

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Propuesta para la implementación de un sistema solar fotovoltaico en el Centro Comercial  
Arboreto, Tiquisate

Trabajo de graduación presentado por Brayson Estuardo González Hernández para optar al grado  
académico de Licenciado en Ingeniería Industrial

Guatemala,

2022



UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Propuesta para la implementación de un sistema solar fotovoltaico en el Centro Comercial  
Arboreto, Tiquisate

Trabajo de graduación presentado por Brayson Estuardo González Hernández para optar al grado  
académico de Licenciado en Ingeniería Industrial

Guatemala,

2022

Vo. Bo.:



---

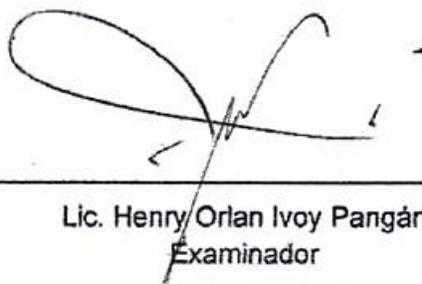
Ing. Javier Estuardo Reyes Limatú  
Asesor

Tribunal Examinador:



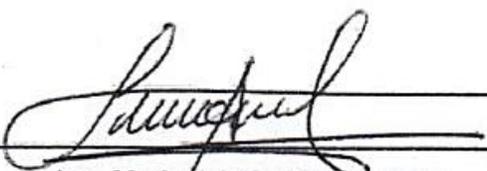
---

Ing. Javier Estuardo Reyes Limatú  
Asesor



---

Lic. Henry Orlan Ivoy Pangán  
Examinador



---

Ing. Mario Adolfo Sian Quisque  
Director

Fecha de aprobación: Guatemala 15 de diciembre de 2,022

# Índice

Lista de cuadros .....	vii
Lista de ilustraciones.....	x
Resumen.....	xiv
I. Introducción.....	1
II. Objetivos .....	3
A. General.....	3
B. Específicos .....	3
III. Justificación .....	4
IV. Marco de referencia .....	5
A. Situaciones ambientales .....	5
B. Energía eléctrica.....	10
C. Alternativas para la generación de electricidad.....	13
D. Energía fotovoltaica .....	19
E. Plan nacional de energía 2,017 - 2,032.....	34
F. Norma técnica para la conexión, operación, control y comercialización de la generación distribuida renovable y usuarios autoprodutores con excedentes de energía ( <i>NTGDR</i> ) .....	44
V. Antecedentes .....	50
A. Historia de la empresa.....	50
B. Misión y visión de la empresa.....	51
C. Mercado de la empresa.....	52
D. Crecimiento y logros.....	52
E. Estructura organizacional del centro comercial.....	53
F. Ubicación geográfica.....	54
VI. Marco metodológico.....	56
A. Dimensiones de las instalaciones .....	56
B. Consumo de energía .....	63
C. Costos de energía .....	75
D. Gastos de energía .....	78
VII. Diagnóstico y análisis.....	80

A.	Variabilidad en los resultados y en los datos recolectados .....	80
B.	Demandas energéticas .....	90
C.	Resultados .....	96
VIII.	Propuesta.....	99
A.	Implementación de los módulos fotovoltaicos.....	99
B.	Inversión.....	133
C.	Seguimiento al sistema fotovoltaico.....	157
IX.	Conclusiones.....	165
X.	Recomendaciones.....	168
XI.	Bibliografía.....	170
XII.	Anexos.....	175

## Lista de cuadros

Tabla 1. Magnitudes para medir la radiación del sol .....	20
Tabla 2. Proyectos fotovoltaicos a gran escala en Guatemala .....	22
Tabla 3. Registro de objetos eléctricos en el primer nivel .....	64
Tabla 4. Registro de objetos eléctricos en el segundo nivel .....	64
Tabla 5. Registro de objetos eléctricos en la oficina administrativa.....	65
Tabla 6. Registro de objetos eléctricos en el área de bodegas .....	65
Tabla 7. Registro de objetos eléctricos en el área del parqueo .....	67
Tabla 8. Registro de objetos eléctricos en kiosco comercial TMA.....	67
Tabla 9. Registro de objetos eléctricos en kiosco comercial oso polar.....	67
Tabla 10. Registro de objetos eléctricos en kiosco comercial cámaras fix .....	67
Tabla 11. Resumen de consumos energéticos de las áreas comunes .....	68
Tabla 12. Registro de objetos eléctricos en heladería Sarita.....	69
Tabla 13. Registro de objetos eléctricos en la oficina de Claro .....	69
Tabla 14. Registro de objetos eléctricos en local comercial de Claro.....	69
Tabla 15. Registro de objetos eléctricos en óptica santa paula .....	70
Tabla 16. Registro de objetos eléctricos en heladería la nevería .....	70
Tabla 17. Registro de objetos eléctricos en cargo expreso .....	70
Tabla 18. Registro de objetos eléctricos en zapatería Roy.....	71
Tabla 19. Consumo energético de cada local comercial durante 10 meses .....	72
Tabla 20. Resumen de consumos energéticos promedios de las distintas empresas y negocios ...	73
Tabla 21. Consumos de energía entre el sistema hídrico y Pollo Campero .....	74
Tabla 22. Costos de energía mensual que cada empresa debe cubrir .....	77
Tabla 23. Resumen de costos por la utilización de electricidad .....	78
Tabla 24. Consumos energéticos promedio que contemplaban las luminarias inservibles.....	83
Tabla 25. Comparación de la cantidad de objetos en actividad en el área del parqueo .....	84
Tabla 26. Aumento en la cantidad de luminarias en el primer nivel.....	85
Tabla 27. Objetos eléctricos en el parqueo que pueden ser reparados o reemplazados .....	85
Tabla 28. Demanda energética según el mes .....	87

Tabla 29. Demanda energética según la cantidad de meses semejantes .....	88
Tabla 30. Causas de la demanda energética en las áreas comunes .....	90
Tabla 31. Consumos energéticos de los negocios y empresas en actividad.....	92
Tabla 32. Demandas de los locales comerciales de alto y bajo consumo .....	97
Tabla 33. Demanda colectiva conformada por las áreas comunes y los locales comerciales.....	97
Tabla 34. Demanda diaria colectiva y estratificada .....	98
Tabla 35. Potencia total instalada en las áreas comunes.....	116
Tabla 36. Potencia total instalada de los locales comerciales registrados .....	119
Tabla 37. Presupuesto redondeado en una cifra exacta estimado por el personal de ventas de AISA .....	134
Tabla 38. Estratificación de costos según la valorización inicial del proyecto fotovoltaico.....	135
Tabla 39. Costos de dispositivos y componentes fotovoltaicos tomados del sitio web de Autosolar .....	136
Tabla 40. Referencia de costos de conductores y ductos .....	137
Tabla 41. Diferencia de costos al realizar una importación entre contratar una empresa nacional para la puesta en marcha del proyecto .....	139
Tabla 42. Cronograma de las actividades principales para conformar el sistema fotovoltaico ...	141
Tabla 43. Producción de energía según las HSP de cada mes .....	142
Tabla 44. Producción de energía respecto a la disminución del rendimiento durante la vida útil de los paneles.....	142
Tabla 45. Producción de energía según las HSP de cada mes y los excedentes energéticos generados .....	144
Tabla 46. Producción de excedentes energéticos según el mes y según el rendimiento por año. 145	
Tabla 47. Demanda de los meses inapropiados siendo abastecida por los excedentes producidos en los otros meses .....	146
Tabla 48. Valorización de la demanda anual sostenida siendo actualizada al presente en función al año de análisis.....	148
Tabla 49. Inversión, flujos de efectivo y los años totales de vida útil del proyecto.....	151
Tabla 50. Ritmo inflacionario en Guatemala .....	153
Tabla 51. Periodo de recuperación de la inversión .....	155

Tabla 52. Meses en donde se toma energía de la red y considerando todo el tiempo útil de los módulos.....	156
Tabla 53. Proporciones de abastecimiento de energía anual en kWh .....	157
Tabla 54. Cronograma de actividades para el mantenimiento del sistema fotovoltaico .....	161

## Lista de ilustraciones

Ilustración 1. Emisiones globales de CO <sub>2</sub> a lo largo del tiempo.....	13
Ilustración 2. Matriz de generación energética en Guatemala en verano.....	18
Ilustración 3. Matriz de generación energética en Guatemala en invierno .....	19
Ilustración 4. Mapa que indica la cantidad de energía solar según las distintas partes del país ....	22
Ilustración 5. Representación de la transferencia energética entre fotones y electrones .....	23
Ilustración 6. Panel fotovoltaico .....	24
Ilustración 7. Partes de un panel fotovoltaico .....	25
Ilustración 8. Capas de una célula solar .....	26
Ilustración 9. Funcionamiento de la célula solar.....	26
Ilustración 10. Representación de las estructuras moleculares del silicio adulterado.....	28
Ilustración 11. Zona de transición provocada por el contacto de los materiales N y P.....	29
Ilustración 12. Zona de transición más amplia para un mejor flujo de electricidad .....	30
Ilustración 13. Marco legal del subsector eléctrico en Guatemala.....	38
Ilustración 14. Gráfica deseada para un desarrollo sostenible en el país .....	43
Ilustración 15. Acrónimos utilizados en la NTGDR.....	44
Ilustración 16. Logotipo de Arboreto.....	50
Ilustración 17. Logotipo de Íntegro .....	51
Ilustración 18. Logotipo de Aicsa.....	53
Ilustración 19. Jerarquía de ocupaciones .....	53
Ilustración 20. Ubicación de Tiquisate en el mapa departamental de Escuintla .....	54
Ilustración 21. Vista satelital de Tiquisate .....	55
Ilustración 22. Vista isométrica el edificio principal .....	56
Ilustración 23. Área del parqueo .....	57
Ilustración 24. Vista frontal e isométrica del edificio principal.....	58
Ilustración 25. Comparación de altura entre un humano y la fachada del edificio .....	59
Ilustración 26. Cumbre del edificio principal .....	60
Ilustración 27. Cubierta del edificio principal .....	60

Ilustración 28. Techo tipo standing seam.....	61
Ilustración 29. Sistema fotovoltaico existente en la cubierta.....	61
Ilustración 30. Medidas de la cumbrera.....	62
Ilustración 31. Medidas de la cubierta.....	62
Ilustración 32. Identificación de parámetros dentro del manual AIM de Franklin Electric para obtener el dato de consumo del motor sumergible.....	66
Ilustración 33. Unidad móvil de Pollo Campero.....	74
Ilustración 34. Deterioro en la fachada del edificio principal.....	78
Ilustración 35. Luminarias LED del segundo nivel desactivadas en donde no hay locales en actividad.....	79
Ilustración 36. Luminarias LED inservibles.....	80
Ilustración 37. Vista lateral del edificio principal.....	81
Ilustración 38. Vista frontal e isométrica del edificio.....	81
Ilustración 39. Luminaria LED empotrada en el suelo del parqueo.....	82
Ilustración 40. Construcción del edificio de Dollarcity.....	83
Ilustración 41. Historial de consumo en el portal web de Energuate.....	89
Ilustración 42. Proporciones de la demanda de las áreas comunes.....	91
Ilustración 43. Bajos consumos energéticos.....	93
Ilustración 44. Altos consumos energéticos.....	94
Ilustración 45. Demanda conjunta de los locales comerciales.....	95
Ilustración 46. Datos sobre la radiación solar que incide en Tiquisate.....	100
Ilustración 47. Curva de irradiación promedio del mes de enero.....	100
Ilustración 48. Valores de irradiación por mes en distintas horas del día.....	101
Ilustración 49. Célula de silicio policristalino y monocristalino.....	102
Ilustración 50. Panel solar policristalino y monocristalino.....	103
Ilustración 51. Coeficientes de temperatura para el panel monocristalino.....	103
Ilustración 52. Coeficientes de temperatura para el panel policristalino.....	104
Ilustración 53. Ficha técnica del módulo ofrecido por AISA.....	105
Ilustración 54. Módulo solar monocristalino de 144 células.....	106
Ilustración 55. Instalación fotovoltaica aislada y conectada a la red.....	110

Ilustración 56. Diagrama de flujo del recorrido de la energía eléctrica hacia las áreas comunes	112
Ilustración 57. Datos técnicos de entrada del inversor.....	113
Ilustración 58. Inversor Deye de 10 kW .....	114
Ilustración 59. Parte de conectividad del inversor .....	115
Ilustración 60. Datos técnicos de salida del inversor .....	115
Ilustración 61. Grupo de 33 módulos más string de 10 con sus líneas eléctricas hacia el inversor .....	117
Ilustración 62. Diagrama de flujo del recorrido de la energía eléctrica hacia los locales comerciales .....	118
Ilustración 63. Vista frontal del edificio en un plano de distancias .....	120
Ilustración 64. Inclinación en común de la cubierta y la cumbre ..... 121	121
Ilustración 65. Vista aérea y orientación del Centro Comercial .....	122
Ilustración 66. Antigua perspectiva del Centro Comercial desde la calzada principal de Tiquisate .....	122
Ilustración 67. Representación del espacio disponible en la cubierta próxima al sur geográfico	123
Ilustración 68. Vista aérea de todas las instalaciones .....	124
Ilustración 69. Representación espacial de una adaptación de 86 módulos al techo del edificio principal .....	125
Ilustración 70. Componentes de sujeción para instalar los módulos fotovoltaicos al techo standing seam .....	126
Ilustración 71. Comparativa de anchura entre pieza en L y la costilla metálica del techo.....	127
Ilustración 72. Medidas de la pieza en L el cual permite la instalación de los perfiles de la estructura.....	127
Ilustración 73. Herramientas y equipo de protección recomendado para la instalación de estructuras fotovoltaicas.....	129
Ilustración 74. Secuencia de conductores y conectores para unir a los módulos con los inversores .....	130
Ilustración 75. Conectores Weidmüller .....	130
Ilustración 76. Conectores mc4.....	131
Ilustración 77. Tubo flexible para proteger a los conductores eléctricos.....	132

Ilustración 78. Cuarto eléctrico del Centro Comercial .....	132
Ilustración 79. Distancias desde el techo del edificio hasta el interior del cuarto eléctrico .....	133
Ilustración 80. Costos estimados por el flete marítimo de un contenedor desde España.....	138
Ilustración 81. Pliegos tarifarios en mayo del 2,022 publicados por la CNEE.....	143
Ilustración 82. Diagrama de flujo de efectivo de toda la vida útil del proyecto .....	149
Ilustración 83. Curva de relación entre la tasa de descuento y el VAN.....	150
Ilustración 84. Beneficios y costos en cada año de vida útil del proyecto.....	154

## Resumen

A lo largo de las visitas realizadas al Centro Comercial Arboreto Tiquisate, se observó que existe una alta demanda energética en todo el edificio, tanto en interiores como en exteriores, por lo que se decidió elaborar esta referencia técnica y ambiental para la implementación de un sistema con un número importante de paneles solares, aprovechando de esta manera un recurso natural que puede considerarse ilimitado.

Dicho lo anterior, fue necesario tener datos de consumo mediante cada elemento u objeto que dependa diariamente de la electricidad para su funcionamiento, por lo que se realizaron entendibles registros que contienen la mayoría de los elementos eléctricos, la cantidad por cada tipo, sus horas de uso y su respectivo consumo en *Watts-hora*.

Se tratará de proponer 2 sistemas solares fotovoltaicos conectados a la red actual de distribución de energía, pero con la diferencia en la cantidad de paneles solares que se deberán instalar y se elegirá uno dependiendo que opción es más viable en cuanto a financiamiento, reducción de costos operativos y la adaptabilidad de la infraestructura. El primer sistema propuesto alimentará de energía únicamente a las áreas comunes, mientras que el segundo sistema permitirá abastecer de electricidad a esas mismas áreas y los consumos de los locales comerciales, por lo que la empresa que opera el Centro Comercial se puede convertir en un proveedor de este recurso para las empresas en actividad en el interior del edificio o ahorrar costos energéticos respecto a las áreas comunes.

# I. Introducción

La implementación de un sistema fotovoltaico lo suficientemente amplio y atado a la red cubrirá en su totalidad el consumo energético de todas las áreas y locales comerciales del lugar.

En primera instancia la empresa que opera el inmueble no podría llevar a cabo la instalación para abastecer a esta demanda energética colectiva, debido a que la cubierta y cumbre del edificio principal no ofrecen el espacio requerido para la cantidad de unidades generadoras a utilizar. Sin embargo, en base a los objetivos de esta investigación, se plantea la posibilidad de instalar un sistema fotovoltaico dimensionado para cubrir el consumo eléctrico de las áreas comunes y que se adecue al espacio disponible del edificio hasta el momento de este análisis, justificando lo último por las modificaciones infraestructurales y de diseño a las que el lugar está influenciado, dejando saber con esto que realmente si es posible implementar un sistema solar, pero dependerá de la cantidad de consumo que se quiera cubrir con los escenarios más reales de producción a esperar y la cantidad de espacio a considerar.

El siguiente contenido se sustenta de las definiciones y conceptos básicos para asimilar, por una parte, el compromiso que cada ciudadano guatemalteco tiene para impulsar el desarrollo en cualquier ámbito de manera sostenible y respetuosa con el medio ambiente. Por otro lado, se da a conocer el funcionamiento, los componentes principales y la comprensión de la producción que tiene un sistema de este tipo con base en sus características, rendimiento y la disponibilidad del recurso solar presente en la ubicación dada.

Investigación, análisis crítico y recopilación de la información recibida durante el desarrollo del pensum de la carrera en ingeniería en tecnología industrial de la Universidad del Valle de Guatemala campus sur, reforzaron principalmente las herramientas y metodologías de evaluación para dar los criterios más fundamentales como lo son la viabilidad económica, ambiental, técnica y financiera; para este caso siempre será indispensable tomar dichos criterios al evaluar bienes de uso a largo plazo con una degradación intrínseca y gradual.

En este trabajo se logró recopilar datos de consumo, así como la potencia y horas de uso de los objetos eléctricos, de manera que se pudo estratificar los datos tal y como se mostrara en el desarrollo de la lectura, pudiendo observar principalmente la utilización de tablas y formulas con una necesaria participación en la explicación del siguiente debate. Acompañando a todo esto se hace necesario demostrar partes de estas definiciones para comprender la intención de esta

propuesta, a su vez que se trata de explicar los datos obtenidos, los resultados y los puntos de vista según los conocimientos y criterios razonables.

Es válido y comprobable que los 3 criterios más importantes a tomar en cuenta para proponer un dimensionamiento con base en una demanda eléctrica serán las horas solar pico, la magnitud de la demanda eléctrica y la cantidad de potencia que pueda ofrecer el módulo fotovoltaico, considerando una pérdida por condiciones de temperatura y la variabilidad de la necesidad energética según lo expuesto en el diagnóstico planteado en esta investigación, tomando estos factores como condiciones reales con las que el sistema fotovoltaico puede interactuar. Respecto a cubrir la demanda energética de las áreas comunes, el proyecto es rentable si se contrata a una empresa en el interior del país que comprenda de los servicios y materiales necesarios para implementar el sistema en el Centro Comercial y que no se exceda el presupuesto establecido.

## II. Objetivos

### A. General

1. Proponer la implementación de un sistema solar fotovoltaico en el Centro Comercial Arboreto, Tiquisate, para abastecer la demanda energética y ahorrar costos operativos.

### B. Específicos

1. Realizar un diagnóstico de la situación actual del Centro Comercial en cuanto al consumo de energía eléctrica para determinar la cantidad de paneles solares que serán necesarios en la infraestructura y utilizar las horas solar pico que existen en la región.

2. Realizar el inventario de los dispositivos eléctricos en función, determinando la potencia y horas efectivas de uso para calcular la demanda de energía eléctrica en las áreas comunes y los locales comerciales.

3. Proponer 2 sistemas solares conectados a la red; un sistema que abastezca de energía a las áreas comunes y locales comerciales y un sistema que solo genere electricidad hacia las áreas comunes, para determinar que opción es más viable en cuanto a presupuesto y reducción de costos.

4. Desarrollar una referencia técnica, un análisis ambiental y calcular financieramente los costos de inversión para una mejor toma de decisiones a través de los beneficios económicos operativos que surgirán en ambos sistemas solares por la producción de energía renovable.

### III. Justificación

Lo que se pretende con este trabajo de investigación es demostrar que la generación de energía eléctrica solar es una idea altamente positiva para el Centro Comercial, por la simple y notable razón de que la posición geográfica en la que se encuentra es favorable para la producción de dicha energía. De igual forma y no menos importante, el constante compromiso ambiental que debe de ser promovido en las comunidades y sus alrededores de manera que surjan soluciones factibles para el cuidado y regeneración del medio ambiente a través del aprovechamiento de las diferentes energías renovables que existen, por medio de los sistemas tecnológicamente diseñados para la utilización de estas.

Al momento de contactar y comunicarle la idea al administrador del Centro Comercial, este demostró interés e inmediata aceptación para la realización de la propuesta, ya que él comentó haber recibido visitas de varios técnicos e ingenieros para monitorear la infraestructura y evaluar si es posible dar marcha a un proyecto de este tipo, con el mismo objetivo principal de hacer que el consumo energético total del edificio fuera autosustentable. Sin embargo, a la vez él decía que ninguna persona de las que se acercó a las instalaciones con dicha intención presento de manera formal un informe en el cual se detallará la propuesta con resultados y estimaciones reales para la toma de decisiones finales.

En lo anterior mencionado radica la importancia de la propuesta, las personas encargadas de velar por el buen desempeño en la utilización de recursos para el funcionamiento del Centro Comercial, necesitan observar y analizar la información que los oriente a conocer sobre todas las ventajas y desventajas que conllevará implementar un sistema solar fotovoltaico, la inversión, costos de mantenimiento y encontrar a las personas capacitadas para llevar a cabo la instalación, acondicionamiento, control y seguimiento que requerirá este sistema de generación de energía eléctrica.

## IV. Marco de referencia

### A. Situaciones ambientales

La característica más destacable de un proyecto energético renovable es la favorable acción que tiene en su funcionamiento respecto al entorno en donde se encuentra; realiza las operaciones necesarias para el trabajo útil esperado sin dañar al ambiente ni a sus componentes de manera directa y que en conjunto conforman el planeta Tierra, el cual es el único cuerpo celeste en donde el ser humano puede vivir y desarrollarse inclusive con las acciones negativas que este causa, aunque es necesario recordar que estas acciones tienen consecuencias a largo plazo que terminan produciendo desastrosos efectos como lo es el calentamiento global.

Según lo que presenta la enciclopedia *Mentor Interactivo* (1997:362-787) se conceptualizarán los temas más importantes para recordar las principales definiciones de los componentes que se involucran al momento de obtener energía eléctrica a través de los recursos de origen fósil:

#### 1. Medio ambiente

##### a. Ecología

Se partirá mencionando a una ciencia que, por sus objetivos y su definición, se ajusta perfectamente a la relación entre el ser humano y todo el sistema planetario desde su aparición. Es pues la ecología la ciencia que estudia todas aquellas interacciones y relaciones constantes de los seres vivos con el lugar y ambiente que está en sus alrededores. De igual manera, estudia los comportamientos del ser humano para obtener recursos indispensables para la vida como lo es el oxígeno, agua, alimentos, minerales, madera, energía, etc. Algunos de estos recursos como la electricidad, se han venido obteniendo a través de diferentes procesos complejos pero que suplen con mayor facilidad las necesidades humanas debido a la industrialización, lo que hace más propenso el agotamiento de estos recursos, que increíblemente, hace tiempo atrás se pensó que todos ellos eran casi ilimitados. Estas acciones para dicha obtención algunas veces, directa o indirectamente, generan diferentes magnitudes de impactos ambientales que se hacen notar en la desintegración de ecosistemas, reducción de especies animales, fenómenos naturales de mayor gravedad, aumento de la temperatura media en el globo terráqueo, incendios forestales, entre muchos más, debido a distintas causas comunes y graves como por ejemplo la contaminación directa a la atmosfera, aguas y suelos, desertización o tala de grandes espacios verdes,

disminución de la capa de ozono y grandes concentraciones de gases de efecto invernadero (Mentor Interactivo, 1997:757).

Por otra parte, la sociedad moderna supone una relación altamente peligrosa y perjudicial hacia el medio ambiente, debido a que se aumenta la exigencia para que cada individuo pueda obtener los recursos actuales necesarios para un desarrollo integral en su vida (social, económico, cultural, intelectual, etc.). Sin embargo, estos recursos terminan siendo limitados por la misma intervención del hombre al utilizarlos a su favor y estas intervenciones muchas veces son severamente impactantes hacia la atmósfera y la naturaleza en general, perjudicando primeramente de gran manera a las personas limitadas a los recursos básicos cuando suceden las consecuencias de los daños producidos hacia la biósfera (Mentor Interactivo, 1,997:787).

La relación del hombre con el medio ambiente está estrechamente relacionada con el aumento de los impactos negativos, mencionando principalmente a la mayor cantidad de incineración de combustibles fósiles que se da en el sector industrial y sus procesos productivos, así como en todo el transporte de motores de combustión interna existentes alrededor del mundo, que de igual manera estos combustibles aunque se puedan producir en enormes cantidades están limitados y su uso constante y en masivas cantidades es totalmente dañino para la atmósfera en su totalidad a mediano y largo plazo (Mentor Interactivo, 1,997:787).

Los objetivos de estudio y análisis de la ecología son precisamente estos, el estudiar los diferentes componentes y factores que inciden en los distintos ecosistemas, justificando esto para eliminar o disminuir hasta donde sea posible todos aquellos riesgos que acarrea las actividades humanas y afectan a la evolución de estos junto a las practicas que directa o indirectamente generan consecuencias a corto o largo plazo en algún aspecto ambiental. También, esta ciencia se encarga de enfatizar a las personas sobre el alarmante peligro que entraña una explotación masiva de la Tierra y sus recursos (Mentor Interactivo, 1997: 759).

#### b. La atmósfera

Es una serie de capas de gases consecutivas presente en la mayoría de los planetas del sistema solar. La del planeta Tierra cumple una importantísima función para la generación y reproducción de la vida tanto vegetal como animal, ya que de esta depende el oxígeno que todos los organismos vivos utilizan, al mismo tiempo que protege de la peligrosa radiación del espacio exterior, de los rayos cósmicos, mantiene una adecuada temperatura y sin ella el cuerpo celeste sería demasiado frío como para albergar la biodiversidad conocida actualmente. Esta se compone de distintas

capas estratificadas llamadas tropósfera, estratósfera, mesósfera, termósfera y exósfera (Mentor Interactivo, 1997:778).

En la capa denominada estratósfera se encuentra la vital e indispensable capa de ozono, que absorbe la mayoría de la radiación ultravioleta proveniente del sol, evitando los efectos letales que produciría sobre cualquier ser vivo en la Tierra (Mentor Interactivo, 1997:778).

#### c. El filtro terrestre

Cuando se habla de las complejas transferencias energéticas entra la superficie terrestre y la atmósfera es debido al equilibrio térmico propio del sistema planetario, que a su vez depende del balance de la radiación Tierra-atmósfera. En este balance radioactivo, la atmosfera desempeña un papel fundamental con su intrínseca función de actuar como un doble filtro, tanto de la radiación solar que llega directamente del espacio exterior, así como la radiación terrestre emitida, proporcionando de esta manera que un 47% de la radiación del sol no llegue directamente a la superficie terrestre y tan solo un 8% de la energía emitida por la Tierra sea expulsada al espacio (Mentor Interactivo, 1997:779).

En general, existen 3 elementos principales que se destacan por ser los responsables de realizar este fenómeno, los cuales son el vapor de agua, el dióxido de carbono y el ozono. Los primeros 2 componentes absorben la radiación infrarroja emitida por la superficie, utilizando esta energía para mantener una temperatura adecuada en la primera capa de la atmósfera (tropósfera) mientras que el ozono retiene a los rayos ultravioletas en una medida apta para los seres vivos (Mentor Interactivo, 1997:779).

#### d. Contaminación ambiental

La atmósfera, los océanos y la superficie terrestre actúan como un inmenso ecosistema en conjunto, donde cada acción de los organismos vivos que habitan en él repercute en alteraciones del equilibrio natural del sistema planetario. Las actividades humanas muchas veces incluyen la liberación de agentes y materiales extraños hacia la biosfera, lo que se conoce como contaminación ambiental. En otras épocas, los problemas e impactos ambientales no tenían tanta relevancia a comparación de la actualidad, debido a que la población era menor, las fuentes de recursos y materias primas parecían tener un carácter ilimitado y existían muchos lugares que no se habían explorado, por lo que los recursos naturales de esas regiones no estaban siendo explotadas (Mentor Interactivo, 1997:787).

El tema de la contaminación ambiental fue tomando auge cuando surgen los avances de la industrialización, así como nuevas técnicas y métodos para la agricultura y sus ramificaciones, de modo que a inicios de la década de los 60's, los expertos en situaciones medioambientales iniciaron una propagación de información sobre las graves consecuencias que comprende la contaminación (Mentor Interactivo, 1997:787).

La polución también es parte de esta contaminación generalizada y se define como la actividad presente en el aire de sustancias extrañas y tóxicas o un aumento de estas. Como anteriormente se mencionaba, la polución se debe en gran parte a las actividades y necesidades derivadas en el desarrollo y forma de vida de la sociedad moderna. Todas estas sustancias o elementos extraños y nocivos se producen en forma de partículas sólidas o gaseosas, siendo estas últimas las más preocupantes por el largo tiempo que pueden permanecer en las distintas estratificaciones atmosféricas, lo que principalmente lleva al calentamiento global y la destrucción de la capa de ozono (Mentor Interactivo, 1997:787).

## 2. Cambio climático

### a. Variaciones del clima y sus accidentes

El planeta Tierra cuenta con muchos factores climatológicos que explican ciertos fenómenos o alteraciones ambientales que hasta cierto punto son normales debido a los ciclos naturales del mismo. Puntualmente se describe a la radiación solar como el principal factor de que en algunas regiones se manifiesten diferentes climas sujetos a su latitud, conociéndose mayormente como zonas tropicales, polares y templadas-frías (Mentor Interactivo, 1997:779).

