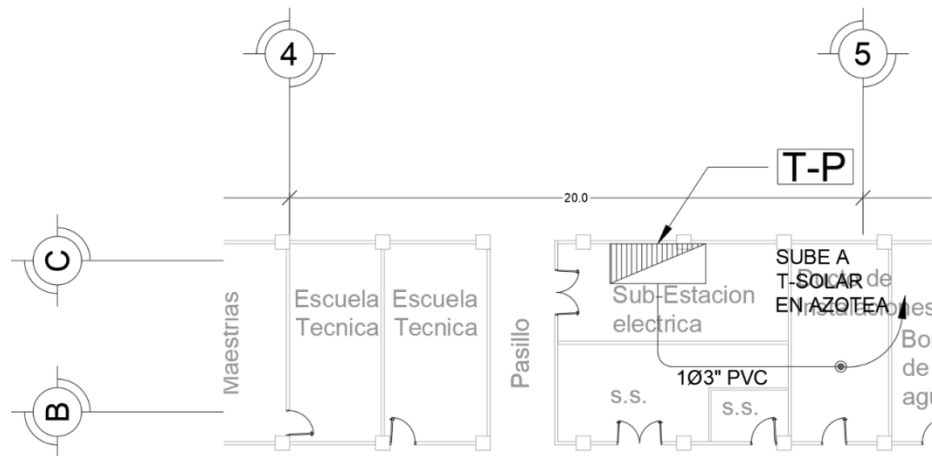
TABLA DE PANELES E INVERSORES					
#DE INVERSOR	POTENCIA DE INVERSOR	DE	CANTIDAD DE PANELES	POTENCIA ESTIMADA	ARREGLOS
INVERSOR 1	17 kWp		42 PANELES	14,490 kWp	3 DE 14 PANELES
INVERSOR 2	20 kWp		68 PANELES	23,460 kWp	4 DE 17 PANELES
INVERSOR 3	20 kWp		68 PANELES	23,460 kWp	4 DE 17 PANELES
INVERSOR 4	17 kWp		54 PANELES	18,630 kWp	3 DE 18 PANELES
TOTAL:	74 kWp		232 PANELES	80,040 kWp	

Fuente: elaboración propia.

### 4.3. Instalaciones eléctricas existentes

En la siguiente figura se muestra la ubicación del tablero principal del edificio T-3.

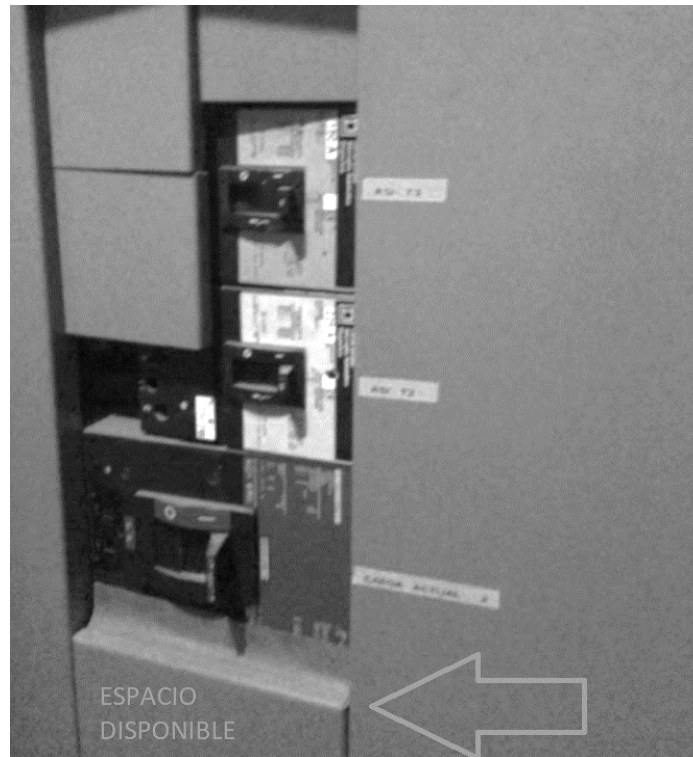
Figura 35. **Ubicación de tablero principal en nivel cero, edificio T-3**



Fuente: elaboración propia, utilizando AutoCAD.

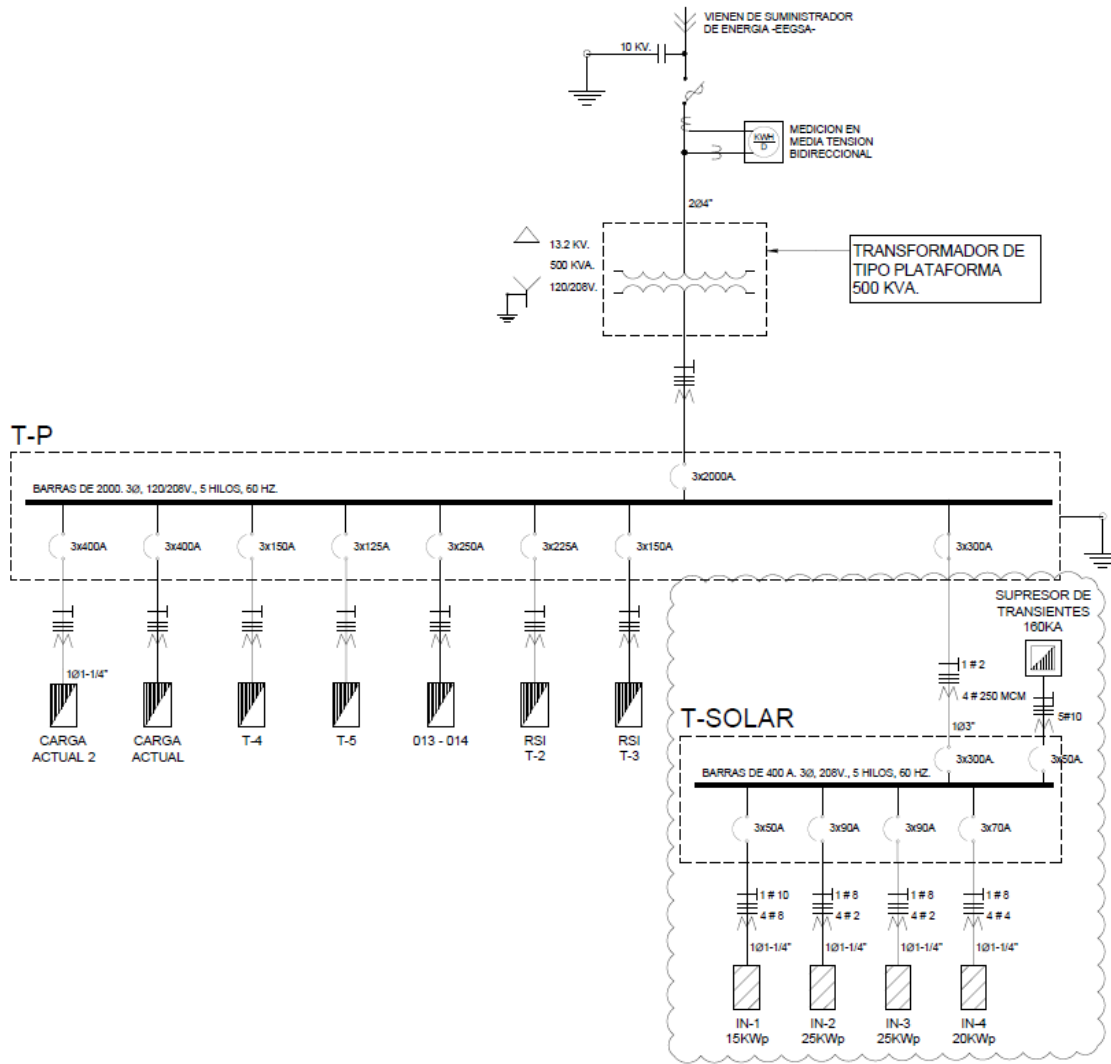


Figura 38. **Espacio disponible en tablero principal, edificio T-3**



Fuente: [Fotografía de Alejandro Ortíz]. (edificio T-3, 2020). Colección particular Guatemala.

