



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**DISEÑO PRELIMINAR DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICO Y SISTEMA DE
PROTECCIÓN ELÉCTRICA, PARA LA FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA,
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

Carlos Eduardo Díaz Mayorga

Asesorado por el Ing. Francisco Javier González López

Guatemala, febrero 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

DISEÑO PRELIMINAR DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICO Y SISTEMA DE PROTECCIÓN ELÉCTRICA, PARA LA FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA, UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

CARLOS EDUARDO DIAZ MAYORGA

ASESORADO POR EL ING. FRANCISCO JAVIER GONZÁLEZ LÓPEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO

GUATEMALA, FEBRERO 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Ángel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Jurgen Andoni Ramírez Ramírez
VOCAL V	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Natanael Jonathan Requena Gómez
EXAMINADOR	Ing. Gustavo Benigno Orozco Godínez
EXAMINADOR	Ing. Francisco Javier González López
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

DISEÑO PRELIMINAR DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICO Y SISTEMA DE PROTECCIÓN ELÉCTRICA, PARA LA FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA, UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 5 de abril de 2014.



Carlos Eduardo Diaz Mayorga

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIDAD DE EPS

Guatemala, 18 de octubre de 2016.
Ref.EPS.DOC.732.10.16.

Inga. Christa Classon de Pinto
Directora Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimada Ingeniera Classon de Pinto.

Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Carlos Eduardo Díaz Mayorga** de la Carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con carné No. **9712271**, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **“DISEÑO PRELIMINAR DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICO Y SISTEMA DE PROTECCIÓN ELÉCTRICA, PARA LA FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA, UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA”**.

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”

Ing. Francisco Javier González
Asesor-Supervisor de E.P.S.
Área de Ingeniería Eléctrica



c.c. Archivo
FJA/ra



Guatemala 18 de octubre de 2016.
Ref.EPS.D.449.10.16.

Ing. Francisco Javier González
Director Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería
Presente

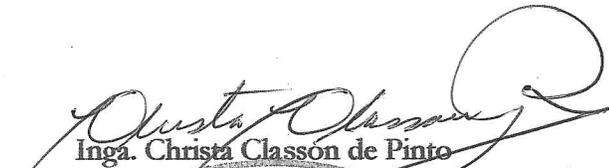
Estimado Ingeniero González.

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado "DISEÑO PRELIMINAR DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICO Y SISTEMA DE PROTECCIÓN ELÉCTRICA, PARA LA FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA, UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA" que fue desarrollado por el estudiante universitario, Carlos Eduardo Díaz Mayorga, quien fue debidamente asesorado y supervisado por el Ing. Francisco Javier González.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor - Supervisor de EPS, en mi calidad de Directora apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,
"Id y Enseñad a Todos"


Inga. Christa Classón de Pinto
Directora Unidad de EPS


DIRECCIÓN
Unidad de Profesores de Ingeniería y EPS

CCdP/ra



REF. EIME 67. 2016.
Guatemala, 19 de OCTUBRE 2016.

Señor Director
Ing. Francisco Javier González López
Director Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:
DISEÑO PRELIMINAR DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN
FOTOVOLTAICO Y SISTEMA DE PROTECCIÓN ELÉCTRICA,
PARA LA FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y
FARMACIA, UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE
GUATEMALA, del estudiante Carlos Eduardo Díaz Mayorga,
que cumple con los requisitos establecidos para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,
ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Gustavo Benigno Orozco Godínez
Coordinador Área Potencia



STO



REF. EIME 68. 2016.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante CARLOS EDUARDO DÍAZ MAYORGA Titulado: DISEÑO PRELIMINAR DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICO Y SISTEMA DE PROTECCIÓN ELÉCTRICA, PARA LA FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA, UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, procede a la autorización del mismo.

Ing. Francisco Javier González López



GUATEMALA, 2 DE NOVIEMBRE 2016.



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica al trabajo de graduación titulado: **DISEÑO PRELIMINAR DE UN SISTEMA DE GENERACION FOTOVOLTAICO Y SISTEMA DE PROTECCIÓN ELÉCTRICA, PARA LA FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA, UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA,** presentado por el estudiante universitario: **Carlos Eduardo Díaz Mayorga,** y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

9/27/17
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano



Guatemala, febrero de 2017

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por todas las bendiciones y protecciones que me ha brindado, ser la guía en todo instante y llenar de sabiduría mis pasos para llegar a este logro.
Mis padres	Cesar y Yoli, por darme la vida, apoyo, consejos y principios para conducirme por la vida.
Mis abuelitas	Virgilia y Concepción, por sus cuidados, amor y consejos brindados en mi vida.
Mi esposa	Gloria por su apoyo y paciencia.
Mi hija	Karen Sofía, por ser mi ilusión y motivación en la vida.
Mis hermanas	Karen y Heidy, por su apoyo incondicional.
Mis sobrinos	Luis Pedro, José Pablo y Luis Fernando, por su amor y nobleza.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser la casa de estudio que me permitió forjarme como profesional.
Escuela la Ingeniería Mecánica Eléctrica	Por darme los conocimientos necesarios para llegar a ser profesional.
División de Servicios Generales	Por darme la oportunidad de realizar el ejercicio profesional supervisado dentro de sus instalaciones.
Ingeniero Francisco González	Por ser mi asesor y guía durante el informe y dar consejos éticos y morales como profesional.
Mis amigos	Eliot, Andy, Luis y Hugo, por el apoyo brindado para la elaboración del proyecto.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	XIII
GLOSARIO	XV
RESUMEN.....	XVII
OBJETIVOS.....	XIX
INTRODUCCIÓN	XXI
1. ANTECEDENTES Y FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	1
1.1. Universidad de San Carlos de Guatemala.....	1
1.1.1. División de Servicios Generales	1
1.2. Fuentes de energía renovable en Guatemala	2
1.2.1. Hidráulica.....	4
1.2.2. Biomasa.....	4
1.2.3. Eólica.....	5
1.2.4. Solar	6
1.2.5. Geotérmica	7
1.3. Matriz energética de Guatemala.....	8
1.3.1. Prevención de CO2	9
1.3.2. Cálculo del factor CO2.....	10
1.3.3. Cálculo de barriles equivalentes de petróleo	10
1.3.4. Protocolo de Kioto sobre el cambio climático	10
1.3.5. Bonos de carbono.....	11
1.4. Componentes de un sistema de generación fotovoltaico conectado a la red	12
1.4.1. Radiación solar	13

	1.4.1.1.	Radiación solar diaria HSP.....	14
1.4.2.		Panel fotovoltaico	16
	1.4.2.1.	Eficiencia del panel solar.....	19
	1.4.2.2.	Orientación e inclinación de módulos solares.....	19
	1.4.2.3.	Separación entre módulos.....	21
1.4.3.		Inversor	22
	1.4.3.1.	Cálculo de paneles por fila	25
1.4.4.		Diseño de estructuras para los paneles	27
1.4.5.		Medidores.....	33
1.5.		Dimensionamiento de los cables y cajas de conexión en ac y dc.....	34
1.6.		Protecciones eléctricas	36
	1.6.1.	Protecciones de corriente continua	37
		1.6.1.1. Cajas combinadoras.....	37
		1.6.1.2. Software de configuración de caja combinadora.....	38
	1.6.2.	Protecciones en corriente alterna.....	41
	1.6.3.	Protección contra descargas electroatmosféricas ...	43
		1.6.3.1. Nivel cerámico.....	44
		1.6.3.2. Nivel de riesgo.....	45
		1.6.3.3. Pararrayos PDC INGESCO.....	49
	1.6.4.	Puesta a tierra	51
		1.6.4.1. Normas sobre el valor de resistencia ...	53
		1.6.4.2. Método Werner.....	53
		1.6.4.3. Selección del tipo de puesta a tierra	54
	1.6.5.	Supresores y filtros.....	56
	1.6.6.	Fluctuaciones de voltaje (<i>flikers</i>)	56
1.7.		Calidad de potencia.....	57

1.8.	Análisis económico.....	58
1.8.1.	El valor presente neto VPN	58
1.8.2.	La tasa interna de retorno TIR	59
1.9.	Normas y reglamentos para sistemas de generación renovable y protecciones.....	60
1.9.1.	Normativas que debe cumplir la GDR	64
2.	FASE TÉCNICO PROFESIONAL	67
2.1.	Informe ejecutivo del proyecto.....	67
2.2.	Diseño de la instalación fotovoltaica.....	68
2.3.	Estadística de consumo.....	71
2.4.	Planos del área a utilizar	79
2.5.	Características y especificaciones del panel solar a utilizar ...	82
2.5.1.	Número de paneles solares para cubrir la demanda.....	84
2.5.2.	Inclinación de paneles solares.....	86
2.5.3.	Separación de paneles solares.....	87
2.6.	Características y especificaciones del inversor	88
2.6.1.	Cantidad de número de paneles por fila	88
2.6.2.	Cantidad de inversores por edificio.....	90
2.7.	Diseño de estructuras para los paneles	91
2.8.	Dimensionamiento de los cables y cajas de conexión en ac y dc.....	92
2.8.1.	Edificio T-10.....	93
2.8.2.	Edificio T-11.....	97
2.8.3.	Edificios T-12 Y T-13	101
2.9.	Protecciones del sistema fotovoltaico.....	104
2.9.1.	Protecciones de corriente continua.....	104
2.9.2.	Protecciones en corriente alterna	108

2.9.3.	Sobrecargas electroatmosféricas	110
2.9.3.1.	Nivel de riesgo.....	110
2.9.3.2.	Pararrayos PDC INGESCO.....	114
2.10.	Sistemas de puesta a tierra.....	115
2.10.1.	Cálculo de la resistividad del suelo	115
2.10.2.	Selección del tipo de puesta a tierra	118
2.10.3.	Conductores de interconexión.....	120
2.11.	Análisis económico para cubrir la demanda de los edificios de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia	122
2.11.1.	Edificio T-10	122
2.11.1.1.	Costos de materiales y montajes	123
2.11.1.2.	Cálculo de energía inyectada a la red anualmente	126
2.11.1.3.	Costo de producción y mantenimiento.....	127
2.11.1.4.	El valor presente neto VPN	128
2.11.1.5.	La tasa interna de retorno TIR.....	128
2.11.2.	Edificio T-11	129
2.11.2.1.	Cálculo de energía inyectada a la red anualmente	132
2.11.2.2.	Costo de producción y mantenimiento.....	133
2.11.2.3.	El valor presente neto VPN	134
2.11.2.4.	La tasa interna de retorno TIR.....	135
2.11.3.	Edificios T-12 Y T-13.....	135
2.11.3.1.	Costos de materiales y montajes	136
2.11.3.2.	Cálculo de energía inyectada a la red anualmente	138

2.11.3.3.	Costo de producción y mantenimiento	139
2.11.3.4.	El valor presente neto VPN	141
2.11.3.5.	La tasa interna de retorno TIR.....	141
2.11.4.	Costo de la energía consumida mensual.....	141
2.12.	Análisis económico cubriendo de paneles fotovoltaicos las terrazas de los edificios de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia.....	144
2.12.1.1.	Costos de materiales y montajes.....	145
2.12.1.2.	Cálculo de energía inyectada a la red anualmente.....	148
2.12.1.3.	Costo de producción y mantenimiento	149
2.12.1.4.	El valor presente neto VPN	151
2.12.1.5.	La tasa interna de retorno TIR.....	151
2.12.1.6.	Planos con terrazas cubiertas de paneles	151
2.13.	Costo de kilovatio hora instalado en dólares	153
2.14.	Disminución de CO2 por kilovatio hora	153
2.15.	Cálculo de barriles equivalentes de petróleo	155
2.15.1.	Costo en barriles de petróleo.....	156
3.	FASE DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE	159
3.1.	Plan de capacitación	159
3.1.1.	Capacitaciones	159
3.1.1.1.	Primera capacitación	160
3.1.1.2.	Segunda capacitación	161
4.	PLAN DE CONTINGENCIA.....	165

4.1.	Riesgo por fenómenos atmosféricos	165
4.2.	Riesgo de incendio.....	166
4.3.	Riesgos causados por personal humano	166
4.4.	Medidas de seguridad	167
4.5.	Mantenimiento preventivo	168
4.6.	Mantenimiento correctivo	169
CONCLUSIONES.....		171
RECOMENDACIONES		173
BIBLIOGRAFÍA.....		175
APÉNDICES.....		179
ANEXOS		183

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Estación generadora geotérmica de ciclo binario.....	8
2.	Fuentes primarias de energía utilizadas en Guatemala	9
3.	Sistema de generación fotovoltaico conectado a la red	13
4.	Curva característica de panel solar.....	18
5.	Inclinación de módulo.....	20
6.	Ángulo de azimut α	20
7.	Movimiento del sol en Guatemala	21
8.	Cálculo de separación de paneles	22
9.	Gráfica del MPPT del inversor	24
10.	Accesorios de la estructura	29
11.	Riel unicanal.....	30
12.	Bases serie N.....	31
13.	Bisagra HD05.....	31
14.	Hb06	32
15.	Omega	32
16.	Perfil Z	33
17.	Funcionamiento de un medidor bidireccional	34
18.	La superficie equivalente de captura para un edificio rectangular.....	46
19.	Pararrayos ingesco	49
20.	Fórmula del valor presente neto.....	59
21.	Formula de la TIR.....	59
22.	Área disponible en la terraza del edificio T-10	69

23.	Área disponible en la terraza del edificio T-11	69
24.	Área disponible en la terraza del edificio T-12	70
25.	Área disponible en la terraza del edificio T-13	70
26.	Diagrama de barras del consumo kilo vatio-hora/mes del contador k-22867	72
27.	Diagrama de barras del consumo kWh/mes del contador k-92 903	74
28.	Diagrama de barras del consumo kWh/mes del contador L-917 110 ...	74
29.	Diagrama de barras del consumo kWh/mes del contador O-99 442...	75
30.	Diagrama de barras del consumo kWh/mes del contador L-96052	76
31.	Diagrama de barras del consumo kWh/mes del contador E-57805	78
32.	Diagrama de barras del consumo kWh/mes del contador E-58 506	78
33.	Diagrama de barras del consumo kWh/mes del contador M-62792	79
34.	Dimensiones edificio T-10.....	80
35.	Dimensiones edificio T-11.....	81
36.	Dimensiones edificio T-12.....	82
37.	Pérdida anual de panel fotovoltaico	83
38.	Arreglo serie- paralelo para el inversor con dos entradas y 11 paneles90	
39.	Estructura para módulos	91
40.	Tramos de conexión	93
41.	Primera etapa para cálculo de cables	94
42.	Distribución de paneles en el edificio T-10	95
43.	Distribución de paneles en el edificio T-11	98
44.	Distribución de paneles en los edificios T-12 y T-13.....	101
45.	Fotografía del medidor de cuatro puntos método Werner.....	115
46.	Dibujo con la terraza llena de paneles para los edificios T-10 y T-11 .	152
47.	Dibujo con la terraza llena de paneles para el edificio T-12.....	152
48.	Precio del barril de petróleo	156

49.	Fotografía de primera capacitación	160
50.	Grupo que dio la capacitación	161
51.	Fotografía de segunda capacitación	162
52.	Grupo que dio la capacitación	162

TABLAS

I.	Tabla de horas sol promedio en Guatemala	15
II.	Promedio anual del viento en Guatemala en kilómetros por hora	28
III.	Descripción de elementos a utilizar en la estructura	30
IV.	Dispositivos de protección del inversor	42
V.	Nivel ceráuneo en Guatemala	44
VI.	C1 Coeficiente ambiental	46
VII.	C2, Coeficiente de estructura	47
VIII.	C3, Contenido de la estructura.....	48
IX.	C4 Ocupación de la estructura	48
X.	C5 Consecuencias sobre el entorno	48
XI.	Niveles de protección: radios de protección calculados según el código técnico de la edificación.....	50
XII.	Requerimientos de conexión para GDR.....	61
XIII.	Consumo del contador K- 22867 para el edificio T-10	72
XIV.	Consumo de los contadores en kilo-vatios- hora/mes para el edificio T-11	73
XV.	Consumo del contador L-96052 para el edificio T-12.....	76
XVI.	Consumo de los contadores en kilo-vatios-hora/mes para el edificio T-13	77
XVII.	Características de los paneles solares.....	83
XVIII.	Porcentaje de pérdida anual de un panel eléctrico.	84

XIX.	Número de paneles para cubrir la demanda de cada edificio	86
XX.	Características de los inversores	88
XXI.	Cantidad de inversores por edificio	91
XXII.	Parámetros necesarios para cálculo de sección de fila	94
XXIII.	Cálculo de sección de conductor por fila	94
XXIV.	Datos para el cálculo de conductor del edificio T-10.....	95
XXV.	Cálculo del conductor para fase arreglo-inversor	96
XXVI.	Datos para el cálculo de conductor del edificio T-10.....	97
XXVII.	Datos para el cálculo de conductor del edificio T-11.....	98
XXVIII.	Cálculo del conductor para fase arreglo-inversor	99
XXIX.	Datos para el cálculo de conductor del edificio T-11.....	100
XXX.	Datos para el cálculo de conductor del edificio T-12.....	102
XXXI.	Parámetros necesarios para cálculo de arreglos	102
XXXII.	Datos para el cálculo de conductor del edificio T-12.....	103
XXXIII.	EATON	107
XXXIV.	Resumen de coeficientes.....	112
XXXV.	Resistividad edificio T-10	116
XXXVI.	Resistividad edificio T-11	117
XXXVII.	Resistividad edificio T-12	117
XXXVIII.	Resistividad edificio T-13	117
XXXIX.	Valor de resistencia con fórmula.....	120
XL.	Tabla 250,66 NEC	121
XLI.	La tabla 250.122 indica el calibre mínimo de los conductores de puesta a tierra de equipos y canalizaciones	121
XLII.	Tarifa durante el mes de agosto-septiembre 2014.....	123
XLIII.	Presupuesto de la instalación del edificio T-10.....	124
XLIV.	Calculo de energía inyectada anualmente al edificio T-10.....	126
XLV.	Costo de producción y mantenimiento.....	127
XLVI.	Tarifa durante el trimestre de agosto-septiembre 2014	129

XLVII.	Presupuesto de la instalación del edificio T-11	130
XLVIII.	Cálculo de energía inyectada anualmente al edificio T-11	132
XLIX.	Costo de producción y mantenimiento	134
L.	Tarifa durante el mes de agosto-septiembre 2014.....	135
LI.	Presupuesto de la instalación del edificio T-12 Y T-13	136
LII.	Cálculo de energía inyectada anualmente a los edificios T-12 y T-13	138
LIII.	Costo de producción y mantenimiento	140
LIV.	Gasto en quetzales del contador k-22 867.....	142
LV.	Gasto en quetzales de los tres contadores	142
LVI.	Gasto en quetzales del contador L-96052.....	143
LVII.	Promedio mensual del gasto del edificio T-13.....	143
LVIII.	Tarifa durante el mes de agosto-septiembre 2014.....	145
LIX.	Presupuesto de la instalación llenando la terraza de los tres edificios con paneles eléctricos.....	146
LX.	Cálculo de energía total inyectada anualmente a los tres edificios	148
LXI.	Costo de producción y mantenimiento	150
LXII.	Costo del kWh instalado en dólares.....	153
LXIII.	Ahorro de CO2 con cantidad de paneles necesarios para cubrir demanda	154
LXIV.	Ahorro de CO2 con terrazas cubiertas de paneles	154
LXV.	Barriles de petróleo anuales para cubrir demanda de edificios.....	155
LXVI.	Barriles de petróleo anuales para generar energía cubriendo toda el área de las terrazas.....	156
LXVII.	Ahorro en dólares por generación anual	157

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Amperio
I	Corriente
CA	Corriente alterna
CC	corriente continúa
cm	Centímetro
°C	Grado Celsius
h	Hora
Hz	Hercio
kg	Kilogramo
kW	Kilovatio
kWh	Kilovatio hora
m	Metro
P	Potencia
R	Resistencia
V	Voltaje

GLOSARIO

CNEE	Comisión Nacional de Energía Eléctrica, según se establece en la Ley General de Electricidad.
Distribuidor	Es la persona, individual o jurídica, titular o poseedora de instalaciones destinadas a distribuir comercialmente energía eléctrica.
Energía solar	Energía producida por radiación solar.
Energía eólica	Energía producida por el viento.
Energía hidráulica	Energía producida por el agua.
Energía geotérmica	Energía producida por medio del calor natural de la tierra, que puede extraerse del vapor, agua, gases, excluidos los hidrocarburos, o a través de fluidos inyectados artificialmente para este fin.
Energía de biomasa	Energía derivada de cualquier tipo de materia orgánica biodegradable, de origen vegetal o animal, que puede usarse directamente como combustible.
GDR	Generador distribuido renovable.

Hora solar	Número de horas diarias que con una irradiación solar ideal de 1 000 vatios por metro cuadrado proporciona la misma irradiación solar total que la real de ese día.
Inversor	Dispositivo que convierte la energía de corriente continua del panel solar en corriente alterna.
LGE	Ley General de Electricidad.
Panel solar	Dispositivo que aprovecha la energía de la radiación solar para generar electricidad mediante energía solar fotovoltaica.
Punto de conexión	Es el lugar del sistema de distribución de energía eléctrica en el que se conecta un GDR.
RLGE	Reglamento de la Ley General de Electricidad.
UAEE	Usuario autoprodutor con excedente de energía. Es un usuario de distribución que inyecta energía eléctrica ha 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.
TIR	Tasa interna de retorno.
VNA	Valor neto actual, (valor neto presente).

RESUMEN

El proyecto de graduación consiste en el diseño, cálculo de materiales y presupuestos de un sistema de generación solar fotovoltaica y sus protecciones, aprovechando el área disponible en las losas de los edificios de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala; la energía generada se conecta a la red donde por medio de un contador bidireccional se lleva un control de la energía consumida e inyectada a la red para conocer el costo a pagar.

Se realiza un cálculo de la cantidad necesaria de paneles eléctricos para cubrir la demanda de los edificios de la Escuela de Ciencias Químicas y Farmacia de la USAC según el diseño. La capacidad que se puede instalar en las losas de los edificios es suficiente para cubrir la demanda de los edificios T-11, T-12 y T-13, para el edificio T-10 se ahorra un 24,71 % del consumo; no se calcula en quetzales, debido a que la tarifa eléctrica varía cada tres meses. Se instalan 44 paneles por inversores a una inclinación a 15 grados, todos en dirección hacia el sur. La cantidad de inversores varía dependiendo del edificio debido a su capacidad.

El diseño también contempla sus protecciones, en corriente directa y en corriente alterna, según las normas de generación distribuida renovable. Se instala una red de tierras y una puesta de pararrayos con su red de tierras independiente; esto se realiza con el objetivo de proteger el sistema de generación fotovoltaica, protección a los equipos de laboratorios, computadoras y personas que se encuentren en los alrededores de los edificios.

Para poder realizar el proyecto, se realizan cotizaciones de los elementos a utilizar los cuales se encuentran en Guatemala; se realiza un cálculo de los costos para cubrir la demanda de la cantidad de paneles, inversores, estructuras, protecciones, red de tierras, pararrayos, etc. Todo lo necesario para poder diseñarlo de una forma segura de acuerdo a las normas vigentes en Guatemala. Se llega a la conclusión de que el tiempo de recuperación de la inversión es de 9,53 años para el edificio T-10, 7,8 años para el edificio T-11, y 9,51 años para los edificios T-12 y T-13. Estos costos de recuperación tienen contemplada la inversión que hay que realizar a los 12,5 años para el cambio de inversores y el mantenimiento que tendrá el sistema de generación durante su tiempo de vida. Este se calcula que será de 25 años que es el tiempo de vida de los paneles eléctricos y funcionan a un 80 % al final de los 25 años. La principal ventaja aparte del ahorro energético es que no necesita inversión en combustible extra para que funcione y requiere de poco mantenimiento a lo largo de su vida útil.

Con el ahorro en el consumo de energía eléctrica y poder hacer que la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia funcione como un autoproducer, se puede invertir el dinero ahorrado en mejoras de los edificios, laboratorios, investigaciones, etc. Además, con esto se beneficia a la disminución de CO₂ en la atmósfera terrestre.

OBJETIVOS

General

Determinar la factibilidad técnica y económica de la realización de una instalación solar fotovoltaica conectada a la red, con sus protecciones, aprovechando el área de las losas en los edificios de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Específicos

1. Presentar la energía solar como una fuente de energía alternativa capaz de generar corriente eléctrica necesaria para alimentar los edificios en estudio: T-10, T-11, T-12 y T-13.
2. Realizar un estudio sobre la importancia de las protecciones eléctricas y electroatmosférico que puedan causar problemas dentro de la instalación, tanto para las personas como para los equipos, analizando los fundamentos técnicos y teóricos para el estudio.
3. Realizar un análisis económico que estudie la factibilidad de un sistema fotovoltaico para analizar si es rentable el proyecto a lo largo de su vida útil.
4. Presentar un estudio sobre el beneficio-costos para cubrir el área total de las terrazas de los edificios en estudio.

INTRODUCCIÓN

La Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala en la actualidad utiliza un valor muy elevado de energía eléctrica para poder hacer uso de sus instalaciones; por lo cual, se realizó un estudio del diseño de generación distribuida renovable por excedente de energía y sus sistemas de protección, donde el precio del consumo eléctrico disminuye por la diferencia entre la energía generada y consumida.

El proyecto consiste una instalación solar fotovoltaica la cual es una gran fuente de energía que gracias a la tecnología ha disminuido el precio de forma constante en los materiales para su construcción, con la finalidad de dar una energía limpia y renovable a un costo más bajo; haciendo a la facultad un autoproducer donde esa corriente entra a la red de la EEGSA y esta es medida por medio de un contador bidireccional.

En el capítulo uno se da una breve reseña histórica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, la función de la División de Servicios Generales; también se presenta un resumen de la generación de energía renovable instalada en Guatemala (biomasa, eólica, solar, etc.); se estudian las protecciones del sistema solar fotovoltaico y de las protecciones electroatmosféricas; se detalla el procedimiento ante la CNEE para que la facultad sea reconocida como un autoproducer con excedentes de energía de acuerdo a la norma técnica de generación distribuida renovable y usuarios autoproduceres con excedentes de energía (NTGDR). Donde estudia la nueva ley emitida en 2014 según la resolución CNEE-227-2014.

El capítulo dos se presenta el proyecto de EPS: medición del área de los edificios, y conocimiento de los valores de facturación para poder así realizar un cálculo del tipo de paneles e inversores a instalar. Se da la correcta inclinación y dirección para que exista una captación solar eficiente. Se estudian los tipos de protección del sistema fotovoltaico y electroatmosférico. Se realiza un diseño del sistema de tierras. Al final se realiza una evaluación financiera del sistema fotovoltaico, para lo cual se presentan los criterios de costos, tiempo de recuperar la inversión y beneficio para la facultad. Se presentan análisis económicos como: tasa interna de retorno (TIR) y el valor actual neto (VAN), los cuales determinarán la factibilidad del proyecto.

El capítulo tres presenta la fase de enseñanza y aprendizaje, el cual consiste en dos conferencias sobre el proyecto hacia estudiantes de la facultad, personal de la División de Servicios Generales, donde se detalla la magnitud del proyecto y los alcances que tiene, y se describen las características más sobresalientes del proyecto.

El capítulo cuatro detalla el plan de contingencia sobre los riesgos a la hora de construcción, vela por la seguridad industrial y el equipo de protección personal; así como, denota los tipos de mantenimiento de las instalaciones ya terminada, mantenimiento preventivo y correctivo.

1. ANTECEDENTES Y FUNDAMENTOS TEÓRICOS

1.1. Universidad de San Carlos de Guatemala

Es la institución más grande y antigua en Guatemala, conocida por sus siglas USAC, es la única institución de enseñanza estatal y autónoma que existe en Guatemala. Fue fundada en el siglo XVII, el 31 de enero de 1676. Sus actividades fueron interrumpidas después del proceso de independencia. La universidad durante la época de la Revolución en el siglo XIX logró la autonomía total reconocida por la constitución.

En la actualidad, la sede principal se encuentra en la ciudad universitaria, zona 12 de la ciudad de Guatemala. Aunque cuenta con centros universitarios en casi todas las regiones de Guatemala y un centro universitario metropolitano donde funciona la Facultad de Medicina y la Escuela de Psicología.

1.1.1. División de Servicios Generales

El objetivo de la creación de la División de Servicios Generales es administrar el mantenimiento y obra física de la universidad; esta división administrativa depende de la Dirección General de Administración (DIGA), de la Universidad de San Carlos de Guatemala. La división fue creada y aprobada por el Consejo Superior Universitario el 12 de agosto de 1981 según el acta Nro. 26-81, inciso 3,12.

La División de Servicios Generales se encuentra ubicada en el edificio Diga dentro del campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala en la zona 12 de la capital de Guatemala.

El Departamento de Mantenimiento de esta división proporciona los servicios de electricidad, carpintería, herrería, fontanería, albañilería, telefonía y herrería. El Departamento de Servicios ayuda con la limpieza en la ciudad universitaria tales como áreas verdes, corte de grama, poda de árboles, servicios de transporte y vigilancia.

Entre los objetivos principales de la División de Servicios Generales se pueden mencionar:

- Aprovechar los recursos para poder obtener una mayor productividad en los programas de supervisión, mantenimiento y control de proyectos.
- Investigar las prioridades de la USAC mediante el análisis de costos y necesidades en las diferentes unidades.
- Determinar el uso racional de la planta física del campus universitario para la distribución, funcionamiento y mantenimiento de la capacidad instalada.
- Hacer estudios necesarios para los programas de planificación física, mantenimiento y servicios, relacionados con el diseño y urbanización.

1.2. Fuentes de energía renovable en Guatemala

Energía renovable es la que se obtiene de fuentes naturales: aire, agua, sol, etc. Este tipo de energía puede ser capaz de sustituir las fuentes de energía fósiles: petróleo, gas natural o carbón. Las energías renovables tienen un menor efecto contaminante y tienen posibilidad de renovación.

La energía fósil tiene el problema de que por la gran demanda que tienen en la actualidad se están agotando; por lo cual son necesarios nuevos métodos para obtener energía, entre las cuales están las energías renovables. Aparte de que las energías fósiles traen consigo problemas de contaminación y el aumento de los gases de efecto invernadero. Las energías renovables dan beneficios como los siguientes:

- No contaminan el medio ambiente por lo cual no producen gases de efecto invernadero.
- Traen inversión al país.
- Producen oportunidades de empleo y desarrollo local.
- No agotan ni consumen los recursos naturales.

Guatemala es un país que posee un buen potencial de energía renovable, por eso la visión de la Asociación de Generadores con Energía Renovable (AGER) es que para el 2025 el 80 % de la energía eléctrica producida en el país provenga de fuentes renovables.

Guatemala acaba de construir la planta solar más grande en Centro América la cual está ubicada en Santa Rosa con 175 hectáreas de paneles solares la cual es capaz de producir 58 MW de energía en su primera parte, esperando que cuando este la segunda parte genere un total de 85 MW. En Guatemala existe otra planta solar en Zacapa que es capaz de producir 5 MW.

Entre las fuentes de generación eléctrica con energía renovable más importantes y de mayor uso en la actualidad se pueden mencionar:

- Hidráulica

- Biomasa
- Eólica
- Solar
- Geotérmica

De todas, la única contaminante es la biomasa.

1.2.1. Hidráulica

Es la energía obtenida principalmente por las corrientes de agua de los ríos. La energía potencial acumulada puede ser transformada en energía eléctrica, haciendo que dicha fuerza proporcionada por el río pueda poner en funcionamiento las turbinas de un generador eléctrico.

Esta es la más abundante en el país debido a la gran cantidad de ríos; es una fuente de energía limpia que necesita construir las instalaciones adecuadas para poder así aprovechar el potencial con un costo nulo de combustible. El mayor problema de este tipo de energía son las condiciones climáticas del país.

1.2.2. Biomasa

Para generar electricidad por medio de biomasa se necesita utilizar materia orgánica como fuente de energía. Los materiales que funcionan mejor son los de menor humedad (madera, cascaras, etc.). Se quema la biomasa con mucho aire y a una temperatura de 600 y 1 000 grados centígrados, así producen gases calientes a presión los cuales son utilizados para producir electricidad.

El proceso de funcionamiento de una central eléctrica de biomasa es el siguiente:

- Primero el combustible principal de la instalación y los residuos forestales se almacenan en la central.
- Pasa por un lugar donde se clasifica en función de su tamaño, para después almacenarlos en sus correspondientes lugares.
- Son llevados a la caldera para su combustión, para hacer que el agua que circula por las tuberías de la caldera se convierta en vapor.
- El vapor generado por la caldera mueve la turbina que está conectada al generador eléctrico, el cual produce corriente eléctrica.
- El vapor de agua se convierte en líquido en el condensador y desde aquí es nuevamente enviado al tanque de alimentación cerrándose así el circuito principal agua-vapor de la central.

1.2.3. Eólica

La energía eólica aprovecha la energía del viento para producir energía eléctrica, por medio de la energía cinética generada por el viento. La energía eólica es una energía limpia y también la menos costosa de producir. Las hélices son movidas por el viento, las cuales hacen girar un eje central donde por una serie de engranes mueve un generador eléctrico.

Para controlar el movimiento de la turbina, las centrales eólicas disponen de un volante de inercia, que actúa como carga de frenado permitiendo controlar en todo momento las revoluciones de las aspas sin tomar en cuenta cuál sea la velocidad del viento. Es necesario conectarlo a tierra para evitar electricidad estática la cual es producida por la altura de las aspas y el rozamiento de ellas con el aire.

Un parque eólico es un conjunto de torres aerogeneradores interconectados eléctricamente. Suelen tener tres aspas, de unos 20-25 metros, unidas a un eje. Los aerogeneradores suelen medir entre unos 40 – 50 metros de altura dependiendo del lugar a instalar.

1.2.4. Solar

La energía solar es la que llega a la tierra en forma de radiación electromagnética procedente del sol. El aprovechamiento de la energía solar se puede realizar de dos formas: Por energía térmica y por sistema fotovoltaico utilizando paneles solares.

La energía solar térmica aprovecha la energía del sol para generar calor. Esta energía se encarga de calentar el agua u otro tipo de fluido a temperaturas que podrían oscilar entre 40 y 50 grados centígrados, no debiendo pasar los 80 grados centígrados.

La energía solar fotovoltaica es la que transforma la radiación solar en electricidad. Esta energía se transforma por medio de paneles fotovoltaicos, donde la radiación solar excita los electrones de un dispositivo semiconductor generando una pequeña diferencia de potencial. La conexión en serie de estos dispositivos permite obtener diferencias de potencial mayores.

Las ventajas de este tipo de energía son:

- Sus recursos son ilimitados.
- Muy amigable con el medio ambiente, no produce emisión de gases.
- Los costos de operación son muy bajos.

- El mantenimiento es sencillo y de bajo costo.
- Los módulos tienen un periodo de vida de hasta 25 años.
- Se puede integrar en las estructuras de construcciones nuevas o existentes.
- El costo disminuye mediante la tecnología va avanzando.
- Es perfecto para lugares donde no llega la electricidad.
- Los paneles son limpios y silenciosos.

Las desventajas de la energía solar fotovoltaica son:

- Los costos de instalación son altos, requiere de una gran inversión inicial.
- Los lugares con mayor radiación solar son lugares desérticos y alejados de las ciudades.
- Se requieren grandes extensiones de terreno para recolectar gran cantidad de energía solar.
- Faltan almacenadores de energía económicos y confiables.

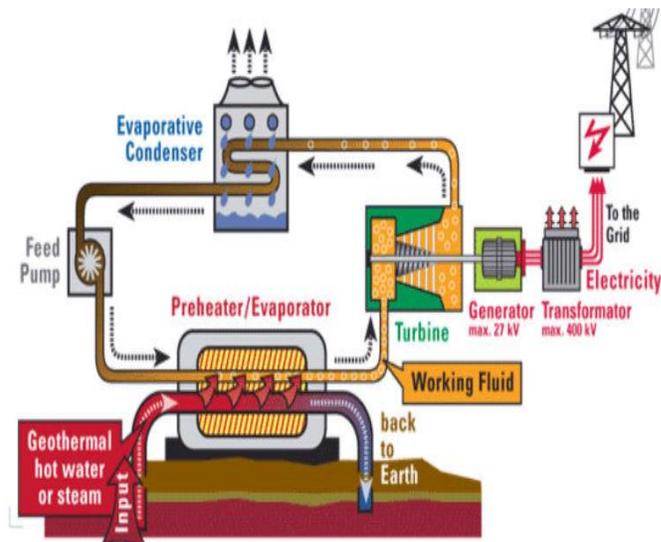
1.2.5. Geotérmica

Es la energía mediante el aprovechamiento del calor interior de la tierra. Para poder extraer esta energía es necesaria la presencia de yacimientos de agua cerca de estas zonas calientes. La explotación de esta fuente de energía se realiza perforando en el suelo y extrayendo vapor. Si su temperatura es suficientemente alta, el vapor se podrá aprovechar para accionar una turbina. Esto posibilitará la producción de electricidad a un costo bajo y de forma permanente durante un periodo prolongado.