Desde hace años el cambio climático ha sido un tema focal por distintos gobiernos y comunidades científicas, ya que estas variabilidades en el clima causan situaciones intempestivas, afectando principalmente al sector socioeconómico. Un ejemplo bastante claro es el fenómeno climatológico nombrado el niño, que al alterar las corrientes acuáticas que transportan grandes cantidades de bancos de peces en el océano Pacífico, provoca pérdidas económicas en el sector pesquero y por ende, un aumento de precio en esta clase de alimentos que afecta directamente a miles de familias dependientes de las actividades costeras (Mentor Interactivo, 1997:779).

### b. Dióxido de carbono

La mayoría de los organismos vivos consumen oxígeno ( $O_2$ ) diariamente para poder mantener su integridad biológica en óptimas condiciones, oxígeno que luego de ser procesado por el organismo es devuelto al ambiente en forma de dióxido de carbono ( $CO_2$ ). Cuando se aplica

energía calorífica a cualquier tipo de materia orgánica y esta es quemada, también desprende  $CO_2$  tras dicho sometimiento. La vegetación aprovecha esta molécula para generar diferentes nutrientes en su organismo por medio de la radiación directa de la luz solar y desprendiendo moléculas de oxígeno al ambiente, conociéndose este proceso como fotosíntesis y con el cual se mantiene un constante balance entre ambos gases en todas partes del planeta. Este balance se ve en gran medida afectado principalmente por la actividad industrial irresponsable y la tala masiva de bosques y vegetación en general. Si tan solo se duplicara la cantidad de dióxido de carbono existente, entonces la temperatura media global aumentaría aproximadamente en  $2^{\circ}C$ , que aunque podría ser casi desapercibido en regiones tropicales, sí que vendría a tener un impacto directo hacia las zonas glaciares o polares, debido a que acá se podría aumentar hasta en  $10^{\circ}C$  la temperatura promedio, derritiendo grandísimos bloques de hielo y aumentando los niveles del mar, haciendo que muchas zonas litorales bajas o costeras desaparezcan por medio de inundaciones debido al deshielo directo o el exagerado aumento de la precipitación cuando se forman tormentas tropicales en los océanos (Mentor Interactivo, 1997:779-780).

Se ha estimado que en las décadas finales del siglo XX mediante la combustión de productos fósiles, así como la preocupante deforestación de grandes extensiones boscosas, la cantidad de  $CO_2$  en la atmosfera se ha aumentado en un 25% y supone una creciente tendencia hacia el recalentamiento general de la tropósfera, haciendo que el efecto invernadero se vuelva más intenso y eficiente. (Mentor Interactivo, 1997:780).

### c. Efecto invernadero

El canal de ciencia Quantum Fracture (2018) plantea el siguiente análisis en relación con el propio comportamiento del cuerpo celeste. Anteriormente se mencionó que el  $CO_2$  es uno de los tres elementos principales para que el filtro atmosférico proteja a los seres vivos de las diversas amenazas provenientes del espacio exterior y mantenga las condiciones ideales para la vida. Cuando la radiación solar llega a la Tierra, parte de esta energía rebota instantáneamente en los océanos (de ahí su vital importancia) y otra parte de dicha energía es almacenada por el globo terráqueo como una actividad normal del mismo que seguidamente es liberada en forma de radiación infrarroja.

En el trayecto ascendente de esta radiación desde la superficie hasta la atmósfera, existen gases que, por sus propiedades químicas y moleculares, dejan pasar la radiación que proviene del sol, pero retienen la energía infrarroja emitida por la superficie terrestre. Cuando esta energía entra en contacto con estas moléculas, las hace vibrar y moverse aún más rápido dentro de la atmósfera, es

decir, existe una transmisión de energía. El aumento del movimiento de dichas moléculas provoca energía calorífica en la atmósfera y por consiguiente en toda la Tierra.

Es por eso que a estos elementos químicos se les denominan Gases de Efecto Invernadero (*GEI*), en los cuales destaca mayormente el dióxido de carbono. Este efecto invernadero es un sistema de convección propio del planeta y sin él probablemente la temperatura media global sería de unos  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ <sup>1</sup>.

Como ya se puede intuir, el problema radica cuando existe una mayor presencia de los *GEI* en la atmósfera, ya que literalmente se está reteniendo más radiación infrarroja de la Tierra, desencadenando con esto catastróficos escenarios alrededor del planeta debido al aumento de la temperatura global.

Existen conclusiones claras y específicas según un informe del IPCC (2013) en donde la ciencia plantea con un 95% de seguridad que las acciones antropogénicas son la causa dominante del calentamiento global observado a mediados del siglo XX y que el calentamiento del sistema climático es inequívoco; la atmósfera y los océanos se han calentado, los volúmenes de nieve y hielo se han reducido haciendo que se eleve el nivel del mar y por supuesto, las concentraciones de los *GEI* en la atmósfera han aumentado. Se afirma también que la superficie de la Tierra ha sido progresivamente más cálida desde 1,850.

## B. Energía eléctrica

### 1. Como fenómeno natural

La electricidad ha estado presente en el planeta Tierra durante millones de años y desde el surgimiento del ser humano racional, este ha sido consciente de que este fenómeno está en todo su alrededor, desde los mínimos detalles hasta en las más apreciables apariciones, como en tormentas eléctricas, animales que utilizan esta energía como método de caza y apareamiento, fenómenos involuntarios de producción de la misma por medio de roces o fricciones, la carga eléctrica que tiene el cuerpo humano para que sean posibles todas aquellas interacciones biológicas y químicas dentro del mismo, etc. No fue hasta finales del siglo XIX que el hombre empezó a conocer y descubrir los grandes beneficios que se podían obtener de esta forma de energía, aplicándola tanto en usos domésticos y por supuesto, en el ámbito industrial. Desde ese

---

<sup>1</sup> La temperatura de la superficie del globo es de alrededor de  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$  en promedio,  $33\text{ }^{\circ}\text{C}$  más cálida de lo que sería si no hubiera atmósfera. A esto se le llama el efecto invernadero natural. *s.f.* <https://niwa.co.nz/our-science/climate/information-and-resources/clivar/greenhouse>

entonces el área tecnológica se fue desarrollando con total plenitud ya que ha permitido un gigantesco avance en la ciencia convirtiéndose en la base más importante para el desarrollo, comunicación y forma de vida para la sociedad moderna de hoy en día.

## 2. Ventaja y desventaja

La principal ventaja de la electricidad es que su producción, así como su transporte y distribución se consideran de baja complejidad. También la disponibilidad de poder transformarse en otras formas de energía que permite darle otras aplicaciones como luz, calor o energía mecánica.

El mayor inconveniente que presenta la electricidad es la complejidad de poder almacenarla en cantidades sujetas a una necesidad de tipo industrial o para grandes complejos comunitarios y ciudades, por lo que el almacenamiento de esta energía es ineficiente en estas actividades (Mentor Interactivo, 1997:362).

## 3. Generación y distribución de la energía eléctrica

Como bien se mencionaba, la cantidad de energía eléctrica que puede ser almacenada por ejemplo en una batería, es muy limitada y solo se puede utilizar en aplicaciones de bajo consumo o en actividades especiales, pero gran parte de la energía que es suministrada al sector industrial y a las viviendas es generada por centrales eléctricas diseñadas para una constante e inmediata producción en enormes cantidades (Mentor Interactivo, 1997:368).

Estas centrales eléctricas tienen un elemento en particular para la producción de electricidad llamado generador. El generador es un dispositivo o maquina con la capacidad de llevar un flujo de electrones hacia un determinado punto, o sea, produce una corriente de electricidad de manera continua al suministrar la fuente de energía primaria a utilizar, constituyéndose de las instalaciones específicas para cada central de generación (Mentor Interactivo, 1997:368).

Independientemente del tipo de central eléctrica que se analice, la energía producida está sujeta a una demanda diaria, ya que estas grandes cantidades de electricidad generada no pueden ser almacenadas. Como la demanda es fluctuante, es necesario que existan instalaciones en donde se pueda ajustar esta demanda solicitada diariamente. Estas instalaciones llamadas estaciones transformadoras están conectadas por redes de distribución de alta tensión en donde se eleva o se disminuye la tensión dependiendo la situación, con el objeto de tener la menor cantidad de perdidas energéticas debido a las grandes distancias que recorren las líneas eléctricas (Mentor Interactivo, 1997:368).

#### 4. Centrales eléctricas más comunes

Se apoyará la siguiente información a mostrar con lo que detalla y resume la Fundación Endesa (2021) en cuanto al funcionamiento general de las centrales eléctricas más comunes, la convencional y la de ciclo combinado:

##### a. Central térmica convencional

También denominadas termoeléctricas convencionales, utilizan como fuente de energía primaria aquellos combustibles fósiles extraídos desde las profundidades de la Tierra, como lo son el gas natural, carbón y sus derivados o derivados del petróleo crudo como el combustóleo. La generación consiste en hacer uso del ciclo termodinámico de agua-vapor conociéndose también como ciclo convencional.

Se inicia con la combustión del producto fósil en la caldera provocando energía térmica para calentar el agua hasta el punto de evaporación con una alta presión. Luego, ese vapor de alta presión hace girar los diferentes cuerpos de la turbina que a su vez hacen girar el eje principal conectado al generador donde finalmente se produce la electricidad. Dado que esta electricidad es primitiva y no podría ser suministrada directamente a las líneas de distribución, será necesario que entre a un transformador para aumentar la tensión o *voltaje*, con el fin de evitar el menor porcentaje de pérdidas energéticas durante su transporte. El vapor que se ha utilizado para accionar la turbina es direccionado hacia un condensador para convertirlo en agua y nuevamente suministrarlo a la caldera para completar el ciclo convencional termodinámico.

El funcionamiento para la producción de energía es el mismo para cualquier tipo de central convencional, pero sí que se diferenciaran en los procesos previos que requieran pasar los productos fósiles a utilizar; por ejemplo, si la central utiliza carbón como fuente principal, entonces este tendrá que ser triturado antes de pasar a la caldera para su combustión; en el caso de utilizar derivados del petróleo crudo como el combustóleo, este se deberá de precalentar y en el caso del gas natural, este llega directamente hacia la caldera por medio de los gaseoductos correspondientes.

##### b. Central térmica de ciclo combinado

Estas aprovechan la energía térmica del gas natural a través de un trabajo combinado entre una turbina de gas y otra de vapor. Sus principales componentes son la turbina de gas, turbina de vapor y una caldera de recuperación.

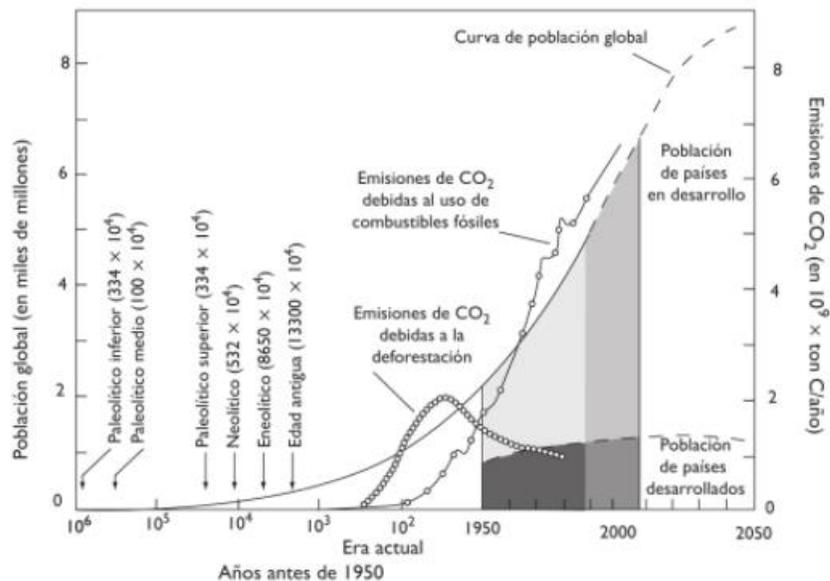
Con los elementos principales de este sistema se puede detallar a grandes rasgos su funcionamiento; el ciclo se inicia cuando el aire del ambiente se introduce al compresor para que pueda ser comprimido a una elevada presión, inyectándose de esta manera a la cámara de combustión donde es mezclado con el gas natural. Posteriormente, estos gases de altas temperaturas se introducen en la turbina de gas donde al momento de ser expandidos, mueven el eje principal de dicha turbina. Después, estos gases se introducen a la caldera de recuperación para aprovechar la alta energía calorífica que aun poseen y transformar el agua en vapor, obteniendo en este punto un funcionamiento similar al sistema de una central térmica convencional. Normalmente la turbina de gas y vapor están unidas al mismo eje que acciona al generador eléctrico.

### C. Alternativas para la generación de electricidad

Acercándose a un contexto realístico se sabe que por el momento la utilización del petróleo en todas sus derivaciones y otros combustibles fósiles terminan siendo indispensables para la vida moderna. La utilización de estos combustibles dentro de los sistemas de altas presiones y temperaturas para generar electricidad de alta disponibilidad y su comercio en extensiones masivas, son las principales ventajas que estos recursos proveen.

Es de entender también que así mismo se ha ido incrementado las emisiones globales de  $CO_2$  como se muestra en la Ilustración 1:

Ilustración 1. Emisiones globales de  $CO_2$  a lo largo del tiempo



Fuente: Jaime González, 2009.

<https://books.google.com.gt/books?id=09zeDwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>

Es accesible identificar en la Ilustración 1 que la curva más notable y creciente es la de emisiones de dióxido de carbono por el uso de productos fósiles.

Se observa que ya antes de los 50's se empezaba a incrementar de forma considerable las emisiones de  $CO_2$  y podría hacer alusión que su notable crecimiento está dentro del rango en que la revolución industrial se implementó en las actividades humanas, comerciales y sociales, entre el año 1,760 a 1,840<sup>2</sup>.

Es interesante también poder detallar y resaltar que la Ilustración 1 toma en cuenta el incremento de la población a medida que pasa el tiempo. Da que pensar analizar que la mayor parte de las emisiones de este particular y principal *GEI* se ha ido aumentando tras aumentar la población y la contaminación producida por el uso de recursos fósiles en general, viéndose que para el año 1,950 se emitieron menos de 2 mil millones de toneladas de  $CO_2$  y para el año 2,000 ya se estaba emitiendo el triple de esa cantidad.

Realmente es importante poder empezar a generar en las generaciones futuras un compromiso y conciencia ambiental más sólida, de manera que pueda aumentarse esas capacidades de poder proteger, renovar o implementar cualquier acción medioambiental beneficiosos por parte de más mentes humanas, sin dejar de mencionar que el respeto a los ecosistemas es el respeto hacia el hogar de todos los seres vivos, incluyendo el del humano (Mentor Interactivo, 1997:759-760).

Aunque actualmente se ven algunas señales de que probablemente se está en el camino correcto, como el hecho de evitar una total y evidente catástrofe por el aumento de  $5^{\circ}C$  en este siglo debido al avance tecnológico que ha permitido diseñar, por ejemplo, nuevos materiales de construcción o el ascenso en la producción de carros eléctricos, aún hay mucha responsabilidad para cuidar todo el medio ambiente en general. El investigador de energía de la Universidad de Princeton, Jesse Jenkins, confesó que, hasta el momento, al menos no todo está perdido al 100 %, refiriéndose al cambio climático, pero aun hace falta muchísimo por cumplir ante los compromisos ambientales internacionales (Temple, 2022).

En sincronía con el hecho de que como humanidad se debe difundir aún más la alarma por el cambio climático provocado y tomar serias responsabilidades, la NASA (2022) publicó un artículo en donde indica que el año 2,021 fue uno de los años más calurosos presentados en la última década, agregando también que desde la revolución industrial, han habido 10 años de altas

---

<sup>2</sup> En resumen significó la creación de innovaciones tecnológicas y científicas que lograron una ruptura en las estructuras socioeconómicas existentes hasta ese momento. Septiembre 25 del 2,016. <https://economipedia.com/definiciones/primera-revolucion-industrial.html>

temperaturas y 8 de ellos han sucedido en la última década, por lo que acá recalcan seriamente que las acciones antropogénicas tienen mucho que ver y son causas directas de la aceleración del cambio climático, como la liberación de los *GEI* en cantidades monstruosas hacia la atmósfera a nivel mundial por el uso de los combustibles fósiles de una manera no tan responsable.

Dado el contexto anterior, existen otras formas de producir este recurso que hoy en día es tan importante en niveles tan básicos para la sociedad, economía y salud. El tema de alternativas energéticas es bastante interesante no solo en las formas que existen, porque son varias e incluso a simple vista llegan a ser curiosas (como la fotovoltaica), sino en cómo han ido evolucionando y actualmente se puede ver una baja en los costos de producción de energía renovable mediante los sistemas específicamente diseñados para estas. Se hace primeramente mención de esto último ya que, desde un punto de vista económico, los sistemas de producción de energía renovable normalmente suelen ser más costosos debido a su careciente competitividad que representan en el mercado de energía eléctrica a nivel global y es evidente que los combustibles fósiles prevalecen fuerte y principalmente como los recursos que proveen energía eléctrica en mayor cantidad a un menor costo.

Según el informe *Renewable Power Generation Costs in 2020* de *IRENA* (2021), la capacidad de producción energética por medio de sistemas que utilizan fuentes primarias renovables se aumentó 3.7 veces entre el periodo del año 2,000 a 2,020, pasando de 754 *GW* a 2,799 *GW*. Las razones y factores son varios, pero principalmente es porque se han reducido los costos de una manera impactante que ha venido por el apoyo de nuevas tecnologías de optimización, economías de escala, cadenas de suministro más eficientes y el ascenso en la experiencia que van adquiriendo los desarrolladores de estas tecnologías. Se observó que los costos de electricidad proporcionados por la energía solar fotovoltaica se redujeron drásticamente a gran escala en aproximadamente un 85 % entre el año 2,010 al 2,020. Los proyectos más innovadores tanto en la energía solar, así como en la eólica, están generando un gran impacto positivo al compararse con las centrales eléctricas de carbón existentes más baratas y menos sostenibles; alrededor de 800 *GW* de capacidad de las centrales que utilizan carbón podrían ser reemplazados por estos sistemas energéticos renovables, de hacer esto, se anularían alrededor de 3 *gigatoneladas* de *CO<sub>2</sub>* emitidas anualmente hacia la atmósfera.

El artículo publicado en la web por *IEA* (2021) indica que para el año 2,026 la capacidad instalada a nivel mundial de sistemas energéticos renovables aumente un 60% tomando como referencia el año 2,020 a más de 4,800 *GW*, dato que actualmente significa la capacidad global de energía producida por los combustibles fósiles y la energía nuclear combinadas. Se prevé que

estos sistemas de producción eléctricos representen casi el 95% en el aumento de la capacidad energética mundial para el 2026 y que la energía solar fotovoltaica individualmente proporcionara más de la mitad en esta expansión energética.

Las energías renovables son aquellos tipos de fuentes de energía que el sistema planetario ofrece y que normalmente son limpias y amigables con el ambiente en cuanto al proceso de obtención de electricidad. Su principal característica es por su mismo nombre, ya que tienen la capacidad de renovarse o volver a surgir del área que se extrajeron sin necesidad de que exista una intervención humana durante este proceso. El ejemplo más notorio es la energía solar, que bien puede ser usada para calentar fluidos y de esta manera obtener gases a altas temperaturas para accionar turbinas generadoras o bien captarla en plataformas o paneles tecnológicamente diseñados para producir el efecto fotovoltaico, generando así electricidad de una fuente ilimitada, limpia y renovable.

El documento de las energías renovables en la generación eléctrica del país desarrollado por el *MEM* (2018) muestra las siguientes definiciones básicas acerca de las energías de este tipo, destacando las que se producen en mayor proporción dentro del contexto guatemalteco:

#### 1. Tipos de fuentes energéticas

El tema de las energías renovables actualmente es muy mencionado y se sabe mucho más de ellas a comparación de años anteriores, es por eso que a continuación se les dará una breve y sencilla definición a las que actualmente se manejan a nivel nacional para que se comprendan desde un punto de vista general:

##### a. Energía hidráulica

Este tipo de energía es aquella que aprovecha las características físicas del agua de manera que la energía potencial que adquiere el fluido debido a la gravedad (estar a cierta altura) es aprovechada en energía mecánica, accionando así las turbinas necesarias conectadas a un eje que va acoplado a un generador eléctrico (*MEM*, 2018).

##### b. Energía solar

Es el tipo de energía que el sol proporciona constantemente durante las horas del día y se puede aprovechar mayormente en dos formas que son directamente en calor o en electricidad a través de la radiación. La energía calorífica es captada por medio de colectores térmicos especialmente diseñados para la función y la energía eléctrica es producida a través de los paneles fotovoltaicos a partir de las partículas de la luz provenientes del sol (*MEM*, 2018).

### c. Energía eólica

Este tipo de fuente energética se considera indirectamente una forma de energía solar debido que al producirse diferencias en el calentamiento de las masas de aire por la radiación, las variaciones en las temperaturas dan lugar a sectores o ubicaciones con distintas presiones atmosféricas. Dada estas desigualdades se produce el movimiento de las masas de aire desde las zonas de alta presión hacia las de baja presión. La energía cinética de estos vientos es más aprovechable en lugares abiertos y despejados (lejos de ciudades o poblados). Es por eso que normalmente las grandes hélices utilizadas para aprovechar este tipo de energía se encuentran en zonas despobladas. Estas hélices al girar producen energía mecánica dentro de una caja multiplicadora, en esta caja multiplicadora se elevan las revoluciones por minuto para que se accione un eje acoplado al generador interno del sistema con las revoluciones requeridas para otorgar la electricidad (*MEM, 2018*).

### d. Energía por biomasa

La biomasa es toda materia orgánica de procedencia vegetal, animal o de la transformación natural o artificial de la misma. La energía biomásica consiste entonces en el aprovechamiento de toda la energía que pueda obtenerse de esta materia orgánica, ya sea a través de su combustión directa o mediante otros procesos con el objetivo de obtener otros combustibles (*MEM, 2018*).

Ante dicha definición queda más que claro que la industria azucarera es el principal exponente en utilizar biomasa para dar a lo que se conoce como cogeneración, que es la producción de dos o más formas de energía a partir de los restos o el bagazo de la caña de azúcar; una de ellas siempre será calor y las otras pueden ser electricidad y/o energía mecánica (*MEM, 2018*).

### e. Energía geotérmica:

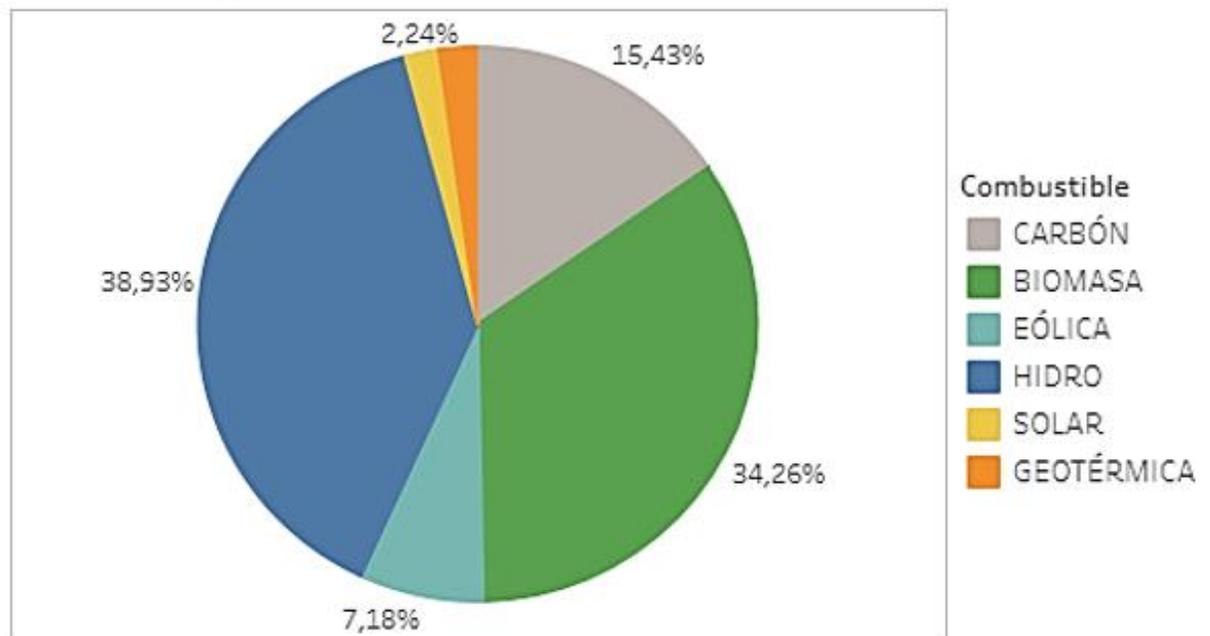
Este tipo de fuente energética se obtiene a partir de la extracción del calor que existe en el interior de la Tierra, el cual se utiliza para la producción de electricidad y otras funciones. Consiste en reservorios de roca porosa y permeables que por la circulación de vapor o agua caliente se desarrolla un sistema de convección. El agua se filtra a profundidades de varios *kilómetros* donde se calienta directamente por el magma, expandiéndose y elevándose a la superficie a altas temperaturas o meramente en forma de vapor, manifestándose en géiseres o fuentes termales. Este tipo de fuente energética se encuentra cercana a lugares donde existe un constante movimiento de placas tectónicas o con una alta actividad volcánica (*MEM, 2018*).

2. ¿Cuál es el método de generación de energía eléctrica más común en Guatemala?

Con base en la información del monitoreo diario que proporciona el portal web de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (*CNEE*) se obtienen las siguientes gráficas según el registro de las diferentes fuentes de energía que suplen la demanda energética del país, ya sean renovables o no:

Ilustración 2. Matriz de generación energética en Guatemala en verano

**Matriz de Generación**



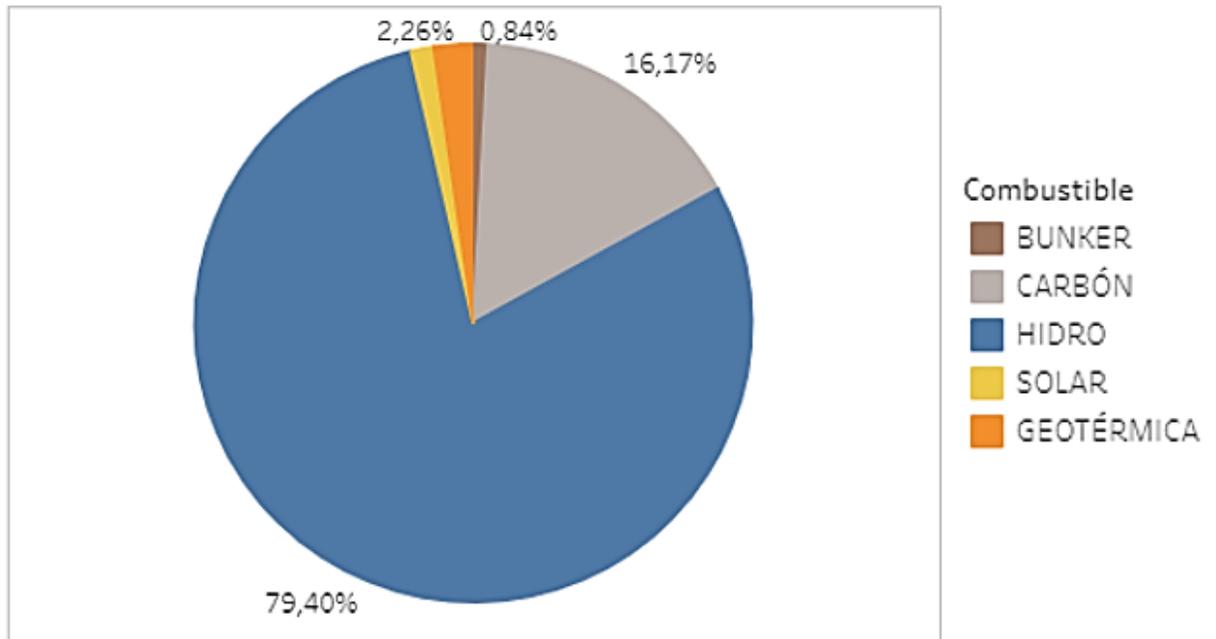
Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica, 2021. <https://www.cnee.gob.gt/wp/3296-2/>

Viendo la Ilustración 2 se podría decir a simple vista que existen 3 fuentes principales proveedoras en gran medida de esta demanda nacional, las cuales son la hidroenergía, el carbón y la biomasa. Sin embargo, se puede detallar que las proporciones en la oferta de energía de estas fuentes van cambiando conforme pasan los meses del año.

En épocas lluviosas o en la temporada de invierno del país, las centrales hidroeléctricas desarrollan un papel importantísimo en el abastecimiento de energía dentro de la matriz, debido a que existe más fluctuación y volumen de agua en los ríos en donde dichas centrales están instaladas. Para verlo de mejor manera se seleccionó el mes de septiembre del 2021, mes en donde las aguas pluviales aun hacen presencia sobre el territorio nacional:

Ilustración 3. Matriz de generación energética en Guatemala en invierno

### Matriz de Generación



Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica, 2021. <https://www.cnee.gob.gt/wp/3296-2/>

En la Ilustración 3 se observa que las centrales hidroeléctricas en conjunto llegan a cubrir más del 70% de la demanda energética nacional cuando se está en temporada de invierno. Se puede notar de igual manera que en esta gráfica desaparece la fuente energética por biomasa, esto se debe a que existen tiempos limitados en donde los ingenios azucareros aportan energía eléctrica dependiente a las temporadas o ciclos de la zafra, lo que significa que cuando dichas temporadas se hacen presentes, los ingenios utilizan todo el bagazo o los residuos de la caña de azúcar para alimentar a los respectivos sistemas de cogeneración. Es bastante conocido que en el mes de septiembre aun no empieza la cosecha de la caña y por ende no existe en este intervalo de tiempo la aportación energética de esta fuente renovable.