Figura 39. Diagrama unifilar, edificio T-3



Fuente: elaboración propia, utilizando AutoCAD.



#### 4.4. Proyección de la energía generada

Se utilizó un programa de computadora de uso libre en línea <https://designer.solaredge.com>, para el cálculo de potencia y energía con el cual se obtuvo los siguientes resultados.

Figura 40. Ubicación de paneles solares en azotea, edificio T-3



Fuentes: Google Maps (2020). Consultado el 10 de febrero del 2021. Recuperado de <https://n9.cl/ftewz>.

Figura 41. Producción del sistema

PVGIS-5 valores estimados de la producción eléctrica solar:

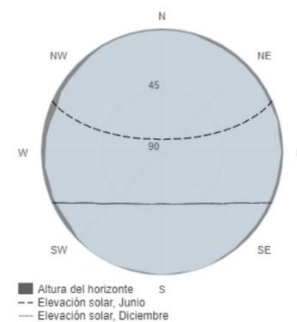
##### Datos proporcionados:

Latitud/Longitud: 14.588, -90.553  
 Horizonte: Calculado  
 Base de datos: PVGIS-NSRDB  
 Tecnología FV: Silicio cristalino  
 FV instalado: 80.04 kWp  
 Pérdidas sistema: 10 %

##### Resultados de la simulación

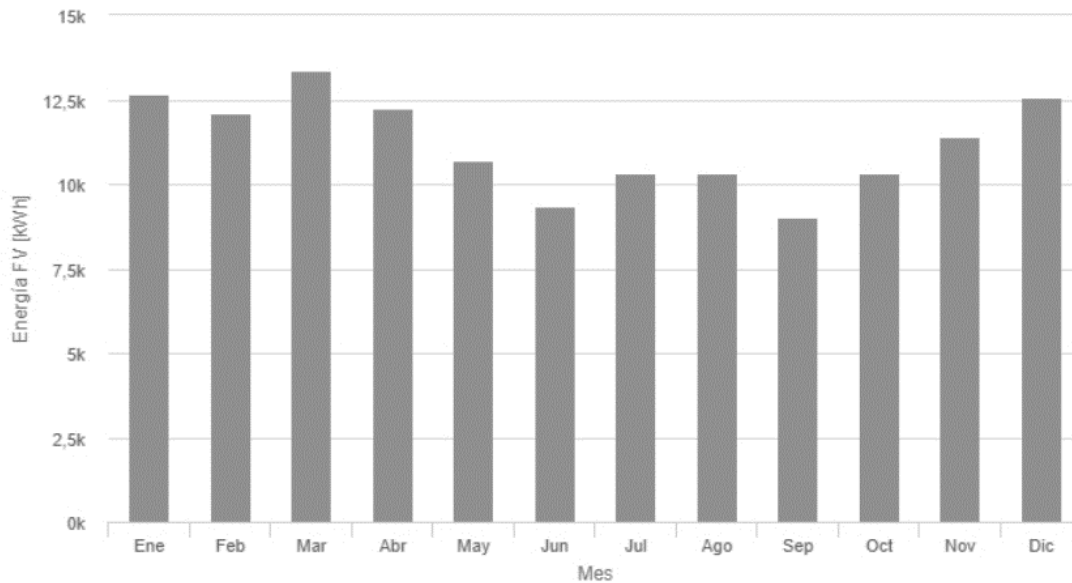
Ángulo de inclinación: 15 °  
 Ángulo de azimut: 8 °  
 Producción anual FV: 134421.79 kWh  
 Irradiación anual: 2093.17 kWh/m<sup>2</sup>  
 Variación interanual: 2446.25 kWh  
 Cambios en la producción debido a:  
 Ángulo de incidencia: -2.79 %  
 Efectos espectrales: NaN %  
 Temperatura y baja irradiancia: -8.29 %  
 Pérdidas totales: -19.77 %

##### Perfil del horizonte:



Fuente: elaboración propia.

Figura 42. **Energía mensual estimada en un año, edificio T-3**



Fuente: elaboración propia.

Tabla V. **Parámetros estadísticos de la energía estimada, edificio T-3**

<b>PARÁMETROS ESTADÍSTICOS DE TENDENCIA CENTRAL</b>	
PROMEDIO MENSUAL kWh	11202
DESVIACIÓN ESTADAR CONSUMO MENSUAL kWh	1392
MAXIMO MENSUAL kWh	13363
MINIMO MENSUAL kWh	9038

Fuente: elaboración propia.

#### 4.5. Prefactibilidad técnica

A continuación, se presenta el historial de consumo de energía eléctrica del edificio T-3.

Tabla VI. **Historial de consumo del edificio T-3, 2018-2019**

Contador	Fecha	Lectura	Consumo kWh MENSUAL	Demanda registrada kW	Potencia contratada kW	Días
F-88323	18/01/2020	138600	15,680	75.6	113	31.00
F-88323	18/12/2019	122920	36,820	112	97	32.00
F-88323	16/11/2019	86100	34,580	112	68	30.00
F-88323	17/10/2019	51520	34,720	112	41	30.00
F-88323	17/09/2019	16800	16,800	112	13	28.00
F-76867	19/08/2019	395,360	25,340	105	376	32.00
F-76867	18/07/2019	370,020	34,020	102.2	346	31.00
F-76867	17/06/2019	336,000	32,760	110.6	313	31.00
F-76867	17/05/2019	303,240	32,200	110.6	278	31.00
F-76867	16/04/2019	271,040	29,820	107.8	244	29.00
F-76867	18/03/2019	241,220	38,500	107.8	213	32.00
F-76867	14/02/2019	202,720	29,540	99.4	182	28.00
F-76867	17/01/2019	173,180	13,580	64.4	158	30.00
F-76867	18/12/2018	159,600	34,580	109.2	126	32.00
F-76867	16/11/2018	125020	29,120	93.8	100	29.00
F-76867	18/10/2018	95900	34,720	109.2	76	30.00
F-76867	18/09/2018	61180	37,520	119	51	31.00
F-76867	18/08/2018	23660	36,400	116.2	17	30.00
J-38420	18/07/2018	773,780	33,320	103.6	879	30.00
J-38420	18/06/2018	740,460	34,440	103.6	844	31.00
J-38420	18/05/2018	706,020	39,060	127.4	808	30.00
J-38420	18/04/2018	666,960	30,660	112	768	30.00
J-38420	19/03/2018	636,300	38,640	116.2	724	32.00
J-38420	15/02/2018	597,660				

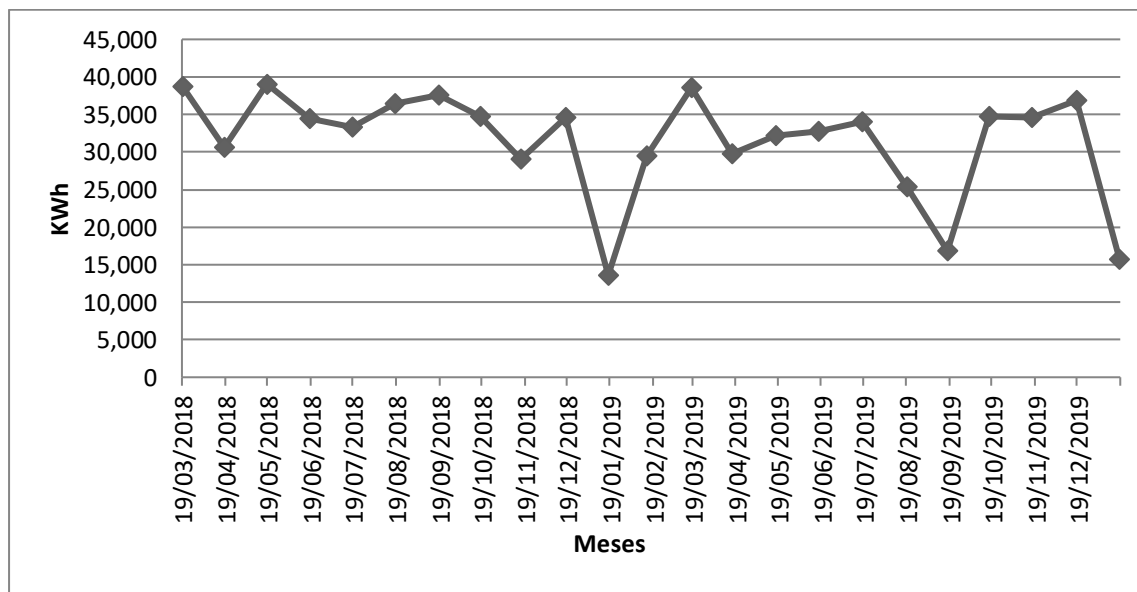
Fuente: EEGSA, (2019.) *Historial de consumo.*

Tabla VII. **Parámetros estadísticos históricos consumido del edificio T3**

<b>PARÁMETROS ESTADÍSTICOS DE TENDENCIA CENTRAL</b>	
PROMEDIO kWh	31426.96
DESVIACIÓN ESTADAR CONSUMO MENSUAL kWh	7211.50
MAXIMO kWh	39060.00
MINIMO kWh	13580.00

Fuente: elaboración propia.

