

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE
INGENIERÍA INDUSTRIAL



ANÁLISIS TÉCNICO-FINANCIERO PARA LA IMPLEMENTACIÓN
DE UN SISTEMA DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA, EN ELEDIFICIO
DE LA MUNICIPALIDAD DE SAN JUAN ERMITA
DEL DEPARTAMENTO DE CHIQUIMULA

LUCIA MARIEL SOSA CERNA

CHIQUIMULA, GUATEMALA, OCTUBRE 2020

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE
INGENIERÍA INDUSTRIAL

ANÁLISIS TÉCNICO-FINANCIERO PARA LA IMPLEMENTACIÓN
DE UN SISTEMA DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA, EN EL EDIFICIO
DE LA MUNICIPALIDAD DE SAN JUAN ERMITA
DEL DEPARTAMENTO DE CHIQUIMULA

TRABAJO DE GRADUACIÓN

Sometido a consideración del Honorable Consejo Directivo

Por

LUCIA MARIEL SOSA CERNA

Al conferírsele el título de

INGENIERA INDUSTRIAL

En el grado académico de

LICENCIADA

CHIQUIMULA, GUATEMALA, OCTUBRE 2020

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE
INGENIERÍA INDUSTRIAL**



RECTOR
M.Sc. Ing. MURPHY OLYMPO PAIZ RECINOS

CONSEJO DIRECTIVO

Presidente:	Ing. Agr. Edwin Filiberto Coy Cordón
Representante de Profesores:	M.Sc. Mario Roberto Díaz Moscoso
Representante de Profesores:	M.Sc. Gildardo Guadalupe Arriola Mairén
Representante de Estudiantes:	A.T. Estefany Rosibel Cerna Aceituno
Representante de Estudiantes:	PEM. Elder Alberto Masters Cerritos
Secretaria:	Licda. Marjorie Azucena González Cardona

AUTORIDADES ACADÉMICAS

Coordinador Académico:	M. A. Edwin Rolando Rivera Roque
Coordinador de Carrera:	M.Sc. Rolando Darío Chávez Valverth

ORGANISMO COORDINADOR DE TRABAJOS DE GRADUACIÓN

Presidente:	M.Sc. Rolando Darío Chávez Valverth
Secretario:	MBA. René Estuardo Alvarado González
Vocal:	Ing. Elder Avildo Rivera López

TERNA EVALUADORA

MBA. Carlos Enrique Aguilar Rosales
Ing. Victor Rafael Lobos Aldana
Ing. Luis Alberto Saavedra Vargas



MAAL.02.19

Chiquimula, 10 de octubre de 2019.

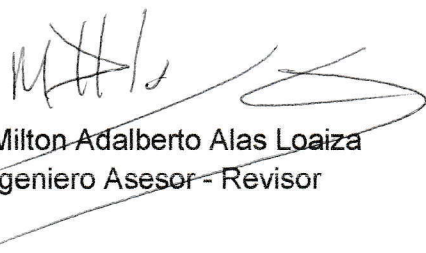
Ingeniero Mecánico Electricista
Rolando Darío Chávez Valverth
Coordinador Carreras de Ingenierías
CUNORI-USAC

Respetado Ing. Chávez Valverth:

Atentamente me dirijo a usted para hacer de su conocimiento que he revisado y efectuado las correcciones del caso al trabajo de graduación titulado: **“ANÁLISIS TÉCNICO-FINANCIERO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA, EN EL EDIFICIO DE LA MUNICIPALIDAD DE SAN JUAN ERMITA DEL DEPARTAMENTO DE CHIQUIMULA”**, presentado por la estudiante **Lucia Mariel Sosa Cerna**.

Habiendo llenado dicho trabajo los requisitos, me permito aprobarlo en calidad de Asesor - Revisor del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



Ing. Milton Adalberto Alas Loaiza
Ingeniero Asesor - Revisor

C.c. archivo



CEPSII.06.2019

Chiquimula, 13 de noviembre de 2019.

Ingeniero Mecánico Electricista
Rolando Darío Chávez Valverth
Coordinador Carreras de Ingenierías
CUNORI-USAC

Respetado Ing. Chávez Valverth:

Atentamente me dirijo a usted para informarle que he revisado el trabajo de graduación titulado: **“ANÁLISIS TÉCNICO-FINANCIERO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA, EN EL EDIFICIO DE LA MUNICIPALIDAD DE SAN JUAN ERMITA DEL DEPARTAMENTO DE CHIQUIMULA”**, elaborado por la estudiante **Lucia Mariel Sosa Cerna**.

Considero que el trabajo desarrollado por la estudiante Lucia Mariel Sosa Cerna, satisface los requisitos exigidos, por lo cual recomiendo su aprobación.

Agradezco a usted la atención a la presente, atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Ing. Milton Alas Loaiza.

Coordinador del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S)
Carrera de Ingeniería Industrial

C.c. archivo



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE -CUNORI-
CARRERAS DE INGENIERÍA



ALTG.5.20

Chiquimula, 26 de febrero de 2020.

Ingeniero

Rolando Darío Chávez Valverth

Coordinador Carreras de Ingenierías

CUNORI-USAC

Estimado Ing. Chávez Valverth:

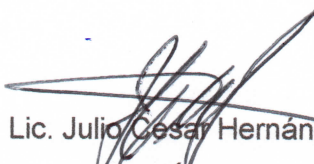
El propósito de la presente es para informarle que he procedido a revisar la parte lingüística, del trabajo de investigación titulado **“ANÁLISIS TÉCNICO-FINANCIERO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA, EN EL EDIFICIO DE LA MUNICIPALIDAD DE SAN JUAN ERMITA DEL DEPARTAMENTO DE CHIQUIMULA”**; elaborado por la estudiante **Lucia Mariel Sosa Cerna**.

El informe cumple con los requisitos exigidos, por la carrera de Ingeniería Industrial, por lo tanto, recomiendo su aprobación para seguir con los trámites correspondientes.

Agradeciendo su atención a la presente,

Deferentemente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Lic. Julio Cesar Hernández Ortiz
Revisor Área Lingüística

C.c. archivo

FINCA EL ZAPOTILLO ZONA 5, CHIQUIMULA
TEL. 79438442



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE -CUNORI-
CARRERAS DE INGENIERÍA



ACCII.04-2020

Chiquimula, 17 de julio de 2020.

Ingeniero Agrónomo
Edwin Filiberto Coy Cordón
Director
CUNORI - USAC

Respetable Ing. Agr. Coy Cordón:

El coordinador de las Carreras de Ingeniería del Centro Universitario de Oriente CUNORI de la Universidad de San Carlos de Guatemala, después de conocer el dictamen del Ingeniero Industrial Milton Adalberto Alas Loaiza, Asesor y Coordinador del Ejercicio Profesional Supervisado de la Carrera de Ingeniería Industrial y luego de la revisión y aprobación del Licenciando Julio César Hernández Ortiz, revisor del Área de Lingüística, al trabajo de graduación de la estudiante: **Lucia Mariel Sosa Cerna**, titulado: **"ANÁLISIS TÉCNICO-FINANCIERO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA, EN EL EDIFICIO DE LA MUNICIPALIDAD DE SAN JUAN ERMITA DEL DEPARTAMENTO DE CHIQUIMULA"**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo de graduación y recomendando la autorización del mismo.

"ID Y ENSEÑAR A TODOS"

Ing. Rolando Darío Chávez Valverth
Coordinador Carreras de Ingeniería
- CUNORI - USAC



c.c. archivo

D-TG-II-076/2020

EL INFRASCRITO DIRECTOR DEL CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, POR ESTE MEDIO HACE CONSTAR QUE: Conoció el Trabajo de Graduación que efectuó la estudiante LUCIA MARIEL SOSA CERNA titulado "ANÁLISIS TÉCNICO-FINANCIERO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA EN EL EDIFICIO DE LA MUNICIPALIDAD DE SAN JUAN ERMITA DEL DEPARTAMENTO DE CHIQUIMULA", trabajo que cuenta con el aval del Revisor y Coordinador de Trabajos de Graduación, de la carrera de Ingeniería Industrial. Por tanto, la Dirección del CUNORI con base a las facultades que le otorga las Normas y Reglamentos de Legislación Universitaria **AUTORIZA** que el documento sea publicado como **Trabajo de Graduación** a Nivel de Licenciatura, previo a obtener el título de **INGENIERA INDUSTRIAL**.

Se extiende la presente en la ciudad de Chiquimula, el dieciocho de agosto de dos mil veinte.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"



Ing. Agr. Edwin Filiberto Coy Córdón
DIRECTOR
CUNORI – USAC



AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Quien guía y permite cumplir las metas con éxito.
Municipalidad de San Juan Ermita	Por permitir realizar el EPS dentro de la institución, conocer sus actividades y desarrollar el proyecto para ayudar a su mejora.
Centro Universitario de Oriente	Quien permite la formación académica del estudiante, para crecer personal y profesionalmente.
Catedráticos	Ing. Milton Alas, Ing. Luis Saavedra, Ing. Victor Lobos, Ing. Carlos Aguilar y Lic. Julio Hernández; por formar parte de la asesoría y evaluación del proyecto.
Mis padres y hermanos	Por su amor, comprensión y apoyo incondicional.
Marcos Juárez	Por su apoyo, amor y paciencia en la preparación y desarrollo del proceso.

Mis amigos

Por su amistad y apoyo incondicional
desde el inicio de la carrera.

ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Por darme salud y sabiduría en cada etapa de la carrera.

Mis padres

Angélica Cerna y Saul Sosa, por todo su esfuerzo y amor brindando en cada momento de mi vida.

Mis hermanos

Saul y Dulce Sosa, por ser mi ejemplo a seguir, su apoyo y cariño.

Mis abuelos

Por ser pilar en mi enseñanza, cuidarme y quererme.

ÍNDICE GENERAL

Contenido	Página
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	I
LISTA DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS	V
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XI
INTRODUCCIÓN	XIII
OBJETIVOS	XV
1. MARCO TEÓRICO	1
1.1 Regulación y normativa del mercado energético en Guatemala	1
1.2 Ley General de electricidad (Decreto 93-96)	1
1.3 Ley de incentivos para el desarrollo de proyectos de energía Renovable (Decreto 53-2003)	3
1.4 Energía Solar	4
1.5 Tipos de paneles solares	6
1.5.1 Térmicos	6
1.5.2 Termodinámico	7
1.5.3 Fotovoltaicos	8
1.6 Efecto fotoeléctrico	10
1.7 Energía solar fotovoltaica	10
1.8 Componentes del sistema de energía tipo fotovoltaico conectado a red	11
1.8.1 Paneles solares	11
1.8.2 Inversor	13
1.8.3 Contador bidireccional	14

1.8.4	Supresor de picos	14
1.9	Hora solar pico (HSP)	15
1.10	Análisis financiero	16
1.11	Flujo de caja	16
1.12	Herramientas de evaluación financiera	18
1.12.1	Valor actual neto (VAN)	18
1.12.2	Tasa interna de retorno (TIR)	19
1.12.3	Período de recuperación de la inversión (PR)	20
2.	MUNICIPALIDAD DE SAN JUAN ERMITA	21
2.1	Reseña histórica	21
2.2	Monografía del municipio	22
2.3	Misión, visión, principios y valores	27
2.4	Estructura organizacional	29
3.	ANÁLISIS TÉCNICO-FINANCIERO	31
3.1	Caracterización de consumo energético	31
3.1.1	Factores socioeconómicos	31
3.1.2	Características de la instalación	32
3.2	Plano municipal	33
3.3	Historial de consumo energético	35
3.4	Usuarios autoproductores de energía	37
3.5	Tarifa de energía eléctrica	38
3.6	Temperatura promedio del municipio	39
3.7	Radiación solar y horas sombra del municipio	41
3.8	Fuente de financiamiento	42

4.	DISEÑO DEL SISTEMA DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA	45
4.1	Estudio técnico del sistema de energía solar	45
4.1.1	Criterios para selección del equipo	45
4.1.2	Dimensionamiento del sistema	46
4.1.2.1	Potencia	47
4.1.2.2	Paneles fotovoltaicos a utilizar	48
4.1.2.3	Número de paneles	49
4.1.2.4	Inversor a utilizar	50
4.1.2.5	Dimensionamiento del inversor	51
4.1.2.6	Producción de energía eléctrica	53
4.1.2.7	Cableado	54
4.1.2.8	Estructura	55
4.1.3	Contador/Medidor bidireccional	56
4.1.4	Fallas y protecciones	56
4.1.5	Orientación e inclinación del panel	59
4.1.6	Espacio entre paneles	59
4.1.7	Funcionamiento del sistema solar fotovoltaico	61
4.1.8	Resumen diseño del sistema	64
4.2	Estudio financiero	66
4.2.1	Proyección de la inversión	66
4.2.1.1	Inversión inicial	66
4.2.1.2	Ahorro de consumo energético	67
4.2.1.3	Costos de mantenimiento	73
4.2.1.4	Criterios de evaluación	74
4.2.1.5	Depreciaciones del sistema	75

4.1.1.6	Flujo de fondos proyectado	76
4.1.1.7	Valor actual neto (VAN)	76
4.1.1.8	Tasa interna de retorno (TIR)	78
4.1.1.9	Periodo de recuperación (PR)	78
4.3	Análisis de resultados de la evaluación financiera	79
5	PROGRAMA DE MINIMIZACIÓN DE CONSUMO ENERGÉTICO	81
5.1	Plan de concientización energética y ambiental	81
5.1.1	Capacitación	82
5.1.2	Carteles	84
5.2	Alternativas de tecnologías para el futuro	87
5.2.1	Alumbrado público	87
5.2.2	Alumbrado de parques	88
5.2.3	Equipos de la municipalidad	89
	CONCLUSIONES	91
	RECOMENDACIONES	93
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	95
	APÉNDICE	101
	ANEXOS	103

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Hora solar pico	15
2.	Municipalidad San Juan Ermita, Chiquimula	22
3.	Ubicación San Juan Ermita	23
4.	Población San Juan Ermita 2016	24
5.	Organigrama municipal	30
6.	Vista superior edificio municipal	34
7.	Consumo promedio energético	37
8.	Flujo UAEE	40
9.	Mapa de potencial solar	42
10.	Corriente inversor 1 (20 paneles)	52
11.	Corriente inversor 2 (18 paneles)	52
12.	Estructura Triangle Duo	55
13.	Inclinación del panel solar	59
14.	Vista superior sistema fotovoltaico	63
15.	Vista de perfil sistema fotovoltaico	64
16.	Diseño del sistema	65
17.	Ahorro año 1	69
18.	Ahorros netos	73
19.	Diseño afiches	85
20.	Diagrama de Gantt, plan de concientización	86
21.	Iluminación LED	89

TABLAS

1.	Tipo de Paneles Térmicos	7
2.	Características Panel termodinámico	8
3.	Tipos de paneles fotovoltaicos	9
4.	Partes panel solar	12
5.	Características del inversor	13
6.	Estructura flujo de caja	17
7.	Posibles resultados VAN	18
8.	Fórmula de Valor Actual Neto	19
9.	Población San Juan Ermita	24
10.	Misión y Visión Municipalidad San Juan Ermita	27
11.	Principios y Valores Municipalidad San Juan Ermita	28
12.	Factores socioeconómicos	31
13.	Características de la instalación	32
14.	Historial consumo energético	35
15.	Fuente de Financiamiento	43
16.	Criterios de selección	46
17.	Características panel solar	50
18.	Características del inversor	51
19.	Tipos de fallas	57
20.	Tipos de protecciones	58
21.	Protecciones seleccionadas	58
22.	Cálculo distancia entre paneles	62
23.	Inversión inicial del proyecto	67
24.	Ahorro año 1	69
25.	Ahorro año 1 al 15	71
26.	Ingresos netos	72

27.	Depreciación de activos	75
28.	Flujo de fondos año 0-15	77
29.	Tasa Interna de Retorno	78
30.	Período de recuperación	79
31.	Resumen de resultados	80
32.	Bloques para capacitación	83
33.	Características iluminación pública	87
34.	Características luminaria para parques	88

LISTA DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS

Símbolo	Significado
A	Amperio
cc	Corriente continua
cd	Corriente directa
CO ₂	Dióxido de Carbono
°C	Grados centígrados
kg	Kilogramo
kW	Kilo Watt
kWh	Kilowatt hora
m ²	Metro cuadrado
mm	Milímetros
V	Voltio
W	Watt
d	Distancia entre filas
k	Coeficiente en función de la latitud

h	Altura del obstáculo
L	Largo del panel
E	Energía producida
P	Potencia del panel
t	Tiempo (HSP)
BTS	Tarifa Baja Tensión Simple
ERME	Energía Renovable y Mercados Eléctricos
INEEL	Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias de México
Imp	Intensidad máxima de potencia. Corriente eléctrica producida en un funcionamiento perfecto.
LED	Dispositivo de estado sólido que contiene una unión p-n, que emite radiación visible cuando es excitado por una corriente alterna

MPP	Máxima potencia de entrada (Maximum Power Point)
NTGDR	Norma Técnica para la Conexión, Operación, Control y Comercialización de la Generación Distribuida Renovable y Usuarios Autoprodutores con Excedentes de Energía.
PR	Período de Recuperación
TIR	Tasa Interna de Retorno
UAEE	Usuario Autoprodutor con Excedente de Energía
VAN	Valor Actual Neto
ENERGUATE	Distribuidora de Energía Eléctrica de Guatemala
DEORSA	Distribuidora de Energía Eléctrica de Oriente

GLOSARIO

Autoproduктор	Persona titular o poseedora de una central de generación de energía eléctrica, cuya producción destina exclusivamente para consumo propio.
Célula fotovoltaica	Dispositivo electrónico que permite transformar la energía luminosa en energía eléctrica mediante el efecto fotoeléctrico.
Energía eléctrica	Energía que resulta de la existencia de una diferencia potencial entre dos puntos.
Energía Térmica	Energía que se manifiesta en forma de calor, pasando de un cuerpo más caliente a otro con temperatura menor.
Hora Solar Pico	Número de horas diarias que con una irradiación solar de 1000 vatios por metro cuadrado proporciona la misma irradiación solar total que la real de ese día.

Inversor	Dispositivo que convierte la corriente continua procedente del generador fotovoltaico en corriente alterna.
Panel Solar	Dispositivo que aprovecha la energía de la radiación solar para generar electricidad.
Radiación Solar	Emisión y propagación de una radiación, como la luz, el calor y otro tipo de energía.
THHN	Conductor aislado con una capa de material termoplástico policloruro de vinilo (PVC).

RESUMEN

Guatemala se encuentra en una posición geográfica que le permite el mayor aprovechamiento del sol como fuente de energía solar. San Juan Ermita municipio del departamento de Chiquimula cuenta con un potencial de radiación solar que supera el promedio nacional de 5,3 kWh/m²/día, dato brindado por el Ministerio de Energía y Minas (2018), haciéndolo idóneo para la implementación de sistemas de generación de energía eléctrica a través de la fuente solar.

La municipalidad de San Juan Ermita, según datos recopilados desde el 2014, ha tenido altos pagos de energía eléctrica debido al elevado consumo de parte de los colaboradores en el edificio de la municipalidad. Así mismo la falta de mantenimiento en la infraestructura y cableado eléctrico del municipio por parte de la empresa proveedora de energía, provoca un arranque constante de los equipos en uso, causando daños y mayor consumo energético. Es por ello que se evalúa técnica y financieramente la viabilidad de implementación de un sistema de energía solar fotovoltaico, que minimice los costos por la factura del servicio de energía y sea una solución amigable con el medio ambiente.

La evaluación financiera se realizó a través del cálculo de flujo de caja, valor actual neto, tasa interna de retorno y período de recuperación del proyecto. Se dimensionó el sistema que fue aplicado a través de la cantidad de radiación solar que se presenta en el municipio, el historial de consumo energético del año 2,014 al 2,018 y el área disponible que se tiene para la realización del proyecto.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento de la demanda energética y el uso de combustibles fósiles que afectan al planeta han llevado a la necesidad de crear energía a través de fuentes renovables, las cuales tienen la ventaja de no producir emisiones de CO₂ y otros gases que contaminan la atmosfera, además de no generar residuos de difícil tratamiento. Entre las energías renovables se encuentran la eólica, hidráulica, biogás, solar, entre otras. La energía de fuente solar aprovecha la radiación del sol mediante células fotovoltaicas que la transforman en energía eléctrica o térmica.

Guatemala cuenta con cantidades considerables de recursos renovables de energía y principalmente la proveniente del sol, debido a la posición geográfica en la que se ubica, es uno de los países incluidos dentro de la franja del cinturón solar donde se presentan los mejores niveles de radiación solar, según el Ministerio de Energía y Minas (2018). Características que permiten a los proyectos de sistemas de generación de energía eléctrica a través de esta fuente ser rentables.

Para regular todos los proyectos de energía con fuentes renovables, dentro del país se cuenta con regulaciones y leyes como la NTGDR (Norma Técnica de Generación Distribuida Renovable y Usuarios Autoprodutores con excedentes de Energía), la cual rige la conexión, operación, control y comercialización de la energía eléctrica producida por fuentes renovables.

Dentro del edificio de la municipalidad de San Juan Ermita, se presenta una alta facturación por energía eléctrica, causado por distintos factores, como el mal abastecimiento que brinda la empresa de energía (ENERGUATE), falta de concientización energética y ambiental en los colaboradores de la municipalidad y el uso de equipos no eficientes.

Por lo tanto, se realiza el proyecto de análisis técnico-financiero para la implementación de un sistema fotovoltaico en el edificio municipal de San Juan Ermita, en el cual a través del historial de consumo energético y las características del municipio, se establece el diseño óptimo para el sistema y con la utilización de herramientas financieras como el valor actual neto, tasa interna de retorno y período de recuperación (PR).

Analizando a través de los resultados de las distintas herramientas financieras si existe un beneficio económico para la municipalidad reflejado a través del ahorro del pago de energía eléctrica y así mismo contribuyendo al ser una institución con concientización energética y ambiental, lo cual beneficiará al municipio y departamento en general.

OBJETIVOS

GENERAL

Elaborar el análisis técnico-financiero de la viabilidad de inversión para la implementación de un sistema fotovoltaico en el edificio municipal de San Juan Ermita.

ESPECÍFICOS

1. Identificar las condiciones climáticas del municipio de San Juan Ermita.
2. Reconocer el consumo de energía eléctrica del edificio municipal para establecer el diseño adecuado del sistema fotovoltaico.
3. Determinar el potencial energético del sistema fotovoltaico, para demostrar que se cubre la demanda de energía eléctrica del edificio municipal.
4. Calcular los costos del sistema fotovoltaico que permitan evaluar financieramente la instalación del sistema.
5. Establecer un plan de sensibilización energética y ambiental para contribuir a la disminución de consumo energético en la Municipalidad de San Juan Ermita.

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Regulación y Normativa del Mercado energético en Guatemala

El Ministerio de Energía y Minas (MEM) es el responsable de elaborar y coordinar políticas y planes relativos al sector energético. El marco legal del sector eléctrico en Guatemala da inicio en el año 1996 con la Ley General de Electricidad, la cual es la base para todo lo referido con energía. Dicha ley brinda la normativa correspondiente a cada aplicación técnica según distintos casos de proyectos eléctricos como en el caso del proyecto solar SIBO, el cual es una planta generadora con fuente solar ubicada en el departamento de Zacapa, con alrededor de 20 mil paneles fotovoltaicos, información obtenida del Ministerio de Energía y Minas (2018).

1.2 Ley general de electricidad (Decreto 93-96)

El proyecto de la Ley General de Electricidad surge a principios del año 1,996 por el deficiente abastecimiento de energía eléctrica para satisfacer la creciente demanda del país, lo cual representaba un obstáculo para el desarrollo integral de su población. El Gobierno de la República de Guatemala descentraliza y desmonopoliza los sistemas de transmisión y distribución de energía eléctrica permitiendo la participación de inversionistas que apoyaran la creación de empresas de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica para Guatemala.