## D. Energía fotovoltaica

### 1. Origen

Entrando ya al tema focal y de interés, habrá que tener un conocimiento básico del recurso o la fuente primaria para aprovechar este tipo de energía, que como ya se mencionó anteriormente es del Sol de quien depende dicho recurso. El documento publicado por el MEM (2018) llamado Energía Solar en Guatemala, ofrece la siguiente información:

El Sol como fuente principal de energía para los seres vivos es la estrella más próxima a la Tierra y en ella ocurren procesos sumamente complejos de fusión nuclear, que consiste básicamente en la fusión de los átomos de hidrogeno en donde dan origen a átomos de helio. Estas interacciones de pequeñas cantidades de materia dan lugar a increíbles cantidades de energía radiante producida bajo un entorno de condiciones extremas de temperatura y presión. Esta energía producida es emitida al espacio en forma de ondas electromagnéticas y se va dispersando mientras se aleja del astro hasta llegar a la Tierra con aproximadamente la billonésima parte de energía que supondría tener en un principio (MEM, 2018).

A continuación, se presentan algunas unidades para medir la radiación solar en la Tabla 1:

Tabla 1. Magnitudes para medir la radiación del sol

Magnitud	Explicación	Unidad	Símbolo
Irradiancia	La radiación que incide en un instante sobre una superficie determinada (Potencia)	$W/m^2$	$I, E$
Irradiación	La radiación que incide durante un periodo de tiempo sobre una superficie determinada (Energía)	$Wh/m^2$ o $J/m^2$	$H$
Irradiancia espectral	Es la potencia radiante por unidad de area y de longitud de onda	$W/(m^2 \cdot \mu m)$	$I_{\lambda}, E_{\lambda}$
Irradiancia directa	Radiación que llega a un determinado lugar procedente del disco solar	$W/m^2$	$I_{dir}, E_{dir}$
Irradiancia difusa	Es la radiación procedente de toda la bóveda celeste excepto la procedente del disco solar	$W/m^2$	$I_{dif}, E_{dif}$
Irradiancia global	Se puede entender como la suma de la radiación directa y difusa. Es el total de la radiación que llega a un determinado lugar	$W/m^2$	$I_g, E_g$

Fuente: Carlos Montoya, 2011. <https://static.eoi.es/savia/documents/componente75553.pdf>

La cantidad de irradiancia que proporciona el sol hacia la superficie terrestre tiene cierto valor y se le conoce como constante solar, la cual relaciona el promedio anual, la posición perpendicular de los rayos del sol, la energía recibida por unidad de tiempo y el área. Esta constante tiene un valor de  $1,353 W/m^2$  (MEM, 2018).

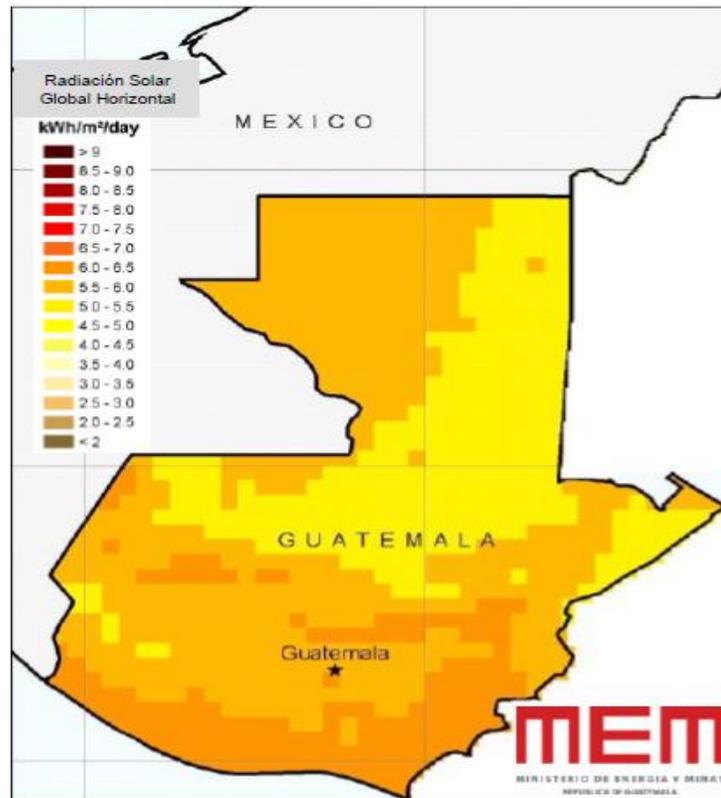
La energía o irradiación solar se entiende que es un recurso renovable el cual está a disposición en todo el globo terráqueo y esta se mide en cada lugar como la cantidad diaria de energía que alcanza cada metro cuadrado de superficie horizontal, expresado en  $kWh/m^2/día$ .

La radiación solar que llega a un espacio cualquiera puede ser de dos tipos; la primera proviene directamente del sol luego de que la atmósfera haya absorbido una porción de la misma y se le llama radiación directa. El segundo tipo de radiación proviene de la propia atmosfera producto de la dispersión de los rayos solares a consecuencia de los gases y partículas que la conforman y es denominada difusa. Es de entenderse que la radiación directa contiene una alta calidad energética a diferencia de la difusa y esta última predomina muchas veces en algunas regiones o épocas del año en el país; algunos colectores térmicos, así como el proceso de la fotosíntesis pueden hacer uso de los dos tipos, pero para aprovechar esta radiación solar y convertirla en energía eléctrica será necesario que existe una mayor concentración de radiación directa. La energía solar es de las pocas fuentes renovables con capacidad suficiente para abastecer una importante fracción de la necesidad energética a nivel mundial tanto presente, así como futura (*MEM, 2018*).

Existen diferentes factores que van a estar implicados tanto en la calidad, así como en la cantidad de radiación solar que se espera poder recibir en un área determinada, como lo puede ser la altura del lugar, la época del año, condiciones meteorológicas, latitud del lugar, etc. Guatemala cuenta con un alto potencial solar debido a su posicionamiento geográfico; se estima que el valor promedio de la irradiación solar en el país es de  $5.3 \text{ kWh/m}^2$  al día, mucho más alto a comparación de países desarrollados que poseen sistemas exitosos para el máximo aprovechamiento del recurso. La energía solar se define por sí misma como una fuente prácticamente inagotable a escala humana, por lo que los proyectos energéticos de este tipo disminuyen significativamente la necesidad de líneas de distribución y se hacen muy rentables en zonas de baja densidad demográfica (*MEM, 2018*).

Mediante el apoyo técnico y financiero del *PNUMA* (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente) se elaboró el proyecto *SWERA* (Solar and Wind Energy Resource Assessment) con el objeto de minimizar las limitantes causadas por la poca información para el aprovechamiento del recurso solar y eólico (*MEM, 2018*). A continuación, se mostrará un mapa referente a la disponibilidad de energía solar que incide en el territorio nacional en la Ilustración 4:

Ilustración 4. Mapa que indica la cantidad de energía solar según las distintas partes del país



Fuente: Ministerio de Energía y Minas, 2018. <https://www.mem.gob.gt/wp-content/uploads/2018/07/Energ%C3%ADa-Solar-en-Guatemala.pdf>

Por otra parte, también se muestra en la Tabla 2 un resumen de las plantas energéticas solares que están en operación y contribuyen dentro de la matriz de generación eléctrica del país (*MEM*, 2018):

Tabla 2. Proyectos fotovoltaicos a gran escala en Guatemala

Proyecto	Ubicación	Capacidad efectiva, en MW
Central Solar Fotovoltaica SIBO	Estanzuela, Zacapa	5.0
Proyecto Planta Fotovoltaica de 50 MW (Horus I)	Chiquimulilla, Santa Rosa	50.0
Horus II	Chiquimulilla, Santa Rosa	30.0
Granja Solar La Avellana	Taxisco, Santa Rosa	1.0
Granja Solar Taxisco	Taxisco, Santa Rosa	1.5
Granja Solar El Jobo	Taxisco, Santa Rosa	1.0
Granja Solar Pedro de Alvarado	Moyuta, Jutiapa	1.5
Granja Solar Buena Vista	Jutiapa, Jutiapa	1.5
<b>Total</b>		<b>91.5</b>

Fuente: Ministerio de Energía y Minas, 2018. <https://www.mem.gob.gt/wp-content/uploads/2018/07/Energ%C3%ADa-Solar-en-Guatemala.pdf>

## 2. Historia

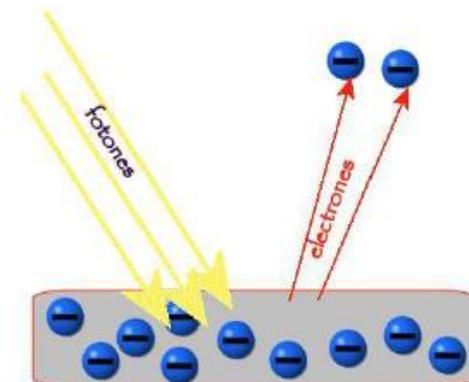
Del libro llamado *Energías renovables* por Jaime González (2009) se obtuvo el siguiente contexto histórico:

Edmon Becquerel publicó en el año 1,839 un informe que explicaba las funciones de una batería que utilizaba electrodos de plata; este informe indicaba un incremento en la diferencia de potencial suministrado por la batería cuando los electrodos eran expuestos a la iluminación. En 1,877 dos profesores de la Universidad de Cambridge, Adamas y Day, elaboraron sus observaciones dentro de un informe para la Royal Society de Londres, donde se exponían los cambios que se observaron en las propiedades eléctricas del selenio cuando una muestra de este material era sometida a la luz solar. El estadounidense Charles Fritts tomó de referencia el trabajo de los profesores de Cambridge y en 1,884 patentó una célula solar hecha de selenio que desarrolló a partir de láminas delgadas de dicho material, cubiertas con finos hilos de oro y con una capa de vidrio como protección. A pesar de que el invento de Fritts solo convertía el 1% de la energía incidente del Sol en energía eléctrica, fue un gran avance en este tipo de tecnología y se aplicó en ese entonces a medidores de la exposición luminosa en el campo fotográfico.

Sin embargo, los descubrimientos y logros anteriores surgieron mediante prácticas mayormente de carácter empírico, ya que los fundamentos científicos para la comprensión teórica de este efecto (materiales que reaccionan a la luz solar) denominado fotovoltaico, surgieron en 1,900 con la teoría cuántica de Planck.

En 1,920 Albert Einstein explica que el efecto fotovoltaico consiste básicamente en que los electrones de dichos materiales absorben cuantos de energía de la luz (fotones) de forma linealmente proporcional a la frecuencia de la fuente que la provee; en 1,921 se le otorgó el Premio Nobel de Física (Montoya, 2011).

Ilustración 5. Representación de la transferencia energética entre fotones y electrones



Fuente: Carlos Montoya, 2011. <https://static.eoi.es/savia/documents/componente75553.pdf>

En los laboratorios Bell en el año 1,948, dos físicos, Bardeen y Brattain, elaboraron los denominados transistores a partir de silicio cristalino de elevada pureza ligeramente dopados con boro y fósforo. Esto serviría como base experimental para que otros tres físicos de los mismos laboratorios, Chapin, Fuller y Pearson, que trabajaban sobre el estudio del efecto ejercido por la luz sobre las propiedades de los semiconductores, desarrollaran por primera vez en 1,954 la célula fotovoltaica de silicio, que a diferencia de la invención de Fritts, esta tenía un índice de eficiencia de conversión de energía eléctrica del 6%. Este nuevo dispositivo sería empleado para proveer de energía a un amplificador telefónico rural, revolucionando rápidamente en 1,958 cuando se utilizó en el suministro de corriente al transmisor de radio del satélite americano Vanguard I (González, 2009).

A partir de este punto la célula fotovoltaica ha tenido grandes avances espectaculares en sus aplicaciones, de la mano con un rápido descenso en los precios de los materiales y la fabricación, lo que significó de igual manera un aumento en la eficiencia de la conversión energética (González, 2009).

### 3. Partes de un panel solar

Se ha hablado ya de la fuente energética primaria que se utiliza en la generación de energía eléctrica por medio de paneles solares, lo cual es la radiación directa que proviene del sol luego de que esta haya sido procesada por la atmósfera; en esta sección se dará una explicación lo más comprensible y didáctica posible de manera que se pueda obtener una respuesta objetiva de como realmente se genera electricidad a partir de objetos que básicamente no están ejerciendo ningún tipo de trabajo o movimiento a simple vista, ya que todo este proceso ocurre interna y atómicamente dentro de los materiales que componen a las celdas solares.

Primeramente, se tendrá que visualizar como es un panel solar que cualquier persona podría identificar a simple vista si tiene entendimiento de este o de su función:

Ilustración 6. Panel fotovoltaico



Fuente: Computer Hoy, 2021. <https://computerhoy.com/reportajes/tecnologia/mejores-paneles-solares-portatiles-generar-electricidad-barata-960637>

Un panel solar o módulo fotovoltaico está conformado por placas llamadas células solares debidamente encapsuladas, montadas sobre una estructura o marco y conectadas eléctricamente. El panel emite una corriente continua en la salida de conexión y se diseña según los valores concretos de tensión y corriente los cuales definirán que el sistema fotovoltaico funcione de manera óptima.

El panel está constituido por las siguientes capas esenciales para su buena operación:

Ilustración 7. Partes de un panel fotovoltaico



Fuente: Eco Green Energy, 2019. <https://www.eco-greenenergy.com/es/que-es-el-eva/>

a. Marco de aluminio:

Además de proporcionarle los puntos de fijación al módulo fotovoltaico, su función es proteger a los componentes internos de las tensiones térmicas y mecánicas. Por lo general este marco está hecho de aluminio anodizado y es bastante resistente a la corrosión (*INELDEC*, s.f.).

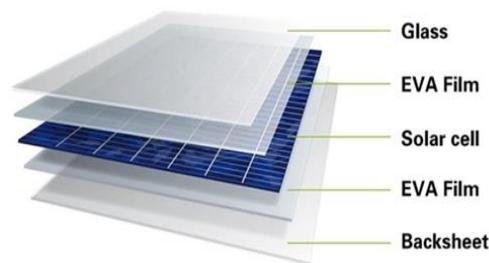
b. Vidrio templado:

Esta capa del panel cuenta con varias funciones que van desde suministrar una protección mecánica a las células frente a impactos que pueden suceder en las actividades de transporte o instalación, así como de factores externos como el agua, vapor o suciedad. Normalmente esta capa contiene entre 3 y 4 mm de espesor y debe de garantizar una baja reflectancia y una mayor transmitancia a manera de aprovechar al máximo la luz solar. Algunos fabricantes deciden colocar una capa doble de vidrio templado para asegurar de mejor manera la resistencia a golpes o impactos (*INELDEC*, s.f.).

c. Encapsulado EVA:

Por sus siglas en Ingles Ethylene Vinyl Acetate (etileno acetato de vinilo) es un polímero termoplástico que presenta una alta transmisión de la luz solar y una alta resistencia a la degradación. Su función principal es adherir las células solares al vidrio templado y a la parte posterior del módulo, esto se hace mediante la aplicación de calor dando lugar a la creación de un agente encapsulante al generarse una película sellante y aislante alrededor de las células. De esta manera no puede ingresar el aire ni la humedad, dejando pasar solamente a la radiación solar (INELDEC, s.f.).

Ilustración 8. Capas de una célula solar

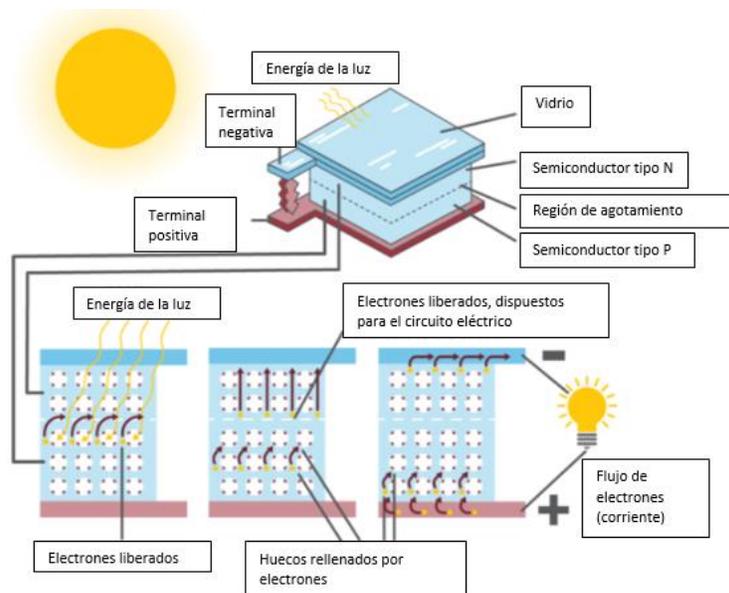


Fuente: Brij, 2020. <https://www.brijencapsulants.com>

d. Células solares:

Son el componente principal del módulo solar y su función a manera general es muy simple, convertir la energía del sol en energía eléctrica de corriente continua (INELDEC, s.f.):

Ilustración 9. Funcionamiento de la célula solar



Fuente: Brij, 2020. <http://www.brijencapsulants.com/2020/12/28/six-main-components-solar-panel/>

e. Cubierta posterior:

A pesar de ser la última capa del módulo fotovoltaico no por eso significa que sea la menos importante y su objetivo es del proteger al panel de las radiaciones UV, aislar eléctricamente al sistema y ofrecer el grado de durabilidad esperado. Está hecha ya sea por un solo polímero o por la combinación de varios; esta capa puede estar compuesta por fluoropolímeros simples o dobles los cuales contienen capas exteriores de películas de fluoruro de polivinilo de tedlar (PVF) o fluoruro de polivinilideno de kynar (PVDF) y una capa central de tereftalato de polietileno (PET) (*INELDEC*, s.f.).

f. Caja de conexiones:

Está ubicada en la parte posterior del módulo y debe ser resistente a la intemperie, humedad y suciedad, ya que acá se interconectan los conjuntos de las células solares. Esta caja contiene unos elementos llamados diodos de derivación que sirven para evitar corrientes de flujo inverso que se producen cuando algunas células están sucias o interferidas por sombras. Los diodos hacen que la corriente fluya unidireccionalmente (*INELDEC*, s.f.).

4. Efecto fotovoltaico

Según el video en la web de Lesics Española (2019) se explica el efecto de la siguiente manera:

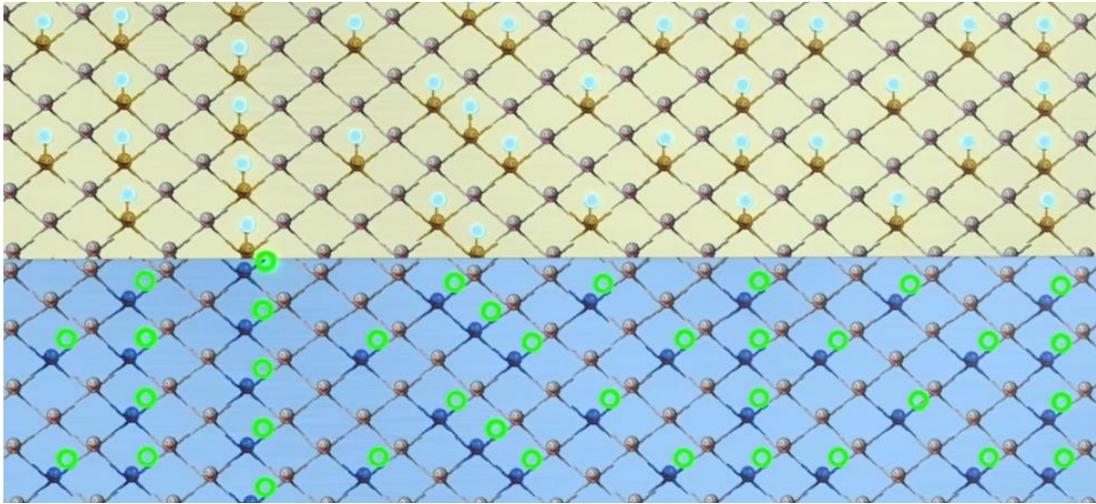
Para la fabricación de las células solares se utiliza diferentes recursos como arena o rocas, cuyo objetivo es obtener cristales de silicio con una pureza del 99%, esto se consigue mediante un complejo proceso de purificación en donde se mezcla el silicio en bruto con una forma de silicio gaseoso e hidrógeno de manera que el producto final sean lingotes de silicio policristalino. Estos lingotes se estratifican en capas muy finas de modo que las láminas de este material cumplan la principal función en estos aparatos, producir el efecto fotovoltaico, es decir, las láminas de silicio de las células solares son los verdaderos generadores eléctricos. Aunque estas láminas tengan un grosor casi imperceptible para el ojo humano, estas permanecen en un estado sólido, lo que significa que las estructuras moleculares y atómicas están fijadas en un mismo lugar incluidos los electrones de dicho elemento. Como lo que realmente interesa es generar un flujo de electrones a través del material semiconductor, será necesario hacer ciertas adulteraciones en el silicio.

Lo que electrónicamente se pretende al elaborar una célula solar es que esta se comporte como un diodo de unión P-N, por lo que es necesario que cada célula este compuesta de 2 láminas de silicio, de esta manera se conducirá la corriente eléctrica generada en un solo sentido. Cada lamina se comportará como materiales distintos llamados semiconductores tipo N y P

respectivamente debido a las adulteraciones que se mencionaron, las cuales tendrá que adquirir el silicio por medio de un proceso de dopaje.

Para ejemplificar la función de una célula solar se supondrá que se tiene 2 láminas de silicio dopadas con boro y fósforo, así como se hizo en el año 1,948 en los laboratorios Bell; la Ilustración 10 supondrá estar en 2 dimensiones para una mejor explicación:

Ilustración 10. Representación de las estructuras moleculares del silicio adulterado



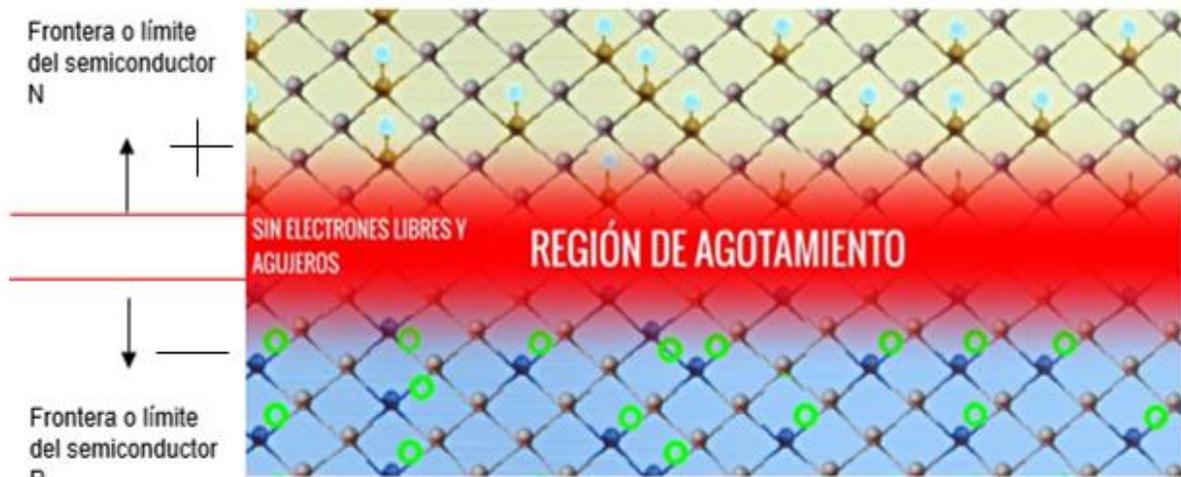
Fuente: Lesics Española, 2019. <https://www.youtube.com/watch?v=MgLGKMrsBX8&t=188s>

electrones de Valencia; en la Ilustración 10 se observa que las circunferencias de color gris representan a los átomos del silicio y los de color amarillo representará la adulteración hecha en el material, o sea los átomos de fósforo. En este caso, el material ya dispone de cierta carga eléctrica debido a que quedan excedentes de electrones tras la manipulación, con lo cual se cumple el objetivo de un dopaje tipo N. No obstante, aunque los electrones pueden adquirir energía tras el sometimiento a las ondas de luz (ganan energía fotónica) esta no fluye hacia ningún sentido y es demasiado arbitraria, por lo que no sirve para generar trabajo útil y tendrá que existir una fuerza motriz unidireccional que haga recorrer a los electrones de manera continua. Esta fuerza motriz se obtendrá al momento de juntar este semiconductor con la segunda capa; el segundo dopaje consistirá en aplicar átomos de boro con 3 electrones de Valencia a la segunda capa y sucederá un fenómeno contrario al dopaje tipo N, ya que habrá más espacios o agujeros para que otros electrones se introduzcan en este material. Se observa en la Ilustración 10 que de igual manera en la segunda capa existen los mismos átomos de silicio, con la diferencia de que ahora están enlazados con átomos de boro que se pueden apreciar de color azul. Las circunferencias celestes que se ven en la primera capa es la carga o la cantidad de electrones que

existen en ese semiconductor y las que se ubican en la segunda capa de un color verde intenso con un agujero en el centro, son la representación de los espacios que se genera con el segundo dopaje mencionado.

Cuando estos dos semiconductores entran en contacto se genera un fenómeno llamado región de agotamiento o zona de transición y consiste en que el material tipo N cede electrones al P, pero en un espacio muy limitado, es decir, se generan unas pequeñas fronteras eléctricas justo en donde los materiales están unidos como se muestra en la Ilustración 11:

Ilustración 11. Zona de transición provocada por el contacto de los materiales N y P



Fuente: Lesics Española, 2019. <https://www.youtube.com/watch?v=MgLGKMrsBX8&t=188s>

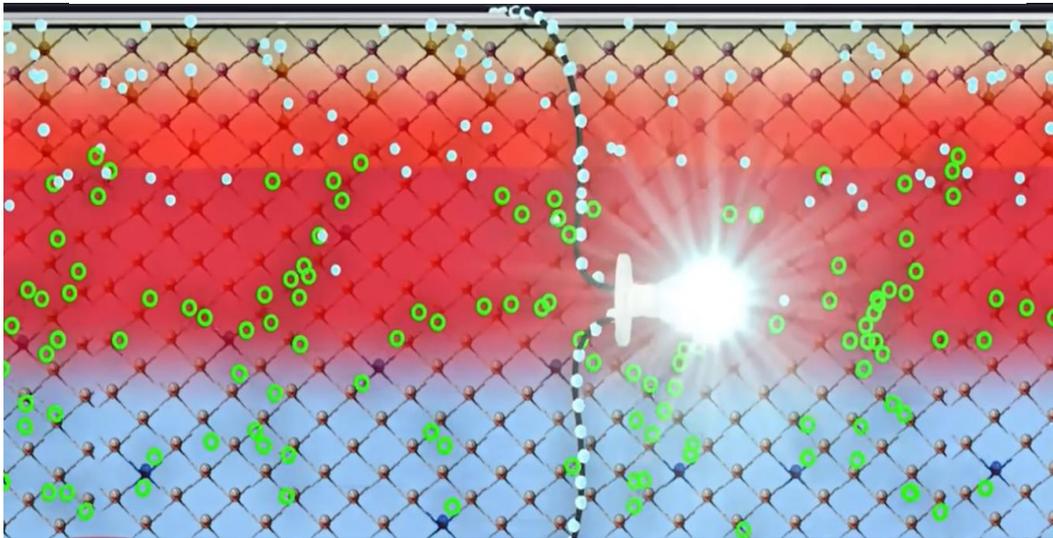
Estas fronteras desarrollan una función importantísima para generar el flujo unidireccional de electrones producto de la aparición de un campo eléctrico; el límite del material N que llega a ceder electrones se carga positivamente y el límite de P que recibe a las partículas se carga negativamente.

Como en este punto se está en la suposición de que la célula solar ejemplificativa ya está construida, será momento de analizar el momento clave de la generación eléctrica solar; cuando la radiación del sol esta directa hacia el semiconductor N y penetra hasta llegar a la región de agotamiento, la energía fotónica es capaz de elaborar pares de electrón-agujero y por la influencia del campo eléctrico generado en la región de agotamiento, este separa a los electrones hacia la mayor parte del material tipo N alejado de la región, mientras que los agujeros se direccionarán hacia el semiconductor tipo P.

Al presentarse la cantidad necesaria de electrones en la parte N y agujeros en la parte P se desarrolla una diferencia de potencial capaz de hacer fluir a los electrones al momento en que una carga sea conectada.

En la fabricación de una célula solar para un uso real, la primera capa del semiconductor N es muy delgada pero altamente dopada a comparación de la capa P, que es más gruesa pero ligeramente dopada. Se observa en la Ilustración 12 que en este caso la región de agotamiento es mucho más grande, por lo que cuando la luz incida sobre esta zona, los pares de electrón-agujero aparecerán en un área más amplia aumentando el flujo de estas partículas, así como la eficiencia energética.

Ilustración 12. Zona de transición más amplia para un mejor flujo de electricidad



Fuente: Lesics Española, 2019. <https://www.youtube.com/watch?v=MgLGKMrsBX8&t=188s>

A grandes rasgos existen dos clases de silicio utilizados para la generación eléctrica, el primero es el silicio policristalino en el que internamente las estructuras moleculares no siguen un patrón y están desordenadas. Si al silicio policristalino se le aplican los procedimientos químicos y mecánicos necesarios, se obtendrá el silicio monocristalino el cual ofrece una mayor conductividad eléctrica.

##### 5. Horas Solar Pico (*HSP*)

Se visualizó en la Tabla 1 algunas formas de medir la energía proveniente de las ondas electromagnéticas que el astro proporciona, dos de ellas describen y representan la gran importancia que tiene conocer las horas solar pico de una determinada región y temporada del

año, ya que como es entendible, los rayos solares van cambiando de dirección mientras el planeta Tierra gira alrededor de la estrella a lo largo de un periodo anual; el lugar es un factor clave que se considera al momento de planificar una instalación fotovoltaica, motivo por el que estas horas son distintas para cada país o región influenciadas evidentemente por condiciones climáticas y meteorológicas.