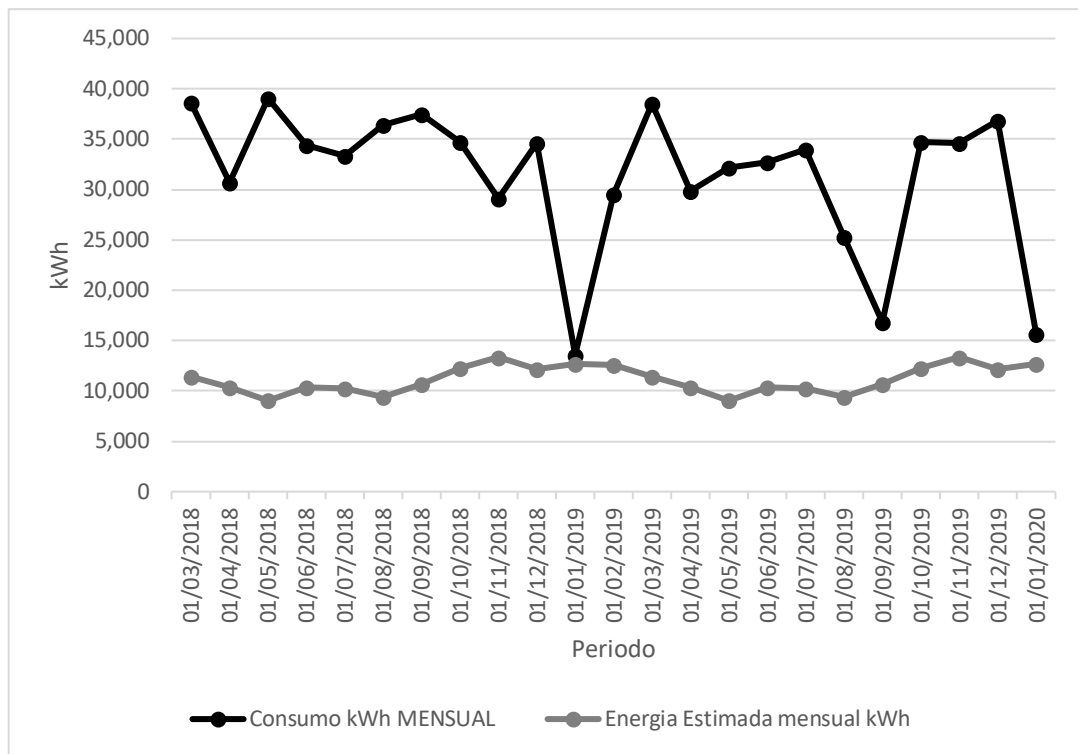
Figura 43. **Consumo mensual de energía edificio T-3 2018-2019**



Fuente: elaboración propia, utilizando datos proporcionados por EEGSA.

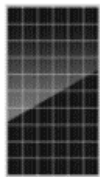





En la gráfica anterior se evidencia que el menor consumo de energía se presenta en el mes de diciembre, esto debido a que este mes es de vacaciones para la mayor parte de estudiantes de ingeniería.

Figura 44. **Proyección de energía generada mensual utilizando programa por computadora vs. energía consumida mensual**










Fuente: elaboración propia, utilizando datos proporcionados por EEGSA.

Figura 45. Aspectos técnicos de los elementos DC del sistema PV







ITEM	MODELO	DESCRIPCIÓN	FOTO REFERENCIA	UNIDAD	CAT.	P.U.	TOTAL
1	Eagle Plus 72 345Watts marca Jinko	Panel solar de 345 Watts, ver descripción técnica en Anexo 1		Unidad	232	Q1,150.00	Q266,800.00
2	Growatt 17000TL3-S	17000 watts, trifásico, debe solicitar a fabrica la configuración de voltaje siguiente 120/208V. ver especificación técnica en anexo 2		Unidad	2	Q23,250.00	Q46,500.00
3	Growatt 20000TL3-S	20000 watts, trifásico debe solicitar a fabrica la configuración de voltaje siguiente 120/208V. ver especificación técnica en anexo 2		Unidad	2	Q25,550.00	Q51,100.00
4	PV 4mm <sup>2</sup>	Aislamiento Poliolefina Copolímero entrecruzado por haz de electrones Voltaje nominal 1000 VDC Clasificación de temperatura -40°C – 125° C Resistencia al fuego IEO 60332-1 Emisión de humo IEC61034, EN 50268-2 Certificación TUV 2PFG 1169 / 08.2007 PVI-F		Metro	120	Q13.25	Q1,590.00
5	Mounting Bracket	Soporte de montaje para panel solar debe cumplir con: Si es acero laminado debe cumplir la norma UNE-EN- 10219-1 Y UNE-EN 10219- 2 Si es galvanizado debe cumplir la UNE-EN ISO 1413 y UNE-EN ISO 10684 con espesores sugun norma UNE-EN ISO 1461		Global	1	Q25,800.00	Q25,800.00
6	MC4 Compatible Conector	Rated current:10 A Rated Voltage: 1000 VDC		Unidad	40	Q35.00	Q1,400.00
TOTAL							Q393,190.00

Fuente: elaboración propia.

Figura 46. **Materiales eléctricos AC del sistema PV**

ITEM	MODELO	DESCRIPCIÓN	FOTO REFERENCIA	UNIDAD	CAT.	P.U.	TOTAL
1	Tubo HG 3/4	Tubería conduit Galvanizado de 3/4" para conexión entre paneles e inversor.		Unidad	10	Q49.56	Q495.60
2	tubo EMT de 1 1/4"	Tubería EMT de 1 1/4" para conexión de inversores hacia TP-SOLAR		Unidad	3	Q34.95	Q104.85
3	Conector EMT	Conector EMT de 1 1/4"		Unidad	6	Q6.09	Q36.54
4	Copla EMT	Copla EMT 1 1/4"		Unidad	4	Q6.40	Q25.60
5	Abrazadera hanger de 1 1/4"	Abrazadera hanger de 1 1/4"		Unidad	8	Q2.20	Q17.60
6	Abrazadera hanger de 3/4"	Abrazadera hanger de 3/4"		Unidad	30	Q1.57	Q47.10
7	Tablero centro de carga, 120/208V, trifásico	Tablero centro de carga (TP-SOALR), trifásico, 120/208V, barra de 400 amperios, con interruptor principal de 300 amperios, con dos ramales de 3x60A y dos ramales de 3x70A		Unidad	1	Q4,850.00	Q4,850.00
8	Tubo PVC DE 3"	Tubo PVC DE 3"X6MT, 160PSI, para alimentador eléctricos desde tablero principal del edificio T-3 a TP-SOLAR		Unidad	7	Q271.18	Q1,898.26
9	Adaptador macho plástico de 3"	Conector plástico de 3"		Unidad	2	Q32.91	Q65.82

Continuación figura 46.