Aprobada según decreto (93-96) se crea la “Ley General de Electricidad”, la cual rige y monitorea las actividades tanto de generación, como de transporte y distribución de energía en el país (Ramos, 2007). Destaca en este instrumento legal lo establecido en el artículo primero que dice:

“Artículo 1. La presente ley norma el desarrollo del conjunto de actividades de generación, transporte, distribución y comercialización de electricidad, de acuerdo con los siguientes principios y enunciados:

a) Es libre la generación de electricidad y no se requiere para ello autorización o condición previa por parte del Estado, más que las reconocidas por la Constitución Política de la República de Guatemala y las leyes del país;

b) Es libre el transporte de electricidad, cuando para ello no sea necesario utilizar bienes de dominio público; también es libre el servicio de distribución privada de electricidad;

c) En los términos a que se refiere esta ley, el transporte de electricidad que implique la utilización de bienes de dominio público y el servicio de distribución final de electricidad;

d) Son libres los precios por la prestación del servicio de electricidad, con la excepción de los servicios de transporte y distribución sujetos a autorización. Las transferencias de energía entre generadores, comercializadores, importadores y exportadores, que resulten de la operación del mercado mayorista, estarán sujetos a regulación en los términos a que se refiere la presente ley.” (p. 4)

1.3 Ley de Incentivos para el desarrollo de proyectos de energía renovable (Decreto 53-2003)

Considerando que Guatemala cuenta con recursos renovables de calidad y cantidad y que su aprovechamiento le dará mayor independencia en la compra de combustibles fósiles y facilitando el suministro de energía eléctrica económica a la población se emite la “Ley de Incentivos para el Desarrollo de Proyectos de Energía Renovable”, el cual establece en su artículo 2 lo siguiente:

“Objeto. La presente Ley tiene por objeto promover el desarrollo de proyectos de energía renovable y establecer los incentivos fiscales, económicos y administrativos para el efecto.” Los beneficios para las personas que realicen proyectos de energía con recursos renovables están detallados en el artículo 5 que dice:

“Incentivos. Las Municipalidades, el Instituto Nacional de Electrificación – INDE-, Empresas Mixtas, y las personas individuales y jurídicas que realicen proyectos de energía con recursos energéticos renovables gozarán de los siguientes incentivos:

a) Exención de derechos arancelarios para las importaciones, incluyendo el impuesto al Valor Agregado -IVA-, cargas y derechos consulares sobre la importación de maquinaria y equipo, utilizados exclusivamente para la generación de energía en el área donde se ubiquen los proyectos de energía renovable.

Previamente a la importación de la maquinaria y equipo que sean necesarios para desarrollar los proyectos de energía renovable, en cada caso las personas individuales y jurídicas que los realicen deberán solicitar la aplicación de la exención a la Superintendencia de Administración Tributaria -SAT-, quien se encargará de calificar y autorizar la importación. Este incentivo tendrá vigencia exclusiva durante el período de pre inversión y el período de construcción, el cual no excederá de diez años.

- a) Exención del pago del Impuesto Sobre la Renta. Este incentivo tendrá vigencia exclusiva a partir de la fecha inicio de entrega, por un período de diez años.

Esta exención únicamente se otorga a las personas individuales y jurídicas que desarrollen directamente los proyectos y solamente por la parte que corresponda a dicho proyecto, la exención no aplica a las demás actividades que realicen.

1.4 Energía solar

La energía solar es la producida por el aprovechamiento de la energía que proviene del sol. Esta es un tipo de energía renovable e inagotable. La cantidad de energía que llega a la atmosfera exterior de la tierra, después de haberse ido diluyendo en el espacio se conoce como Constante Solar la cual es un promedio anual ubicado de forma perpendicular a los rayos del sol, información obtenida de Ministerio de Energía y Minas (2018).

Según el Ministerio de Energía y Minas (2018), “la energía solar es un recurso renovable que llega todos los días a la superficie de la tierra, y se mide en cada lugar como la cantidad diaria de energía que llega a cada metro cuadrado de superficie horizontal, expresándose habitualmente en $\text{kWh/m}^2/\text{día}$.”

Existen dos tipos de origen para la radiación solar: la primera, llamada directa, es la que se obtiene después de que los rayos del sol han sido absorbidos parcialmente por la atmosfera y la segunda llamada difusa, es obtenida de toda la atmosfera cuando los rayos solares se han dispersado por los gases y partículas que la forman. Según el Ministerio de Energía y Minas (2018) “la disponibilidad de radiación solar en un lugar depende de varios factores: latitud del lugar, época del año, altura del lugar y condiciones meteorológicas”. La energía solar se constituye en una fuente prácticamente inagotable a escala humana y disponible en el lugar de uso; con lo cual en proyectos eléctricos se disminuye significativamente la necesidad de líneas de distribución, especialmente en zonas de baja densidad demográfica.

Según Collado (2009), existe otro tipo de origen para la radiación, la cual es el Albedo o también llamada Radiación Reflejada y esta consiste en radiación directa y difusa que es reflejada por el suelo u otras superficies que se encuentren próximas al módulo de captación. La suma de todas las radiaciones recibe el nombre de Radiación Global que es la radiación solar total que recibe toda la superficie del receptor.

Para calcular la radiación solar se utilizan dos magnitudes que corresponden a la potencia y a la energía de la radiación que llega a una unidad de superficie, se denominan irradiancia e irradiación y se definen de la siguiente manera: Irradiancia, potencia o radiación incidente por unidad de superficie. Indica la intensidad de la radiación solar. Se mide en vatios por metro cuadrado (W/m^2).

1.5 Tipos de paneles solares

1.5.1 Térmicos

Es también llamado colector solar, son los más simples y sencillos de realizar. Este tipo de panel logra la transformación de la energía del sol en energía térmica, es decir, calor. Su funcionamiento inicia cuando captan la energía solar térmica a través de la radiación solar que pasa por un vidrio transparente a la luz, posteriormente se encuentra un absorbedor (una placa formada por láminas de cobre o aluminio con un tratamiento de cromo y óxido de titanio) que absorbe un 80 a 90% de los rayos del sol.

El absorbedor se encuentra unido a una tubería de cobre a la que es transferida la energía térmica, la cual calienta una solución de agua o fluido caloportador que evita la congelación de la misma.

Existen tres grandes grupos de paneles térmicos, los cuales se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Tipo de Paneles Térmicos

PANELES TÉRMICOS
Baja Temperatura: También llamado captador solar plano o protegido, su máxima temperatura es de 50°C.
Media Temperatura: Su funcionamiento es igual al de baja temperatura, pero en este se agrega una cubierta transparente que evita la pérdida de calor, consiguiendo que el panel pueda llegar hasta 90°C.
Alta Temperatura: Se agrega una cubierta más entre la cubierta anterior y el convertidor, esto permite crear un vacío entre ambas cubiertas, alcanzando hasta 150°C.

Fuente: ENDEF Solar Solutions, s.f., *tipos de paneles solares*.

1.5.2 Termodinámico

Según Collado (2009), el panel solar termodinámico es la mezcla entre el panel solar térmico y el fotovoltaico. Su principal característica es que permite producir electricidad y calor al mismo tiempo, logrando así el mayor aprovechamiento del espacio. Son de los más utilizados en la actualidad, por su capacidad de generar energía a pesar de la lluvia o incluso captar energía de la luz de la luna.

Su precio es más económico que el panel fotovoltaico o el térmico, tiene un menor tamaño que permite que sus costos de instalación y mantenimiento sean reducidos, a pesar de su tamaño brindan una mayor eficiencia. Estos paneles se pueden colocar en tejados o en cualquier superficie vertical, que vayan orientados preferiblemente hacia el sur y está diseñado para trabajar en temperaturas por encima de los 15 °C.

Tabla 2. **Características Panel Termodinámico**

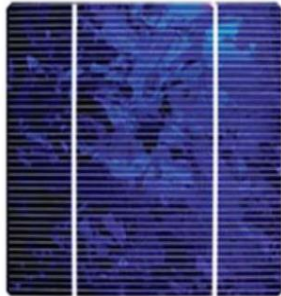
PANEL TERMODINÁMICO
• Fácil integración debido a su tamaño y bajo peso • Instalación a 45 o 90 grados • Funciona con ausencia del sol • Poco mantenimiento • Gran resistencia a agresiones externas • El fluido no corre riesgo de congelación.

Fuente: Pérez, J. 2014. p. 33.

1.5.3 Fotovoltaicos

Los paneles solares fotovoltaicos se componen de celdas que convierten la luz en electricidad. Dichas celdas se aprovechan del efecto fotovoltaico, mediante el cual la energía luminosa produce cargas positivas y negativas en dos semiconductos próximos de distinto tipo, por lo que se produce un campo eléctrico con la capacidad de generar corriente. El parámetro estandarizado para clasificar su potencia se denomina potencia pico y corresponde con la potencia máxima que el módulo puede entregar bajo condiciones estandarizadas. Este tipo de panel puede ser de cualquier tamaño, desde pocos centímetros hasta decenas de metros. Las placas fotovoltaicas empleadas en sistemas conectados a la red no son diferentes de las utilizadas por sistemas autónomos. Las que se integran en los edificios son normalmente módulos estándar. Existen diversos tipos de paneles fotovoltaicos, los cuales se muestran en la tabla 3.

Tabla 3. Tipos de Paneles Fotovoltaicos

PANELES FOTOVOLTAICOS		
TIPO	CARACTERÍSTICAS	
Silicio Monocristalino	• Formados por un solo monocristal de silicio puro • Forma cuadrada con esquinas redondeadas • Rendimiento directo entre 15% y 18% • Rendimiento de laboratorio de 24% • Color azul	
Silicio Policristalino	• Formado por un conjunto de estructuras macrocristalinas de silicio • Rendimiento de laboratorio entre 19% y 20% • Rendimiento directo entre 12% y 14% • Precio más accesible que el monocristalino • Bajo rendimiento en condiciones de baja iluminación	
Silicio Amorfo	• Es el tipo de panel menos eficiente y menos costoso • Es flexible por su capa fina • Buen comportamiento ante agentes externos • Rendimiento directo inferior al 10% • Rendimiento de laboratorio del 16% • Color marrón homogéneo	

Fuente: Fernández, J. 2009. p. 11.

1.6 Efecto Fotoeléctrico

El efecto fotovoltaico fue reconocido por primera vez en 1839 por el físico francés Becquerel, pero la primera célula fue construida en 1883 por Charles Fritts, quien recubrió una muestra de selenio semiconductor con un pan de oro para formar un empalme, este dispositivo presentaba solo un 1% de eficiencia. Según Esteban y Navarro (2010). El efecto fotoeléctrico fue explicado por Albert Einstein en 1905 basándose en la teoría de los cuantos de Planck. Es la emisión de electrones (corriente eléctrica) de una superficie metálica cuando ésta es iluminada por luz.

1.7 Energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica se basa en la transformación directa de la radiación solar en energía eléctrica, a través de materiales semiconductores que conforman las células fotovoltaicas. Las células fotovoltaicas son fabricadas principalmente de silicio, que requiere de procesos especiales para su fabricación haciéndolo un producto de elevado costo. Existen distintos usos de la energía solar fotovoltaica, principalmente se diferencian dos tipos de instalaciones. La primera llamada instalaciones conectadas a la red eléctrica y la segunda instalaciones aisladas a la red eléctrica, según Oriol Planas (2009).

La primera se caracteriza porque la energía producida es introducida y almacenada en la red de la empresa nacional de energía por medio de un medidor bidireccional, lo cual permite que no se haga uso de baterías para almacenar la energía y con esto se logra que la inversión inicial sea menor y pueda ser recuperada en menos tiempo, según Oriol Planas (2009).

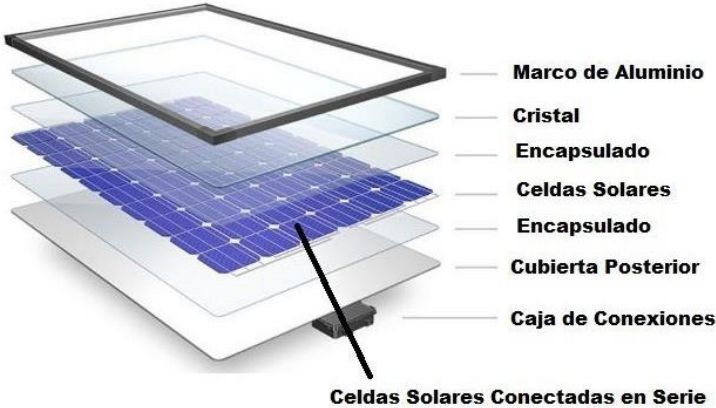
La Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE) de Guatemala presenta una guía para los usuarios autoprodutores con excedentes de energía en la cual se detallan conceptos importantes y los pasos que se deben seguir para completar el formulario y poder realizar una instalación fotovoltaica conectada a la red de distribución, mostrada del anexo 3 al 5. Las instalaciones aisladas a la red eléctrica a diferencia de las conectadas a la red, hacen uso de baterías en las que se carga y almacena la energía producida para que sea utilizada cuando ya no hay rayos de sol. Su uso es principalmente recomendado para zonas donde no hay cobertura de red eléctrica.

1.8 Componentes del sistema de energía solar fotovoltaico conectado a red

1.8.1 Paneles solares

Según Díaz y Carmona (2010), un panel solar está conformado por la conexión entre células solares, ya sea en serie o en paralelo, que permitan alcanzar el nivel de tensión y corriente deseado. Comúnmente contienen entre 40 y 80 células, pero el más utilizado es el módulo de 36 células. La superficie del panel se encuentra entre 0.1 y 0.5 m². El panel solar cuenta con otros elementos que hacen posible su adecuado funcionamiento y brindan protección. Algunos de los elementos que constituyen un panel solar se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. Partes Panel Solar

PARTES DEL PANEL SOLAR	
COMPONENTE	
1. Cubierta frontal:	comúnmente es de vidrio templado y debe proteger las células fotovoltaicas.
2. Capas encapsuladas:	encargadas de proteger las células solares y sus contactos, comúnmente elaboradas de EVA (etil-vinil-acetileno).
3. Marco de Apoyo:	parte que da robustez mecánica al conjunto, permite su inserción en estructuras que agrupen a los módulos, comúnmente fabricado de aluminio.
4. Protección Posterior:	debe proteger contra los agentes atmosféricos, ejerciendo una barrera infranqueable contra la humedad.
5. Caja de Conexiones eléctricas:	de él salen dos cables, uno positivo y otro negativo, permiten la continuidad en el circuito eléctrico.
6. Células Fotovoltaicas:	dispositivos semiconductores capaces de generar electricidad a partir de la radiación solar.
 El diagrama ilustra la estructura de un panel solar. Desde la parte superior, se ven las siguientes capas: un marco de aluminio negro, una lámina de cristal transparente, una capa de encapsulado, un array de celdas solares azules, otra capa de encapsulado, una cubierta posterior blanca y una caja de conexiones eléctrica en la esquina inferior derecha. Las celdas solares están conectadas en serie, como se indica en la leyenda.	

Fuente: Cursolar, 2005, componentes de los sistemas fotovoltaicos.

1.8.2 Inversor

Es el elemento más importante en una instalación conectada a la red. Es un dispositivo que convierte la corriente continua procedente del generador fotovoltaico en corriente alterna. Para conseguir el mejor rendimiento de la instalación fotovoltaica, el inversor conectado a la red trabaja detectando continuamente el punto de máxima potencia (MPPT) dependiendo la tensión-corriente, la radiación solar recibida o por variaciones de la temperatura de los paneles. Sus características se muestran en la tabla 5.

Tabla 5. **Características Inversor**

INVERSOR	
	• Los inversores actúan como fuente de corriente sincronizada con la red y disponen de microprocesadores de control
	• Trabajan conectador por su lado de corriente continua a un generador fotovoltaico, y por su lado de corriente alterna a un transformador que adopta la tensión de salida del inversor a la red.
	• Son capaces de transformar en corriente alterna y entregar a la red toda la potencia que el generador fotovoltaico genera en cada instante, funcionando a partir de un umbral mínimo de radiación solar.
	• Permiten la desconexión-conexión automática de la instalación fotovoltaica en caso de pérdida de tensión o frecuencia de la red, lo que garantiza la seguridad para los operarios de mantenimiento de la compañía eléctrica distribuidora.
	• Actúa como controlador permanente de aislamiento para la desconexión-conexión automática de la instalación fotovoltaica en casa de pérdida de resistencia de aislamiento.

Fuente: Díaz y Carmona. 2010, p. 154.

1.8.3 Contador Bidireccional

Según Calefacción Solar (s.f.), el contador bidireccional es un tipo de medidor que además de poder medir el consumo de energía eléctrica de la compañía girando en el sentido normal puede girar de manera contraria, haciendo posible que le empresa encargada de la energía eléctrica pueda restar al recibo de energía que se está generando y sume la energía de exceso, lo que evita la instalación de un almacén de electricidad (uso de baterías).

El funcionamiento del medidor bidireccional para Guatemala según la Comisión Nacional de Energía Eléctrica, presentado en los anexos 3-5, funciona de la siguiente manera: si la medición neta corresponde a una inyección de energía del usuario hacia el sistema de distribución, el distribuidor se la reconocerá como crédito de energía a favor del usuario hasta que dicho crédito sea agotado contra el consumo del autoproductor, no obstante, el distribuidor cobrará el cargo fijo y los cargos por potencia que le sean aplicables a cada usuario según la tarifa correspondiente.

1.8.4 Supresor de Picos

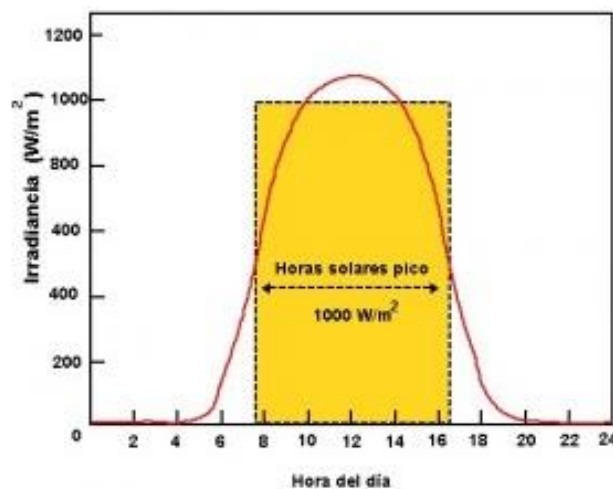
El supresor de picos o SSTV cumple su función al detectar un sobre voltaje, suprimiéndolo y mandándolo a la tierra a fin de que no llegue este a ningún equipo o máquina conectada al equipo, evitando descomposturas. Los picos transitorios suelen ser ocasionados por tormentas eléctricas o rayos.

Es común su instalación en sistemas fotovoltaicos de más de 10 paneles donde la estructura metálica y el marco de los paneles son propensos a atraer energía de las tormentas que puede llegar a ser transmitida hasta el inversor al que se encuentran conectados. Información brindada por Díaz y Carmona (2010).

1.9 Hora solar pico

Se puede definir como una unidad encargada de medir la irradiación solar y definirla como el tiempo (en horas) de una hipotética irradiancia solar constante de 1000 W/m^2 . Existen diferentes softwares que permiten calcular mediante simulaciones la hora solar pico de determinado lugar, uno de los principales es PvSyst, desarrollado por la Universidad de Ginebra, el cual permite realizar el diseño, simulación y análisis de datos de una instalación fotovoltaica, información obtenida de CalculationSolar Blog (2014).

Figura 1. Hora Solar Pico



Fuente: CalculationSolar Blog, 2014, Hora Sol Pico.

1.10 Análisis Financiero

Su fundamento y objetivos giran en torno a la obtención de medidas y relaciones cuantitativas para la toma de decisiones, a través de la aplicación de instrumentos y técnicas matemáticas sobre cifras y datos suministrados por contabilidad que son transformados para poder presentarlos.

Según Baca (2010), una evaluación económica describe “los métodos actuales de evaluación que toman en cuenta el valor del dinero a través del tiempo, como la tasa interna de rendimiento y el valor presente neto” (p. 8). Este análisis es importante, pues al final permite decidir la implantación del proyecto.

1.11 Flujo de Caja

El flujo de caja está compuesto por cuatro elementos básicos: costos de inversión o montaje del proyecto, ingresos de operación, costos de operación y el valor de salvamento. Los egresos iniciales corresponden al total de la inversión requerida para la puesta en marcha del proyecto, el capital de trabajo también se considera como un egreso en el momento cero, ya que deberá quedar disponible para que el administrador del proyecto pueda utilizarlo en su gestión. Los ingresos y egresos de operación constituyen todos los flujos de entradas y de salidas reales de caja. Cada uno de estos elementos debe ser ubicado en el flujo de caja por el monto que representa y en el período al que corresponde (Sapag, N. y Sapag, R., 2008, p. 291).

Además de los ingresos, costos de inversión, operación y mantenimiento y los valores de salvamento, existen otros elementos que pueden afectar el flujo de un proyecto, como la depreciación, agotamiento de activos intangibles y agotamiento de recursos naturales. La construcción de los flujos de caja puede

basarse en una estructura general que se aplica a cualquier finalidad del estudio de proyectos. Para un proyecto que busca medir la rentabilidad de la inversión, el ordenamiento propuesto según Sapag, N. y Sapag, R., (p. 294), se muestra en la tabla 6.

Tabla 6. Estructura Flujo de Caja

(+) Ingresos afectos a impuestos
(-) Egresos afectos a impuestos
(-) Gastos no desembolsables
(=) Utilidad antes de impuesto
(-) Impuesto
(=) Utilidad después de impuesto
(+) Ajustes por gastos no desembolsables
(-) Egresos no afectos a impuestos
(+) Beneficios no afectos a impuestos
(=) Flujo de caja

Fuente: Sapag, 2008, p. 294.

Ingresos y egresos afectos a impuestos son todos aquellos que aumentan o disminuyen la utilidad contable de la empresa. Gastos no desembolsables son los gastos que para fines de tributación son deducibles, pero que no ocasionan salidas de caja, como la depreciación, la amortización de los activos intangibles o el valor libro de cada activo que se venda. Por no ser salidas de caja, se restan primero para aprovechar su descuento tributario y se suman en el ítem ajustes por gastos no desembolsables. (Sapag, N. y Sapag, R., 2008, p. 291).

Egresos no afectos a impuestos son las inversiones, ya que no aumentan ni disminuyen la riqueza contable de la empresa por el solo hecho de adquirirlos. Beneficios no afectos a impuestos son el valor de desecho del proyecto y la recuperación del capital de trabajo si el valor de desecho se calculó por el mecanismo de valoración de activos. (Sapag, N. y Sapag, R., 2008, p. 291).

1.12 Herramientas de evaluación financiera

Existen algunas técnicas analíticas para la evaluación financiera de proyectos de inversión, entre las que destacan son el cálculo del valor actual neto (VAN) y Tasa Interna de Retorno (TIR). Con esta metodología, se podrá identificar con mayor claridad, cuál de las alternativas de inversión resulta más favorable y bajo qué condiciones se realizarían, en caso de que después de ver los resultados del análisis se determine si se acepta o se rechaza el proyecto.

1.12.1 Valor actual neto (VAN)

El valor actual neto o valor presente neto es el valor monetario que resulta de restar la suma de los flujos descontados a la inversión inicial, lo cual equivale a comparar todas las ganancias esperadas contra todos los desembolsos necesarios para producir esas ganancias, en términos de su valor equivalente en este momento o en tiempo cero (Baca, 2010, p. 182). Para calcular el VAN se utiliza el costo de capital o TMAR (Tasa mínima aceptable de rendimiento), según la tasa que se utilice en el cálculo se obtendrán tres posibles casos, los cuales se muestran en la tabla 7.

Tabla 7. **Posibles Resultados VAN**

1. $VPN > 0$: Sin importar cuánto supere a cero ese valor, esto implica una ganancia extra después de ganar la tasa de rendimiento aplicada a lo largo del período considerado.
2. $VPN = 0$: El valor de la empresa no se modifica al adoptar el nuevo proyecto, pues este genera exactamente la tasa de retorno requerida por la empresa.
3. $VPN < 0$: El valor de la organización se disminuye al realizar el nuevo proyecto. El retorno estimado del nuevo proyecto es menor que el recuperado por la firma.

Fuente: Baca, 2010, p. 184.

Para calcular el VAN de un proyecto se suma el valor presente de los flujos de caja proyectados y luego se resta el monto de la inversión expresada en los mismos términos de valor presente. El resultado es una cifra expresada en la divisa utilizada que muestra el cambio en el valor de la empresa si se realiza el proyecto.

Tabla 8. Fórmula Valor Actual Neto

$$VPN = \frac{FC_1}{(1+i)^1} + \frac{FC_2}{(1+i)^2} \dots + \frac{FC_n}{(1+i)^n} - VP \text{ de la inversión inicial}$$

Donde:
 FC = Flujo de caja en los momentos indicados
 i = Tasa de descuento de los FC equivalente a la tasa de retorno requerida por el proyecto
 n = Vida del proyecto expresada según el número de períodos

Fuente: Baca, 2010, p. 183.