Conocer el número de las *HSP* está directamente relacionado con cuanta potencia entregará un panel solar en un día en el lugar a instalarse. En su fórmula relaciona la cantidad de energía que incide sobre un metro cuadrado de superficie respecto a la irradiancia base que se toma para realizar las pruebas y ensayos en todas las células solares para verificar sus características eléctricas bajo condiciones llamadas *STC* por sus siglas en inglés (Standard Test Conditions), entre ellas la cantidad de *vattios* producidos; esta irradiancia está comprendida en  $1,000 \text{ W/m}^2$  o  $1 \text{ kW/m}^2$  (Centro de Inteligencia en Ahorro de Energía, 2018). Su fórmula se expresa así:

Ecuación 1. Horas Solar Pico

$$HSP = \text{Irradiación por día } (Wh/m^2) / \text{Irradiancia estándar } (W/m^2)$$

Tomando la cantidad de irradiación promedio que incide en Guatemala lo cual es de  $5.3 \text{ kWh/m}^2$  al día, se sustituyen los valores:

$$HSP = (5.3 \text{ kWh/m}^2) / (1 \text{ kW/m}^2)$$

Como las cantidades de potencia están en la misma dimensional, se divide normalmente y se obtiene entonces que en promedio, en el país se pueden aprovechar hasta 5.3 horas en las que la energía solar incide diariamente sobre el territorio nacional, dicha energía se manifiesta en optima cantidad para afirmar a su vez que Guatemala es rico en uno de los recursos renovables más abundantes que proporciona la biosfera.

## 6. Ventajas al usar módulos fotovoltaicos

### a. Electricidad a partir de 0 emisiones

No se puede empezar a recalcar los puntos favorables y ventajosos de utilizar energía fotovoltaica si no se menciona el impacto más relevante aportado por los paneles, lo cual es el ambiental. La huella de  $CO_2$  o conocida también como huella de carbono, es el conjunto de gases de efecto invernadero pero especialmente las de dióxido de carbono que produce una residencia o empresa durante las actividades que se realizan dentro de los establecimientos. Al invertir en un sistema de módulos fotovoltaicos se reduce significativamente la dependencia de la energía eléctrica proveniente de la red general de la zona o ubicación. Esta porción de la demanda

abastecida por los paneles es más que claro que se obtuvo sin haber quemado ningún tipo de recurso fósil y por ende con 0 emisiones de los *GEI* hacia la atmósfera (Besun Energy, s.f.).

b. Materia prima

La fabricación de los módulos solares es sostenible en cuanto a la obtención de la materia prima principal, lo cual es el silicio, uno de los elementos más abundantes en el planeta Tierra después del oxígeno, por lo que su obtención es relativamente sencilla (Besun Energy, s.f.).

c. Amortización

Conforme pasa el tiempo luego de haber realizado una inversión para una instalación necesaria de un sistema fotovoltaico, estos módulos sujetos a su funcionamiento podrán reducir de una forma sustancial la facturación por el costo del servicio energético, esperando que a largo plazo y manteniendo el sistema en óptimo desempeño, se pueda amortizar la inversión inicial dependiendo el caso y la aplicación en particular (Besun Energy, s.f.).

d. Mantenimiento

Aunque el análisis del funcionamiento de los paneles solares pueda ser algo complejo, lo cierto es que el mantenimiento requerido muchas veces no está a nivel de dicha complejidad. En la mayoría de los casos basta con hacer una limpieza adecuada de la superficie para garantizar una mejor absorción de la radiación solar, así como comprobar que las conexiones eléctricas, el circuito y el cableado estén en un perfecto estado (Besun Energy, s.f.).

e. Accesibilidad económica

A pesar de que cada vivienda, empresa o industria tiene sus propias necesidades energéticas según las actividades que se realicen, lo cierto es de que en la última década el precio de las instalaciones fotovoltaicas se ha reducido considerablemente, por lo que en tiempos actuales es mucho más factible plantearse la idea de aprovechar el abundante recurso solar para muchas personas u organizaciones (Besun Energy, s.f.).

7. Desventajas más notables

La energía solar siempre se destaca por ser una excelente alternativa para independizarse de cierta manera de los combustibles fósiles, después de todo los módulos producen electricidad sin generar polución o algún efecto perjudicial directo al ambiente durante su trabajo. Sin embargo, existen algunos inconvenientes para considerar a este tipo de energía como totalmente limpia debido a los efectos indirectos y a largo plazo que estos generan.

a. Fabricación

La producción de los paneles solares puede liberar cantidades importantes de algunos *GEI*. Nótese que se menciona principalmente el proceso de manufactura como el causante directo de contaminación para obtener estos dispositivos, pero a parte también se incluye el proceso de instalación y el periodo en que estos se desechan, ya que ambas producirán efectos adversos en el medio ambiente. Por más contrariedad que exista en este punto, se debe de mencionar que la energía que se utiliza para fabricar los paneles es grande y los recursos fósiles desempeñan e intervienen en su proceso al igual que en la mayoría de otras industrias de cualquier índole (CEAC, 2016).

b. Sustancias toxicas

En el proceso de la fabricación de paneles se utilizan algunos materiales peligrosos como el arsénico, el cadmio y en la mayor parte del tiempo se necesita una sustancia llamada poli-silicio. Se dice que para fabricar una tonelada de poli-silicio es lo mismo a decir que se obtendrán cuatro toneladas líquidas en desechos. Además, estos materiales y desechos ponen principalmente en riesgo la salud e integridad del personal colaborativo en todas aquellas instalaciones donde se fabriquen los módulos fotovoltaicos. Cuando estos desechos son expuestos al ambiente y tienen contacto con el aire húmedo, dan lugar a una diversidad de gases y ácidos altamente venenosos (CEAC, 2016).

c. Incidencia solar vulnerable

Ya se habló de que la energía solar es ilimitada a escala humana, sin embargo, esta suele ser muy variable debido a constantes factores climatológicos y meteorológicos de los que no se tiene control. Básicamente los días nublados son una limitante muy notable (Besun Energy, s.f.).

d. Espacio

Si existe una razón clave o un inconveniente principal que llegar a ser la limitante más específica en cuanto a las condiciones de trabajo en las que los paneles solares se deben instalar, pues es el espacio. Este factor ha sido siempre uno de los grandes retos al momento de considerar realizar una instalación fotovoltaica, ya que normalmente estos aparatos deberán ir en tejados o azoteas de una vivienda o de una infraestructura con actividades comerciales con el fin de evitar objetos que obstaculicen la radiación. Existen las llamadas granjas solares que consisten en grandes extensiones de tierra ocupadas para la instalación de paneles solares. Si se compara el espacio que necesita una central convencional con lo que necesita una granja de este tipo,

entonces es notable la ineficiencia que llegan a presentar los sistemas solares fotovoltaicos frente a las centrales termoeléctricas en términos de espacio y costos (Besun Energy, s.f.).

e. Eficiencia

La mayoría de los módulos fotovoltaicos accesibles en costo no superan el 20% de eficiencia de la energía solar, lo que es igual a decir que la radiación de la luz que incide en un panel, menos de la cuarta parte es convertida exitosamente en electricidad (Besun Energy, s.f.).

f. Disponibilidad del recurso

Aunque actualmente se están desarrollando otras tecnologías y materiales que ayuden a aumentar el rendimiento y eficiencia de los paneles solares, la realidad es que aun así es muy difícil poder independizarse completamente de la red eléctrica general de la zona o región y alimentar la demanda de electricidad mediante un sistema fotovoltaico. Este impedimento es el resultado de los factores que ya se mencionaron como lo puede ser las condiciones climatológicas en un periodo de tiempo, que directamente afectarán a que el panel solar reciba mucha menos energía que en un día completamente despejado. Esto no quita el hecho de que el apoyo de un sistema fotovoltaico en la factura eléctrica estará siempre presente y se verá muy bien reflejado, pero por la variabilidad y disponibilidad impredecible del recurso solar, hacen que se tengan que seguir pagando todos aquellos costos e impuestos por no poder desconectarse completamente de la red (Besun Energy, s.f.).

## E. Plan nacional de energía 2,017 - 2,032

A continuación se muestra la siguiente información del plan nacional elaborado por el *MEM* (2017) ubicado en la web, se muestra la siguiente información:

1. Composición legal

En tiempos actuales Guatemala atraviesa una serie de evidentes desafíos a superar y uno de estos es el de generar en mayor medida mecanismos que faciliten el desarrollo energético en los próximos años, ya que este servicio ahora es fundamental en el crecimiento integral de los individuos de la sociedad y por consecuencia una mejor productividad en aspectos socioeconómicos y una mejor calidad de vida. Estos mecanismos y herramientas de optimización ayudaran a conseguir de manera ascendente un desarrollo sostenible en cuanto a la obtención de fuentes energéticas que sean altamente competitivas a la vez que causan los menores daños ambientales posibles. En consecuencia a los desafíos de lograr cada vez más la disponibilidad

energética en base a una creciente demanda, el *MEM* presenta el Plan Nacional de Energía como una herramienta útil para disminuir las emisiones de los *GEI* y por ende los efectos devastadores del cambio climático; este plan lo respalda conjuntamente la Dirección de Cambio Climático del Ministerio de Ambientes y Recursos Naturales (*MARN*), la Secretaria General de Planificación y Programación de la Presidencia (*SEGEPLAN*) y el Proyecto de *USAID* para el desarrollo con bajas emisiones.

a. Ley Marco de Cambio Climático

El marco legal para regular la reducción de la vulnerabilidad, la adaptación obligatoria ante los efectos del cambio climático y la mitigación de los *GEI* corresponde al Decreto 07-2013 del Congreso de la República de Guatemala llamada la Ley Marco de Cambio Climático; en su artículo 18 establece que el *MEM* en coordinación con la *SEGEPLAN* y el *MARN*, elaboraran el Plan Nacional de Energía para la producción y el consumo basado en las acciones que conlleven utilizar los recursos naturales renovables mediante la aplicación de tecnologías para la eficiencia, el ahorro energético y que a su vez reduzcan la emisiones de los *GEI*.

Este plan surge con base en los objetivos establecidos en la Ley Marco de Cambio Climático, los cuales están pensados para prevenir, planificar y responder de manera urgente, adecuada, coordinada y sostenida ante los impactos del cambio climático que se presentan en el país, esto lográndose a través del Gobierno Central, entidades descentralizadas, entidad autónomas, las municipalidades, la sociedad civil organizada y la población en general, en el momento que todos ellos adopten prácticas que propicien una mejor adaptación a los efectos negativos del clima cambiante, a la vez que se desarrollan propuestas energéticas de nulas o muy bajas emisiones. Todo lo anterior tiene relación con lo propuesto en: los ejes de la Política Energética 2,013 - 2,027, la Política Nacional del Cambio Climático, el Plan Nacional de Desarrollo K'atun 2,032 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (*ODS*).

El plan se basa en tres conceptos: aprovechamiento de los recursos renovables, eficiencia y ahorro energético y la reducción de emisiones de los *GEI*; estos 3 ejes instruyen a las acciones que se originan en subsectores y actores que complementan el sector energético del país. Esta dictaminado por la Constitución Política de la República de Guatemala que el país tiene claramente la responsabilidad de aprovechar y desarrollar de manera eficiente los recursos naturales renovables de los cuales dispone el territorio según lo indica su artículo 119, literal c. Así mismo el artículo 34 de la Ley del Organismo Ejecutivo establece que es el *MEM* a quien corresponde estudiar y fomentar el uso de las fuentes energéticas renovables, así como la

promoción para el aprovechamiento racional de las mismas, esperando que con esto se incremente el desarrollo energético en sus diferentes tipos, de forma que se busque lograr la mayor autosuficiencia posible en cuanto al suministro de electricidad en el país.

b. *CMNUCC*

El país pertenece a la comunidad internacional la cual ha suscrito y ratificado distintas herramientas en temas ambientales y cambio climático tales como la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (*CMNUCC*), el protocolo de Kyoto, el convenio centroamericano sobre cambios climáticos, la convención de Viena para la protección de la capa de ozono, el convenio sobre la desertificación en países con sequías severas y otros instrumentos a nivel regional que caracterizan en conjunto el serio compromiso ambiental que Guatemala ha ido adquiriendo.

La *CMNUCC* el cual se aprobó mediante el Decreto 15-95 tiene por objeto estabilizar las concentraciones de los *GEI* a niveles en donde las acciones realizadas por el ser humano no interfieran con el clima, haciendo que se logre un desarrollo económico sostenible para todas las naciones.

A través del Decreto 48-2016 del Congreso de la República, se ratificó el Acuerdo de París establecido dentro de la *CMNUCC*. El acuerdo consiste en un conjunto de medidas para reducir las emisiones de los *GEI* mediante la adaptación a los efectos del cambio climático y su aplicación tuvo lugar a inicios del año 2,020, ya que en este año finalizó la vigencia del protocolo de Kyoto. Este acuerdo fue negociado durante la conferencia sobre el cambio climático (COP21) en diciembre del 2,015 por los 195 países que conforman la *CMNUCC*.

c. *NDC*

Guatemala ha ratificado su contribución para mitigar los efectos del cambio climático llamada *NDC* por sus siglas en inglés (Contribución Nacional Determinada) respondiendo de esta manera al llamado mundial de las naciones por hacer frente al cambio climático. El país en su *NDC* ha presentado dos tipos de propuestas para lograr una mitigación y reducción de los *GEI*; la primera es llamada propuesta no condicionada y se trata en que el país pueda planificar una reducción del 11.2% de las emisiones de los *GEI* totales para el 2,030 con sus propias capacidades o condiciones actuales, tomando como base la magnitud de emisiones del año 2,005. La segunda se llama propuesta condicional y plantea una disminución más atrevida de hasta el 22,6% de las

emisiones, tomando como base el mismo año mencionado, pero diferenciada por el apoyo técnico y financiero que provenga de recursos internacionales, ya sean de carácter público o privado.

d. Política general de gobierno 2,016 - 2,022

Se hace de conocimiento en esta política que el gobierno enfrenta constantemente la búsqueda de la optimización en la gestión de los recursos renovables y no renovables en función de los intereses nacionales. La conservación del ambiente, así como el manejo racional de los recursos renovables y las definiciones de los *ODS* son parte de las prioridades dentro de esta política.

A partir de esto, el propio gobierno ha definido acciones estratégicas que directamente influyen en el sector energético, entre las cuales están:

1) Inciso e: fortalecer el estado en su capacidad para responder y recuperarse ante fenómenos inoportunos del cambio climático que pueden ser geológicos e hidrometeorológicos en el que se deberá aplicar una adecuada gestión del riesgo, generar el conocimiento necesario y una mejor capacidad para invertir recursos.

2) Inciso i: incrementar la participación de la energía renovable en la matriz energética.

e. Política nacional de cambio climático

Guatemala es considerado como uno de los países que tiene un aporte poco significativo dentro de las emisiones globales de los *GEI* y por consecuencia los impactos negativos del cambio climático no se presentan con una alarmante o elevada peligrosidad y frecuencia dentro del territorio nacional. Es por esto que mediante el Acuerdo Gubernativo 329-2009 se consolida la política nacional de cambio climático que comprende varios factores como la reducción de la vulnerabilidad del país ante eventos extremos del cambio climático, el reforzamiento de la capacidad de adaptación y la constante contribución a la reducción de emisiones de los *GEI*.

El Plan Nacional de Energía se refuerza de igual modo en esta Política Nacional, precisamente en 3 incisos de su tercer objetivo que son:

1) Promover la reducción de emisiones de los *GEI* en los aspectos de: cambio del uso de la tierra y en la silvicultura, producción de electricidad, transporte e industria.

2) Promover un mayor aprovechamiento de los recursos renovables para generar electricidad de manera que influya en nuevas y mejores oportunidades económicas.

3) Promover la producción de bienes y servicios por medio de procesos verdes y tecnologías limpias que no alteren de manera negativa al ambiente.

f. Subsector eléctrico

Se rige por un marco político y jurídico que comprende las leyes, políticas y reglamentos según lo muestra la Ilustración 13.

Ilustración 13. Marco legal del subsector eléctrico en Guatemala



Fuente: Ministerio de Energía y Minas, 2017. <https://mem.gob.gt/wp-content/uploads/2020/10/15.-Plan-Nacional-de-Energia-2018-2032.pdf>

g. Política Energética 2,013 – 2,027

Es un instrumento de carácter público elaborado por el *MEM*, aprobado mediante el Acuerdo Gubernativo 80-2013 y tiene como objetivo principal contribuir al desarrollo energético sostenible del país acompañado de la equidad social y el respeto hacia el ambiente.

Esta política energética comprende 5 ejes fundamentales y estratégicos para su óptima aplicación:

1) Seguridad y abastecimiento de la energía eléctrica a precios competitivos (Primer eje): sus objetivos operativos proponen diversificar la matriz de generación de electricidad a través de priorizar las fuentes primarias de energía renovable y se promueve una inversión en generación de hasta 500 MW en los sistemas que aprovechan dichas fuentes

renovables, enfocando a cumplir una meta de alcanzar a largo plazo un 80% de generación eléctrica a nivel nacional por medio de estos recursos y alcanzar un 95% de cobertura eléctrica por los mismos.

2) Seguridad en el abastecimiento de combustibles fósiles a precios competitivos (segundo eje): se refiere a promover el aumento en la comercialización de estos combustibles dentro del país a la vez que se fortalece el control y la fiscalización a los agentes de la cadena de suministro de combustibles y gas natural, con el fin de buscar una mejor competitividad en el mercado interno de estos productos fósiles.

3) Exploración y explotación de las reservas petroleras con enfoque al autoabastecimiento nacional (tercer eje): se refiere a incrementar la oportunidad de exploración y explotación de estas reservas con tal de aumentar la productividad de los combustibles fósiles, a la vez que se moderniza la plataforma tecnológica para dicha producción y el transporte de estos recursos bajo el concepto del desarrollo sostenible, de manera que se incentive a la refinación del crudo nacional.

4) Ahorro y uso eficiente de la energía (cuarto eje): se refiere a la pretensión de lograr que el 30% de las instituciones del sector público utilicen eficientemente la energía eléctrica.

5) Reducción del uso de leña en el país (quinto eje): se refiera a tratar de reducir el uso de leña tanto en el sector residente, así como industrial, promoviendo otras formas alternativas que cumplen la misma finalidad al usar la materia orgánica.

## 2. Instrumentos de planificación

Durante el proceso de esta planificación energética fue necesario incluir tanto documentos nacionales, así como internaciones, los cuales consideran la relevancia e importancia del tema energético del país aprovechando los recursos renovables y cómo la utilización de estos influye en aspectos económicos, sociales y ambientales. Dentro de estos documentos se encuentran:

### a. Plan Nacional de Desarrollo K'atun 2,032

Es un plan que a vista general propone cambios radicales al momento de vencer ciertos paradigmas acompañado de enfocar la sostenibilidad ambiental en un factor que influye directamente en las bases fundamentales del desarrollo nacional. Este plan también considera que es de suma importancia que por parte de actividades en el sector social, económico y político se involucren para enfrentarse a los actuales niveles de degradación del medio ambiente, o sea,

proteger y potenciar los recursos naturales paralelo al constante desarrollo social, cultural, económico y territorial de modo que se pueda satisfacer de una mejor manera las demandas actuales y futuras en condiciones resilientes y sostenibles ante los impactos negativos de la naturaleza. Se plantean los siguientes objetivos que se alinean y vinculan institucionalmente con las actividades del *MEM*, los cuales son:

- 1) Estabilizar las emisiones de *CO<sub>2</sub> per cápita* en 2.5 toneladas.
- 2) Ampliar la cobertura de electricidad en un 100% dentro de áreas rurales y de uso residencial.
- 3) Suministrar energía de calidad en todo el país para las actividades productivas, industriales, comerciales y agrícolas.
- 4) Reducir el consumo de leña a 2 *m<sup>3</sup>* por persona cada año.
- 5) Ampliar la participación de las fuentes energéticas renovables dentro de la matriz de generación, teniendo en consideración los precios, la oferta, el cambio climático, aspectos biofísicos y culturales.
- 6) Utilizar combustibles fósiles en un 10% dentro de la proporción completa de otros combustibles utilizados.

b. Objetivos de Desarrollo Sostenible (*ODS*)

En el año 2,015 Guatemala tomo oficialmente la responsabilidad de adoptar los *ODS* en la reunión de alto nivel de las naciones unidas. Estos objetivos tienen la visión en común de combatir la pobreza, la desigualdad y el cambio climático para el 2,030, haciendo énfasis en las necesidades de las poblaciones más vulnerables de manera que en conjunto, todos los países salgan adelante en el contexto de prosperidad y desarrollo sostenible.

- 1) *ODS 7*: propone metas relacionadas al tema energético para el 2,030, una de ellas es garantizar el acceso universal a servicios de energía asequibles, confiables y modernos con nulas contaminaciones al ambiente, a la vez que se consideran indicadores como: proporción de la población con accesibilidad a la energía eléctrica y la fuente primaria de energía utilizada por las proporciones poblacionales. En 2,016 se indicó por parte del *MEM* que la cobertura de energía eléctrica en todo el territorio nacional fue del 92.06%, en donde el área rural se encuentra evidentemente más rezagada en cuanto al abastecimiento de electricidad; departamentos como Alta Verapaz y Peten son los más afectados por la falta de acceso a este servicio. Esta

información pone en evidencia que aún existe en el país una gran necesidad de inversión para electrificar toda el área rural, con el cual se conseguirá disminuir principalmente la pobreza, aumentar la seguridad alimentaria y mejorar las condiciones de vida y bienestar.

Al implementar programas y proyectos de energía para el área rural, automáticamente se eleva la viabilidad de contar con una mejor productividad en las actividades económicas más usuales en estos sectores, como lo es la extracción de aguas subterráneas para el consumo humano y para los cultivos, mejorar el acceso a la salud y educación, entre otros.

2) *ODS 13*: este objetivo se presenta como una urgencia para empezar a adoptar medidas que combatan el cambio climático y sus peligrosos efectos; estas medidas deberán ser implementadas en las políticas y estrategias nacionales a través de poner en marcha los planes integrados que aumenten la resiliencia ante los efectos del cambio climático y que impulsen el desarrollo con bajas emisiones. Este objetivo también hace énfasis a la vital importancia que constituye la eficiencia energética como parte de una acción positiva contundente hacia el ambiente. El *MEM* creará los mecanismos para el uso eficiente y productivo de la energía cumpliendo de tal manera con el cuarto eje de la Política Energética 2,013 – 2,027.

c. *SICA*

Guatemala, como parte del marco institucional del Sistema de la Integración Centroamericana (*SICA*) está trabajando en la aplicación de diversos programas de eficiencia energética mediante grupos multidisciplinarios motivados para ir en la creciente búsqueda de dicha eficiencia; los cuatro aspectos en los que se trabaja a nivel regional según la reglamentación técnica de la eficiencia energética son:

1) Iluminación: referido a tecnologías que para los tiempos actuales son obsoletas y poco eficientes.

2) Compra y utilización de motores: motores eléctricos enfocados a actividades industriales.

3) Equipo de refrigeración: ya sea domiciliar, industrial y en los comercios.

4) Aires acondicionados: residenciales, industriales y en los comercios.

En relación con lo anterior, en tiempos actuales ya se encuentra disponible el Plan Nacional de Eficiencia Energética 2,019 – 2,032.

d. Plan de Acción Nacional de Cambio Climático (*PANCC*)

Debido a que el país es muy vulnerable a los efectos del cambio climático por sus condiciones meteorológicas, climatológicas, de ubicación y que dichos efectos ya se están haciendo presentes en el territorio nacional de manera desproporcionada, la Ley Marco de Cambio Climático (*LMCC*) establece que el Consejo Nacional de Cambio Climático (*CNCC*) y la *SEGEPLAN* deberán desarrollar conjuntamente el *PANCC*, el cual deberá ser actualizado conforme a los resultados nacionales respecto al cambio climático.

El *PANCC* lo que pretende es armonizar, coordinar y poner en interacción las diversas iniciativas y esfuerzos de relevancia nacional por parte de las instituciones públicas, privadas, autónomas y descentralizadas para dar cumplimiento a la *LMCC*, de modo que se reduzca la vulnerabilidad mencionada al mejorar la capacidad de adaptación y reducir las emisiones de los *GEI*.

Su principal objetivo es preparar a la población y a las instituciones ante el riesgo de los impactos negativos esperados por el cambio climático por medio de la prevención y reducción los efectos, priorizando a la población más vulnerable y encontrando oportunidades para que se presente un mejor desarrollo del país con bajas emisiones. Dentro de las metas principales propuestas según los indicadores de resultados se encuentran:

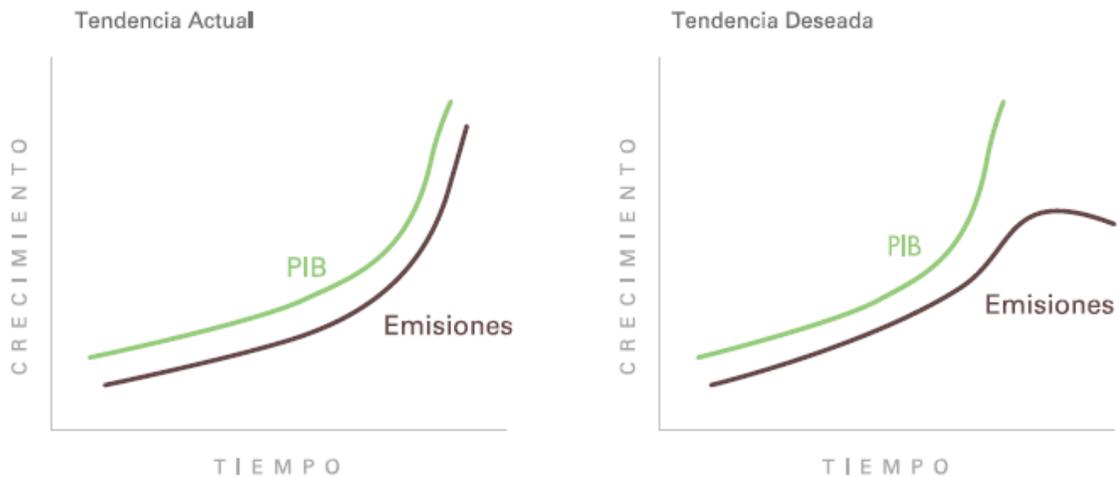
- 1) Aumentar el porcentaje de energía renovable dentro de la matriz de generación eléctrica.
- 2) Reducir las emisiones de los *GEI* derivados del consumo de leña.
- 3) Reducir la intensidad en las emisiones de los *GEI* en los subsectores de la industria como la manufactura y construcción.
- 4) Aumentar anualmente la reducción de emisiones por la energía consumida medida en *kWh*.

e. Estrategia de desarrollo con bajas emisiones

Es una estrategia que nace a partir de un proceso de planificación y muestra la oportunidad para ir mejorando la economía a niveles más competitivos, así como posicionar productos de Guatemala favorablemente en los mercados internacionales, producciones más exigentes en cuanto al tema de sostenibilidad, la facilitación al acceso de nuevas fuentes y mecanismos de financiamiento nacionales e internacionales y como no menos importante, el cumplimiento a los compromisos ante la comunidad internacional para mitigar el cambio climático. El *MEM* como

entidad rectora de los temas energéticos del país, lidera y coordina esta estrategia para el sector energético, participando al mismo tiempo y activamente en los sectores de transporte e industria.

Ilustración 14. Gráfica deseada para un desarrollo sostenible en el país



Fuente: Ministerio de Energía y Minas, 2017. <https://mem.gob.gt/wp-content/uploads/2020/10/15.-Plan-Nacional-de-Energia-2018-2032.pdf>

Esta estrategia identifica acciones y políticas dentro de los dos grandes sectores de la economía que son la energía y el transporte en relación con el grado de impacto al reducir las emisiones y los costos que se requieran para cada sector por las disminuciones de los *GEI* o costos de abatimiento.

El desarrollo con bajas emisiones tiene como meta principal desacoplar el crecimiento económico del aumento en las emisiones de los *GEI*, así como se ve en la Ilustración 14. A vista general, esta estrategia da una elevada importancia hacia los recursos renovables que contribuyen a la reducción de las emisiones a la vez que promueve el desarrollo social mediante fuentes, herramientas y mecanismos que aportan el aumento del bienestar social, la generación de empleo y reducción de la pobreza.

F. Norma técnica para la conexión, operación, control y comercialización de la generación distribuida renovable y usuarios autoprodutores con excedentes de energía (*NTGDR*)

La *CNEE* (2014) publicó el documento de esta norma en la web, el cual contiene lo siguiente:

Considerando el decreto 93-96 (*LGE*), el artículo 16 bis del reglamento de la *LGE*, el potencial de los recursos renovables nacionales y la necesidad de establecer y emitir las disposiciones generales para facilitar el acceso al *SEN* por medio de estas fuentes energéticas, se elabora bajo la resolución *CNEE* No. 171-2008 esta norma técnica para los generadores distribuidos en el territorio que producen electricidad a partir de dichos recursos. Debido al tiempo transcurrido desde el momento en que se emitió la norma técnica, era necesario actualizarla para adaptar las disposiciones generales contenidas en ella a la actualidad, dicha optimización viene a presentarse mediante la resolución *CNEE* 227-2014.