10	Junta cementada de 3"	Junta cementada de 3"		Unidad	4	Q165.00	Q660.00
11	Soporteria para tubería de 3"	Soporteria para tubería, incluye Riel Unicanal P1000, tarugos S-8, Tornillería, abrazaderas unicanal de 3"		Global	1	Q850.00	Q850.00
12	Cable THHN #250 MCM CU	Cable THHN #250 MCM CU, para alimentador eléctrico de TP-SOLAR a tablero principal del edificio T-3 . L1, L2, L3 y N		Metro	120	Q91.54	Q10,984.80
13	CABLE THHN "2 Color verde	CABLE THHN "2 Color verde para alimentador eléctrico de TP-SOLAR a tablero principal del edificio T-3		Metro	30	Q24.56	Q736.80
14	Interruptor termomagnético Marca Cutler Hammer Nota: el modelo debe ser verificado en campo	Interruptor termomagnético Marca Cutler Hammer de 3x300 amperios incluye link de anclaje		Unidad	1	Q1,200.00	Q1,200.00
15	Cable de cobre 1/0 sin forro	Cable de cobre calibre 1/0 sin forro para red de tierra física		metro	18	Q56.00	Q1,008.00
16	Varilla de cobre de 5/8" x 8 Pies	Varilla de cobre de 5/8"x8 pies para red de tierra		Unidad	3	Q41.00	Q123.00
17	Caja tipo contador de agua	Caja tipo contador de agua de 0.20 x 0.40 mt de concreto para registro de red de tierra		Unidad	3	Q50.00	Q150.00
18	Supresor trifásico, conexión estrella 120/208V 160KA	Dispositivo de protección contra sobretensiones transitorias DPS, conexión Estrella acorde a UL 1449 3era Edición ,Led de indicación de fin de vida útil, 5 hilos (3P+N+T)		Unidad	1	Q1,500.00	Q1,500.00
TOTAL							Q24,753.97

Fuente: elaboración propia.



Se estima que la mano de obra para la instalación del sistema será de Q35,000.00, sumando material y mano de obra se tiene un total de Q452,943.97

Para que el sistema PV funcione correctamente, se debe constituir como usuario autoprodutor con excedente de energía; para que esto se deba llenar los formularios que se muestran en el anexo 3.

A continuación, se realiza la comprobación del sistema PV paso a paso:

Se debe obtener de la ficha técnica del panel solar el valor de tensión de circuito abierto ( $V_{oc}$ ) y la corriente de corto circuito ( $I_{sc}$ ).

También debe obtener de la ficha técnica del inverso el rango de tensión MPP y la máxima corriente DC siendo estos:

- $V_{oc} = 47.3V_{cc}$
- $I_{sc} = 9.31A$
- Rango de tensión MPP =  $250 V_{DC}$  a  $1000V_{DC}$
- Máxima corriente DC =  $37.5A$

Del diseño del sistema PV se debe obtener

- Número de paneles en serie por cadena = 18 unidades
- Número máximo de cadenas en paralelo = 4 cadenas

Comprobación por voltaje

$$Tensión\ mínima\ MPP \leq No.\ Paneles\ en\ serie \leq Tensión\ máxima\ MPP$$

$$250v \leq 18 \times 47.3v \leq 1000v$$

$$250v \leq 851.4v \leq 1000v$$

Con la comprobación anterior se obtiene que el sistema tendrá un voltaje que está en el rango permitido por el inversor para funcionar correctamente.

Comprobación por corriente

$$\text{Máxima corriente DC} \leq \# \text{ cadenas} \times I_{sc}$$

$$37.5A \leq 4 \times 9.31A$$

$$37.5A \leq 37.24A$$

Con la comprobación anterior se obtiene la corriente máxima del sistema no supera el valor máximo de corriente permitido por el inversor para funcionar correctamente.

#### **4.6. Prefactibilidad económica**

Para obtener la Tasa interna de retorno (TIR) y el valor actual neto (VAN), se debe analizar todos los valores que inciden en el sistema solar fotovoltaico tales como:

- Costo anual por mantenimiento del sistema PV, el cual se estima de Q6,600.00.
- Repuesto necesario anualmente del sistema PV, Q5,000.00
- Perdida de eficiencia del sistema anuales 0.84 %
- Exoneración de impuestos de acuerdo con la Ley de Incentivos para el desarrollo de proyectos de energía renovable.
- Se selecciona una tasa de interés de 8 %

Con los datos anteriormente descritos representados en una tabla de Excel para un total de 10 años se obtiene la siguiente tabla.

**Tabla VIII. Tabla de ingresos y egresos del sistema PV**

Tasa de descuento	8.00%										
<b>COSTOS FIJOS</b>											
Mantenimiento y limpieza	Q6,600.00										
<b>COSTOS VARIABLES</b>											
Repuestos	Q5,000.00										
<b>INVERSIÓN</b>	Q452,943.97										
<b>IMPUESTOS</b>											
IVA	12.00%										
ISR Exonerados los primeros 10 años	5.00%										
Perdida de eficiencia del sistema	0.84%										
<b>AÑO</b>	<b>0</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>
Perdida de Eficiencia	0	0	0.84%	0.84%	0.84%	0.84%	0.84%	0.84%	0.84%	0.84%	0.84%
Precio de potencia eléctrica generada	Q0.00	Q126,980.14	Q125,913.51	Q124,855.83	Q123,807.04	Q122,767.06	Q121,735.82	Q120,713.24	Q119,699.25	Q118,693.78	Q117,696.75
Costos fijos	Q0.00	Q6,600.00	Q6,600.00	Q6,600.00	Q6,600.00	Q6,600.00	Q6,600.00	Q6,600.00	Q6,600.00	Q6,600.00	Q6,600.00
Costos variables	Q0.00	Q5,000.00	Q5,000.00	Q5,000.00	Q5,000.00	Q5,000.00	Q5,000.00	Q5,000.00	Q5,000.00	Q5,000.00	Q5,000.00
<b>Ahorros variables</b>	Q0.00	Q115,380.14	Q114,313.51	Q113,255.83	Q112,207.04	Q111,167.06	Q110,135.82	Q109,113.24	Q108,099.25	Q107,093.78	Q106,096.75
Impuestos	Q0.00	Q15,237.62	Q15,109.62	Q14,982.70	Q14,856.85	Q14,732.05	Q14,608.30	Q14,485.59	Q14,363.91	Q14,243.25	Q14,123.61
<b>Ahorros netos</b>	Q0.00	Q100,142.52	Q99,203.89	Q98,273.13	Q97,350.20	Q96,435.02	Q95,527.52	Q94,627.65	Q93,735.34	Q92,850.52	Q91,973.14
Inversión	Q452,943.97	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00
<b>Total de ahorro</b>	Q0.00	Q126,980.14	Q125,913.51	Q124,855.83	Q123,807.04	Q122,767.06	Q121,735.82	Q120,713.24	Q119,699.25	Q118,693.78	Q117,696.75
<b>Total de egresos</b>	Q452,943.97	Q26,837.62	Q26,709.62	Q26,582.70	Q26,456.85	Q26,332.05	Q26,208.30	Q26,085.59	Q25,963.91	Q25,843.25	Q25,723.61
<b>Flujo neto de fondos</b>	<b>-Q452,943.97</b>	<b>Q100,142.52</b>	<b>Q99,203.89</b>	<b>Q98,273.13</b>	<b>Q97,350.20</b>	<b>Q96,435.02</b>	<b>Q95,527.52</b>	<b>Q94,627.65</b>	<b>Q93,735.34</b>	<b>Q92,850.52</b>	<b>Q91,973.14</b>

Fuente: elaboración propia.

Aplicando las fórmulas presentadas en el inciso 3.4.6 se obtiene los siguientes resultados.

**Tabla IX. Cálculo del VAN y TIR**

	a 3 Años	a 4 Años	a 5 Años	a 6 Años	a 7 Años
<b>TIR</b>	-18.43 %	-5.29 %	2.80 %	8.02 %	11.53 %
<b>VPN</b>	-Q197,155.69	-Q125,600.39	-Q59,968.34	Q230.21	Q55,444.53

Fuente: elaboración propia.



## **5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

A continuación, se discuten los resultados de cada una de las fases de investigación realizadas.

### **5.1. Características del área por utilizar**

El área por utilizar es la azotea del edificio T-3, de la Facultad de Ingeniería, del campus central de la zona 12, de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Tal como se muestra en la figura 23.