1.12.2 Tasa interna de retorno (TIR)

También denominado tasa interna de rentabilidad se define como aquella tasa de descuento por la cual el VAN es igual a cero. Es la tasa que iguala a la suma de los flujos descontados a la inversión inicial. Se llama tasa interna de rendimiento porque supone que el dinero que se gana año con año se reinvierte en su totalidad, es decir, se trata de la tasa de rendimiento generada en su totalidad en el interior de la empresa por medio de la reinversión. Con el criterio de aceptación que emplea el método de la TIR, si ésta es mayor que la TMAR, se acepta la inversión; es decir, si el rendimiento de la empresa es mayor que el mínimo fijado como aceptable, la inversión es económicamente rentable (Baca, 2010, p. 184).

1.12.3 Período de recuperación de la inversión (PR)

El análisis del período de recuperación es otro uso de la técnica del valor presente. Se emplea para determinar la cantidad de tiempo, por lo general expresada en años, que se requiere para recuperar el costo inicial de un activo o proyecto. También es llamado período de reposición o período de pago. Según Váquiro (2010), existen dos tipos de períodos de recuperación, según lo determine el rendimiento requerido:

- Sin rendimiento, $i = 0\%$: También llamado recuperación simple, consiste en la recuperación solo de la inversión inicial.
- Recuperación descontada, $i > 0\%$: El valor del dinero en el tiempo se considera en cierta forma como rendimiento.

2. MUNICIPALIDAD DE SAN JUAN ERMITA

2.1 Reseña histórica

Según documentación brindada por la Municipalidad de San Juan Ermita (s.f.), el nombre del municipio es de origen español. Una vez que fundaban una comunidad, los españoles le ponían el nombre de un patrón; en este caso, San Juan Bautista. Respecto a Ermita, lo más probable es que antes de ser construida la iglesia actual, el pueblo contaba con una pequeña ermita de donde se originó su nombre. En la tesorería de la municipalidad se encuentra un documento del año 1743, firmado por el famoso historiador Juan Gabarrete, cuyo título es: Testimonio de los ejidos (repartición de tierras) de San Juan Ermita, de la ciudad de Quezaltepeque, anotó que a tres lenguas de Santa Elena (aldea del municipio de Chiquimula) se da con el pueblo llamado San Juan Ermita, anexo de Jocotán; está es un valle de muchas aguas, muy fértil y estrecho entre dos montañas, con muchas siembras de maíz, caña, frijol, verduras y así sigue hasta Jocotán.

Los terremotos de 1776 y 1976 dejaron la estructura de la iglesia católica en mal estado, la cual fue reconstruida por primera vez del 28 de enero de 1966 al 2 de diciembre de 1967 por misioneros belgas que se encontraban en el área. La majestuosa iglesia católica que se encuentra en el centro de la población es de tipo colonial. En su interior se pueden apreciar imágenes antiguas, especialmente la de San Juan Bautista, patrono de la comunidad. El camarín o altar mayor es de estilo arquitectónico barroco, único en todo el oriente del país, con una campana en la torre del templo que tiene cincelado en su borde la leyenda en latín “San Juan Bautista, 1729”, según documentación brindada por la Municipalidad de San Juan Ermita (s.f.).

En la Constitución Política del Estado de Guatemala decretada por su asamblea el 11 de octubre de 1825, San Juan Ermita es mencionado como uno de los 30 pueblos que formaban el corregimiento de Chiquimula de la Sierra. Información brindada en el año 1992 por el señor Jacinto Jordán, según documentación brindada por la Municipalidad de San Juan Ermita (s.f.).



Fuente: Municipalidad de San Juan Ermita, 2017, Palacio Municipal de San Juan Ermita.

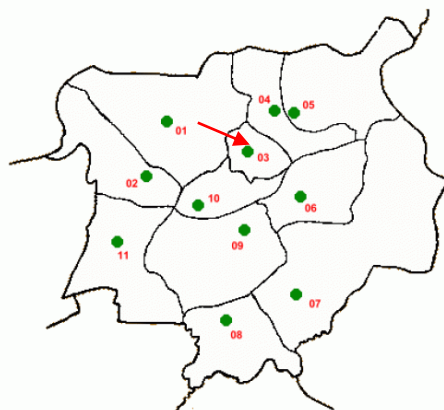
2.2 Monografía del municipio

a) Localización

El Municipio de San Juan Ermita se ubica en el nor-oriente de la República de Guatemala, en el norte del departamento de Chiquimula con una extensión territorial de 84.16 Km² y una altura de 569.20 metros sobre el nivel del mar, con latitud norte 14°45'47" y longitud oeste 89°25'50", tomando como referencia el parque de la cabecera municipal, según documentación brindada por la Municipalidad de San Juan Ermita (s.f.).

Para poder llegar desde la cabecera departamental al municipio, se utiliza la Ruta CA-10, llegando a la altura de la aldea Vado Hondo en el kilómetro 177, desde este punto, se desvía por la Ruta CA-11 que conduce a la frontera de Honduras (El Florido). Al llegar al kilómetro 187.5 se encuentra la cabecera municipal, colindando al Norte con el municipio de Jocotán; al Este con los municipios de Jocotán y Olopa; al Sur con el municipio de Quetzaltepeque y al Oeste con el municipio de San Jacinto y el municipio de Chiquimula, según documentación brindada por la Municipalidad de San Juan Ermita (s.f.).

Figura 3. Ubicación San Juan Ermita



Fuente: Mapa Owje, s.f., Mapa Chiquimula, Guatemala.

b) Población

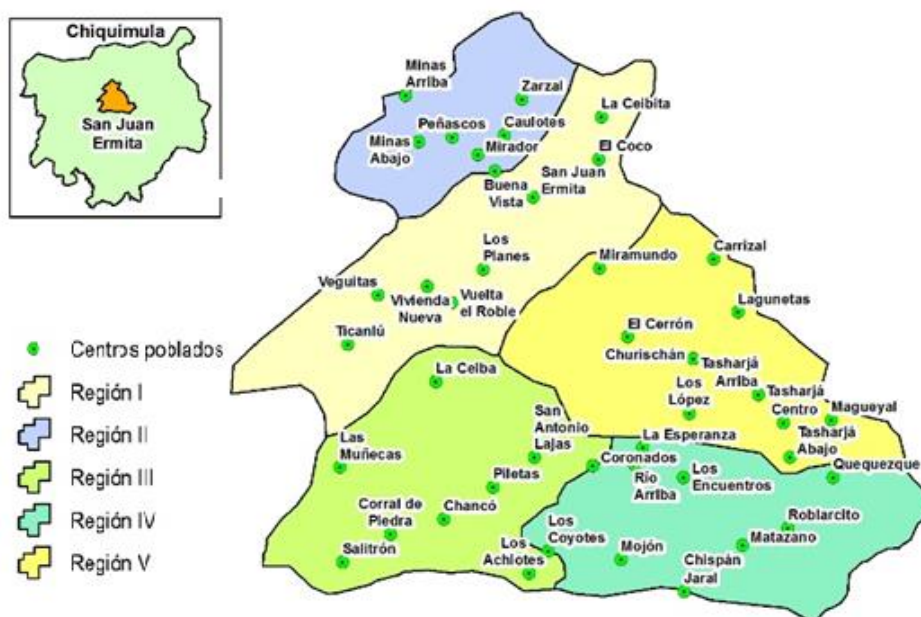
El Municipio de San Juan Ermita cuenta con aproximadamente 16,610 habitantes, los cuales se encuentra divididos en 5 regiones, donde se muestran en la tabla 9 y en la figura 4, según documentación brindada por la Municipalidad de San Juan Ermita (s.f.).

Tabla 9. **Población San Juan Ermita**

POBLACIÓN SAN JUAN ERMITA		
REGIÓN	COMUNIDADES	# HABITANTES
1	Casco Urbano, El Coco, Los Planes, Ticanlú, Veguitas, Vivienda Nueva, Vuelta el Roble y Ceibita	4,484
2	Buena Vista, Caulotes, Minas Abajo, Minas Arriba, Mirador, Peñascos y Zarzal	2,854
3	Chancó, Corral de Piedras, Salitrón, San Antonio Lajas, Coronados, La Ceiba, Las Muñecas, Los Achiotes, Los Coyotes y Piletas	2,296
4	Chispán Jaral, Los Encuentros, Quequezque, Río Arriba, La Esperanza, Matazano, Mojón y Roblarcito	2,856
5	Carrizal, Churischán, Lagunetas, Tasharjá Centro, El Cerrón, Los López, Magueyal, Miramundo, Tasharjá Abajo y Tasharjá Arriba.	4,120

Fuente: elaboración propia.

Figura 4. **Población San Juan Ermita 2016**



Fuente: Municipalidad de San Juan Ermita, s.f., Monografía del Municipio de San Juan Ermita.

c) Clima

El municipio de San Juan Ermita tiene un clima tropical seco, no obstante, posee algunas aldeas como Quequezque, Tasharjá y Los Encuentros, que son de tierra templada regular, la temperatura media anual oscila entre 23° y 25° centígrados; la precipitación pluvial está entre 1,100 y 1,600 milímetros, tiene una humedad del 75%, el viento corre generalmente de noreste a sureste, con una velocidad media anual de tres kilómetros por hora., según documentación brindada por la Municipalidad de San Juan Ermita (s.f.).

d) Topografía

Según el diagnóstico municipal 2019, la topografía es accidental, con pendientes pronunciadas, que oscilan entre 35° y 50° de inclinación, del total del territorio municipal aproximadamente un 75% se considera quebrado y un 25% entre ondulado y plano, según documentación brindada por la Municipalidad de San Juan Ermita (s.f.).

e) Recursos hídricos

Basado en el diagnóstico municipal 2019, los recursos hídricos que posee el Municipio son: ríos y cuencas. “En el Municipio predomina la micro cuenca del río Carcaj, que ocupa el 70.2% del área, el cual contribuye al caudal del río Grande; en segundo lugar, está la del río Shataqué que abarca un 25.9% del área; el río San Nicolás con el 1.9%, luego las quebradas Morguán 1.4%, Torjá

0.4% y Oquén 0.2%., según documentación brindada por la Municipalidad de San Juan Ermita (s.f.).

El río Carcaj (caja de flechas), divide la cabecera municipal en dos, éste nace en la aldea Quequezque y llega hasta la comunidad de Los Encuentros, ahí se adhiere otra quebrada o riachuelo que cuenta con agua suficiente para incrementar el caudal del río, por ende, dicha comunidad fue llamada como tal. según documentación brindada por la Municipalidad de San Juan Ermita (s.f.).

El río Shataqué, nace en Salitrón, recorre Piletas, la Ceiba, Ticanlú y Veguitas, donde provee a los pobladores de agua para la agricultura, actividades pecuarias y auto consumo, su caudal crece en invierno, forma parte de la vertiente del Caribe y es una cuenca del río Grande de Zacapa. El río San Nicolás, nace en el caserío Los Achiotes y se une con el río Shataqué, así mismo provee al autoconsumo y actividades agrícolas, pecuarias principalmente en invierno cuando aumenta su caudal, según documentación brindada por la Municipalidad de San Juan Ermita (s.f.).

f) Bosques

San Juan Ermita, posee 826.08 hectáreas de bosque de coníferas principalmente: Pinnus Oocarpa y 139.46 hectáreas de bosque de latifoliadas, ocupa un 12% de la extensión total del Municipio, bosques extensos, que son considerados como árboles dispersos, principalmente en el área de las comunidades Los Planes, Minas Arriba y Minas Abajo, donde los problemas de erosión genética presentan bifurcación y lento desarrollo; con efectos más graves como la disminución del recurso agua y suelo. Estas características, son vistas principalmente en los cinturones iniciales de los bosques, en donde están

combinados con arbustos, matorrales y pastos naturales, según documentación brindada por la Municipalidad de San Juan Ermita (s.f.).

Las especies latifoliadas se pueden encontrar en promedio con 146 árboles por hectárea con un área de 3.38 metros cuadrados por hectárea y 51.11 metros cúbicos por hectárea de volumen de madera. Información obtenida del diagnóstico municipal 2019. según documentación brindada por la Municipalidad de San Juan Ermita (s.f.).

2.3 Misión, Visión, Principios y Valores

Según Kotler y Armstrong (2004), “la misión como un importante elemento de la planificación estratégica. La misión de una empresa describe la actividad, la cual es pieza clave en la organización para el logro de la visión”. La visión definida por Fleitman (Negocios Exitosos, 2000) es el camino al cual se dirige la empresa a largo plazo y sirve de rumbo y aliciente para orientar las decisiones estratégicas de crecimiento junto a las de competitividad. Las cuales se encuentran en las tablas 10 y 11, según Municipalidad de San Juan Ermita (s.f.)

Tabla 10. Misión y Visión Municipalidad San Juan Ermita

MISIÓN	Somos una institución autónoma, eficiente e innovadora, que presta, abastece, gestiona y facilita servicios que generan un adecuado desarrollo económico, social y cultural contribuyendo al bienestar común de cada familia sanjuanera.
VISIÓN	Ser una municipalidad líder en el apoyo y promoción del desarrollo local, comprometido en brindar servicios de alta calidad con transparencia, equidad, credibilidad y confianza, integrada en completa armonía con el entorno natural de la región Ch'orti'.

Fuente: Municipalidad San Juan Ermita, s.f. Entidad.

Tabla 11. **Principios y Valores Municipalidad San Juan Ermita**

Calidad de Servicio	Brindar una atención sin distinción alguna, con amabilidad, respeto, responsabilidad y sobre todo con transparencia.
Equidad	Promover ante las autoridades y personal, la imparcialidad en la toma de decisiones para el desarrollo integral del municipio.
Unidad	Conformar un solo equipo de trabajo entre la municipalidad y la población para alcanzar los objetivos y metas planteadas.
Honestidad	Actuar con calidad humana, sinceridad, coherencia, justicia y verdad, sin intereses personales con el objetivo de cumplir las necesidades de la población.
Coordinación	Esfuerzo organizativo, como ente recto, para el liderazgo ante las distintas organizaciones que funcionan dentro del municipio y lograr resultados específicos.
Lealtad	Actuar con fidelidad entre las autoridades o jefes superiores y trabajadores, con el compromiso a la verdad, respeto y obediencia, con suficiente madurez.
Respeto	Actuar con respeto y moralidad, para poder crear un ambiente agradable, de cordialidad, armonía y disciplina que permita transmitir a los usuarios el buen desempeño del trabajo
Solidaridad	La coordinación permitirá solidarizarse entre trabajadores, en el mejor desempeño del trabajo, apoyándose unos a otros e invirtiendo de mejor manera el tiempo.

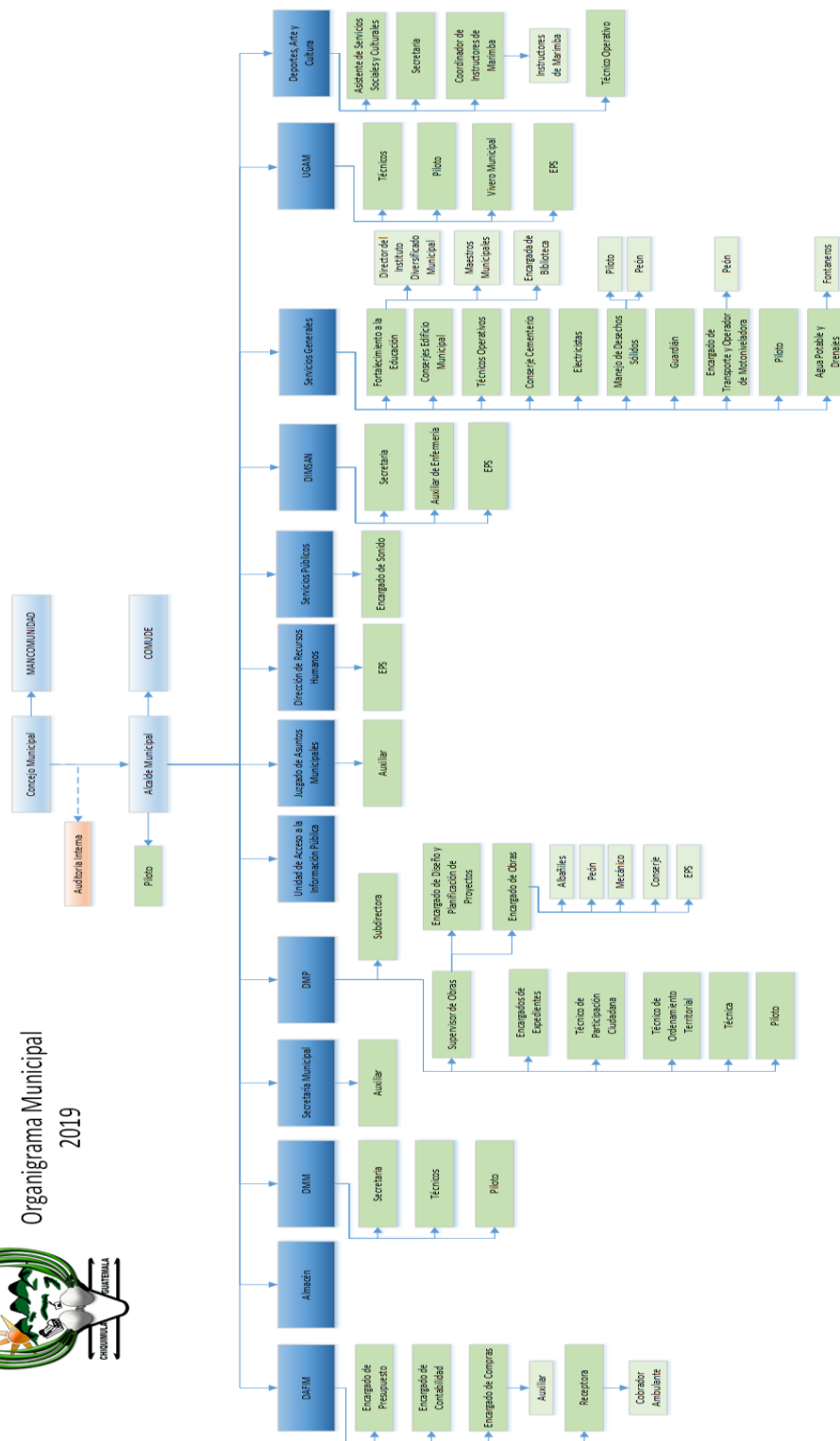
Fuente: elaboración propia.

2.4 Estructura Organizacional

La municipalidad de San Juan Ermita se encuentra estructurada por distintos niveles jerárquicos según los cargos, el nivel más alto está conformado por el Concejo y Alcalde Municipal, los cuales trabajan en conjunto con distintas entidades o grupos como Mancomunidad y COMUDE; todas las actividades realizadas dentro de la municipalidad son supervisadas a través de un auditor interno. Dentro del siguiente nivel jerárquico se encuentran todas las unidades y direcciones que conforman el grupo de trabajo de la municipalidad, como se muestra en la figura 5.



Organigrama Municipal 2019



Fuente: elaboración propia.

3. ANALISIS TÉCNICO-FINANCIERO

3.1 Caracterización de consumo energético

3.1.1 Factores socioeconómicos

Para diseñar de forma adecuada el sistema fotovoltaico es importante conocer que factores socioeconómicos presenta el edificio municipal de San Juan Ermita, tomando en cuenta que se desea obtener un ahorro de carácter económico a través de la autogeneración eléctrica. Se debe conocer la cantidad de personas y el tiempo que hacen uso de las instalaciones y de equipos eléctricos, dichos factores son mostrados en la tabla 12.

Tabla 12. Factores Socioeconómicos

FACTORES SOCIOECONÓMICOS	
Número de ocupantes diarios	150 personas
Número de ocupantes ocasionales	50 personas
Horas de permanencia en las instalaciones	40 horas/semana
Número de semanas de vacaciones al año	4 semanas/año

Fuente: elaboración propia.

También es importante considerar que estos factores no siempre son exactos, dado que dentro de la municipalidad se realizan distintas actividades, en los cuales no se cuenta con un tiempo estimado de uso. Por ello se toma como referencia el número de colaboradores que laboran dentro de la municipalidad y el tiempo que laboran según la ley.

3.1.2 Características de la instalación

Las instalaciones fotovoltaicas requieren ser instaladas en superficies que soporten todo el peso del sistema, dado que el proyecto es diseñado para instalarlo en la planta alta de la municipalidad, es importante reconocer si el edificio cuenta con las características mínimas que se requieren para poder implementar un sistema de ese tipo. Debido a que el edificio municipal fue construido hace aproximadamente 8 años, este cuenta con su infraestructura en buen estado, siendo colectiva y en altura, para la implementación de los módulos fotovoltaicos se cuenta con un área de $285.5m^2$.

Tabla 13. Características de la Instalación

CARACTERÍSTICAS DE LA INSTALACIÓN	
Tamaño de la vivienda	$285.5 m^2$
Tipo de vivienda	Colectiva y en altura
Calidad de la edificación	Excelente
Antigüedad de la edificación	8 años

Fuente: elaboración propia.

Una edificación colectiva es aquella constituida por unidades funcionales independientes como: departamentos, oficinas o locales comerciales. Siendo el caso de la Municipalidad de San Juan Ermita de tipo en altura por los distintos niveles con los que cuenta el edificio, debido a su tiempo de antigüedad y la calidad de su construcción, esta se encuentra en excelentes condiciones, cimientos, paredes y techos en condiciones óptimas para las funciones que se desarrollan dentro de la edificación, las cuales permiten la instalación de un sistema fotovoltaico.

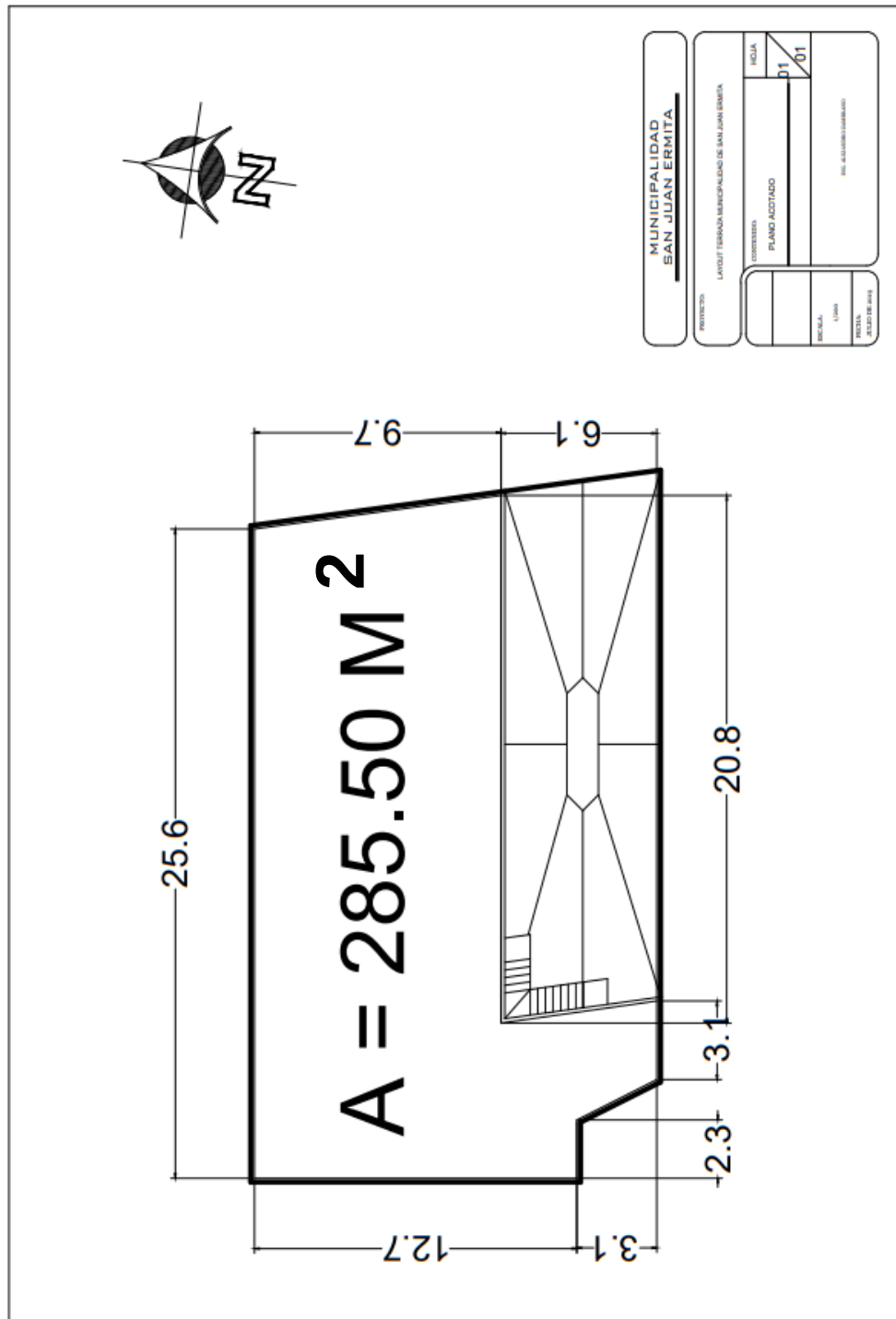
3.2 Plano Municipal

Es importante identificar y evaluar la superficie sobre la que serán instalados los paneles, ya que representa un factor muy significativo tanto en la implementación y en el proceso de operación del sistema. Se debe verificar que la superficie sea de un material adecuado, resistente que brinde una buena base para la infraestructura que lleva el sistema. También es sustancial evaluar la inclinación que se tenga en la parte superior del edificio, para determinar la estructura adecuada de los módulos de paneles.