1. Artículos

a. Artículos 1 y 2

Se redactan los acrónimos y definiciones necesarios para la comprensión de esta norma; se mencionarán algunas de estas definiciones:

Ilustración 15. Acrónimos utilizados en la *NTGDR*

AMM	Administrador del Mercado Mayorista
ANSI	Instituto Nacional Estadounidense de Estándares (ANSI por sus siglas en inglés)
CNEE	Comisión Nacional de Energía Eléctrica
GDR	Generador Distribuido Renovable
GDRs	Generadores Distribuidos Renovables
IEEE	Instituto de Ingenieros en Electricidad y Electrónica (IEEE por sus siglas en inglés)
IEC	Comisión Electrotécnica Internacional (IEC por sus siglas en inglés)
LGE	Ley General de Electricidad
MEM	Ministerio de Energía y Minas
NCC	Norma de Coordinación Comercial
NCO	Norma de Coordinación Operativa
NTD0ID	Normas Técnicas de Diseño y Operación de las Instalaciones de Distribución
NTSD	Normas Técnicas del Servicio de Distribución
RLGE	Reglamento de la Ley General de Electricidad
UAEE	Usuario Autoprodutor con Excedentes de Energía

Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica, 2014.  
<https://www.cnee.gob.gt/estudioselectricos/Normas%20Tecnicas/08%20NTGDR.pdf>

- 1) Costos de conexión: son los costos a cargo del *GDR* relacionado con las obras e infraestructura eléctrica inherentes al punto de conexión y que son necesarias para permitir la inyección de la electricidad producida.
- 2) Dictamen de capacidad y conexión: es el informe elaborado por el distribuidor y contiene los resultados de la evaluación de la solicitud perteneciente al interesado para que se pueda conectar a un punto de conexión con el detalle de la información requerida en esta norma.
- 3) Distribuidor: persona individual o jurídica, titular o poseedora de instalaciones destinadas a distribuir comercialmente la energía eléctrica.
- 4) Energía entregada a un *UAEE*: es la magnitud de energía entregada por parte del distribuidor al *UAEE* durante un periodo de facturación.
- 5) Energía inyectada por un *UAEE*: es la energía que el *UAEE* suministra a la red del distribuidor durante un periodo de facturación.
- 6) Energía neta: es la energía que resulta de la diferencia entre la energía entregada por el distribuidor y la que es inyectada por el *UAEE* en un mismo periodo de facturación.
- 7) Frecuencia nominal: es la frecuencia nominal del *SEN*, con un valor comprendido en 60 *Hertz*.
- 8) Generador y generación distribuida renovable: es la generación eléctrica que se produce a partir de instalaciones destinadas a utilizar recursos renovables para dicha función. El generador es la persona individual o jurídica, poseedora o titular de estas instalaciones y su aporte de potencia a las instalaciones de distribución neto es igual o inferior a 5 *MW*. A los *GDRs* se les considera participantes en el mercado mayorista.
- 9) Interesado: es la persona individual o jurídica que realiza todos aquellos procesos que son requeridos para obtener una autorización por parte del distribuidor correspondiente para conectarse a un sistema de distribución.
- 10) Punto de conexión: es el lugar en un sistema de distribución de energía donde está conectado un *GDR*.
- 11) Sistemas de distribución: es el conjunto de líneas y subestaciones de transformación de energía eléctrica; distribuyen la energía a los *voltajes* especificados en el reglamento de la *LGE*.

12) Tecnologías con recursos renovables: son todos aquellos sistemas, herramientas y dispositivos individuales y/o en conjunto que permiten la producción de energía eléctrica a través de una fuente energética renovable.

13) Usuario Autoprodutor con Excedentes de Energía: es el usuario en un sistema de distribución que inyecta energía eléctrica producida por la generación de unidades e instalaciones energéticas renovables, ubicadas dentro de sus propias instalaciones de consumo. Este usuario no recibe una remuneración como tal por los excedentes de energía transferidos al sistema de distribución.

b. Artículo 3

El objetivo principal de esta norma es establecer las disposiciones generales que deben cumplir los *GDRs*, distribuidores y usuarios Autoprodutores con excedentes de energía para la conexión, operación, control y comercialización de la electricidad producida por recursos renovables.

c. Artículo 4

Se establece que esta norma es aplicable y de total obligación para todos los distribuidores, *GDRs* y los *UAEE* instalados en la república de Guatemala.

d. Artículo 8

Hace referencia a la confiabilidad de la información, por lo que se establece que está totalmente prohibido, tanto para el *GDR* como para el distribuidor, la utilización total o parcial de cualquier información intercambiada para cualquier otro fin que no sea el cumplimiento estricto de esta Norma, del marco regulatorio y las otras disposiciones legales que les sean aplicables. En cuanto a la información entregada a la *CNEE* que adjunte diseños, propiedad industrial o propiedad intelectual, esta será considerada como reservada de acuerdo con lo que indica la ley de acceso a la información pública. La información que será considerada pública es la que contiene la resolución de aprobación emitida por la *CNEE*.

e. Artículo 17

Para el caso de aquellos generadores cuyos parámetros de generación de energía no correspondan con ser de corriente alterna a la frecuencia nominal, el *GDR* deberá instalar los equipos necesarios como los son los inversores, con tal de filtrar todas las posibles perturbaciones que se producen al convertir una corriente continua a alterna. Esto es para que el centro de generación del *GDR* pueda conectarse óptimamente y sin ninguna complicación a un sistema de

distribución. Las especificaciones técnicas de los equipos encargados de la filtración deben cumplir con normas nacionales e internacionales la cual tienen la función de garantizar que las instalaciones de generación eléctrica queden desconectadas del sistema de distribución cuando se detecte una falla o falta de tensión.

f. Artículo 25

Define las circunstancias por las que el distribuidor puede desconectar las instalaciones del *GDR* previo al aviso por escrito y con las debidas justificaciones, las cuales podrán ser: por los mantenimientos programados en la red, por fallas a la red provocadas por el *GDR*, a solicitud del *GDR* o cuando el *GDR* no cumpla con el procedimiento de conexión establecido en los artículos 18 al 23 de esta norma.

g. Artículo 26

El *GDR* debe proveer, instalar y mantener los dispositivos para desconectarse de las instalaciones de distribución. Estos dispositivos estarán provistos de un mecanismo de verificación visual para asegurar el posicionamiento de estos, ya sea abierto o cerrado y a la vez con un mecanismo de bloqueo en la posición de abierto.

h. Artículo 27

Si existe un *GDR* en las instalaciones de un distribuidor, esto no limitara a continuar con la programación de los mantenimientos, los cuales se realizarán informando a los afectados conforme a lo establecido en el artículo 108 del reglamento de la *LGE*; el distribuidor coordinara los mantenimientos de su red con el *GDR* para reducir el tiempo en que el servicio eléctrico no esté disponible y afectar de menor manera a los usuarios. Tanto el distribuidor, así como el *GDR* son totalmente responsables del mantenimiento de sus respectivas instalaciones.

i. Artículo 28

Indica que el *GDR* llevara un registro preciso de los mantenimientos realizados a sus instalaciones, ya que estos pueden ser que se soliciten por parte del distribuidor o por la *CNEE* cuando así se requiera.

j. Artículo 29

El distribuidor tiene el derecho de revisar las instalaciones del *GDR* con el fin de garantizar una adecuada operación y el cumplimiento de los requerimientos de esta norma, tanto en las instalaciones del *GDR*, así como de las propias. El *GDR* tiene la obligación de efectuar las

inspecciones a sus instalaciones con base en las buenas prácticas de ingeniería y lo dispuesto en esta norma. Así mismo el *GDR* tiene que permitir el acceso a todas sus instalaciones para que se realicen las inspecciones técnicas correspondientes por parte de las instituciones como el *MEM*, *CNEE*, el distribuidor o empresas contratadas para dicho fin.

Si el resultado de las inspecciones técnicas por parte de la *CNEE* indica que el *GDR* no ha cumplido con lo que se establece en el marco normativo nacional o con la resolución de autorización de conexión, entonces la comisión demandará las correcciones respectivas. Si el *GDR* ignora dichas correcciones y no las cumple en el tiempo solicitado, entonces se le procederá a sancionarlo conforme a lo que establece la *LGE* y su reglamento.

k. Artículo 31

El *GDR* podrá comercializar la potencia y energía generada con el distribuidor con base en lo que se establece en la *LGE* y su reglamento, así como con el mercado mayorista bajo el término de participante productor, cumpliendo en el caso anterior con el marco legal vigente y lo que se establece en las *NCC* y *NCO* que correspondan. Estas opciones para comercializar la energía y potencia no son excluyentes entre sí.

l. Artículo 36

Si el interesado quiere estar visto bajo el marco legal y de esta norma como un usuario Autoprodutor que inyecta sus excedentes de energía sin participar en el acto de comercializar o vender la energía, se lo hará saber detalladamente en el formulario que corresponda al distribuidor involucrado. Estos usuarios no requerirán de alguna autorización respecto a esta norma, sin embargo, estos deberán de contar con los dispositivos adecuados de protección ya mencionados que ofrezcan una confiabilidad tal de realizar su trabajo en caso de fallas en la planta energética o en las redes de distribución cuando el *voltaje* se aleja de las tolerancias explicadas en las *NTSD*.

m. Artículo 37

Está claro que una de las acciones finales e importantes respecto a que un *UAEE* se conecte a un sistema de distribución será una inspección física y técnica por parte de elementos del distribuidor. Este tendrá un plazo de 15 días para mandar al personal correspondiente para la verificación de las instalaciones del *UAEE*. Si los resultados del diagnóstico del estado del proyecto están en condiciones normales y positivos, el distribuidor emitirá una constancia al interesado donde le haga saber que dichas instalaciones ya fueron debidamente revisadas e

inspeccionadas. Luego de un plazo no mayor a 28 días de recibida la notificación se procederá con la instalación de conexión a la red.

n. Artículo 39

Respecto a la medición, registro y lectura tanto de la energía que demanda el *UAEE*, así como la que inyecta en el sistema de distribución, deberán de trabajarse de forma bidireccional. En caso de los usuarios regulados, el suministro e instalación del contador eléctrico bidireccional lo cubrirá el distribuidor a diferencia de los grandes usuarios que deben de ser responsables de su propio sistema de medición.

o. Artículo 40

Los *UAEE* se registrarán por el sistema de registro Net Metering; durante un periodo de facturación mensual bajo la perspectiva del distribuidor se pueden presentar dos situaciones, la primera consiste en cobrar la energía tomada de la red debido a que el sistema renovable no pudo sostener la totalidad de la demanda en dicho periodo. El segundo caso es lo contrario ya que cuando el *UAEE* ha generado más energía de la que necesito para sus actividades de un mes, este excedente automáticamente es registrado y considerado en forma de créditos a favor del cliente para que pueda hacer uso de ellos en su siguiente facturación hasta que los mismos se hayan consumido en su totalidad. El distribuidor tiene el derecho de seguir cobrando todos aquellos costos fijos, por lo que el *UAEE* siempre tendrá que cancelar físicamente estos preceptos.

## V. Antecedentes

### A. Historia de la empresa

El Centro Comercial Arboreto Tiquisate es un proyecto comercial que surge a través de la desarrolladora inmobiliaria experta en operación de centros comerciales, viviendas y franquicias, Íntegro, siendo esta parte de la corporación de construcción Aicsa.

Ilustración 16. Logotipo de Arboreto



Fuente: Centro Comercial Arboreto Tiquisate, 2021. <https://www.facebook.com/centroscomercialesarboreto/photos>

Íntegro nace en el 2,017 como una unidad estratégica de corporación Aicsa, empresa líder en Centroamérica con más de 45 años de experiencia dentro del mercado.

Dentro del portafolio de Íntegro se han construido más de 2,000 viviendas, operando a su vez cuatro centros comerciales y contando con dos franquicias exclusivas de marcas de ropa europea. Su concepto de trabajo es el siguiente (Íntegro, 2017):

<<Creamos espacios que transforman vidas, al mismo tiempo que generamos grandes oportunidades de negocio para inversionistas>>

#### 1. Valores de Íntegro

- a. Excelencia: constantemente se busca la forma de hacerlo mejor.
- b. Pasión: entusiasmo y encanto por lo que se hace.
- c. Impacto positivo: generarlo en todas las personas con las que se interactúa.
- d. Creatividad: desarrollar soluciones originales.

e. Comunicación: asegurar que las personas tienen la información necesaria para hacer su trabajo y que se sientan escuchadas e involucradas.

Ilustración 17. Logotipo de Íntegro



Fuente: Íntegro, 2021. <https://www.facebook.com/Integro.gt/>

## 2. Aicsa

Aicsa es una firma guatemalteca fundada en el año 1,975 dedicada a la consultoría, construcción, diseño y promoción de distintos proyectos de carácter comercial, industrial, energético y de vivienda. Desde sus inicios se ha ido caracterizando por proveer a sus clientes un alto nivel de ética, honestidad y confianza a nivel nacional e internacional.

Con base en sus objetivos, Aicsa promueve la total satisfacción de sus clientes, la mejora continua, el entusiasmo y dedicación a todos los proyectos. Esta corporación se destaca por su responsabilidad y la capacidad de entregar proyectos exitosos, cumpliendo con los más altos estándares de calidad, bajo los costos y tiempos requeridos, tomando en cuenta que estos sean socialmente responsables y con el menor impacto ambiental posible (Aicsa,s.f.).

## B. Misión y visión de la empresa

### 1. Misión de Aicsa

Brindar al cliente la más completa gama de productos y servicios de consultoría, diseño y ejecución en el campo de la construcción, que van desde la conceptualización de una idea hasta la puesta en servicio de un proyecto.

## 2. Visión de Aicsa

Proveer el mejor servicio de diseño y construcción a través de la práctica profesional, la educación e investigación mediante un sistema multidisciplinario integrado.

## C. Mercado de la empresa

1. Consultoría: identifica el concepto, se realiza un estudio de mercado, se pre diseña y se programa el financiamiento para el desarrollo del proyecto.

2. Diseño: se realizan diseños urbanísticos, arquitectónicos de interior, eléctricos y de instalaciones hidráulicas; planos de construcción y tramitología.

3. Construcción: administrar, preparar y ejecutar; se hace el cierre y entrega de la construcción.

4. Promoción: se da servicio de mercadeo, venta, arrendamiento, administración y mantenimiento de proyectos inmobiliarios.

## D. Crecimiento y logros

1. EHS Termoeléctrica Las Palmas II, Duke Energy International: 8.58 millones de horas hombre<sup>3</sup> sin accidentes, felicitación especial.

2. Ganador del Galardón OH&S Cementos Progreso 2,010: Termoeléctrica Las Palmas II, Escuintla.

3. Ganador del Galardón OH&S Cementos Progreso 2,010: Edificio Platino, Guatemala.

4. Ganador del Galardón OH&S Cementos Progreso 2,011: Residenciales Villa Romana, Villa Nueva.

5. Ganador en 7<sup>a</sup> entrega del Premio a la Excelencia: 1<sup>er</sup> lugar en categoría institucional con el proyecto Colegio Agustiniiano 2,017; finalista en la categoría institucional con el proyecto Hogar de Ancianos; finalista en la categoría infraestructura con el proyecto hidroeléctrica Guayacán.

<<En Corporación AICSA creemos firmemente en una cultura de negocios basada en principios éticos, respetuosos de las personas, comunidades y medio ambiente. Esta cultura contribuye a la

---

<sup>3</sup> Es una relación para estimar un tiempo promedio en que un trabajador determinado le toma hacer una actividad laboral ininterrumpida. Diciembre del 2,020. <https://es.wikipedia.org/wiki/Hora-persona>

competitividad de nuestras empresas, bienestar general y desarrollo sostenible del país.>>  
(Aicsa,s.f).

Ilustración 18. Logotipo de Aicsa

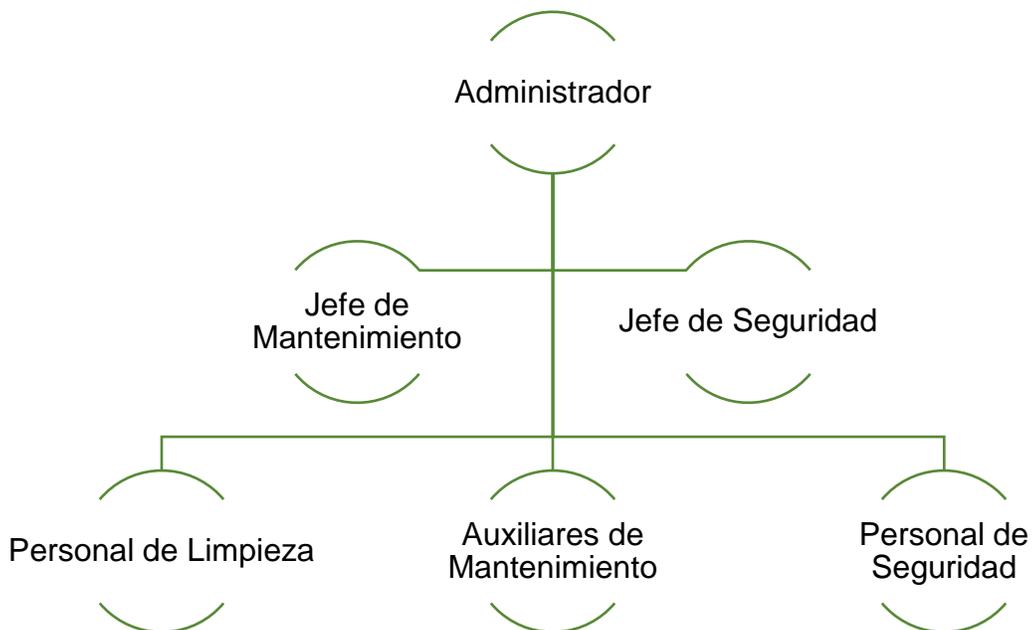


Fuente: Aicsa, 2021. <https://www.aicsacorp.com/>

## E. Estructura organizacional del centro comercial

El personal que se encarga específicamente de mantener el funcionamiento constante del Centro Comercial Arboreto Tiquisate, se estructura de la siguiente manera:

Ilustración 19. Jerarquía de ocupaciones



Fuente: elaboración propia

Se observa una jerarquía lineal en la Ilustración 19, haciéndose entender que, por la distribución de ocupaciones laborales, cada colaborador tiene contacto con cualquiera de los

demás, cosa totalmente comprobada según las observaciones realizadas; frecuentemente lo que más se noto fue que de alguna u otra manera el administrador se ponía en contacto con todo el personal de mantenimiento y el jefe de seguridad, para darle inmediata importancia a los asuntos a resolver dentro de todas las instalaciones del lugar. Esto indica una buena comunicación laboral para ir mejorando la impresión y el bienestar de las visitas en los diferentes locales comerciales y por el Centro Comercial en general.

## F. Ubicación geográfica

El Centro Comercial Arboreto se ubica en el municipio de Tiquisate, perteneciente al departamento de Escuintla, en la región sur de la República de Guatemala. Comprende una extensión de  $892 \text{ km}^2$ , situado a  $90 \text{ km}$  de la cabecera departamental y a  $145 \text{ km}$  de la ciudad de Guatemala (Wikipedia, 2,022).

Según el censo del *INE* del año 2,013, indica una población total de 57,558 habitantes. Colinda al norte con el municipio de Río Bravo, Suchitepéquez; al sur con el Océano Pacífico; por el este con el municipio de Nueva Concepción, Escuintla; por el oeste con el municipio de Santo Domingo, Suchitepéquez (Valladares, 2017).

Ilustración 20. Ubicación de Tiquisate en el mapa departamental de Escuintla

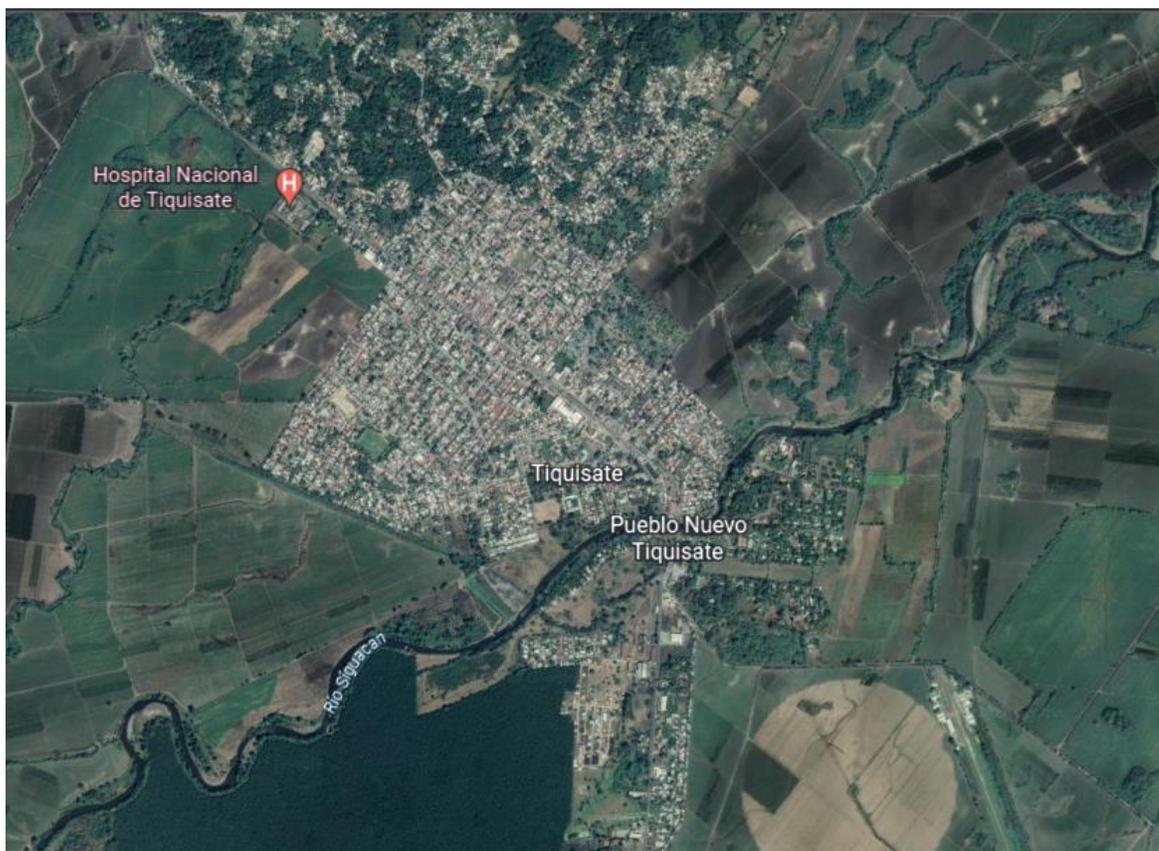


Fuente: Luis Valladares, 2017. <https://aprende.guatemala.com/historia/geografia/municipio-de-tiquisate-escuintla/>

La cabecera municipal de Tiquisate se encuentra en el *kilómetro* 146 donde se puede llegar por la ruta internacional CA-02- Occidente- 05 hasta el *kilómetro* 126, desviándose hacia la ruta departamental RD-ESC-27- 01, esta ruta finaliza en la playa El Semillero en jurisdicción del municipio (Valladares, 2017).

También se puede llegar sobre la misma ruta internacional, desviándose hacia la ruta nacional RN-11-06 en el *kilómetro* 113, que atraviesa la Ruta Nacional RN- 11-07 que conduce al municipio de Nueva Concepción. Por la Ruta Departamental RD-ESC-27-02 a 31 *kilómetros* se llega al centro de Tiquisate por la ruta RD-ESC-27-01 (Valladares, 2017).

Ilustración 21. Vista satelital de Tiquisate



Fuente: Google Earth, 2021.

## VI. Marco metodológico

### A. Dimensiones de las instalaciones

#### 1. Emplazamiento

Según los datos que proporciona la empresa Aicsa en el portafolio de los proyectos desarrollados hasta la actualidad, se encuentra el dato del área que ocupan las instalaciones del Centro Comercial Arboreto Tiquisate.

Ilustración 22. Vista isométrica el edificio principal



Fuente: Aicsa, 2021. <https://www.aicsacorp.com/portafolio-construccion/>

El área total está comprendida en  $5,681.60 m^2$  (Aicsa, s.f.), lo cual es de entender que es un espacio considerablemente grande, siendo este proyecto un centro con un importante flujo de comercio entre los habitantes del municipio, una ventana para provechosos empleos, espacios para actividades de negocio o de entretenimiento y un lugar donde se manifiesta la comodidad con buenas alternativas para convivir con los demás.

El buen aspecto de las instalaciones es no solo centro de comercio, sino de las constantes visitas de personas de diferentes aldeas y lugares aledaños al municipio, ya que en este lugar solía

existir una edificación bastante abandonada y deteriorada. La infraestructura moderna del edificio suele atrapar la atención de las personas.

## 2. Medidas de la infraestructura

En cuanto a los datos reales con base en un plano o diseño arquitectónico con las medidas exactas del edificio, la administración del Centro Comercial no pudo dar a conocer esta información debido a que no la tenía disponible en el momento que se solicitó.

Fue necesario tomar medidas para obtener valores aproximados tanto de largo como de ancho; la infraestructura principal está diseñada en forma rectangular, por lo que se usó la fórmula del área de dicha figura geométrica, viéndose las variables desde una perspectiva área por la manera más accesible de hacer el análisis con las medidas tomadas.

El largo medido corresponde a la arista del edificio que se observa en el parqueo:

Ilustración 23. Área del parqueo



Fuente: elaboración propia

El largo comprende una medida de 105 *metros* aproximadamente.

El ancho medido corresponde a la arista frontal que se muestra en la Ilustración 24:

Ilustración 24. Vista frontal e isométrica del edificio principal



Fuente: elaboración propia

El ancho comprende aproximadamente una medida de 28 *metros*.

Con estos valores obtenidos se determina que el edificio principal contiene un área de 2,940  $m^2$ . Dividiendo este valor entre la medida del área total se observa entonces que esta infraestructura ocupa aproximadamente un 51.7% de espacio.

Con respecto a la altura se procedió a realizar el siguiente procedimiento con una medida a escala humana para poder representar en un valor próximo, los *metros* que comprende la elevación vertical de la fachada:

Ilustración 25. Comparación de altura entre un humano y la fachada del edificio



Fuente: elaboración propia

Como se observa en la Ilustración 25 se utilizó una escala humana igual a  $1.80\text{ m}$  para estimar la altura de la fachada; este cuerpo cabe 4 veces y un poco más a lo largo de las proyecciones en distancias indicadas por las cotas.

El último tramo se estimó de manera más o menos empírica; se imprimió esta imagen y mediante una regla se anotó la cantidad de *milímetros* que supone tener la imagen del cuerpo, esta supuso ser de exactamente  $33\text{ mm}$ ; el ultimo espacio comprendía una medida de  $14\text{ mm}$ . Al dividir 14 entre 33 se obtiene que este último espacio corresponde al  $42.42\%$  de alto respecto a la imagen del cuerpo. Por lo tanto, se realiza el producto de  $1.80\text{ m}$  por  $0.4242$  y se obtiene una cantidad de  $0.76\text{ m}$  y la altura del edificio es de aproximadamente  $7.96\text{ m}$  [ $(1.80\text{ m} * 4) + 0.76\text{ m}$ ].

### 3. Espacio superior

Se observó que la mejor ubicación a considerarse para la instalación del sistema solar fotovoltaico es en la parte superior de la edificación, con el objeto de aprovechar el máximo

espacio posible mientras se evita que alrededor existan más cosas que puedan generar sombras hacia los paneles o directamente bloqueen la radiación solar.

El techo es a dos aguas del tipo standing seam, es altamente resistente a la corrosión y el personal de mantenimiento lo ha tenido en buenas condiciones para evitar fugas y otros daños estructurales producidos por el deterioro de una mala asistencia. Sin embargo, esta parte del edificio no cuenta con una ruta de acceso directa ya que no existen escaleras industriales seguras para poder acceder, lo cual pone en riesgo la integridad física de los colaboradores que se encargan de mantener la infraestructura en óptimas condiciones.

Ilustración 26. Cumbre del edificio principal



Fuente: elaboración propia

Ilustración 27. Cubierta del edificio principal



Fuente: elaboración propia

El diseño de este techo proporciona una favorable ventaja al momento de instalar paneles solares, debido a que los soportes que sean necesarios colocar para una correcta sujeción estarán en las costillas que se observan y que no tienen un contacto directo con la superficie de la lámina, enfrentando así un problema bastante común que son las fugas de agua por instalar complejas estructuras metálicas que pudiesen dañar la cubierta.

En la Ilustración 29 se observa y se confirma totalmente lo anterior mencionado, ya que se encontró una instalación fotovoltaica en el lugar justamente adaptada a través de las costillas metálicas que sobresalen, debiendo tener en cuenta nada más algunos soportes extras que de igual manera irían conectadas a tales costillas.

Ilustración 28. Techo tipo *standing seam*



Fuente: elaboración propia

Ilustración 29. Sistema fotovoltaico existente en la cubierta



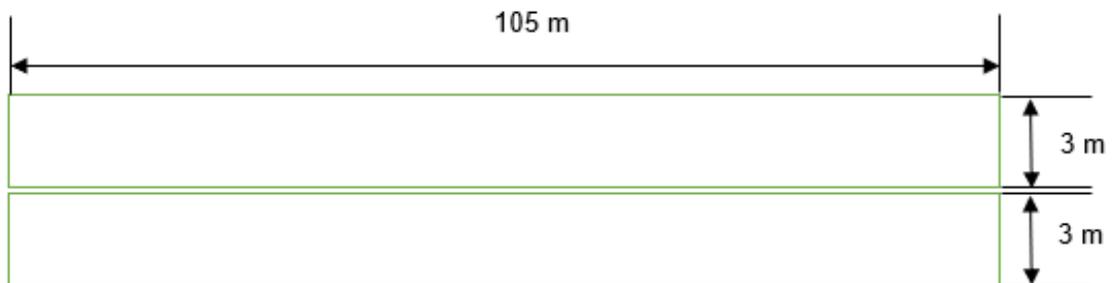
Fuente: elaboración propia

Se desconoce realmente a que empresa pertenece los paneles solares de la Ilustración 29, pero sirve como una referencia de la adaptabilidad que tiene esta parte de la infraestructura para la instalación física del sistema; para que este tipo de techo haya permanecido hasta este tiempo en buenas condiciones sin sufrir algún tipo de desgaste o deterioro por la permanente sujeción, da un indicio de que el material del cual se compone es altamente resistente, capaz de soportar perfectamente una estructura para la fijación y soporte de los módulos.

Esta área superior del edificio está compuesta por la cubierta principal y la cumbrera o caballete. Mientras se observaba esta parte, se notó que el caballete es lo suficientemente amplio para colocar módulos fotovoltaicos a cada lado.

Se puede obtener un área aproximada de cada lado de la cumbrera si de igual manera se analiza desde una perspectiva aérea para obtener dos rectángulos con los siguientes valores medidos:

Ilustración 30. Medidas de la cumbrera

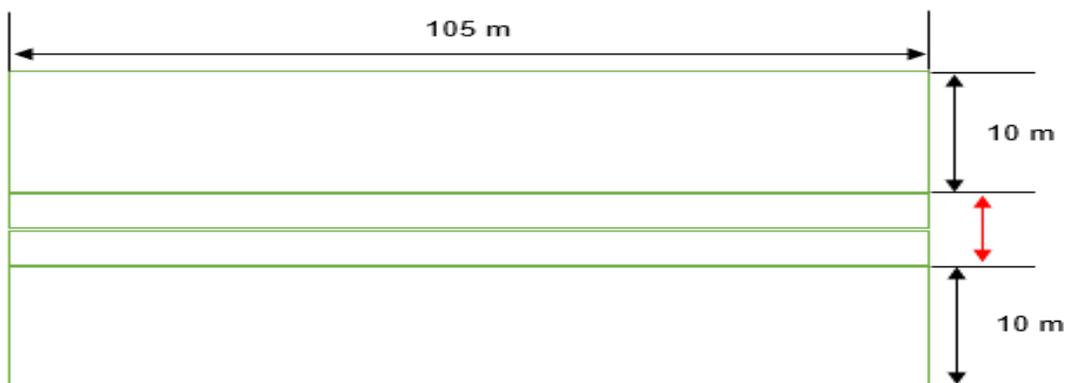


Fuente: elaboración propia

El área por cada lado de la cumbrera da como resultado  $315 \text{ m}^2$  y un área total de  $630 \text{ m}^2$  aproximadamente.