Al tener acceso a los planos del edificio T-3, proporcionados por el área de planificación de la Facultad de Ingeniería, se colocaron ejes en los mismos para contar con referencias; para la ubicación del sistema PV. Como se muestra en la figura 12.

En la figura 12, entre los ejes 5 y 6, se visualiza una construcción donde se encuentra ubicado el tanque de agua y el ducto de gradas siendo esta el 25 % de la azotea. Por lo tanto, esta área no puede ser utilizada para la instalación de paneles solares.

El 75 % del área de la azotea puede ser aprovechada para la instalación de paneles solares, de acuerdo con la figura 28, ya que está libre de obstáculos.

El 75 % del área de la azotea es libre de sombras, de acuerdo con las figuras 12, 29 y 30.

La azotea cuenta con un ducto eléctrico que comunica con el cuarto eléctrico ubicado en nivel 0, de acuerdo con las figuras 12, 28 y 31.

Se cuenta con espacio suficiente para la instalación de inversores AC/DC y tablero AC de acuerdo con la figura 9 y 33.

La investigación demuestra que, si se cuenta con un área, que cumple con lo siguiente:

- Se cuenta con espacios libres de obstáculos y sombras.
- El área no tiene desniveles que puedan afectar la instalación.
- Existe ducto eléctrico que facilita la instalación eléctrica.

La azotea puede ser aprovechada para la instalación de un sistema PV, siempre limitada por el área disponible ya que de esta depende la capacidad de generación del sistema PV.

## **5.2. Selección del sistema fotovoltaico**

El sistema solar fotovoltaico seleccionado tendrá las siguientes características:

- Estructuras: estáticas con un ángulo de inclinación de  $15^\circ$  (ver figura 14).
- Cantidad de paneles: 232 (ver en la tabla IV).
- Potencia de paneles: 345Wp (ver en la tabla IV y apéndice 1).
- Cableado PV: 4mm<sup>2</sup>
- Inversores: 2 de 17KWp y 2 de 20KWp (ver tabla IV y apéndice 2).

- Ubicación de inversores: pared exterior del ducto eléctrico (ver figura 9 y 33).
- T-SOLAR: tablero centro de carga 120/08V, barra de 400 amperios, interruptor principal de 3x300 amperios, con dos ramales de 3x60 amperios y dos ramales de 3x70 amperios (ver figura 38).
- Ubicación de T-solar: ducto eléctrico (ver figura 33).
- Interruptor ramal del tablero principal: 3x300 amperios (Ver figura 38).
- Cable de alimentación T-solar: 4 cables 250 THHN MCM de cobre.

Al seleccionar el sistema PV, debe considerar en todo momento todos los elementos en corriente continua (paneles solares, inversores, cableados PV) y los elementos en corriente alterna (tableros centros de carga, cableados en AC) que lo integran.

### **5.3. Instalaciones eléctricas existentes**

Se verificó la existencia de espacio libre en el tablero principal que se encuentra ubicado en el cuarto eléctrico, como se muestra en la figura 37.

Se observó que el tablero principal del edificio T-3 alimenta cargas de los edificios T2, T-4 y T-5, como se indica en la figura 37 y 38.

Se elaboró un diagrama unifilar del tablero principal incluyendo la proyección del sistema solar fotovoltaico que se muestra en la figura 38.

Se verificó el espacio en el ducto eléctrico para la instalación de tubería PVC de 3" para la conexión de T-SOLAR ubicado en azotea hacia T-P ubicado en cuarto eléctrico, como se muestra en la figura 31.

Al analizar la implementación de cualquier sistema PV, es necesario, verificar que exista espacio para la conexión del mismo al sistema eléctrico existente. Ya que el sistema PV, debe contar con un método de protección termomagnético al momento de ser conectado a las instalaciones existentes.

#### **5.4. Proyección de la energía generada**

Se proyectó una generación de energía mensual de 10,623 kWh, por medio de métodos matemáticos tradicionales, como se indicó en la sección 3.4.4.

Dado que los métodos matemáticos no contemplan variables climatológicas y de temperatura, altura sobre el nivel del mar e irradiación solar, se evaluó esta generación con un programa de computadora de uso libre en línea <https://designer.solaredge.com>, obteniendo un valor mínimo de 7,910 kWh y un valor máximo de 11,220 kWh.

Por lo tanto, es necesario utilizar un programa por computadora, para analizar la implementación de un sistema PV, ya que los resultados obtenidos por estos son más confiables que los cálculos matemáticos tradicionales.

En el mercado existen varios programas dedicados al cálculo de sistemas PV, como ejemplo PVsyst, Solar PV Design, SolarGis, cada uno tiene características diferentes, pero al final todos son útiles para el cálculo del sistema PV.

Analizando la figura 41, se verifica que con el sistema PV propuesto se obtendrá 134,421 MWh de energía generada, también se indican las toneladas de CO<sub>2</sub> equivalentes las cuales son 2053, pero este valor debe ser corregido con



el factor aplicado a Guatemala, dicho factor se encuentra en el Balance General Nacional de energía, del año 2016, en la sección 6, emisiones de gases de efecto invernadero en el sector energético.

Dicho valor es de 0.4877 Kg CO<sub>2</sub> /kWh

Aplicando este valor a la energía generada anualmente se obtiene un total de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente de:

$$CO2\ equivalente = \frac{0.4877kgCO2}{kWh} \times Generación\ Anual\ del\ sistema\ PV$$

$$CO2\ equivalente = \frac{0.4877kgCO2}{kWh} \times 134,421kWh$$

$$CO2\ equivalente = 65,557kgCO2$$

$$CO2\ equivalente = 65.55\ toneladas\ de\ CO2$$

## 5.5. Prefactibilidad técnica

La demanda mensual de energía eléctrica del edificio T-3, fue comparada con la energía generada por el sistema solar fotovoltaico obtenida del programa de computadora de uso libre en línea, dando como resultado:

En el mes de diciembre se presenta la demanda mínima de energía siendo esta de 13,580Kwh/mes y la energía que se estima generar para este mes por el sistema PV es de 12,685Kwh/mes con estos datos, se calcula que el porcentaje de energía suministrada por el sistema PV, es del 93.40 %.

La máxima demanda del edificio T-3, se presenta en el mes mayo siendo esta de 39.060kWh/mes, se estima que en este mismo periodo el sistema PV proporcionará 9,038kWh/mes siendo este el 23.13 % de energía.

Analizando las gráficas 39, 40 y los dos enunciados anteriores, se evidencia que la energía que generará el sistema PV, siempre será menor a la demanda que el edificio T-3, requiere. Por tal motivo nunca se tendrán excedentes de energía.

Tabla X. **Comparación de energía estimada y consumida edificio T-3**

<b>PARAMETROS ESTADISTICOS DE TENDENCIA CENTRAL</b>		
<b>PARAMETROS</b>	<b>GENERACIÓN</b>	<b>CONSUMO</b>
PROMEDIO kWh	11201.63	31427
DESVIACIÓN ESTADAR CONSUMO MENSUAL kWh	1392.31	7211
MAXIMO kWh	13363.00	39060
MINIMO kWh	9038.30	13580

Fuente: elaboración propia.

Analizando la tabla anterior, se evidencia que las dos variables nunca serán iguales. Además, los fenómenos son completamente independientes ya que la generación de energía del sistema PV, no depende del consumo de energía del edificio T-3.

Se desarrolló una tabla de los aspectos técnicos y cantidades de equipos y accesorios para la implementación del sistema PV, que fueron calculadas en función del diseño presentado en las figuras 32,33, 34 y las tablas IV y VII.

Derivado de las tablas VIII y IX, con precios unitarios de mercado del año 2020, los cuales pueden ser utilizados para el cálculo aproximado de un sistema PV, con similares características.

Para que el sistema funcione correctamente se debe constituir al edificio T-3, como un usuario autoprodutor con excedentes de energía, como se muestra en el apéndice 4, este apéndice puede ser aplicado a cualquier entidad que desee iniciar los trámites, para constituirse como usuario autoprodutor.