Las principales ventajas de la explotación de este tipo de energía son:

- Es una fuente relativamente inagotable de energía.
- Provoca poca contaminación en el medio ambiente.
- Se traduce en enormes cantidades de energía eléctrica.
- La inversión necesaria es relativamente baja.
- No tiene ciclos de actividad y reposo (como ocurre con la energía eólica o solar).

Figura 1. Estación generadora geotérmica de ciclo binario



Fuente: *Geotérmica de ciclo binario*.

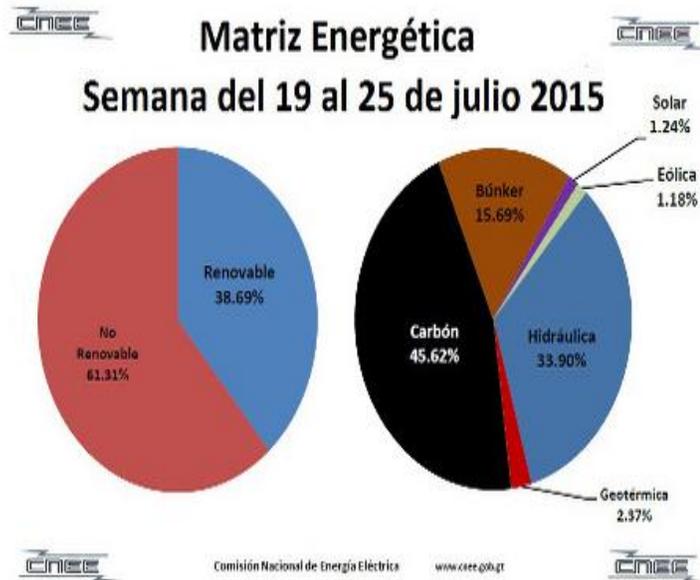
<https://www.google.com.gt/search?q=geotermica+de+ciclo+binario>. Consulta: 20 de enero 2015.

1.3. Matriz energética de Guatemala

Para suplir la demanda de energía, se debe contar con los recursos necesarios, por lo cual todas las compañías distribuidoras de energía deben de presentar un mix energético, el cual consiste en presentar una matriz energética para cubrir la demanda eléctrica de un país.

La matriz energética en Guatemala tiene la siguiente distribución.

Figura 2. **Fuentes primarias de energía utilizadas en Guatemala**



Fuente: *Monitoreo mercado*. http://www.cnee.gov.gt/xhtml/informacion/wp_monitoreo-mercado.html. Consulta: 20 de enero 2 015.

1.3.1. Prevención de CO₂

Para poder realizar una instalación fotovoltaica, se deben respetar normas ambientales. Disminuir el CO₂ es necesario para ayudar a la protección del medio ambiente y así ayudar a la disminución del efecto invernadero. Con otro tipo de energía que no es renovable se expulsa dióxido de carbono debido a la quema de combustibles fósiles. Cuanto más se utilicen energías renovables en un mix energético del país, menor será la emisión de dióxido de carbono.

1.3.2. Cálculo del factor CO₂

Este factor es expresado en kg/kWh el cual expresa la emisión de CO₂ que se produce en un país por kilovatio/hora de electricidad. Para conocer este factor es necesario consultarlo a la empresa distribuidora de energía, “donde se toma como que si la generación fuera a base de carbón, el cual indica que 1 kWh generado con carbón produce 0,75 kg de CO₂”¹. El cálculo se realiza con la siguiente ecuación.

$$\text{Cantidad CO}_2 = \text{consumo electricidad (kWh)} \times \text{factor de CO}_2 \text{ (kg/kWh)} \quad \text{Ec.1}$$

1.3.3. Cálculo de barriles equivalentes de petróleo

Para poder calcular la cantidad de barriles de petróleo se utiliza la unidad BEP la cual indica la energía liberada durante la quema de un barril, que tiene por lo regular 42 galones estadounidenses o 158 litros de petróleo crudo aproximadamente. Un barril de petróleo equivale aproximadamente a 1,7 MWh.

$$\text{Barriles de petroleo equivalente} = \text{energía anual generada} \times 1,7\text{MWh} \quad \text{Ec.2}^2$$

1.3.4. Protocolo de Kioto sobre el cambio climático

El protocolo fue realizado el 11 de diciembre de 1997, en Kioto Japón donde los países se comprometieron a disminuir los gases invernadero en un 5 %, tomando como referencia los gases emitidos en 1990; sin embargo, entró en vigencia en febrero de 2005.

¹ Celfosc. <http://www.celfosc.org/biblio/clima/kWhco2.htm>. Consulta: 20 de enero 2015.

² Convert. <http://www.convert-me.com/es/convert/energy/bboe.html>. Consulta: 20 de enero 2015.

En el acuerdo de la Organización de Naciones Unidas se propone disminuir las emisiones de seis gases de efecto invernadero los cuales provocan el calentamiento global:

- Dióxido de carbono CO₂
- Metano CH₄
- Óxido nitroso N₂O
- Hidrofluorocarburos HFC
- Perfluorocarbonos PFC
- Hexafloruro de azufre SF₆

Según el acuerdo de Kioto, cada país comprometido está obligado a disminuir la contaminación en cierto porcentaje ya establecido, donde el porcentaje varía dependiendo del compromiso de cada país. En la última conferencia se definió un periodo de vigencia que va desde enero de 2013 a diciembre de 2020.

El protocolo formó tres mecanismos llamados mecanismos de Kioto, los cuales son:

- Comercio internacional de los derechos de emisión de gases efecto invernadero.
- Implementación conjunta.
- Mecanismo de desarrollo limpio.

1.3.5. Bonos de carbono

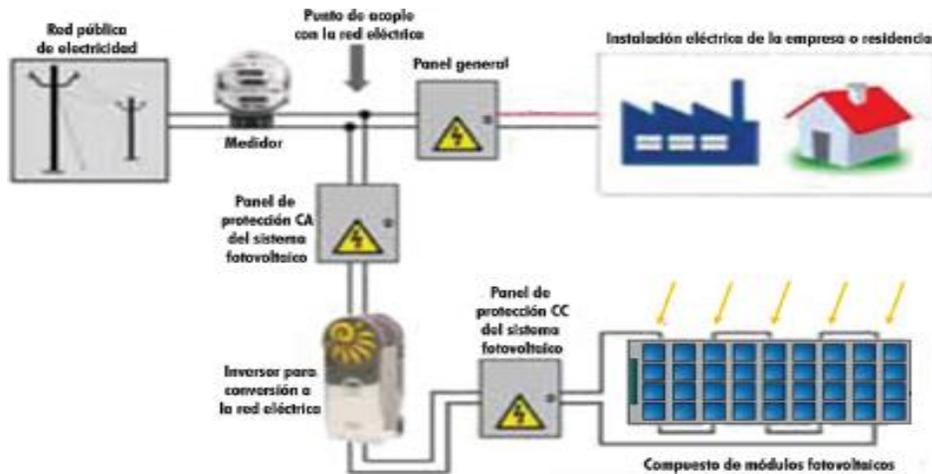
Son incentivos económicos que se entregan a empresas privadas que logren disminuir la contaminación ambiental. Una tonelada de CO₂ equivale a

un certificado de emisiones reducidas (CER) el cual puede ser vendido en el mercado; los diferentes proyectos que pueden aplicar a una certificación son generación eléctrica con energía renovable, eficiencia energética en procesos, limpieza de lagos, etc. La Organización de Naciones Unidas es la institución encargada de entregar los bonos; las empresas para recibir estos bonos deben demostrar el capital utilizado en tecnologías que sean menos contaminantes; deben hacer estudios del nivel de reducción de gases; hacer una presentación a la ONU y entrega de certificados. Las empresas que se pasen de la cantidad de emisión de gases, deben pagar también estos bonos de carbono por exceso de producción de CO₂ o realizar intercambios con empresas que logren disminuir su emisión de gases.

1.4. Componentes de un sistema de generación fotovoltaico conectado a la red

El sistema de generación fotovoltaico conectado a la red consiste en un generador fotovoltaico, que genera electricidad en corriente directa, el cual va acoplado a un inversor que opera en paralelo con la red eléctrica, los cuales llevan sus protecciones en corriente directa y corriente alterna. Un contador bidireccional determina la cantidad de energía que entra y sale a la red. Con este tipo de sistema se evita utilizar acumuladores de energía y puede ser conectado en edificios, casas, hospitales, etc.

Figura 3. Sistema de generación fotovoltaico conectado a la red



Fuente: Editores Online. *Nota Técnica*. http://www.editores-srl.com.ar/revistas/ie/276/finder_energia_solar_fotovoltaica. Consulta: 28 de enero 2015.

1.4.1. Radiación solar

La radiación solar es la radiación electromagnética emitida por el sol, la magnitud de la radiación solar se llama irradiación, que es la energía que incide por unidad de tiempo y superficie, su unidad es el W/m^2 (vatio sobre metro cuadrado). No toda la radiación que envía el sol es captada por la tierra, debido a que la capa atmosférica es un obstáculo al libre paso de radiación. Aparte de la reflexión en las nubes y absorción de diferentes moléculas del aire atmosférico; por eso es que la intensidad que llega a la superficie exterior de la tierra es aproximadamente $1\ 354\ W/m^2$ ³. La irradiación que llega a la superficie de la tierra es $1\ 000\ W/m^2$.

³ Enerpoint. http://www.enerpoint.es/photovoltaic_technology_1.php. Consulta: 28 de enero 2015.

También se debe tomar en cuenta que la dirección con la cual la irradiación solar llega a la tierra es de mucha importancia para conocer su comportamiento al ser reflejada, entonces existen tres tipos de radiación: directa, difusa y reflejada. La suma de las tres radiaciones es el total incidente en el área a estudiar.

- Directa: es la que llega directamente a la superficie en estudio.
- Difusa: es cuando cambia su dirección por varios factores: densidad atmosférica, polvo o nubes.
- Reflejada: es la reflejada por cuerpos sólidos cercanos o la superficie de la tierra (nieve, asfalto, lago, etc.)

La radiación difusa es la que hace que un cuerpo siempre este recibiendo energía, incluso cuando no recibe luz del sol directamente. La radiación difusa supone aproximadamente un tercio de la radiación total que se recibe a lo largo del año.

Tomando en cuenta que la irradiancia depende del ángulo con que los rayos del sol lleguen a la superficie de la tierra; entonces, esta depende de la latitud y longitud de la superficie de la tierra.

1.4.1.1. Radiación solar diaria HSP

Es la radiación solar disponible en la tierra en un día despejado. La radiación solar varía dependiendo de la región de la tierra. A este concepto también se le conoce como insolación o irradiancia. La insolación es expresada en horas solares pico, una hora de energía es equivalente a una irradiancia

promedio de 1 000 W/m².⁴ La energía útil que producen los paneles fotovoltaicos es proporcional a la insolación que reciben.

Para conocer las horas sol en Guatemala, se investiga la página de la NASA que realiza un promedio de registros de 22 años sobre la superficie terrestre, estos datos son tomados de 1983 a 2005, datos de los diferentes tipos de radiación que llegan a la superficie, de diferentes inclinaciones donde se realiza un promedio de la radiación directa para poder determinar las horas sol en Guatemala.

Tabla I. **Tabla de horas sol promedio en Guatemala**

	Radiación Mínima 15 grados	mínima directa	Radiación Máxima 15 grados	Radiación máxima Directa
Enero	5,03	5,67	6,19	6,69
Febrero	5,46	5,92	6,62	6,91
Marzo	5,77	5,87	6,61	6,63
Abril	5,32	5,11	6,53	6,38
Mayo	4,89	4,03	5,98	5,32
Junio	4,91	4,05	5,86	5,17
Julio	5	4,34	6,27	5,76
Agosto	4,41	3,50	5,78	5,27
Septiembre	4,42	3,44	5,51	4,79
Octubre	4,41	3,87	5,77	5,39
Noviembre	4,72	4,97	5,98	6,18
Diciembre	4,67	5,27	5,97	6,45
Promedio	4,91	4,66	6,09	5,91

Fuente: elaboración propia.

⁴ Enerpoint. http://www.enerpoint.es/photovoltaic_technology_1.php. Consulta: 28 de enero 2015.

Entonces se toma el promedio entre el valor de radiación mínima directa y radiación máxima directa quedando como valor 5,28 HSP. Este se aproxima a 5,3 horas sol en la superficie de Guatemala a una inclinación de 15 grados.

1.4.2. Panel fotovoltaico

Un panel solar fotovoltaico es la unión de celdas fotovoltaicas en serie, las cuales producen corriente eléctrica a partir de la luz que incide sobre ellas. Existen diversas formas de construir los paneles fotovoltaicos, todo depende del tipo de material que se utiliza, pero el principio de cómo transformar la energía es igual. Los paneles solares están hechos por numerosas celdas solares, las celdas solares son pequeñas células fabricadas de silicio o galio.

Cada celda fotovoltaica está compuesta como mínimo por dos capas de silicio: una con menos electrones de silicio denominada P y la otra con más electrones que los átomos de silicio denominada N; entonces, los fotones provenientes del sol tienen la energía necesaria para liberar electrones de los átomos sobre la capa P los cuales están en movimiento y atraviesan dicha capa, entonces la capa N adquiere una diferencia de potencial comparado con la capa P.

Un panel fotovoltaico funciona como un diodo pero con flujo de los electrones opuesto, como cuando el diodo se usa como rectificador. Cuando la luz llega al panel una parte es reflejada y la otra entra al semiconductor. Los fotones inciden y aportan energía a los electrones de valencia de los átomos de silicio, para que estos puedan ser liberados y lleguen a formar una corriente de electrones y forman un efecto fotoeléctrico.

Cuando una de las celdas conectadas en serie es obstruida y no llega luz, solo podrá generar una corriente limitada. Si la carga aplicada al panel solar demanda más corriente, entonces la celda obstruida funcionará en sentido inverso, lo que provocará un calentamiento y riesgo de ruptura.

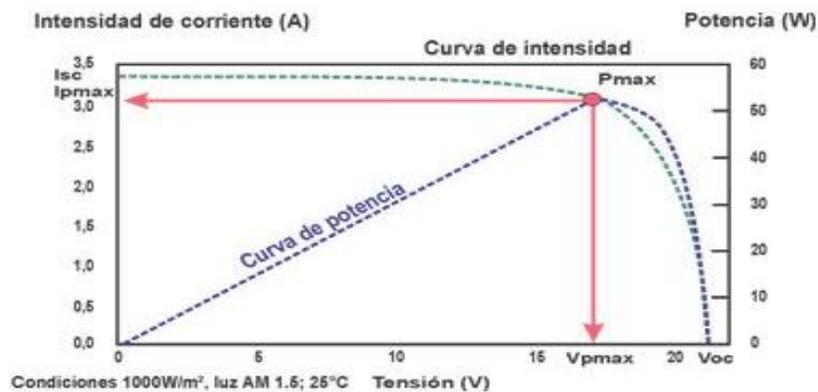
Para evitar este inconveniente, se limita la tensión inversa agregando diodos en paralelo conectados en la caja de conexión para proteger el panel de sobrecalentamiento debido a sombras parciales en el panel. A diferencia que si una de las celdas conectadas en paralelo queda tapada parcialmente genera una tensión menor a las conectadas en paralelo; entonces, la celda trabajará como un circuito abierto lo cual también provoca calentamiento y riesgo de ruptura. Para solucionar este inconveniente es necesario eliminar las sombras alrededor de los edificios o donde estén instalados los paneles solares.

Las características más importantes en los paneles solares las cuales vienen dadas en las tablas de especificaciones dadas por el fabricante son:

- Tensión de circuito abierto V_{co} : es la diferencia de potencial entre los bornes de la celda sin carga, con una iluminación fija, a una temperatura determinada.
- Rendimiento η : es la eficiencia del panel, donde se establece la relación entre la energía eléctrica generada y la energía luminosa recibida. Su valor está entre el 18 %, dependiendo del material de construcción del panel.
- Corriente de cortocircuito I_{cc} : es la corriente que circula con la celda en cortocircuito. Su valor depende de la energía solar recibida, por lo cual depende de la superficie del panel y el nivel de iluminación.
- Tensión a potencia máxima V_{mpp} : es la tensión de la corriente óptima, al ser aplicada, elegida de modo que la potencia eléctrica sea máxima.

- Corriente a potencia máxima I_{mpp} : es la intensidad que circula por la celda en el punto de funcionamiento óptimo, teniendo aplicada un carga de valor optimo, elegida de modo que la potencia eléctrica sea máxima.
- Rango de operación de temperatura: es la temperatura en la cual puede operar el panel, sirve para calcular el número de paneles por fila.

Figura 4. **Curva característica de panel solar**



Fuente: SEBASTIAN, Eliseo. <http://eliseosebastian.com/instalacion-soportes-para-paneles-solares-video-3/>. Consulta: 12 de febrero 2015.

Los paneles solares tienen una gran cantidad de celdas fotovoltaicas conectadas en serie-paralelo que son capaces de aumentar la tensión y la corriente que pueden entregar. Son encapsulados con polímeros resistentes a la radiación ultravioleta y protegidos por una superficie de vidrio que brinda protección contra el ambiente y contra los cambios del clima (heladas, lluvias, granizo, etcétera). La cara posterior de los módulos está construida con un material resistente, como por ejemplo aluminio anodizado, el cual es sellado con silicón para trabajar en la intemperie.

1.4.2.1. Eficiencia del panel solar

La eficiencia de un panel solar es la relación de la potencia convertida en energía eléctrica de la luz solar total absorbida por el panel.

La eficiencia del panel solar viene dado por la ecuación 3.

$$n = \frac{P_m}{E \times A_c} \quad \text{Ec. 3}$$

Dónde:

n : eficiencia

E : irradiancia

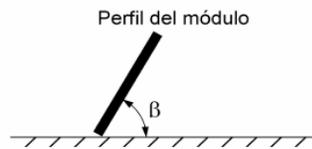
P_m : potencia máxima

A_c : área del panel

1.4.2.2. Orientación e inclinación de módulos solares

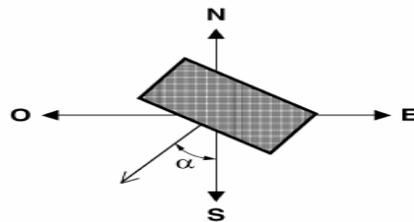
La inclinación de los paneles fotovoltaicos es de mucha importancia para el diseño de las instalaciones fotovoltaicas para que ellos puedan tener la mayor cantidad de radiación solar. Esta inclinación se define como el ángulo β , el cual es el ángulo que forma la superficie de los módulos con el plano horizontal. Para esto se toman en cuenta varios criterios: uno puede ser el peor mes que se capta sobre los paneles ya sea en invierno o verano; el otro es durante todo el año y la latitud donde estarán.

Figura 5. **Inclinación de módulo**



Fuente: Ingemecánica. <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn192.html>. Consulta: 18 de febrero 2015.

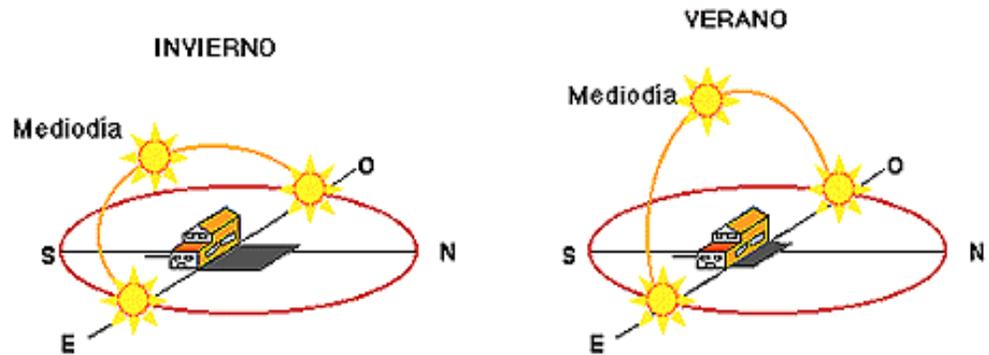
Figura 6. **Ángulo de azimut α .**



Fuente: Ingemecánica. <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn192.html>. Consulta: 18 de febrero 2015.

En este caso, para el diseño de los paneles fotovoltaicos se tomarán los datos de la ciudad de Guatemala la cual tiene una latitud y longitud de $14^\circ 40'$ N y $90^\circ 22'$ W respectivamente. Otro dato importante es que como Guatemala está sobre el hemisferio norte se verá que el sol sale por el oeste y se desplaza en dirección sur y se pone por el oeste. Es por eso que para aprovechar a lo largo del año más tiempo la luz solar, la orientación de los paneles se hace hacia el sur en el hemisferio norte y hacia el norte en el hemisferio sur. En definitiva, los paneles irán hacia el sur.

Figura 7. **Movimiento del sol en Guatemala**



Fuente: Aprendiendo Meteo. <http://blogs.larioja.com/eltiempo/category/terminos-y-conceptos/page/3/>. Consulta: 23 de febrero 2015.

Para el cálculo de la inclinación de paneles solares se hace referencia de la ecuación siguiente.

$$\beta = 3,7 + 0,69 \text{ latitud.}^5 \quad \text{Ec. 4.}$$

Donde:

- β : ángulo de inclinación respecto a la horizontal, óptimo para la instalación.
- Latitud : la latitud del área donde se va a realizar el proyecto.

1.4.2.3. **Separación entre módulos**

Las filas entre los módulos deben de tener una separación que garantice por lo menos cuatro horas de sol en torno al solsticio de invierno. Deben tener

⁵ MORO VALLINA, Miguel. *Instalaciones solares fotovoltaicas*. p. 92.

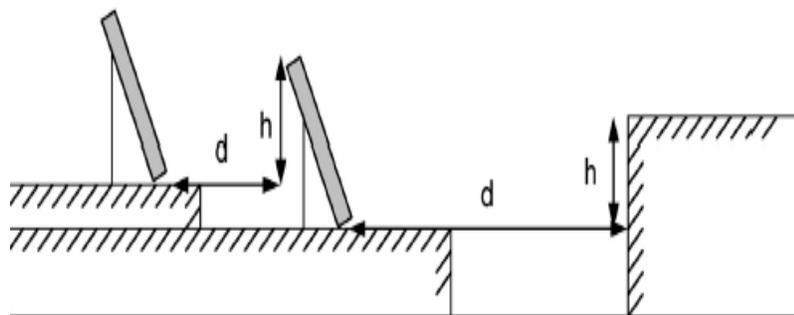
una distancia para evitar que tengan obstáculos de sombra entre ellos, de acuerdo a la ecuación siguiente.

$$d = \frac{h}{\text{tg}(61^\circ - \text{latitud})} \quad ^6 \quad \text{Ec. 5.}$$

Donde:

- h : altura del panel
- d : distancia mínima de separación entre los módulos

Figura 8. **Cálculo de separación de paneles**



Fuente: Ingelibre. <https://ingelibreblog.wordpress.com/2014/01/18/calculo-de-la-distancia-minima-entre-placas-solares/>. Consulta: 23 de febrero 2015.

1.4.3. Inversor

La principal función de un inversor es poder cambiar un voltaje de corriente continua en un voltaje de corriente alterna, con magnitud y frecuencia necesaria para poder trabajar según los usos que se necesiten, ya sea

⁶ MORO VALLINA, Miguel. *Instalaciones solares fotovoltaicas*. p. 98.

conectados a la red eléctrica o utilizados en conexiones de instalaciones eléctricas aisladas.

Un inversor consiste en un oscilador que controla a un transistor, donde su función es interrumpir la corriente entrante y hacer una onda rectangular.

La onda alimenta un transformador que suaviza su forma de onda y la hace parecer más senoidal produciendo así un voltaje de salida necesario para su funcionamiento. Para realizar una onda senoidal podemos utilizar la técnica de PWM (modulación por ancho de pulsos), haciendo que la componente principal senoidal sea mucho más grande que las armónicas superiores. En la actualidad los inversores utilizan otros tipos de transistores como los tiristores, triac y los IGBT. Se pueden utilizar condensadores e inductores para poder suavizar el flujo de corriente hacia el transformador.

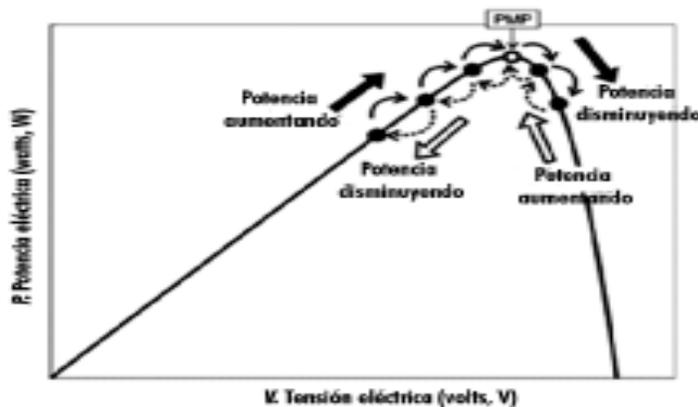
Los inversores se clasifican de varias formas: como el número de fases: pueden ser inversores monofásicos y trifásicos. Dependiendo de la configuración del sistema: inversores centrales, inversores en cadena e inversores modulares. También según el número de etapas: una etapa, dos etapas o multietapas.

En los inversores existe un sistema muy importante, el MPPT, (rastreo del punto de máxima potencia), el cual tiene como objetivo garantizar instantáneamente la operación del sistema en su punto de máxima potencia.

El MPPT da información sobre la corriente que debe ser producida a la salida del inversor, haciendo un cambio instantáneo en el flujo de la potencia inyectada a la red eléctrica, donde la tensión y corriente de los paneles fotovoltaicos son regulados por la salida del inversor. Aquí es donde el inversor

consigue maximizar la producción de energía de los paneles solares. El MPPT significa que es el punto de máxima potencia del conjunto de paneles solares el cual debe de estar situado dentro de esta banda para que el inversor pueda aumentar la energía de los paneles. Cuando los módulos están dando corriente por debajo o encima de este parámetro el MPPT, los inversores no funcionan en su máxima capacidad y se pierde eficiencia de los paneles.

Figura 9. **Gráfica del MPPT del inversor**



Fuente: Editores. <http://www.editores-srl.com.ar/>. Consulta: 2 de marzo 2015.

Otros parámetros importantes que tienes los inversores, en la entrada, según la tabla de especificaciones son:

- Tensión de máxima de entrada ($V_{ccm\acute{a}x}$). Máximo voltaje de entrada permitido en el inversor.
- Tensión mínima de entrada ($V_{ccm\acute{i}n}$). Voltaje mínimo al cual el inversor empieza a inyectar energía a la red.
- Tensión de entrada de arranque ($V_{cc, arr}$). Voltaje de entrada donde el inversor empieza a inyectar energía a la red.

- Tensión nominal de entrada ($V_{cc,n}$). Voltaje de entrada especificada por el fabricante.
 - Tensión máxima del PMP ($V_{pmpm\acute{a}x}$). Voltaje máximo al cual el inversor puede transferir su potencia nominal.
 - Tensión mínima del PMP ($V_{pmpm\acute{m}n}$). Voltaje mínimo al cual el inversor puede transferir su potencia nominal.
- Corriente máxima de entrada. Máxima corriente a la cuál puede funcionar el inversor. Si el inversor tiene múltiples SPMP (seguimientos del punto de máxima potencia), $I_{ccm\acute{a}x}$ se relaciona con cada una de las entradas individuales.

Los inversores para sistemas conectados a la red eléctrica pueden o no tener un transformador de aislamiento, este hace el sistema fotovoltaico mucho más seguro, porque permite el aislamiento completo entre el lado de corriente continua y el de corriente eléctrica. Los inversores con transformador lo tienen localizado en la etapa de pre conversión de corriente continua el cual sería un transformador de alta frecuencia o en la salida de corriente alterna, un transformador de baja frecuencia. Este último tipo de transformador es el más común y eficiente pero es más pesado y grande.

Actualmente los inversores sin transformador son más leves, compactos y eficientes, este tipo de inversores están autorizados para conectarlos a la red eléctrica y son certificados por las normas internacionales y ofrecen seguridad como los que si usan transformadores.

1.4.3.1. Cálculo de paneles por fila

Se calcula con los siguientes parámetros.

- El voltaje máximo de la fila no puede superar el voltaje máximo del seguidor MPP del inversor, o sea que esa tensión es la de circuito abierto (V_{oc}) a la mínima temperatura. Con la hoja de especificaciones del módulo se sacan los datos. De acuerdo a la ecuación 6.

$$V_{oc (tmin)} = V_{oc} + ((AV/100)*V_{oc})(T_{min}-25). \quad ^7 \quad \text{Ec.6}$$

Donde

- V_{oc} es la tensión de circuito abierto del panel.
 - 0,32 es el coeficiente de temperatura de V_{oc} .
 - 25 es la temperatura en que el panel trabaja en óptimas condiciones.
 - T_{min} es el rango de temperatura mínima en la ciudad capital, que es 6 grados centígrados.
- El voltaje mínimo de la fila no podrá ser menor a la tensión mínima del V_{Mpp} del inversor, ese voltaje mínimo será el punto de máxima potencia a la máxima temperatura. De acuerdo a la ecuación 7.

$$V_{MPP (tmax)} = V_{MPP} + ((AV/100)*V_{MPP})(T_{MAX}-25). \quad ^8 \quad \text{Ec. 7.}$$

Dónde:

- V_{MPP} es voltaje a potencia máxima.

⁷ MORO VALLINA, Miguel. *Instalaciones solares fotovoltaicas*. p. 104.

⁸ *Ibíd.* p. 105.

- 0,32 es el coeficiente de temperatura de V_{oc} .
- 25 es la temperatura en que el panel trabaja en óptimas condiciones.
- T_{max} es el rango de temperatura máxima en la ciudad capital, que es 29,9 grados.

Tomando los datos anteriores, se puede tener un dato sobre la cantidad de paneles máximos y mínimos en las filas, tomando el voltaje máximo y mínimo en Mpp de la tabla de especificaciones del inversor; entonces, de acuerdo a la ecuación 8 y 9.

$$\text{Número de módulos máximo por fila} = \frac{V_{maxMPP}}{V_{OC}(T_{MIN})} \quad 9 \quad \text{Ec. 8.}$$

$$\text{Número de módulos mínimo por fila} = \frac{V_{minMPP}}{V_{mpp}(T_{Max})} \quad 10 \quad \text{Ec. 9.}$$

1.4.4. Diseño de estructuras para los paneles

La estructura deberá ser capaz de soportar el peso del módulo y la carga que ejerza el viento sobre dichos módulos. Hay que tomar en cuenta que puede existir una dilatación térmica en dicha estructura debido a las altas temperaturas que suelen tener los paneles; por eso son necesarias las especificaciones de los fabricantes.

Los paneles deberán de tener los suficientes puntos de sujeción para evitar que salgan expulsados por la velocidad del viento. El número de paneles

⁹ MORO VALLINA. *Instalaciones solares fotovoltaicas*. Miguel. p. 104.

¹⁰ *Ibíd.* p. 105.

por fila será de 11 paneles, formando una estructura rígida, donde se tendrá una separación de 3,5 mm entre cada panel; el cual ayudará a que el aire reduzca su presión por esas áreas y ayude a la refrigeración de la estructura y de los paneles.

Esa separación entre los paneles sumado con su peso y sus estructuras de cemento que servirán de sujeción para módulos ayudarán a evitar que sean movidos por el viento, a pesar que van a estar a 10 metros de la superficie de la tierra sobre la terraza. Según los datos del INSIVUMEH, en Guatemala la velocidad del viento en kilómetros por hora alcanza los siguientes datos.

Tabla II. **Promedio anual del viento en Guatemala en kilómetros por hora**

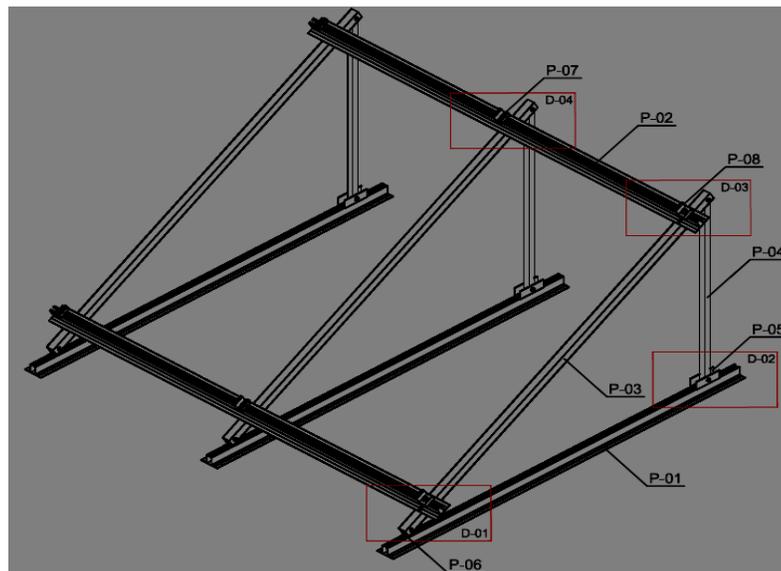
AÑO	PROMEDIO ANUAL
2000	5,3
2001	5,5
2002	6,1
2003	5,3
2004	8,9
2005	16,3
2006	17,0
2007	5,7
2008	11,3
2009	10,1
2010	9,7
2011	7,2
2012	10,2
2013	10,6
PROMEDIO	9,23

Fuente: elaboración propia.

Con los datos proporcionados por el INSIVUMEH durante los últimos 25 años, la velocidad máxima que ha tenido el viento es de 17 km por hora, el cual no es significativo para el peso de la estructura.

En el diseño contemplado para dicho proyecto se calcula hacer filas con 11 módulos de paneles, los cuales se colocarán con una estructura galvanizada y tornillería de acero galvanizado para evitar la corrosión con el paso del tiempo, ya que estará en la intemperie. La estructura tendrá los siguientes materiales.

Figura 10. **Accesorios de la estructura**



Fuente: Monsolar. <http://www.monsolar.com/estructura-de-aluminio-con-railes-para-superficie-3-paneles-60-celulas-horizontal.html>. Consulta: 6 de marzo 2015.

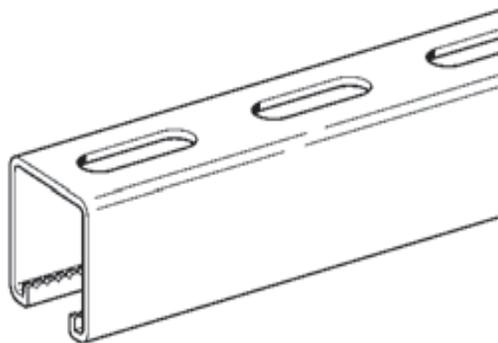
Tabla III. **Descripción de elementos a utilizar en la estructura**

PERFIL	DESCRIPCION
P01	BASE
P02	CORREA
P03	DINTEL
P04	PUNTAL
P05	UNION
P06	ROTULA
P07	OMEGA
P08	ZETA

Fuente: elaboración propia.

- Riel unicanal perforado: con este riel se hará toda la estructura, sus dimensiones son 4 x 4 x 305 centímetros. Son 15 por fila.

Figura 11. **Riel unicanal**

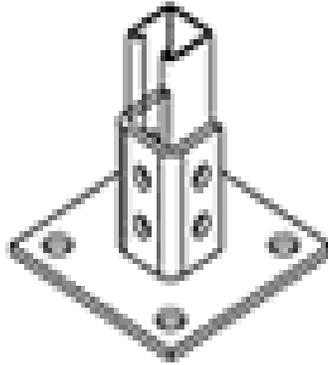


Fuente: *Unicanal*

http://sfschihuahua.dyndns.org/index.php?route=product/product&product_id=127. Consulta: 20 de marzo 2015.

- Bases serie N: para realizar la unión en la parte trasera de la estructura; son 6 en total.

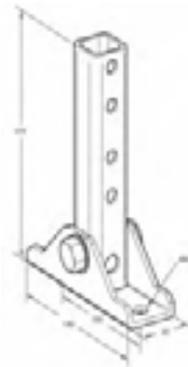
Figura 12. **Bases serie N**



Fuente: Anclo. http://www.anclo.com.mx/2_Unicanal.pdf. Consulta: 20 de marzo 2015.

- Bisagra HD05: Se utilizarán 6, las que darán la inclinación.

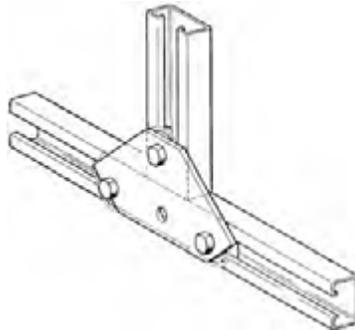
Figura 13. **Bisagra HD05**



Fuente: Anclo. http://www.anclo.com.mx/2_Unicanal.pdf. Consulta: 20 de marzo 2015.