La principal función de la elaboración del plano es poder determinar de manera exacta cual es el área con la que se cuenta para la implementación del sistema, ya que a través de este se podrá comprobar si se cuenta con la cantidad de espacio requerida para el número de paneles que debe poseer el sistema, también con la disponibilidad de área se puede diseñar cual es la mejor distribución posible que se puede dar para el proyecto.

La superficie sobre la que se instalará el sistema solar fotovoltaico será la terraza del edificio municipal, la cual cuenta con 285.5 metros cuadrados y en ella no existe ningún tipo de obstáculo que pueda generar sombra en los módulos fotovoltaicos, como: gradas, desniveles drásticos o cualquier otro tipo de construcción u objetos que puedan interferir en la cantidad de radiación solar que será absorbida por las células fotovoltaicas de cada panel. Para poder establecer si se cuenta con el espacio adecuado para la instalación de los paneles, tomando en cuenta la dirección a la que estos deben estar colocados. Se ilustra a través de un plano las dimensiones y área total del edificio, figura 6.

Figura 6. Vista Superior Edificio Municipal



Fuente: elaboración propia.

3.3 Historial de consumo energético

Para el diseño óptimo del sistema fotovoltaico, es importante conocer el historial de consumo que ha tenido la municipalidad a lo largo del tiempo, ya que es a través de ello que se basa el dimensionamiento adecuado de todos los equipos que requiere el sistema, por lo tanto, se investigó en los archivos del área financiera los pagos efectuados por energía eléctrica desde el mes de octubre del año 2014 al mes de septiembre del 2019, donde se obtuvieron los datos mostrados en la tabla 14.

Tabla 14. **Historial de Consumo Energético**

Consumo kWh					
AÑO	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
Enero	983	1125	1081	1080	1382
Febrero	762	826	1022	1099	1569
Marzo	878	956	1187	1404	1665
Abril	1005	1156	1379	1332	1497
Mayo	995	1301	1252	1620	1636
Junio	837	1038	1485	1600	1708
Julio	524	1053	1101	1376	1465
Agosto	700	1120	1376	1696	1652
Septiembre	630	1007	1284	1489	1545
Octubre	756	662	806	1157	1578
Noviembre	568	688	642	1233	1685
Diciembre	202	720	790	1150	1624
TOTAL	8840	11652	13405	16236	19006

Fuente: elaboración propia.

Al analizar el comportamiento del consumo de energía eléctrica de la municipalidad de San Juan Ermita se puede estimar el incremento anual, para el cual se toma como referencia los años completos, es decir 2015, 2016, 2017 y 2018, calculándolo de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}
 \% \text{ Incremento } 2015/2016 &= \frac{(Total_{16}) - (Total_{15})}{(Total_{15})} * 100 \\
 &= \frac{(11820) - (9384)}{9384} * 100 \\
 &= \mathbf{25.96 \%}
 \end{aligned}$$

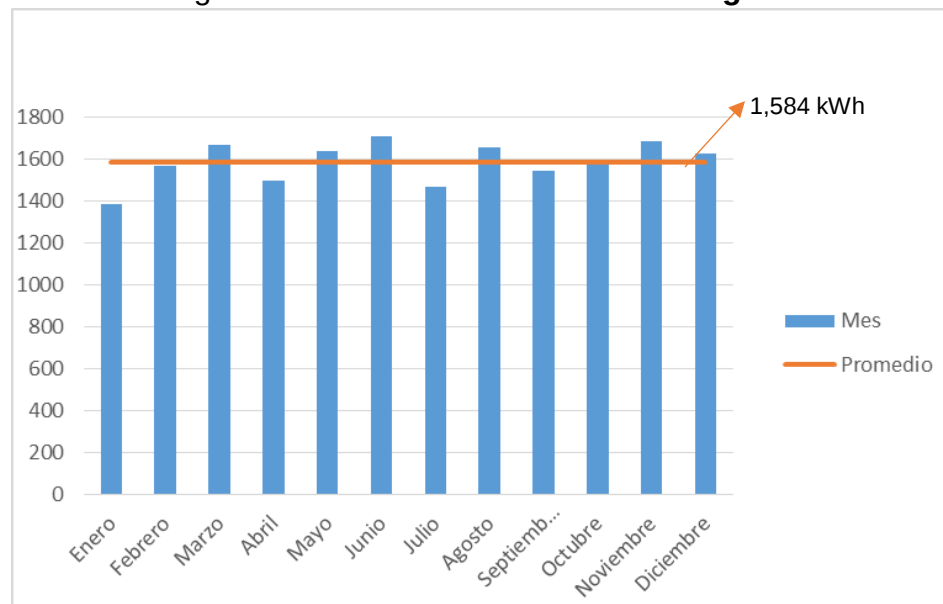
$$\begin{aligned}
 \% \text{ Incremento } 2016/2017 &= \frac{(Total_{17}) - (Total_{16})}{(Total_{16})} * 100 \\
 &= \frac{(14707) - (11820)}{11820} * 100 \\
 &= \mathbf{24.42 \%}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \% \text{ Incremento } 2017/2018 &= \frac{(Total_{18}) - (Total_{17})}{(Total_{17})} * 100 \\
 &= \frac{(17583) - (14707)}{14707} * 100 \\
 &= \mathbf{19.55 \%}
 \end{aligned}$$

Para efectos del cálculo de potencia a instalar se utiliza únicamente el promedio de consumo energético del período del año más reciente (octubre 2018 a septiembre 2019), donde se obtiene un resultado aproximado de 1,584 kWh. Al utilizar el promedio de consumo como base para el cálculo del dimensionamiento del sistema se logra que los meses en los que se consume menos del promedio se compensen los meses en los que el consumo está por arriba.

$$\begin{aligned}
 \text{Consumo Promedio} &= (\text{octubre} + \text{noviembre} + \text{diciembre} + \text{enero} + \text{febrero} + \text{marzo} + \text{abril} + \\
 &\quad \text{mayo} + \text{junio} + \text{julio} + \text{agosto} + \text{septiembre}) / 12 \\
 &= (1578 + 1685 + 1624 + 1382 + 1569 + 1665 + 1497 + 1636 + \\
 &\quad 1708 + 1465 + 1652 + 1545) / 12 = \mathbf{1,583.83 kWh}
 \end{aligned}$$

Figura 7. Consumo Promedio Energético



Fuente: elaboración propia.

3.4 Usuarios autoprodutores de energía

Según la Comisión Nacional de Energía Eléctrica, un usuario autoprodutor con excedente de energía es definido como el usuario del sistema de distribución que inyecta energía eléctrica a dicho sistema, producida por generación con fuentes de energía renovable, ubicada dentro de sus instalaciones de consumo, y que no recibe remuneración por dichos excedentes. Por lo tanto, un usuario que desee participar con las disposiciones indicadas en la norma NTGDR.

En cuanto al beneficio en dicha norma se establece que los usuarios autoprodutores con excedentes de energía no recibirán ningún tipo de pago por la energía eléctrica inyectada al sistema de distribución. Para efectos de la facturación mensual del usuario, el distribuidor leerá cada mes los registros del

medidor correspondiente; si la medición neta del mes corresponde a un consumo de energía, cobrará dicho consumo al usuario, de conformidad con la tarifa que le corresponda.

Por el contrario, si la medición neta corresponde a una inyección de energía del usuario hacia el sistema de distribución, el distribuidor se la reconocerá como crédito de energía a favor del usuario. En la figura 8, se muestra un diagrama para la conexión de un usuario que desee ser autoproducer y por lo tanto introducir energía al sistema de distribución. Según información brindada por ENERGUATE, para el año 2016 la empresa DEORSA añadió 50 nuevos usuarios autoproduceres de energía, con una potencia promedio instalada de 1,390 kW, de los cuales DEORSA representa el 57%, siendo esta la distribuidora con más potencia adicionada a su red.

3.5 Tarifa de Energía Eléctrica

La municipalidad se encuentra dentro de la Tarifa de Baja Tensión Simple (BTS), como se muestra en la figura 13, la cual según lo expuesto en la resolución de la Comisión Nacional de Energía (CNEE-183-2018), tiene una potencia máxima demandada menor o igual a once kilovatios (11 kW). Es importante tomar en cuenta que, a pesar de instalar un sistema fotovoltaico, el distribuidor de energía, quien para el caso de la municipalidad es la empresa Energuate, seguirá cobrando el cargo fijo mensual con IVA y el costo de alumbrado público.

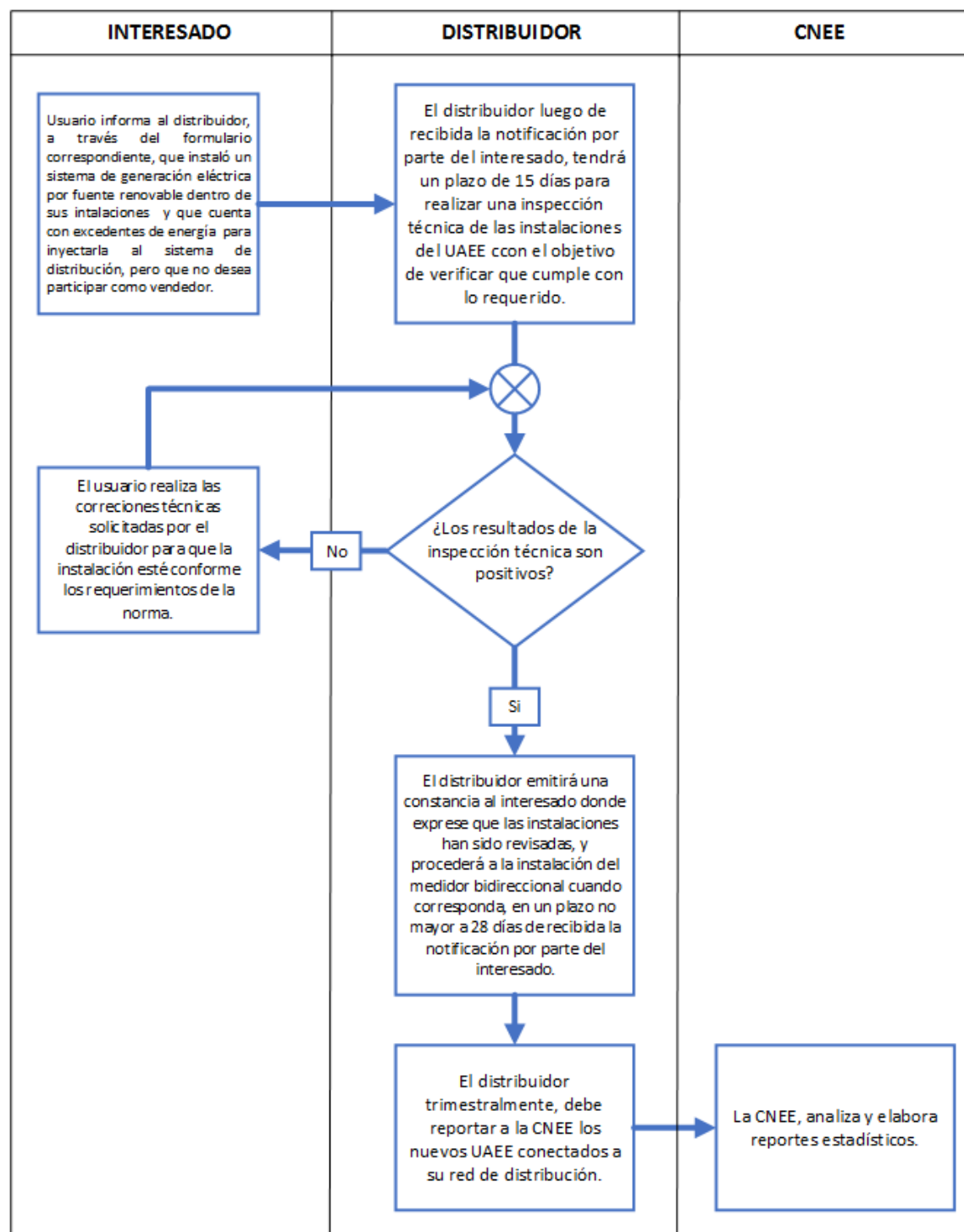
El cargo fijo mensual con IVA según el tarifario de la empresa Energuate a partir del 1 de julio del 2019 para la tarifa BTS es de Q 13.53 y el costo por alumbrado público definido por la municipalidad tiene un valor de Q 50.00, lo cual

puede ser comprobado a través de la factura emitida para la municipalidad, mostrado en el anexo 1.

3.6 Temperatura promedio del municipio

Para el municipio de San Juan Ermita la temporada calurosa dura 2.2 meses, teniendo una temperatura máxima promedio diaria mayor a 29 °C. La temporada fresca dura 3.1 meses con una temperatura máxima promedio diario menor a 25 °C, información obtenida por la página Weather Spark, con información climatológica de todo el mundo.

Figura 8. Flujo UAEE



Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica y elaboración propia.

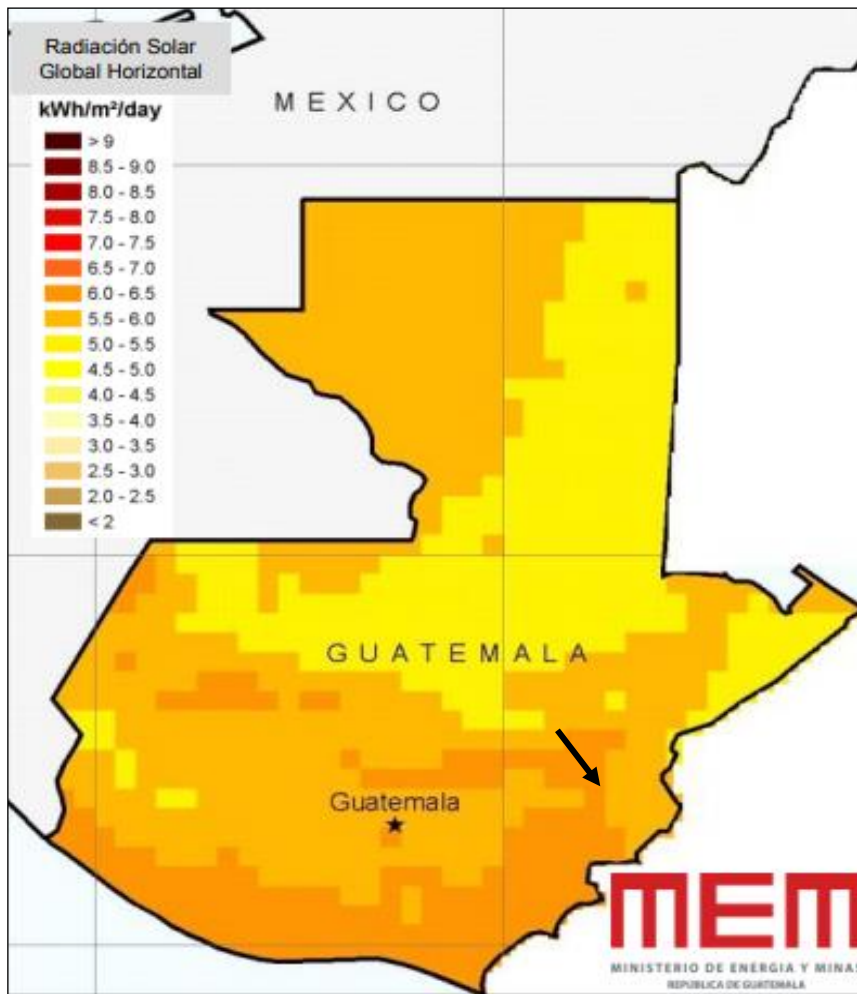
Es importante que el usuario interesado en convertirse en autoprodutor de energía, se informe de cada uno de los requerimientos expuestos por la empresa DEORSA para proceder a la implementación del sistema fotovoltaico, asegurando que cada uno de ellos serán cumplidos, sobre todo en cuestiones de protección, esto con el fin que el distribuidor pueda realizar la implementación del contador/medidor bidireccional a través del cual se lleva el registro de toda la energía producida y consumida.

3.7 Radiación solar y horas sombra del municipio

La radiación solar para el municipio de San Juan Ermita, se determinó a través de un Mapa de Potencial Eólico y Solar elaborado a través de un proyecto llamado Solar and Wind Energy Resource Assessment (SWERA), desarrollado por el Ministerio de Energía y Minas con la ayuda técnica y financiera del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). Según el mapa de Potencial Solar, San Juan Ermita presenta una radiación solar aproximada entre 6 y 6.5 kWh/m²/día, lo que lo hace un municipio con características determinantes para el buen desarrollo de sistemas de energía a través de fuente renovable, para este caso con energía solar.

En el municipio, el promedio del porcentaje del cielo cubierto con nubes varía extremadamente en el transcurso del año. Según el historial de Weather Spartk, la parte más despejada comienza el 15 de noviembre y dura 5.1 meses y la parte más nublada del año comienza aproximadamente el 19 de abril y tiene una duración de 6.9 meses. El cielo está nublado el 93% del tiempo y despejado el 7% del tiempo.

Figura 9. Mapa de Potencial Solar



Fuente: Ministerio de Energía y Minas, 2018.

3.8 Fuente de financiamiento

La Municipalidad de San Juan Ermita para poder adquirir y ejecutar en el ejercicio fiscal necesita desarrollar un plan de operaciones en el que se incluyen todos los proyectos y actividades que serán ejecutadas a lo largo del año. Cada actividad y proyecto va con su perfil correspondiente y asignado a un renglón presupuestario que según la ley le corresponde.

Cada renglón cuenta con distintas fuentes de financiamiento que pueden ser solicitadas y usadas para la ejecución del proyecto. Según la temática del proyecto para este caso, la implementación de un sistema de energía solar fotovoltaico para la Municipalidad, se encuentra según el Manual de Clasificaciones Presupuestarias para el sector público de Guatemala dentro del grupo 3, el cual comprende todos los egresos en concepto de adquisición de maquinarias, equipos y accesorios, que usan o complementan a la unidad principal, tales como: maquinaria, equipo de producción y construcción, equipos de oficina, médico, sanitario y de laboratorio, educacionales, de transporte, etc.

Tabla 15. **Fuente de Financiamiento**

RENGLÓN	ESPECIFICACIONES	FINANCIAMIENTO
329	Comprende otros tipos de maquinarias diferentes a maquinaria y equipo de producción, equipo de oficina, equipo médico, equipo educacional, entre otros.	• IVA Paz Inversión (Porcentaje asignado por el gobierno) • Ingresos Tributarios IVA Paz (percibido a través de arbitrios)

Fuente: Ministerio de Finanzas Públicas, 2018, Manual de clasificaciones presupuestarias para el sector público de Guatemala.

4. DISEÑO DEL SISTEMA DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA

4.1 Estudio Técnico del sistema de energía solar

Las instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red comercial están diseñadas para consumir la energía producida y a su vez introducir la energía excedente a la red de distribución. Uno de los requerimientos básicos para poder realizar una instalación fotovoltaica es la disponibilidad de espacio libre de sombras, es decir, que se obtiene una gran cantidad de radiación solar. El sistema consta de distintos elementos como: inversor, módulo de paneles y protecciones, los cuales deben ser elegidos de manera adecuada para lograr una generación de energía óptima.

4.1.1 Criterios para selección del equipo

La selección del equipamiento de un sistema fotovoltaico forma parte de una serie de procesos de cálculos y determinación de ciertos parámetros, a través de los cuales se llega a la conformación final del sistema. En principio se debe haber dimensionado el sistema, es decir, calcular inicialmente la energía eléctrica que será suministrada, para luego calcular las características que debe tener cada uno de los componentes del sistema, en base a estos cálculos y otras consideraciones, seleccionar el equipo más adecuado. Además de lo antes mencionado Perpiña et al. (2012), recomiendan considerar los criterios expuestos en la tabla 15 (p. 7-44).

4.1.2 Dimensionamiento del sistema

En la actualidad existen distintas herramientas de software que permiten realizar el diseño y dimensionamiento de las instalaciones de autoconsumo que, en mayor o menor medida, permiten estimar la generación fotovoltaica y realizar una valoración económica de la instalación, sin embargo, el acceso a este software requiere de algunas inversiones económicas, por lo tanto, existen distintos cálculos que pueden ser realizados manualmente para obtener el diseño correcto del sistema fotovoltaico.

Tabla 16. **Criterios de selección**

EQUIPO	CRITERIOS
Panel Solar	• Condiciones estándar de medida (CEM) • Irradiancia mínima necesaria • Temperatura ambiente necesaria para obtener condiciones de laboratorio • Tolerancia máxima de potencia • Tipo de celda • Nubosidad del área
Inversor	• Sistema de producción necesario (trifásica, monofásica o bifásico) • Tensión requerida • Potencia requerida
Estructura	• Material de fabricación, se recomienda aluminio • Accesorios sin requerimiento de perforación al marco • Material de los accesorios • Flexibilidad para lograr el ángulo correcto
Cable	• Vida útil larga, por lo menos 30 años • Soportar altas temperaturas • Flexible • Conductor de cobre estañado • Aislamiento de propileno • Cubierta de etil vinil acetato

Fuente: elaboración propia.

Se debe considerar el consumo de energía que requerirá la instalación a través del cual se realiza el cálculo del número de paneles solares necesarios, obteniendo así el potencial de energía que puede producir todo el sistema y seleccionar los accesorios de protección que son necesarios para su buen funcionamiento.

4.1.2.1 Potencia

El primer paso para realizar el dimensionamiento del sistema es calcular la potencia que se requiere, obtenido a través de la siguiente fórmula:

$$P = \frac{E}{t}$$

Donde:

P = potencia eléctrica requerido

E = energía promedio

t = horas Solar Pico al año

La energía es obtenida del cálculo del consumo promedio de la municipalidad, presentado en el inciso 3.3, el cual tiene un valor de 1,583.83 kWh, dicho dato es multiplicado por 12, según el número de meses del año, esto con el fin de obtener el consumo de energía eléctrica para el período de un año, dando como resultado 19,006 kWh. Para conocer la potencia eléctrica que se requiere debe dividirse el promedio de consumo al año dentro de las horas solares pico, que tienen un valor de 1,560.9 horas al año.

Dando como resultado una potencia eléctrica requerida de 12,180 W, dato útil para el cálculo del número de paneles necesarios para el sistema, dado que los paneles son fabricados según distintas potencias. Las horas solares pico para el municipio fueron calculadas por la empresa ERME a través de un software para sistemas fotovoltaico llamado PvSyst, el cual a través de simulaciones brinda un estimado de las horas solares pico.

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{(1,583.83 \text{ kWh} * 12)}{1,560.9 \text{ h}} \\
 &= \frac{19,006 \text{ kWh}}{1,560.9 \text{ h}} \\
 &= 12.18 \text{ kW} = 12,180 \text{ W}
 \end{aligned}$$

4.1.2.2 Paneles Fotovoltaicos a utilizar

Se seleccionó el panel solar con potencia nominal de 330 Wp, módulo policristalino con 72 células que permiten por su avanzado cristal y texturizado en la superficie un excelente resultado en condiciones de baja irradiación lumínica, con una tolerancia de medición de potencia de $\pm 3\%$, su máxima corriente de potencia (I_{mp}) es de 8.74 A y su tensión de potencia máxima (V_{mp}) con un valor de 46.9 V. Como se muestra en la tabla 17.

4.1.2.3 Número de Paneles

Para calcular la cantidad de paneles que se van a necesitar en el sistema se debe tener la potencia eléctrica requerida por la municipalidad, la cual fue calculada en la sección anterior y tiene un valor de 12,180 W al año.

. Los paneles que se eligieron para este caso, cuentan con una potencia máxima de 330 W. Se obtiene que el número de paneles necesarios para cubrir la demanda requerida por la municipalidad es de aproximadamente 37 paneles, este dato sirve como referencia para la toma de decisión.

$$\begin{aligned}\# \text{ de paneles} &= \frac{\text{Potencial eléctrico requerido}}{\text{Potencia del panel}} \\ &= \frac{12,180 \text{ W}}{330 \text{ W}} \\ &= 36.9 \approx 37 \text{ paneles}\end{aligned}$$

No solamente debe basarse la elección del número de paneles por lo calculado, sino también por el tipo de inversor que será utilizado, dado que no todos tienen la misma capacidad de entrada y de igual manera, debe tomarse en cuenta que los paneles son agrupados según el número de MPP del inversor y estos grupos deben ser de la misma cantidad.