Para la cubierta principal se usa el mismo razonamiento con sus respectivas medidas:

Ilustración 31. Medidas de la cubierta



Fuente: elaboración propia

Cabe recalcar que el ancho por cada lado del techo principal se midió desde donde terminan los lados de la cumbrera; nótese que las flechas rojas en la Ilustración 31 indican el ancho que ocupa la cumbrera, debido a que el pequeño espacio que está por debajo de esta no podría ser usado para esta instalación por la clara razón de que obstaculizaría los rayos solares.

El área por cada lado de la cubierta principal es de  $1,050 m^2$  y en total son  $2,100 m^2$ . Estas mediciones se realizaron con el objeto de tener un valor bastante próximo del área superior y mantenerlo presente al momento de determinar cuántos paneles solares serán necesarios para cubrir la demanda de energía eléctrica, dependiendo las dimensiones que vayan a tener los módulos fotovoltaicos a proponer.

## B. Consumo de energía

Según la información recibida por parte del jefe de mantenimiento y el administrador, existe una demanda de energía eléctrica que corresponde directamente a las áreas comunes de la infraestructura, comprendidas en el interior del edificio (primer y segundo nivel) juntamente con el exterior del edificio (parqueo y bodegas) y una demanda de energía eléctrica por cada local comercial en actividad, es decir, cada negocio que arrenda el espacio que necesita para sus actividades cancela su propio consumo de electricidad, a excepción de algunos puntos de ventas ubicados en el primer nivel.

### 1. Áreas comunes

A continuación, se mostrará el registro de los objetos eléctricos que están sujetos a la demanda de energía del Centro Comercial, la cantidad, su respectiva capacidad requerida de trabajo y las horas en que estos funcionan, con el objetivo de obtener el consumo aproximado existente en un día y en un mes en las áreas comunes. Estos son los objetos de actividad diaria en el interior del edificio:

Tabla 3. Registro de objetos eléctricos en el primer nivel

Primer nivel					
Descripción	Cantidad	Horas de uso al día	Potencia (W)	Total de energía diaria (Wh)	Total de energía mensual (Wh)
Luces <i>LED</i> diurnas (ojos de buey)	24	13	12	3,744	112,320
Luces <i>LED</i> nocturnas (ojos de buey)	60	4	12	2,880	86,400
Bocinas	13	12	6	936	28,080
Cámaras	12	24	3	864	25,920
Medidores de temperatura	3	12	5	180	5,400
Rótulos	14	12	30	5,040	151,200
Motores eléctricos (fuentes)	4	12	300	14,400	432,000
Barras <i>LED</i> para las fuentes	4	12	5	240	7,200

Fuente: elaboración propia

El consumo diario surge del producto entre las horas que el objeto está en funcionamiento y su potencia. El consumo mensual será el producto entre el consumo diario y el número de días por mes, tomando como base un mes de 30 días.

Tabla 4. Registro de objetos eléctricos en el segundo nivel

Segundo nivel					
Descripción	Cantidad	Horas de uso al día	Potencia (W)	Total de energía diaria (Wh)	Total de energía mensual (Wh)
Luces <i>LED</i> (ojo de buey)	132	13	12	20,592	617,760
Lámparas de luces <i>LED</i>	11	13	150	21,450	643,500
Bombillo fluorescente	2	8	85	1,360	40,800
Bocinas	20	12	6	1,440	43,200
Cámaras	9	24	3	648	19,440
Ventiladores	5	10	130	6,500	195,000
Televisores	4	12	60	2,880	86,400

Fuente: elaboración propia

Tabla 5. Registro de objetos eléctricos en la oficina administrativa

Oficina de administración					
Descripción	Cantidad	Horas de uso al día	Potencia (W)	Total de energía diaria (Wh)	Total de energía mensual (Wh)
Computadora de escritorio	1	4	300	1,200	36,000
Impresora	1	2	100	200	6,000
Aire acondicionado	1	6	3,000	18,000	540,000
Bombillo fluorescente 1	1	12	85	1,020	30,600
Bombillo fluorescente 2	1	12	35	420	12,600

Fuente: elaboración propia

Los objetos eléctricos de uso diario en el exterior del edificio son los siguientes:

Tabla 6. Registro de objetos eléctricos en el área de bodegas

Bodegas					
Descripción	Cantidad	Horas de uso al día	Potencia (W)	Total de energía diaria (Wh)	Total de energía mensual (Wh)
Luminaria suburbana	2	12	85	2,040	61,200
Luces tipo cobra de 2 LED	4	12	100	4,800	144,000
Luces LED (ojo de buey)	2	12	12	288	8,640
Cámaras	6	24	3	432	12,960
Motor hidroneumático	1	1	746	746	22,380

Fuente: elaboración propia

El sistema para el suministro y control de agua está constituido por dos elementos principales que son las bombas eléctricas; el motor sumergible es la bomba de inmersión y se utiliza para extraer el recurso hídrico desde un pozo mecánico y pasarlo al tanque de almacenamiento, con lo que en este punto es necesario la función de la bomba hidroneumática para que mantenga la presión adecuada hacia el suministro de los servicios sanitarios, lavamanos y grifos en general.

Se indicó por parte del personal que la bomba sumergible era producto de la compañía Franklin Electric, encontrándose un manual de guía nombrado Franklin Electric, 2,011 AIM Manual, así se podrá ver las especificaciones eléctricas correctas y determinar un consumo estimado por el funcionamiento de horas que tiene al mes. Normalmente la bomba sumergible se activa en promedio unas 2 horas semanales, con una actividad de ½ hora al día cada dos días.

Paralelo a esto se encontró un apartado web referente a los consejos técnicos que ofrece esta compañía sobre sus productos, donde se indica claramente los datos a considerarse dentro del manual para poder aproximar el consumo de los motores sumergibles según su *amperaje*, factor de potencia y la tensión del suministro eléctrico, de modo que la potencia entonces será igual al producto entre estas tres variables.

En la Ilustración 32 se muestra una guía rápida de como localizar los valores que se necesitan según el motor ubicada en la página 13 del manual (Franklin Electric, s.f.):

Ilustración 32. Identificación de parámetros dentro del manual AIM de Franklin Electric para obtener el dato de consumo del motor sumergible

TIPO	PREFIJO DEL MOTOR	VALOR NOMINAL					A PLENA CARGA	
		HP	KW	VOLTS	HZ	F.S.	(2) AMPS	WATTS
4-PULG 2-ALAMB	214508	1	0.75	230	60	1.4	A8.2 N8.2 R0	1210

MAXIMA (CARGA F.S)		DEVANADO (1) RES. EN OHMS		EFICIENCIA %		FACTOR DE POTENCIA %		AMPS DE ROTOR BLOQUEADO	CODIGO KVA
(2) AMPS	WATTS	M-RES. PRINCIPAL	S-RES. DE INICIO	F.S.	FL.	F.S.	FL.		
A9.8 N9.8 R0	1600	M2.2-2.7	S9.9-12.1	65	62	74	63	41.8	L

Fuente: Franklin Electric, 2007. <https://franklinlinkmx.wordpress.com/2007/09/28/voltaje-corriente-y-potencia-en-una-instalacion-sumergible/>

El motor sumergible que opera en el Centro Comercial es de 7.5 HP y en base a eso se encontró en la práctica que trabaja a una tensión de 220 V, con una corriente de 42 A y un factor de potencia del 91% (Franklin Electric, 2,007).

Ecuación 2. Potencia en *Vatios* del motor sumergible  
 $Potencia = (Voltaje)(Corriente)(Factor\ de\ potencia)$   
 $Potencia = (220\ V)(42\ A)(0.91)$   
 $Potencia = 8,408.4\ Watts$

La potencia de este motor es de 8.408 kW y al multiplicarlo por las horas de funcionamiento que tiene por mes (8 horas) da como resultado un consumo de 67.26 kWh al mes y un consumo hipotético diario de 2.24 kWh (67.26 / 30). Esto último se hizo así para cuantificar en conjunto con los otros elementos eléctricos un consumo diario aproximado en las áreas comunes.

Tabla 7. Registro de objetos eléctricos en el área del parqueo

Parqueo					
Descripción	Cantidad	Horas de uso al día	Potencia (W)	Total de energía diaria (Wh)	Total de energía mensual (Wh)
Luces tipo cobra de 2 LED	10	12	100	12,000	360,000
Luces tipo cobra de 3 LED	2	12	150	3,600	108,000
Cámaras	7	24	3	504	15,120
Luces LED en el suelo	6	4	24	576	17,280
Luces LED (ojos de buey)	22	4	12	1,056	31,680

Fuente: elaboración propia

Los siguientes puntos de venta son exceptuados de un pago individual por el consumo de energía debido a que este es muy mínimo y va incluido en el pago de alquiler por el uso del espacio necesario, dando a entender que estos objetos también están bajo la demanda de las áreas comunes:

Tabla 8. Registro de objetos eléctricos en kiosco comercial TMA

Kiosco comercial TMA (Tecnología Móvil Avanzada)					
Descripción	Cantidad	Horas de uso al día	Potencia (W)	Total de energía diaria (Wh)	Total de energía mensual (Wh)
Tubos LED	3	10	9	270	8,100
Luces LED (ojos de buey)	6	10	5	300	9,000

Fuente: elaboración propia

Tabla 9. Registro de objetos eléctricos en kiosco comercial oso polar

Kiosco comercial oso polar					
Descripción	Cantidad	Horas de uso al día	Potencia (W)	Total de energía diaria (Wh)	Total de energía mensual (Wh)
Nevera	1	10	350	3,500	105,000

Fuente: elaboración propia

Tabla 10. Registro de objetos eléctricos en kiosco comercial cámaras fix

Kiosco comercial cámaras fix					
Descripción	Cantidad	Horas de uso al día	Potencia (W)	Total de energía diaria (Wh)	Total de energía mensual (Wh)
Luces LED (ojos de buey)	6	10	5	300	9,000

Fuente: elaboración propia

Para efectos de una rápida comprensión y visualización, en la Tabla 11 se elaboró un resumen con los totales aproximados del consumo diario y mensual, mostrándose los resultados en *kilovatios-hora*:

Tabla 11. Resumen de consumos energéticos de las áreas comunes

Descripción	Consumo diario ( <i>kWh</i> )	Consumo mensual ( <i>kWh</i> )
Primer nivel	28.284	848.52
Segundo nivel	54.870	1,646.1
Oficina de administración	20.84	625.2
Kiosco comercial TMA	0.57	17.1
Kiosco comercial oso polar	3.5	105
Kiosco comercial cámaras fix	0.3	9
Consumo total del interior del edificio	108.364	3,250.92
Parqueo	17.736	532.08
Bodegas	10.546 (con el consumo hipotético del motor sumergible)	316.44 (con el consumo del motor sumergible)
Consumo total del exterior del edificio	28.282	848.52
Consumo total	136.646	4,099.44

Fuente: elaboración propia

El consumo de energía de las áreas comunes aproximadamente es de 4,099.44 *kWh* por mes.

## 2. Locales comerciales

Siguiendo con la misma metodología de recolección y registro de los objetos eléctricos, ahora se mostrará respecto a los diferentes locales comerciales que actualmente están en actividad. Sin embargo, algunos de estos no permitieron el acceso para obtener la información necesaria debido a sus políticas de seguridad y privacidad.

Los negocios que permitieron realizar dicha acción fueron los siguientes:

Tabla 12. Registro de objetos eléctricos en heladería Sarita

Kiosco comercial heladería Sarita					
Descripción	Cantidad	Horas de uso al día	Potencia (W)	Total de energía diaria (Wh)	Total de energía mensual (Wh)
Neveras	3	8	350	8,400	252,000
Frigorífico	1	8	600	4,800	144,000
Computadoras	1	6	300	1,800	54,000
Tubos <i>LED</i>	5	8	9	360	10,800
Barras <i>LED</i>	2	8	5	80	2,400

Fuente: elaboración propia

Tabla 13. Registro de objetos eléctricos en la oficina de Claro

Local comercial oficina de administración de Claro					
Descripción	Cantidad	Horas de uso al día	Potencia (W)	Total de energía diaria (Wh)	Total de energía mensual (Wh)
Tubos Fluorescentes	3	12	30	1,080	32,400
Computadoras	3	12	300	10,800	324,000
Impresoras	2	2	100	400	12,000

Fuente: elaboración propia

Tabla 14. Registro de objetos eléctricos en local comercial de Claro

Local comercial Claro					
Descripción	Cantidad	Horas de uso al día	Potencia (W)	Total de energía diaria (Wh)	Total de energía mensual (Wh)
Tubos Fluorescentes	8	12	20	1,920	57,600
Barras <i>LED</i>	4	12	5	240	7,200

Fuente: elaboración propia

Tabla 15. Registro de objetos eléctricos en óptica santa paula

Local comercial óptica santa paula					
Descripción	Cantidad	Horas de uso al día	Potencia (W)	Total de energía diaria (Wh)	Total de energía mensual (Wh)
Bombillos <i>LED</i>	10	9	6	540	16,200
Luces <i>LED</i> (ojos de buey)	4	9	20	720	21,600
Ventilador 1	1	9	45	405	12,150
Ventilador 2	1	9	60	540	16,200
Lámparas	2	9	3	54	1,620
Barras <i>LED</i>	2	9	5	90	2,700
Foco fluorescente	1	2	45	90	2,700

Fuente: elaboración propia

Tabla 16. Registro de objetos eléctricos en heladería la nevería

Local comercial heladería la nevería					
Descripción	Cantidad	Horas de uso al día	Potencia (W)	Total de energía diaria (Wh)	Total de energía mensual (Wh)
Luces <i>LED</i> (Ojos de buey)	28	10	9	2,520	75,600
Tubos fluorescentes	12	10	45	5,400	162,000
Tubos <i>LED</i>	5	10	18	900	27,000
Computadoras	1	10	300	3,000	90,000
Refrigeradores	2	10	400	8,000	240,000
Congeladores	3	10	600	18,000	540,000
Ventiladores	2	10	50	1,000	30,000

Fuente: elaboración propia

Tabla 17. Registro de objetos eléctricos en cargo expreso

Local comercial cargo expreso					
Descripción	Cantidad	Horas de uso al día	Potencia (W)	Total de energía diaria (Wh)	Total de energía mensual (Wh)
Tubos <i>LED</i>	10	8	6	480	14,400
Computadora	1	8	300	2,400	72,000
Impresora	1	4	100	400	12,000

Fuente: elaboración propia

Tabla 18. Registro de objetos eléctricos en zapatería Roy

Local comercial zapatería roy					
Descripción	Cantidad	Horas de uso al día	Potencia (W)	Total de energía diaria (Wh)	Total de energía mensual (Wh)
Tubos Fluorescentes	16	10	30	4,800	144,000
Computadora	1	6	300	1,800	54,000
Ventilador	2	10	35	700	21,000

Fuente: elaboración propia

A pesar de que solo se obtuvo el permiso para realizar el registro en las empresas mostradas, la administración ofreció un excelente y oportuno apoyo al proporcionar el Número de Identificación de Suministro (*NIS*) de cada uno de los contadores eléctricos bajo el control de la Distribuidora de Electricidad de Occidente (*DEOCSA*), a excepción de Grupo de Todos S.A (Mega paca) y el banco de los trabajadores (Bantrab). De este modo se tienen datos aún más confiables y verídicos respecto al consumo de energía eléctrica a través de la búsqueda en la página web de Energuate, obteniendo un promedio entre los meses comprendidos desde mayo del 2,021 hasta febrero del 2,022, según el historial que ofrece el servicio web.

Las empresas como Banco de Antigua y la Corporación Cinematográfica (Pop cinema) tienen 2 y 3 contadores respectivamente debido a las distintas conexiones eléctricas orientadas a las funciones de sus respectivos equipos y herramientas según sus ocupaciones, de modo que cada contador energético indica distintos consumos.

En la Tabla 19 se muestra el consumo en *kilovatios-hora* por mes que tuvo cada empresa o negocio:

Tabla 19. Consumo energético de cada local comercial durante 10 meses

Empresa	Consumo en kWh de:									
	Mayo del 2,021	Junio del 2,021	Julio del 2,021	Agosto del 2,021	Septiembre del 2,021	Octubre del 2,021	Noviembre del 2,021	Diciembre del 2,021	Enero del 2,022	Febrero del 2,022
Crédito Hipotecario Nacional (Banco CHN)	1,467	1,388	1,485	1,650	1,468	1,419	1,462	1,476	1,456	1,177
Distribuidora Electrónica S.A (Tecno Fácil)	2,650	2,375	2,445	2,437	2,286	2,287	2,558	2,320	2,564	2,695
Esencias Eco químicas	140	271	153	430	136	97	101	108	5	0
Cracco Novedades	100	84	96	100	91	87	95	90	97	99
Banco de Antigua	461	440	492	498	486	472	526	472	522	495
	917	877	888	945	862	918	997	900	949	801
Calzado Roy	-	201	228	237	221	219	307	306	323	284
Punto de venta de Claro	75	62	77	78	79	89	99	92	95	99
Administración de Claro	311	262	350	353	336	337	269	256	320	379
Fascino	16	80	91	90	88	87	92	80	92	90
Óptica Santa Paula	23	73	73	77	71	67	71	62	67	69
Heladería La Nevería	1,256	1,231	1,180	1,354	1,087	1,102	1,305	1,136	1,473	1,254
Cargo Expreso	107	92	104	105	83	75	77	79	89	79
Kiosco comercial MAX	99	89	103	210	97	86	91	84	89	89
Heladería Sarita	489	433	476	485	458	472	503	458	511	489
Gauchitos	833	724	637	731	813	727	810	687	794	729
Corporación Cinematográfica (Pop Cinema)	183	160	216	204	138	144	156	148	227	185
	490	494	693	718	426	390	620	494	873	590
	855	824	1,100	1,081	720	594	997	882	1,467	996
Al Macarone	1,018	900	997	989	945	929	1,020	889	990	927

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 20 se muestra el promedio de consumo durante estos 10 meses mencionados, a excepción de la zapatería Roy, por la razón de que no se encontró un dato de consumo energético correspondiente al mes de mayo del 2021, debido a que en ese mes comenzaba su actividad comercial.

Tabla 20. Resumen de consumos energéticos promedios de las distintas empresas y negocios

Empresa	Consumo promedio mensual en <i>kWh</i>
Crédito Hipotecario Nacional (Banco <i>CHN</i> )	1,444.80
Distribuidora Electrónica S.A (Tecno Fácil)	2,461.70
Esencias Eco químicas	144.10
Cracco Novedades	93.90
Banco de Antigua	1,391.80
Calzado Roy	258.44
Punto de venta de Claro	84.50
Administración de Claro	317.30
Fascino	80.60
Óptica Santa Paula	65.30
Heladería La Nevería	1,237.80
Cargo Expreso	89
Kiosco comercial MAX	103.70
Heladería Sarita	477.40
Gauchitos	748.50
Corporación Cinematográfica (Pop Cinema)	1,706.50
Al Macarone	960.40

Fuente: elaboración propia

El consumo promedio total que existe mensualmente entre todos los locales en conjunto es de 11,665.74 *kWh*.

A diferencia del consumo individual de cada empresa o negocio, existe una diferencia con respecto a la unidad móvil del restaurante Pollo Campero; este restaurante instaló esta unidad en

el área de parqueo para la comercialización de su producto, por lo que la demanda de energía que ellos manejan cada mes está dentro de la demanda de las áreas comunes, debido a cuestiones técnicas propias del conteo de *kilovatios* en el Centro Comercial y acuerdos entre empresas.

Ilustración 33. Unidad móvil de Pollo Campero



Fuente: elaboración propia

Esto da a entender que la demanda de las áreas comunes estaba conformada por estas dos empresas, es decir, Pollo Campero e Íntegro representan los siguientes consumos energéticos; se desconoce por completo porque en su momento el consumo del mes de junio del año 2,021 no aparecía en el portal web, por lo que en la Tabla 21 se prosigue con los meses siguientes:

Tabla 21. Consumos de energía entre el sistema hídrico y Pollo Campero

NIS del contador: 6032824				
Consumo en <i>kWh</i> de mayo del 2,021	Consumo en <i>kWh</i> de julio del 2,021	Consumo en <i>kWh</i> de agosto del 2,021	Consumo en <i>kWh</i> de septiembre del 2,021	Consumo mensual promedio en <i>kWh</i>
4,937	5,320	6,195	6,033	5,621.25

Fuente: elaboración propia

Esta demanda sostenida por ambas empresas lo registra un mismo contador eléctrico con su respectivo *NIS*, sin embargo, por parte del área administrativa y mantenimiento se detalló que estos consumos de los meses expuestos, una gran y amplia porción era demandada por Pollo Campero, ya que, por parte del Centro Comercial, ese contador solo registra el funcionamiento

del sistema hídrico. Paralelamente el personal dejó claro que la energía que alimenta a los objetos de las áreas comunes registrados hasta el momento proviene de una empresa de la que tampoco se pudo recibir información, pero si se indicó que esta ejercía dentro del contexto eléctrico como un gran usuario.

La unidad de comida rápida dejó de operar a finales del año 2021, por lo que en la facturación eléctrica se observó un descenso en la exigencia de energía según el contador de la Tabla 21, el cual en ocasiones puede presentar aumentos en el consumo debido a que se puede registrar la actividad de otro tipo de aparatos en eventos y luminarias especiales, herramientas de construcción, sistemas de audio, una empresa y local comercial nuevo que se necesite energizar por un periodo de tiempo, etc.

### C. Costos de energía

Es importante saber cuánto equivalen los costos de operación por el uso de la electricidad según los pliegos tarifarios emitidos por el *AMM* y aprobadas por la *CNEE*. Para aquellos consumidores que demanden un máximo total de 300 *kWh* al mes, se aplica una tarifa especial llamada Tarifa Social (*TS*). Como se ha venido observando, muchas de las empresas exceden por una gran diferencia al límite de *kWh* mencionados, por lo que en este caso, el pliego tarifario es el llamado *BTS* (Baja Tensión Simple).

Las tarifas que a continuación se presentan fueron aprobadas por la *CNEE* el 1 de noviembre del año 2021 y presentado en el portal web de Energuate al momento del desarrollo de este análisis (Energuate, s.f.); la *TS* es de *Q2.16* con el *IVA* incluido y un cargo fijo mensual de *Q23.09*. En el caso de la tarifa *BTS*, el costo del *kWh* es de *Q2.31* y el cargo fijo mensual de *Q23.09*. Existe además un costo adicional denominado tasa por alumbrado público y su monto dependerá según lo asignado por la municipalidad, el cual para Tiquisate se considera para la *TS* una cifra de *Q50* y *Q200* para la *BTS*.

En el caso de la demanda del sistema hídrico juntamente con el consumo del restaurante Pollo Campero, se considera una tarifa de *BTS* multiplicado con el número de *kWh* promedio mensuales, o sea, 5,621.25 *kWh*. Nótese que la ecuación 3 trata puntualmente en sumar los costos fijos y el costo variable (*kWh*) según la emisión de la factura de la Distribuidora (Energuate, s.f.).

Ecuación 3. Costo de energía según *DEOCSA*

Costo de energía = [Tarifa\* *kWh* consumidos + (alumbrado público + cargo fijo mensual)]

Costo de energía por mes = [*Q2.31/kWh* \* 5,621.25 *kWh*] + (*Q200* + *Q23.09*)

Costo de energía por mes = Q13,208.18

La cifra anterior obtenida de la ecuación 3 confirma lo dicho por parte del administrador; al momento de acercarse a las instalaciones para empezar el proceso de recolección de datos, de inmediato el administrador recalco que el costo energético se había elevado en gran medida según la facturación emitida para dicho contador (NIS 6032824).

Se había mencionado que la mayor parte de la energía que es suministrada a las áreas comunes es provista por un gran usuario y tal situación impide mostrar el costo del *kWh* que este proveedor fija mensualmente. En diálogos más prácticos, el administrador planteo porcentajes hipotéticos en donde se pudiera entender de mejor manera este escenario: <<Toda la energía que es suministrada en las instalaciones de las áreas comunes viene de un mismo distribuidor, o sea DEOCSA, pero tan solo el 10% de la utilización de esta energía corresponde pagar directamente a la distribuidora, el cual es en este caso el sistema de bombeo de agua potable. El otro 90% de la energía utilizada en las áreas comunes es la que el gran usuario emite y la correspondiente facturación es enviada directamente hacia las oficinas centrales administrativas de Íntegro, es decir, nosotros como colaboradores encargados de este Centro Comercial no sabemos el costo por la utilización de electricidad que este gran usuario pacta con Íntegro>>.

A pesar de esta gran incertidumbre de no poder saber el precio del *kWh* que el gran usuario oferta, se puede calcular el costo energético que representa el funcionamiento del sistema hídrico en base al consumo promedio mensual en conjunto por los ya conocidos motores eléctricos, tomando en cuenta solo el precio de cada *kWh* demandado:

Costo de energía por mes = (Q 2.16/*kWh*) (67.26 *kWh* + 22.38 *kWh*)

Costo de energía por mes = Q193.62

Para el consumo de cada local comercial, se establece la tarifa correspondiente según el tipo de pliego tarifario que el NIS indique. Se incluirá en el valor del costo total promedio mensual, el cargo fijo mensual y la respectiva cantidad por el alumbrado público:

Tabla 22. Costos de energía mensual que cada empresa debe cubrir

Empresa	NIS del contador	Pliego tarifario	Costo promedio de la demanda mensual
Crédito Hipotecario Nacional (Banco CHN)	2138827	BTS	Q 3,560.58
Distribuidora Electrónica S.A (Tecno Fácil)	6477193	BTS	Q 5,909.62
Esencias Eco químicas	6462214	TS	Q 383.35
Cracco Novedades	6477190	TS	Q 274.91
Banco de Antigua	6582174	BTS	Q 1,346.67
	6582121	BTS	Q 2,314.56
Calzado Roy	6648257	TS	Q 630.32
Punto de venta de Claro	6198609	TS	Q 254.61
Administración de Claro	6198617	BTS	Q 956.05
Fascino	6645588	TS	Q 246.19
Óptica Santa Paula	6636706	TS	Q 213.14
Heladería La Nevería	6154011	BTS	Q 3,082.41
Cargo Expreso	6377404	TS	Q 264.33
Kiosco comercial MAX	6352400	TS	Q 296.08
Heladería Sarita	6335617	BTS	Q 1,325.88
Gauchitos	6485183	BTS	Q 1,952.13
Corporación Cinematográfica (Pop Cinema)	6472353	TS	Q 452.47
	6472357	BTS	Q 1,560.12
	6472364	BTS	Q 2,421.29
Al Macarone	6198614	BTS	Q 2,441.61

Fuente: elaboración propia

En resumen se tienen las siguientes demandas energéticas con sus correspondientes equivalencias monetarias dentro de la Tabla 23:

Tabla 23. Resumen de costos por la utilización de electricidad

Descripción	Demanda energética mensual aproximada	Costo mensual aproximado por cada <i>kWh</i> consumido
Pollo Campero y sistema hídrico	5,621.25 <i>kWh</i>	Q13,208.18
Sistema hídrico	89.64 <i>kWh</i>	Q193.62
Áreas comunes (sin el consumo del sistema hídrico)	4,009.8 <i>kWh</i>	Información no disponible
Locales comerciales en conjunto	11,665.74 <i>kWh</i>	Q29,886.31

Fuente: elaboración propia

#### D. Gastos de energía

El jefe de mantenimiento del Centro Comercial, mientras duraron los días en que se registraba la información, comento que la infraestructura había tenido un despreciable cuidado por parte del ex personal de mantenimiento y limpieza, por lo que conllevó a que el edificio principal empezara a presentar problemas de deterioro (véase Ilustración 34), asuntos referentes a componentes o conexión eléctricas y en todo lo que abarca el sistema de suministro de agua.

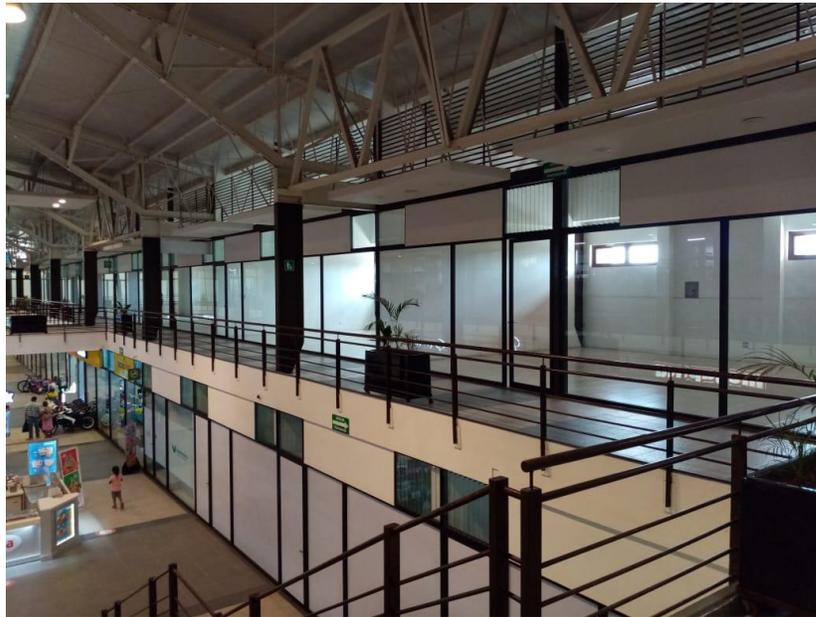
Ilustración 34. Deterioro en la fachada del edificio principal



Fuente: elaboración propia

A su vez, mencionaba que estaba empezando a buscar soluciones hacia un mejor manejo de la demanda energética y su primera acción fue mantener interrumpidas cierta cantidad de luminarias *LED* desde las 6 de la mañana hasta las 6 de la tarde en los lugares del interior en donde no existe por el momento algún negocio comercial en actividad.