Para garantizar que el sistema solar fotovoltaico, no tenga errores en el diseño, se realizó la comprobación del sistema PV; obteniendo que la sumatoria de los valores de voltaje en circuito abierto de las cadenas de los paneles conectados al inversor fue de  $851.4V_{DC}$ , la cual fue menor que el valor máximo aceptable de voltaje ( $1000V_{DC}$ ) del inversor. Y que la corriente de corto circuito de las cadenas de los paneles conectadas en paralelo fue de  $37.24A$ , la cual no supero la corriente máxima por MPP del inverso siendo esta  $37.5A$ . por lo tanto el sistema funcionara correctamente.

Esta comprobación de parámetros en el diseño de sistemas PV, siempre debe ser aplicada, no solo como comprobación si no como una herramienta obligatoria al momento de diseñar los sistemas PV.

## **5.6. Prefactibilidad económica**

Analizando los datos de las tablas VIII, IX, X y XI, se verifica que la tasa interna de retorno supera la tasa de interés seleccionada del 8% en el año 6, en este mismo año se visualiza también que el valor actual neto (VAN) pasa a ser positivo.

Con estos datos se estima que el tiempo de recuperación de la inversión es de 6 años, y los siguientes años de vida del sistema PV, se obtendrá utilidad.

La de vida útil de un sistema PV, es de aproximadamente 25 años y la inversión realizada en la implementación del sistema PV, se pagará en 6 años. En los restantes 19 años del Sistema PV, se generará utilidad, lo cual equivale a un 76 % del total de la vida del sistema PV.

## CONCLUSIONES

1. El máximo potencial energético solar fotovoltaico que se puede aprovechar en el edificio T-3 es de 134,421 kWh, por tal motivo es factible la implementación de un sistema solar fotovoltaico.
2. El 75 % de la azotea del edificio T-3, es un área libre de obstáculos y sombras, no cuenta con desniveles que puedan afectar la instalación del sistema, por lo tanto; tiene las características necesarias para la instalación de un sistema PV.
3. El tipo de sistema de generación solar fotovoltaica más adecuado para el edificio T-3, será un sistema conectado al sistema nacional interconectado conformado por 232 paneles solares de 345W, 2 inversores trifásicos con voltaje 120/208V de 17kW y 2 inversores trifásicos con voltaje 120/208V de 20kW.
4. No es necesario que realizar modificación a las instalaciones eléctricas existentes, debido a que se cuenta con ducto eléctrico; que comunica el nivel 0 con la azotea y hay espacios libres en el tablero principal para la protección eléctrica del sistema PV.
5. La energía proporcionada por el sistema de generación solar fotovoltaica nunca superará la demanda del edificio T-3, ya que en el mes de menor demanda el sistema PV, genera el 93.40 % y en el mes de mayor demanda el sistema PV, generará el 23.13 %, por tal motivo toda la

energía generada por el sistema PV, será consumida por el edificio T-3, y con esto no se tendrán en ningún mes excedentes de energía en el al sistema nacional interconectado.

6. El sistema solar fotovoltaico es factible económicamente ya que la inversión realizada (Q452,943.97) para su implementación, se pagará en un periodo de 6 años y los siguientes 19 años de vida útil del proyecto estará generando utilidad.

## RECOMEDACIONES

1. La Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, debería implementar este sistema de generación solar fotovoltaica y replicar en otros edificios de la facultada.
2. Los distintos ministerios de gobierno e iniciativa privada, deben promover la utilización de sistemas de generación de energía solar fotovoltaica en sus instalaciones.
3. La Comisión Nacional de Energía Eléctrica, debe promover el uso, no solo de energía solar fotovoltaica; si no de todas las energías renovables, con el objetivo de reducir la huella de carbono y diversificar la matriz energética en Guatemala.
4. Los estudiantes de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, principalmente de la Maestría en Gestión de Mercados Eléctricos regulados, deben replicar esta investigación utilizando como base energía Eólica o biomasa en los diferentes edificios de la Universidad.
5. Para los estudiantes de la Maestría en Gestión de Mercados Eléctricos regulados, es necesario realizar una investigación para comprobar si se obtiene mayor beneficio económico al constituir al edificio T-3, como Gran Usuario en comparación a la instalación del sistema PV propuesto.





## REFERENCIAS

1. Alvarado, A.(2014). Análisis, diseño y simulación de sistema solar *fotovoltaico para suministro eléctrico en apoyo para programa nutricional en la escuela rural el Cardonal, Tibaná (Boyacá)*. (Tesis de maestría). Universidad Libre de Colombia, Colombia.
2. Calvo, N. (2015). Conexión a red de una planta fotovoltaica de 18MW *en la Libertad-Perú*. (Tesis de postgrado). Universidad Carlos III de Madrid Escuela Politécnica Superior, Perú, Trujillo, Libertad. Perú.
3. Decreto número 52-2003. Congreso de la República de Guatemala, Diario de Centro America, Guatemala 10 de noviembre de 2003.
4. Decreto Número 93-96. Congreso de la República de Guatemala, Diario de Centro America, Guatemala 15 de noviembre de 1996.
5. Empresa Electrica de Guatemala. (2019). *Pliegos Tarifarios*. Guatemala, Guatemala. Autor.
6. Grupo NAP. (2002). *Energía solar fotovoltaica*. Madrid, España: Ibergraphic.
7. Maharaja, K. & Pradeep, P. (2016, abril). Development of bidirectional net meter in grid connected solar PV system for domestic consumers. *IEEE International Conference on Energy Efficient Technologies for*

8. NFPA. (2008). Código Eléctrico Nacional. Estados Unidos: Quincy, MA.
9. Ortíz, J. (febrero de 2013). Viabilidad técnico-económica de un sistema fotovoltaico de pequeña escala. *Visión Electrónica*(1), 103-117.
10. Perpiñan, O. (2012). *Energía solar fotovoltaica*. Madrid: Universidad Politecnica de Madrid.
11. Resolución CNEE-227-2014. Comisión Nacional de Energía Eléctrica, Diario de Centroamérica, Guatemala, 25 de 08 de 2014.
12. Salamanca, E. (agosto-diciembre de 2012). Highly efficient photovoltaic cells and solar panel system at cubesat Colombia. *Udistrital*, 3(2), 41-50.
13. Velásquez, G. (2014). *Análisis financiero para usuarios autoprodutores con excedente de energía por medio de paneles solares*. (Tesis de postgrado). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
14. Villatoro, E. (2015). *Diseño de sistemas de generación de energía solar fotovoltaica conectados a red para autoconsumo, bajo normativa de generación distribuida NTGDR, de los edificios S1 y M5, del campus central de la USAC*. (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

15. Villatoro, J. (2015). *Diseño de un generador de energía fotovoltaica para el centro universitario de nor-occidente (CUNOROC), Universidad de San Carlos de Guatemala, bajo la normativa de generación distribuida.* (Tesis de Postgrado). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
  
16. Wiles, John. (1996). *Sistemas de energía fotovoltaica y el código eléctrico nacional: practicas recomendadas.* Nuevo Mexico, Estados Unidos: Abraham Ellis.