- Hb06: 2 por cada poste, haciendo un total de 12 por fila.

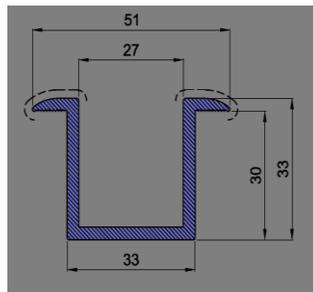
Figura 14. **Hb06**



Fuente: Anclo. http://www.anclo.com.mx/2_Unicanal.pdf. Consulta: 20 de marzo 2015.

- Omega: es la pieza para anclar los paneles a la base; son dos en cada unión de paneles, haciendo un total de 22 por fila.

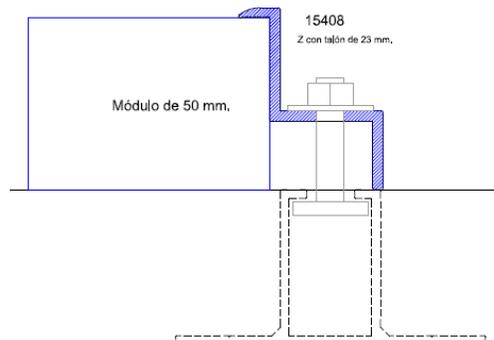
Figura 15. **Omega**



Fuente: Anclo. http://www.anclo.com.mx/2_Unicanal.pdf. Consulta: 20 de marzo 2015.

- Perfil Z: para detener los paneles solares, un total de 12 por fila.

Figura 16. **Perfil Z**



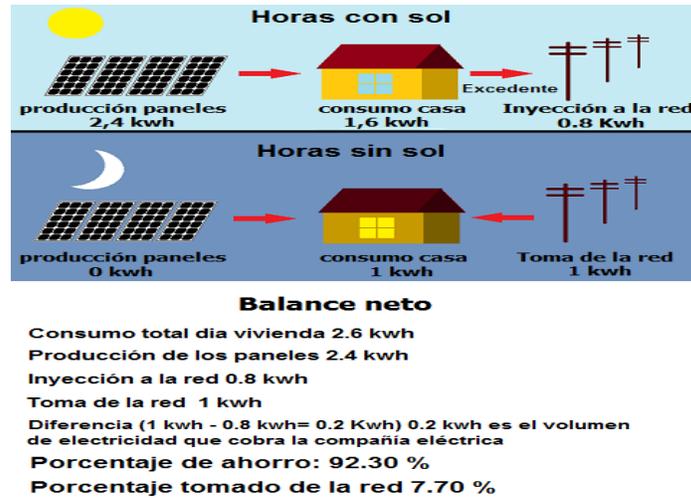
Fuente: Anclo. http://www.anclo.com.mx/2_Unicanal.pdf. Consulta: 20 de marzo 2015.

1.4.5. Medidores

Cuando se está generando energía durante el día por los paneles solares fotovoltaicos y esta energía no es consumida por todo el equipo conectado en el edificio, entonces la corriente pasa por el contador a la red eléctrica de la calle.

El contador digital está previsto para uso bidireccional ya sea que mide la corriente que entra o la que sale. Por otro lado en el momento que se necesite la corriente y los paneles no estén funcionando entonces se puede tomar energía de la red eléctrica. Al terminar cada día o el periodo establecido se contabiliza la diferencia entre la energía que se ha inyectado a la red y la que se ha tomado de la misma. Si se ha consumido más corriente que la que se produce entonces la empresa eléctrica cobrará la diferencia. Si el caso es contrario y se produce más de la que se consume entonces la empresa guarda la diferencia para restarla en el momento que sea necesario, en épocas del año donde se produce menos corriente.

Figura 17. **Funcionamiento de un medidor bidireccional**



Fuente: Conectados a la red eléctrica. <http://soleos-solar.com/es/systems/grid-connected/>.

Consulta: 8 de abril 2015.

1.5. Dimensionamiento de los cables y cajas de conexión en ac y dc

Para los tramos de corriente continua se utiliza cable solar general cable el cual es especial para estar expuesto a la intemperie, sus características son resistencia a la intemperie y resistencia mecánica, Tensión 1,8 kV DC - 0,6 / 1 kV AC, el cual va montado sobre una canaleta.

Para el cálculo de las secciones en los tramos de corriente continua se utilizará la ecuación 9.

$$s = \frac{2 \times l \times I_{cc}}{u \times C} \quad 11 \quad \text{Ec. 10.}$$

¹¹ BLANCO SARDINERO, Israel. *Instalación solar fotovoltaica instalada sobre la azotea de una nave industrial*, pág. 39. Consulta: 8 de abril 2015.

Dónde:

- S : sección teórica del conductor en $[\text{mm}^2]$.
- l : longitud del conductor $[\text{m}]$.
- I_{cc} : corriente máxima que va a circular por los conductores y es la de cortocircuito de los paneles $[\text{A}]$.
- u : caída de tensión $[\text{V}]$ que como máximo podrán tener los conductores. Según el pliego de condiciones técnicas del IDAE, la máxima caída de tensión permitida en conductores de continua es del 1,5 %.
- C : es la conductividad del material a utilizar, como utilizaremos cobre su conductividad es $57 \text{ m}/\Omega * \text{mm}^2$.

Para el tramo de corriente alterna será diferente, ya que será para un voltaje trifásico con su neutro y tierra. La sección mínima que se utilizará en los conductores vendrá dada por la ecuación 11.

$$S = \frac{\sqrt{3} \times l \times I}{u \times C} = \frac{lP}{u \times C \times U_L} \quad 12 \quad \text{Ec. 11.}$$

- S : es la sección teórica del conductor en $[\text{mm}^2]$.
- l : es la longitud del conductor $[\text{m}]$.
- u : es la caída de tensión $[\text{V}]$ que como máximo podrán tener los conductores. Según el pliego de condiciones técnicas del IDAE, la máxima caída de tensión permitida en conductores de alterna es del 2%.
- P : es la potencia máxima que transporta el cable $[\text{W}]$.

¹² BLANCO SARDINERO, Israel. *Instalación solar fotovoltaica instalada sobre la azotea de una nave industrial*, pág. 39. Consulta: 8 de abril 2015.

- C : es la conductividad del elemento que forma el conductor, en este caso siempre se utilizara cobre y su conductividad es $57m/\Omega * mm^2$.
- U_L : es la tensión de línea de la red [V].

1.6. Protecciones eléctricas

Los equipos de un sistema eléctrico pueden estar sujetos a fallas que afectan el servicio y al mismo tiempo pueden arruinar el equipo eléctrico, afectando a los equipos instalados entre el punto de la falla y el generador, los cuales no son responsables del defecto. El objetivo principal de un sistema de protección es la detección, localización y desconexión en forma automática del equipo afectado, con el fin de disminuir al mínimo los efectos prolongados en estado de falla sobre la instalación. Para cumplir con estas funciones, el sistema de protección debe cumplir las siguientes condiciones fundamentales:

- Selectividad: los sistemas de protección eléctrica debe tener la seguridad de sacar de servicio únicamente la porción de la red afectada por la falla.
- Estabilidad: el sistema de protección no operará para fallas que se encuentran fuera del tramo.
- Confiabilidad: determina la seguridad de que cada dispositivo opera en todas las ocasiones.

1.6.1. Protecciones de corriente continúa

Las protecciones en corriente continua serán la que corresponden de la sección de los paneles hasta la entrada de los inversores, tomando en cuenta que las estructuras irán conectadas a tierra, donde los paneles eléctricos traen ya sus protecciones de diodos.

Al final de cada fila de paneles eléctricos se conectarán cajas combinadoras las que tendrán varias funciones las cuales se describirán paso a paso cada uno de sus componentes y los beneficios que tendrán.

1.6.1.1. Cajas combinadoras

Las cajas combinadoras protegen los paneles de cortocircuitos, dan un alto rendimiento para el control de generadores fotovoltaicos. Las cajas minimizan el número de cables de corriente continua que entran al inversor, con ellas se puede conectar en paralelo las filas de paneles y protegerlos a la vez. Algunos modelos tienen dispositivos que ayudan a monitorear las corrientes continuas, que circulan en las diferentes filas de paneles fotovoltaicos. Ayudan a evaluación y localización de fallas en las filas, ayudando a disminuir el tiempo de parada, mejorando los mantenimientos preventivos y correctivos en la instalación.

Las características principales de las cajas combinadoras son:

- Comunicación de puertos RS232 y RS485 para poder comunicarse a computadoras.
- Conexión de más de 16 cadenas en paralelo.
- Seccionador manual para la desconexión.
- Carcasa con nivel de protección para el exterior.

- Protocolo de comunicación e historial de alarmas.
- Fusibles para cada entrada.

También tienen entradas analógicas las cuales ayudan a conectar sensores para medir la temperatura de radiación.

Las cajas combinadoras constan de tres parámetros para el control:

- Tolerancia porcentual: es el porcentaje máximo de desviación de un canal de medida con respecto al canal con una corriente máxima por encima de la cual se activa una condición de alarma.
- Tiempo de intervención: tiempo en segundos durante el cual debe estar en forma de alarma antes de que se “active” y sea enviada hacia la computadora.
- Umbral mínimo de intervención porcentual: valor de corriente en porcentaje en el cual no se realiza comparación entre las cadenas.

1.6.1.2. Software de configuración de caja combinadora

Se puede conectar una caja combinadora por medio de una computadora para llevar un mejor control de los diferentes parámetros, el cual debe ser conectado por medio de un cable serial RS232. Cuando se active el *software* aparecerán varios parámetros en diferentes ventanas.

- Corriente de filas: En esta gráfica se verán de forma numérica y gráfica, la cual será de dos colores: verde que indica que todo está bien y rojo cuando sobrepasa los valores establecidos con anterioridad.
- Voltaje de alimentación. Estado de alarma si pasa los 14 V o inferior a 10V.
- Link. La tarjeta de control no detecta la tarjeta de potencia.
- Alarmas. Esta muestra la cantidad de alarmas ocurridas en las filas desde que se colocó en cero la última vez el contador.

Las protecciones de corriente continua son:

- Diodo: se encuentra en la entrada de los paneles y queda como un alambre conductor en el caso de ocurrir sombras para no afectar el sistema, protege también contra corrientes inversas.
- Protecciones de sobre corriente (interruptor automático): la función principal es de abrir o interrumpir un circuito eléctrico, cuando excede la corriente eléctrica del valor estipulado, o cuando existe un cortocircuito para evitar daños en el equipo. La función del fusible es abrirse cuando exista una corriente elevada a su valor designado, protege el conductor de sobre intensidades soportando la corriente de carga y detecta una sobre corriente, tiene la capacidad de hacer una interrupción de forma segura de las corrientes continuas. Los limitadores de corriente deben tener por lo menos la capacidad del 125 % de la corriente de corto circuito. La sobrecorriente se puede dar por cortocircuito, falla a tierra o sobrecarga. De acuerdo a la ecuación 12.

$$I_b \leq I_n \leq I_z. \quad ^{13} \quad \text{Ec. 12.}$$

¹³ Bticino. http://www.bticino.com.pe/catalogos/book/GUIATECNICA_2.pdf. Consulta: 18 de abril 2015.

Dónde:

- I_b : corriente de utilización
 - I_n : es la corriente nominal
 - I_z : es la corriente máxima admisible a proteger
-
- El interruptor termomagnético: es un dispositivo que tiene la capacidad de interrumpir la corriente eléctrica de un circuito cuando por el pasan ciertos valores máximos. Su funcionamiento se basa en dos de los efectos producidos por la circulación de corriente eléctrica en un circuito: el magnético y el térmico (efecto Joule). El dispositivo consta de dos partes: un electroimán y una lámina bimetálica, conectadas en serie y por las que circula la corriente que va hacia la carga.

Al circular la corriente por el electroimán, crea una fuerza mediante un dispositivo mecánico, el cual abre el contacto C, pero sólo podrá abrirlo si la intensidad I que circula por la carga sobrepasa el límite de intervención fijado. El nivel de apertura está entre 3 y 20 veces la corriente nominal y actúa en unas 25 milésimas de segundo. Aquí es para protección contra cortocircuitos, donde hay un aumento rápido y grande de corriente.

La lámina bimetálica, de color rojo, que al calentarse por encima de un determinado valor, tiene un dispositivo mecánico el cual hace la apertura del contacto C.

La lámina bimetálica sirve para abrir el circuito cuando el consumo es mayor conforme se conectan aparatos.

Ambos dispositivos se complementan en su acción de protección, el magnético para los cortocircuitos y el térmico para las sobrecargas.

Aparte el aparato está provisto de una palanca que permite la desconexión manual de la corriente.

1.6.2. Protecciones en corriente alterna

Para el cálculo del interruptor termomagnético en corriente alterna se usa la fórmula que sigue tomando en cuenta que es en corriente trifásica.

La corriente I_b viene dada por la ecuación 13.

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} U \cos \theta}^{14} \quad \text{Ec. 13.}$$

¹⁴ Centro integrado de formación profesional. http://www.cifp-mantenimiento.es/e-learning/index.php?id=2&id_sec=8. Consulta: 24 de abril 2015.

Tabla IV. **Dispositivos de protección del inversor**

Dispositivos de desconexión de la interconexión	Debe de estar en un lugar de fácil acceso y visible.
Dispositivos de desconexión del generador	Es el interruptor principal termomagnético que está ubicado después del contador bidireccional el cual al desconectarse se elimina toda la generación; además, cuenta con un interruptor electromagnético que está ubicado en el tablero de distribución el cual desconecta solo un inversor.
Disparo por sobretensión	Esta protección la realiza internamente el inversor por medio del Mppmax.
Disparo por baja tensión	Esta protección la realiza internamente el inversor por medio del Mppmin.
Disparo por sobrefrecuencia y baja frecuencia	Internamente el inversor tiene una función de protección de ± 1 .
Chequeo de sincronismo puede ser automático o manual	El inversor internamente tiene esta función automática de sincronizar el inversor con la red de distribución.
Disparo de potencia inversa	El inversor internamente en el lado de CC cuenta con la protección de potencia Inversa.
Disparo para cuando no hay tensión en la red en, otras palabras anti isla	En la salida del inversor se tiene protección anti isla.

Fuente: elaboración propia.

El inversor funciona a operación máxima a una altitud no mayor de 2 000 metros y el proyecto se encuentra a una altitud de 1 503 metros sobre el nivel del mar por lo que sí es adecuado.

1.6.3. Protección contra descargas electroatmosféricas

Los sistemas de protección de descargas atmosféricas o simplemente pararrayos son elementos metálicos cuya función es ofrecer un punto de incidencia para recibir la descarga atmosférica y un camino controlado para la conducción y disipación posterior de la corriente del rayo a tierra. Se compone de tres partes:

- Pararrayos propiamente dicho
- Cable o elemento conductor
- Tierra física

Los pararrayos se utilizan en:

- Edificios o zonas abiertas con concurrencia de público.
- Edificaciones de gran altura y en general, construcciones elevadas.
- Construcciones y depósitos en los que se manipulen y/o contengan materiales peligrosos.
- Edificios que contengan equipos o documentos especiales vulnerables.

Las normas actuales de pararrayos pretenden, como objetivo de la protección del rayo, salvar la vida de las personas e instalaciones y remarcan que no existe una protección absoluta contra el rayo, sino una protección adecuada.

El electrodo es una estructura cerrada (cuerpo gaussiano) 100 % de cobre, con placa triangular arriba y cono en la parte baja (efecto capacitivo) que permite generar un área catódica en la parte superior y anódica en la parte inferior logrando obtener una alta capacidad y confinamiento a tierra, de manera acentuada gracias a su terminación en punta.

1.6.3.1. Nivel cerámico

El nivel cerámico se refiere al número de días promedio en un año en el cual exista actividad de tormentas eléctricas en alguna región determinada, el nivel cerámico se mide en días de tormenta en Km²/año. Las regiones que están más cerca al ecuador tienen un nivel cerámico elevado.

Tabla V. Nivel cerámico en Guatemala

No. Departamento	Nombre de la estación	Valor Cerámico
1	Alta Verapaz, Cobán	5 3
2	Chiquimula, Esquipulas	68
3	Escuintla, Puerto San José	119
4	Guatemala, Aeropuerto	69
5	Huehuetenango, Huehuetenango	64
6	Izabal, Puerto Barrios	117
7	Jutiapa, Montufar	60
8	Peten, Flores	107
9	Quetzaltenango, Labor Ovalle	66
10	Retalhuleu	158
11	Zacapa, La Fragua	64

Fuente: TOMAS, Gilberto Rafael. www.biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0518_EA.pdf.

Consulta: 12 de mayo 2015.

Para la realización de este proyecto que estará ubicado en los edificios de Farmacia y Ciencias Químicas de la Universidad de San Carlos de Guatemala se utiliza la norma NFPA 780 que ayuda a proporcionar los medios necesarios para la protección de personas y el equipo en general de los edificios, a cualquier exposición a los rayos atmosféricos.

1.6.3.2. Nivel de riesgo

La entidad encargada de recopilar esta información en Guatemala es el INSIVHUMEH que mide la precipitación de rayos en distintos puntos del país. La cantidad de impactos se mide por medio del método GIGRE el cual se calcula de la siguiente manera, de acuerdo a la ecuación 14.

$$N_s = 0,04N_k^{1,25} \quad ^{15} \quad \text{Ec. 14.}$$

Donde:

- N_s : densidad de rayos a la tierra en $\text{Km}^2/\text{año}$
- N_k : nivel cerámico

Área de captación equivalente (A_e). Que hace referencia a la superficie del terreno que tiene la misma probabilidad anual de rayos directos que la estructura.

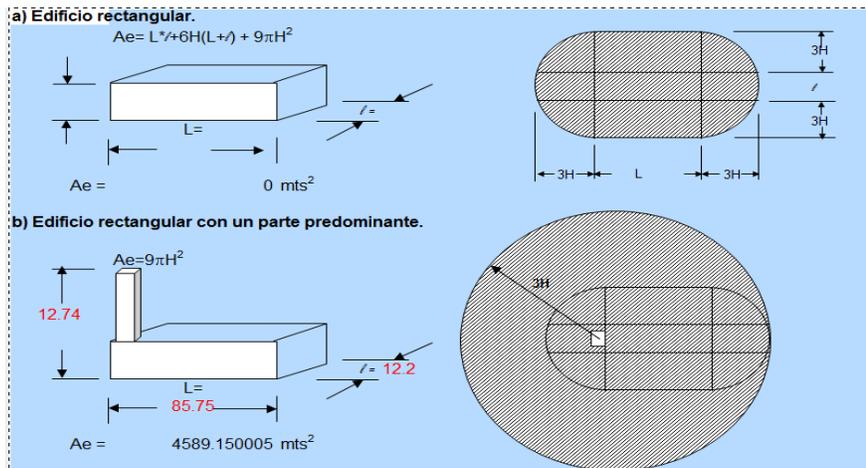
¹⁵ HARPER, Enríquez. *ABC en instalaciones eléctricas en edificios y comercios*. p. 388.

Tabla VI. **C1 Coeficiente ambiental**

Situación relativa a la estructura	C1
Estructura ubicada dentro de un espacio que contiene estructuras o arboles de la misma altura o más altos dentro de una distancia de 3H	0,25
Estructura rodeada por estructuras más pequeñas dentro de una distancia de 3H	0.5
Estructura aislada, no hay otras estructuras ubicadas dentro de una distancia de 3H	1
Estructura aislada sobre la cima de una colina	2

Fuente: elaboración propia.

Figura 18. **La superficie equivalente de captura para un edificio rectangular**



Fuente: elaboración propia.

$$Ae = 9\pi H^2. \quad ^{16} \quad \text{Ec. 15.}$$

¹⁶ HARPER, Enríquez. *ABC en instalaciones eléctricas en edificios y comercios*. p. 394. C

$$N_d = N_s A_e C_1 * 10^{-6} \quad ^{17} \quad \text{Ec. 16.}$$

Cálculo de la frecuencia aceptable de impactos de rayo sobre la estructura (Nc), de acuerdo a la ecuación 16.

$$N_c = 1,5 * 10^{-3} / (C_2 * C_3 * C_4 * C_5). \quad ^{18} \quad \text{Ec. 17.}$$

Donde

- C2: es el Coeficiente estructural
- C3: es el Contenido de la estructura
- C4: es la ocupación de la estructura
- C5: son las consecuencias de una descarga

Tabla VII. **C2, Coeficiente de estructura**

ESTRUCTURA	C2, coeficiente de estructura		
	Metal	Común	Inflamable
Metal	0,5	1	2
Común	1	1	2,5
Inflamable	2	2,5	3

Fuente: elaboración propia.

¹⁷ HARPER, Enríquez. *ABC en instalaciones eléctricas en edificios y comercios*. p. 396.

¹⁸ *Ibíd.* p. 399.

Tabla VIII. **C3, Contenido de la estructura**

C3, Contenido de la estructura	
Sin valor o no inflamable	,5
Valor común o normalmente inflamable	
Gran valor o particularmente inflamable	
Valor muy inflamable, explosivo	0

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. **C4 Ocupación de la estructura**

C4 Ocupación de la estructura	
No ocupada	,5
Ocupada normalmente	
De difícil evacuación o riesgo de pánico	

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **C5 Consecuencias sobre el entorno**

C5 Consecuencias sobre el entorno	
Sin necesidad de continuidad en el servicio y alguna consecuencia sobre el entorno	1
Necesidad de continuidad y alguna consecuencia para el entorno	5
Consecuencias para el entorno	10

Fuente: elaboración propia.

Verificando las tablas y analizándolas se toman los datos para C como siguen.

La eficiencia, de acuerdo a la ecuación 18.

$$E = 1 - \frac{N_c}{N_d} \quad ^{19} \text{ Ec. 18.}$$

1.6.3.3. Pararrayos PDC INGESCO

Este es el modelo de pararrayos para el proyecto. Está normalizado por la norma UNE 21.186, el cual consta de un elemento de cebado el cual no es electrónico y puede ser utilizado en todo tipo de edificios, es fabricado de acero inoxidable de tipo AISI 316 con resina, no necesita de una fuente de alimentación externa y sigue funcionando después de un impacto de rayo.

Figura 19. Pararrayos ingesco



Fuente: Ingesco. <http://www.ingesco.com/es/productos/proteccion-externa2/productos-proteccion->. Consulta: 20 de mayo 2015.

Las partes de la instalación del pararrayos son:

- **Mástil o asta:** es la estructura que soporta el captador, es un tubo de cobre que se debe acoplar con un aislador externo, el cual se utiliza para sostener el captador y funciona como un conductor metálico

¹⁹ HARPER, Enríquez. *ABC en instalaciones eléctricas en edificios y comercios*. p. 399.

respectivamente. En sus dimensiones tiene una longitud entre 3 y 5 metros con un radio de 25 mm

- Base de hierro fundido para mástiles: esta base se utiliza para el soporte del mástil, la cual por lo general es de hierro fundido.
- Conductor de bajada: es el conductor que realiza la conexión entre el mástil, el captador y el electrodo de tierra, el cual es de cobre comercial.
- Electrodo de tierra: son los encargados de distribuir la corriente en el suelo, el cual debe de tener como máximo de 10 Ω , para los edificios. Por eso se hará una delta igual al sistema de tierras y se interconectarán entre ellas.

Para conocer el tipo de pararrayos a utilizar se debe basar en la siguiente tabla; tomando en cuenta el área a proteger, de acuerdo a la norma CTE, (código técnico de la edificación).

Tabla XI. **Niveles de protección: radios de protección calculados según el código técnico de la edificación**

MODELO		PDC 3.1	PDC 3.3	PDC 4.3	PDC 5.3	PDC 6.3
No. Cat.		101000	101001	101003	101005	101008
$\Delta L =$		15	25	34	43	54
NIVEL	I	35m	45m	54m	63m	74m
NIVEL	II	45m	55m	64m	73m	84m
NIVEL	III	60m	70m	79m	88m	99m
NIVEL	IV	75m	85m	94m	103m	114m

Fuente: Ingescos. <http://www.ingescos.com/>. Consulta: 20 de mayo 2015.

Las características de este tipo de pararrayos serán:

- Eficiencia de descarga del 100 %
- Nivel de protección elevada
- Continuidad eléctrica
- No necesita fuente de alimentación
- Resistencia a la temperatura e intemperie

PDC es un pararrayos que tiene una punta captadora con dispositivo de cebado, donde el cebado es un fenómeno físico que se extiende entre la aparición de pequeñas partículas de efecto corona y la propagación continua de un trazador ascendente, que es una descarga que sube y se desarrolla en dirección de la nube.

1.6.4. Puesta a tierra

Una red de tierras o tierra física es un conjunto de elementos formados por electrodos, conexiones, cables y líneas de una instalación eléctrica que dejan conducir y disipar la corriente no deseada a la tierra, ya que el suelo es considerado como un conductor de la corriente eléctrica, de manera que un conductor conectado a ella pasa a tener el mismo potencial y este es también llamado tierra.

Una red de tierra evita que sufran daños, tanto las personas como los equipos, en caso de una corriente de falla. También se representa comúnmente por las siglas GND. Es identificado con cables de color verde, amarillo, verde-amarillo o un cable desnudo.

Se debe instalar un sistema de puesta a tierra porque ante una descarga atmosférica o un cortocircuito, sin tierra física, las personas estarían expuestas a una descarga eléctrica o los equipos se arruinarían.

Entonces, la ejecución correcta del sistema de puesta a tierra brinda importantes beneficios tales como:

- Estabilizar los voltajes fase a tierra en líneas eléctricas bajo condiciones de plena carga.
- Asegura que una falla del embobinado pueda manejarse por la protección primaria.
- brinda una trayectoria para las corrientes inducidas y así minimizar el ruido eléctrico en cables.
- Da voltaje equipotencial sobre el cual pueda operar correctamente el equipo electrónico.

La corriente eléctrica siempre busca donde hay menor resistencia, y al llegar a tierra se disipa.

La puesta a tierra se debe instalar en:

- En pararrayos.
- Las antenas de TV y FM.
- Los tomacorrientes y las masas metálicas de baños y cocinas.
- Las estructuras metálicas.
- En los tubos metálicos de: agua, calderas, depósitos, instalaciones de ascensores y en todo elemento metálico que pueda entrar en contacto con un cable bajo tensión.

1.6.4.1. Normas sobre el valor de resistencia

Idealmente, una conexión a tierra debe tener una resistencia de cero ohmios. La NFPA y la IEEE recomiendan un valor de 5 Ohm o menos. En México, la Secretaria del Trabajo y Previsión Social en su norma NOM-STPS-022-2008 indica lo siguiente: “Asegúrese de que la resistencia para sistema de tierras sea menor a 10 Ohm y para sistema de pararrayos menor a 25 Ohm. La industria de las telecomunicaciones con frecuencia ha utilizado 5,0 ohmios o menos como su valor para conexión a tierra. El objetivo es lograr el mínimo valor de resistencia”²⁰.

1.6.4.2. Método Werner

También llamado el método de los cuatro puntos, sirve para medir la resistividad del suelo, es el más preciso y conocido. El método obtiene la resistividad del suelo para partes profundas sin enterrar mucho los electrodos. Los resultados no se ven afectados por la resistencia del electrodo; el método consiste en enterrar electrodos en cuatro agujeros en el suelo a una profundidad “b” y espaciados a una distancia “a” en línea recta.

Los electrodos de medición pueden ser colocados en todas direcciones como a una inmensidad de distancias entre ellas. Aunque es el mismo punto de medida, las lecturas no son idénticas; a veces ni en terrenos vírgenes debido a la presencia de corrientes de agua o de capas de distinta resistividad.

Una corriente “I” se inyecta entre dos electrodos externos y un potencial “V”, los dos electrodos internos están medidos por el medidor. El medidor mide

²⁰ Stps. <http://www.stps.gob.mx/bp/secciones/dgsst/normatividad/normas/nom-022.pdf>.
Consulta: 25 de mayo 2015.

la resistencia R del volumen del suelo cilíndrico del radio “a” encerrado en los electrodos internos. La resistividad es aproximada, de acuerdo a la ecuación 19.

$$\rho = \frac{4\pi AR}{\left[1 + \frac{2A}{(A^2 + 4B^2)^{0.5}}\right] - \left[\frac{2A}{(4A^2 + 4B^2)^{0.5}}\right]} \quad 21 \text{ Ec. 19.}$$

Donde:

- ρ : resistividad promedio a la profundidad (A) en ohm-m
- A : distancia entre electrodos en metros
- B : profundidad de enterrado de los electrodos en metros
- R : lectura del terrometro en ohms

Si la distancia enterrada B es pequeña comparada con la profundidad de A, o sea que A es mayor que 10 B, la ecuación se simplifica de acuerdo a la ecuación 20.

$$\rho = 2\pi AR. \quad 22 \text{ Ec. 20.}$$

1.6.4.3. Selección del tipo de puesta a tierra

Resulta necesario colocar varias barras o varillas para lograr una buena conexión a tierra. Sin embargo, si las varillas (u otros elementos metálicos) se entierran en una zona pequeña (cercanos entre sí), los flujos de corriente utilizarán las mismas trayectorias y se disminuye la capacidad de conducción del suelo. Esto se debe al coeficiente de agrupamiento que depende del número de varillas y la separación entre ellas.

²¹ CASAS-OSPINA, Favio. *Tierras soporte de la seguridad eléctrica*. p. 223.

²² *Ibíd.* p. 130.

En la sección 250,4 del NEC, los sistemas de puesta a tierra deben limitar las corrientes de rayo, sobretensiones o contacto de personas con masas o estructuras, por lo que las envolventes de los equipos se deben aterrizar conectados entre sí para formar una conexión equipotencial de los equipos eléctricos.

Se utilizarán varillas de cobre de 5/8 de pulgada por 8 pies de largo.

$$\frac{5}{8} \text{ pulg} \times \frac{2,54 \text{ cm}}{1 \text{ pulg}} = 1,5875 \text{ cm} = 0,015875 \text{ m}$$

$$8 \text{ pies} \times \frac{1 \text{ m}}{3,2808 \text{ pie}} = 2,4384 \text{ m}$$

Para realizar el cálculo del sistema de tierras para los edificios de la Facultad de Farmacia, se realizará un sistema de tierras con tres varillas conectadas en delta para obtener un valor eficaz y necesario para la red de tierras. Se basará de acuerdo a la ecuación 21.

$$R = \frac{\rho}{6\pi l} \left[\ln \left(\frac{4}{a} \right) - 1 + \frac{2l}{D \sin \frac{\pi}{3}} \right] \quad 23 \quad \text{Ec. 21.}$$

Donde:

- ρ : resistividad
- l : largo de la varilla en metros
- a : diámetro de la varilla en metros
- D : separación de la varilla de 5 metros mínimo

²³ CASAS-OSPINA, Favio. *Tierras soporte de la seguridad eléctrica*. p. 130.

1.6.5. Supresores y filtros

En la actualidad las instalaciones son vulnerables a los rayos, los cuales pueden causar fluctuaciones que pueden causar daños en los sensibles equipos electrónicos. Los supresores de transientes son la primera línea de defensa contra las fluctuaciones eléctricas que ingresan a las estructuras a través de líneas de alta tensión. Mediante el filtrado y la disipación de los efectos nocivos por las subidas de tensión, los supresores ayudan a prevenir incendios de origen eléctrico y proteger los sistemas eléctricos.

Sus beneficios son:

- Disminuir daños por rayos
- Protección por impulsos transitorios en maniobras eléctricas
- Filtro de señales de frecuencia superior a 1 kHz

1.6.6. Fluctuaciones de voltaje (*flikers*)

Es una variación de la intensidad luminosa que afecta la vista humana principalmente en el rango de 0 a 25 Hz. De variaciones de luminosidad debido a las fluctuaciones de tensión de la red. Las fluctuaciones son producidas por los equipos o cargas conectadas a la red. Las principales generadoras de fluctuaciones de voltaje son: hornos de arco, soldadoras de arco, arranques de grandes motores, sistemas de tracción eléctrica de corriente alterna, compresores, bombas, grupos elevadores, etc.

1.7. Calidad de potencia

La calidad de potencia tiene la finalidad de garantizar el buen funcionamiento de los equipos conectados a la red. La alteración de la forma de onda tiene lugar en los procesos de producción, transporte y distribución, así como en la utilización de determinados receptores que generan perturbaciones; siendo estos factores inevitables pero si se pueden minimizar. Hoy en día la frase calidad de potencia incluye cualquier desviación de la onda senoidal perfecta.

La calidad de potencia ahora se relaciona a transitorios de corta duración así como también a distorsiones de estado continuo.

- Transcientes: los transcientes son una elevación de tensión. El problema es que es una elevación violenta del nivel de tensión entre una o más fases, en tiempos cortos como nanosegundos llegando hasta micro segundos. Las tensiones llegan a niveles que oscilan entre 50 y 20 000 voltios. La conmutación mecánica produce un arco voltaico y él se convierte en elevación de voltaje.
- Swell: es una elevación de tensión de su valor eficaz entre el 1,1 y el 1,8 de la tensión de funcionamiento normal con una duración de entre medio ciclo y algunos segundos.
- Sag: también llamados huecos de tensión, es una disminución del valor eficaz de la tensión entre el 0,9 y el 0,1 de la tensión normal y con duración desde medio ciclo hasta algunos segundos.
- Distorsión de armónicas: los armónicos son múltiplos de la frecuencia fundamental del trabajo con que opera la red eléctrica y cuya amplitud va decreciendo conforme aumenta el múltiplo. En el caso de sistemas alimentados a la red a 60 Hz, pueden aparecer armónicos de 120 Hz,

180 Hz, 240 Hz, etc. La presencia de este fenómeno causa los siguientes efectos:

- Incremento del valor de corriente Irms, lo que genera sobrecargas, calentamiento y pérdidas que aceleran el envejecimiento en cables de potencia, transformadores, bancos de capacitores.
- Torques oscilatorios en motores y generadores.
- Todos los aparatos y componentes eléctricos deben dimensionarse para la corriente Irms anteriormente mencionada.
- Distorsión de la tensión de alimentación, causando perturbaciones en los equipos más sensibles.

1.8. Análisis económico

Para poder ver si el proyecto es viable se necesita conocer el beneficio que se tendrá al generar electricidad, tomando en cuenta el costo y el tiempo en el que se podrá recuperar la inversión, con estos datos se observa si es rentable dicha inversión.

1.8.1. El valor presente neto VPN

El valor presente neto servirá para hacer una correcta decisión sobre las inversiones tomando en cuenta los siguientes criterios.

- $VPN < 0$, Hay que tener cuidado con la inversión porque pueden haber pérdidas.
- $VPN = 0$, Puede recuperar la inversión y lograr un poco de ganancia.
- $VPN > 0$, Se recupera la inversión y genera ganancias grandes.

Figura 20. **Fórmula del valor presente neto**

Figura 2: Fórmula del VPN

$$\text{VPN} = - \text{Inversión inicial} + \sum_{n=1}^T \frac{\text{FN}_n}{(1+r)^n}$$

$$= - \text{Inversión inicial} + \frac{\text{FN}_1}{(1+r)^1} + \frac{\text{FN}_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{\text{FN}_n}{(1+r)^n}$$

...donde,
 FN = Flujo neto de cada periodo
 r = Tasa de descuento
 n = Número de periodo

Fuente: Valoración de empresas. <http://www.monografias.com/trabajos93/valoracion-de-empresas/valoracion-de-empresas.shtml>. Consulta: 29 de mayo 2015.

1.8.2. La tasa interna de retorno TIR

Para el análisis se considera el VPN como cero, sirve para ver la rentabilidad del proyecto, ayuda a decidir sobre si se acepta o no el proyecto, esta es comparada con una tasa mínima, si la tasa que da la TIR supera la tasa mínima se acepta la inversión.

Figura 21. **Formula de la TIR**

$$\text{TIR} = \sum_{t=1}^n [\text{FC}_t / (1+i)^t] - I_0 = 0$$

Donde:
 I₀ = inversión inicial
 FC = flujo de caja del proyecto (ingresos menos egresos)
 i = tasa de descuento o costo de oportunidad del capital
 t = tiempo
 n = vida útil del proyecto.

Fuente: Valoración de empresas. <http://www.monografias.com/trabajos93/valoracion-de-empresas/valoracion-de-empresas.shtml>. Consulta: 29 de mayo 2015.

1.9. Normas y reglamentos para sistemas de generación renovable y protecciones

La norma de GDR (generación distribuida renovable) fue modificada recientemente en el 2014, la cual según la resolución CNEE-227-2 014, indica que su aporte de potencia debe ser menor o igual a 5 MW. Donde sus instalaciones serán conectadas a las líneas de transmisión del distribuidor. El objetivo de la norma es establecer las disposiciones que deben cumplir los distribuidores, los generadores distribuidos renovables y los usuarios auto productores con excedentes de energía, para su conexión, operación, control y comercialización de energía eléctrica producida con fuentes renovables.