Ilustración 35. Luminarias *LED* del segundo nivel desactivadas en donde no hay locales en actividad



Fuente: elaboración propia

Con esto se obtiene el dato de la energía que se estaba gastando y que ahora se empezaron a tomar acciones para tratar de eliminar esas pequeñas brechas de rendimiento económico, que a largo plazo si se puede ver reflejado en una suma importante de dinero.

El total de luces que se empezaron a desactivar por un total de 10 horas (8 a.m. a 6 p.m.) es de 32, por lo que el desperdicio de este recurso se define en 3.84 *kWh* al día y 115.2 *kWh* al mes, una cantidad no muy impactante como las altas demandas antes vistas, pero si un importante paso para ir optimizando las prácticas de ahorro energético en cualquier actividad interna o externa del edificio.

Mientras se vayan identificando más objetos (en especial luces) que estén haciendo su función en horas en las que no se requiera, se irá reduciendo el costo total por pagar una cantidad de energía que simplemente no se está usando o se usa de mala manera. Si esta simple acción no hubiera sido tomada en cuenta, entonces en un año literalmente se hubieran desperdiciado 1,382.4 *kWh* o lo equivalente a un aproximado de Q3,193.34, tomando como referencia el valor de Q2.31/*kWh* que *DEOCSA* ofrece a usuarios de *BTS* a manera de ejemplificar un costo por el nulo aprovechamiento de la cantidad energética vista.

## VII. Diagnóstico y análisis

### A. Variabilidad en los resultados y en los datos recolectados

Cabe resaltar que el capítulo anterior se basó en la información que se logró y se permitió adjuntar en cuanto a los consumos y costos eléctricos, pero se presentaron ciertas situaciones que influyen en los datos registrados de manera directa y a su vez también en las respuestas, cuando la intención inicial y persistente es proveer de resultados lo más exactos posibles para visualizar mejor las proyecciones económicas al momento de realizar inversiones a corto, mediano o largo plazo en sistemas de generación energética renovable. Por esto es necesario aclarar que no solo se analizaran los resultados o los datos obtenidos por si solos, sino todos aquellos factores que hagan que esos resultados presenten cambios, ya sean mínimos o muy notorios.

#### 1. Objetos defectuosos

Durante las rutinas diarias que se mantuvo para monitorear y observar todo la infraestructura y lugares en general del Centro Comercial, aparte de notar en ese entonces al edificio principal con un considerable deterioro, también llamó la atención algunos objetos eléctricos que por su aspecto parecían que de un momento a otro iban a dejar de funcionar y otros que simplemente no realizaban ninguna actividad debido al estado inservible en el que se encontraban. Entre los objetos que no están funcionando se registró un total de 9 luminarias que sirven para resaltar el logotipo del Centro Comercial a manera decorativa:

Ilustración 36. Luminarias LED inservibles



Fuente: elaboración propia

Aunque en un principio no se llegue a apreciar claramente, al prestar atención en el lado izquierdo de la Ilustración 36 se puede ver que las bases o postes de dichas luminarias están completamente dobladas hacia el lado opuesto del que deberían estar.

Ilustración 37. Vista lateral del edificio principal



Fuente: Megapaca, 2018. <https://twitter.com/tiendasmegapaca/status/1017767527273902081>

La Ilustración 37 es más antigua y se puede apreciar como inicialmente se instalaron estas bases para las luminarias de manera que reflejara por las noches el nombre del establecimiento comercial. Por razones que se desconocen se dejaron de utilizar al igual que estas otras 4 que se ven en la Ilustración 38:

Ilustración 38. Vista frontal e isométrica del edificio



Fuente: elaboración propia

Otra cantidad de luminarias encontradas inactivas son las que están empotradas en el suelo del área del parqueo; estas se encuentran justamente después de los obstáculos señalizados de color amarillo y son un total de 16 luces *LED* tipo ojo de buey:

Ilustración 39. Luminaria *LED* empotrada en el suelo del parqueo



Fuente: elaboración propia

Estas de igual manera cumplen un fin que es mantener un buen nivel de iluminación a manera de hacer esa área más segura y poder otorgar de una mejor visión al personal de seguridad al momento de cualquier suceso. Sin embargo, estas funcionan en un periodo de 4 horas diarias (De 6 p.m. a 10 p.m.) ya que cuando el parqueo se despeja se aumenta la visibilidad en esta área y solo basta con la iluminación que las luces *LED* tipo cobra proporcionan. De la cantidad total, solo 6 luminarias estaban en actividad, es decir menos de la mitad, a lo que se presenta juntamente con las anteriores el siguiente razonamiento:

Tabla 24. Consumos energéticos promedio que contemplaban las luminarias inservibles

Tipo de objeto	Potencia en <i>Watt</i>	Cantidad	No. de horas de función	Consumo diario en <i>kWh</i>
<i>LED</i> cuadrada en la parte superior el edificio	50	13	4	2.6
<i>LED</i> tipo ojo de buey en el suelo	24	10		0.960

Fuente: elaboración propia

Si el área de mantenimiento hubiera recibido el presupuesto necesario para cambiar estos objetos inservibles por otros nuevos, entonces hubiera significado un aumento de 3.56 *kWh* en el consumo diario. Esto representa un hecho claro; un número importante de cargas eléctricas como luminarias influye directamente en la demanda energética de manera perceptible de acuerdo con el siguiente punto.

## 2. Remodelaciones

Durante el transcurso de la elaboración de este trabajo surgió un nuevo proyecto que modifica el aspecto e infraestructura del Centro Comercial al construir en casi el 50% del área del parqueo otro edificio de dimensiones desconocidas; el espacio pertenecerá a la tienda de venta en variedad de productos Dollarcity. Estas acciones trajeron una importante modificación dentro del consumo energético correspondiente a las luminarias que están ubicadas en el parqueo:

Ilustración 40. Construcción del edificio de Dollarcity



Fuente: elaboración propia

Tabla 25. Comparación de la cantidad de objetos en actividad en el área del parqueo

Descripción	Cantidad inicial de objetos	Cantidad actual de objetos en función	Horas de uso al día	Potencia (W)	Total de energía diaria inicial (Wh)	Total de energía diaria actual (Wh)	Descenso
Luces tipo cobra de 2 LED	10	5	12	100	12,000	6,000	50%
Luces tipo cobra de 3 LED	2	1	12	150	3,600	1,800	50%
Cámaras	7	7	24	3	504	504	0%
Luces LED en el suelo	16	2	4	24	1,536	192	87.5%
Luces LED ojos de buey	22	22	4	12	1,056	1,056	0%
					Total de kWh diarios	18.696	9.552
					Descenso energético	51.09%	

Fuente: elaboración propia

Cabe destacar que en la tabla 25 se está colocando el consumo diario que tenía el área del parqueo desde un principio, con todos los objetos eléctricos en actividad; a comparación del consumo diario que se obtuvo a inicios del periodo de recolección de datos (17.736 kWh) se tiene que para ese entonces la demanda energética ya había sufrido una clara disminución del 5.13% y comparado con la energía diaria actual suministrada a esta área después de la instalación de otra infraestructura, la cual hizo remover la cantidad de objetos eléctricos vistos, se tiene un descenso del 51.09% en la necesidad energética del parqueo.

El único objeto que no tuvo un descenso en el consumo energético, sino que al contrario, se aumentó la cantidad en estos fueron las luminarias internas LED ojo de buey, ya que con la remodelación vista se bloqueó la entrada que estaba ubicada donde antiguamente se encontraba la unidad móvil de Pollo Campero y se abrió una nueva a la mitad del edificio principal. Esta entrada cuenta con 8 luminarias más que se instalaron adentro de la infraestructura, por lo que este aumento en el consumo viene a repercutir en la cantidad promedio de energía demanda en el primer nivel:

Tabla 26. Aumento en la cantidad de luminarias en el primer nivel

Primer Nivel							
Descripción	Cantidad inicial de objetos	Cantidad actual de objetos en función	Horas de uso al día	Potencia (W)	Total de energía diaria inicial (Wh)	Total de energía diaria actual (Wh)	Aumento
Luces <i>LED</i> diurnas (ojos de buey)	24	32	13	12	3,744	4,992	33.3%

Fuente: elaboración propia

Es válido mencionar entonces que lo hablado en el primer punto no tienen la misma significancia dentro del aumento del consumo eléctrico, debido a estas remodelaciones que son necesarias implementar según los diferentes proyectos financieros que vayan surgiendo durante el tiempo de actividad del Centro Comercial, por lo que realmente solo 4 luminarias *LED* cuadradas ubicadas en la parte superior del edificio podrían entrar en operación si es que son reemplazadas. Respecto a las *LED* instaladas en el suelo, solo 6 podrían ser reemplazadas por otras nuevas, con lo que se tiene lo siguiente:

Tabla 27. Objetos eléctricos en el parqueo que pueden ser reparados o reemplazados

Tipo de objeto	Potencia en Watt	Cantidad	No. de horas de función	Consumo diario en kWh
<i>LED</i> cuadrada en la parte superior	50	4	4	0.800
<i>LED</i> tipo ojo de buey en el suelo	24	6		0.576

Fuente: elaboración propia

En 1.38 kWh en promedio podría aumentar la demanda diaria si se considera por parte del personal encargado darle el respectivo cambio o mantenimiento a estos objetos para que nuevamente vuelvan a realizar su trabajo.

### 3. Tiempo de uso

El principal factor que influye directamente en los resultados observados es el tiempo; primeramente, hay que tener presente el tiempo que las autoridades principales encargadas del

Centro Comercial autorizaron, lo cual consistió en un periodo no mayor a 25 días para poder realizar las visitas a las instalaciones. Este periodo fue suficiente para registrar la mayoría de los elementos eléctricos en actividad con la respectiva orientación que fue necesaria recibir como parte del control del área de mantenimiento, pero no fue suficiente para observar si realmente los objetos se mantenían el número de horas en funcionamiento con respecto a los horarios que se mencionó, debido a que por obvias razones el tiempo de las visitas debía ser considerablemente corto (máximo 2 horas).

Por ejemplo, observando la Tabla 5 que registra los objetos que se encuentran en la oficina administrativa, existe un aire acondicionado que comprende 3,000 *Watts* de potencia y se indicó por parte del propio administrador que el promedio de horas en que este estaba en función es de 6 horas, lo que da un total ya obtenido de 18 *kWh* de energía consumida al día y 540 *kWh* para un mes de 30 días, pero ¿en realidad eso es así exactamente? ¿realmente el aire acondicionado está en actividad esas 6 horas exactas todos los días? Intuitivamente la respuesta a las anteriores interrogantes es negativa, ya que efectivamente el tiempo de uso puede variar día con día, o sea, habrá días en los que este objeto se utilizará más de 6 horas o menos. Otro ejemplo real para entender de mejor manera esto es que, mientras el periodo de visitas permaneció en vigencia, el jefe de mantenimiento indico que cuando las luminarias de las ilustraciones 36 y 38 se utilizaban, contemplaban un horario de funcionamiento normal de 5 p.m. a 9 p.m., pero dependiendo de las actividades o el uso que les estuviera dando el personal de seguridad o mantenimiento, este horario podía alargarse una o 2 horas más. Con esto último se refuerza lo hablado respecto a la variabilidad en el tiempo de uso de los distintos objetos eléctricos.

Está claro que no todos los objetos eléctricos pueden presentar la misma variabilidad de uso ya que esto dependerá de otros factores, sobre todo si son objetos que deben de ser manipulados un mayor número de veces; en objetos más estáticos como lo pueden ser las luminarias internas diurnas del primer nivel, se puede llegar a tener un resultado de consumo más realístico a comparación de un aire acondicionado, un televisor u otros objetos que tengan muchos más motivos de ser accionados o interrumpidos a disposición y/o necesidad de un individuo. Esta situación se aplica solamente para los elementos eléctricos que funcionan en las áreas comunes en cuanto a averiguar los consumos diarios y mensuales, por la razón ya vista la cual fue que la administración otorgo el número de *NIS* de cada local comercial para así ver el consumo real de energía de cada negocio y por lo tanto solo fue cuestión de tomar esta información más confiable y verídica en vez de utilizar la metodología de recolección ya trabajada, en sincronía con el rechazo al permiso por la mayoría de empresas para realizar el registro necesario.

#### 4. Días del mes

Siguiendo en el mismo contexto de ver al factor tiempo como expositor principal de esta variabilidad hablada, se mencionará los días que fueron considerados para encontrar un consumo mensual aproximado de los elementos eléctricos. Se dijo que luego de haber encontrado el consumo diario después de realizar el producto de la potencia eléctrica de cada objeto con sus respectivas horas de actividad, el resultado sería multiplicado por el número de días que tiene un mes. A este mes se le considero un número de días para todas las cargas eléctricas del Centro Comercial, el cual fue de 30. Es evidente que esto se realizó con fines prácticos y para una representación de resultados más ordenada, directa y comprensible, aunque en el contexto real se sabe que hay meses con un día más y un mes de 28 días. Tomando nuevamente el ejemplo anterior, el aire acondicionado en la oficina administrativa abarca un consumo en un mes de 30 días igual  $540 \text{ kWh}$  y en uno de 31 asumiendo que las horas de función sean constantes, son  $558 \text{ kWh}$ . Como lo que se pretende es acercarse lo más posible a un resultado real de consumo de las áreas comunes, se presentaran los siguientes cálculos:

Tabla 28. Demanda energética según el mes

Consumo diario	Consumo en meses con 30 días	Consumo en meses con 31 días	Consumo de febrero (28 días)
$129.71 \text{ kWh}$	$3,891.3 \text{ kWh}$	$4,021.01 \text{ kWh}$	$3,631.88 \text{ kWh}$

Fuente: elaboración propia

Nótese que la demanda diaria ya no es de  $136.646 \text{ kWh}$  como se había planteado en el capítulo anterior, esto es debido a que se sustituyó la demanda del año 2,021 que representaba el área del parqueo ( $17.736 \text{ kWh}$ ) así como la del primer nivel ( $28.284 \text{ kWh}$ ) por la que hasta el momento de realización de este análisis se pudo presentar en el punto número dos, que es igual a  $9.552 \text{ kWh}$  y  $29.532 \text{ kWh}$  respectivamente.

Con base en esto, el sistema fotovoltaico deberá estar capacitado para suplir la cantidad de energía de un día más en los meses con 31 días, de manera que sea adaptable a esta necesidad de consumo variante dentro de los periodos anuales:

Tabla 29. Demanda energética según la cantidad de meses semejantes

Demanda de meses de 31 días (7 meses)	28,147.07 kWh
Demanda de meses de 30 días (4 meses)	15,565.2 kWh
Demanda de febrero	3,631.88 kWh
Demanda anual	47,344.15 kWh

Fuente: elaboración propia

Este total en la demanda anual debe ser una orientación de cuanta energía deberá producir el sistema fotovoltaico. Si anualmente se está produciendo un excesivo y una alta producción energética muy por encima de estos valores recientemente vistos, entonces se estará obteniendo una mayor productividad de lo esperado y, por lo tanto, es una ventaja de gran peso en el punto de vista económico, debido a que la magnitud de la energía excedente que se entrega a la red eléctrica del distribuidor, es registrada en forma de créditos energéticos y sirven al momento en el que se generan las facturaciones eléctricas o bien ya sea para que el propio personal de Íntegro proponga comercializar la electricidad producida de conformidad con las leyes, normas y reglamentos<sup>4</sup>.

En el caso contrario en donde existieran producciones muy bajas y alejadas de estos valores, dará indicio a que se estará entrando a un tema de ineficiencia tanto energética, así como financiera, ya que la electricidad producida mediante el sistema no es lo suficientemente amplia para cubrir la necesidad del consumo eléctrico y por lo tanto se estará tomando más energía eléctrica de la red del distribuidor que de los propios módulos solares; repercute fuertemente en el aspecto financiero debido a que a parte de la gran inversión que será necesaria hacer para instalar un sistema energético de este tipo, no se le estará exigiendo lo que verdaderamente debería representar dentro del suministro de electricidad y se estaría cancelando un importante monto por la energía tomada de la red al correspondiente proveedor energético, paralelo a que también se extenderá la amortización de la inversión debido a la baja producción eléctrica por parte del sistema. En este caso se deberá de dar lugar a una intervención más precisa y técnica dependiendo las causas o circunstancias que provoquen alteraciones negativas en uno o más componentes del sistema, luego de haber realizado las investigaciones específicas para estos escenarios que impidan la óptima productividad de los paneles solares.

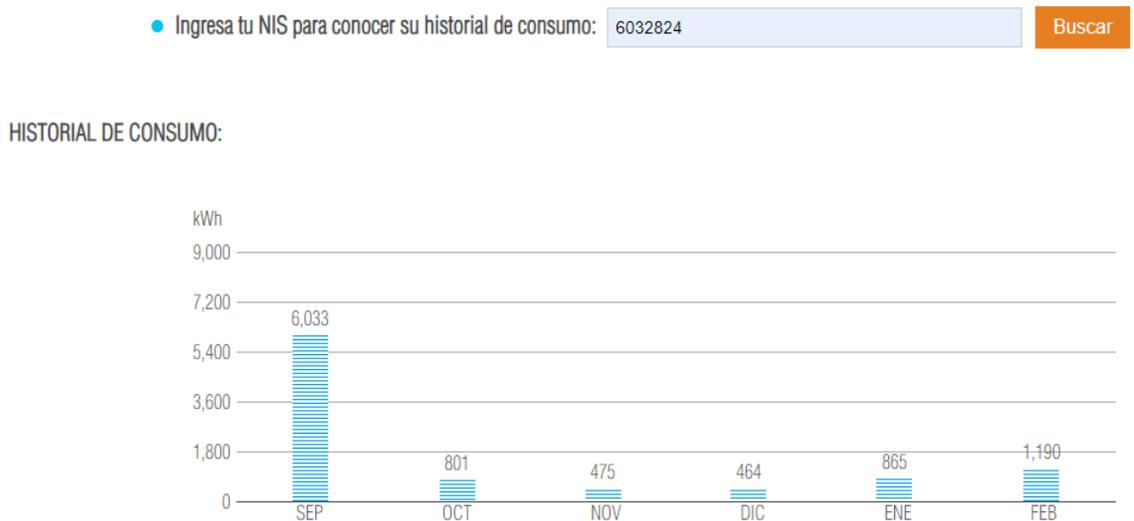
<sup>4</sup> Según el artículo 31 de la *NTGDR* ubicado en el marco de referencia

## 5. Límite del historial

En su momento dentro de la elaboración de este trabajo, se le dio el mérito al área administrativa por haber ofrecido un componente clave para obtener una gran lista de información de consumos reales y registrados por la distribuidora eléctrica. Mediante el *NIS* de cada contador eléctrico y utilizando el servicio web que la distribuidora pone a disposición para todo el público, se puede visualizar la factura comercial como tal, los pliegos tarifarios, calcular el consumo y entre otras herramientas digitales. Una de estas herramientas es llamada historial de consumo y acá se refleja precisamente estos consumos de cada local comercial y el sistema hídrico.

A pesar de tomar información de esta fuente confiable, existe un inconveniente que podría ir cambiando los consumos promedios mostrados en el capítulo anterior y es que este historial se ve limitado en la cantidad de datos a mostrar para así poder obtener promedios más certeros y analizar una tendencia aproximada de la demanda eléctrica que acontece cada mes. Para entender esto de mejor manera se presenta la Ilustración 41:

Ilustración 41. Historial de consumo en el portal web de Energuate



Fuente: Energuate, 2022. <https://oficinavirtual.energuate.com/mifactura>

Este número de *NIS* que se visualiza en la imagen pertenece al contador eléctrico del sistema hídrico y como se observa, el historial es bastante corto. Solo presenta una cantidad de 6 meses y se actualiza conforme el tiempo pasa, es decir que cuando el mes de marzo de 2,022 haga presencia, el mes de septiembre de 2,021 ya no podrá ser visualizado, luego que se muestre abril de 2,022, ya no se podrá visualizar el consumo de octubre de 2,021 y así sucesivamente.

Si este historial tuviera no solo los 12 meses del año en que se está, sino que además de ello se pudiera obtener datos de consumos anuales desde que todos los contadores eléctricos iniciaron a registrar un suministro energético, entonces se pudiera confiar mucho más en los resultados que se han venido discutiendo hasta ahora, debido a que la tendencia o promedio tendría en si misma muchos más datos y por ende el resultado de esta media asumiría ser más realista; el tamaño de la muestra no sería exageradamente grande, pero si más amplia de lo que se pudo trabajar. El periodo que se trabajó comprende un intervalo de los meses a partir de mayo a diciembre de 2,021 y los primeros dos meses de 2,022.

Los puntos anteriores tienen como objeto representar la versatilidad que caracteriza a estas demandas, de manera que los resultados finales se consideren que puedan ser influenciados por: el tiempo de uso de los objetos eléctricos como lo puede ser mantener encendida más o menos tiempo cierta cantidad de luminarias, aparatos, herramientas, etc... los días del mes en el que se está, objetos eléctricos que pueden ser instalados o removidos en función de las distintas remodelaciones que puedan ir surgiendo en las instalaciones y objetos defectuosos que entren nuevamente en actividad dentro del consumo de las áreas comunes.

## B. Demandas energéticas

A manera de presentar resultados más comprensibles y visualizarlos en diferentes proporciones, se elaboró la Tabla 30 en donde se muestran las 3 causas que en si conforman el consumo eléctrico de las áreas comunes, las cuales son la iluminación, los motores para el bombeo hídrico y todos los demás objetos eléctricos, mostrándose como bien ya se sabe en cantidades diarias y mensuales:

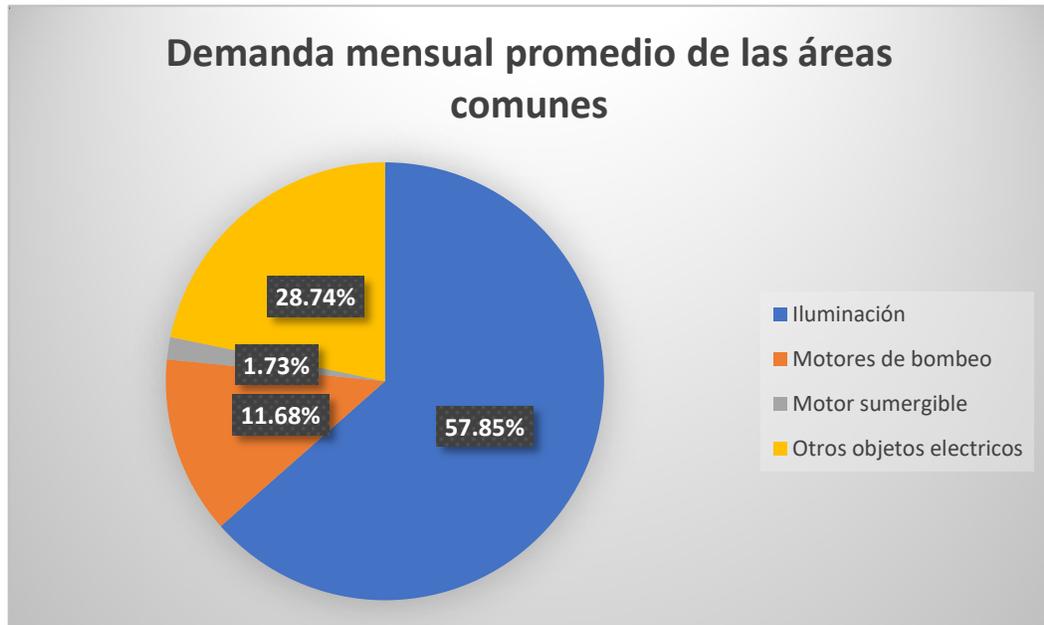
Tabla 30. Causas de la demanda energética en las áreas comunes

Causa	Demanda diaria en <i>kWh</i>	Demanda mensual en <i>kWh</i> (30 días)
Iluminación	75.040	2,251.2
Motores para el bombeo de fuentes e hidroneumático	15.146	454.38
Motor sumergible	2.24	67.26
Otros objetos eléctricos	37.284	1,118.52
Total	129.71	3,891.36

Fuente: elaboración propia

Proporcionalmente se ve así:

Ilustración 42. Proporciones de la demanda de las áreas comunes



Fuente: elaboración propia

Esto da a entender que solo la iluminación es una causa directa y extensa dentro de la necesidad energética, ocupando claramente el 57.85% de exigencia dentro de las áreas comunes. Seguidamente era de esperarse que los objetos eléctricos, en general, iban a tener una considerable proporción, entre ellos se encuentran algunos que por su baja potencia energética para realizar su función parecería que no tienen tanta relevancia a primera instancia dentro del consumo en el lapso de un día, pero en un periodo mensual si se refleja la participación que tienen en esta demanda. Por último y con la misma importancia que las causas anteriores de la demanda mensual en las instalaciones, se encuentra el consumo de los componentes necesarios para el bombeo y suministro de agua tanto en servicios sanitarios y grifos en general, así como en distintos puntos del área del Centro Comercial con el propósito decorativo de activar las fuentes del primer nivel ubicadas en las entradas del edificio. Estos elementos eléctricos en conjunto constituyen un 13.41% dentro de la demanda de las áreas comunes.

En el caso de la demanda mensual calculada en 11,665.74 kWh entendida como la de todos los locales comerciales en conjunto, se dividirá en dos partes que contendrá por un lado a los negocios con un consumo menor a 300 kWh y del otro a los que consumen más energía de este límite; se les titulará empresas de bajo y alto consumo respectivamente:

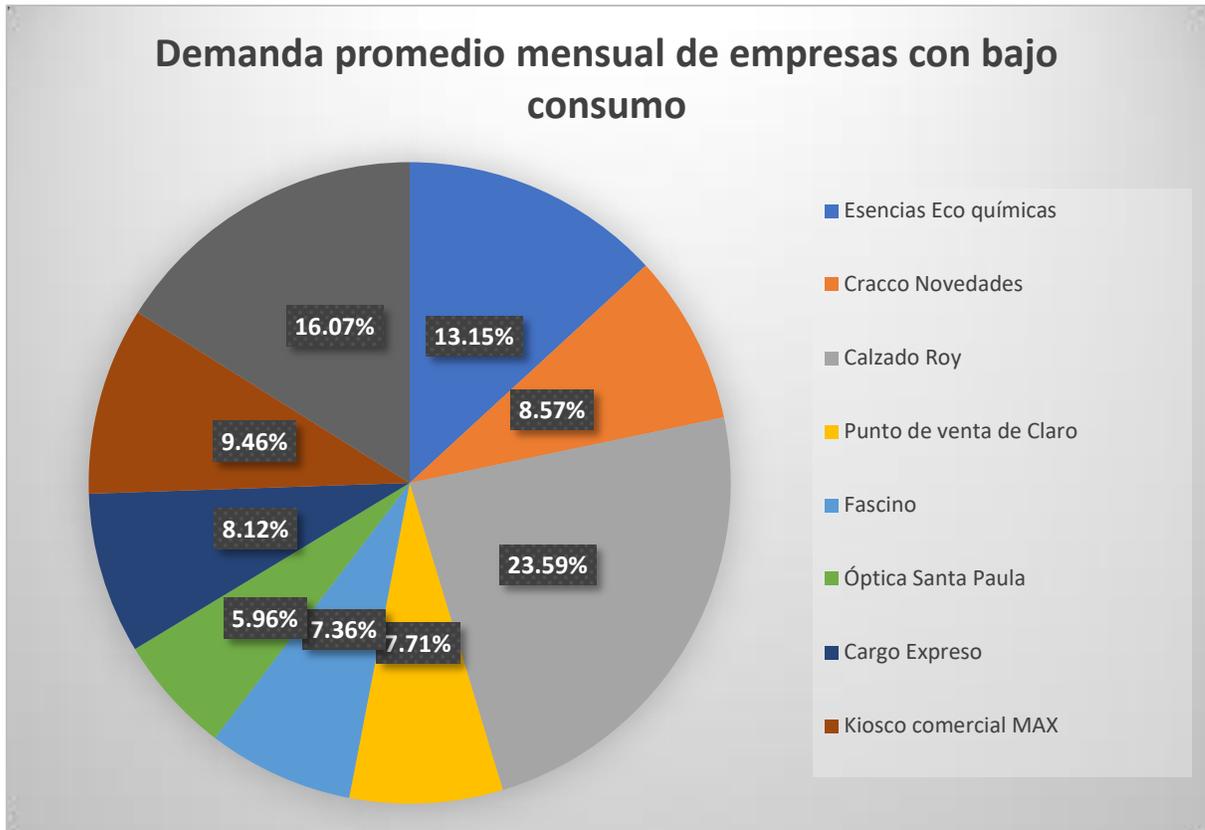
Tabla 31. Consumos energéticos de los negocios y empresas en actividad

	Empresa	Consumo promedio mensual (kWh)
Bajo consumo	Esencias Eco químicas	144.10
	Cracco Novedades	93.90
	Calzado Roy	258.44
	Punto de venta de Claro	84.50
	Fascino	80.60
	Óptica Santa Paula	65.30
	Cargo Expreso	89
	Kiosco comercial MAX	103.70
	Pop Cinema (contador eléctrico de bajo consumo)	176.10
Total de los bajos consumos (kWh)	1,095.64	
Alto consumo	Crédito Hipotecario Nacional (Banco CHN)	1,444.80
	Distribuidora Electrónica S.A (Tecno Fácil)	2,461.70
	Banco de Antigua	1,391.80
	Administración de Claro	317.30
	Heladería La Nevería	1,237.80
	Heladería Sarita	477.40
	Gauchitos	748.50
	Pop Cinema (contadores de alto consumo)	1,530.40
Al Macarone	960.40	
Total de los altos consumos (kWh)	10,570.1	

Fuente: elaboración propia

El consumo total entre todos los locales comerciales es igual a 11,665.74 kWh al mes y esto de igual forma se puede ver en representaciones porcentuales:

Ilustración 43. Bajos consumos energéticos



Fuente: elaboración propia

Se observa en la Ilustración 43 que el consumo por parte de la tienda dedicada al comercio de calzado ha venido interpretando aproximadamente un cuarto de lo que se supone es la demanda total por parte de este primer grupo. Cabe destacar que este consumo es el único por parte de un negocio en el que se contempló la primera demanda mensual, exactamente en el mes de junio de año 2,021.