Es decir que, si el inversor tiene 2 entradas máximas de potencia, el mismo número de paneles que esté conectado a la primera entrada debe estar en la segunda, tomando en cuenta si serán instalados en serie o paralelo. Según lo expuesto anteriormente y analizando que los 37 paneles no pueden ser agrupados en conjuntos del mismo número, se hará uso de 38 paneles.

Tabla 17. **Características Panel Solar**

CARACTERÍSTICAS PANEL SOLAR JINKO		
ELEMENTO	DATO	
Tipo de módulo	JKM330PP-DV	
Potencia máxima	330 Wp	
Tensión punto máximo	37.8 V	
Tipo de celda del panel	Policristalina	
Eficiencia del módulo	16.97%	
Temperatura de funcionamiento	(-) 40° C a 85° C	
No. de células	72	
Peso	24 kg	
El panel cuenta con garantía anti-degradación potencial inducida, brinda mayor rendimiento por más tiempo con una potencia lineal de 30 años, es resistente a condiciones ambientales extremas y no requiere de gran mantenimiento ni limpieza.		

Fuente: elaboración propia.

4.1.2.4 Inversor a utilizar

La municipalidad de San Juan Ermita se encuentra dentro de la tarifa BTS según lo expresado en el inciso 3.5, la cual tiene una restricción de producción de 11 kW, lo que quiere decir que no puede ser instalado un inversor mayor a esa cantidad, por lo tanto, aunque el sistema produzca más de 11 kW se utilizaran dos inversores marca SMA de 5 kW, ya que estos tienen una capacidad de potencia máxima de entrada de 7.5 kW, con lo cual se logra cubrir la potencia que será producida por los módulos, sin restringir las normas para la tarifa. El inversor cuenta con 2 cadenas de entrada, presenta una eficiencia máxima de 97% y una vida útil mayor a 20 años.

Tabla 18. **Características del Inversor**

CARACTERÍSTICAS INVERSOR	
ELEMENTO	DATO
Máxima potencia de entrada	7.5 kWp
Máximo voltaje de entrada	600 V
Rango de voltage por MPP	175 a 500 V
Número de MPP	2
Máxima eficiencia	97.00%
Temperatura de funcionamiento	(-) 25° C a 60° C
Dimensiones	435/470/ 176 mm
Peso	16 kg

Brinda una puesta en marcha sencilla gracias a la interfaz WLAN y Speedwire integrada, maximiza la utilización de la energía con una carga basada en la prevención y aporta a un rendimiento máximo de la planta gracias a la limitación dinámica de la inyección.



Fuente: Manual del fabricante y elaboración propia.

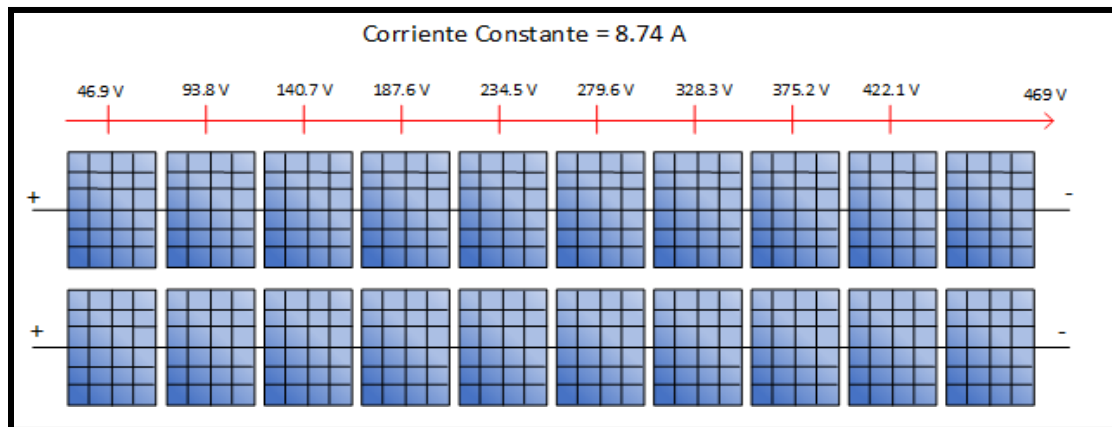
4.1.2.5 Dimensionamiento Inversor

Los paneles fotovoltaicos estarán divididos en un grupo de 20 unidades para el primer inversor y 18 para el segundo, logrando un total de 38. Es decir, que para el primer inversor que tiene 2 MPP, los paneles estarán divididos en dos grupos de 10 paneles cada uno, conectados en serie y para el segundo inversor con el mismo número de entradas, estará conformado por dos grupos de 9 paneles cada uno, conectados en serie, con un total de 18 unidades.

Para comprobar que el inversor seleccionado es el más adecuado para el sistema debe realizarse el diseño de cada grupo de paneles conectados en serie, para obtener el voltaje total que dará el módulo y demostrar que el inversor cuenta con los requerimientos necesarios. Según lo anterior y tomando en cuenta las características, el inversor tiene un rango de voltaje entre 175 a 500V, para cada entrada (MPP).

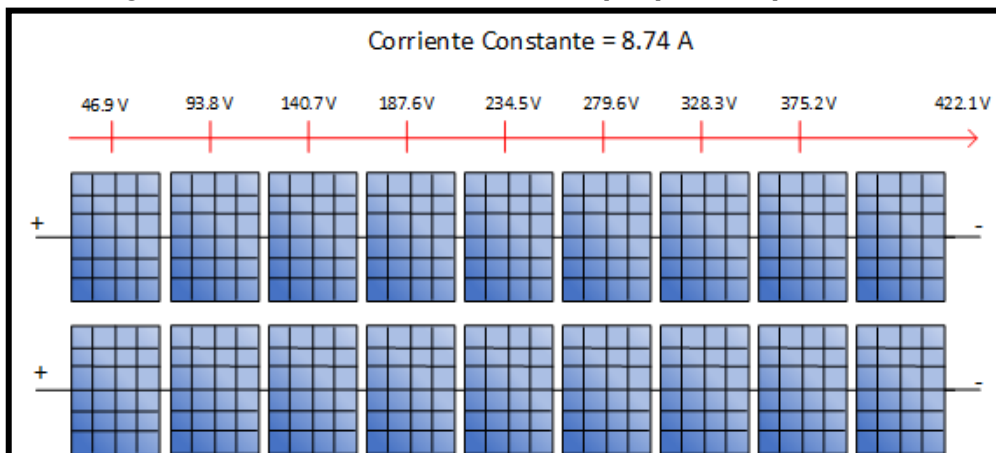
Para el diseño del sistema, los paneles serán conectados en serie, este conjunto mantiene su corriente de manera constante y su voltaje va aumentando según el número de paneles que estén conectados, es decir, que para un grupo de 10 paneles fotovoltaicos conectados en serie, su corriente (I_{mp}) siempre será de 8.74 A, pero su voltaje final será de 469 V, como se muestra en la figura 10. Para el conjunto de 9 paneles, la corriente será la misma que el conjunto anterior, con un valor de I_{mp} igual a 8.74 A y su voltaje final será de 422.1 V. Lo anterior es descrito en la figura 11.

Figura 10. **Corriente Inversor 1 (20 paneles)**



Fuente: elaboración propia.

Figura 11. **Corriente Inversor 2 (18 paneles)**



Fuente: elaboración propia.

De las figuras 11 y 12 se puede comprobar que el inversor cumple con los requerimientos del sistema, es decir dado que el inversor para cada una de sus entradas tiene un rango de voltaje entre 175 y 500 V y para las entradas del primer inversor se tiene un voltaje de 469 V y para las entradas del segundo inversor un voltaje de 422.1 V, ambas se encuentran dentro del rango permitido por el inversor, $469V < 500V > 422.1 V$.

4.1.2.6 Producción de energía eléctrica

El sistema fotovoltaico estará conformado por 38 paneles solares de 330 W, descritos en la tabla 4, los cuales para conseguir la potencia máxima deben encontrarse en condiciones de irradiancia de $1000 W/m^2$ y temperatura de $25^{\circ}C$, características que se dan 1560.9 horas al año para el municipio.

Tomando en cuenta la ecuación para calcular la producción del sistema fotovoltaico, en el cual se utiliza el dato de la potencia máxima que brinda el panel, siendo de 330 W y el tiempo de horas solares pico que se tiene, dando como resultado una energía de 515,097 W/h al año para un solo panel.

$$E = P * t$$

$$E = 330 W * 1560.9 \text{ hrs} / \text{año}$$

$$E = 515,097 \text{ Wh} / \text{año}$$

Donde:

E = energía producida

P = potencia del panel

t = tiempo (HSP)

Debido a que el sistema estará conformado por 38 paneles, la energía que es producida debe ser multiplicada por ese número para obtener la energía de todos los módulos, dando como resultado 19,573,686 W/h-año, lo que quiere decir que durante las 1,560.9 horas solares pico que se tienen a lo largo del año en el municipio se obtendrá esa energía.

$$\begin{aligned} E_{total} &= E * \# \text{ de paneles} \\ &= 515,097 \text{ W/h} * 38 \text{ unidades} \\ &= 19,573,686 \text{ Wh / año} \end{aligned}$$

4.1.2.7 Cableado

- **Solar**

Para la parte de producción de corriente directa se debe utilizar un cable solar que soporte altas cantidades de voltaje. Se seleccionó el Cable Solar para 2000 V, 30 A, el cual cuenta con las siguientes características: sección transversal 4mm², diámetro exterior 5.2 mm, clase 5, índice de cobre 38.4 kg/km y peso 63 kg/km. Este tipo de cableado es resistente a todo tipo de condiciones climáticas y a radiación UV, resistente al ozono, es libre de halógenos y es no propagador de la llama, con una gran resistencia a los cortes y abrasiones.

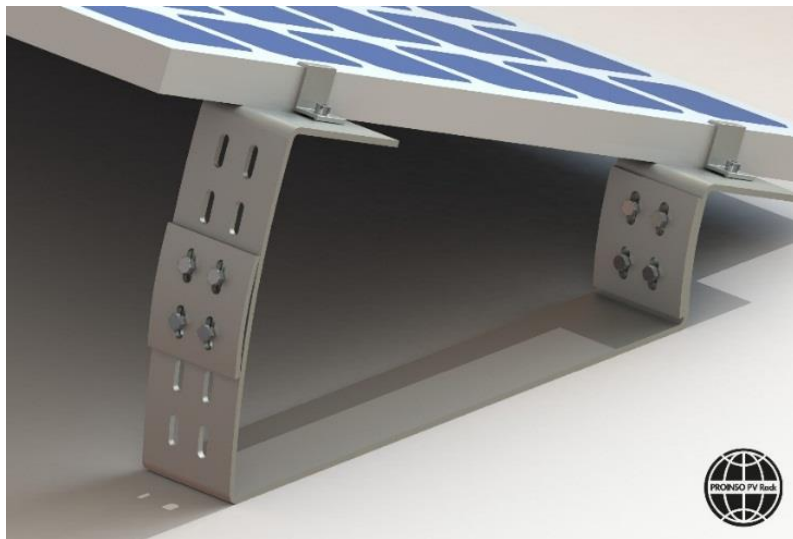
- **Cable AC**

Para la instalación de la parte de corriente alterna se utilizará el cable convencional en las instalaciones eléctricas THHN calibre 8 que soporta según la temperatura 55 Amperes.

4.1.2.8 Estructura

Siendo la estructura una de los elementos más importantes para una instalación fotovoltaica se seleccionó la estructura Triángulo, dicha estructura está elaborada con perfiles de aluminio que ensambladas tienen la capacidad de soportar los módulos fotovoltaicos. Cuenta con la capacidad de adaptar la inclinación a la ideal para el sistema y es adaptable a cualquier tipo de techo. Los materiales utilizados son de aluminio 6063-T5 y fijaciones que aportan fiabilidad y durabilidad al sistema. La estructura utiliza abrazaderas que no requieren de perforación en el panel, esto para hacer que el conjunto de paneles no pierda la garantía de fábrica con la que cuentan. Cada perfil es diseñado para soportar 4 paneles solares de tamaño estándar.

Figura 12. **Estructura Triangle Duo**



Fuente: PROINSO PV Rack, s.f., Triangle Duo.

4.1.3 Contador/Medidor Bidireccional

Según lo especificado en la guía para el Interesado en constituirse en Usuario Autoprodutor con Excedentes de Energía (UAEE), luego de completar y entregar el formulario brindado en las oficinas comerciales del Distribuidor de Energía Eléctrica o a través de la página web de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica el distribuidor encargado realiza una inspección técnica de las instalaciones, si se tiene una inspección positiva el distribuidor procederá a la instalación del medidor bidireccional, en un plazo de 28 días. Para el caso de grandes usuarios (>100 kW), son ellos los responsables de su sistema de medición.

4.1.4 Fallas y Protecciones

Según el Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias de la ciudad de México (s.f.), es importante que dentro de un sistema fotovoltaico se implementen protecciones, las cuales pueden ser de tipo preventivo para eliminar las posibles causas de fallas o diseñadas para detectar y eliminar fallas. Los generadores fotovoltaicos, presentan características como: comportamiento como fuente de corriente en situaciones de falla, arcos eléctricos por tiempo prolongado en caso de fallas de aislamiento y al estar expuestos al medio ambiente agravan la posibilidad de fallas por aislamiento o falsos contactos. Existen diversos tipos de fallas, algunos de ellos se muestran en la tabla 19.

Tabla 19. Tipos de Fallas

TIPO	CAUSAS	CONSECUENCIAS
Falla a tierra	Deterioro de aislamiento, daño al instalar, cable suelto en caja de conexiones, abrasión, roedores, etc.	Posibles: descarga eléctrica, arcos, fuego, corriente inversa en módulos, sobrecorrientes y pérdida de potencia.
Cortocircuito		Pérdida de potencia, posibles arcos y fuego, por consiguiente, daño al sistema de CD.
Circuito Abierto	Mala instalación, componentes inadecuados, fatiga por ciclos térmicos o vibración.	Pérdida de potencia, posibles arcos eléctricos y fuego.
Sobrevoltaje inducido	Descargas atmosféricas	Posibles daños a componentes, particularmente a equipos eléctricos.
Sobrevoltaje directo	Descargas atmosféricas directas	Daños al generador y equipos eléctricos
Sombreado	Cell mismatch, celdas defectuosas, basuras, aves, localización inapropiada.	Generación de puntos calientes y posible destrucción del módulo.

Fuente: Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias de la ciudad de México, s.f.,
Protecciones y seguridad.

Tomando en cuenta las posibles fallas que se pueden dar en una instalación fotovoltaica y la ubicación donde será instalado el sistema, se debe considerar la utilización de ciertos equipos de protección tanto para la parte de corriente alterna y la de corriente directa. Basado en lo expresado anteriormente, se hace la selección de los siguientes elementos de protección, mostrados en la tabla 20.

Tabla 20. Tipos de Protecciones

PROTECCIÓN	CARÁCTERÍSTICAS	POSIBLES FALLAS
Fusible	Colocados en las entradas del inversor, sirven para provocar la apertura del circuito en caso de producirse una corriente superior a la admisible por los equipos o conductores de la instalación.	Sobrecargas de tensión, cables antiguos, tramos muy cortos o falla de circuito a tierra y equipos defectuosos.
Portafusible	Encargado de salvaguardar en su interior el fusible, se elige según las dimensiones del fusible	
Mini Breaker	Cuenta con protección térmica que desconecta el circuito cuando la corriente excede el valor nominal por un período determinado y protección magnética la cual desconecta fallas de gran magnitud.	Circuitos sobrecargados, fallas de cortocircuito, fallas a tierra o selección incorrecta del breaker
Supresor de picos	Detecta el sobre voltaje, suprimiéndolo y mandándolo a tierra a fin de que no llegue a ningún equipo o máquina conectada al equipo.	Tormentas eléctricas o rayos

Fuente: elaboración propia.

Para la implementación del sistema, tomando en cuenta los tipos de fallas y protecciones que existen se seleccionaron los siguientes equipos de protección:

Tabla 21. Protecciones Seleccionadas

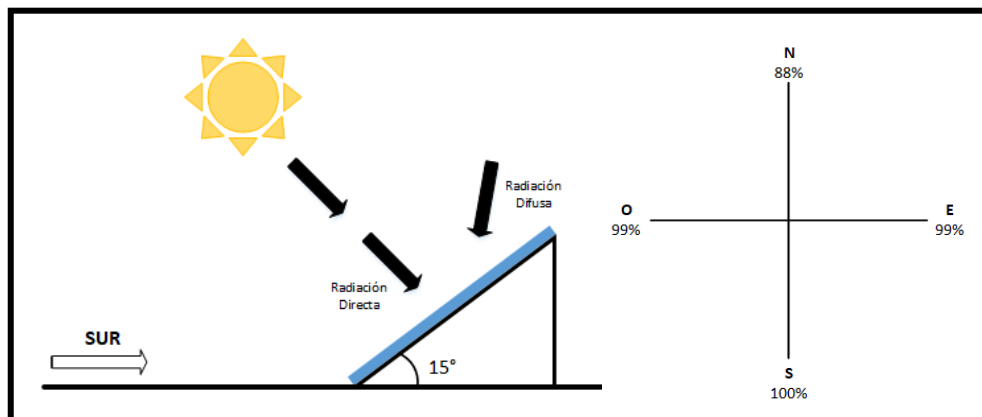
Fusible	Ubicado en la entrada del inversor en cada línea positiva, según la ficha técnica del inversor la capacidad máxima del fusible en serie que permite es de 15 A y 1000 V, para corriente directa.
Portafusible	Su dimensión debe ser igual a la del fusible, por lo tanto, será de 15 A y 1000V.
Mini Breaker	Ubicado en la salida de los inversores, deberá ser de 2 polos, con corriente alterna nominal de 50A y capacidad de interrupción de 6 kA.
Supresor de picos	Dada la potencia generada deberá utilizarse un supresor de picos instalado después de la caja de flippers con un valor de 36 kW (220) AC, de dos polos.

Fuente: elaboración propia.

4.1.5 Orientación e inclinación del panel

Los paneles tendrán un ángulo de inclinación de 15 grados, esto debido a que al colocarse con dicho ángulo captan la mayor cantidad de radiación directa. Estarán ubicados en el techo de la municipalidad, deben ser colocados en dirección al sur por la posición a la que sale el sol (Este a Oeste). Según información de la empresa ERME, los paneles solares pueden ser ubicados según la decisión de cada persona, aunque el porcentaje de producción de estos varía según su ubicación. Lo anterior puede ser representado a través de la siguiente figura:

Figura 13. Inclinación del Panel Solar



Fuente: elaboración propia.

4.1.6 Espacio entre paneles

Debido a que en muchas ocasiones por espacio es importante disponer de varias filas de paneles, se debe dejar una distancia mínima para evitar la pérdida de producción por el efecto del sombreado. Dicha distancia es calculada a través de las fórmulas presentadas en la tabla 22.

Tomando en cuenta que las coordenadas del municipio son: latitud 14.47 y longitud 89.25, así mismo las dimensiones del panel seleccionado, son: de 992 mm x 1956 mm y la inclinación de 15° para los paneles, se realiza el cálculo del distanciamiento que debe existir entre cada fila de paneles, dando como resultado un coeficiente $k = 0.93$, altura del módulo de 0.51 m y espacio entre filas de aproximadamente de medio metro (0.5 m).

$$d = k * h$$

Donde:

d = distancia entre filas

k = coeficiente en función de la latitud

h = altura del obstáculo

$$h = L * \sin(15^\circ)$$

Donde:

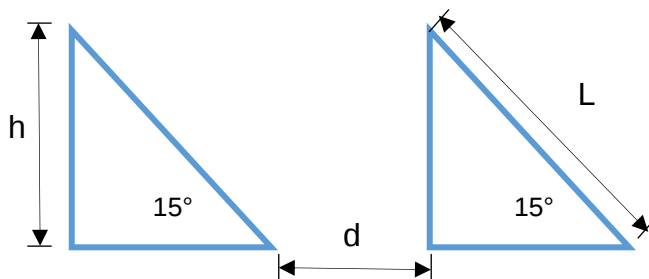
h = altura del obstáculo

L = largo del panel

$$k = \frac{1}{\tan(61 - \text{latitud})}$$

Donde:

k = coeficiente en función de la latitud

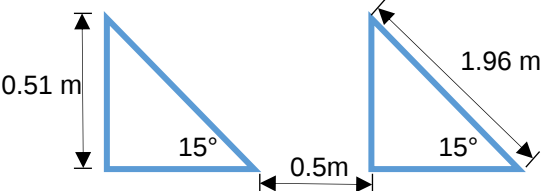


4.1.7 Funcionamiento del sistema de energía solar fotovoltaico

- El proceso da inicio cuando las 72 células fotovoltaicas de cada panel policristalino captan toda la energía emitida por el sol. Debido a que este sistema se proyecta para ser conectado en serie, si uno de los paneles de la serie no está en las condiciones óptimas (sin nubes o sombras) para la producción de energía, perjudicará la producción de toda la serie. Cada serie termina en un polo positivo y negativo, los cuales van conectados a cada uno de las entradas del inversor, según su polaridad.
- La energía captada es trasladada a través de cables solares, ideales para este tipo de proyectos, dado que resisten a alta radiación UV, debe ser de clase 5, con sección transversal de 4 mm^2 y 5.2 mm de diámetro exterior, estos llevan la corriente hacia el inversor, encargado de convertir toda la corriente continua que es captada por los paneles en corriente alterna. En cada línea que sale de polo positivo se encuentra instalado un fusible que se encarga de asegurar la integridad del sistema ante sobrecargas o cortocircuitos.
- Toda la corriente alterna que sale del inversor es transportada por cables comunes para sistemas eléctricos THHN calibre 8, hacia el tablero principal de la edificación, en el cual se conecta una línea neutra y dos líneas vivas, las cuales son protegidas por un mini breaker que cumple la misma función que el fusible.
- Posterior al tablero es recomendable la instalación de un supresor de picos, esto con el fin de proteger todos los equipos que se encuentren

suministrados por la corriente alterna que llega al tablero y posterior a la red eléctrica nacional.

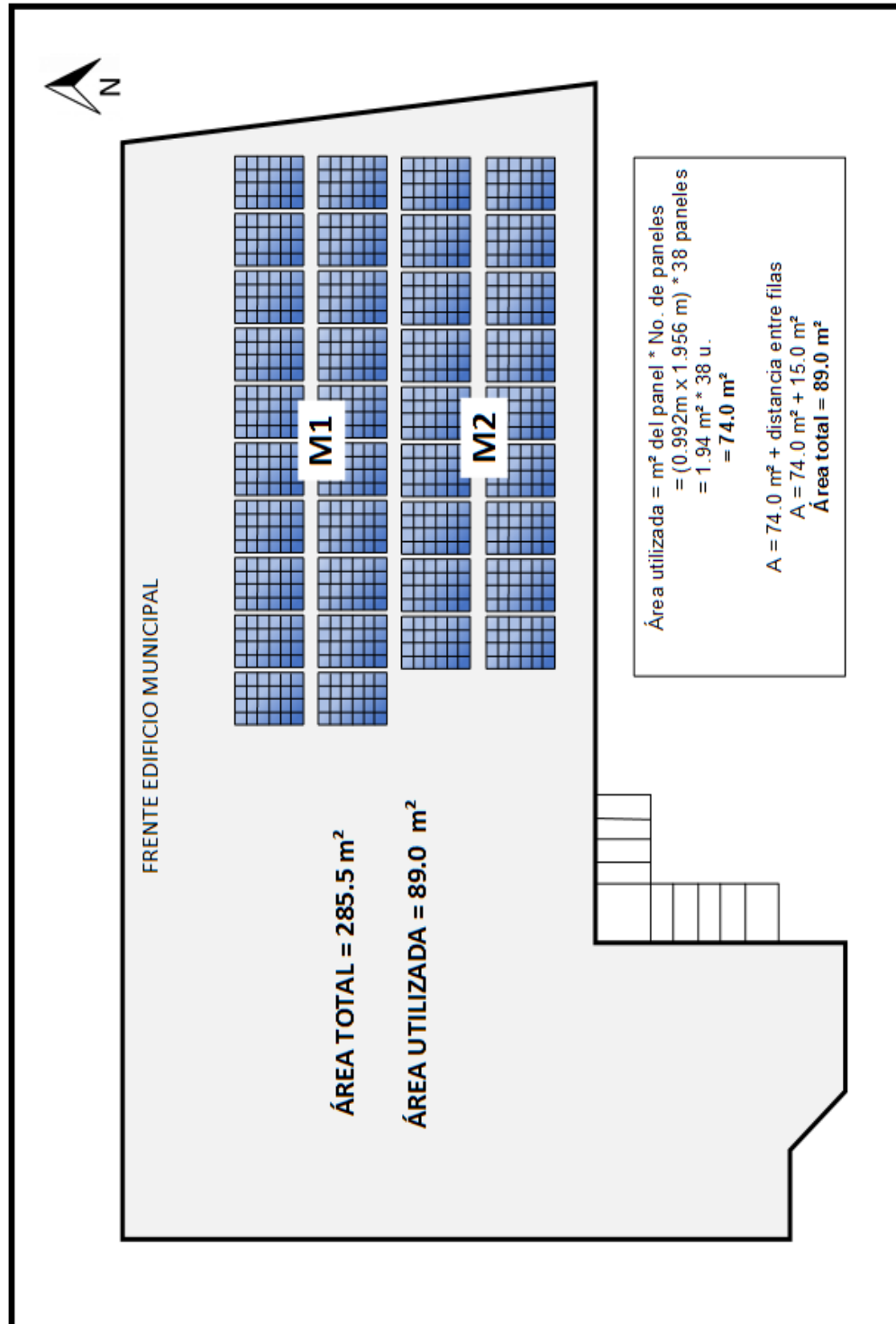
Tabla 22. Cálculo distancia entre Paneles

DATOS	RESULTADO
$k = \frac{1}{\tan(61 - \text{latitud})}$ Donde: latitud = 14 °	k = 0.93
$h = L * \sin(15^\circ)$ Donde: L = 1.956 m	h = 0.51 m
$d = k * h$ Donde: k = 0.93 y h = 0.51	d = 0.47 m
	

Fuente: elaboración propia.