Para poder obtener una autorización de conexión de GDR es necesario presentar al distribuidor una solicitud de dictamen de capacidad y conexión usando el formulario establecido, el cual se puede obtener en el sitio web: www.cnee.gob.gt. Los estudios eléctricos de impacto a la red, los realiza el distribuidor.

El interesado debe pagar los costos y todo lo necesario concerniente a la construcción de la línea y equipos o instalaciones necesarios. Desde la planta generadora hasta el punto de conexión, incluyendo el último elemento de maniobras entre las instalaciones del GDR y las existentes del distribuidor.

En Guatemala no hay legislaciones de GDR, por consiguiente, se puede apoyar utilizando normas internacionales tales como ANSI, IEEE o IEC, en lo que corresponda, siempre que sean utilizables, dentro del contexto de la norma y que no contradigan su contenido.

Tabla XII. **Requerimientos de conexión para GDR**

Tipo de conexión	Capacidad			
	Monofásico (5)	Trifásico		
Características	Menor o igual a 50 kW	Menor o igual a 500 kW	Mayor de 500 hasta 2000 kW	Mayor de 2000 kW hasta 5000 kW
Dispositivos de interrupción (capacidad de interrumpir la máxima corriente de falla)	X	X	X	X(4)
Dispositivo de desconexión de la interconexión (manual, con bloqueo, visible, accesible)	X	X	X	X

Dispositivo de desconexión del generador	X	X	X	X
Disparo por sobretensión	X	X	X	X
Disparo por baja tensión	X	X	X	X
Disparo por sobre/baja frecuencia	X	X	X	X
Chequeo de sincronismo (A: Automático, M: Manual)	X-A/M (1)	X-A/M (1)	X-A (1)	X-A (1)
Disparo por sobre corriente a tierra		X- (2)	X- (2)	X- (2)
Disparo de potencia inversa		X- (3)	X- (3)	X- (3)
Si exporta, la función de la dirección de potencia puede ser usada para bloquear o retrasar el disparo por baja frecuencia			X	X
Disparo por telemetría/transferido				X
Regulador automático de tensión				X- (1)
Disparo por falta de tensión en la red (Relé anti-isla)	x	x	x	X

Notas:

- (X) - Característica requerida (sin marca = no requerida).
- (1) - Requerida para instalaciones con capacidad de autosuficiencia u operación aislada.
- (2) - Puede ser requerido por el Distribuidor; selección basada en el sistema de aterrizamiento.
- (3) - Requerida para verificar la no exportación al Sistema de Distribución, a menos que la capacidad del generador sea menor que la carga mínima que pueda tener como usuario.
- (4) - El GDR con exportación al Sistema de Distribución tendrá ya sea dispositivos redundantes o los listados.
- (5) La potencia máxima permitida para Generadores monofásicos es de 50 kW.

Fuente:CNEE

<http://www.cnee.gov.gt/estudioselectricos/Normas%20Tecnicas/08%20NTGDR.pdf>. Consulta:

20 de junio 2015.

Los usuarios auto productores con excedentes de energía, pueden inyectar la energía al sistema de distribución sin ser vendedores de energía eléctrica; únicamente deben informar al distribuidor y no necesitan ninguna autorización, deben instalar los medios de protección, control y desconexión automática apropiados que garanticen la inyección de energía eléctrica al sistema de distribución cumpliendo las tolerancias establecidas en las NTSD.

Debe tener un contador bidireccional el cual registrará la lectura de inyección y consumo de la red. Si hay un excedente este no será pagado pero quedará como un crédito a favor hasta que se consuma en el futuro no teniendo caducidad. El distribuidor cobrará el cargo fijo y los cargos por potencia que le sean aplicables a cada usuario, según la tarifa correspondiente. Para el caso de tarifas sin medición de potencia, el distribuidor podrá cobrar los cargos por distribución correspondientes en función de la energía que entregue al usuario. Todos los cargos deben ser detallados en la factura.

La conexión se realizará con base en los artículos 18 al 22 los cuales son:

- Artículo 18. Formulario de conexión
- Artículo 19. Construcción de línea y equipos de conexión
- Artículo 20. Pruebas de la puesta en servicio y evaluación
- Artículo 21. Fecha de conexión
- Artículo 22. Maniobras de conexión

Donde el distribuidor y GDR realizaran la conexión con base en el formulario aprobado por la CNEE en su sitio web. Tomando en cuenta que el GDR es el encargado del suministro de materiales y equipos para la construcción de las instalaciones necesarias para interconectarse con el distribuidor, cumpliendo con las normas técnicas del servicio y distribución

(NTSD) y las normas técnicas de diseño y operación de las instalaciones de distribución (NTDOID) que son emitidas por la CNEE, donde el GDR efectuará las pruebas de las instalaciones de generación correspondientes antes de la conexión del sistema y dará un informe por escrito del cumplimiento de los requerimientos acordado con la resolución de conexión al distribuidor, donde al estar conforme informarán a la CNEE por lo menos con 5 días de anticipación para poder conectarse con supervisión del distribuidor.

La operación y el control del sistema GDR están comprendidos en los artículos 23 y 24.

- Artículo 23. Operación
- Artículo 24. Control de la calidad de energía

El GDR tiene la responsabilidad de la operación de todas sus instalaciones; sin embargo, en casos de emergencia la CNEE o el AMM podrán realizar maniobras en las instalaciones de conexión las cuales deberán de justificarse por el distribuidor. El GDR debe verificar en forma periódica el correcto funcionamiento de sus protecciones. El distribuidor efectuará mediciones de calidad de producto en el punto de conexión; si encuentra algún parámetro incorrecto deberá de avisar por escrito y tomar acciones para resolver dicho problema.

Las desconexiones del sistema GDR están comprendidos en los artículos 25 y 26.

El Distribuidor podrá desconectar las instalaciones del GDR, con previo aviso por escrito y con las justificaciones correspondientes, bajo las siguientes circunstancias:

- Por mantenimientos programados en la red del distribuidor.

- Por fallas a la red del distribuidor provocadas por el GDR.
- A solicitud del GDR.
- Por incumplimiento del GDR con el procedimiento de conexión establecido en los artículos del dieciocho (18) al veintitrés (23) de esta norma.

Donde el GDR deberá contar con los dispositivos de desconexión necesarios para poder realizar dichas maniobras.

En el mantenimiento y las inspecciones están comprendidos en los artículos 27 al 29.

- Artículo 27. Mantenimiento
- Artículo 28. Registros de mantenimiento
- Artículo 29. Inspecciones

El distribuidor coordinará el mantenimiento con el GDR a modo de afectar lo menos posible a los usuarios. El GDR y el distribuidor son los responsables de los mantenimientos en sus respectivas instalaciones, donde el GDR llevará un registro del mantenimiento en las instalaciones, las cuales se entregarán al distribuidor o CNEE cuando sean necesarios. El distribuidor tendrá derecho a revisar las instalaciones del GDR en lo concerniente a la norma dispuesta.

1.9.1. Normativas que debe cumplir la GDR

- Constitución Política de la República de Guatemala.
- Ley General de Electricidad (Decreto Nro. 93-96).
- Reglamento de la Ley General de Electricidad (Acuerdo Gubernativo Nro. 256-97 y sus reformas).

- Reglamento del Administrador del Mercado Mayorista (Acuerdo Gubernativo Nro. 299-98 y sus reformas).
- Norma Técnica de Generación Distribuida Renovable y Usuarios Auto productores con Excedentes de Energía –NTGDR- (Resolución CNEE-227-2 014).
- Normas Técnicas del Servicio de Distribución –NTSD- (Resolución CNEE-09-99).
- Normas Técnicas de Diseño y Operación de las Instalaciones de Distribución –NTDOID- (Resolución CNEE-47-99).
- Normas de Coordinación Comercial del Administrador del Mercado Mayorista.

2. FASE TÉCNICO PROFESIONAL

2.1. Informe ejecutivo del proyecto

El proyecto consistirá en la utilización del área de las terrazas de los edificios de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala para poder elaborar el proyecto de generación fotovoltaica y sus instalaciones.

Se utiliza el área de los edificios T-10, T-11 y T-12, en el T-13 no se considera instalar paneles debido a que la estructura del techo es de lámina. El consumo del edificio T-13 se instala en el área de la terraza del edificio T-12. Se instalarán 44 paneles por cada inversor dependiendo de la capacidad del edificio. Serán conectados a la red eléctrica y habrá un medidor bidireccional para conocer el consumo que se genera y el que gasta los edificios. Se realizará con proyección para dos situaciones: la primera con la cantidad necesaria para cubrir la demanda de energía eléctrica de los edificios y la segunda es para aprovechar el área total de la terraza de los paneles para un mayor beneficio.

Para la primera parte se estima que se generarán 150 kWh, sumando la capacidad de los tres edificios, donde se estima que la recuperación de inversión varía dependiendo del edificio. Para el T-10 es 9,53 años con un costo de instalación de 2 150,68 dólares el kWh instalado, para el T-11 en 7,8 años de recuperación con un costo de instalación de 2 240,18 dólares el kWh instalado, para el T-12 y T-13 en 9,51 años de recuperación con 2 611,41 dólares el kWh instalado. También se estima que hay una reducción anual de

239 toneladas de CO₂ y un ahorro en combustible de 493 barriles de petróleo anuales que equivalen a 23 313 dólares anuales.

Para la segunda situación se calcula una inyección de energía de 210 kWh, sumando los tres edificios con una recuperación de 9,27 años, con un costo de 2 163,87 dólares el kWh instalado, se ahorran 335,15 toneladas de CO₂ anuales, equivalente a 620 barriles de petróleo que significan a 32 638,7 dólares anuales.

El beneficio de esta instalación aparte de la reducción de CO₂, el ahorro de la quema de combustibles, la reducción de las facturas al mínimo, es que este tipo de energía ayuda al medio ambiente, no necesita fuentes de energía fósil o gasto en algún tipo de combustible extra, tiene un mantenimiento sencillo y de bajo costo. Donde el ahorro en pago de facturas eléctricas se puede aprovechar para beneficio de los mismos estudiantes realizando mejoras en los laboratorios o en sus instalaciones.

Se realiza un diseño de sistema de tierras que no tienen los edificios, para ello se tiene que hacer mediciones de la resistividad de la tierra por medio del método Werner y aparte se trabajara para calcular lo necesario para protecciones contra descargas atmosféricas, analizando el tipo de pararrayos y el área que cubre.

2.2. Diseño de la instalación fotovoltaica

Para poder realizar el diseño de sistemas de generación fotovoltaica se realizó una visita a los diferentes edificios de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la universidad, los edificios que abarca esta facultad son los edificios T-10, T-11, T-12 y T-13.

Se toman mediciones físicas a las terrazas de los edificios, gracias a la ayuda del departamento de servicios generales, los cuales acompañaron en el recorrido y ayudaron para la solicitud de permisos, para el ingreso a las instalaciones, los dibujos fueron hechos en auto cad y pasados a fotos.

Figura 22. **Área disponible en la terraza del edificio T-10**



Fuente: elaboración propia.

Figura 23. **Área disponible en la terraza del edificio T-11**



Fuente: elaboración propia.

Figura 24. **Área disponible en la terraza del edificio T-12**



Fuente: elaboración propia.

Figura 25. **Área disponible en la terraza del edificio T-13**



Fuente: elaboración propia.

Como se observa en las fotos del edificio T-13, el techo es de lámina el cual no soporta el peso de las estructuras de los paneles, si no se realizan refuerzos en la estructura; por lo cual se utilizará la terraza del edificio T-12 para la instalación de los paneles necesarios para cubrir la demanda del edificio T-13 y sus inversores, aumentando solo la distancia de cableado en corriente alterna.

Tomando los datos necesarios en las mediciones del área de los edificios se realizara el diseño, aparte de eso se necesitaran otros datos muy importantes, los cuales son:

- Estadísticas de consumo, que se obtienen de las facturas mensuales de la EEGSA.
- Medición del área en los edificios.
- Planos del área a utilizar.
- Elección del tipo de panel a utilizar, número de paneles a utilizar para cubrir la demanda, inclinación y separación de paneles.
- Elección del inversor, cantidad de paneles por fila, número de inversores.
- Diseño de estructuras para los paneles.
- Dimensionamiento de los cables y cajas de conexión en ac y dc.
- Ubicación de los inversores y sus puntos de conexión.

2.3. Estadística de consumo

El proyecto de energía fotovoltaica para los edificios de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia está conformado por cuatro edificios, los cuales cuentan con uno o varios contadores que miden la energía que consumen los edificios.

- EDIFICIO T-10

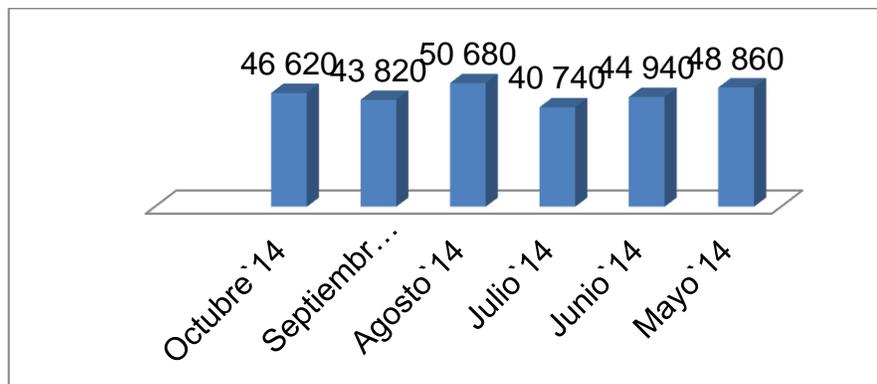
Este edificio tiene el contador K-22867, que es el que mide la energía de todo el edificio, los datos de las facturas de la EGSSA son de 6 meses, y sus consumos son:

Tabla XIII. **Consumo del contador K- 22867 para el edificio T-10**

Consumo en kilovatios hora/mes	FECHA
46 620	Octubre`14
43 820	Septiembre`14
50 680	Agosto`14
40 740	Julio`14
44 940	Junio`14
48 860	Mayo`14
45 943,33	Promedio

Fuente: elaboración propia.

Figura 26. **Diagrama de barras del consumo kilo vatio-hora/mes del contador k-22867**



Fuente: elaboración propia.

- EDIFICIO T-11

Este edificio cuenta con tres contadores: K-92 903, L-917 110, O-99 442 que miden la energía de todo el edificio; los datos obtenidos de las facturas de la EGSSA son de 12 meses; los consumos para cada contador son los siguientes:

Tabla XIV. **Consumo de los contadores en kilo-vatios- hora/mes para el edificio T-11**

FECHA	Kilo- vatios- hora/mes para el contador K- 92 903	kilo-vatios- hora/mes para el contador L-917 110	Kilo-vatios- hora/mes para el contador O-99 442	kilo-vatios- hora/mes de los tres contadores
Agosto`14	322	2 622	5 714	8 658
Julio`14	418	2 476	4 773	7 667
Junio`14	430	2 479	5 073	7 982
Mayo`14	249	2 548	3 803	6 600
Abril`14	342	2 705	5 224	8 271
Marzo`14	1 607	2 274	6 096	9 977
Febrero`14	1 500	1 661	5 154	8 315
Enero`14	0	1 121	2 528	3 649
Diciembre`13	358	1 917	4 947	7 222
Noviembre`13	370	1 981	5 112	7 463
Octubre`13	553	2 154	5 305	8 012
Septiembre`13	456	2 023	5 449	7 928
Promedio	550.42	2 163,42	4 931,50	7 645,33

Fuente: elaboración propia.

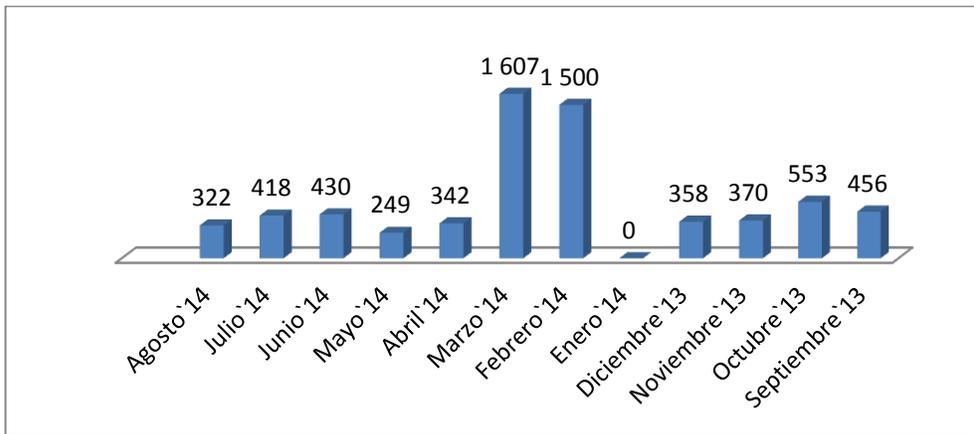
Quedando la suma promedio total de los tres contadores así:

$$\text{consumo promedio total} = \text{promedio contador 1} + \text{promedio contador 2} + \text{promedio contador 3}$$

$$\text{consumo promedio total} = 550,42 \text{ kWh/mes} + 2 163,42 \text{ kWh/mes} + 4 931,5 \text{ kWh/mes}$$

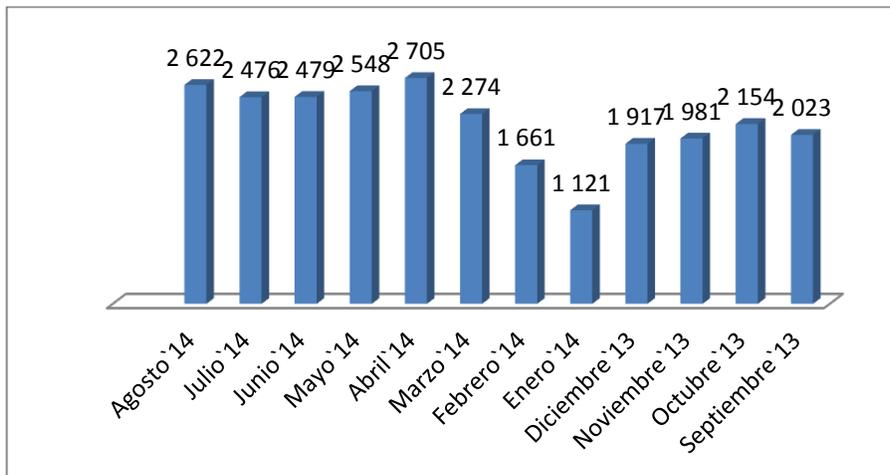
Consumo promedio total de los tres contadores = 7 645,33 kWh/mes

Figura 27. **Diagrama de barras del consumo kWh/mes del contador k-92 903**



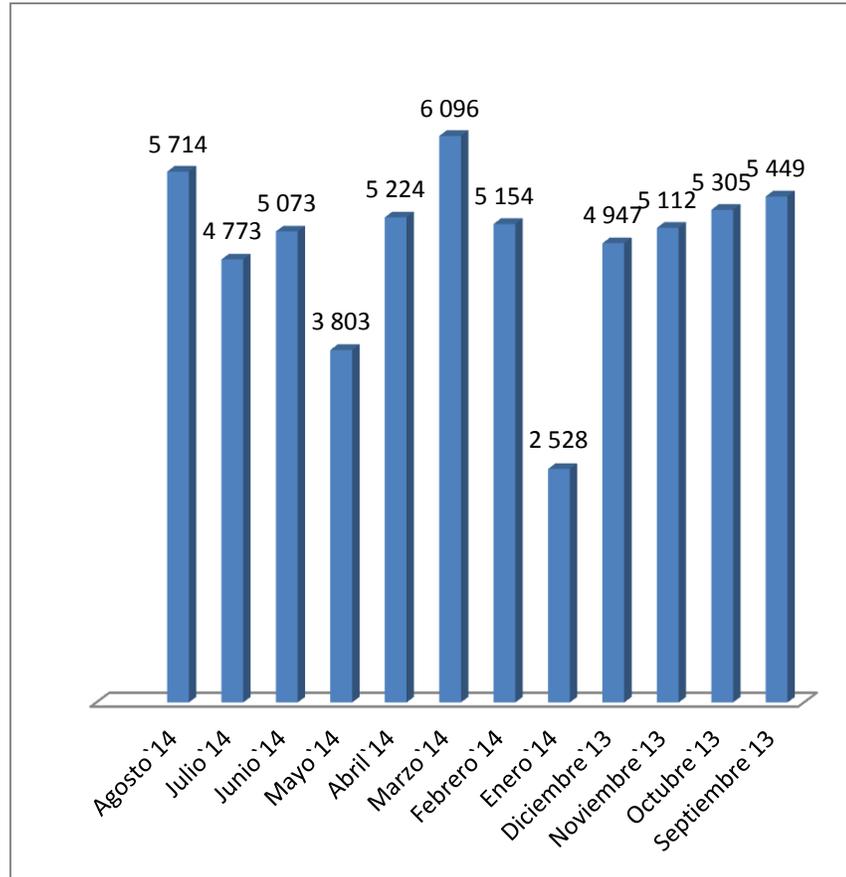
Fuente: elaboración propia.

Figura 28. **Diagrama de barras del consumo kWh/mes del contador L-917 110**



Fuente: elaboración propia.

Figura 29. **Diagrama de barras del consumo kWh/mes del contador O-99 442**



Fuente: elaboración propia.

- **EDIFICIO T-12**

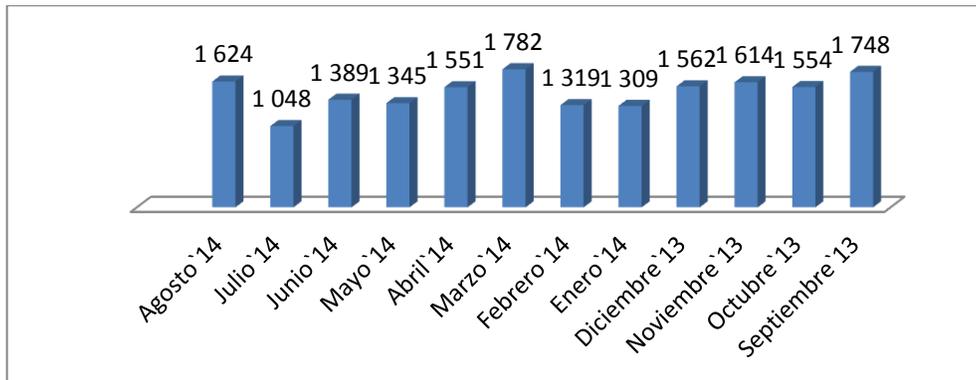
Este edificio cuenta con el contador L-96 052 que mide la energía de todo el edificio; los datos de las facturas de la EGSSA son de 12 meses, sus consumos son:

Tabla XV. **Consumo del contador L-96052 para el edificio T-12**

FECHA	CONSUMO KILO-VATIOS-HORA/MES
AGOSTO `14	1 624
JULIO `14	1 048
JUNIO `14	1 389
MAYO `14	1 345
ABRIL `14	1 551
MARZO `14	1 782
FEBRERO `14	1 319
ENERO `14	1 309
DICIEMBRE `13	1 562
NOVIEMBRE `13	1 614
OCTUBRE `13	1 554
SEPTIEMBRE `13	1 748
PROMEDIO	1 487,08

Fuente: elaboración propia.

Figura 30. **Diagrama de barras del consumo kWh/mes del contador L-96052**



Fuente: elaboración propia.

- EDIFICIO T-13

Este edificio cuenta con tres contadores: E-57 805, E-58 506 y M-62 792, miden la energía de todo el edificio; los datos de las facturas de la EGSSA obtenidos son de 12 y 9 meses y sus consumos los siguientes:

Tabla XVI. **Consumo de los contadores en kilo-vatios-hora/mes para el edificio T-13**

FECHA	Kilo-vatios-hora/mes para el contador E-57805	Kilo-vatios-hora/mes para el contador E-58506	Kilo-vatios-hora/mes para el contador M-62792	kilo-vatios-hora/mes de los tres contadores
Agosto`14	1 245	834	1 351	3 430
Julio`14	856	318	1 193	2 367
Junio`14	797	677	1 307	2 781
Mayo`14	1 034	789	949	2 772
Abril`14	1 068	856	1 163	3 087
Marzo`14	1 198	925	1 201	3 324
Febrero`14	855	254	552	1 661
Enero`14	614	173	0	787
Diciembre`13	958	696	0	1 654
Noviembre`13	990	719	0	1 709
Octubre`13	1 084	862	1 360	3 306
Septiembre`13	1 044	1 400	1 157	3 601
Promedio	979	708	1 137	2 824

Fuente: elaboración propia.

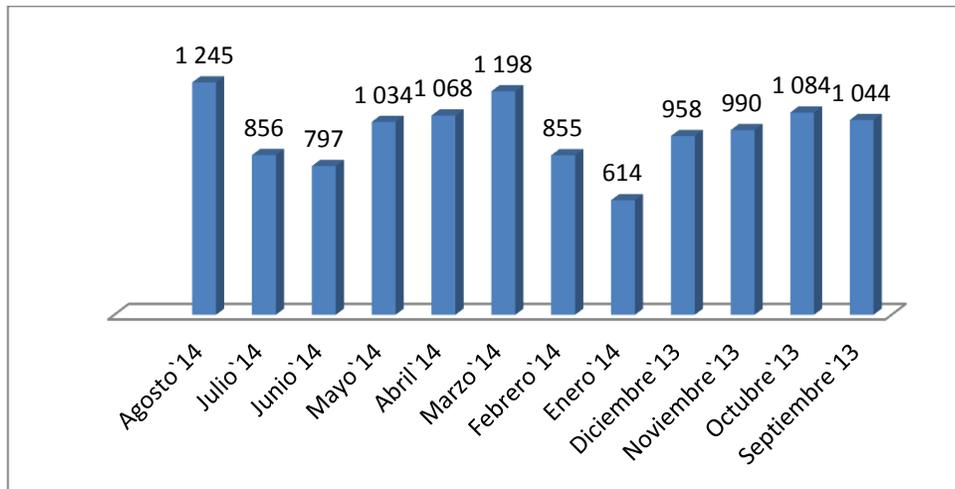
Quedando la suma total de los tres contadores así:

$$\text{consumo promedio total} = \text{promedio contador 1} + \text{promedio contador 2} + \text{promedio contador 3}$$

$$\text{consumo promedio total} = 979 \text{ kWh/mes} + 708 \text{ kWh/mes} + 1\,133 \text{ kWh/mes}$$

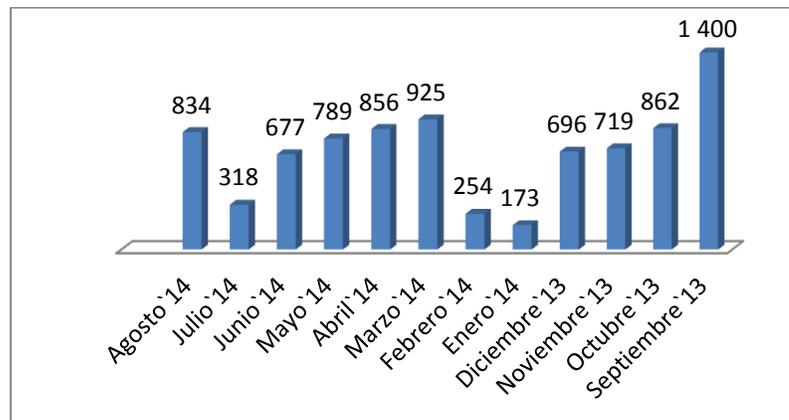
Consumo total de los tres contadores = 2 824 kW

Figura 31. **Diagrama de barras del consumo kWh/mes del contador E-57805**



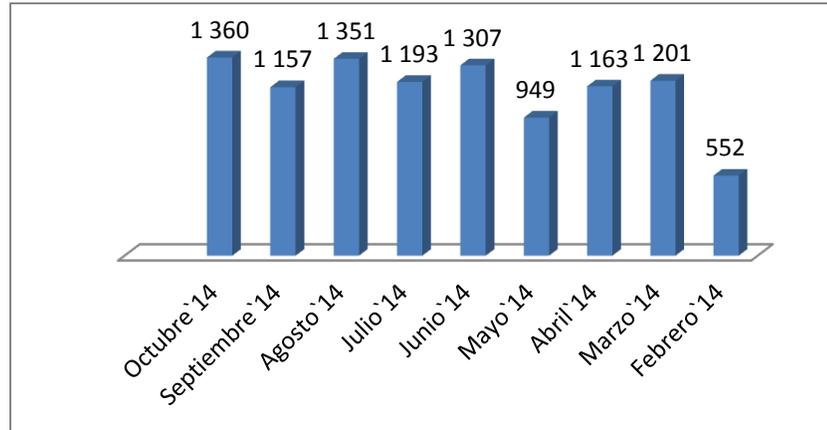
Fuente: elaboración propia.

Figura 32. **Diagrama de barras del consumo kWh/mes del contador E-58506**



Fuente: elaboración propia.

Figura 33. **Diagrama de barras del consumo kWh/mes del contador M-62792**



Fuente: elaboración propia.

2.4. Planos del área a utilizar

Tomando en cuenta los datos medidos en los edificios y haciendo los dibujos en auto cad, quedaron de la siguiente forma para los diferentes edificios.

Edificio T-10

Con este dibujo se puede sacar el área de la que se dispone para la cantidad de paneles que se utilizarán para cubrir la demanda.

$$A = ancho \times largo$$

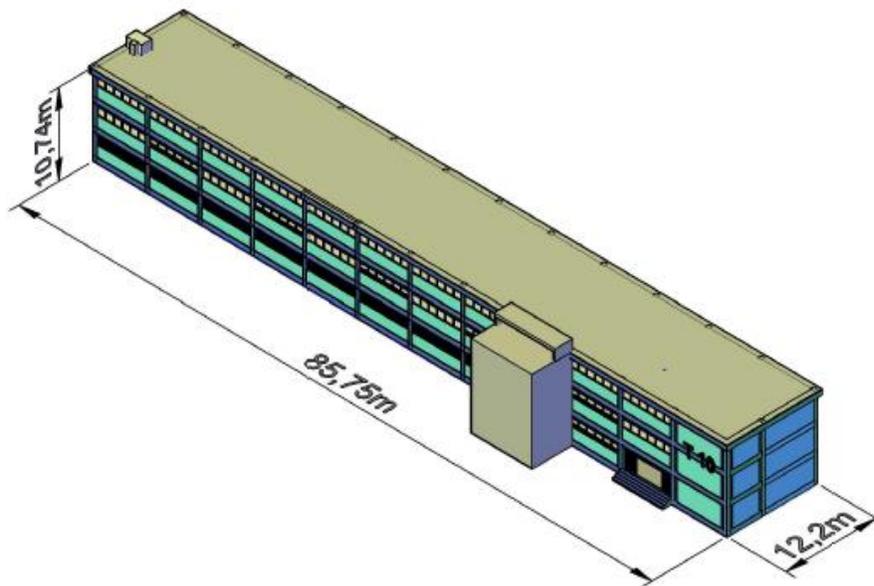
$$A = 12,2 m \times 85,75 m$$

$$A = 1046 m^2$$

El área total del edificio es de 1 046 metros cuadrados donde irán los paneles.

$$A = 1\,046\text{ m}^2$$

Figura 34. **Dimensiones edificio T-10**



Fuente: elaboración propia utilizando Auto Cad.

Edificio T-11

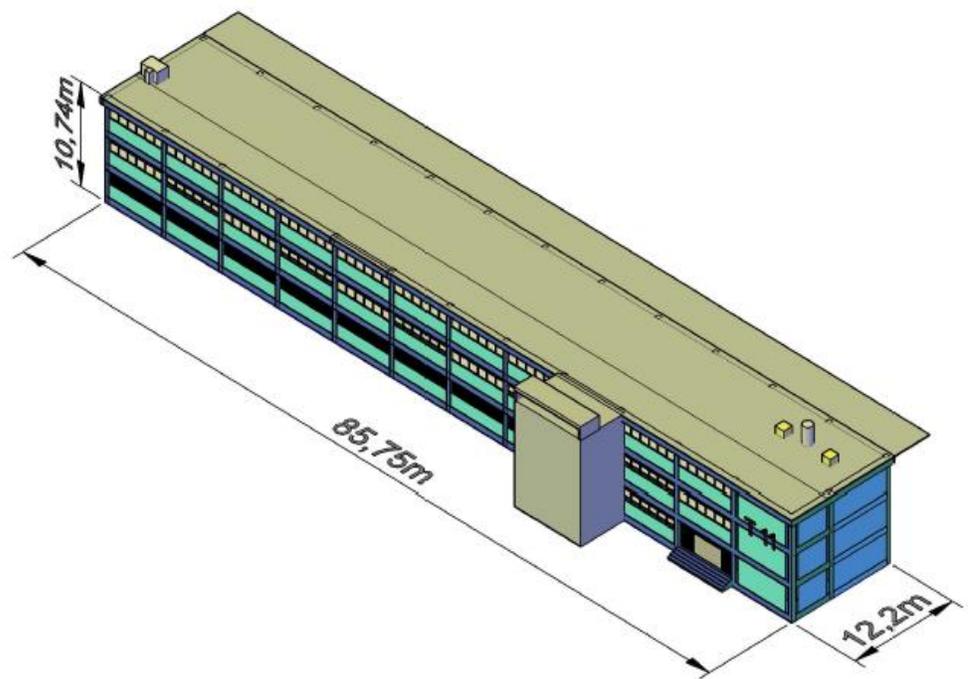
El área de la que se dispone para colocar la cantidad de paneles que se necesitan para cubrir la demanda es:

$$A = \text{ancho} \times \text{largo}$$

$$A = 12,2 \text{ m} \times 85,75 \text{ m}$$

$$A = 1\,046 \text{ m}^2$$

Figura 35. Dimensiones edificio T-11

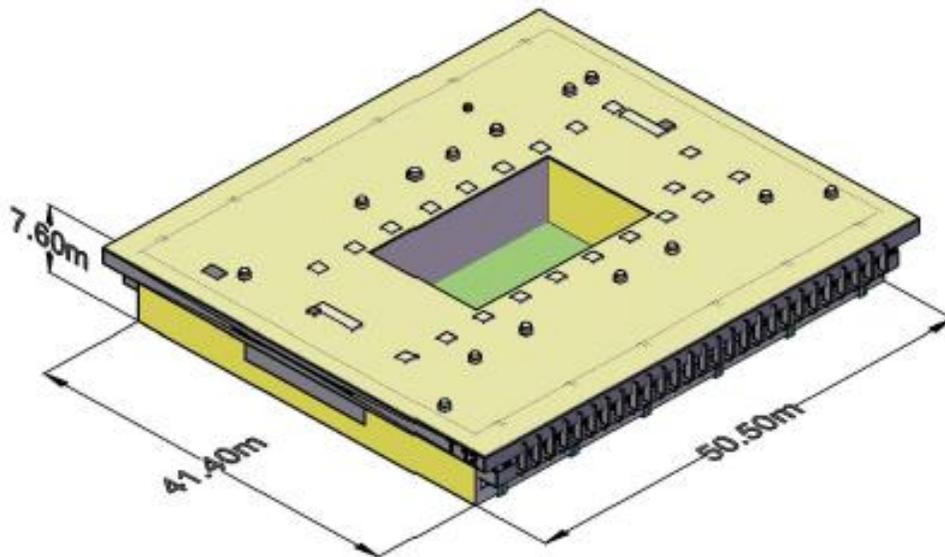


Fuente: elaboración propia utilizando Auto Cad.

Edificio T-12

Estas son las medidas reales del edificio incluyendo los obstáculos que están en la terraza. El vacío que está dentro del edificio es de 21,5 m x 12,5 m, está al centro.

Figura 36. **Dimensiones edificio T-12**



Fuente: elaboración propia utilizando Auto Cad.

2.5. Características y especificaciones del panel solar a utilizar

El panel solar que se utilizará deberá tener especificaciones iguales o muy parecidas a las que se usan para el proyecto, los cuales deben estar certificados por diversas normas tales como:

- IEC 61 215: Comisión Electrotécnica Internacional, cubre parámetros de envejecimiento del módulo por sol, humedad, temperatura, etc.
- IEC 61 730: cubre parámetros de seguridad y construcción de paneles.
- ISO 9001:2008: sistemas de gestión de calidad.
- ISO 14 001:2004: norma internacional de gestión ambiental.

- BS OHSAS 18 001:2007: normas de sistemas de gestión de seguridad y salud.