# APÉNDICES

## Apéndice 1. Panel solar de diseño del sistema PV

CARACTERÍSTICAS DE PANEL EAGLE PLUS 72 340-360W, MARCA JINKO					
No. de Modelo	JKM340M-72(Plus)	JKM345M-72(Plus)	JKM350M-72(Plus)	JKM355M-72(Plus)	JKM360M-72(Plus)
Garantía	10 Años				
Garantía de Producto	10 Años				
Garantía de energía	10 años de 90% potencia de salida, 25 años de 80,2% potencia de salida				
<b>Características Eléctricas en STC</b>					
Potencia Máxima (Pmax)	340 Wp	345 Wp	350 Wp	355 Wp	360 Wp
Tensión en el Punto de Máxima Potencia (Vmax)	38,7 V	38,9 V	39,1 V	39,3 V	39,5 V
Corriente en el punto de máxima potencia (Imax)	8,79 A	8,87 A	8,94 A	9,04 A	9,12 A
Tensión en Circuito Abierto (Voc)	47,1 V	47,3 V	47,5 V	47,8 V	48 V
Corriente de cortocircuito (Isc)	9,24 A	9,31 A	9,38 A	9,45 A	9,51 A
Eficiencia	17,52 %	17,78 %	18,02 %	18,31 %	18,57 %
Tolerancia de Potencia (+)	3%	3%	3%	3%	3%
<small>Condiciones de prueba estándar (STC): Masa de aire AM 1,5, radiación 1000W/m<sup>2</sup>, temperatura de célula 25°C.</small>					
<b>Características Eléctricas en NOCT</b>					
Potencia Máxima (Pmax)	254 Wp	258 Wp	262 Wp	266 Wp	270 Wp
Tensión en el Punto de Máxima Potencia (Vmax)	36,8 V	37 V	37,2 V	37,5 V	37,7 V
Corriente en el punto de máxima potencia (Imax)	6,89 A	6,98 A	7,05 A	7,09 A	7,17 A
Tensión en Circuito Abierto (Voc)	45,5 V	45,8 V	46 V	46,2 V	46,5 V
Corriente de cortocircuito (Isc)	7,33 A	7,38 A	7,46 A	7,54 A	7,61 A
Temperatura	45±2 °C	45±2 °C	45±2 °C	45±2 °C	45±2 °C
<small>Temperatura en condiciones normales de operación (NOCT): 800W/m<sup>2</sup>, AM 1,3, velocidad del viento de 1m/s, temperatura ambiente de 20°C</small>					
<b>Características Térmicas</b>					
Rango de Temperatura	-40-85 °C				
Coefficiente de Temperatura de Pmax	-0,39 %/°C				
Coefficiente de Temperatura de Voc	-0,29 %/°C				
Coefficiente de Temperatura de Isc	0,05 %/°C				
<b>Parámetros del Sistema</b>					
Tensión Máxima del Sistema	1000 V				
Limite de Corriente	15 A				
<b>Características Mecánicas</b>					
Dimensiones (A/A/F)	1956x992x40 mm				
Peso	26,5 kg				
Tipo de Células	PERC				
Tamaño de las Células	156x156 mm				
Numero de Células	72				
Tipo de Vidrio	Templado, Capa Antirreflejo, Alto Transparente, Bajo Hierro				
Grosor de Vidrio	4 mm				
Tipo de Trama	Aleación de Aluminio Anodizado				
Caja de Protección de Uniones	IP 67				
Cables	4 mm <sup>2</sup>				
Largo de Cable	900 mm				

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de Designer.solaredge.com.

## Apéndice 2. Inversor utilizado en el diseño del sistema PV

<b>CARACTERÍSTICAS DE INVERSOR, MARCA Jgrowatt 17000-25000TL3-S</b>			
No. De Modelo	Growatt 17000TL3-S	Growatt 20000TL3-S	Jgrowatt 25000TL3-S
<b>Garantía</b>			
Garantía de Producto	<b>5 años</b>		
<b>Datos de entrada DC</b>			
Potencia Máxima DC	21,25 kW	25kW	<b>31,25kW</b>
Tensión máxima	1000 V	1000 V	1000 V
Tensión mínima para iniciar alimentación	250 V	250 V	250 V
Máxima corriente DC	37,5 A	37,5 A	37,5 A
Rango de Tensión MPP(T)	400-800 V	400-800 V	400-800 V
Tensión de MPPT	2	2	2
Entrada DC	6	6	6
<b>Datos de salida AC</b>			
Potencia Máxima AC	18,8 kW	<b>22,2 kW</b>	<b>27,7kW</b>
Tensión nominal de red AC	230, 400 V	230, 400 V	230, 400 V
Máxima corriente AC	27,5 A	32,2 A	40,3 A
Frecuencia	50, 60 Hz	50, 60 Hz	50, 60 Hz
Factor de potencia (cosΦ)	0,8	0,8	0,8
Distorsión (THD)	<3%	<3%	<3%
Numero de fases de inyección	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>
Eficiencia máxima	98,7%	98,7%	98,7%
Euro-eficiencia	98,4%	98,4%	98,4%
<b>Datos generales</b>			
Dimensiones (A/A/F)	754x470x270 mm	754x470x270 mm	754x470x270 mm
Peso	48 kg	48 kg	48 kg
Consumo nocturno	< 1 W	< 1 W	< 1 W
Nivel de ruido	<< 50 dB(A)	<< 50 dB(A)	<< 50 dB(A)
Temperatura de Funcionamiento	-25~+60 °C		
Transformador	Sin Transformador		
Clase Protectora	IP65		
Humedad	0-1000%		
Enfriamiento	Ventilador		
Altitud máxima	4000 m		
Interface	RS232 RS485, WLAN		
Visualización	LCD		
<b>Características de Protección</b>			
Características de Protección.	Protección Corto-Circuito, Protección contra Inversiones de la Polaridad, Monitorización de fallo de Toma de Tierra		

Nota: es de gran importancia que, al momento de adquirir los inversores, se solicite a fábrica que la tensión nominal de red AC este configurada para trabajar en 120/208V, trifásico.

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de Designer.solaredge.com.

### Apéndice 3. **Uso del programa <https://designer.solaredge.com>**

En el enlace anterior el usuario solo debe registrarse utilizando un correo electrónico y luego iniciar el diseño, siguiendo los siguientes pasos.

#### Menú de programa de diseño



The screenshot displays the 'DESIGNER' software interface for a project titled 'EDIFICIO T-3 FACULTADA DE INGEN'. The main menu on the left includes icons for 'INFORMACIÓN DEL PROYECTO', 'DISEÑO 3D', 'DISTRIBUCIÓN MÓDULOS FV', 'DISEÑO ELÉCTRICO', 'RESUMEN E INFORMES', and 'EXPORTAR A MONITORING'. The 'INFORMACIÓN DEL PROYECTO' form is active, showing the following details:

- Información General**
- Nombre del Proyecto \*: Edificio T-3 Facultad de ingeniería
- Calle: T-3 Ingeniería
- Ciudad: Ciudad de Guatemala; Código postal: 01012
- País \*: Guatemala
- Estación meteorológica \*: Guatemala City (4 km)
- Ciente**
- Nombre: Alejandro; Apellidos: Ortíz

At the bottom of the form are two buttons: 'CANCELAR' and 'APLICAR'.

En el área superior izquierda del programa encontrará cinco íconos que debe llenar para realizar el diseño de un generador solar fotovoltaico.

En el ícono **INFORMACIÓN DEL PROYECTO** se debe ingresar los datos del proyecto, datos del diseñador y la ubicación del proyecto.

Continuación apéndice 3.

En el ícono DISEÑO 3D, debe dibujar el área donde se colocarán los paneles solares, también debe dibujar objetos que pueda obstaculizar o generar sombra, además es aquí donde el programa realizará los cálculos de irradiación solar.

En el ícono DISTRIBUCIÓN MÓDULOS FV, en esta parte debe colocar los paneles solares que se utilizaran para el diseño del sistema PV, en las áreas libres de obstáculos y sombras.

En el ícono DISEÑO ELÉCTRICO, es donde se debe seleccionar los inversores y las cadenas de paneles que se utilizarán.

En el ícono RESUMEN E INFORME, el programa le presenta un resumen de los cálculos realizados, donde se indicará, la descripción del proyecto, la ubicación del proyecto, el resumen del sistema, la producción de energía del sistema y los resultados de la simulación.

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de Designer.solaredge.com.



## Apéndice 4. Carta de solicitud de historiales de consumo dirigida a EEGSA

Guatemala, 21 de agosto de 2020

Señores  
Empresa Eléctrica de Guatemala, S.A  
Presente.