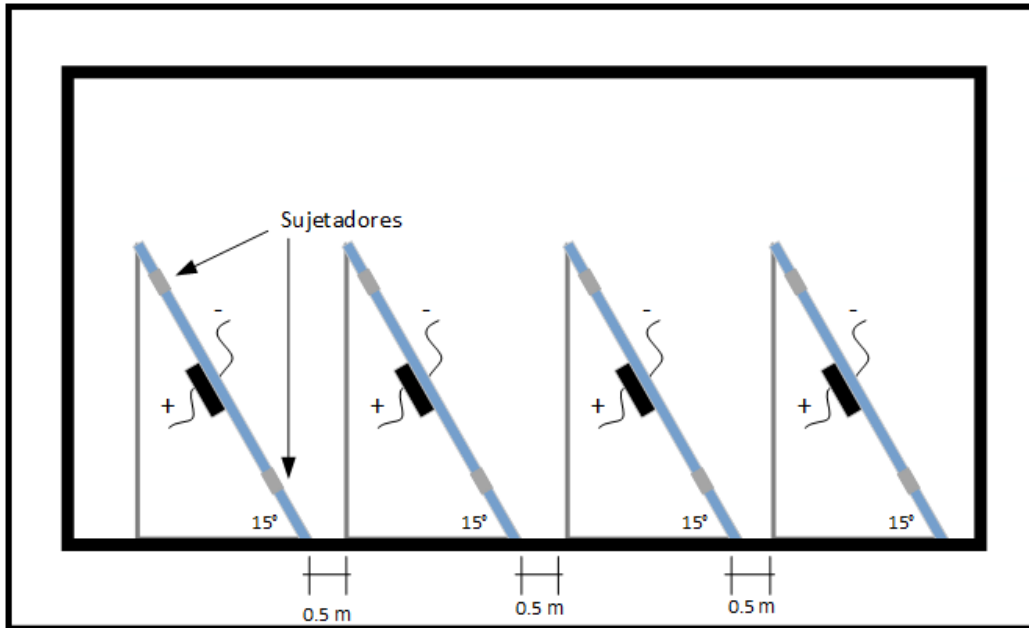
Con los datos obtenidos del cálculo del distanciamiento entre filas de paneles, dando como resultado 0.5 metros; el área utilizada por los dos módulos que conformaran el sistema, la inclinación que debe tener la estructura utilizada para asegurar que el sistema se encontrará bajo las mejores condiciones posibles, logrando con esto la mayor cantidad de producción de energía eléctrica. A través de dichos datos se puede diseñar la mejor posición para instalar los paneles dentro del espacio que dispone la municipalidad, el cual es de 285.5 metros cuadrados. Dando como resultado las figuras 14 y 15.

Figura 14. Vista Superior Sistema Fotovoltaico



Fuente: elaboración propia.

Figura 15. Vista de perfil Sistema Fotovoltaico

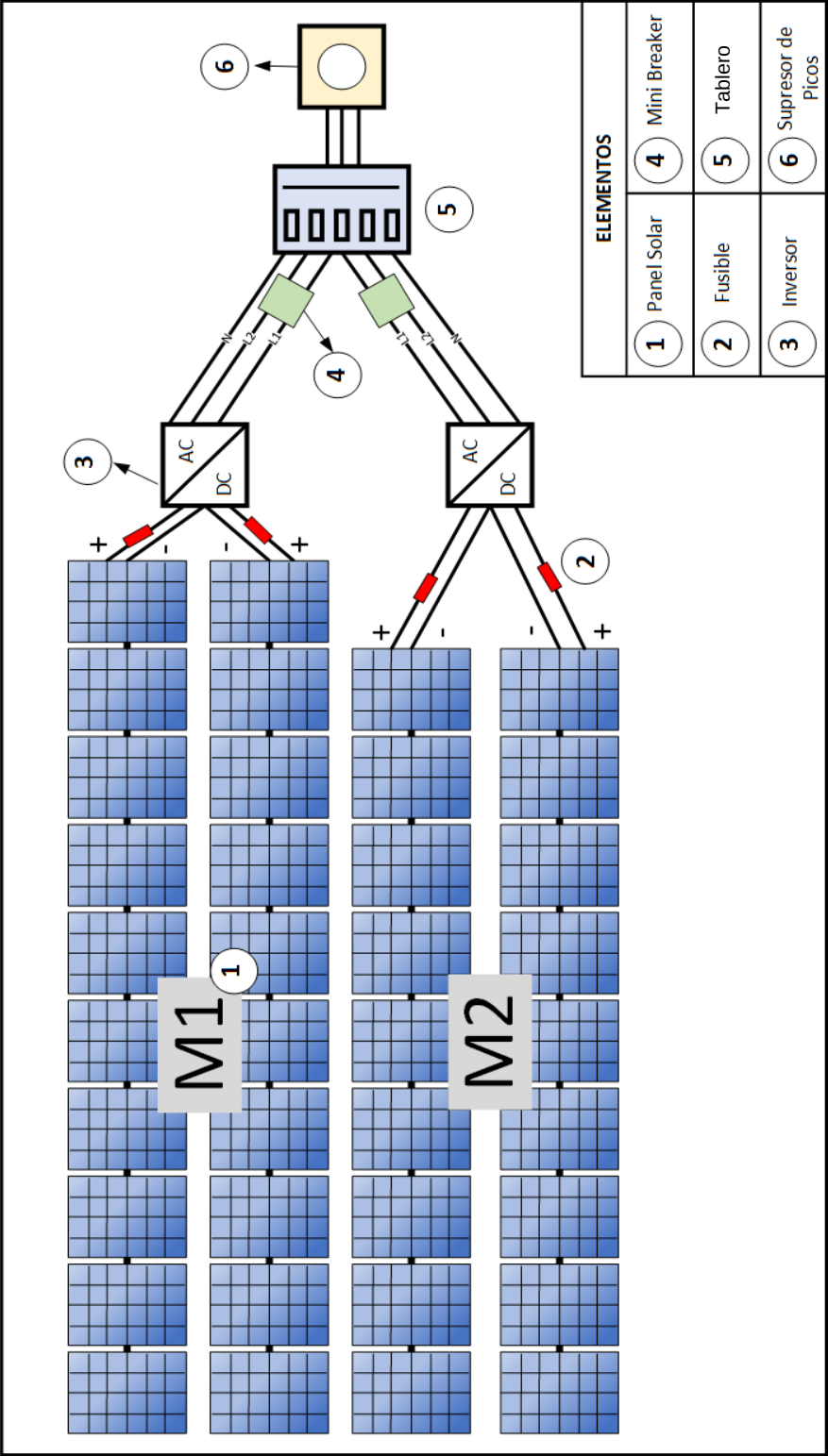


Fuente: elaboración propia.

4.1.8 Resumen Diseño del Sistema

El sistema fotovoltaico diseñado tendrá una producción estimada al año de 19,573,686Wh, energía producida por un conjunto de 38 paneles solares de 330W, divididos en dos grupos, el primero de 20 y el segundo de 18, cada grupo con su correspondiente inversor de 5 kW, debido a la importancia de la protección del sistema, se utilizarán distintos elementos que resguarden su integridad, siendo estos, fusibles con sus respectivos portafusibles conectados en cada línea de entrada de los inversores, mini breaker utilizado para proteger la parte de corriente alterna del sistema antes de que llegue al tablero y por ultimo un supresor de picos instalado en la salida del tablero, con el fin de proteger todos los equipos que estén conectados. Se utilizarán cables solares (indicados para intemperie), especial para el sistema y estructura de larga duración para soportar los paneles. El funcionamiento del sistema se muestra en la siguiente figura.

Figura 16. Diseño del Sistema



Fuente: elaboración propia.

4.2 Estudio Financiero

Para llegar a una decisión con respecto a los distintos puntos analizados para un proyecto, es necesario evaluar el impacto económico que estos tendrán, es importante hacer uso del estudio financiero dado que este se encarga de analizar detenidamente la viabilidad del proyecto y a través de este se decide si es conveniente su realización o no.

4.2.1 Proyección de la Inversión

La proyección de la inversión o proyección financiera permite determinar cuál es el nivel de gastos que puede soportar la empresa, qué monto es conveniente invertir para su desarrollo y cuándo el negocio en cuestión sería rentable si se cumple la expectativa de ahorro.

4.2.1.1 Inversión inicial

La inversión inicial que será requerida para la implementación del sistema está conformada por el valor de cada uno de los equipos que son necesarios, tomando en cuenta la cantidad de cada uno que se requiere. Los datos del valor de los equipos y mano de obra fueron obtenidos a través de una cotización, el monto total de la inversión requerida es presentada en la tabla 23.

Tabla 23. **Inversión Inicial del Proyecto**

COSTOS DE INVERSIÓN			
EQUIPO	CANT.	COSTO	TOTAL
Panel Solar de 330W	38	Q1,100.00	Q41,800.00
Inversor de 5kW	2	Q12,300.00	Q24,600.00
Cable solar clase 5	200	Q11.00	Q2,200.00
Cable THHN calibre 8	600	Q11.55	Q6,930.00
Estructura Triangle Duo	10	Q1,350.00	Q13,500.00
Fusible	4	Q16.90	Q67.60
Porta fusible	4	Q36.19	Q144.76
Supresor de Picos Schncider	1	Q800.00	Q800.00
Flipón 20 A	4	Q50.82	Q203.28
Mini Breaker	2	Q400.00	Q800.00
Mano de obra			Q35,000.00
TOTAL			Q126,045.64

Fuente: Empresa ERME.

4.2.1.2 Ahorro de consumo energético

El principal objetivo de la instalación de un sistema solar fotovoltaico dentro de la municipalidad de San Juan Ermita, es reducir el costo por facturación eléctrica que se tiene actualmente, el cual es de aproximadamente Q 38,678.18 correspondientes a un consumo estimado de 19,006 kWh al año. Dentro de este costo no se consideró el cargo fijo mensual por IVA y la tasa de alumbrado público que son cargados a la facturación mensualmente, estos cargos representan para la municipalidad un pago aproximado de Q 762.36 al año. El total de todos los montos dentro de la factura eléctrica representan un egreso aproximado de Q 39,440.54.

El sistema fotovoltaico que estaría instalado dentro de la municipalidad tendría una producción estimada de 19,200 kWh al año, dividido en los doce meses correspondientes de manera no uniforme, esto debido a que las condiciones climáticas no son las mismas todos los meses, afectando el rendimiento de producción de los paneles solares. Para el cálculo de producción anual se tomó en cuenta el número de paneles que conformarían el sistema, la potencia correspondiente y las horas solares pico que presenta el municipio.

Para el municipio de San Juan Ermita se cuenta con 1,560.9 horas solares pico, las cuales corresponden al número de horas en las que se obtiene una irradiancia de $1,000 \text{ W/m}^2$, factor principal para que el panel solar logre producir su máxima potencia, es decir alcance su potencia pico.

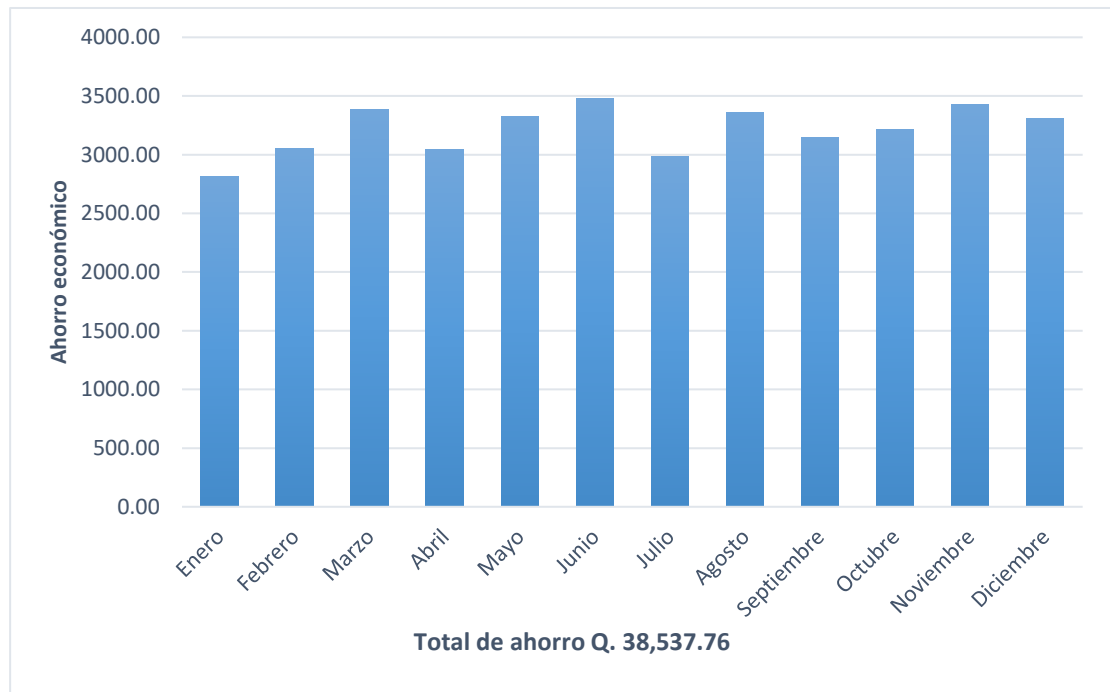
Tomando en cuenta los valores obtenidos de consumo energético de la municipalidad y la producción anual del sistema se calcula el ahorro obtenido en el año 1. Para fines del análisis se considera que el sistema iniciaría a funcionar a partir del primer mes del año 1, para el cual se obtiene un ahorro de 18,242 kWh que corresponde económicamente a un ahorro de Q 37,123.40 al final del primer año. Dado que el sistema fue diseñado para producir más de lo que la municipalidad requiere actualmente, al primer año se obtiene un excedente de 194 kWh que serán acumulados por la empresa de energía para la siguiente factura, hasta que estos sean consumidos. El dato de ahorro económico es calculado por la multiplicación del ahorro dado en kWh por el costo que tiene para la municipalidad el kWh, según la empresa Energuate, encargada del suministro de energía actualmente tiene un valor de Q 2.035051/kWh.

Tabla 24. **Ahorro Año 1**

AHORRO AÑO 1						
MES	CONSUMO (kWh)	PRODUCCIÓN (kWh)	DIFERENCIA (hWh)	ACUMULADO (kWh)	AHORRO (kWh)	AHORRO (Q)
Enero	1382	1400	18	18	1382	2812.44
Febrero	1569	1500	-69	0	1500	3052.58
Marzo	1665	1900	235	235	1665	3388.36
Abril	1497	1800	303	538	1497	3046.47
Mayo	1636	1700	64	602	1636	3329.34
Junio	1708	1600	-108	494	1708	3475.87
Julio	1465	1700	235	729	1465	2981.35
Agosto	1652	1700	48	777	1652	3361.90
Septiembre	1545	1600	55	832	1545	3144.15
Octubre	1578	1500	-78	754	1578	3211.31
Noviembre	1685	1400	-285	469	1685	3429.06
Diciembre	1624	1400	-224	245	1624	3304.92
TOTAL	19006	19200	194	245	18937	38537.76

Fuente: elaboración propia.

Figura 17. **Ahorro Año 1**



Fuente: elaboración propia.

Según lo calculado, la producción total del sistema tiene un valor de 19,573.68 kWh para un año, este dato fue calculado según el número de horas solares pico para el municipio, con un valor de 1,560.9 horas al año. Es importante considerar que estos valores son obtenidos a través de la utilización de software de simulación de sistemas fotovoltaicos, por lo cual el dato no es siempre exacto.

Para comprobar lo anteriormente calculado y para fines del análisis se hace uso del Atlas Solar Global brindado por el programa SWERA, que es formado por colaboraciones mundiales para proporcionar información sobre recursos de energías renovables para países de todo el mundo y es utilizado en Guatemala por el Ministerio de Energía y Minas para la creación del mapa de potencia solar. El atlas permite localizar la ubicación exacta del lugar que se desean obtener datos de energías renovables, para este caso el municipio de San Juan Ermita, el programa brinda datos como la radiación directa, global y difusa que presenta el municipio.

También cuenta con la opción de seleccionar el tipo de sistema fotovoltaico que será instalado, ya sea residencial, mediano o industrial, siendo en este caso un sistema de tamaño mediano, indicando el grado de azimut del sistema, el grado de inclinación que tendrán los paneles y la capacidad instalada del mismo.

Ingresando todos los datos correspondientes del sistema fotovoltaico en el programa se obtiene que al año se obtendría un promedio de potencia fotovoltaica de 19,200 kWh, al comparar el dato obtenido a través del programa con lo calculado anteriormente se obtiene una diferencia de 373.83 kWh, por lo tanto, se hará uso de la potencia fotovoltaica obtenida a través del ATLAS Solar Global, mostrado en el anexo 2 y 3.

En la tabla 25, se observa que en los meses febrero, junio, octubre, noviembre y diciembre el sistema no logra satisfacer el consumo de la municipalidad, por lo tanto la cantidad de kWh de diferencia si serán cargados en la factura correspondiente a cada mes, además del cargo fijo y tarifa de alumbrado público, debido a los beneficios del sistema fotovoltaico los meses en los que se produce más de lo requerido, el excedente puede ser utilizado por el usuario en la siguiente factura, por lo tanto debido a que en los meses de marzo a mayo el sistema acumuló energía, esa misma fue utilizada para cubrir lo faltante en los meses posteriores.

Tabla 25. **Ahorro año 1 al 15**

AÑO	ACUMULADO	AHORRO (kWh)	AHORRO (Q)
1	245	18937	38537.76
2	439	19006	38678.18
3	633	19006	38678.18
4	827	19006	38678.18
5	1021	19006	38678.18
6	1215	19006	38678.18
7	1409	19006	38678.18
8	1603	19006	38678.18
9	1797	19006	38678.18
10	1991	19006	38678.18
11	2185	19006	38678.18
12	2379	19006	38678.18
13	2573	19006	38678.18
14	2767	19006	38678.18
15	2961	19006	38678.18
TOTAL	2961	285021	580032.27

Fuente: elaboración propia.

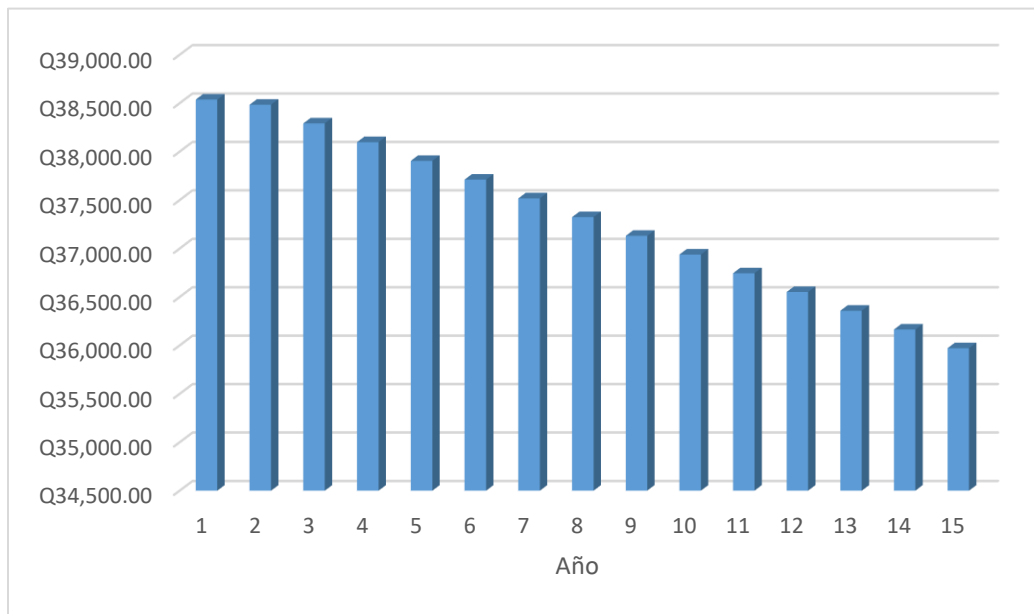
Debido a que el proyecto no es diseñado para percibir ingresos por la venta de la energía, estos serán tomados en referencia al ahorro que se obtiene durante cada año. Es importante tomar en cuenta al calcular los ingresos que el sistema no tendrá la misma eficiencia en el año 1 que en el año 15, por lo tanto, según datos de las fichas técnicas de los equipos se considera una degradación en la producción del 0.5% cada año, dando como resultado los ingresos presentados en la tabla 26.

Tabla 26. **Ingresos Netos**

AÑO	AHORRO BRUTO (kWh)	% DEGRADACIÓN	AHORRO NETO (kWh)	TOTAL
1	18937	0.0%	18937	Q38,537.76
2	19006	0.5%	18911	Q38,484.79
3	19006	1.0%	18816	Q38,291.40
4	19006	1.5%	18721	Q38,098.01
5	19006	2.0%	18626	Q37,904.62
6	19006	2.5%	18531	Q37,711.22
7	19006	3.0%	18436	Q37,517.83
8	19006	3.5%	18341	Q37,324.44
9	19006	4.0%	18246	Q37,131.05
10	19006	4.5%	18151	Q36,937.66
11	19006	5.0%	18056	Q36,744.27
12	19006	5.5%	17961	Q36,550.88
13	19006	6.0%	17866	Q36,357.49
14	19006	6.5%	17771	Q36,164.10
15	19006	7.0%	17676	Q35,970.71

Fuente: elaboración propia.

Figura 18. Ahorros Netos



Fuente: elaboración propia.

4.2.1.3 Costos de mantenimiento

Dentro de los costos de mantenimiento únicamente se toma en consideración el valor de adquisición de equipos que serán empleados para la limpieza de los módulos fotovoltaicos, tales como: paños o esponjas tomando en cuenta que este tipo de sistemas conectados a la red no requieren del uso de baterías el costo por mantenimiento de los equipos es considerado muy bajo o cero, ya que los elementos que son utilizados solo deben ser limpiados cada cierto tiempo, según lo considere conveniente el propietario, por lo general se recomienda una vez al mes.

La adquisición de estos insumos para limpieza se hará con una frecuencia de cada 3 meses, es decir que durante el año se harán cuatro compras correspondientes a los insumos, esto considerado el tiempo de vida útil correspondiente a los utensilios que son requeridos para la actividad.

El costo de estos insumos se calcula en Q 200.00, por lo tanto, al final de un año se tendrá un gasto de Q 800.00 por la compra de insumos de limpieza para el sistema. Dentro de los costos de mantenimiento no se toma en cuenta el costo de un encargado de limpieza o encargado de funcionamiento, ya que la municipalidad cuenta con disponibilidad de recurso humano al que puede asignársele dicha actividad, según el manual de organización, puestos y funciones, el colaborador ideal para el mantenimiento del sistema es el electricista de la unidad de servicios generales, el cual tiene como función dirigir organizadamente los trabajos de electricidad que se requieran en los distintos bienes de la municipalidad y recibir colaboración del empleado con el cargo de conserje correspondiente a la misma unidad de servicios generales.