Tabla XVII. **Características de los paneles solares**

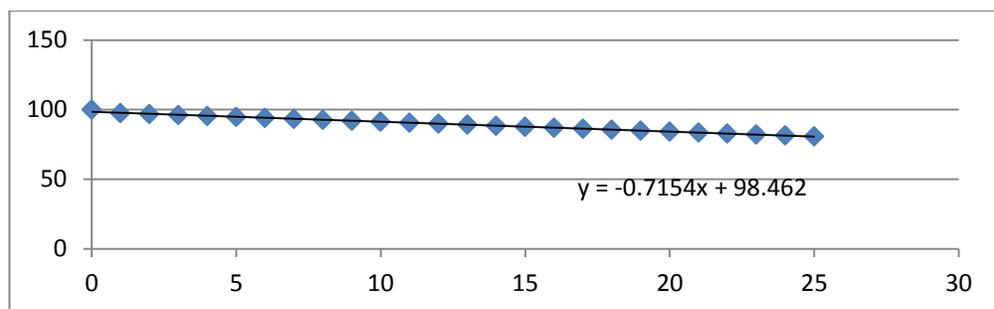
Pmax	V _{mpp}	I _{mpp}	V _{oc}	I _{sc}	T _{ONC}	β_{Voc}
255 W	30,0 V	8,49 A	37,7	9,01	46 °C	-32 %/°C

Fuente: elaboración propia.

T_{ONC}: Temperatura nominal del funcionamiento de la célula.

Los paneles solares tienen un tiempo de vida; conforme pasan los años entregan menos potencia. En la siguiente gráfica se muestra el porcentaje de potencia que tienden a perder los paneles cada año.

Figura 37. **Pérdida anual de panel fotovoltaico**



Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. **Porcentaje de pérdida anual de un panel eléctrico.**

Tiempo	Eficiencia del panel
año 1	97,5
año 2	96,8
año 3	96,1
año 4	95,4
año 5	94,7
año 6	94
año 7	93,3
año 8	92,6
año 9	91,9
año 10	91,2
año 11	90,5
año 12	89,8
año 13	89,1
año 14	88,4
año 15	87,7
año 16	87
año 17	86,3
año 18	85,6
año 19	84,9
año 20	84,2
año 21	83,5
año 22	82,8
año 23	82,1
año 24	81,4
año 25	80,7

Fuente: elaboración propia.

2.5.1. Número de paneles solares para cubrir la demanda

Tomando en cuenta las características del panel y la potencia demandada por los edificios se realizará el cálculo.

El cálculo de los edificios teniendo los datos anteriores, con un panel de 0,255 kW.

La potencia promedio mensual se multiplica por un factor de 1,1 por las pérdidas en los paneles solares ya sea por días nublado, sombras u otros factores externos.

La potencia mensual promedio para el edificio T-10 de los datos dados por el contador es 45 943,33kWh.

$$P \text{ kWh} = \text{promedio kWh} \times 1,1$$

$$P \text{ kWh} = 45\,943,33 \text{ kWh} \times 1,1 = 50\,538 \text{ kWh}$$

Ese valor se divide dentro de 30 días, que es la cantidad de días promedio prestados por la empresa eléctrica, para poder saber el promedio de energía diaria consumida por el edificio.

$$\text{kWh día} = P \text{ kWh} / 30 = 50\,538 \text{ kWh} / 30 = 1\,684,58 \text{ kWh/día}$$

Las horas sol pico de la región de Guatemala es de 5,3 HSP por día, según datos proporcionados por la NASA que hizo un estudio durante los años 1 983 – 2 005, tomando en cuenta la latitud y longitud del hemisferio en el que se realizará el proyecto. Entonces se divide los kWh diarios dentro de las hsp, de la región.

$$\text{kW día} = 1\,684,58 \text{ kWh} / 5,3\text{h} = 317,83 \text{ kW/día}$$

Para calcular el número de paneles fotovoltaicos, necesarios para cubrir el suministro de la potencia necesitada se divide el kW/día dentro de la potencia suministrada por el panel fotovoltaico elegido.

$$\text{Número de paneles} = 317,98 \text{ kW} / 0,255 \text{ kW} = 1\ 246 \text{ paneles}$$

Según los cálculos hechos, se necesitan 1 246 paneles solares de 0,255 kW para cubrir la demanda de energía del edificio.

El mismo procedimiento se sigue con los otros edificios quedando la tabla de la siguiente manera.

Tabla XIX. **Número de paneles para cubrir la demanda de cada edificio**

Edificio	Potencia promedio mensual	factor de perdidas 10%	Energía por día	Energía por hora	Numero de paneles
T-10	45 943,33	50 537,66	1 684,58	317,84	1 247
T-11	7 644,50	8 408,95	280.29	52,88	208
T-12	1 487,08	1 635,78	54.52	10,28	41
T-13	2 824,16	3 106,57	103.55	19,53	77

Fuente: elaboración propia.

2.5.2. **Inclinación de paneles solares**

Para el cálculo de la inclinación de paneles solares se hace referencia de la fórmula que sigue:

$$\beta = 3,7 + 0,69 \text{Latitud.} \quad \text{Ec. 4}$$

$$\beta = 3,7 + 0,69 * 14,66 = 13,81$$

Entonces se aproximará a 15 grados la inclinación de los paneles con respecto a la horizontal, esto se hará por conveniencia para evitar acumulación de agua y polvo.

2.5.3. Separación de paneles solares

Para la separación de los paneles se tomará en cuenta la dimensión de los paneles que tienen una altura de 1,65 metros a una inclinación de 15 grados, se puede calcular la altura h, utilizando trigonometría:

$$h = 1,65 * \text{sen}15$$

$$h = 0,42$$

Ahora la distancia d (separación entre paneles), tomando que h = 0,42, y que la latitud de la región donde se realiza el cálculo es de 14,66.

$$d = \frac{h}{\tan(61^\circ - \text{latitud})} \quad \text{Ec. 5}$$

$$d = \frac{0,42}{\tan(61^\circ - 14,66)}$$

$$d = 0,40 \text{ metros.}$$

La distancia mínima entre filas de paneles es de 0,40 metros, pero para la realización del proyecto y poder darle un mantenimiento adecuado a los paneles se dejará de separación 1 metro entre las filas.

2.6. Características y especificaciones del inversor

Para fin de los cálculos se usan inversores que tengan los siguientes parámetros.

Tabla XX. **Características de los inversores**

$V_{mpp(min)}$	$V_{mpp(max)}$	V_{cc}	I_{max}	$P_{nominal}$	Mpp's
220	470	520	48	10 000	2

Fuente: elaboración propia.

2.6.1. Cantidad de número de paneles por fila

Con el tipo de inversor y datos de la hoja de especificaciones se calcula la cantidad de módulos por fila que se van a utilizar y la forma de cómo se conectarán dichas filas; para hacer que el inversor trabaje en su punto óptimo con la eficiencia necesaria para evitar pérdidas y aprovechar la instalación, este dato será el mismo para los tres edificios.

- El voltaje máximo de la fila:

$$V_{oc (tmin)} = V_{oc} + ((AV/100)*V_{oc})(T_{min}-25) \quad \text{Ec. 6}$$

$$V_{oc (tmin)} = 37,7 + ((-0,32/100)*37,7)(6-25) = 39,99v$$

- El voltaje mínimo de la fila:

$$V_{MPP (t_{max})} = V_{MPP} + ((AV/100) * V_{MPP})(T_{MAX}-25) \quad \text{Ec. 7}$$

$$V_{MPP (t_{max})} = 30,0 + ((-0,32/100) * 30,0)(26,9-25) = 29,81\text{v}$$

$$\text{Número de módulos máximo por fila} = V_{\text{maxMPP}}/V_{OC (T_{MIN})} \quad \text{Ec. 8}$$

$$\text{Número de módulos máximo por fila} = 470/39,99 = 11,75$$

$$\text{Número de módulos mínimo por fila} = V_{\text{minMPP}}/V_{\text{mpp}(T_{Max})} \quad \text{Ec.9}$$

$$\text{Número de módulos mínimo por fila} = 220/29,81 = 7,38$$

La cantidad máxima es de 11,75 paneles solares por fila y la mínima cantidad de paneles solares es de 7,38, la cantidad de módulos será de 11 por fila, para que el inversor trabaje y no esté cerca del límite, entonces habrá cuatro filas donde:

Voltaje = número de módulos * voltaje de circuito abierto del panel

$$\text{Voltaje} = 11 * 37,7 = 414,7\text{v.}$$

Corriente = número de filas * corriente de corto circuito del panel

$$\text{Corriente} = 4 * 9,01 = 36,04 \text{ amperios}$$

Potencia = número de filas * número de paneles * potencia panel

$$\text{Potencia} = 4 * 11 * 255 = 11\,220 \text{ Wp,}$$

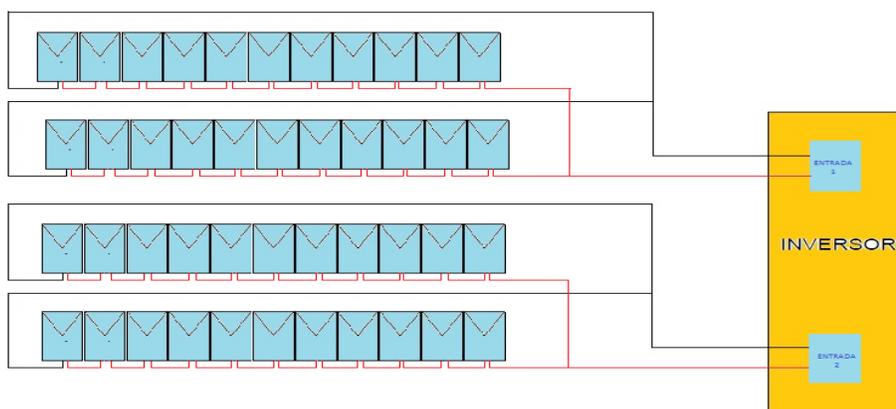
La potencia nominal del inversor es de 10 000 W, es un poco menor a la de los cálculos de 11 paneles que es de 11 200 W, pero como en la realidad es muy poco probable que los módulos den una tensión igual en circuito abierto a la temperatura correcta como la calculada entonces se puede utilizar.

2.6.2. Cantidad de inversores por edificio

Como dice en la hoja de especificaciones del inversor a utilizar, este tiene dos entradas; entonces, los paneles tendrán la limitación que la corriente y el voltaje no deben pasar de 24 amperios y un voltaje de 470 volt respectivamente por cada entrada del inversor.

Para la entrada 1 y 2 hay una corriente de $9,01 \times 2 = 18,02$ amperios siendo la máxima de 24 amperios y un voltaje de $37,7 \times 11 = 414$ Volts.

Figura 38. **Arreglo serie- paralelo para el inversor con dos entradas y 11 paneles**



Fuente: elaboración propia.

A cada inversor se le pueden instalar 44 paneles.

Se necesitan 1 246 paneles para cubrir la demanda total del edificio T-10; según los datos del edificio, pero por el área disponible solo se pueden utilizar 308 paneles.

Tabla XXI. **Cantidad de inversores por edificio**

Edificio	paneles para cubrir demanda	paneles por inversor	número de inversores	total inversores	cantidad de paneles por edificio
T-10	1 246	44	28,31	7	308
T-11	207	44	4,70	5	220
T-12	41	44	0,93	1	44
T-13	77	44	1,75	2	88

Fuente: elaboración propia.

2.7. Diseño de estructuras para los paneles

La estructura está contemplada de la siguiente manera.

Figura 39. **Estructura para módulos**



Fuente: elaboración propia.

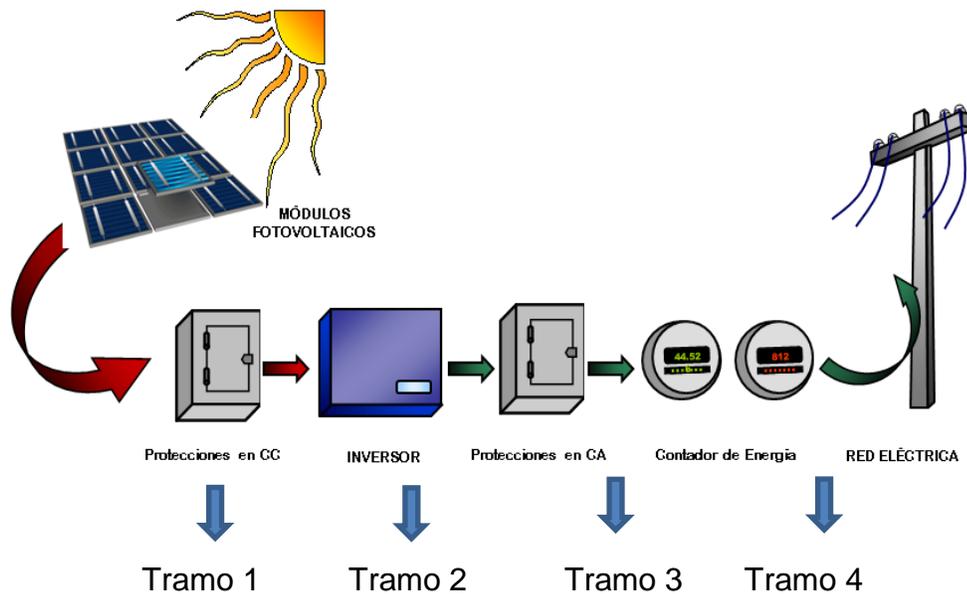
2.8. Dimensionamiento de los cables y cajas de conexión en ac y dc.

Para el diseño de los edificios de la Facultad Farmacia y Ciencias Químicas se dividirá el cableado de dichos edificios en cuatro etapas para su mejor comprensión.

- La primera etapa consistirá en el cableado de los 11 módulos conectados en serie los cuales irán a una caja de conexión en la que se conectarán en paralelo las cuatro filas por inversor.
- La segunda etapa será la que va de la caja de conexión de los 44 paneles hacia la caseta donde se colocarán los inversores, las primeras dos etapas será en corriente continua.
- La tercera etapa será en corriente alterna y esta será de la caseta hacia la barra de conexiones en la caseta.
- La cuarta etapa será de la barra de conexiones hacia la conexión en el tablero principal.

Se establecen cuatro tramos: dos en corriente continua y dos en corriente alterna, los cuales son de la siguiente forma:

Figura 40. **Tramos de conexión**



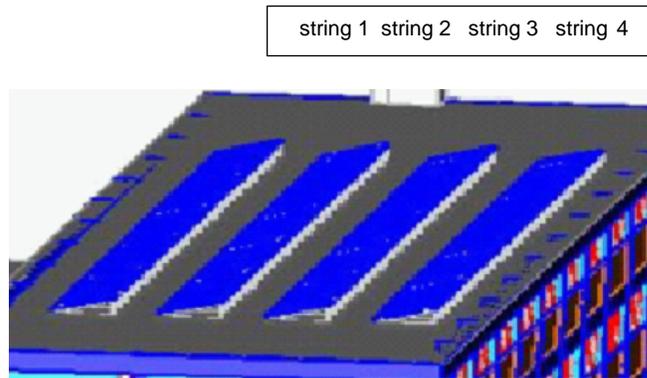
Fuente: Electricidad desde el sol.

<https://www.google.com.gt/search?q=tramos+de+generadores+fotovoltaicos>. Consulta: 28 de septiembre 2015.

2.8.1. **Edificio T-10**

La primera etapa consistirá en el cableado de los 11 módulos conectados en serie el cual irá a una caja de conexión en la cual se conectarán en paralelo las cuatro filas por inversor. En esta caja se colocarán las protecciones de los paneles en serie. En la caja llegarán 8 conectores de los cuales 4 cables positivos y 4 negativos. De esta caja ya solo saldrán dos cables positivos y dos negativos, donde se realizará un arreglo en paralelo ya que el inversor tiene dos entradas de 24 amperios máximo.

Figura 41. **Primera etapa para cálculo de cables**



Fuente: elaboración propia

Tabla XXII. **Parámetros necesarios para cálculo de sección de fila**

Parámetro	Datos
I _{cc}	9,01 A
V _{mpp}	37,7 V
u	6,22 V
C	57 m/Ω * mm ²

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIII. **Cálculo de sección de conductor por fila**

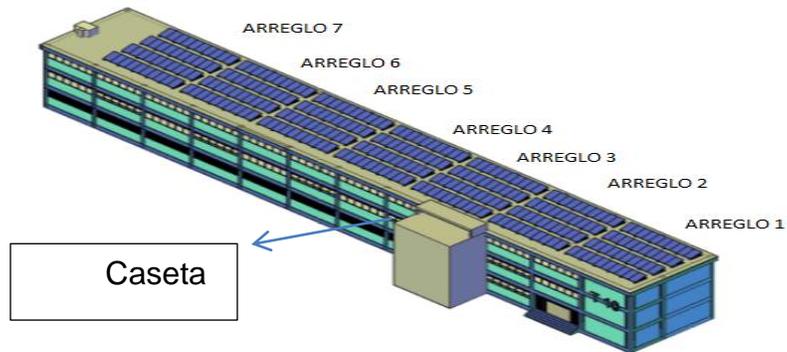
Parámetros	Fila 1	Fila 2	Fila 3	Fila 4	Negativo
L (m)	10	7	4	2	11
$s = \frac{2 \times L \times I_{cc}}{u \times C}$	0,51	0,36	0,20	0,10	0,56
Conductor AWG	19	21	23	24	19
Conductor recomendado AWG THHN	14	14	14	14	14

Fuente: elaboración propia.

Los cálculos dan como resultado diversos calibres menores al calibre número 14; sin embargo, en todos los casos se colocara calibre 14 por diseño el cual soporta 15 amperios según la tabla del NEC a una temperatura de 60 °C.

La segunda etapa será la que va de la caja de conexión de los 44 paneles hacia la caseta donde se colocaran los inversores, esta etapa será en corriente continua.

Figura 42. **Distribución de paneles en el edificio T-10**



Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIV. **Datos para el cálculo de conductor del edificio T-10**

Parámetro	Datos
I _{cc}	9,01 A
V _{mpp}	37,7 V
u	6,22 V
C	57 m/Ω * mm ²

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXV. **Cálculo del conductor para fase arreglo-inversor**

Parámetros	Arreglo 1	Arreglo 2	Arreglo 3	Arreglo 4	Arreglo 5	Arreglo 6	Arreglo 7
L (m)	11	4	4	12	26	35	47
$s = \frac{2 \times L \times I_{cc}}{u \times C}$	1,13	0,41	0,41	1,24	2,69	3,62	4,86
Conductor AWG	16	20	20	15	12	11	10
Conductor recomendado AWG THHN	12	12	12	12	12	10	10

Fuente: elaboración propia.

Nuevamente los resultados dan en cinco casos calibres inferiores al número 12 y en dos casos da número 10. Por la tanto, para esta etapa se usara calibre 12 para los grupos 1 al 5 y calibre 10 para los grupos 6 y 7.

La tercera etapa será en corriente alterna, de la salida del inversor hacia la barra de conexiones en la caseta, esta será corriente trifásica; por lo tanto, la fórmula cambiará de la siguiente forma.

$$s = \frac{\sqrt{3} \times L \times I}{u \times C} = \frac{L \times P}{u \times C \times U_L} = \frac{8 \times 70\,000}{4 \times 16 \times 57 \times 208} = 11,35 \text{ mm}^2 \quad \text{Ec. (11)}$$

Esto lleva a un calibre 6 que tiene una capacidad nominal de 55 A.

La cuarta etapa será en corriente alterna trifásica de la barra de conexiones hacia la conexión del tablero principal; por lo tanto, la fórmula será la siguiente.

$$s = \frac{\sqrt{3} \times L \times I}{u \times C} \quad \text{Ec. (11)}$$

Dónde: los parámetros para el cálculo de la sección mínima de los conductores de este tramo son:

Tabla XXVI. **Datos para el cálculo de conductor del edificio T-10**

L	60 m
P	70 000 W
U_L	208 V
U	4,16 V
C	$57 \text{ m}/\Omega * \text{mm}^2$

Fuente: elaboración propia.

$$S = \frac{\sqrt{3} \times L \times I}{u \times C} = \frac{L \times P}{u \times C \times U_L} = \frac{60 \times 70\,000}{4,16 \times 57 \times 208} = 85,15 \text{ mm}^2 \quad \text{Ec. (11)}$$

Esto nos lleva a un calibre 3 que tiene una capacidad nominal de 85 A y al conectar en paralelo los 7 inversores se tiene una corriente de 128,1; lo que indica que el conductor calibre 3 no cumple con la capacidad de transporte.

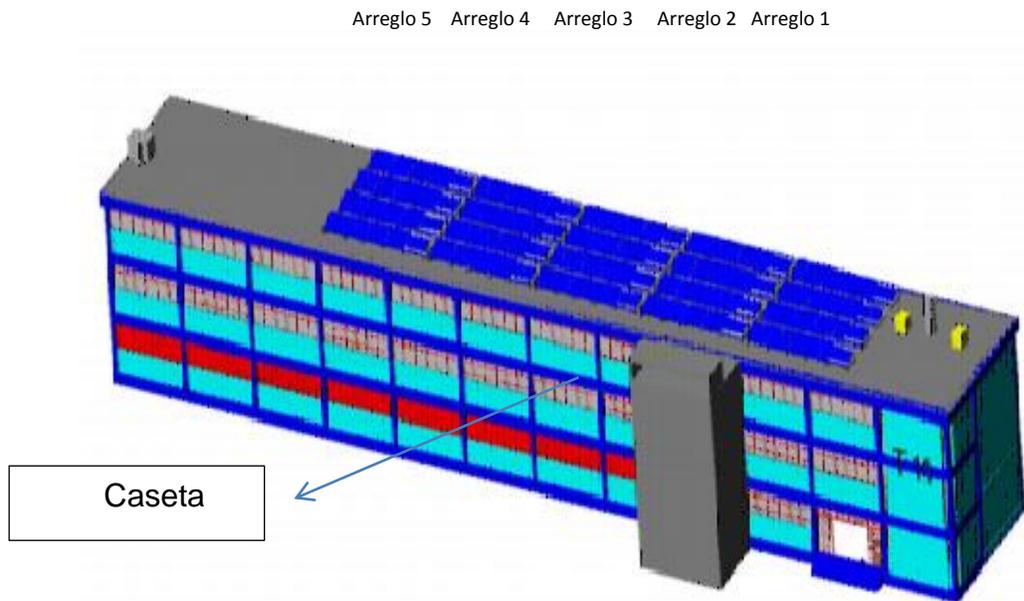
El conductor calibre 2/0 tienen una capacidad nominal de 145 A, por lo tanto, este será el conductor que se elegirá. Es crítico por corriente.

2.8.2. Edificio T-11

La primera etapa será de paneles solares a cajas de conexiones; los conductores a utilizar en esta etapa serán iguales al edificio T- 10; entonces se utilizará calibre 14 por diseño, el cual soportará 15 amperios según la tabla del NEC a una temperatura de 60 °C.

La segunda etapa será la que va de la caja de conexión de los 44 paneles hacia la caseta donde se colocarán los inversores; esta etapa será en corriente continua.

Figura 43. **Distribución de paneles en el edificio T-11**



Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVII. **Datos para el cálculo de conductor del edificio T-11**

Parámetro	Datos
I _{cc}	18,2 A.
V _{mpp}	37,7 V.
U	6,22 V.
C	57 m/Ω * mm ²

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVIII. **Cálculo del conductor para fase arreglo-inversor**

Parámetros	Arreglo 1	Arreglo 2	Arreglo 3	Arreglo 4	Arreglo 5
L (m)	11	4	4	12	26
$s = \frac{2 \times L \times I_{cc}}{u \times C}$	1,13	0,41	0,41	1,24	2,69
Conductor AWG	16	20	20	15	12
Conductor recomendado AWG THHN	12	12	12	12	12

Fuente: elaboración propia.

Para esta etapa se usará calibre 12 para todos los grupos.

La tercera etapa será en corriente alterna, de la salida del inversor hacia la barra de conexiones en la caseta, esta será corriente trifásica; por lo tanto, la fórmula será de la siguiente forma.

Ecuación 11

$$s = \frac{\sqrt{3} \times L \times I}{u \times C} = \frac{L \times P}{u \times C \times U_L} = \frac{8 * 70\,000}{4,16 * 57 * 208} = 11,35\text{mm}^2$$

Esto nos lleva a un calibre 6 que tiene una capacidad nominal de 55 A.

La cuarta etapa será en corriente alterna trifásica, de la barra de conexiones, hacia la conexión del tablero principal; por lo tanto, la fórmula será la siguiente.

Ecuación 11

$$s = \frac{\sqrt{3} \times L \times I}{u \times C} = \frac{LP}{u \times C \times U_L}$$

Dónde los parámetros para el cálculo de la sección mínima de los conductores de este tramo son:

Tabla XXIX. **Datos para el cálculo de conductor del edificio T-11**

L	60 m
P	50 000 w
U _L	208 V
U	4,16 V
C	57 m/Ω * mm ²

Fuente: elaboración propia.

$$s = \frac{\sqrt{3} \times L \times I}{u \times C} = \frac{L \times P}{u \times C \times U_L} = \frac{60 \times 50\,000}{4,16 \times 57 \times 208} = 60,82 \text{ mm}^2 \quad (11)$$

Esto lleva a un calibre 4 que tiene una capacidad nominal de 70 A y al conectar en paralelo los 5 inversores se tiene una corriente de 90 A; lo que indica que el conductor calibre 4 no cumple con la especificación.

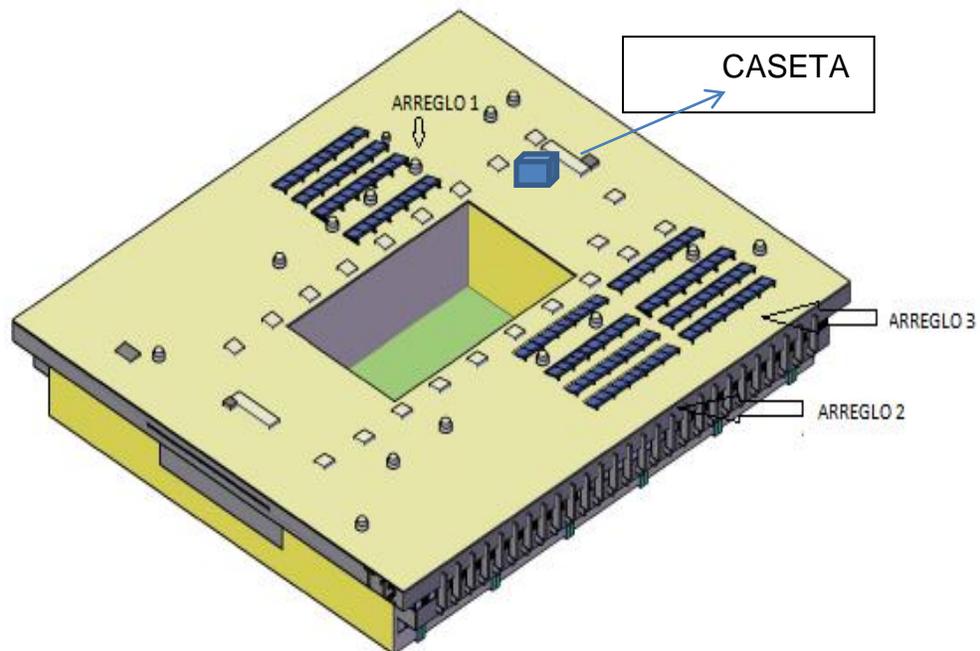
El conductor calibre 2 tiene una capacidad nominal de 95 A; por lo tanto, este será el conductor que se elegirá. Es crítico por corriente.

2.8.3. Edificios T-12 Y T-13

La primera etapa será de paneles solares a cajas de conexiones, los conductores a utilizar en esta etapa serán iguales al edificio T- 10; entonces se utilizará calibre 14 por diseño, el cual soporta 15 Amperios según la tabla del NEC a una temperatura de 60 °C.

La segunda etapa será la que va de la caja de conexión de los 44 paneles hacia la caseta donde se colocarán los inversores, esta etapa será en corriente continua. La caseta se construirá en la parte superior del edificio, se colocarán como se indica en la figura 44.

Figura 44. **Distribución de paneles en los edificios T-12 y T-13**



Fuente: elaboración propia.

Tabla XXX. **Datos para el cálculo de conductor del edificio T-12**

Parámetro	Datos
I _{cc}	18,2 A.
V _{mpp}	37,7 V.
u	6,22 V.
C	57 m/Ω * mm ²

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXI. **Parámetros necesarios para cálculo de arreglos**

Parámetro	Arreglo 1	Arreglo 2	Arreglo 3
L (m)	15	15	13
$s = \frac{2 \times L \times I_{cc}}{u \times C}$	1,55	1,55	1,34
Conductor AWG	16	20	20
Conductor recomendado AWG THHN	12	12	12

Fuente: elaboración propia.

Para esta etapa se usará calibre 12 para los arreglos 1 al 3, tomando en cuenta que el arreglo 1 se destinará para la demanda del edificio T-12 y los arreglos 2 y 3 para el edificio T-13.

La tercera etapa será en corriente alterna, de la salida del inversor hacia la barra de conexiones en la caseta, esta será corriente trifásica; por lo tanto, la fórmula será la siguiente.

$$S = \frac{\sqrt{3} \times L \times I}{u \times C} = \frac{L \times P}{u \times C \times U_L} = \frac{8 \times 70\,000}{4,16 \times 57 \times 208} = 11,35 \text{ mm}^2 \quad (11)$$

Esto lleva a un calibre 6 que tiene una capacidad nominal de 55 A.

La cuarta etapa, para los edificios T-12 y T-13 será en corriente alterna trifásica, de la barra de conexiones hacia la conexión del tablero principal; por lo tanto, la fórmula será la siguiente.

$$s = \frac{\sqrt{3} \times L \times I}{u \times C} = \frac{LP}{u \times C \times U_L} \quad (11)$$

Dónde los parámetros para el cálculo de la sección mínima de los conductores de este tramo son:

Tabla XXXII. **Datos para el cálculo de conductor del edificio T-12**

Parámetro	T-12	T-13
L	30 m	70 m
P	10 000 w	20 000 W
UL	208 V	208 V
u	4,16 V	4,16 V
C	57 m/Ω * mm ²	57 m/Ω * mm ²
$s = \frac{\sqrt{3} \times L \times I}{u \times C} = \frac{LP}{u \times C \times U_L}$	6,08 mm ²	28,39 mm ²

Fuente: elaboración propia.

Entonces la sección para los edificios sería de la siguiente forma.

- T-12

$$S = \frac{\sqrt{3} \times L \times I}{u \times C} = \frac{L \times P}{C \times U_L} = \frac{30 \times 10\,000}{4,16 \times 57 \times 208} = 6,08 \text{ mm}^2 \quad (11)$$

Esto lleva a un calibre 8 que tiene una capacidad nominal de 50 A y al conectar 1 inversor se tiene una corriente de 18 A por lo que el conductor calibre 8 cumple con la especificación.

- T-13

$$S = \frac{\sqrt{3} \times L \times I \times \cos\varphi}{u \times C} = \frac{L \times P}{u \times C \times U_L} = \frac{70 \times 20\,000}{4,16 \times 57 \times 208} = 28,39 \text{ mm}^2 \quad (11)$$

Esto lleva a un calibre 2 que tiene una capacidad nominal de 94 A; al conectar en paralelo los 2 inversores, se tiene una corriente de 36 A; por lo que el conductor calibre 2 cumple con la especificación.

2.9. Protecciones del sistema fotovoltaico

2.9.1. Protecciones de corriente continua

Para las protecciones en corriente continua se utilizan cajas combinadoras, con interruptores de desconexión integrados, las cuales irán conectadas en las salidas de las filas de los paneles eléctricos; estas tienen varias ventajas y adentro de ellas estarán las protecciones de una forma ordenada con sus respectivas protecciones para los paneles. Son de fácil instalación, tienen la ventaja de ahorro de tiempo, evitando conexiones o soldaduras, se pueden remplazar con facilidad cuando presente algún desperfecto. Se describen los elementos que irán dentro de la caja y sus cálculos para una correcta protección.

- Portafusibles y fusibles: los cartuchos de fusibles son diseñados y probados para proteger los paneles fotovoltaicos contra corrientes de cortocircuito elevadas o por corriente de fallo bajas. Los portafusibles deben de tener las siguientes características.
 - Palanca giratoria para extracción de fusible sencilla
 - Conexión de tornillos para los cables
 - Carcaza ventilada para evitar sobrecalentamiento
 - Indicador led que indique en caso de desperfectos
 - Fácil instalación

Los cartuchos con sus fusibles protegen los cables y los módulos fotovoltaicos de fallos contra sobretensión, son capaces de aislar las filas de módulos para que el resto del sistema fotovoltaico siga generando electricidad.

La norma recomienda usar los parámetros de 1,25 para corriente y 1,2 para el voltaje de los cartuchos de fusibles. De su voltaje y corriente de cortocircuito.

Para el cálculo se tomará en cuenta la intensidad máxima I_{max} del panel que corresponde a la I_{cc} aplicando un factor de seguridad de 1,25 según NEC.

La ecuación 11 sirve para encontrar el tamaño del fusible a utilizar.

$$I_{\text{seguridad}} = I_{cc} * 1,25$$

$$I_{\text{seguridad}} = 9,01 * 1,25 = 11,26$$

Supresores de picos: son diseñados para aplicaciones fotovoltaicas.

Específicamente, estos supresores de picos o de sobre tensión van conectados en serie y eliminan las sobretensiones o envían a tierra los voltajes superiores al umbral, por una cantidad de micro segundos, dan una protección fiable y rápida para picos de tensión, rayos, etc. Se utiliza el de tres módulos de 600 voltios conectados al combinador positivo y negativo. Estos pueden ser fabricados con fusibles o varistores los cuales son capaces de enviar el exceso de tensión eléctrica a tierra de manera automática.

- Busbar: es la barra para conectar los circuitos con un máximo de 12 circuitos en un conductor común.
- Interruptor de Desconexión: su función es interrumpir las líneas en el momento de cualquier mantenimiento o desperfecto en los módulos, tiene una manija externa que permite el bloqueo. Tiene una capacidad de desconexión de 600 V.

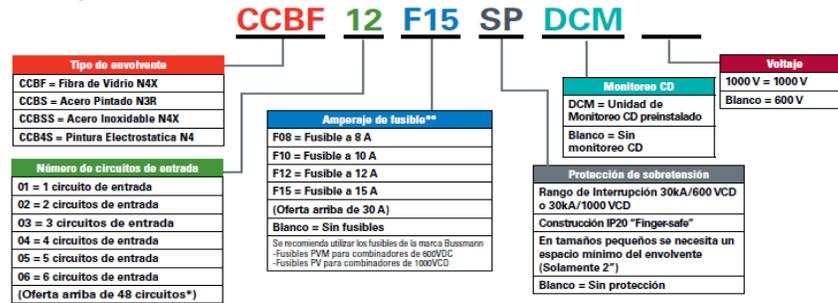
$V = \text{voltaje de circuito abierto panel} \times \text{cantidad de módulos} \times \text{factor de seguridad}$

$$V = 38,7 \text{ V} \times 11 \times 1,2 = 510,84 \text{ V}$$

Con esta tabla se pueden pedir los tableros de EATON.

Tabla XXXIII. EATON

Información para ordenar



Fuente: Solar combiner p. 10.

Para el proyecto se necesita solicitar una caja CCBF 4 F12 sp DCM 600V

Las protecciones que se utilizarán para corriente continua pero fuera de la caja son:

- El interruptor termomagnético: para el cálculo de este interruptor se toma en cuenta la corriente de cortocircuito que es de 9,01 A; analizando que se conectarán dos cables en paralelo con esa intensidad se debe proteger sobre una corriente de 18,2 A, esto se multiplica por el factor de seguridad según el NEC que es de 1,25; por tanto, el resultado será de 22,75. De aquí se utiliza un interruptor de 1 x20 A, entonces serán 2 en cada caja de conexión.

En la entrada del inversor, en la parte de corriente directa, existe una protección de polaridad inversa, 2 varistores por cada canal de entrada, detección de falla a tierra y un interruptor de 24 A.

2.9.2. Protecciones en corriente alterna

El análisis de protecciones en corriente alterna tendrá dos etapas: la primera será de los inversores hacia la barra donde se juntarán todos los inversores y la segunda etapa será de la barra hacia el *flip-on* principal.

- Etapa 1

Interruptores termomagnético: estos irán a la salida del inversor y para realizar el cálculo del nivel de protección se hará el cálculo de la intensidad nominal del interruptor a utilizar, en este tramo se necesita calcular la corriente máxima admisible por los conductores I_z y la corriente que se producirá en este tramo I_b .

$$I_b \leq I_n \leq I_z \quad (12)$$

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} U \cos \theta} \quad (13)$$
$$I = \frac{10\,000}{\sqrt{3} * 208 * 1}$$

$$I = 27,76 \text{ Amperios}$$

Entonces según el NEC la corriente del conductor I_z será:

$$I_z = I_b \times 1,25^2$$

$$I_z = 27,76 \times 1,56 = 43,37$$

$$I_b \leq I_n \leq I_z$$

$$27,76 \leq I_n \leq 43,37$$

Entonces el valor del interruptor termomagnético para cada inversor será de 40 Amperios en el tablero de distribución.