Señores:

Yo **JUAN ALEJANDRO ORTIZ CHIAL**, me identifico con el Documento Personal de Identificación –DPI- con Código Único de Identificación –CUI- 2333 81201 0101, estudiante de la maestría de Gestión de Mercados Eléctricos Regulados de la Escuela de Postgrado de la Facultad de Ingeniería, por este medio me dirijo a ustedes, con el objeto de solicitar su apoyo toda vez que estoy trabajando en la elaboración del informe final de la tesis denominada **“ANÁLISIS DE GENERACION MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DE RECURSO SOLAR FOTOVOLTAICO EN EL EDIFICIO T-3 Y SU CONEXIÓN AL SISTEMA ELÉCTRICO”** y debido a la situación del país se he hace un poco difícil trabajar y desarrollar el contenido de la misma de manera eminentemente técnica, motivo por el cual lo trabajare a base de datos históricos, por lo que me permito solicitar se sirvan proporcionarme datos históricos de consumo de energía eléctrica del servicio de energía eléctrica que alimenta el referido edificio, el cual está siendo medido por el contador número F-88323, aclarando que dicha información será utilizada única y exclusivamente para fines didácticos que servirán para poder desarrollar de mejor manera mi investigación y con ello poder culminar mi trabajo final de tesis.

En espera de una respuesta favorable, me suscribo atentamente.



**JUAN ALEJANDRO ORTIZ CHIAL**

Fuente: elaboración propia.



## ANEXOS

### Anexo 1. Carta de solicitud de planos del edificio T-3



Guatemala, 27 de julio 2020.

Ingeniero  
Guillermo Mijangos  
Secretario Adjunto  
Facultad de Ingeniería, USAC

Estimado Ing. Mijangos:


Reciba a través de la presente un cordial saludo, deseando que todas sus actividades se estén desarrollando con éxito.

Por este medio solicitamos de su apoyo a efecto de poder brindarnos los planos de planta del edificio T-3, de los niveles 0, 1, 2, 3, 4 y azotea, en formato PDF o CAD, los que serán de utilizad para trazar la ruta de conexión de los inversores hacia el cuarto eléctrico y para la ubicación de paneles solares.

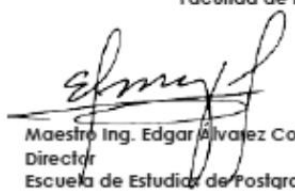
Esta actividad es parte del trabajo de graduación del estudiante Juan Alejandro Ortiz Chial, carné 999001919, titulada "ANÁLISIS DE GENERACIÓN ENERGÉTICA MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DE RECURSO SOLAR FOTOVOLTAICO EN EL DIFICIO T-3 Y SU CONEXIÓN AL SISTEMA ELÉCTRICO", para optar al grado académico de Maestro en Gestión de Mercados Eléctricos Regulados. Asimismo, como complemento al estudio consultamos la posibilidad de tener acceso a los recibos de consumo de energía eléctrica del edificio T-3 de los últimos 12 meses.

Agradecemos su amable atención y comprensión.

Atentamente,

  
Maestro Ing. Juan Carlos Fuentes  
Coordinador  
Área de Desarrollo Socio Ambiental y Energético  
Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería, USAC



Vo.Bo.:   
Maestro Ing. Edgar Alvarez Coli  
Director  
Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería, USAC



c.c.: Archivo

Fuente: Facultad de Ingeniería. (2020). *Escuela de Estudios de Postgrado*.

## Anexo 2. Carta de entrega de planos

Página 1 de 1



**USAC**  
TRICENTENARIA  
Escuela de Estudios de Postgrado

Facultad de Ingeniería  
Escuela de Estudios de Postgrado  
Edificio T-4 primer piso  
Ciudad Universitaria zona 12  
Teléfono: 9999179 - 99999211  
E-mail: [postgrado@usac.edu.gt](mailto:postgrado@usac.edu.gt)

Ref. 109 -09-2020  
Guatemala 03 de septiembre 2020

**Ingeniero  
Guillermo Mijangos  
Secretario Adjunto  
Facultad de Ingeniería  
Edificio T-4 primer piso  
Ciudad Universitaria zona 12**

Estimado Ingeniero

Deseándole éxitos al frente de tan distinguido cargo.

De manera atenta en relación al oficio adjunto al correo electrónico recibido el día miércoles 02 de septiembre del presente año, en el que se solicita información sobre planos del edificio T-3, sírvase dar click a este enlace:

<https://n:XXXXXXXX>

Lo anterior, para que pueda direccionarlo a una carpeta en google drive donde el estudiante podrá bajar los planos del edificio T3 con extensión .dwg que permitirá trabajarlo en un programa de AutoCAD versión 2018 y a la vez dos documentos en formato .pdf para que también pueda trabajar sobre ellos.

Sin otro particular,

**"ID Y ENSEÑAD A TODOS"**



**Arqta. Jennyfer Dianne Fernández González**  
Profesor Interino  
Registro de personal: 20080858



Vo.bo. Inga. Marcia Ivonne Vela Vargas, Jefa  
Coordinadora de Planificación

Fuente: Facultad de Ingeniería. (2020). *Escuela de Estudios de Postgrado*

### Anexo 3. Guía para el interesado en constituirse en usuario autoprodutor con excedentes de energía (UAEE)

Información del formulario	
Información del formulario.	El formulario está compuesto de 2 ítems: 1. Datos Generales del usuario. 2. Datos generales del proyecto.
<b>1. Datos generales del usuario:</b>	
Nombre del usuario o representante legal.	Si es persona individual indicar el nombre completo del propietario, si es persona jurídica indicar el nombre completo del representante legal.
Razón social de la entidad.	Si es persona individual indicar el nombre del propietario, si es persona jurídica indicar el nombre de la entidad.
Dirección.	Indicar la dirección del inmueble del Usuario (En esta dirección debe estar instalada la generación con fuente de energía renovable y coincidir con los datos de la factura del distribuidor)
Municipio.	
Departamento.	
Teléfono:	Indicar un número telefónico para contactar al interesado.
Correo electrónico -opcional-:	Indicar la dirección de un correo electrónico para contactar al usuario, en su defecto, puede indicar un número de teléfono celular para, de ser necesario, contactarlo via mensaje.
Número de identificación del usuario ante el Distribuidor	Si es usuario de EEGSA, coloque aquí el número de <b>CORRELATIVO</b> que aparece en su factura por servicios de electricidad; Si es usuario de DEORSA ó DEOCSA, coloque aquí el <b>NIS</b> que aparece en su factura por servicios de electricidad; Si es usuario de una Empresa Eléctrica Municipal (EEM) coloque el número que lo identifica ante su Distribuidor.
<b>2. Datos generales del proyecto</b>	
2.1 Fuente de energía renovable (marque las que correspondan)	<input type="checkbox"/> Biomasa <input type="checkbox"/> Eólica <input type="checkbox"/> Geotérmica <input type="checkbox"/> Hidráulica <input type="checkbox"/> Solar Marcar con una equis <input checked="" type="checkbox"/> dentro del cuadro que corresponda a la(s) tecnología(s) de energía renovable de su proyecto.
2.2 Especificaciones técnicas	
Número de unidades generadoras:	Indicar el número total de unidades generadoras que conforman su proyecto. En el caso del uso de tecnología solar indique la cantidad de paneles solares y su potencia. Por ejemplo: para la instalación de 4 paneles de 250 W indicar: <b>4x0.250 kW</b>
Potencia total instalada:	Indique la suma total en kilovatios (kW) de las unidades generadoras que conforman su proyecto. Para el ejemplo anterior indique: <b>1.00 kW</b>
2.3 Medios de protección, control y desconexión automática.	De conformidad con la norma, el Usuario debe instalar medios de protección, control y desconexión, por consiguiente debe marcar una "X" en el cuadro que dice Si.  A continuación debe describir los medios de protección, control y desconexión automática instalados que garantizan que no podrán inyectar energía eléctrica al sistema de distribución ante fallas de éste o cuando el voltaje de la red de distribución se encuentre fuera de las tolerancias establecidas en las Normas Técnicas del Servicio de Distribución -NTSD- .
Lugar y fecha:	Lugar y fecha de la presentación del formulario ante el Distribuidor. Esta información es de especial importancia considerando que servirá para determinar el plazo para que el Distribuidor realice la inspección técnica y cambie el medidor de energía, si fuera necesario.
DPI y firma del solicitante:	Indique el Código Único de Identificación (CUI) de su DPI y a continuación el propietario del proyecto o el Representante Legal, según corresponda, debe firmar.

Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica (2003), UAEE. Consultado en mayo de 2020.

Recuperado de <http://www.cnee.gob.gt/pdf/normas/docs/GDR/Guia%20UAEE.pdf>