4.2.1.4 Criterios de evaluación

La municipalidad es una entidad autónoma de derecho público, cuenta con capital propio que fue obtenido por el desarrollo de sus funciones y por presupuesto general de la nación. Para determinar la tasa de descuento o rendimiento que es aceptada para el proyecto, es importante considerar que cuando se cuenta con una inversión a través de capital propio la tasa de rendimiento puede compararse con la tasa que se obtendría por la inversión del dinero en un proyecto de diferente carácter, pero de mismo nivel de riesgo.

Tomando en cuenta que dentro de la unidad financiera de la municipalidad no se realizan análisis económicos para sus proyectos y que las municipalidades pueden obtener préstamos provenientes del Instituto de Fomento Municipal (INFOM), será tomada como base la tasa de interés que aplica el instituto cuando brinda préstamos a las municipalidades, especificado en el Reglamento para la Asistencia Financiera a las Municipalidades de la República de Guatemala con

un valor del 10%. Debido a que la ejecución del proyecto no genera ninguna fuente de ingreso económica por la venta de la energía producida ya que esta será utilizada para consumo únicamente del edificio municipal, según lo estipulado para el usuario autoprodutor con excedente de energía, este no recibirá ninguna remuneración por los excedentes que presente, por lo tanto, no se toma en cuenta el Impuesto Sobre la Renta (ISR), porque no se generan ganancias en la ejecución del proyecto.

4.2.1.5 Depreciaciones del sistema

Anualmente todos los activos adquiridos para la implementación del sistema deben ser depreciados antes de calcular el impuesto correspondiente, según sea necesario para el análisis. El estimado de la depreciación se obtiene según el decreto 10-2012 del Impuesto Sobre la Renta (ISR) de Guatemala, en el cual según el artículo 28 se define un 20% para instalaciones no adheridas a los inmuebles, mobiliario y equipo de oficina.

Tabla 27. Depreciación de Activos

EQUIPO	COSTO
Panel solar	Q41,800.00
Inversor	Q24,600.00
Estructura	Q13,500.00
TOTAL	Q79,900.00
% de Depreciación	20%
Total depreciación	Q15,980.00

Fuente: elaboración propia.

Al calcular el total de los activos se obtiene un valor de Q 79,900.00, por un porcentaje correspondiente del 20% se determina que el total de depreciación anual es de Q 15,980.00.

4.2.1.6 Flujo de fondos proyectado

En la tabla 28 se muestra la proyección de flujo de fondos del capital propio de la Municipalidad de San Juan Ermita, el cual será utilizado para la ejecución del proyecto. En el se muestra la información que corresponde a los ingresos que para efectos del análisis financiero será tomado igual a los ahorros que se obtendrían con la implementación del sistema y los egresos correspondientes durante los primeros quince años, esta cantidad de tiempo fue tomada debido al promedio de vida útil que tienen los equipos y materiales requeridos por el sistema.

La tasa de rendimiento mínima aceptada por la municipalidad es del 10%, según el porcentaje de interés que utiliza INFOM para los préstamos que son brindados a las distintas municipalidades.

4.2.1.7 Valor actual neto (VAN)

El Valor Actual Neto del flujo de fondos proyectado para el sistema solar fotovoltaico en la Municipalidad de San Juan Ermita, estimado para quince años, tomando la tasa de rendimiento mínima requerida por la Municipalidad, la cual corresponde al mismo valor del Costo de Capital Promedio Ponderado del 10%, por tener una sola fuente de financiamiento, refleja un valor positivo de Q 154,166.12, lo que demuestra que al ser mayor que cero el proyecto proporciona esa cantidad remanente sobre lo exigido. El valor del VAN fue obtenido por la opción de la hoja de cálculo que permite realizar su cálculo de forma automática, únicamente al ingresar la tasa de rendimiento que se espera, los resultados del flujo de fondo de cada año y la inversión Inicial.

Tabla 28. Flujo de Fondos Año 0-15

DESCRIPCIÓN	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6
Ingresos		Q38,537.76	Q38,484.79	Q38,291.40	Q38,098.01	Q37,904.62	Q37,711.22
(-) Costos de mantenimiento		Q800.00	Q800.00	Q800.00	Q800.00	Q800.00	Q800.00
(-) Depreciaciones		Q15,980.00	Q15,980.00	Q15,980.00	Q15,980.00	Q15,980.00	
(=) Utilidad antes de impuesto		Q21,757.76	Q21,704.79	Q21,511.40	Q21,318.01	Q21,124.62	Q36,911.22
(-) Intereses		Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00
(=) Utilidad despues de impuesto		Q21,757.76	Q21,704.79	Q21,511.40	Q21,318.01	Q21,124.62	Q36,911.22
(-) Impuestos		Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00
(=) Utilidad Neta		Q21,757.76	Q21,704.79	Q21,511.40	Q21,318.01	Q21,124.62	Q36,911.22
(+) Depreciaciones		Q15,980.00	Q15,980.00	Q15,980.00	Q15,980.00	Q15,980.00	
(-) Inversión Inicial	Q126,045.64						
(=) Flujos de Fondos Anual	-Q126,045.64	Q37,737.76	Q37,684.79	Q37,491.40	Q37,298.01	Q37,104.62	Q36,911.22

AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10	AÑO 11	AÑO 12	AÑO 13	AÑO 14	AÑO 15
Q37,517.83	Q37,324.44	Q37,131.05	Q36,937.66	Q36,744.27	Q36,550.88	Q36,357.49	Q36,164.10	Q35,970.71
Q800.00	Q800.00	Q800.00	Q800.00	Q800.00	Q800.00	Q800.00	Q800.00	Q800.00
Q36,717.83	Q36,524.44	Q36,331.05	Q36,137.66	Q35,944.27	Q35,750.88	Q35,557.49	Q35,364.10	Q35,170.71
Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00
Q36,717.83	Q36,524.44	Q36,331.05	Q36,137.66	Q35,944.27	Q35,750.88	Q35,557.49	Q35,364.10	Q35,170.71
Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00
Q36,717.83	Q36,524.44	Q36,331.05	Q36,137.66	Q35,944.27	Q35,750.88	Q35,557.49	Q35,364.10	Q35,170.71
Q36,717.83	Q36,524.44	Q36,331.05	Q36,137.66	Q35,944.27	Q35,750.88	Q35,557.49	Q35,364.10	Q35,170.71
Tasa de descuento	10.00%							
VAN	Q154,166.12							
TIR	29%							

Fuente: elaboración propia

4.2.1.8 Tasa Interna de Retorno (TIR)

Al evaluar los flujos de efectivo de cada año y la inversión inicial para un período de quince años, se obtiene una Tasa Interna de Retorno (TIR) con un valor del 29%, por lo que al igual que el análisis VAN muestra que si es viable la ejecución del proyecto. El valor de la TIR, fue calculado a través de la herramienta de la hoja de cálculo Excel. En la tabla 29 se muestra que a partir del año cuatro el valor de la TIR se vuelve positiva, demostrando que entre el año 3 y 4 se recupera la inversión.

Tabla 29. Tasa Interna de Retorno

Periodo	Flujo de Fondos	TIR
0	-Q126,045.64	
1	Q37,737.76	-70.1%
2	Q37,684.79	-28.3%
3	Q37,491.40	-5.3%
4	Q37,298.01	7.4%

Fuente: elaboración propia.

4.2.1.9 Período de recuperación (PR)

El período de recuperación determina el tiempo estimado, generalmente en años en que los ahorros o ingresos económicos recuperan la inversión inicial a una tasa de rendimiento establecida. Dentro del cálculo de la Tasa Interna de Retorno se mostró que entre el año 3 y el año 4 se inicia a recuperar la inversión, lo cual es calculado con exactitud a través de la herramienta del período de recuperación.

De la tabla 30 se observa que en el año 3 se requiere Q15,892.91 del cual al sumar el año 4 se cubre más de lo requerido, por lo tanto para determinar el

período de recuperación se toma el número de período anterior a la recuperación, en este caso 3, luego se divide el costo no recuperado al principio del año 3 que corresponde a Q15,892.91 entre el flujo del año siguiente con un valor de Q36,331.05, dando como resultado un tiempo de recuperación de 3.4 años, correspondiente a 40 meses.

$$\begin{aligned}
 PR &= 3 \text{ años} + \frac{Q \ 15,892.91}{Q \ 36,331.05} \\
 &= 3 \text{ años} + 0.3 \\
 &= 3.4 \text{ años} \approx 40 \text{ meses}
 \end{aligned}$$

Tabla 30. **Período de Recuperación**

AÑO	FLUJO	FLUJO ACUMULADO
0	-Q126,045.64	-Q126,045.64
1	Q36,911.22	-Q89,134.42
2	Q36,717.83	-Q52,416.58
3	Q36,524.44	-Q15,892.14
4	Q36,331.05	Q20,438.91

Fuente: elaboración propia.

4.3 Análisis de resultados de la evaluación financiera

De la tabla 31 puede observarse que la proyección de flujo de fondos para capital propio por un período de quince años, a una tasa de rendimiento del 10%, se obtiene un valor actual neto de Q 154,166.12 a una Tasa Interna de Rendimiento (TIR) del 29%.

En un período de recuperación de la inversión de 3.4 años. El análisis de los resultados de la evaluación financiera de la opción de inversión del sistema solar fotovoltaico para la Municipalidad de San Juan Ermita en el departamento de Chiquimula, se presenta en la siguiente tabla el resumen:

Tabla 31. Resumen de Resultados

ELEMENTOS	RESULTADO
Inversión Inicial	Q126,045.64
Capital Propio	Q126,045.64
Tasa de Rendimiento	10%
Valor Actual Neto (VAN)	Q154,166.12
Tasa Interna de Retorno (TIR)	29%
Período de Recuperación	3.4 años

Fuente: elaboración propia.

Según lo mostrado en la tabla anterior, la implementación del sistema fotovoltaico para el edificio municipal de San Juan Ermita, permite a la entidad el ahorro económico a través de la reducción del cobro por facturación eléctrica, además de contribuir a la disminución de la contaminación al hacer uso de fuentes renovables para generar energía. La inversión sería recuperada en un período aproximado de 40 meses.

El sistema está diseñado con un excedente de energía que puede ser utilizado en los siguientes períodos o la implementación de nuevos equipos de ventilación para las distintas áreas de la municipalidad.

5. PROGRAMA DE MINIMIZACIÓN DE CONSUMO ENERGÉTICO

5.1 Plan de concientización energética y ambiental

En los últimos años los seres humanos han hecho uso intensivo e inadecuado de los servicios y recursos naturales que han provocado un grave deterioro en el ambiente con el desarrollo de fenómenos que causan grandes daños para el ser humano como el cambio climático. Con la implementación de un Plan de Concientización Energética y Ambiental para la municipalidad de San Juan Ermita, se desarrollará con el fin de proponer soluciones y alternativas a hábitos de consumo excesivos y desperdicios de energía para poder contribuir con el aumento de la disponibilidad del recurso energético y minimizar el consumo de combustibles fósiles en el mundo.

El Plan de Concientización será llevado a cabo a través del desarrollo de capacitaciones para los doscientos colaboradores de la municipalidad en un período de cuatro meses, donde se dividirán los colaboradores en cuatro grupos, llevándose a cabo un día a la semana. Se desarrollarán temas de importancia relacionados a la concientización energética y ambiental, estos serán brindados de la manera más clara y sencilla para que puedan ser captados y puestos en práctica de la mejor manera posible. También se instalarán afiches elaborados de materiales amigables al medio ambiente donde se fomente el uso y la puesta en práctica de la información impartida en las capacitaciones.

5.1.1 Capacitación

Esta juega un papel importante en toda institución, ya que esta permite mejorar los conocimientos, habilidades, conductas o actitudes del personal, por ello es una de las inversiones más rentables que puede realizar una empresa/institución. Para fomentar la concientización energética y ambiental en la Municipalidad de San Juan Ermita, se planifica a través de un diagrama de Gantt (ver apéndice 5), el desarrollo de una capacitación que brinde a los colaboradores el conocimiento suficiente para cambiar ciertos hábitos que perjudican al medio ambiente y aumentan la cantidad de energía consumida en sus trabajos y hogares. La capacitación estará dividida en cuatro bloques.

- Bloque 1: Conceptos sobre concientización energética y ambiental
- Bloque 2: Beneficios de la concientización energética y ambiental
- Bloque 3: Acciones de ahorro
- Bloque 4: Resultados alcanzados

Los colaboradores estarán divididos en cuatro grupos de cincuenta personas con el fin de que la información sea transmitida y captada de la mejor manera posible. Se trabajará un bloque por mes, tomando un día a la semana para capacitar a cada grupo. Los bloques estarán conformados según lo mostrado en la tabla 32.

Tabla 32. Bloques para capacitación

Bloque 1: Conceptos sobre concientización energética y ambiental	Bloque 2: Beneficios de la concientización energética y ambiental
• Energía • Fuentes de Energía • Tipos de energías renovables • Tipos de energías no renovables • Medio ambiente • Contaminaciones del medio ambiente • Tipos de contaminación • Principales problemas por el mal uso de los recursos energéticos • Concientización Energética • Concientización Ambiental • Reutilizar • Reciclar • Consumo energético de los equipos más utilizados	• Reducción de combustibles fósiles • Reducción de contaminación • Reducción del cambio climático • Reducción de facturación por energía eléctrica • Prolongación de vida útil de los equipos • Sostenibilidad de la institución • Fomento de estilos de vida saludables
Bloque 3: Acciones de ahorro	Bloque 4: Resultados Alcanzados
• Utilización de iluminación y ventilación natural • Utilización de equipo ahorrador y amigable al medio ambiente • Uso de energía renovable • Activar funciones de ahorro de energía en equipos • Apagar equipos sin uso. • Desconexión de equipos al finalizar la jornada y fines de semana • Apagar luces innecesarias • Desconectar cargadores de teléfonos y otros equipos • Ahorrar el consumo de agua • Hacer uso de hojas cuando sea estrictamente necesario • Evitar el uso de plásticos	• Comparación de factura por energía eléctrica • Evaluación de conocimientos • Visualización de reducción en el uso de plásticos • Reducción del uso de material reutilizable (papel)

Fuente: elaboración propia.

5.1.2 Carteles

Los carteles son una técnica de difusión de la información que permite llegar a una gran cantidad de personas y no requiere de gran inversión. Estos permiten informar con una mezcla de imágenes y textos, colocados de forma que logren transmitir un mensaje bien definido a las personas.

Por ello para fortalecer todo el conocimiento adquirido durante la capacitación se promueve el uso de afiches que a través de ilustraciones y pequeños mensajes le recuerden al colaborador ciertas acciones que deben ser realizadas para poder alcanzar algunos de los beneficios que se logran con la concientización energética y ambiental. Dichos carteles serán colocados en lugares estratégicos de la municipalidad, como: baños, oficinas y áreas comunes para lograr que sean vistos por la mayor cantidad de personas posibles, se hará uso de cuatro diferentes estilos de afiches mostrados en la figura 18.

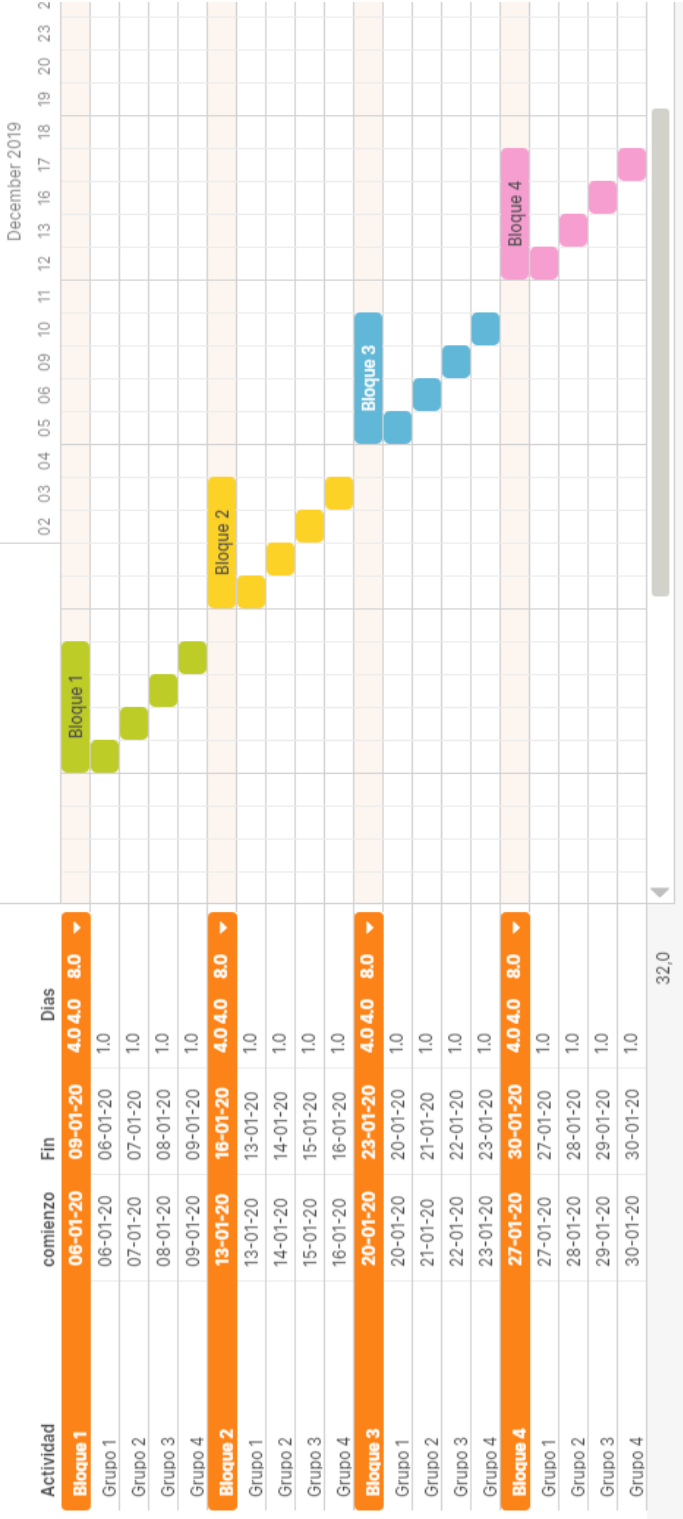
Con el plan de concientización energético y ambiental se espera contribuir a que cada uno de los colaboradores de la municipalidad tengan los conocimientos necesarios para analizar qué acciones son beneficiosas y cuales contribuyen a que exista un alto consumo de energía eléctrica dentro del edificio. Tomando en cuenta todas las consideraciones expuestas anteriormente se planifica que el plan sea desarrollado en un tiempo estimado de cuatro meses, en los cuales se desarrollen los temas planteados para las capacitaciones, de la manera indicada y se haga la implementación de los afiches propuestos. Para representar de mejor manera la planificación, se muestra la figura 19.

Figura 19. Diseño Afiches



Fuente: elaboración propia.

Figura 20. Diagrama de Gantt, plan de concientización



Fuente: elaboración propia.

5.2 Alternativas de tecnologías para el futuro

5.2.1 Alumbrado público

El alumbrado público solar es una de las soluciones más eficientes para las ciudades del futuro, la inversión en alumbrado público solar brinda como resultado una mayor eficiencia energética, así como un ahorro en los costos a futuro. Invertir en tecnología solar puede ser el mejor movimiento que un gobierno puede hacer para mejorar las condiciones de un lugar.

Para el municipio de San Juan Ermita se recomienda luminaria solar, con un sistema de operación basado en la generación eléctrica por medio de paneles fotovoltaicos, que será almacenada en un banco de baterías y usar esa energía durante la noche, la lámpara cuenta con encendido automático. Además de las siguientes características:

Tabla 33. Características Iluminación Pública

CARACTERÍSTICAS URBAN 100W	
ELEMENTO	DATO
Potencia de lámpara	100 W
Lúmenes de lámpara	12,000
Potencia del panel	520 W
Tipo de celda del panel	Policristalina
Capacidad centro de carga	4,140 Wh
Número de baterías	3
Autonomía centro de carga	2.5 días
Controlador de corriente máx.	15 A
La luminaria cuenta con estructura y plataforma de acero al carbón para sostener el arreglo fotovoltaico, brazo recto elaborado de acero que sostiene la lámpara, gabinete de lámina gris calibre 18 en el que se almacenan las baterías y su poste cónico circular para sostener toda la armazón.	

Fuente: Manual del fabricante y elaboración propia.

5.2.2 Alumbrado de parques

El alumbrado público se conoce como el servicio de iluminación que se tiene en las vías públicas, este servicio también incluye la iluminación de lugares públicos como parques o espacios recreativos. Dicho servicio es responsabilidad de la municipalidad, aunque su pago es compromiso de toda la comunidad.

Durante mucho tiempo se utilizó como fuente de iluminación lámparas de vapor de sodio de alta presión, sin embargo, en la actualidad han sido sustituidas por lámparas LED, las cuales proporcionan un mayor ahorro económico y energético. La utilización de lámparas LED brinda una mayor duración y al ser suministradas por medio de un módulo fotovoltaico se logra un porcentaje mayor de ahorro, este tipo de iluminación no necesita de un mantenimiento costoso, consiguiendo así, una mejor iluminación con menos potencia y contribuir al medio ambiente.

Tabla 34. Características Luminaria para Parques

CARACTERÍSTICAS LUMINARIA PARA PARQUES	
ELEMENTO	DATO
Módulo fotovoltaico	1
Capacidad de batería	7 horas
Voltaje de batería	12 V
Regulador de carga	1
Potencia lámpara	1. W
Voltaje de lámpara	12 V
La luminaria tiene una altura útil de 3 metros, incluye su poste galvanizado el cual permite que no se requiera de una instalación especializada por su composición solo debe anclarse sobre una superficies de cemento.	



Fuente: Manual del fabricante y elaboración propia.

5.2.3 Equipos de la municipalidad

Unas de las principales causas de la contaminación ambiental son: la emisión de dióxido de carbono, nitrógeno, azufre y níquel a la atmósfera, estos gases incrementan el efecto invernadero natural de la tierra provocando aumento en la temperatura, fuertes impactos en la flora y fauna, contaminación de suelos e hídrica.

La adecuada elección de lámparas es importante para ser amigables con el medio ambiente, por lo tanto, una de las tantas opciones que se tiene en el mercado es la iluminación LED, brindando una vida útil larga y sin contener mercurio. El consumo de una lámpara incandescente supera a la LED por un 80%, considerando el precio que es similar y bastante accesible para ambas, se debe considerar cual brinda una mayor eficiencia energética, por lo tanto, es importante que dentro de la municipalidad se hagan cambios de iluminación convencional por iluminación LED que en conjunto con la implementación del sistema solar fotovoltaico brindarán un gran ahorro económico y sobre todo se será amigable al medio ambiente.

Figura 21. Iluminación LED



Fuente: LedBox Blog, s.f., Las doce grandes ventajas de la iluminación LED.

CONCLUSIONES

1. El municipio de San Juan Ermita presenta una irradiación por día de 5.24 kWh/m² y una temperatura promedio de 25°C, condiciones óptimas para la implementación del sistema fotovoltaico.
2. El sistema fue diseñado en base a el historial de consumo eléctrico para el edificio municipal, del que se obtiene un consumo promedio de 1,583.83 kWh, dato importante para la toma de decisión en el dimensionamiento de los equipos.
3. El sistema fotovoltaico conformado por 38 paneles solares de 330 W cada uno, logran un potencial energético de 19,200 kWh al año, esta producción consigue cubrir la demanda actual de la municipalidad de 19,006 kWh anuales, obteniendo un excedente de 194 kWh.
4. La implementación del sistema fotovoltaico incluye una serie de elementos los cuales tienen un valor en conjunto de Q 126,045.64, a una tasa de rendimiento del 10%, un valor de depreciación para los activos de Q15,980.00 al año y un costo por mantenimiento de Q 800.00 anuales, se determina un valor actual neto de Q 154,166.12 a una tasa interna de retorno del 29%, con un período de recuperación de la inversión de 3 años con 4 meses.
5. Para contribuir a la disminución del consumo energético dentro de la Municipalidad de San Juan Ermita, se estableció un plan de concientización energética y ambiental, en el que se propone el desarrollo de capacitaciones e implementación de carteles en un período de cuatro meses.