Interruptor diferencial: estos proporcionan protección a personas contra descargas eléctricas, tanto en contactos directos como indirectos y protecciones a las instalaciones que detectan las fugas a tierra midiendo la corriente que pasa por los conductores. Debe tener una intensidad diferencial residual de 300 mA que es el que se aplica para el sector de la industria según norma europea ITC-BT-25. Se utilizara un interruptor diferencial siemens de 40 A. Se utilizara uno por inversor

- Etapa 2

Del tablero de distribución se llevará una acometida hasta la entrada del interruptor termomagnético de la instalación existente donde se colocará un interruptor termomagnético general para la conexión y desconexión del sistema el cual es requisito indispensable para la conexión al sistema de distribución de la Empresa Eléctrica de Guatemala.

Para el cálculo del interruptor termomagnético se usa la ecuación siguiente:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} U} \quad (13)$$

$$I = \frac{60\,000}{\sqrt{3} * 208}$$

$$I = 166,54 \text{ amperios}$$

Entonces según el NEC la corriente del conductor I_z será:

$$I_z = I_b \times 1,25^2$$

$$I_z = 166,54 \times 1,56 = 260,22$$

$$I_b \leq I_n \leq I_z$$

$$166,54 \leq I_n \leq 260,22$$

El valor del interruptor termomagnético general tiene que ser de 225 amperios en el tablero de distribución.

El interruptor termomagnético debe cumplir con la capacidad de corte igual o superior con la intensidad de cortocircuito de la EEGSA.

2.9.3. Sobrecargas electroatmosféricas

Los pararrayos se colocarán sobre las casetas a fin de proteger los edificios y evitar hacer estructuras aparte. Los elementos que se utilizarán son: un terminal aéreo, el cual será el dispositivo que ayudará a interceptar los rayos que lleguen cerca del área a proteger; después se hará una interconexión eléctrica que será el medio conductor entre el terminal aéreo, el pararrayos y la red de tierras, aparte a la del edificio. Esta será diseñada solo contra rayos, el cual constará de tres varillas conectadas entre sí, en delta, la cual ayudará a reducir las diferencias de voltaje generadas por los rayos.

2.9.3.1. Nivel de riesgo

Para calcular el nivel de riesgo sobre los edificios, se utilizarán las siguientes fórmulas.

$$N_s = 0,04 N_K^{1,25} \quad (14)$$

Donde:

- N_s : densidad de rayos a la tierra en descargas/ $\text{Km}^2/\text{año}$
- N_k : nivel ceraunico

$$N_s = 0,04(69^{1,25}) = 7,9546 \text{ rayos}/\text{km}^2 \text{ año}$$

Como la estructura está situada dentro de un espacio, o estructuras o árboles de la misma altura o más. Se tiene un parámetro de 0,25.

- $C1 = 0,25$
- Largo: 85,75 metros
- Ancho: 12,2 metros
- Altura: 10,74 metros
- Con una caseta en la parte superior de 2 metros de altura
- En el techo habrá estructuras metálicas
- Equipos electrónicos inversores
- Normalmente ocupado
- Nivel cerámico: 69

$$N_s = 0,04(69^{1,25}) = 7,95 \text{ rayos}/\text{km}^2 \text{ año}$$

$$A_e = 9\pi H^2 \quad (15)$$

$$A_e = 9\pi(13 \text{ m})^2 = 4,589,15 \text{ m}^2$$

$$N_d = N_s A_e C1 * 10^{-6} \quad (16)$$

$$N_d = (7,96)(4 589,15 \text{ m}^2) (0,25) * 10^{-6}$$

$$N_d = 9,13 \times 10^{-3} \text{ rayos/año}$$

Cálculo de la frecuencia aceptable de impactos de rayo sobre la estructura (NC).

Tabla XXXIV. **Resumen de coeficientes**

C2	1
C3	3
C4	1
C5	5

Fuente: elaboración propia.

Ahora colocando los datos en la fórmula.

$$N_c = \frac{1,5 \times 10^{-3}}{1 \times 1 \times 3 \times 5} = 1 \times 10^{-4} \quad (17)$$

Con los resultados anteriores se puede calcular el nivel de protección, y a que $N_d > N_c$; por lo que se puede concluir que es necesario tener el sistema de protección.

La eficiencia = E

$$E = 1 - \frac{N_c}{N_d} \quad (18)$$

$$E = 1 - \frac{1 \times 10^{-4}}{9,13 \times 10^{-3}} = 0,98$$

Con los datos anteriores se necesita un nivel de protección I para los edificios T-10 y T-11; los cuales tienen las mismas dimensiones aproximadamente. Para los cálculos del edificio T-12 será de la siguiente manera.

$$N_s = 0,04N_k^{1,25} \quad \text{Ec.14}$$

$$N_s = 0,04(69^{1,25}) = 7,95 \text{ rayos}/\text{km}^2 \text{ año}$$

- C1 : 0,25
- Largo: 50,5 metros
- Ancho: 41,4 metros
- Altura: 7,6 metros
- Con una caseta en la parte superior de 2 metros de altura
- En el techo habrá estructuras metálicas
- Equipos electrónicos inversores
- Normalmente ocupado

$$A_e = 9\pi H^2 \quad \text{Ec.15}$$

$$A_e = 9\pi(9,6)^2 = 2\,605,76 \text{ m}^2$$

Ecuación 16

$$N_d = N_s A_e C_1 * 10^{-6}$$

$$N_d = (7,96)(2\,605,76 \text{ m}^2) (0,25) * 10^{-6}$$

$$N_d = 5,18 * 10^{-3} \text{ rayos/año}$$

El resultado de la frecuencia de impactos de rayo sobre la estructura es aceptable.

$$N_c = 1,5 * 10^{-3} / (C_2 * C_3 * C_4 * C_5) \quad (17)$$

Ahora colocando los datos en la fórmula.

$$N_c = \frac{1,5 \times 10^{-3}}{1 \times 1 \times 3 \times 5} = 1 \times 10^{-4}$$

Con los resultados anteriores se calcula el nivel de protección, concluyéndose que $N_d > N_c$; por lo que es necesario tener el sistema de protección.

$$\text{La eficiencia} = E = 1 - N_c/N_d \quad (18)$$

$$E = 1 - \frac{N_c}{N_d}$$

$$E = 1 - \frac{1 \times 10^{-4}}{5,185 \times 10^{-3}} = 0,98$$

Como los edificios dentro de la USAC son muy similares, con las mismas características, se utilizará el nivel de protección I para los tres edificios, T-10, T-11 y T-12.

2.9.3.2. Pararrayos PDC INGESCO

Con los datos de la tabla de pararrayos INGESCO, el que mejor se adecua a los edificios según su área, es el pararrayos PDC 6.3 el cual cubre

74 m de radio, con un nivel de protección I y una altura $AL=25$ metros. Este se usará en los tres edificios.

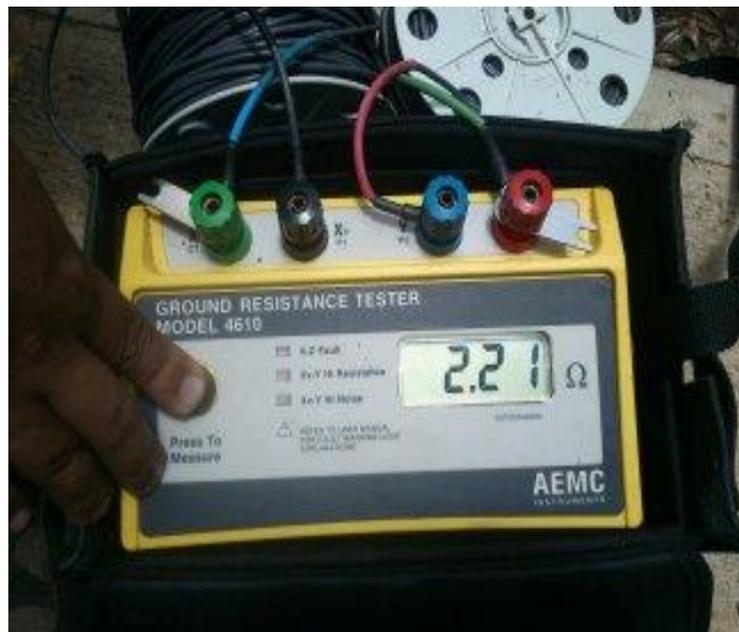
2.10. Sistemas de puesta a tierra

En la actualidad los edificios de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia (T10, T11, T12 y T13) no tienen un sistema de tierras por edificio y tampoco tienen un sistema de pararrayos.

2.10.1. Cálculo de la resistividad del suelo

Este se realizó con el método Werner de cuatro puntos en línea.

Figura 45. Fotografía del medidor de cuatro puntos método Werner



Fuente: elaboración propia.

$$\rho = \frac{4\pi AR}{\left[1 + \left[\frac{2A}{(A^2 + 4B^2)^{0.5}}\right] - \left[\frac{2A}{(4A^2 + 4B^2)^{0.5}}\right]\right]} \quad (19)$$

Donde:

- ρ : resistividad promedio a la profundidad (A) en ohm-m
- A : distancia entre electrodos en metros
- B : profundidad de enterrado de los electrodos en metros
- R : lectura del terrómetro en ohms

Si la distancia enterrada “B” es pequeña comparada con la profundidad de “A”, o sea que a es mayor que 10 b la ecuación se simplifica así.

$$\rho = 2\pi AR \quad (20)$$

Entonces tomando los datos de ohm que dieron en la medición por medio del método Werner, se resuelve la ecuación y la resistividad en cada edificio a tres distintas distancias, quedando de la siguiente manera.

Tabla XXXV. Resistividad edificio T-10

METROS	OHM	RESISTIVIDAD
1	8,8	55,29
2	4,62	58,68
3	3,49	65,78

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVI. **Resistividad edificio T-11**

METROS	OHM	RESISTIVIDAD
1	3,51	22,05
2	1,29	16,21
3	0,96	18,10

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVII. **Resistividad edificio T-12**

METROS	OHM	RESISTIVIDAD
1	3,1	19,48
2	2,5	31,42
3	2,45	46,18

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVIII. **Resistividad edificio T-13**

METROS	OHM	RESISTIVIDAD
1	4,37	29,72
2	2,21	27,77
3	1,67	31,48

Fuente: elaboración propia.

2.10.2. Selección del tipo de puesta a tierra

$$R = \frac{\rho}{6\pi l} \left[\ln\left(\frac{4}{a}\right) - 1 + \frac{2l}{D \sin\frac{\pi}{3}} \right] \quad (21)$$

Donde:

- ρ : resistividad
- l : largo de la varilla en metros
- a : diámetro de la varilla en metros
- D : separación de la varilla de metros 5 metros mínimo

Para poder realizar la conexión de los conductores a los electrodos se soldarán por medio de soldadura cadwell en un lugar accesible para realizar pruebas de medición y poder así realizar mantenimientos.

Para los datos de resistividad se utilizará el mayor obtenido en las pruebas descritas anteriormente para una mayor exactitud, ya que representa la mayor resistividad en el suelo.

Edificio T-10

$$R = \frac{65,78}{6\pi(2,4384 \text{ m})} \left[\ln\left(\frac{4}{0,01 \text{ m}}\right) - 1 + \frac{2(2,4384 \text{ m})}{(5) \sin\frac{\pi}{3}} \right]$$

$$R = 1,43[3,28 - 1 + 1,126]$$

$$R = 4,87$$

Edificio T-11

$$R = \frac{18,10}{6\pi(2,43 \text{ m})} \left[\ln\left(\frac{4}{0,01 \text{ m}}\right) - 1 + \frac{2(2,43 \text{ m})}{(5) \sin\frac{\pi}{3}} \right]$$

$$R = 0,39[3,28 - 1 + 1\,126]$$

$$R = 1,34$$

Edificio T-12

$$R = \frac{46,18}{6\pi(2,43 \text{ m})} \left[\ln\left(\frac{4}{0,01 \text{ m}}\right) - 1 + \frac{2(2,43 \text{ m})}{(5) \sin\frac{\pi}{3}} \right]$$

$$R = 1[3,28 - 1 + 1\,126]$$

$$R = 3,41$$

Edificio T-13

$$R = \frac{31,48}{6\pi(2,43 \text{ m})} \left[\ln\left(\frac{4}{0,01 \text{ m}}\right) - 1 + \frac{2(2,43 \text{ m})}{(5) \sin\frac{\pi}{3}} \right]$$

$$R = 0,68[3,28 - 1 + 1\,126]$$

$$R = 2,32$$

Tabla XXXIX. **Valor de resistencia con fórmula**

Edificio	T-10	T-11	T-12	T-13
pi	3,14	3,14	3,14	3,14
Resistividad	65,78 Ω/mm^2	18,1 Ω/mm^2	46,18 Ω/mm^2	31,48 Ω/mm^2
largo de varilla	2,43 m	2,43 m	2,43 m	2,43 m
Diámetro de la varilla	0,01 m	0,01 m	0,01 m	0,01 m
Lado de triángulo	5 m	5 m	5 m	5 m
Resistencia	4,87 Ω	1,34 Ω	3,41 Ω	2,32 Ω

Fuente: elaboración propia.

2.10.3. Conductores de interconexión

Los conductores que se utilizarán serán de cobre desnudo o con aislamiento del tipo y calibre que se necesiten de acuerdo a cada instalación correspondiente.

Los conectores servirán para unir los conductores entre sí, va a ser de tipo soldable o atornillados, los cuales deben estar en un lugar accesible para las pruebas de mediciones.

Según el NEC en la tabla 250,66 indica que el conductor del electrodo de puesta a tierra para corriente alterna es con base en el calibre del mayor conductor de la acometida. En cables de 2/0 a 3/0 AWG se utiliza un conductor de cobre para el electrodo de puesta a tierra calibre 4 AWG.

Tabla XL. **Tabla 250,66 NEC**

Calibre del mayor conductor activo de la acometida en cobre (AWG)	Calibre del conductor del electrodo a tierra (AWG)
2 ó menor	8
1 ó 1/0	6
2/0 ó 3/0	4
Sobre 3/0	2

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLI. **La tabla 250.122 indica el calibre mínimo de los conductores de puesta a tierra de equipos y canalizaciones**

Ajuste máximo de dispositivos de sobre corriente automáticos ubicados en el lado de alimentación (A)	Calibre AWG en cobre
15	14
20	12
30	10
40	10
60	10
100	8
200	6
300	4
400	3
500	2

Fuente: elaboración propia.

A la salida del inversor se utilizará cable calibre 6. Por medio de los datos de la tabla se observa que se necesita un dispositivo de sobrecorriente de 200 A. La acometida principal tendrá cable 2/0; por lo tanto, para el sistema de tierras, según la tabla 250,66 del NEC, es recomendable utilizar calibre 4 AWG.

2.11. Análisis económico para cubrir la demanda de los edificios de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia

Para el análisis económico se debe saber el tipo de contrato que tienen los edificios, para poder así deducir el historial de consumos que manejan mensualmente. Esto se ve en las facturas de electricidad de cada contador.

2.11.1. Edificio T-10

Este edificio utiliza el contrato de Tarifa: mediana tensión con demanda fuera de punta – MTDfp, esto significa que cobran el cargo unitario por energía (Q/kWh), cargos por consumidor (Q/usuario-mes), cargo unitario por potencia máxima (Q/kW-mes), cargo unitario por potencia contratada (Q/kW-mes); la universidad por ser un ente del estado está exonerada de pagar IVA y tasa municipal.

Las tarifas de la energía eléctrica presentan una variación en costo cada tres meses, en la siguiente tabla se muestra el costo de variación para tarifa del trimestre durante la cual se desarrolló el proyecto en curso.

Tabla XLII. **Tarifa durante el mes de agosto-septiembre 2014.**

Pliego tarifario entre agosto - septiembre 2014	
Resolucion	CNEE-212-2014 CNEE-213-2014
Tarifa: media tensión con demanda fuera de punta – MTDfp	Valor
Cargo por consumidor (Q/usuario-mes)	798,49
Cargo unitario por Energía (Q/kWh)	1,21
Cargo unitario por potencia máxima (Q/kW-mes)	27,46
Cargo unitario por potencia contratada (Q/kW-mes)	12,31

Fuente: elaboración propia.

El valor que interesa para el análisis económico, es el cargo unitario por energía en quetzales sobre kilovatios-hora- mes. Se comenzará el estudio a partir de agosto de 2 014.

2.11.1.1. Costos de materiales y montajes

La demanda del edificio es demasiado elevada, por eso se colocará la cantidad máxima de paneles eléctricos posibles en el área a modo de bajar el pago de la factura de los kWh consumidos por el edificio. Los costos de los materiales a utilizar para el montaje y construcción del sistema fotovoltaico están descritos en la siguiente tabla. Los datos fueron cotizados en Amesa, Revosolar, Anclo, Celasa, Antillon y Servicios electrónicos.

Tabla XLIII. Presupuesto de la instalación del edificio T-10

EQUIPOS PRINCIPALES INSTALACIÓN			
DESCRIPCIÓN COMPONENTE	UNIDAD	PRECIO UNIDAD	COSTO TOTAL
Panel Jingly Solar YGE 60 CELL SERIES 2 255 Watts	308	Q1 863,68	Q574 013,44
Inversor AURORA PVI-10.0-1-OUTD-US 10000 Watts	7	Q30 274,20	Q21 919,40
Medidor bidireccional marca cfe	1	Q1 900,00	Q1 900,00
Caja para medidor bidireccional	1	Q1 500,00	Q1 500,00
Cable XLPE, 600 V Y 2000 V, 90 oC 14 AWG 50 m	8	Q708,25	Q5 665,96
Cable Cal 10 awg. XLPE, 600 V Y 2000 V, 90 oC 50 metros	8	Q708,25	Q5 665,96
Cable cobre 95 mm2 RV-K 0,6/1 kv 1 metro	200	Q174,68	Q34 936,00
Total equipos principales			Q835 600,76
ESTRUCTURAS			
DESCRIPCIÓN COMPONENTE	UNIDAD	PRECIO UNIDAD	COSTO TOTAL
Riel unicanal galvanizado, 4x4x305 cm	532	Q73,50	Q39 102,00
Case serie N	168	Q47,00	Q7 896,00
Bisagra HD05	168	Q71,37	Q11 990,16
Bisagra Hb06	336	Q19,40	Q6 518,40
Omega	550	Q4,04	Q2 222,00
Zeta	336	Q7,30	Q2 452,80
Total estructuras			Q70 181,36
PROTECCIONES			
DESCRIPCIÓN COMPONENTE	UNIDAD	PRECIO UNIDAD	COSTO TOTAL
Fusibles 15 A	28	Q20,00	Q560,00
Caja de conexiones	7	Q2 675,20	Q18 726,40
Interruptor electromagnético para DC 2X20	14	Q45,00	Q630,00
Interruptor electromagnético para AC trifásico 3*50	7	Q80,00	Q560,00
Tablero de distribución 24 polos 150 amp	1	Q918,95	Q918,95
Interruptor electromagnético para AC General 200amp 3 polos	1	Q1 152,04	Q1 152,04
Interruptor diferencial magneto térmico 200 amp3 polos	1	Q1 500,00	Q1 500,00
Tablero para interruptor electromagnético general	2	Q550,00	Q550,00
Total protecciones			Q24 597,39

Continuación de la tabla XLIII.

DESCRIPCIÓN COMPONENTE	UNIDAD	PRECIO UNIDAD	COSTO TOTAL
TIERRA FÍSICA			
DESCRIPCIÓN COMPONENTE	UNIDAD	PRECIO UNIDAD	COSTO TOTAL
Varillas de cobre tierra física 5/8" * 8 pies	3	Q163,50	Q490,50
Cable desnudo de cobre 1/0	70	Q32,53	Q2 277,10
Cubo de quicbasol ingesco	12	Q232,00	Q2 784,00
Cable 2 verde 2	110	Q20,89	Q2 297,90
Soldadura codwell varilla	3	Q105,00	Q315,00
Total tierra física			Q8 164,50
PARARRAYOS			
DESCRIPCIÓN COMPONENTE	UNIDAD	PRECIO UNIDAD	COSTO TOTAL
pdv 6.3 con dispositivo de cebado y punta de acero inoxidable	1	Q17 672,00	Q17 672,00
Mastil de 6 mts de hierro galvanizado	1	Q3 400,00	Q3 400,00
Cable de cobre Thompson 28R de 1/2"	100	Q126,00	Q12 600,00
ABRAZADERA DE FIJACIÓN CON TARUGO	3	Q100,00	Q300,00
PUENTE DE COMPROBACIÓN	1	Q550,00	Q550,00
Contador de rayos	1	Q3 200,00	Q3 200,00
Varilla de cobre de 5/8" x 8 pies	9	Q163,50	Q1 471,50
Cubo de quicbasol ingesco	27	Q232,00	Q6 264,00
Soldadura codwell varilla	9	Q150,00	Q1 350,00
Tornillería, roldanas	1	Q400,00	Q400,00
Caja para juntas ingesco	2	Q560,00	Q1 120,00
Protector de cable	1	Q700,00	Q700,00
Junta de pruebas	2	Q950,00	Q1 900,00
Abrazaderas	14	Q105,00	Q1 470,00
Total pararrayos			Q52 397,50
MANO DE OBRA Y CONSTRUCCIÓN			
DESCRIPCIÓN COMPONENTE	UNIDAD	PRECIO UNIDAD	COSTO TOTAL
Materiales caseta			
Bases prefabricadas de hormigón	336	Q40,00	Q13 440,00
Terraza			
Armado de estructuras, obra gris, etc.	1	Q200 000,00	Q200 000,00
Total mano de obra y levantado			Q213 440,00
SUMA TOTAL DE MATERIALES			Q1 204 381,51

Fuente: elaboración propia.

2.11.1.2. Cálculo de energía inyectada a la red anualmente

Se toma en cuenta la degradación anual del panel fotovoltaico, las pérdidas que existen en el sistema que será de un 10 % y el promedio del precio de la energía eléctrica. Se toma para Guatemala 5,3 horas de sol al día y con un año de 365 días. Estos datos servirán para poder realizar la tabla.

Tabla XLIV. **Calculo de energía inyectada anualmente al edificio T-10**

año	Cantidad paneles	Potencia kW, degradación anual/panel	Generación kW	Generación real kW, con 10 % pérdida	Generación kWh/año	Precio Kwh/mes quetzales	ANUAL Quetzales
0	308	0,255	78,54	70,69	136 742,07	1,22	166 825,32
1	308	0,249	76,58	68,92	133 323,52	1,22	162 654,69
2	308	0,247	76,03	68,42	132 366 32	1,22	161 486,91
3	308	0,245	75,48	67,93	131 409 13	1,22	160 319,13
4	308	0,243	74,93	67,43	130 451,93	1,22	159 151,36
5	308	0,241	74,38	66,94	129 494,74	1,22	157 983,58
6	308	0,240	73,83	66,44	128 537,54	1,22	156 815,80
7	308	0,238	73,28	65,95	127 580,35	1,22	155 648,03
8	308	0,236	72,73	65,46	126 623,15	1,22	154 480,25
9	308	0,234	72,18	64,96	125 665,96	1,22	153 312,47
10	308	0,233	71,63	64,47	124 708,77	1,22	152 144,69
11	308	0,231	71,08	63,97	123 751,57	1,22	150 976,92
12	308	0,229	70,53	63,48	122 794,38	1,22	149 809,14
13	308	0,227	69,98	62,98	121 837,18	1,22	148 641,36
14	308	0,225	69,43	62,49	120 879,99	1,22	147 473,58
15	308	0,224	68,88	61,99	119 922,79	1,22	146 305,81
16	308	0,222	68,33	61,50	118 965,60	1,22	145 138,03
17	308	0,220	67,78	61,00	118 008,40	1,22	143 970,25
18	308	0,218	67,23	60,51	117 051,21	1,22	142 802,48
19	308	0,216	66,68	60,01	116 094,01	1,22	141 634,70
20	308	0,215	66,13	59,52	115 136,82	1,22	140 466,92
21	308	0,213	65,58	59,02	114 179,63	1,22	139 299,14
22	308	0,211	65,03	58,53	113 222,43	1,22	138 131,37
23	308	0,209	64,48	58,03	112 265,24	1,22	136 963,59
24	308	0,208	63,93	57,54	111 308,04	1,22	135 795,81

Fuente: elaboración propia.

2.11.1.3. Costo de producción y mantenimiento

En la tabla XLV se muestra el análisis del costo total del sistema fotovoltaico y una proyección de sus mantenimientos anuales, contra la producción en quetzales que se espera tener con el sistema en funcionamiento. Estos datos servirán para establecer el VPN y la TIR. Los mantenimientos tendrán un costo anual de 1 500,00 por inversor y juego correspondiente de módulos solares conectados al inversor.

Tabla XLV. Costo de producción y mantenimiento

AÑO	producción anual de los paneles	Mantenimiento del sistema fotovoltaico	Flujo efectivo	VPN
0	Q0.00	Q1 204 381,51	-Q1 204 381,51	-Q1 204 381,51
1	Q166 825,32	Q10 500,00	Q156 325,32	-Q1 048,056,19
2	Q162 654,69	Q10 500,00	Q152 154,69	-Q895 901,50
3	Q161 486,91	Q10 500,00	Q150 986,91	-Q744 914,59
4	Q160 319,13	Q10 500,00	Q149 819,13	-Q595 095,45
5	Q159 151,36	Q10 500,00	Q148 651,36	-Q446 444,10
6	Q157 983,58	Q10 500,00	Q147 483,58	-Q298 960,52
7	Q156 815,80	Q10 500,00	Q146 315,80	-Q152 644,71
8	Q155 648,03	Q10 500,00	Q145 148,03	-Q7 496,91
9	Q154 480,25	Q10 500,00	Q143 980,25	Q136 483,56
10	Q153 312,47	Q10 500,00	Q142 812,47	Q279 296,03
11	Q152 144,69	Q10 500,00	Q141 644,69	Q420 940,72
12	Q150 976,92	Q224 000,00	-Q73 023,08	Q347 917,64
13	Q149 809,14	Q10 500,00	Q139 309,14	Q487 226,78
14	Q148 641,36	Q10 500,00	Q138 141,36	Q625 368,14
15	Q147 473,58	Q10 500,00	Q136 973,58	Q762 341,72
16	Q146 305,81	Q10 500,00	Q135 805,81	Q898 147,53
17	Q145 138,03	Q10 500,00	Q134 638,03	Q1 032 785,56
18	Q143 970,25	Q10 500,00	Q133 470,25	Q1 166 255,81
19	Q142 802,48	Q10 500,00	Q132 302,48	Q1 298 558,29

Continuación de la tabla XLV.

AÑO	producción anual de los paneles	Mantenimiento del sistema fotovoltaico	Flujo efectivo	VPN
20	Q141 634,70	Q10 500,00	Q131 134,70	Q1 429 692,99
21	Q140 466,92	Q10 500,00	Q129 966,92	Q1 559 659,91
22	Q139 299,14	Q10 500,00	Q128 799,14	Q1 688 459,05
23	Q138 131,37	Q10 500,00	Q127 631,37	Q1 816 090,42
24	Q136 963,59	Q10 500,00	Q126 463,59	Q1 942 554,01
25	Q135 795,81	Q10 500,00	Q125 295,81	Q2 067 849,82

Fuente: elaboración propia.

2.11.1.4. El valor presente neto VPN

Con el uso de Excel se sacan los valores de VPN (Valor presente neto) con una tasa del 7 % por consultas realizadas en el mercado financiero; entonces, con esa tasa y los valores de generación real de la tabla anterior se coloca en la fórmula y se observa que el VPN queda positivo; con esa tasa de interés quedando así.

$$\text{VPN} = \text{Q } 348\,426,87$$

Por lo cual se puede decir que el proyecto es rentable.

2.11.1.5. La tasa interna de retorno TIR

Para la TIR, se utiliza también una hoja de cálculo, utilizando el valor real y con 7 % de interés, da un valor de la TIR del 10 %; por lo cual, se puede deducir que el proyecto es rentable. Con el dato de la TIR se puede decir que la inversión se recuperará en 9,53 años.

2.11.2. Edificio T-11

Este edificio utiliza el contrato de Tarifa: baja tensión simple - BTS, esto significa que cobran el cargo unitario por energía (Q/kWh), cargos por consumidor (Q/usuario-mes), la universidad por ser un ente del estado está exonerada de pagar IVA y tasa municipal. Las tarifas de la energía eléctrica presentan una variación en costo cada tres meses, en la siguiente tabla puede verse el costo que se utiliza.

Tabla XLVI. **Tarifa durante el trimestre de agosto-septiembre 2014**

Pliego tarifario entre agosto - septiembre 2014	
RESOLUCIÓN	CNEE-212-2014 CNEE-213-2014
Tarifa: baja tensión simple – BTS	Valor
Cargo por consumidor (Q/usuario-mes)	9,98
Cargo por energía (Q/kWh)	1,69

Fuente: elaboración propia.

El valor que interesa para el análisis económico, es el cargo unitario por energía en quetzales sobre kilovatios-hora-mes. Costos de materiales y montaje

La demanda del edificio se puede cubrir con facilidad instalando los paneles en la terraza del edificio. En la tabla siguiente se muestra la cantidad de materiales para dicho proyecto.

Tabla XLVII. Presupuesto de la instalación del edificio T-11

EQUIPOS PRINCIPALES INSTALACIÓN			
DESCRIPCIÓN COMPONENTE	UNIDAD	PRECIO UNIDAD	COSTO TOTAL
Panel Jingly Solar YGE 60 CELL SERIES 2 255 Watts	220	Q1 863,68	Q410 009,60
Inversor AURORA PVI-10.0-1-OUTD-US 10000 Watts	5	Q30 274,20	Q151 371,00
Medidor bidireccional marca cfe	1	Q1 900,00	Q1 900,00
Caja para medidor bidireccional	1	Q1 500,00	Q1 500,00
Cable XLPE, 600 V Y 2000 V, 90 oC 14 AWG 50 m	8	Q708,25	Q5 665,96
Cable Cal 10 awg. XLPE, 600 V Y 2000 V, 90 oC 50 metros	7	Q708,25	Q4 957,72
Cable cobre 95 mm2 RV-K 0,6/1 kv 1 metro	180	Q174,68	Q31 442,40
Total equipos principales			Q606 846,68
ESTRUCTURAS			
DESCRIPCIÓN COMPONENTE	UNIDAD	PRECIO UNIDAD	COSTO TOTAL
Riel unicanal galvanizado, 4x4x305 cm	380	Q73,50	Q27 930,00
Base serie N	120	Q47,00	Q5 640,00
Bisagra HD05	120	Q71,37	Q8 564,40
Bisagra Hb06	240	Q19,40	Q4 656,00
Omega	440	Q4,04	Q1 777,60
Zeta	240	Q7,30	Q1 752,00
Total estructuras			Q50 320,00
PROTECCIONES			
DESCRIPCIÓN COMPONENTE	UNIDAD	PRECIO UNIDAD	COSTO TOTAL
Fusibles 15 A	20	Q20,00	Q400,00
Caja de conexiones	5	Q2 675,20	Q13 376,00
Interruptor electromagnético para DC 2X20	10	Q45,00	Q450,00
Interruptor electromagnético para AC trifásico 3*50	5	Q80,00	Q400,00
Tablero de distribución 24 polos 150 amp	1	Q918,95	Q918,95
Interruptor electromagnético para AC General 200amp 3 polos	1	Q1 152,04	Q1 152,04
Interruptor diferencial magneto térmico 200 amp3 polos	1	Q1 500,00	Q1 500,00
Tablero para interruptor electromagnético general	2	Q550,00	Q550,00
Total protecciones			Q18 746,99

Continuación de la tabla XLVII.

DESCRIPCIÓN COMPONENTE	UNIDAD	PRECIO UNIDAD	COSTO TOTAL
TIERRA FÍSICA			
DESCRIPCIÓN COMPONENTE	UNIDAD	PRECIO UNIDAD	COSTO TOTAL
Varillas de cobre tierra física 5/8" * 8 pies	3	Q163,50	Q490,50
Cable desnudo de cobre1/0	70	Q32,53	Q2 277,10
Cubo de quicbasol ingesco	12	Q232,00	Q2 784,00
Cable 2 verde 2	110	Q20,89	Q2 297,90
Soldadura codwell varilla	3	Q105,00	Q315,00
Total tierra física			Q8 164,50
PARARRAYOS			
DESCRIPCIÓN COMPONENTE	UNIDAD	PRECIO UNIDAD	COSTO TOTAL
pdv 6.3 con dispositivo de cebado y punta de acero inoxidable	1	Q17 672,00	Q17 672,00
Mástil de 6 mts de hierro galvanizado	1	Q3 400,00	Q3 400,00
Cable de cobre Thompson 28R de 1/2"	100	Q126,00	Q12 600,00
ABRAZADERA DE FIJACIÓN CON TARUGO	3	Q100,00	Q300,00
PUENTE DE COMPROBACIÓN	1	Q550,00	Q550,00
Contador de rayos	1	Q3 200,00	Q3 200,00
Varilla de cobre de 5/8" x 8 pies	9	Q163,50	Q1 471,50
Cubo de quicbasol ingesco	27	Q232,00	Q6 264,00
Soldadura codwell varilla	9	Q150,00	Q1 350,00
Tornillería, roldanas	1	Q400,00	Q400,00
Caja para juntas ingesco	2	Q560,00	Q1 120,00
Protector de cable	1	Q700,00	Q700,00
Junta de pruebas	2	Q950,00	Q1 900,00
Abrazaderas	14	Q105,00	Q1 470,00
Total Pararrayos			Q52 397,50
MANO DE OBRA Y CONSTRUCCIÓN			
DESCRIPCIÓN COMPONENTE	UNIDAD	PRECIO UNIDAD	COSTO TOTAL
Materiales caseta			
Bases prefabricadas de hormigón	240	Q40,00	Q9 600,00
Terraza			
Armado de estructuras, obra gris, etc.	1	Q150 000,00	Q150 000,00
Total mano de obra y levantado			Q159 600,00
SUMA TOTAL DE MATERIALES			Q896 075,67

Fuente: elaboración propia.

2.11.2.1. Cálculo de energía inyectada a la red anualmente

Para esta parte, se tomará en cuenta la degradación anual del panel fotovoltaico, las pérdidas que existen en el sistema que será de un 10 %, el valor promedio del precio de la energía eléctrica. Como dato de radiación se tomará para Guatemala 5,3 horas de sol al día y con un año de 365 días. Estos datos sirven para realizar la tabla.

Tabla XLVIII. Cálculo de energía inyectada anualmente al edificio T-11

año	Cantidad paneles	Potencia kW, degradación anual/panel	Generación kW	Generación Real kW, con, 10 % perdida	Generación kWh/año	Precio Kwh/mes quetzales	ANUAL Quetzales
0	220	0.,255	56,10	50,49	Q97 672,91	Q1,70	Q166 043,94
1	220	0,249	54,70	49,23	Q95 231,08	Q1,70	Q161 892,84
2	220	0,247	54,30	48,87	Q94 547,37	Q1,70	Q160 730,53
3	220	0,245	53,91	48,52	Q93 863,66	Q1,70	Q159 568,22
4	220	0,243	53,52	48,17	Q93 179,95	Q1,70	Q158 405,92
5	220	0,241	53,13	47,81	Q92 496,24	Q1,70	Q157 243,61
6	220	0,240	52,73	47,46	Q91 812,53	Q1,70	Q156 081,30
7	220	0,238	52,34	47,11	Q91 128,82	Q1,70	Q154 918,99
8	220	0,236	51,95	46,75	Q90 445,11	Q1,70	Q153 756,69
9	220	0,234	51,56	46,40	Q89 761,40	Q1,70	Q152 594,38
10	220	0,233	51,16	46,05	Q89 077,69	Q1,70	Q151 432,07
11	220	0,231	50,77	45,69	Q88 393,98	Q1,70	Q150 269,76
12	220	0,229	50,38	45,34	Q87 710,27	Q1,70	Q149 107,46
13	220	0,227	49,99	44,99	Q87 026,56	Q1,70	Q147 945,15
14	220	0,225	49,59	44,63	Q86 342,85	Q1,70	Q146 782,84
15	220	0,224	49,20	44,28	Q85 659,14	Q1,70	Q145 620,53
16	220	0,222	48,81	43,93	Q84 975,43	Q1,70	Q144 458,23
17	220	0,220	48,41	43,57	Q84 291,72	Q1,70	Q143 295,92
18	220	0,218	48,02	43,22	Q83 608,01	Q1.,70	Q142 133,61
19	220	0,216	47,63	42,87	Q82 924,30	Q1,70	Q140 971,30
20	220	0,215	47,24	42,51	Q82 240,59	Q1,70	Q139 809,00

Continuación de la tabla XLVIII.

año	Cantidad paneles	Potencia kW, degradación anual/panel	Generación kW	Generación Real kW, con, 10 % perdida	Generación kWh/año	Precio Kwh/mes quetzales	ANUAL Quetzales
21	220	0,213	46,84	42,16	Q81 556,88	Q1,70	Q138 646,69
22	220	0,211	46,45	41,81	Q80 873,17	Q1,70	Q137 484,38
23	220	0,209	46,06	41,45	Q80 189,46	Q1,70	Q136 322,07
24	220	0,208	45,67	41,10	Q79 505,74	Q1,70	Q135 159,77

Fuente: elaboración propia.

2.11.2.2. Costo de producción y mantenimiento

En la tabla siguiente se muestra el análisis del costo total del sistema fotovoltaico y una proyección de sus mantenimientos anuales. Como tiene tarifa diferente también hay que agregar el VAD, el cual es del 14,5 % de la cantidad total de energía por derecho a utilizar las líneas de transmisión, esto va contra la producción en quetzales que se espera tener con todos los paneles en funcionamiento. Esta tabla servirá para determinar el VPN y la TIR del proyecto.

Los mantenimientos tendrán un costo anual de 1 500,00 por inversor y juego correspondiente de módulos solares conectados al inversor.

Tabla XLIX. Costo de producción y mantenimiento

AÑO	producción anual de los paneles	Mantenimiento del sistema fotovoltaico	VAD	Flujo efectivo	VPN
0	Q0,00	Q896 949,69		-Q896 949,69	-Q896 949,69
1	Q166 043,94	Q7 500,00	Q24 076,37	Q134 467,57	-Q762 482,12
2	Q161 892,84	Q7 500,00	Q23 474,46	Q130 918,38	-Q631 563,74
3	Q160 730,53	Q7 500,00	Q23 305,93	Q129 924,61	-Q501 639,14
4	Q159 568,22	Q7 500,00	Q23 137,39	Q128 930,83	-Q372 708,31
5	Q158 405,92	Q7 500,00	Q22 968,86	Q127 937,06	-Q244 771,25
6	Q157 243,61	Q7 500,00	Q22 800,32	Q126 943,29	-Q117 827,96
7	Q156 081,30	Q7 500,00	Q22 631,79	Q125 949,51	Q8 121,55
8	Q154 918,99	Q7 500,00	Q22 463,25	Q124 955,74	Q133 077,29
9	Q153 756,69	Q7 500,00	Q22 294,72	Q123 961,97	Q257 039,26
10	Q152 594,38	Q7 500,00	Q22 126,19	Q122 968,19	Q380 007,45
11	Q151 432,07	Q7 500,00	Q21 957,65	Q121 974,42	Q501 981,88
12	Q150 269,76	Q159 371,00	Q21 789,12	-Q30 890,35	Q471 091,52
13	Q149 107,46	Q7 500,00	Q21 620,58	Q119 986,88	Q591 078,40
14	Q147 945,15	Q7 500,00	Q21 452,05	Q118 993,10	Q710 071,50
15	Q146 782,84	Q7 500,00	Q21 283,51	Q117 999,33	Q828 070,83
16	Q145 620,53	Q7 500,00	Q21 114,98	Q117 005,56	Q945 076,39
17	Q144 458,23	Q7 500,00	Q20 946,44	Q116 011,78	Q1 061 088,17
18	Q143 295,92	Q7 500,00	Q20 777,91	Q115 018,01	Q1 176 106,18
19	Q142 133,61	Q7 500,00	Q20 609,37	Q114 024,24	Q1 290 130,42
20	Q140 971,30	Q7 500,00	Q20 440,84	Q113 030,46	Q1 403 160,89
21	Q139 809,00	Q7 500,00	Q20 272,30	Q112 036,69	Q1 515 197,58
22	Q138 646,69	Q7 500,00	Q20 103,77	Q111 042,92	Q1 626 240,50
23	Q137 484,38	Q7 500,00	Q19 935,24	Q110 049,15	Q1 736 289,64
24	Q136 322,07	Q7 500,00	Q19 766,70	Q109 055,37	Q1 845 345,01
25	Q135 159,77	Q7 500,00	Q19 598,17	Q108 061,60	Q1 953 406,61

Fuente: elaboración propia.

2.11.2.3. El valor presente neto VPN

Con el uso de excel se sacan los valores de VPN (valor presente neto) con una tasa del 7 % por consultas realizadas en el mercado financiero;

entonces, con esa tasa y los valores de generación real de la tabla anterior se coloca en la fórmula y se observa que el VPN queda positivo, con esa tasa de interés quedando así.

$$VPN = Q 444 117,45$$

Por lo cual se puede decir que el proyecto es rentable.

2.11.2.4. La tasa interna de retorno TIR

Para la TIR, se utiliza también una hoja de cálculo, utilizando el valor real y con 7 % de interés y da un valor de la TIR del 13 %; por lo cual, se puede deducir que el proyecto es rentable. Con el dato de la TIR se puede decir la inversión se recuperará en 7,8 años.

2.11.3. Edificios T-12 Y T-13

Estos edificios utilizan el contrato de tarifa: baja tensión simple – BTS

Tabla L. **Tarifa durante el mes de agosto-septiembre 2014**

Pliego tarifario entre agosto - septiembre 2014	
RESOLUCIÓN	CNEE-212-2014 CNEE-213-2014
Tarifa: Baja Tensión Simple - BTS	Valor
Cargo por Consumidor (Q/usuario-mes)	9,98
Cargo por Energía (Q/kWh)	1,69

Fuente: elaboración propia.

2.11.3.1. Costos de materiales y montajes

Se hizo un cálculo en conjunto de los dos edificios. Los costos para el montaje y construcción del sistema están descritos en la siguiente tabla.

Tabla LI. Presupuesto de la instalación del edificio T-12 Y T-13

EQUIPOS PRINCIPALES INSTALACIÓN			
DESCRIPCIÓN COMPONENTE	UNIDAD	PRECIO UNIDAD	COSTO TOTAL
Panel Jingly Solar YGE 60 CELL SERIES 2 255 Watts	132	Q1 863,68	Q246 005,76
Inversor AURORA PVI-10.0-1-OUTD-US 10000 Watts	3	Q30 274,20	Q90 822,60
Medidor Bidireccional marca cfe	2	Q1 900,00	Q1 900,00
Caja para medidor bidireccional	2	Q1 500,00	Q1 500,00
Cable XLPE, 600 V Y 2000 V, 90 oC 14 AWG 50 m	8	Q708,25	Q5 665 96
Cable Cal 10 awg. XLPE, 600 V Y 2000 V, 90 oC 50 metros	7	Q708,25	Q4 957,72
Cable cobre 95 mm2 RV-K 0,6/1 kv 1 metro	180	Q174,68	Q31 442,40
Total equipos principales			Q382 294,44
ESTRUCTURAS			
DESCRIPCIÓN COMPONENTE	UNIDAD	PRECIO UNIDAD	COSTO TOTAL
Riel unicanal galvanizado, 4x4x305 cm	152	Q73,50	Q11 172,00
Case serie N	48	Q47,00	Q2 256,00
Bisagra HD05	48	Q71,37	Q3 425,76
Bisagra Hb06	96	Q19,40	Q1 862,40
Omega	176	Q4,04	Q711,04
Zeta	96	Q7,30	Q700,80
Total estructuras			Q20 128,00
PROTECCIONES			
DESCRIPCIÓN COMPONENTE	UNIDAD	PRECIO UNIDAD	COSTO TOTAL
Fusibles 15 A	8	Q20,00	Q160,00
Caja de conexiones	3	Q2 675,20	Q8 025,60
Interruptor electromagnético para DC 2X20	4	Q45,00	Q180,00
Interruptor electromagnético para AC trifásico 3*50	3	Q80,00	Q240,00
Tablero de distribución 24 polos 150 amp	2	Q918,95	Q1 837,90

Continuación de la tabla LI.

DESCRIPCIÓN COMPONENTE	UNIDAD	PRECIO UNIDAD	COSTO TOTAL
Interruptor electromagnético para AC General 200amp 3 polos	2	Q1 152,04	Q2 304,08
Interruptor diferencial magneto térmico 200 amp3 polos	2	Q1 500,00	Q3 000,00
Tablero para interruptor electromagnético general	2	Q550,00	Q550,00
Total protecciones			Q16 297,58
TIERRA FÍSICA			
DESCRIPCIÓN COMPONENTE	UNIDAD	PRECIO UNIDAD	COSTO TOTAL
Varillas de cobre tierra física 5/8" * 8 pies	3	Q163,50	Q490,50
Cable desnudo de cobre1/0	70	Q32,53	Q2 277,10
Cubo de quicbasol ingesco	12	Q232,00	Q2 784,00
Cable 2 verde 2	110	Q20,89	Q2 297,90
Soldadura codwell varilla	3	Q105,00	Q315,00
Total tierra física			Q8 164,50
PARARRAYOS			
DESCRIPCIÓN COMPONENTE	UNIDAD	PRECIO UNIDAD	COSTO TOTAL
pdc 6.3 con dispositivo de cebado y Punta de acero inoxidable	1	Q17 672,00	Q17 672,00
Mástil de 6 mts de hierro galvanizado	1	Q3 400,00	Q3 400,00
Cable de cobre Thompson 28R de 1/2"	100	Q126,00	Q12 600,00
ABRAZADERA DE FIJACIÓN CON TARUGO	3	Q100,00	Q300,00
PUENTE DE COMPROBACIÓN	1	Q550,00	Q550,00
Contador de rayos	1	Q3 200,00	Q3 200,00
Varilla de cobre de 5/8" x 8 pies	9	Q163,50	Q1 471,50
Cubo de quicbasol ingesco	27	Q232,00	Q6 264,00
Soldadura codwell varilla	9	Q150,00	Q1 350,00
Tornillería, roldanas	1	Q400,00	Q400,00
Caja para juntas ingesco	2	Q560,00	Q1 120,00
Protector de cable	1	Q700,00	Q700,00
Junta de pruebas	2	Q950,00	Q1 900,00
Abrazaderas	14	Q105,00	Q1 470,00
Total Pararrayos			Q52 397,50

Continuación de la tabla LI.

DESCRIPCIÓN COMPONENTE	UNIDAD	PRECIO UNIDAD	COSTO TOTAL
MANO DE OBRA Y CONSTRUCCIÓN			
DESCRIPCIÓN COMPONENTE	UNIDAD	PRECIO UNIDAD	COSTO TOTAL
Materiales caseta	1	Q6 810,00	Q6 810,00
Bases prefabricadas de hormigon	96	Q40,00	Q3 840,00
Terrasa	1	Q2 010,00	Q2 010,00
Levantado 32 METROS CUADRADO X 150	1	Q4 800,00	Q4 800,00
Armado de estructuras, obra gris, etc.	1	Q130 000,00	Q130 000,00
Total mano de obra y levantado			Q147 460,00
SUMA TOTAL DE MATERIALES			Q626 742,02

Fuente: elaboración propia.

2.11.3.2. Cálculo de energía inyectada a la red anualmente

Para esta parte, se tomará en cuenta la degradación anual del panel fotovoltaico, las pérdidas que existen en el sistema que será de un 10 % y el valor promedio del precio de la energía eléctrica. Como radiación solar se usará, para Guatemala 5,3 horas de sol al día y con un año de 365 días. Con estos datos se realizó la siguiente tabla.

Tabla LII. **Cálculo de energía inyectada anualmente a los edificios T-12 y T-13**

año	Cantidad paneles	Potencia kW, degradación anual/panel	Generación kW	Generación Real kW, con 10 % perdida	Generación kWh/año	Precio Kwh/mes quetzales	ANUAL Quetzales
0	132	0,255	33,66	30,29	Q58 603,74	Q1,70	Q99 626,36
1	132	0,249	32,82	29,54	Q57 138,65	Q1,70	Q97 135,70
2	132	0,247	32,58	29,32	Q56 728,42	Q1,70	Q96 438,32
3	132	0,245	32,35	29,11	Q56 318,20	Q1,70	Q95 740,93

Continuación de la tabla LII.

año	Cantidad paneles	Potencia kW, degradación anual/panel	Generación kW	Generación Real kW, con 10 % pérdida	Generación kWh/año	Precio Kwh/mes quetzales	ANUAL Quetzales
4	132	0,243	32,11	28,90	Q55 907,97	Q1,70	Q95 043,55
5	132	0,241	31,88	28,69	Q55 497,74	Q1,70	Q94 346,17
6	132	0,240	31,64	28,48	Q55 087,52	Q1,70	Q93 648,78
7	132	0,238	31,40	28,26	Q54 677,29	Q1,70	Q92 951,40
8	132	0,236	31,17	28,05	Q54 267,07	Q1,70	Q92 254,01
9	132	0,234	30,93	27,84	Q53 856,84	Q1,70	Q91 556,63
10	132	0,233	30,70	27,63	Q53 446,61	Q1,70	Q90 859,24
11	132	0,231	30,46	27,42	Q53 036,39	Q1,70	Q90 161,86
12	132	0,229	30,23	27,20	Q52 626,16	Q1,70	Q89 464,47
13	132	0,227	29,99	26,99	Q52 215,94	Q1,70	Q88 767,09
14	132	0,225	29,76	26,78	Q51 805,71	Q1,70	Q88 069,70
15	132	0,224	29,52	26,57	Q51 395,48	Q1,70	Q87 372,32
16	132	0,222	29,28	26,36	Q50 985,26	Q1,70	Q86 674,94
17	132	0,220	29,05	26,14	Q50 575,03	Q1,70	Q85 977,55
18	132	0,218	28,81	25,93	Q50 164,80	Q1,70	Q85 280,17
19	132	0,216	28,58	25,72	Q49 754,58	Q1,70	Q84 582,78
20	132	0,215	28,34	25,51	Q49 344,35	Q1,70	Q83 885,40
21	132	0,213	28,11	25,30	Q48 934,13	Q1,70	Q83 188,01
22	132	0,211	27,87	25,08	Q48 523,90	Q1,70	Q82 490,63
23	132	0,209	27,63	24,87	Q48 113,67	Q1,70	Q81 793,24
24	132	0,208	27,40	24,66	Q47 703,45	Q1,70	Q81 095,86

Fuente: elaboración propia.

2.11.3.3. Costo de producción y mantenimiento

En la tabla siguiente se muestra el análisis del costo total del sistema fotovoltaico y una proyección de sus mantenimientos anuales. Como tiene tarifa diferente también hay que agregar el VAD, el cual es del 14,5 % de la cantidad total de energía por derecho a utilizar las líneas de transmisión, esto va contra la producción en quetzales que se espera tener con todos los paneles en

funcionamiento. Esta tabla servirá para determinar el VPN y la TIR del proyecto; los mantenimientos tendrán un costo anual de 1 500,00 por inversor y juego correspondiente de módulos solares conectados al inversor.

Tabla LIII. **Costo de producción y mantenimiento**

AÑO	producción anual de los paneles	Mantenimiento del sistema fotovoltaico	VAD	REAL	ACUMULADO
0	Q0,00	Q626 466,42		-Q626 466,42	-Q626 466,42
1	Q99 626,36	Q4 500,00	Q14 445,82	Q80 680,54	-Q545 785,88
2	Q97 135,70	Q4 500,00	Q14 084,68	Q78 551,03	-Q467 234,85
3	Q96 438,32	Q4 500,00	Q13 983,56	Q77 954,76	-Q389 280,09
4	Q95 740,93	Q4 500,00	Q13 882,44	Q77 358,50	-Q311 921,59
5	Q95 043,55	Q4 500,00	Q13 781,31	Q76 762,24	-Q235 159,35
6	Q94 346,17	Q4 500,00	Q13 680,19	Q76 165,97	-Q158 993,38
7	Q93 648,78	Q4 500,00	Q13 579,07	Q75 569,71	-Q83 423,67
8	Q92 951,40	Q4 500,00	Q13 477,95	Q74 973,44	-Q8 450,23
9	Q92 254,01	Q4 500,00	Q13 376,83	Q74 377,18	Q65 926,95
10	Q91 556,63	Q4 500,00	Q13 275,71	Q73 780,92	Q139 707,87
11	Q90 859,24	Q4 500,00	Q13 174,59	Q73 184,65	Q212 892,52
12	Q90 161,86	Q9 822,00	Q13 073,47	-Q21 73,61	Q191 158,91
13	Q89 464,47	Q4 500,00	Q12 972,35	Q71 992,13	Q263 151,03
14	Q88 767,09	Q4 500,00	Q12 871,23	Q71 395,86	Q334 546,90
15	Q88 069,70	Q4 500,00	Q12 770,11	Q70 799,60	Q405 346,49
16	Q87 372,32	Q4 500,00	Q12 668,99	Q70 203,33	Q475 549,83
17	Q86 674,94	Q4 500,00	Q12 567,87	Q69 607,07	Q545 156,90
18	Q85 977,55	Q4 500,00	Q12 466,74	Q69 010,81	Q614 167,70
19	Q85 280,17	Q4 500,00	Q12 365,62	Q68 414,54	Q682 582,25
20	Q84 582,78	Q4 500,00	Q12 264,50	Q67 818,28	Q750 400,53
21	Q83 885,40	Q4 500,00	Q12 163,38	Q67 222,02	Q817 622,54
22	Q83 188,01	Q4 500,00	Q12 062,26	Q66 625,75	Q884 248,29
23	Q82 490,63	Q4 500,00	Q11 961,14	Q66 029,49	Q950 277,78
24	Q81 793,24	Q4 500,00	Q11 860,02	Q65 433,22	Q1 015 711,00
25	Q81 095,86	Q4 500,00	Q11 758,90	Q64 836,96	Q1 080 547,96

Fuente: elaboración propia.

2.11.3.4. El valor presente neto VPN

Con el uso de Excel, se sacan los valores de VPN (valor presente neto) con una tasa del 7 % por consultas realizadas en el mercado financiero; entonces, con esa tasa y los valores de generación real de la tabla anterior se coloca en la fórmula y se observa que el VPN queda positivo, con esa tasa de interés, quedando así.

$$\text{VPN} = \text{Q } 182\,622,64$$

Por lo cual se puede decir que el proyecto es rentable.

2.11.3.5. La tasa interna de retorno TIR

Para la TIR, se utiliza también una hoja de cálculo, utilizando el valor real y con 7 % de interés y da un valor de la TIR del 11 %; por lo cual, se puede deducir que el proyecto es rentable. Con el dato de la TIR se puede decir que la inversión se recuperará en 9,51 años.

2.11.4. Costo de la energía consumida mensual

La energía que consumieron los edificios de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia se colocará en quetzales; aquí están incluidos todos los costos que se cobran en las facturas.

- Edificio T-10

Tabla LIV. **Gasto en quetzales del contador k-22 867**

FECHA DEL AÑO 2014	PAGO QUETZALES
Octubre	73 608,08
Septiembre	69 570,94
Agosto	79 192,79
Julio	64 988,79
Junio	70 966,32
Mayo	76 813,83
Promedio	72 523,45

Fuente: elaboración propia.

- Edificio T-11. Para este edificio son tres contadores.

Tabla LV. **Gasto en quetzales de los tres contadores**

FECHA	PAGO QUETZALES	PAGO QUETZALES	PAGO QUETZALES	TOTAL EDIFICIO
11/08/2014	623,44	4 996,71	9 680,39	15 300,54
11/07/2014	806,03	4 719,69	8 322,94	13 848,66
10/06/2014	828,86	4 723,50	8 761,05	14 313,41
10/05/2014	467,96	4 856,61	6 915,01	12 239,58
09/04/2014	690,88	5 387,49	9 484,94	15 563,31
11/03/2014	3 205,15	4 530,85	1 0835,20	1 8571,20
08/02/2014	2 992,42	3 312,48	9 371,21	15 676,11
10/01/2014	11,04	2 239,12	5 290,12	7 540,28
11/12/2013	722,59	3 821,22	9 040,04	13 583,85
11/11/2013	746,45	3 948,43	9 295,81	13 990,69
11/10/2013	1 143,25	4 421,14	9 912,39	15 476,78
10/09/2013	944,65	4 152,94		5097,59
PROMEDIO MENSUAL	1 098,56	4 259,18	8,809.91	14 191,31

Fuente: elaboración propia.

- Edificio T-12

Tabla LVI. **Gasto en quetzales del contador L-96052**

FECHA	PAGO QUETZALES
11/08/2014	3 093,10
11/07/2014	2 004,09
10/06/2014	2 652,56
10/05/2014	2 568,89
09/04/2014	3 093,84
11/03/2014	3 552,98
08/02/2014	2 632,73
10/01/2014	2 612,77
11/12/2013	3 115,63
11/11/2013	3 218,98
11/10/2013	3 192,71
PROMEDIO MENSUAL	2 885,29

Fuente: elaboración propia.

- Edificio T-13. En este edificio son tres contadores.

Tabla LVII. **Promedio mensual del gasto del edificio T-13**

FECHA	PAGO QUETZALES, CONTADOR E-57805	PAGO QUETZALES, CONTADOR E-58506	PAGO QUETZALES CONTADOR M-62792	TOTAL EDIFICIO
11/08/2014	2 378,45	1 596,96	3 556,12	7 531,53
11/07/2014	1 638,97	615,87	3 213,69	5 468,53
10/06/2014	1 526,77	1 298,57	3 575,04	6 400,38
10/05/2014	1 977,47	1 511,56	3 345,00	6 834,03
09/04/2014	2 133,85	1 712,49	3 615,33	7 461,67
11/03/2014	2 392,23	1 849,62	2 944,55	7 180,4
08/02/2014	1 710,50	498,71	3 404,88	5 614,09

Continuación de la tabla LVII.

FECHA	PAGO QUETZALES, CONTADOR E-57805	PAGO QUETZALES, CONTADOR E-58506	PAGO QUETZALES CONTADOR M-62792	TOTAL EDIFICIO
10/01/2014	1 231,41	343,13	3 423,69	4 998,23
11/12/2013	1 915,13	1 394,39	2 330,69	5 640,21
11/11/2013	1 978,74	1 440,11		3 418,85
11/10/2013	2 230,42	1 775,91		4 006,33
10/09/2013	2 148,53	2 877,40		5 025,93
PROMEDIO MENSUAL	1 938,53	1 409,56	3 267,66	6 348,34

Fuente: elaboración propia.

2.12. Análisis económico cubriendo de paneles fotovoltaicos las terrazas de los edificios de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia

Según los dibujos y la distribución de los paneles en los edificios se pueden instalar un total de 308 paneles con 7 inversores, que es igual a la cantidad de los paneles del edificio T-10. Con base en él se realizará el cálculo promedio para la cantidad de energía que se puede generar tomando el total del área útil de los tres edificios.

Para este cálculo se utiliza el contrato de tarifa: mediana tensión con demanda fuera de punta – MTDfp, que es el rango tarifario del T-10.

Tabla LVIII. **Tarifa durante el mes de agosto-septiembre 2014.**

Pliego tarifario entre agosto – septiembre de 2014	
RESOLUCION	CNEE-212-2014 CNEE-213-2014
Tarifa: Media Tensión con demanda fuera de punta – MTDfp	Valor
Cargo por Consumidor (Q/usuario-mes)	798,49
Cargo Unitario por Energía (Q/kWh)	1,21
Cargo Unitario por Potencia Maxima (Q/kW-mes)	27,46
Cargo Unitario por Potencia Contratada (Q/kW-mes)	12,31

Fuente: elaboración propia.

El valor que interesa para el análisis económico, es el cargo unitario por energía en quetzales por kilovatios-hora-mes. Se hará el análisis a partir de agosto de 2014.

2.12.1.1. Costos de materiales y montajes

Los cálculos de los materiales a utilizar para el montaje y construcción de los sistemas fotovoltaicos están descritos en la siguiente tabla.

Tabla LIX. **Presupuesto de la instalación llenando la terraza de los tres edificios con paneles eléctricos**

EQUIPOS PRINCIPALES INSTALACIÓN			
DESCRIPCIÓN COMPONENTE	UNIDAD	PRECIO UNIDAD	COSTO TOTAL
Panel Jingly Solar YGE 60 CELL SERIES 2 255 Watts	924	Q1 863,68	Q1 722 040,32
Inversor AURORA PVI-10.0-1-OUTD-US 10000 Watts	21	Q30 274,20	Q635 758,20
Medidor Bidireccional marca cfe	3	Q1 900,00	Q5 700,00
Caja para medidor bidireccional	3	Q1 500,00	Q4 500,00
Cable XLPE, 600 V Y 2000 V, 90 oC 14 AWG 50 m	24	Q708,25	Q16 997,89
Cable Cal 10 awg. XLPE, 600 V Y 2000 V, 90 oC 50 metros	24	Q708,25	Q16 997,89
Cable cobre 95 mm2 RV-K 0,6/1 kv 1 metro	600	Q174,68	Q104 808,00
Total equipos principales			Q2 506 802,29
ESTRUCTURAS			
DESCRIPCIÓN COMPONENTE	UNIDAD	PRECIO UNIDAD	COSTO TOTAL
Riel unicanal galvanizado, 4x4x305 cm	1 596	Q73,50	Q117 306,00
Case serie N	504	Q47,00	Q23 688,00
Bisagra HD05	504	Q71,37	Q35 970,48
Bisagra Hb06	1 008	Q19,40	Q19 555,20
Omega	1 650	Q4,04	Q6 666,00
Zeta	1 008	Q7,30	Q7 358,40
Total estructuras			Q210 544,08
PROTECCIONES			
DESCRIPCIÓN COMPONENTE	UNIDAD	PRECIO UNIDAD	COSTO TOTAL
Fusibles 15 A	84	Q20,00	Q1 680,00
Caja de conexiones	24	Q2 675,20	Q64 204,80
Interruptor electromagnético para DC 2X20	42	Q45,00	Q1 890,00
Interruptor electromagnético para AC trifásico 3*50	24	Q80,00	Q1 920,00
Tablero de distribución 24 polos 150 amp	3	Q918,95	Q2 756,85
Interruptor electromagnético para AC General 200amp 3 polos	3	Q1 152,04	Q3 456,12
Interruptor diferencial magneto térmico 200 amp3 polos	3	Q1 500,00	Q4 500,00
Tablero para interruptor electromagnético general	6	Q550,00	Q3 300,00
Total protecciones			Q80 957,77

Continuación de la tabla LIX.

DESCRIPCIÓN COMPONENTE	UNIDAD	PRECIO UNIDAD	COSTO TOTAL
TIERRA FÍSICA			
DESCRIPCIÓN COMPONENTE	UNIDAD	PRECIO UNIDAD	COSTO TOTAL
Varillas de cobre tierra física 5/8" * 8 pies	9	Q163,50	Q1 471,50
Cable desnudo de cobre1/0	210	Q32,53	Q6 831,30
Cubo de quicbasol ingesco	36	Q232,00	Q8 352,00
Cable 2 verde 2	330	Q20,89	Q6 893,70
Soldadura codwell varilla	9	Q105,00	Q945,00
Total tierra física			Q24 493,50
PARARRAYOS			
DESCRIPCIÓN COMPONENTE	UNIDAD	PRECIO UNIDAD	COSTO TOTAL
pdv 6.3 con dispositivo de cebado y punta de acero inoxidable	3	Q17 672,00	Q53 016,00
Mástil de 6 mts de hierro galvanizado	3	Q3 400,00	Q10 200,00
Cable de cobre Thompson 28R de 1/2"	300	Q126,00	Q37 800,00
ABRAZADERA DE FIJACIÓN CON TARUGO	9	Q100,00	Q900,00
PUENTE DE COMPROBACIÓN	3	Q550,00	Q1 650,00
Contador de rayos	3	Q3 200,00	Q9 600,00
Varilla de cobre de 5/8" x 8 pies	27	Q163,50	Q4 414,50
Cubo de quicbasol ingesco	81	Q232,00	Q18 792,00
Soldadura codwell varilla	27	Q150,00	Q4 050,00
Tornillería, roldanas	3	Q400,00	Q1 200,00
Caja para juntas ingesco	6	Q560,00	Q3 360,00
Protector de cable	3	Q700,00	Q2 100,00
Junta de pruebas	6	Q950,00	Q5 700,00
Abrazaderas	42	Q105,00	Q4 410,00
Total Pararrayos			Q157 192,50
MANO DE OBRA Y CONSTRUCCIÓN			
DESCRIPCIÓN COMPONENTE	UNIDAD	PRECIO UNIDAD	COSTO TOTAL
Materiales caseta		Q15 000,00	Q15 000,00
Bases prefabricadas de hormigón	1 008	Q40,00	Q40 320,00
Terraza			
Armado de estructuras, obra gris, etc.	3	Q200 000,00	Q600 000,00
Total mano de obra y levantado			Q655 320,00
SUMA TOTAL DE MATERIALES			Q3 635 310,14

Fuente: elaboración propia.

2.12.1.2. Cálculo de energía inyectada a la red anualmente

En esta parte, se tomará en cuenta la degradación anual del panel fotovoltaico, las pérdidas que existen en el sistema que será de un 10 %, y el valor promedio del precio de la energía eléctrica. Se toma la radiación que existe en Guatemala de 5,3 horas de sol al día y con un año de 365 días. Con estos datos se elaboró la siguiente tabla.

Tabla LX. Cálculo de energía total inyectada anualmente a los tres edificios

año	Cantidad paneles	Potencia Kilo Vatios, degradación anual/panel	Generación Kilo vatios	Generación Real kW, con 10 % perdida	Generación Kilo vatios-hora/año	Precio KWh quetzales	ANUAL Quetzales
0	924	0,255	235,62	212,06	410 226,20	Q1,22	Q499 901,65
1	924	0,249	229,73	206,76	399 970,55	Q1,22	Q487 404,11
2	924	0,247	228,08	205,27	397 098,96	Q1,22	Q483 904,80
3	924	0,245	226,43	203,79	394 227,38	Q1,22	Q480 405,48
4	924	0,243	224,78	202,30	391 355,80	Q1,22	Q476 906,17
5	924	0,241	223,13	200,82	388 484,21	Q1,22	Q473 406,86
6	924	0,240	221,48	199,33	385 612,63	Q1,22	Q469 907,55
7	924	0,238	219,83	197,85	382 741,05	Q1,22	Q466 408,24
8	924	0,236	218,18	196,37	379 869,46	Q1,22	Q462 908,93
9	924	0,234	216,53	194,88	376 997,88	Q1,22	Q459 409,62
10	924	0,233	214,89	193,40	374 126,30	Q1,22	Q455 910,30
11	924	0,231	213,24	191,91	371 254,71	Q1,22	Q452 410,99
12	924	0,229	211,59	190,43	368 383,13	Q1,22	Q448 911,68
13	924	0,227	209,94	188,94	365 511,55	Q1,22	Q445 412,37
14	924	0,225	208,29	187,46	362 639,96	Q1,22	Q441 913,06
15	924	0,224	206,64	185,97	359 768,38	Q1,22	Q438 413,75
16	924	0,222	204,99	184,49	356 896,79	Q1,22	Q434 914,43
17	924	0,220	203,34	183,01	354 025,21	Q1,22	Q431 415,12
18	924	0,218	201,69	181,52	351 153,63	Q1,22	Q427 915,81
19	924	0,216	200,04	180,04	348 282,04	Q1,22	Q424 416,50

Continuación de la tabla LX.

año	Cantidad paneles	Potencia Kilo Vatios, degradación anual/panel	Generación Kilo vatios	Generación Real kW, con 10 % perdida	Generación Kilo vatios-hora/año	Precio KWh quetzales	ANUAL Quetzales
20	924	0,215	198,39	178,55	345 410,46	Q1,22	Q420 917,19
21	924	0,213	196,74	177,07	342 538,88	Q1,22	Q417 417,88
22	924	0,211	195,09	175,58	339 667,29	Q1,22	Q413 918,56
23	924	0,209	193,44	174,10	336 795,71	Q1,22	Q410 419,25
24	924	0,208	191,79	172,62	333 924,13	Q1,22	Q406 919,94

Fuente: elaboración propia.

Como se están colocando siete inversores por edificio con una potencia de 10 kilovatios hora cada uno, en total se está generando 70 kilovatios por edificio, sumado los tres edificios se tiene contemplada una generación total de 210 kilovatios hora.

2.12.1.3. Costo de producción y mantenimiento

En la tabla siguiente se muestra el análisis del costo total del sistema fotovoltaico y una proyección de sus mantenimientos anuales, contra la producción en quetzales que se espera tener con todos los paneles en funcionamiento. La tabla sirve para determinar el VPN y la TIR.

Los mantenimientos tendrán un costo anual de 1 500,00 por inversor y juego correspondiente de módulos solares conectados al inversor.

Tabla LXI. Costo de producción y mantenimiento

AÑO	producción anual de los paneles	Mantenimiento del sistema fotovoltaico	Flujo efectivo	VPN
0	Q0,00	Q3 635 310,14	-Q3 635 310,14	-Q3 635 310,4
1	Q499 901,65	Q31 500,00	Q468 401,65	-Q3 166 908,49
2	Q487 404,11	Q31 500,00	Q455 904,11	-Q2 711 004,38
3	Q483 904,80	Q31 500,00	Q452 404,80	-Q2 258 599,59
4	Q480 405,48	Q31 500,00	Q448 905,48	-Q1 809 694,10
5	Q476 906,17	Q31 500,00	Q445 406,17	-Q1 364 287,93
6	Q473 406,86	Q31 500,00	Q441 906,86	-Q922 381,07
7	Q469 907,55	Q31 500,00	Q438 407,55	-Q483 973,52
8	Q466 408,24	Q31 500,00	Q434 908,24	-Q49 065,28
9	Q462 908,93	Q31 500,00	Q431 408,93	Q382 343,64
10	Q459 409,62	Q31 500,00	Q427 909,62	Q810 253,26
11	Q455 910,30	Q31 500,00	Q424 410,30	Q1 234 663,56
12	Q452 410,99	Q665 75,00	-Q213 347,01	Q1 021 316,55
13	Q448 911,68	Q31 500,00	Q417 411,68	Q1 438 728,23
14	Q445 412,37	Q31 500,00	Q413 912,37	Q1 852 640,60
15	Q441 913,06	Q31 500,00	Q410 413,06	Q2 263 053,66
16	Q438 413,75	Q31 500,00	Q406 913,75	Q2 669 967,41
17	Q434 914,43	Q31 500,00	Q403 414,43	Q3 073 381,84
18	Q431 415,12	Q31 500,00	Q399 915,12	Q3 473 296,96
19	Q427 915,81	Q31 500,00	Q396 415,81	Q3 869 712,77
20	Q424 416,50	Q31 500,00	Q392 916,50	Q4 262 629,27
21	Q420 917,19	Q31 500,00	Q389 417,19	Q4 652 046,46
22	Q417 417,88	Q31 500,00	Q385 917,88	Q5 037 964,34
23	Q413 918,56	Q31 500,00	Q382 418,56	Q5 420 382,90
24	Q410 419,25	Q31 500,00	Q378 919,25	Q5 799 302,16
25	Q406 919,94	Q31 500,00	Q375 419,94	Q6 174 722,10

Fuente: elaboración propia.

2.12.1.4. El valor presente neto VPN

Con el uso de Excel, se sacan los valores de VPN (valor presente neto) con una tasa del 7 %; entonces, con esa tasa y los valores de generación real de la tabla anterior se coloca en la fórmula y se observa que el VPN queda positivo.

$$\text{VPN} = \text{Q } 1\,021\,382,11$$

Por lo cual se puede decir que el proyecto es rentable.

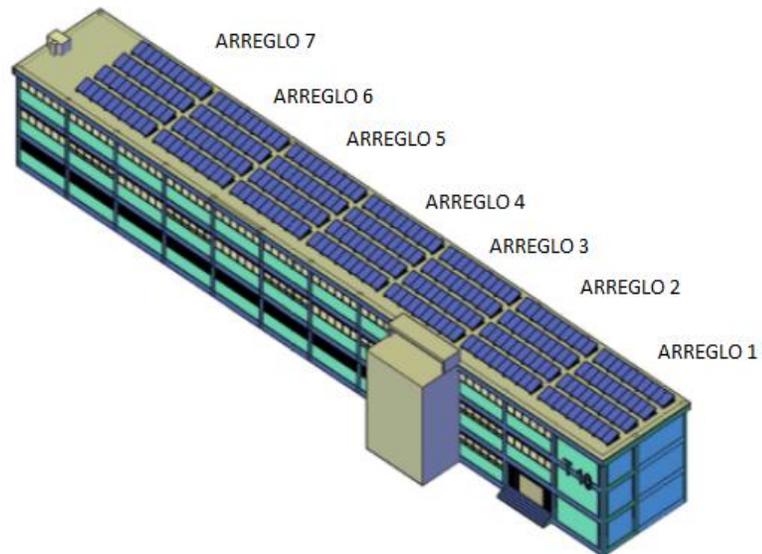
2.12.1.5. La tasa interna de retorno TIR

Para la TIR, se utiliza también una hoja de cálculo, utilizando el valor real y con 7 % de interés, da un valor de la TIR del 10%, por lo cual se puede deducir que el proyecto es rentable. Con el dato de la TIR se puede decir que la inversión se recupera en 9,61 años.