RECOMENDACIONES

1. Se deben cambiar los equipos de iluminación convencionales utilizados dentro y fuera de la municipalidad por luminarias con mayor eficiencia energética que proporcionen un ahorro energético y económico, además de ser amigables al medio ambiente.
2. Considerando que la municipalidad se hace cargo económicamente de la facturación eléctrica de otras áreas como el vivero municipal, parques y escuelas, se evalúe la oportunidad de implementar una planta solar fotovoltaica pueda ser utilizada para abastecer los requerimientos energéticos de los distintos lugares.
3. La municipalidad debe contar con fondos propios para financiar los proyectos relacionados con producción de energía con fuente solar, para que el proyecto sea altamente rentable y el tiempo de recuperación de la inversión sea menor.
4. La municipalidad de San Juan Ermita debe brindar capacitaciones constantemente a su personal sobre la importancia del ahorro energético en el trabajo y en los hogares.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Baca Urbina, G. (2010). *Evaluación de proyectos* (6ª. ed.). México: McGraw Hill Interamericana S.A.

Beneficios de un medidor bidireccional. (s.f.). *En Calefacción Solar [Pág. Web]*. Recuperado de <http://calefaccion-solar.com/beneficios-de-un-medidor-bidireccional.html>

Blasco, L. (17 de octubre de 2014). Elección del Regulador. *En CalculationSolar [Blog]*. Recuperado de <http://calculationsolar.com/blog/>

Carcoma Rubio, G., Díaz Corcobado, T. (2010). *Electrónica aplicada*.

España: McGraw-Hill Interamericana de España S.A.

Cedar Lake Ventures, Inc. (s.f.). Temperatura promedio de San Juan Ermita, Chiquimula. *En Weather Spark [Pág. Web]*. Recuperado de <https://es.weatherspark.com/y/12290/Clima-promedio-en-San-Juan-Ermita-Guatemala-durante-todo-el-a%C3%B1o>



Collado, E. (2009). *Energía Solar Fotovoltaica, Competitividad y Evaluación Económica, Comparativa y Modelos* (Tesis de doctorado). Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, Universidad Nacional de Educación a Distancia, España.

Datos generales de San Juan Ermita. (s.f.). *En Municipalidad de San Juan Ermita* [Pág. Web.]. Recuperado de http://www.chiquimulaonline.com/datosgenerales/san_juan_ermita.htm

Edison, T. (10 de septiembre de 2019). *Latest Tier 1 Solar Panels List 2019 (Q1, Q2, Q3 & Q4)*. En Solar Review [Pág. Web.]. Recuperado de <https://review.solar/latest-tier-1-solar-panels-list-2019/>

Energía Solar en Guatemala. (2018). *En Ministerio de Energía y Minas* [Pág. Web.]. Recuperado de <https://www.mem.gob.gt/wpcontent/uploads/2018/11/Energ%c3%ad a-Solar-en-Guatemala.pdf>

Entidad. (s.f.). *En Municipalidad de San Juan Ermita* [Pág. Web.]. Recuperado de <http://www.munisanjuanermita.com/p/entidad.html>

Esteban Santos, S., & Navarro Delgado, R. (2010). *Química general* (5ª. ed., Vol. I.). España: Editorial UNED.



Fernández Ferichola, J. (s.f.). *Caracterización de módulos fotovoltaicos con dispositivos portátil*. Universidad Carlos III de Madrid. Recuperado de https://earchivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/6037/PFC_Julio_Fernandez_Ferichola.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Fleitman, J. (2000). *Negocios Exitosos: cómo empezar, administrar y operar eficientemente un negocio*. México: McGraw-Hill Interamericana

Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias de la ciudad de México. (s.f.). *Sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica: diseño y dimensionamiento*. Recuperado de https://www2.ineel.mx/proyectofotovoltaico/pdf/6_DISENO_Y_DIMENSIONAMIENTO.pdf

Kotler, P. & Armstrong, G. (2013). *Fundamentos de Marketing (11ª. ed.)*. México: Pearson Education.

Las doce grandes ventajas de la iluminación LED. (s.f.). *En LedBox [Blog]*. Recuperado de <https://blog.ledbox.es/noticias-2/12-ventajas-iluminacion-led>



Mapa Chiquimula, Guatemala. (s.f.). *En Mapa Owje [Pág. Web].*

Recuperado de <https://mapas.owje.com/3907/chiquimula.html>

Ministerio de Finanzas Públicas, Dirección Técnica del Presupuesto. (2018). *Manual de clasificaciones presupuestarias para el sector público de Guatemala (6ª. ed.)*. Guatemala. Recuperado de https://www.minfin.gob.gt/images/downloads/leyes_manuales/manual_a_les_dtp

[/manual%20secpub%20220318.pdf](#)

Palacio Municipal de San Juan Ermita. (2017). *En Municipalidad de San Juan Ermita Chiquimula, Guatemala [Pág. Web]*. Recuperado de https://www.munisanjuanermita.com/2017/08/palacio-municipal-de-san-juan-ermita_22.html

Pérez, J. A. (2014). *Análisis de Viabilidad Financiera de inversión en Energía de fuente solar fotovoltaica en el departamento de Jutiapa de la República de Guatemala* (Tesis de Maestría). Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Económicas, Guatemala. Recuperado de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/03/03_4917.pdf



Perpiñán Lamigueiro, Ó., Colmenar Santos, A., & Castro Gil, M. A. (2012). *Diseño de sistemas fotovoltaicos*. España: Promotora General de Estudios, S.A. Recuperado de https://www.soltuyo.com/libros/esf_imgr-051tco-4.pdf

Planas, O. (2009). Energía Solar Fotovoltaica. *En Energía solar [Pág. Web.]*. Recuperado de <https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica>

Ramos Florián, I. I. (2007). *Estudio jurídico del ente operador del mercado mayorista de electricidad* (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Jurídicas y Sociales, Guatemala. Recuperado de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/04/04_6599.pdf

Sapag Chain, N., & Sapag Chain, R. (2008). *Preparación y Evaluación de Proyectos* (5ª. ed.). México: McGraw-Hill Interamericana S.A.

Tipos de paneles solares: energía solar para principiantes. (s.f.). *En ENDEF Solar Solutions [Pág. Web.]*. Recuperado de <https://endef.com/tipos-de-paneles-solares/>



Triangle Duo. (s.f). *En Proinso PV Rack [Pág. Web.]*. Recuperado de <http://www.proinsopvrack.in/wp-content/uploads/2018/06/Proinso-PV-Rack-Triangle-Duo-brochure.pdf>

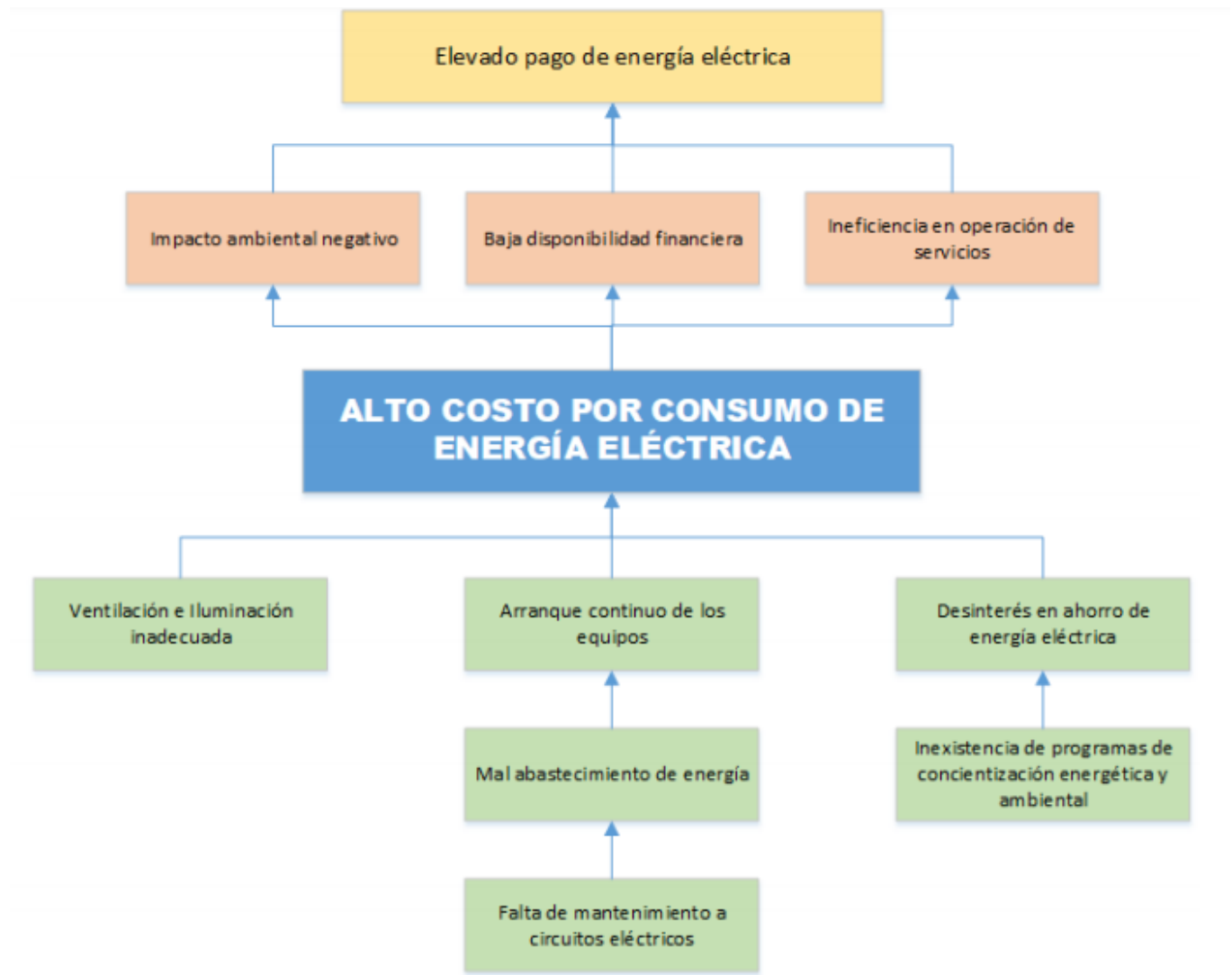
Universidad de Jaén. (2005). Componentes de los sistemas fotovoltaicos. *En Cursolar [Pág. Web.]*. Recuperado de <http://www.ujaen.es/investiga/solar/07cursosolar/index.htm>

Váquiro C., J. D. (2010). Período de recuperación de la inversión. *En Pymes Futuro [Pág. Web.]*. Recuperado de <https://www.pymesfuturo.com/pri.htm>



APÉNDICE

Apéndice 1. Árbol de Problemas



ANEXOS

Anexo1. Factura de Energía Eléctrica

[illegible]

Fuente: ENERGUATE

Anexo 2. Formulario para Usuario Autoprodutor

FORMULARIO PARA QUE EL USUARIO AUTOPRODUCTOR CON EXCEDENTES DE ENERGÍA INFORME AL DISTRIBUIDOR SOBRE LAS INSTALACIONES DE GENERACIÓN DENTRO DE SUS

INSTALACIONES

ESPACIO PARA SELLO DE EMPRESA CON FECHA
DE RECEPCIÓN DE LA SOLICITUD

1. Datos generales del usuario:

Nombre del usuario o representante legal: _____

Razón social de la entidad: _____

Dirección: _____

Municipio: _____ Departamento: _____

Teléfono: _____ Correo electrónico: _____

Número de identificación del usuario ante el Distribuidor:

EEGSA (correlativo): _____

DEOCSA (NIS): _____

DEORSA (NIS): _____

EEM: _____

2. Datos generales del proyecto:

2.1 Fuente de energía renovable (marque la(s) que corresponda(n):

☐ Biomasa ☐ Eólica ☐ Geotérmica

☐ Hidráulica ☐ Solar

2.2 Especificaciones técnicas:

Número de unidades generadoras _____ Potencia total instalada _____ kW

2.3 Medios de protección, control y desconexión automática: ☐ Si ☐ No

Describir las características: _____

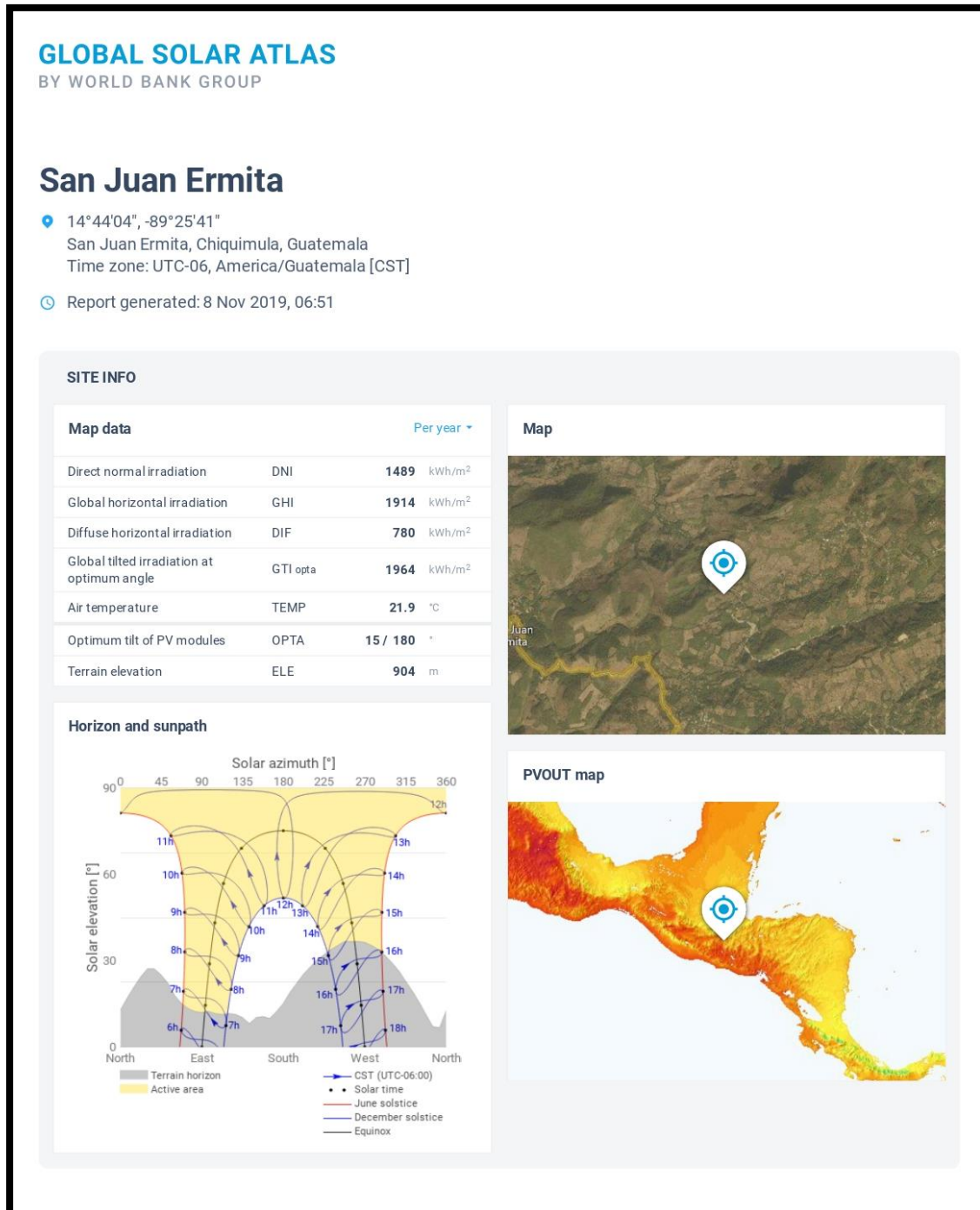
Manifiesto que NO deseo participar como vendedor de energía eléctrica y solicito realizar la inspección técnica correspondiente y el suministro e instalación del medidor bidireccional respectivo. (En el caso de Usuarios regulados, el suministro e instalación del medidor respectivo lo cubrirá el Distribuidor, mientras que los Grandes Usuarios son responsables de su sistema de medición)

Lugar y Fecha: _____ día _____ mes _____ año _____

DPI (CUI) _____ Firma: _____

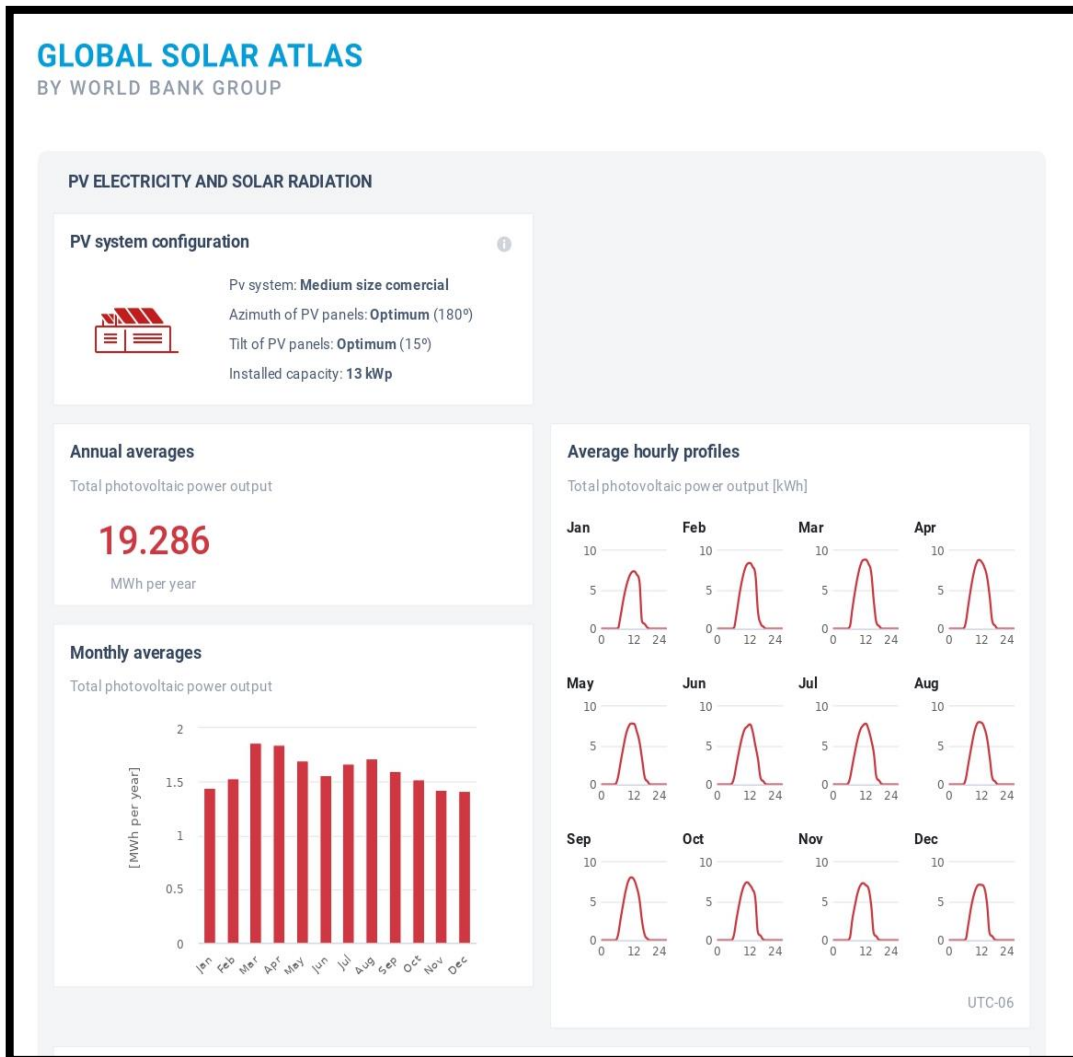
Fuente: ENERGUATE

Anexo 3. Resultados Global Solar Atlas (SWERA)



Fuente: SWERA

Anexo 4. Continuación Resultados Global Solar Atlas (SWERA)



Fuente: SWERA

Anexo 5. Guía para Autoprodutores (1)

Guía para el Interesado en constituirse en Usuario Autoprodutor con Excedentes de Energía –UAEE-

Contenido de este documento:

1. Conceptos importantes.
2. Guía para completar el formulario de UAEE.

1. Conceptos importantes.

¿Quién es Usuario Autoprodutor con Excedentes de Energía?	<u>Usuario Autoprodutor con Excedentes de Energía (UAEE)</u> : Es el usuario del sistema de distribución que inyecta energía eléctrica a dicho sistema, producida por generación con fuentes de energía renovable, ubicada dentro de sus instalaciones de consumo, y que no recibe remuneración por dichos excedentes.
¿Qué fuentes de energía renovable puedo utilizar?	Para convertirme en Usuario Autoprodutor con Excedentes de Energía –UAEE- puedo utilizar alguna de las siguientes tecnologías: 1) Biomasa; 2) Eólica; 3) Geotérmica; 4) Hidráulica; 5) Solar; 6) Otras que posteriormente determine el Ministerio de Energía y Minas.
¿Qué necesito hacer para ser un UAEE? ¿Necesito Autorización?	Instalar generación con fuente de energía renovable dentro de mis instalaciones de consumo y notifico al Distribuidor a través del Formulario de UAEE. No necesito autorización alguna.
¿El Distribuidor debe realizar inspección técnica de mis instalaciones?	Si. El Distribuidor luego de recibida la notificación por parte del interesado, tendrá un plazo de 15 días para realizar una inspección técnica de las instalaciones del UAEE con el objetivo de verificar que cumple con lo requerido en esta norma.
¿Quién instala el medidor bidireccional?	Si los resultados de la inspección son positivos y si es usuario regulado el Distribuidor procederá a la instalación del medidor correspondiente, en un plazo no mayor a 28 días de recibida la notificación por parte del interesado. Para el caso de Grandes Usuarios (>100 kW), son ellos los responsables de su sistema de medición.
¿Puedo vender mis excedentes de energía?	No. La normativa establece que los Usuarios autoprodutores con Excedentes de Energía no recibirán ningún tipo de pago por la energía eléctrica inyectada al sistema de distribución.
¿Tengo crédito por energía inyectada al sistema de distribución?	Si la medición neta corresponde a una inyección de energía del Usuario hacia el sistema de distribución, el Distribuidor se la reconocerá como crédito de energía a favor del Usuario hasta que dicho crédito sea agotado contra el consumo del UAEE , no obstante, el Distribuidor cobrará el cargo fijo y los cargos por potencia que le sean aplicables a cada Usuario, según la tarifa correspondiente.

Anexo 6. Guía para Autoprodutores (2)

2. Guía para completar el formulario de UAEE.

Formulario para que los usuarios informen al Distribuidor sobre las instalaciones de generación dentro de sus instalaciones de consumo	El formulario para Usuarios Autoprodutores con Excedentes de Energía –Formulario UAEE– se puede obtener de 2 formas: 1. En las oficinas comerciales del Distribuidor de energía eléctrica. 2. Descargarlo de la página web de la CNEE www.cnee.gob.gt/proyectos/estudios electricos • Seleccione Autoprodutores/Formulario EEGSA si usted es usuario de la distribuidora Empresa Eléctrica de Guatemala, S.A. (departamentos de Guatemala, Sacatepéquez y Escuintla), • Seleccione Autoprodutores/Formulario DEOCSA si usted es usuario de la Distribuidora de Electricidad de Occidente, S.A. –DEOCSA– (departamentos de Huehuetenango, Quiché, Quetzaltenango, San Marcos, Totonicapán, Retalhuleu, Suchitepéquez, Sololá y Chimaltenango). • Seleccione Autoprodutores/Formulario DEORSA si usted es usuario de la Distribuidora de Electricidad de Oriente, S.A. –DEORSA– (departamentos de Petén, Alta Verapaz, Baja Verapaz, Izabal, Chiquimula, Zacapa, Jalapa, Jutiapa, Santa Rosa y El Progreso).
Información del formulario	
Información del formulario.	El formulario está compuesto de 2 ítems: 1. Datos Generales del usuario. 2. Datos generales del proyecto.
1. Datos generales del usuario:	
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 vía mensaje.
Número de identificación del usuario ante el Distribuidor	Si es usuario de EEGSA, coloque aquí el número de CORRELATIVO que aparece en su factura por servicios de electricidad; Si es usuario de DEORSA ó DEOCSA, coloque aquí el NIS 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.

Anexo 7. Guía para autoproductores (3)

2. Datos generales del proyecto	
2.1 Fuente de energía renovable (marque las que correspondan)	☐ Biomasa ☐ Eólica ☐ Geotérmica ☐ Hidráulica ☐ Solar Marcar con una equis ☒ 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: 4x0.250 kW
Potencia total instalada:	Indique la suma total en kilovatios (kW) de las unidades generadoras que conforman su proyecto. Para el ejemplo anterior indique: 1.00 kW
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.