2.12.1.6. Planos con terrazas cubiertas de paneles

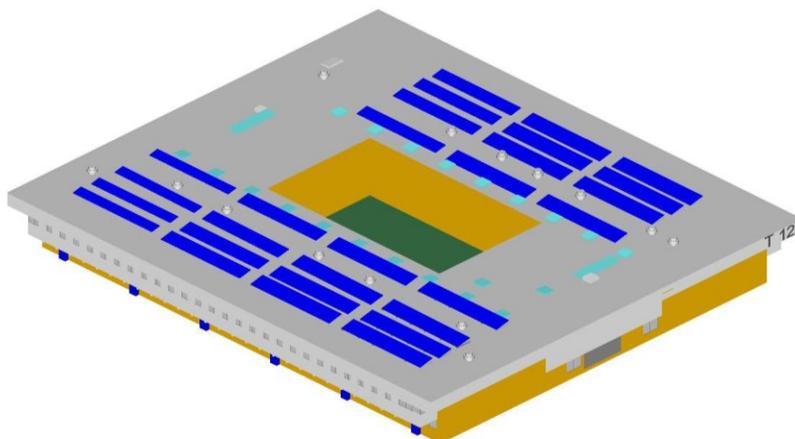
Los dos edificios T-10 y T-11 tienen las mismas dimensiones y obstáculos por eso tienen la misma distribución.

Figura 46. **Dibujo con la terraza llena de paneles para los edificios T-10 y T-11**



Fuente: elaboración propia.

Figura 47. **Dibujo con la terraza llena de paneles para el edificio T-12**



Fuente: elaboración propia.

2.13. Costo de kilovatio hora instalado en dólares

Para realizar una comparación del proyecto con la tasa del mercado se determina el costo del kWh instalado el cual será convertido en dólares con una tasa de 1 dólar equivalente a 7,75 quetzales, donde el precio del dólar no ha oscilado mucho en el último año y se ha mantenido estable.

Tabla LXII. Costo del kWh instalado en dólares

edificio	Presupuesto de instalación en quetzales	kWh Instalado	Costo instalado de kWh en quetzales	Costo instalado de kWh en dólares
T-10	1 204 381,51	70	17 205,45	2 150,68
T-11	896 075,67	50	17 921,51	2 240,18
T-12 y T-13	626 742,02	30	20 891,40	2 611,42
Área total	3 635 310,14	210	17 311,00	2 163,87

Fuente: elaboración propia.

Se toma en cuenta que a los tres edificios se les puede instalar la misma cantidad de paneles con una producción de 70 kWh cada uno; por lo tanto, se resume en área total.

2.14. Disminución de CO₂ por kilovatio hora

Para ver la importancia que tiene el sistema desde el punto de vista del medio ambiente, se realiza una comparación de cuánta emisión de CO₂ se ahorra anualmente con el sistema funcionando. Para conocer este dato se hace referencia de la siguiente ecuación.

Ecuación 1.

Cantidad de CO₂ = consumo de electricidad en kWh x factor de CO₂ en kg/kWh

Se generan dos tablas conociendo los datos de kWh generados por cada edificio: la primera tabla se hace con la cantidad de paneles para cubrir la demanda de cada edificio; la otra tabla indica cuanto se ahorra instalando toda la capacidad de las terrazas.

Tabla LXIII. Ahorro de CO₂ con cantidad de paneles necesarios para cubrir demanda

	Potencia para cubrir demanda kWh	Equivalente de CO ₂ ahorrado en kWh	Equivalente de CO ₂ por año en KG	Total ahorro de CO ₂ en toneladas por año
T-10	70,00	52,50	101 561,25	101,56
T-11	50,00	37,50	72 543,75	72,54
T-12	30,00	22,50	43 526,25	43,53
Total	150,00	112,50	217 631,25	217,63

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXIV. Ahorro de CO₂ con terrazas cubiertas de paneles

	Potencia para cubrir terraza de edificios en kWh	Equivalente de CO ₂ ahorrado en kWh	Equivalente de CO ₂ por año en KG	Total ahorro de CO ₂ en toneladas por año
T-10	70,00	52,50	101 561,25	101,56
T-11	70,00	52,50	101 561,25	101,56
T-12	70,00	52,50	101 561,25	101,56
T-13	-	-	-	-
Total	210,00	157,50	304 683,75	304,68

Fuente: elaboración propia.

2.15. Cálculo de barriles equivalentes de petróleo

Para calcular la cantidad de barriles de petróleo ahorrado en combustible para generar la energía en los edificios se divide en dos tablas: la primera con la cantidad de paneles para cubrir demanda y la segunda llenando las terrazas de los edificios. Para el efecto se utiliza la siguiente ecuación.

Ecuación 2

Barriles de petróleo equivalente = energía anual generada x 1,7 MWh

Tabla LXV. **Barriles de petróleo anuales para cubrir demanda de edificios**

	Potencia para cubrir demanda kWh	Potencia en MWh	Potencia en un año en MWh	Cantidad de barriles de petróleo
T-10	70,00	0,07	135,42	230,21
T-11	50,00	0,05	96,73	164,43
T-12	30,00	0,03	58,04	98,66
T-13	-	-	-	-
Total	150,00	0,15	290,19	493,30

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXVI. **Barriles de petróleo anuales para generar energía cubriendo toda el área de las terrazas**

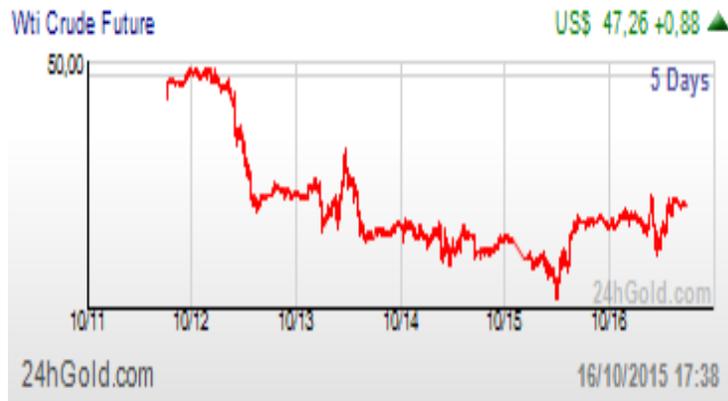
	Potencia para cubrir terraza de edificios en kWh	Potencia en Mwh	Potencia en un año en Mwh	Cantidad de barriles de petróleo anual
T-10	70,00	0,07	135,42	230,21
T-11	70,00	0,07	135,42	230,21
T-12	70,00	0,07	135,42	230,21
T-13	-	-	-	-
Total	210,00	0,21	406,26	690,62

Fuente: elaboración propia.

2.15.1. Costo en barriles de petróleo

El precio del barril de petróleo se mantiene constantemente variando; por lo tanto, se toma el precio del barril al precio del día de hoy 16 de octubre de 2015, como referencia.

Figura 48. **Precio del barril de petróleo**



Fuente: preciopetroleo.net

Tabla LXVII. Ahorro en dólares por generación anual

	Cantidad de barriles	Ahorro en dólares
Cubrir demanda de edificios	493,30	23 313,36
Edificios con capacidad total	690,62	32 638,70

Fuente: elaboración propia.

3. FASE DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE

3.1. Plan de capacitación

Las capacitaciones que se realizaron en la fase de enseñanza fue dirigida hacia alumnos de la Facultad de Ingeniería, principalmente a estudiantes de Ingeniería Eléctrica I y II, personal de la División de Servicios Generales, quienes serán los encargados de mantener en óptimas condiciones el sistema trabajando, realizando los mantenimientos preventivos y correctivos, necesarios para su buen funcionamiento y personas invitadas por el ingeniero Francisco González.

Las capacitaciones se enfocan para conocer la importancia de las energías renovables en Guatemala; conocer los beneficios de la energía solar; conocer las características y definiciones más importantes para realizar el proyecto y analizar los cálculos.

3.1.1. Capacitaciones

Las capacitaciones fueron divididas en dos partes: la primera fue sobre principios básicos de sistemas de generación fotovoltaica y sus sistemas de protecciones; y la segunda fue sobre un diseño de generación fotovoltaico en los edificios de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Estos cursos fueron expuestos gracias al apoyo de la División de Servicios Generales y el área de EPS de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, las cuales proporcionaron el apoyo con cartas para la autorización de salones para las conferencias.

3.1.1.1. Primera capacitación

La primera capacitación fue desarrollada en el salón Dr. Osorio en el Colegio de Profesionales de la zona 15, el día 23 de septiembre de 9:00 a 12:00 horas. Teniendo como maestro de ceremonias al ingeniero Willy Puente, director de la escuela de Mecánica Eléctrica. Esta trató sobre la importancia de las energías renovables, principalmente sobre los sistemas de generación fotovoltaico, dando a conocer un poco de cómo ayuda al medio ambiente este tipo de energías, se procedió a dar las generalidades tales como el funcionamiento de paneles e inversores, diseño de estructuras y protecciones del sistema fotovoltaico. Dando a conocer también las nuevas normas que existen sobre los GDR en el marco legal.

Figura 49. **Fotografía de primera capacitación**



Fuente: elaboración propia.

Figura 50. **Grupo que dio la capacitación**



Fuente: elaboración propia.

3.1.1.2. Segunda capacitación

Se desarrolló el jueves 30 de julio del 2015, en la sala 1 y 2 del salón de Audiovisuales de la Biblioteca Central en el cuarto nivel.

El tema fue diseño de sistemas solar fotovoltaico para la Universidad de San Carlos de Guatemala; en esta parte se estudió un edificio específico, el S7, para el diseño de sistema de generación fotovoltaico. Se realizó el cálculo real de la cantidad de paneles e inversores. Se realizó un análisis económico sobre los ahorros y costos, donde se demostró que el proyecto es rentable para la universidad. Se detallaron las protecciones para proteger los equipos y personas.

Figura 51. **Fotografía de segunda capacitación**



Fuente: elaboración propia.

Figura 52. **Grupo que dio la capacitación**



Fuente: elaboración propia.

Las pláticas fueron impartidas por un grupo de estudiantes, donde cada uno tomó un tema para su análisis y desarrollo, en el cual se estudió a fondo para poder solventar todas las dudas que se dieron al final de cada conferencia por el público presente.

4. PLAN DE CONTINGENCIA

Este es un plan que tiene una estructura estratégica la cual permite minimizar las consecuencias negativas a la hora que exista una situación de emergencia, el plan ayudará a evitar accidentes a la hora de realizar el proyecto, tratando de minimizar al máximo los riesgos, ya sean internos o externos.

Tratando de garantizar la continuidad al máximo del sistema solar fotovoltaico, el cual se hace con base en la evaluación y planificación de posibles riesgos; por lo cual, es necesario que sea revisado y actualizado de forma continua. El plan será elaborado para reducir riesgos de accidentes de personal y terceras personas durante la elaboración del proyecto y cuando esté en marcha, velando riesgos como incendios, seguridad personal y mantenimientos.

4.1. Riesgo por fenómenos atmosféricos

Entre los fenómenos atmosféricos se pueden mencionar en el área donde se instalarán los paneles están: lluvias torrenciales o escasas y posible caída de rayos. Las lluvias no traen ningún inconveniente mientras se tenga bien aislado el sistema fotovoltaico; además, las lluvias pueden ayudar por el hecho que ayudan a limpiar los paneles.

Respecto a la caída de rayos no se tendrá ningún problema, ya que el sistema de tierras y pararrayos están bien calculados en base a las normas correspondientes descritas oportunamente.

4.2. Riesgo de incendio

Los riesgos de incendios se pueden tener en varios lugares del sistema fotovoltaico, tanto en los inversores, cableado o incluso en los paneles solares, por lo mismo, se deben atender ciertas medidas de seguridad en los equipos, tales como:

- En los inversores se debe mantener seca y ventilada el área donde este el inversor, evitar exposición al sol y comprobar que funcione correctamente sin ruidos raros dentro de él.
- En el cableado verificar que las conexiones estén bien apretadas para evitar falsos contactos y que estén bien aislados. No se deben conectar cargas superiores al estudio realizado para evitar sobre calentamiento en el cableado.
- Mantener limpia el área de productos inflamables cerca del panel ya que puede ser de riesgo y puede agarrar fuego debido a la temperatura de los paneles.

Siempre contar con extinguidores cerca y capacitar al personal para poderlos utilizar en caso de algún inconveniente.

4.3. Riesgos causados por personal humano

Los riesgos que deben tomarse en cuenta serán durante la ejecución de la obra, tanto en la utilización de máquinas y en la instalación eléctrica propiamente dicha. Debe tomarse en cuenta los técnicos instaladores y personas que puedan verse afectadas en los alrededores de los edificios. Entre los riesgos a tomarse en cuenta están:

- Caídas del personal en ejecución de la obra y mantenimientos posteriores, ya sea preventivos y/o correctivos.
- Riesgo que caigan objetos de las terrazas.
- Golpes por utilización de equipo de trabajo.
- Descargas eléctricas.
- Quemaduras.

4.4. Medidas de seguridad

Entre las medidas de seguridad que deben preverse para la realización del proyecto están:

- Acordonamiento del área a trabajar, para evitar caída de objetos y que se lastimen terceras personas.
- Limpieza diaria de materiales sin uso para evitar caídas.
- Utilizar redes y barandas en andamios para evitar riesgos de caída de las personas o de objetos a manipular.
- Los accesorios eléctricos tales como cableado, paneles, etc. Se guardarán en lugares sin humedad.
- Se utilizara equipo aislante para evitar choques eléctricos.

También se utilizará equipo de seguridad personal; el cual debe de tener todo trabajador que esté en la obra o en los alrededores, los accesorios obligatorios serán:

- Botas con punta de acero y aislada
- Guantes
- Cascos
- Lentes protectores con protección solar uv

- Cinturones de seguridad
- Mascarillas protectoras
- Lentes de soldadura
- Cinturones para cargar el equipo
- Arnés para las alturas.

4.5. Mantenimiento preventivo

Para el correcto mantenimiento del sistema solar fotovoltaico durante su vida útil, debe hacerse mantenimientos continuos, entre los cuales inspecciones visuales y comprobación del funcionamiento del equipo. Esto debe hacerse cada cuatro meses. Las revisiones a realizar serán.

- Verificación de los módulos, limpieza y apriete de conexiones eléctricas.
- Verificación de estructuras y soportes, incluyendo ajustes y torque en los tornillos.
- Verificación del inversor.
- Verificación de las protecciones eléctricas y su cableado.
- Verificación del sistema de tierras y pruebas de meger.
- Verificación de los sistemas de pararrayos.
- Limpieza de los árboles en los alrededores para evitar sombras.

4.6. Mantenimiento correctivo

El mantenimiento correctivo será por personal capacitado en el área, el cual tendrá a su cargo el cambio o reparación de los equipos dañados en la instalación para su buen funcionamiento; se tendrá un *stock* de repuestos para la solución de dichos problemas los cuales se atenderán con la urgencia respectiva.

Para dichos mantenimientos, también se contará con el equipo de seguridad industrial correspondiente, para evitar riesgos durante estos y la protección del personal así como las instalaciones del mismo. Se desconectará la corriente en casos sea necesario sacar de funcionamiento alguna parte del sistema solar. Por esta razón, se diseñó el sistema de forma que la salida de alguna parte no afecte mucho su mantenimiento y la generación siga funcionando con la mayor cantidad de paneles para evitar pérdidas económicas.

CONCLUSIONES

1. Se diseña un sistema solar fotovoltaico que será instalado en las terrazas dentro de los edificios de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la USAC. El cual indica que es factible dicho proyecto para poder así ahorrar energía eléctrica de los edificios, con una recuperación en la inversión menor a la mitad de tiempo de la vida útil del sistema.
2. Todo sistema de generación de energía solar debe llevar protecciones eléctricas y electroatmosféricas a fin de proteger a las personas y equipos; los edificios en la actualidad no tienen red de tierras ni pararrayos, se realiza un estudio y se determina colocar un pararrayos PSD para cubrir el área total de los edificios que cubra un área de 74 metros cuadrados, utilizando la norma UNE 21.186.
3. El proyecto cubre la demanda completa de energía para los edificios T-11, T-12 y T-13 los cuales tiene el contrato de baja tensión simple BTS; teniendo que pagar solo el derecho del uso de las instalaciones de la red eléctrica, en cambio para el edificio T-10 en cual tiene contrato de tarifa: media tensión con demanda fuera de punta – MTDfp solo ayuda a pagar lo que corresponde a un 24,71 % menos en la facturas, que anualmente significa un ahorro promedio de 145 000,00 quetzales.
4. Para aprovechar el área al 100 %; se instalan 924 paneles con 21 inversores, generando una potencia de 210 kWh, con un costo total de 2 163,87 dólares por kWh instalados; los cuales tendrán un VPN positivo, con una recuperación de inversión en 9,27 años, indicando que es rentable

el proyecto, donde se puede observar un gran ahorro de energía y por consiguiente menos dinero en pagos, los cuales se pueden destinar para las mejoras de las instalaciones o laboratorios.

RECOMENDACIONES

1. Mantener toda el área alrededor de los edificios libre de sombras por los árboles o cualquier otro objeto que interfiera con la radiación solar.
2. Para realizar el proyecto es conveniente trabajar con entidades no lucrativas o internacionales interesadas en mejorar el medio ambiente, para poder obtener fondos para la realización del proyecto.
3. Diseñar en el pensum de estudios, en la rama de ingeniería, cursos sobre el uso de fuentes renovables para la generación de energía, para ayudar al planeta al medio ambiente evitando así el uso de recursos fósiles para dicha generación.

BIBLIOGRAFÍA

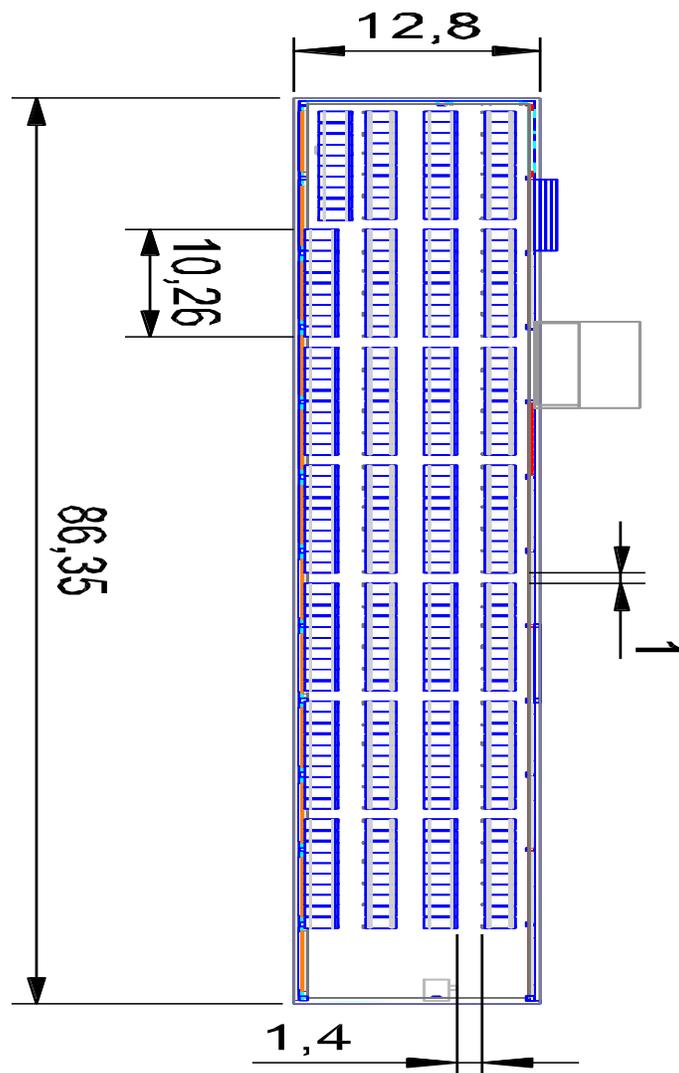
1. ALCOR CABRERIZO, Enrique. *Instalaciones solares fotovoltaicas*. 3a. ed. España: PROGENSA, S.A. 2002. 271 pp.
2. ALONSO ABELLA, Miguel. *Sistemas Fotovoltaicos, introducción al diseño y dimensionado de instalaciones de energía solar fotovoltaica*. 2a. edición. España: Editorial S.A.P.T. Publicaciones Técnicas, S.L. 2005. 619 p.
3. Comisión Nacional de Energía Eléctrica. *Tarifa de consumo eléctrico*, Resolución CNEE 18 -2005. Guatemala 31 de enero de 2005.
4. Comisión Nacional de Energía Eléctrica – CNEE - , *Norma Técnica para la Conexión, Operación, Control y Comercialización de la Generación Distribuida Renovable – NTGDR – y Usuarios Autoproductores con Excedentes de Energía*. 24-10-2008.
5. Consernegy Biotek. [en línea] www.consernegybiotek.com. Energía Solar Fotovoltaica, CODESO – Ecuador. Consulta: 12 de mayo 2015.
6. GRAMAJO CASTILLO, Alejandro. *Estudio de energía solar concentrada para obtención de energía eléctrica*. Trabajo de titulación (Ingeniero Electricista). Guatemala: USAC, Facultad de Ingeniería, 1996. 73 p.

7. INSIVUMEH, Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e hidrología, Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda.
8. IXPATA REYES, Edwin Josué. *Implementación de la energía solar para un centro integrador de tecnología para el desarrollo en escuelas rurales*. Trabajo de titulación (Ingeniero Mecánico Industrial). Guatemala: USAC, Facultad de Ingeniería, 2004. 96 p.
9. JOACHIN BARRIOS, Carmencita de los Ángeles. *Diseño de un sistema solar fotovoltaico aislado, para el suministro de energía eléctrica a la comunidad rural Buena Vista, San Marcos*. Trabajo de titulación (Ingeniero Químico). Guatemala: USAC, Facultad de Ingeniería, 2008. 235 p.
10. Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente. (Decreto Nro 68- 86).
11. Ley General de Electricidad (Decreto Nro. 93-96).
12. Ley General de Electricidad. Acuerdo Gubernativo No. 68-2007 Ampliación Artículo Nro. 39.
13. Ministerio de Energía y Minas. *Dirección general de energía, Decreto Número 52-2003. Ley de Incentivos para el Desarrollo de Proyectos de Energía Renovable*

14. Ministerio de Energía y Minas, Reglamento de la ley General de Electricidad, Acuerdo gubernativo Nro. 256-97, Guatemala, 21 de marzo de 1997.
15. OVALLE SAENZ, Flavio Francisco, *Aplicaciones de energía solar y control de panel fotovoltaico*. Trabajo de titulación (Ingeniero Electricista). Guatemala: USAC, Facultad de Ingeniería, 1990. 79 p.
16. LÓPEZ LÓPEZ, Luis. *Panel solar hibrido fotovoltaico/ térmico con incremento de eficiencia en sistema fotovoltaico*
<http://panelsolarhibrido.es>.
17. Servicios Generales, Universidad de San Carlos de Guatemala. *Registros contables, Consumo Energía Eléctrica*.

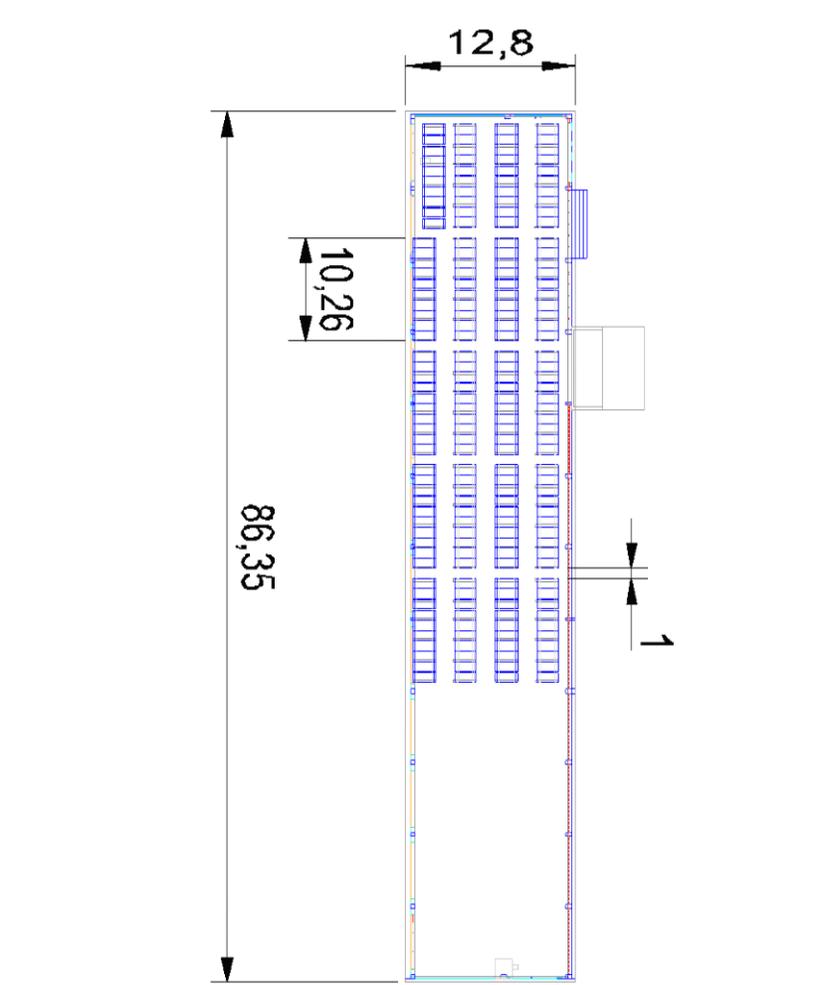
APÉNDICES

Apéndice 1. Edificio T-10



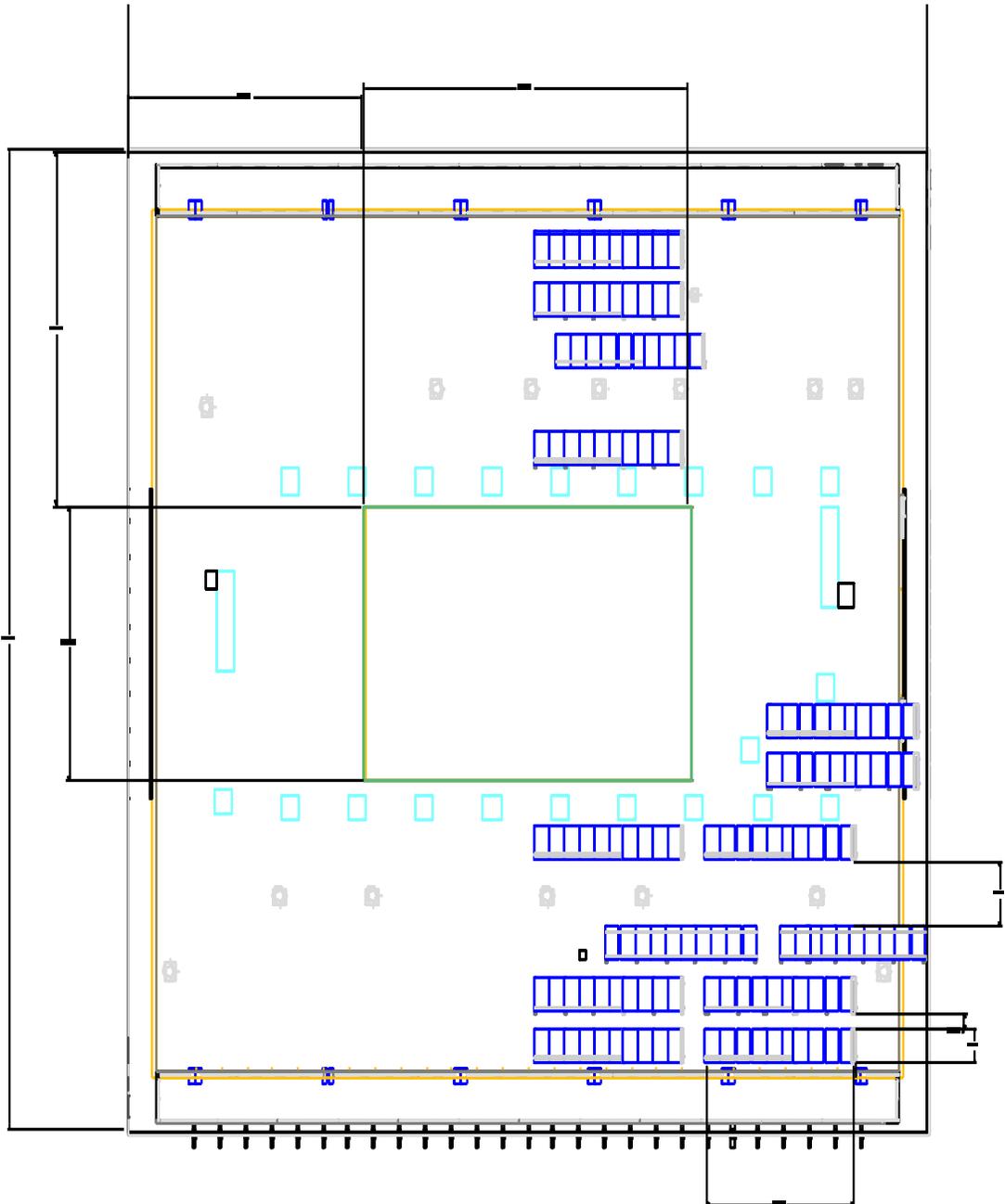
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Edificio T-11



Fuente: elaboración propia.

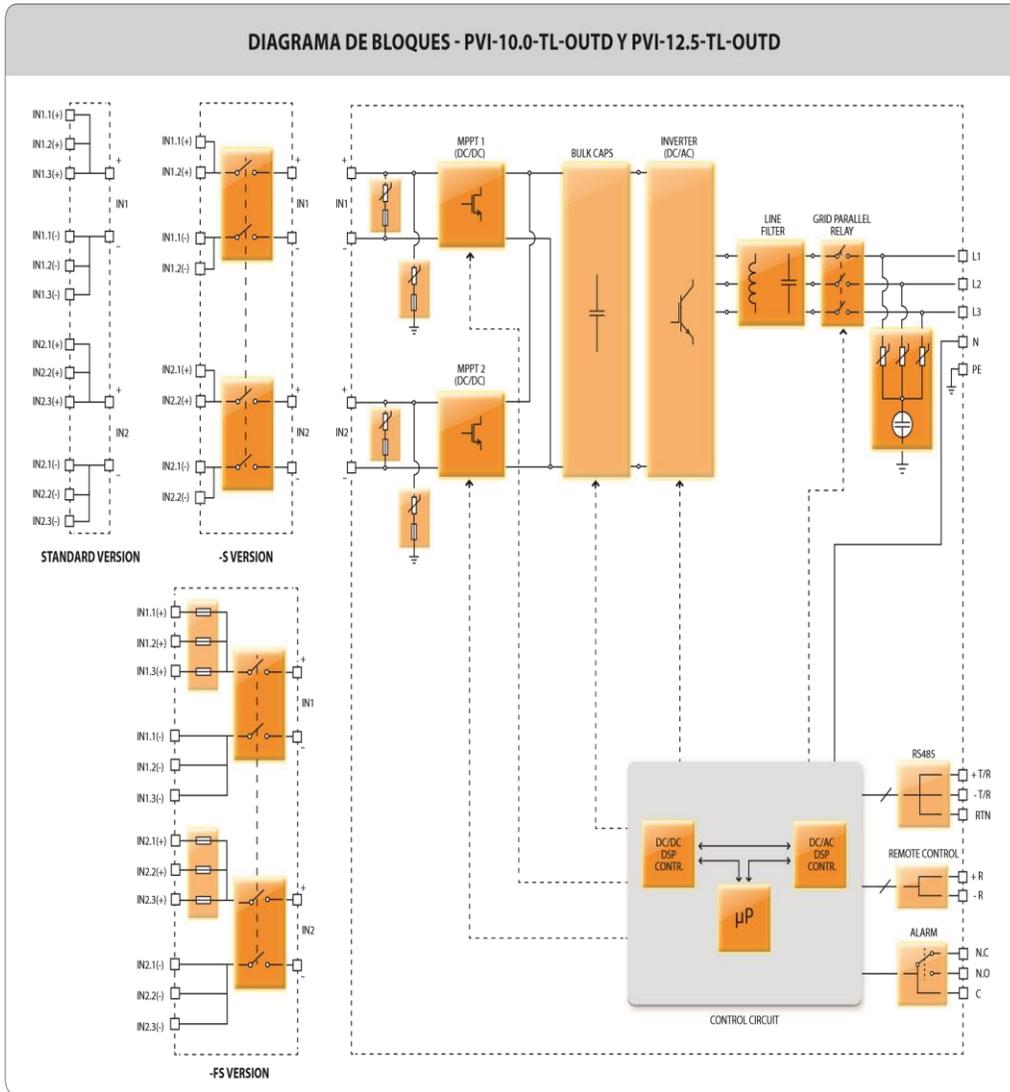
Apéndice 3. Edificio T-12



Fuente: elaboración propia.

ANEXOS

Anexo 1. Diagrama de bloques del inversor.



Fuente: Power one, Renewable energy solutions.

Anexo 2. Características generales del panel solar.

STC: 1000 W/m² Irradiancia, 25°C Tmódulo, AM1,5 distribución espectral según EN 60904-3
Reducción media de la eficiencia relativa de 5% a 200 W/m² según EN 60904-1

Parámetros Eléctricos en Temperatura de Operación Nominal de la Célula(TONC)

Parámetro	Unidad	W	189,7	186,0	182,4	178,7	175,1
Potencia de salida	P _{max}	W	27,6	27,4	27,2	27,0	26,8
Tensión en P _{max}	V _{mpp}	V	6,87	6,79	6,71	6,62	6,54
Intensidad en P _{max}	I _{mpp}	A	34,8	34,8	34,7	34,6	34,6
Tensión en circuito abierto	V _{oc}	V	7,35	7,28	7,21	7,14	7,07
Intensidad en cortocircuito	I _{sc}	A					

TONC: Temperatura en circuito abierto del módulo a 800W/m² de irradiación, 20°C de temperatura ambiente y 1m/s de velocidad del viento

CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS

Temperatura de Operación Nominal de la Célula	TONC	°C	46 +/- 2
Coefficiente de temperatura para P _{max}	γ	%/°C	-0,42
Coefficiente de temperatura para V _{oc}	β _{Voc}	%/°C	-0,32
Coefficiente de temperatura para I _{sc}	α _{Isc}	%/°C	0,05
Coefficiente de temperatura para v _{mpp}	β _{Vmpp}	%/°C	-0,42

CONDICIONES DE OPERACIÓN

Máxima tensión del sistema	1000V _{DC}
Valor máximo del fusible en serie	15A
Limitación de corriente inversa	15A
Rango de temperaturas de funcionamiento	-40°C hasta 85°C
Máxima carga estática frontal (nieve)	5400Pa
Máxima carga estática posterior (viento)	2400Pa
Max. impacto por granizo (diámetro / velocidad)	25mm / 23m/s

MATERIALES

Cubierta frontal (material / espesor)	Vidrio templado de bajo contenido en hierro / 3,2 mm
Célula solar (cantidad / tipo / dimensiones / Número de Busbars)	60 / silicio multicristalino / 156 x 156 mm / 2 ó 3
Encapsulante (material)	Etilvinilacetato (EVA)
Marco (material / color / color del anodizado / sellado del marco)	Aluminio anodizado / plata / claro / material de sellado
Caja de conexiones (grado de protección)	≥ IP65
Cable (longitud / sección)	1100mm / 4mm ²
Conector (tipo / grado de protección)	MC4 / IP67 o YT08-1 / IP67 o Amphenol H4 / IP68

• Debido a la continua innovación, investigación y mejora de producto, la información y las especificaciones citadas en esta hoja de

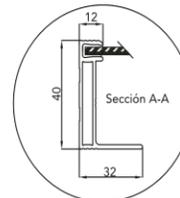
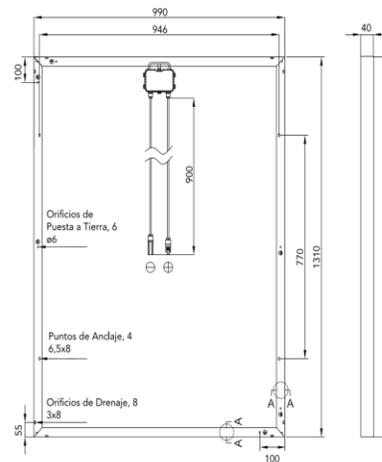
CARACTERÍSTICAS GENERALES

Dimensiones (longitud / anchura / profundidad)	1650mm / 990mm / 40mm
Peso	18,5kg

ESPECIFICACIONES DEL EMBALAJE

Número de módulos por palé	26
Número de palés por contenedor (40')	28
Dimensiones del Embalaje (longitud / anchura / profundidad)	1710mm / 1160mm / 1178mm
Peso del palé	514kg

Unidades: mm



Advertencia: Leer el Manual de Instalación y Uso en su totalidad antes de manejar, instalar y operar módulos Yingli.

Fuente: Yingli solar.