Seguidamente se muestra la Ilustración 44 respecto a las empresas con un alto nivel de consumo para desarrollar sus actividades:

Ilustración 44. Altos consumos energéticos

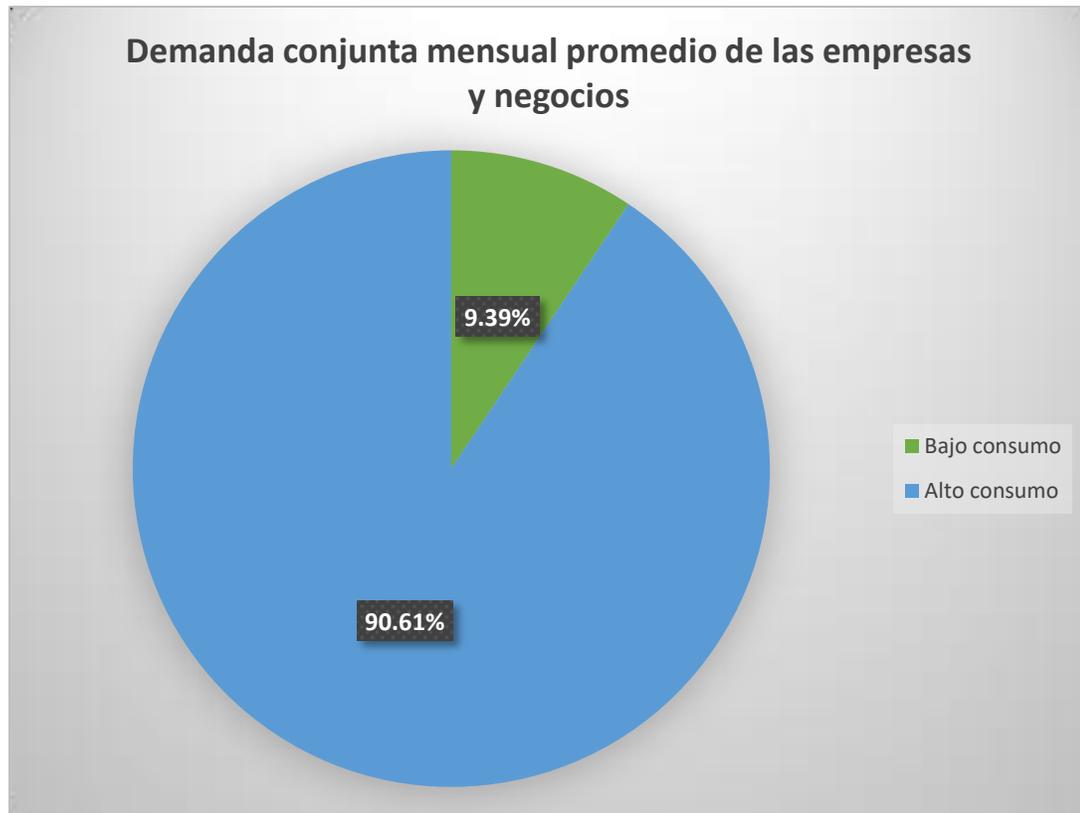


Fuente: elaboración propia

Es entendible que la Distribuidora Electrónica S.A. sea la porción de consumo de mayor magnitud debido a la naturaleza de su comercio, lo cual es promover la venta de distintos productos y aparatos electrónicos que de alguna u otra manera, al menos un producto distinto a los demás deberá estar conectado al suministro energético para que estos puedan ser evaluados por los consumidores finales, quienes de luego de observar la función del aparato, decidirán si se adapta o no a los gustos y necesidades requeridas para luego proseguir con el proceso de compra. Los bancos también desempeñan un papel importante dentro de esta demanda energética, ya que los sistemas de cómputo y objetos como los aires acondicionados deben estar prácticamente activos en todo el horario laboral establecido.

Con base en lo anterior se presenta la Ilustración 45 que compara las altas y las bajas demandas energéticas a nivel general:

Ilustración 45. Demanda conjunta de los locales comerciales



Fuente: elaboración propia

Desde el momento en que se expuso la Tabla 31 se pudo ver claramente y por obvias razones que las empresas con un alto nivel de consumo eléctrico iban tener el principal impacto de tan voluminosa demanda.

Se hizo referencia a que había quedado obsoleta la metodología de recolección de datos en cuanto a registrar todos los objetos eléctricos que se operan en los distintos negocios y empresas, ya que en algunos casos no se permitió realizar dicha acción o no se tenían fuentes de información técnicas confiables de los objetos en los puntos de comercio donde si se permitió realizar el registro. La razón de descartar o al menos pausar esta metodología, fue tal y como ya se mencionó antes y es que el área administrativa accedió a entregar el *NIS* de cada contador eléctrico de las empresas en actividad, sin embargo, esto no descarta que las demandas recientemente vistas puedan presentar la variabilidad respecto al tiempo total del uso diario que el personal y colaboradores le dan a las distintas herramientas, accesorios y objetos eléctricos en general.

Como se puede analizar al tomar cualquier *NIS*, se observa que en el historial presentado por parte de la distribuidora eléctrica es una afirmación de lo recién expuesto, ya que claramente, mes

con mes el consumo puede variar en mínimas o grandes cantidades, por lo que estos datos de alguna manera son impredecibles y por lo tanto al realizar el mismo procedimiento para encontrar una media de consumo eléctrico pero con más meses o con un período de tiempo más avanzado, es evidente que se verá un consumo promedio mensual distinto para cada uno de los negocios y para la demanda en conjunto a comparación de lo que se ha presentado en este trabajo.

## C. Resultados

Teniendo por entendido todo lo anterior será más fácil comprender el resultado de dos preguntas consideradas las más importantes en cuanto a la problemática principal, tratándose esta en que existe una exigencia de energía eléctrica en las instalaciones con una magnitud considerablemente grande y que así mismo los costos por el uso del servicio no son despreciables. Luego de haber hecho uso de la metodología y herramientas de análisis aplicados a los razonamientos desde un punto de vista cuantificable, crítico y de fácil transmisión, se presentan los resultados a estas incógnitas: ¿Para qué se adjuntaron tantos datos de consumo energético? ¿Cuál es el interés por la cantidad de *kWh* suministrados independientemente de su fuente o proveedor?

En certeras y directas palabras para emitir una respuesta a lo anterior, se tiene primeramente que era indispensable encontrar las demandas energéticas que existe en las áreas comunes y las demás empresas, para así obtener un valor aproximado mensual y diario de la necesidad eléctrica, ya sea de manera estratificada o en conjunto. Seguido y paralelamente, se deben conocer las demandas para así determinar la cantidad de paneles que serán necesarios instalar en la parte superior de la infraestructura y proveer de un suministro de energía eléctrica adaptable a las condiciones ambientales y climatológicas, de modo que se proponga el dimensionamiento correcto para el sistema fotovoltaico.

### 1. Áreas comunes

Para la presentación de la demanda de estas áreas se tomará el único de los cinco puntos vistos en la variabilidad de datos y resultados que puede ser manipulado en el sentido cuantificable, para tomar una referencia más próxima de lo que un sistema de paneles solares debería suministrar constantemente. Este es el punto número cuatro, haciendo referencia a que la demanda mensual es distinta para 29, 30 o 31 días; como en un año existen más meses con 31 días entonces la cantidad de consumo promedio mensual deberá ser de 4,021.01 *kWh* y diariamente se tendría que producir al menos 129.71 *kWh* para que la facturación mensual indique un cobro nulo por la energía tomada de la red debido a que no habría necesidad de exigir electricidad al distribuidor.

## 2. Negocios y empresas

Se mostrarán estos resultados de manera repartida en los 2 grupos de empresas según su bajo o alto nivel en la demanda energética y también de manera conjunta:

Tabla 32. Demandas de los locales comerciales de alto y bajo consumo

Tipo de consumo	Demanda de energía eléctrica mensual en <i>kWh</i>
Bajo	1,095.64
Alto	10,570.1
Total	11,665.74

Fuente: elaboración propia

## 3. Ambas demandas

Tabla 33. Demanda colectiva conformada por las áreas comunes y los locales comerciales

Empresas	Consumo energético mensual por suplir	Proporción porcentual
Íntegro	4,021.01 <i>kWh</i>	25.63 %
Otras empresas y negocios en el C.C	11,665.74 <i>kWh</i>	74.37 %
Total	15,686.75 <i>kWh</i>	100%

Fuente: elaboración propia

Se observa que un sistema de módulos fotovoltaicos tendría que administrar cada mes un aproximado de 15,686.75 *kWh* para sostener por completo tanto la demanda de todos los elementos eléctricos que son utilizados en las áreas comunes, así como el consumo eléctrico de las empresas ya mostradas.

Para el aprovechamiento de las horas solar pico que existen diariamente en el país, entonces conviene analizar lo anterior a través del consumo diario total:

Tabla 34. Demanda diaria colectiva y estratificada

Empresa	Demanda diaria promedio en <i>kWh</i>
Íntegro	129.71
Otras empresas y negocios (Bajo y Alto consumo)	36.52
	352.34
Total de consumo diario en <i>kWh</i>	518.57

Fuente: elaboración propia

Por una parte, lo que se planteó al principio fue proponer 2 sistemas de módulos fotovoltaicos atados a la red eléctrica; uno con la capacidad de suministrar la demanda conjunta, en este caso ahora se ve claramente que, en promedio, este primer conjunto de paneles solares tendrá que cumplir con entregar 518.57 *kWh* cada día. El segundo tiene que ver solo con abastecer el 25% de esta demanda, que viene siendo el consumo de todas las áreas comunes ya conocidas.

## VIII. Propuesta

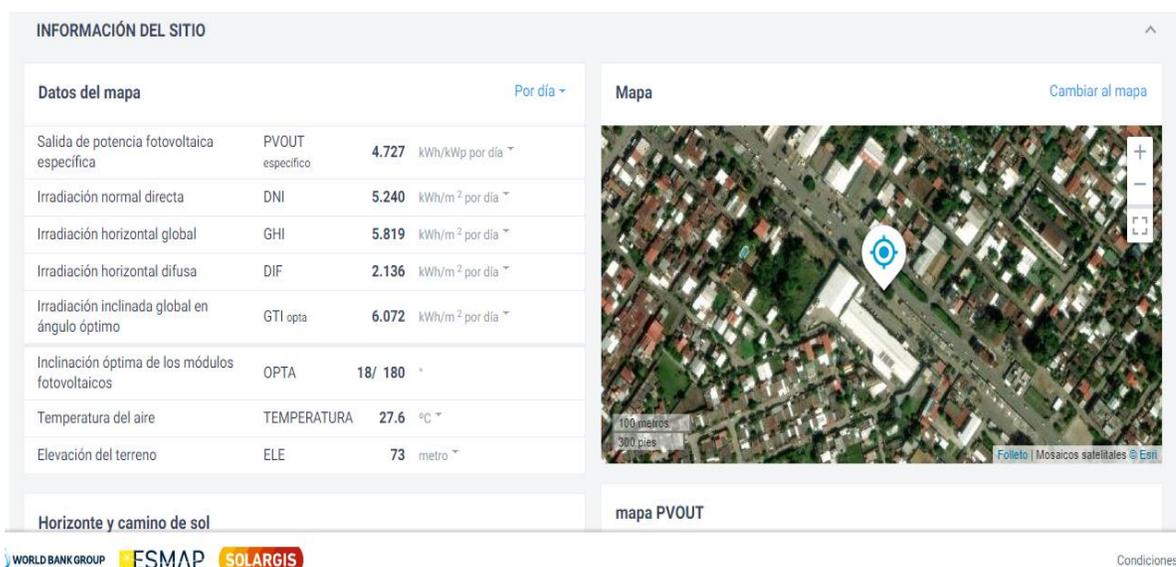
### A. Implementación de los módulos fotovoltaicos

Según los resultados obtenidos luego de procesar la información antes vista y teniendo por entendido en cuanto equivale la necesidad energética de las áreas comunes y los locales comerciales, se procederá en los siguientes temas a comprobar o desaprobar la hipótesis de que un sistema de módulos fotovoltaicos en relación con estas demandas puede suponer una ventaja competitiva y económica al utilizar el recurso solar como fuente principal de energía. Es de aclarar que los paneles solares evidentemente solo podrán cubrir las necesidades energéticas a través de las *HSP*, las cuales harán que los módulos tengan una importante participación en el suministro de energía limpia y libre de emisiones. A su vez se determinará porcentualmente cuanta influencia tendrá dicho sistema en la reducción de costos operativos por la utilización de la energía eléctrica, es decir, observar y concluir en cuan rentable puede ser invertir en estos productos generadores y si la cantidad de *kWh* producidos es lo suficientemente amplia para compensar y superar en el futuro los costos iniciales dedicados a la implementación del sistema.

Es importante destacar que habrá días o temporadas como lo es el invierno, el cual afectará notablemente la producción de electricidad al haber menos cantidad de energía solar incidiendo en los módulos, por lo tanto convendrá analizar la producción en años para evaluarlos financieramente, debido a la larga vida útil que estos poseen.

Con el apoyo de las herramientas Google Maps y Atlas Solar Mundial se obtiene la irradiación promedio directa diaria que incide en el área del Centro Comercial según sus coordenadas (14.288037°, -091.364075°):

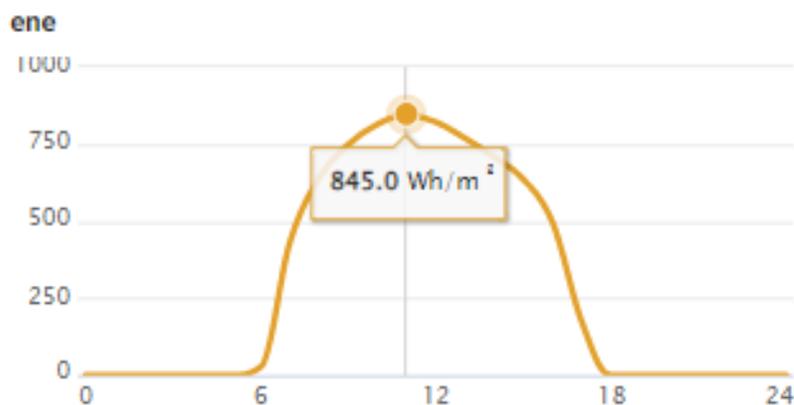
Ilustración 46. Datos sobre la radiación solar que incide en Tiquisate



Fuente: Atlas Solar Mundial, 2022. <https://globalsolaratlas.info/detail?s=14.288066,-91.365109&m=site&c=14.288066,-91.365109,11>

La herramienta Atlas proporciona el factor más crítico a considerar al momento de proponer la implementación de un sistema fotovoltaico, ya que esta muestra las diferentes curvas de irradiación por mes que en promedio existe en esta ubicación (Global Solar Atlas, s.f.):

Ilustración 47. Curva de irradiación promedio del mes de enero



Fuente: Atlas Solar Mundial, 2022. <https://globalsolaratlas.info/detail?s=14.288066,-91.365109&m=site&c=14.288066,-91.365109,11>

Se observa que en promedio, en un día del mes de enero, se obtiene la figura de la Ilustración 47 que representa los valores de la irradiación sobre la superficie; el eje horizontal representa las horas del día y el eje vertical representa la irradiancia en  $W / m^2$ . Se observa que la dirección de

los fotones desde la perspectiva superficial terrestre cambian de posición conforme pasan las horas del día e incide directamente en la disponibilidad de radiación que se va manifestando mientras pasa el tiempo, lo que hace que la productividad de los paneles solares sea variante.

Ilustración 48. Valores de irradiación por mes en distintas horas del día

**Perfiles horarios promedio**  
Irradiación normal directa [Wh/m<sup>2</sup>]

	ene	feb	mar	abr	Mayo	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
0 - 1												
1 - 2												
2 - 3												
3 - 4												
4 - 5												
5 - 6					4							
6 - 7	27	45	109	117	107	157	147	135	134	148	146	89
7 - 8	432	416	398	306	236	297	317	310	311	355	451	464
8 - 9	640	617	559	449	341	395	442	441	420	487	601	636
9 - 10	749	730	678	561	434	476	532	540	509	570	685	734
10 - 11	814	802	748	625	494	514	584	598	552	584	713	787
11 - 12	845	825	752	621	503	507	585	589	552	560	701	803
12 - 13	821	788	687	543	476	501	567	552	500	504	637	765
13 - 14	768	720	616	479	410	476	532	488	427	434	562	685
14 - 15	708	670	566	407	316	352	422	394	319	347	496	639
15 - 16	635	598	473	316	221	242	305	289	212	247	428	573
16 - 17	494	452	331	197	128	152	191	186	118	143	287	413
17 - 18	171	221	171	93	56	92	110	110	57	38	45	99
18 - 19		8	7	4	2	18	28	10				
19 - 20												
20 - 21												
21 - 22												
22 - 23												
23 - 24												
Suma	7104	6893	6096	4719	3729	4178	4763	4643	4108	4417	5751	6688

Fuente: Atlas Solar Mundial, 2022. <https://globalsolaratlas.info/detail?s=14.288066,-91.365109&m=site&c=14.288066,-91.365109,11>

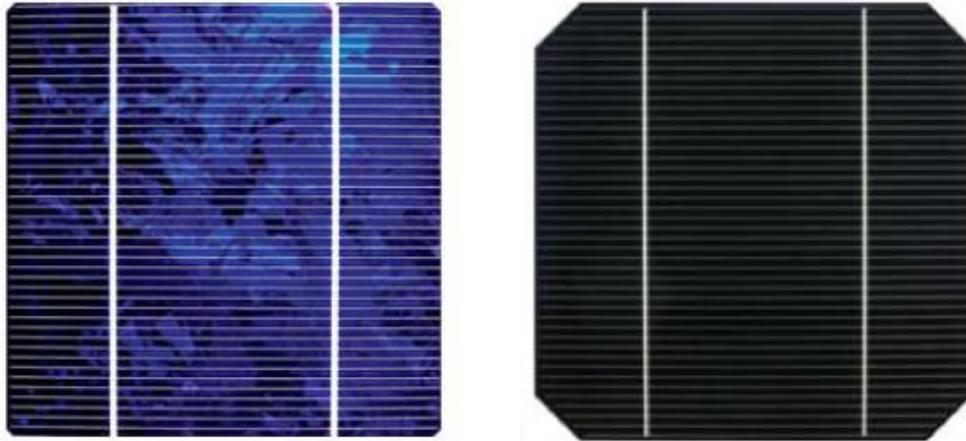
A partir del mes de mayo hasta el mes de septiembre, se ha monitoreado una baja irradiación en el rango de horas en que los rayos solares empiezan a incidir en el área y coincide precisamente con la temporada de invierno del país. Con esto se aclara una de las inquietudes que puedan surgir ante las temporadas lluviosas y de alta nubosidad; los paneles solares siguen generando energía aun cuando existe una alta densidad de nubes en la tropósfera, pero no será en la misma cantidad a comparación de meses intensos como lo puede ser en los días de diciembre o enero.

En la parte inferior de la Ilustración 48 están los datos de la suma de las irradiaciones promedio que existe en cada día de cada mes y como estas varían a veces de manera significativa; según la ecuación 1, en enero se tendría en promedio 7.10 de *HSP* y en el mes de mayo con la más baja irradiación se tiene un promedio de 3.73 *HSP*. Esto es igual a decir que la dimensión de la instalación del sistema fotovoltaico tendrá que ser considera con las *HSP* de mayo, para así tener una generación eléctrica en función de la disponibilidad de horas más desfavorable que existe en el año.

## 1. Marca y características

Se habló anteriormente de que existen dos clases de silicio con los que mayormente se fabrican los módulos fotovoltaicos, lo cuales son el monocristalino y el policristalino. Antes de proceder a indagar en marcas y los costos para obtener estas unidades generadoras, hay que saber las diferencias entre estos dos materiales y cual convendría más para el presente caso:

Ilustración 49. Célula de silicio policristalino y monocristalino



Fuente: Krannich solar blog, 2020. <https://blog.krannich-solar.com/es-MX/blog/lector-de-blogs/m%C3%A9xico-m%C3%B3dulos-solares-mono-cristalinos-y-policristalinos-por-qu%C3%A9-la-diferencia.html>

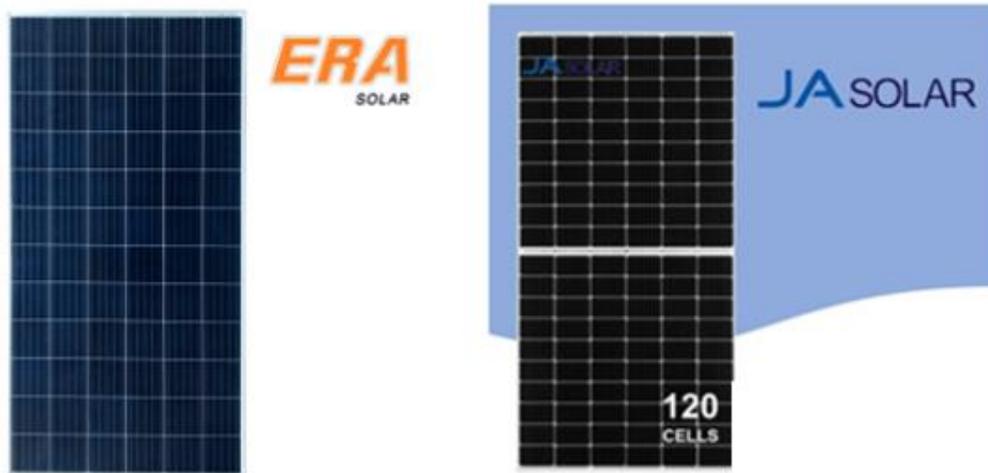
Como bien se observa la principal característica que diferencia a estas células es su color, mientras que el monocristalino es de un tono con azules muy oscuros incluso notándose de color negro, el policristalino se presenta en tonos azulados más vivos o celestes. Con la imagen anterior también se puede resaltar que en la superficie de la célula policristalina se notan imperfecciones y la superficie de la monocristalina es de una sola tonalidad, esto es debido a que la segunda célula pasa por un proceso más complejo de purificación para poder obtener las obleas de silicio con una estructura molecular uniforme.

La célula monocristalina suele ser más eficiente que la policristalina ya que puede captar y generar más potencia eléctrica, sin embargo, para la fabricación de estas células se necesita mucha más energía y por lo tanto su precio es más elevado; el costo de los módulos policristalinos suele ser más económico, pero es proporcional a la potencia pico que estos ofrecen.

Es importante considerar la temperatura ambiente del lugar donde se instalarán los módulos fotovoltaicos, ya que indiscutiblemente a los dos tipos de células les afectara cada grado de

temperatura que se aumente a partir de los 25 °C, condición que es comprendida en las STC. Las dispensaciones superficiales y terrestres del pueblo de Tiquisate generalmente se suelen sentir lo suficientemente calurosas como para indicar por todos los habitantes que el municipio es un territorio con altas temperaturas medioambientales sensibles. Es por esta razón expuesta que a continuación se procederá a evaluar un par de módulos de diferentes materiales y fabricantes:

Ilustración 50. Panel solar policristalino y monocristalino



Fuente: <https://www.secondsol.com/en/anzeige/28970/solar-panel/crystalline/mono/ja-solar/solar-panel>.  
<https://www.domoelectra.com/tiendaonline/2736-panel-solar-policristalino-24v-340w-era-72-celulas>

El módulo policristalino pertenece a la marca ERA Solar y el monocristalino pertenece al fabricante JA Solar, viéndose el panel de la izquierda de la ilustración 50 como el policristalino y el de la derecha el monocristalino. El monocristalino cuenta con 120 células y el policristalino con 72; se proporciona las respectivas fichas técnicas para cada uno, para las cuales se tomarán los siguientes datos relacionados a la temperatura:

Ilustración 51. Coeficientes de temperatura para el panel monocristalino

Temperature Coefficient of $I_{sc}(\alpha_{Isc})$	+0.044%/°C
Temperature Coefficient of $V_{oc}(\beta_{Voc})$	-0.272%/°C
Temperature Coefficient of $P_{max}(\gamma_{Pmp})$	<u>-0.350%/°C</u>

Fuente: JA Solar, 2022. <https://autosolar.es/pdf/Panel-JaSolar-380W-JAM60S20-365-390.pdf>

Los datos de la Ilustración 51 pertenecen al panel solar monocristalino con una potencia pico de 365 W y lo que está subrayado significa la información respecto al coeficiente de temperatura,

en donde dicho coeficiente lo que indica es que mientras suba un grado la temperatura respecto a los 25 °C, disminuirá en un 0.35% la potencia que el módulo puede entregar.

Ilustración 52. Coeficientes de temperatura para el panel policristalino

Temperature-Coefficient Isc	+0.08558%/°C
Temperature-Coefficient Uoc	-0.29506%/°C
Temperature-Coefficient Pmpp	<u>-0.38001%/°C</u>

Fuente: ERA Solar, 2022. <https://autosolar.co/pdf/ERA-340w.pdf>

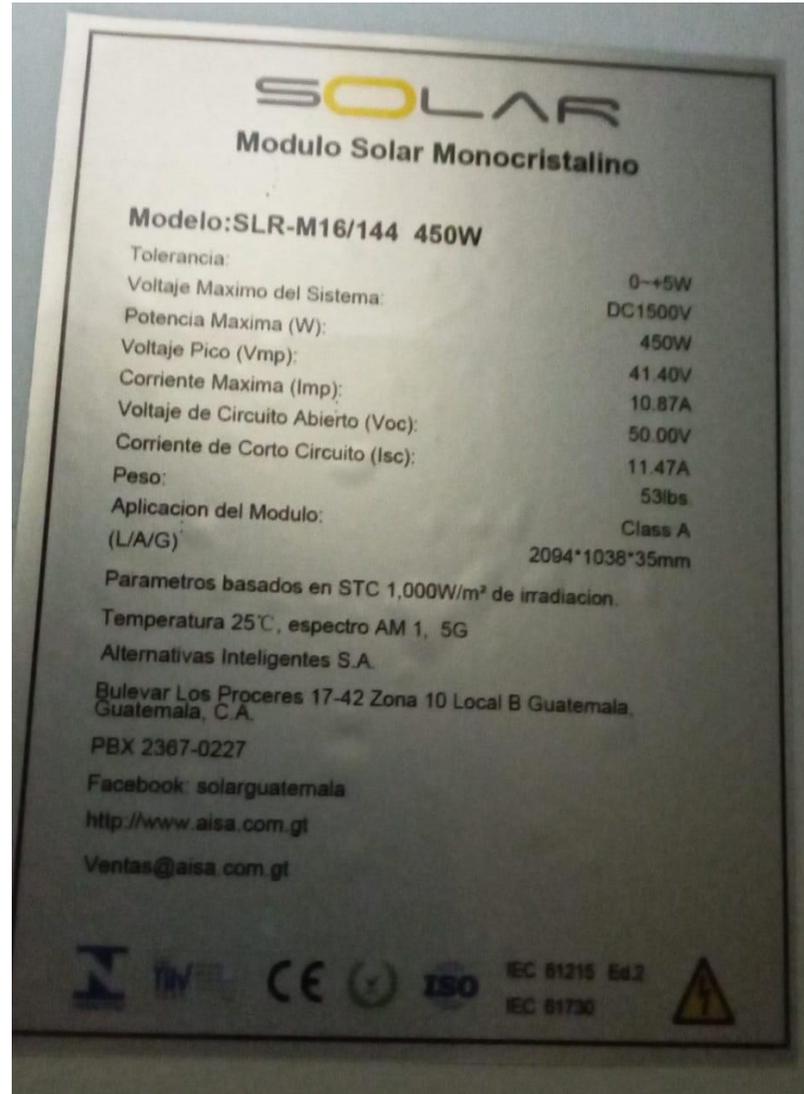
Estos otros datos mostrados en la Ilustración 52 pertenecen al módulo policristalino de 340 W de potencia y se observa que también cuenta con un coeficiente de temperatura, aunque con un ligero pero notable cambio, ya que en este la eficiencia disminuye en 0.38% por cada grado aumentado en la temperatura de las células. El techo metálico industrial puede alcanzar altas temperaturas basado en lo que comentaron los colaboradores del área de mantenimiento, los cuales afirmaron haber estado en un par de ocasiones inspeccionando el sitio en horas donde la temperatura es evidente y altamente calurosa, pudiéndose comprender en los horarios de entre las 12 del mediodía y 2 de la tarde. Así como por evidentes razones, la instalación de los módulos deberá hacerse en el punto más estratégico para recibir la mayor radiación solar posible, este punto de igual manera está expuesto a alcanzar altas temperaturas que directamente intervendrán en la eficiencia de las unidades generadoras.

Entonces ya con esta información visualizada se deduce que el módulo monocristalino será la mejor opción debido a que por lo general a estos paneles no les afecta tanto las altas temperaturas (Torres Pacheco, Jurado Pérez, Granados Liberman, & Lozano Luna, 2018), por lo tanto las pérdidas serán menores a comparación de un módulo policristalino.

## 2. Referencia del módulo

Dentro del interior del país se encontró una empresa que se especializa en la provisión y la instalación de sistemas fotovoltaicos llamada Alternativas Inteligentes S.A. (AISA); esta empresa proporciona un paquete base que incluye los módulos solares, los inversores y la respectiva mano de obra técnica capacitada. El panel solar supone ser una marca propia de esta empresa, mostrándose la siguiente ficha técnica en la Ilustración 53:

Ilustración 53. Ficha técnica del módulo ofrecido por AISA



Fuente: AISA, 2022.

a. Características

Es un panel solar con unas dimensiones de 2.09 m de alto, 1.04 m de ancho y 0.035 m de espesor, con un peso de 53 lbs y del tipo silicio monocristalino con 144 células de tecnología half cell<sup>5</sup>, con una potencia máxima de 450 W. La caja de conexión eléctrica está bajo el estándar de calidad de IP 68, lo cual es el grado máximo de protección contra polvo y líquidos que un

<sup>5</sup> Consiste en el uso de células solares cortadas por la mitad, situando la caja de conexiones en el centro del panel solar. Su principal ventaja es que reduce a la mitad la corriente de cada célula, para dar lugar a menores pérdidas por resistencia térmica. Julio 29 del 2021. <https://www.labodegasolar.com/blogs/blog/que-es-la-tecnologia-half-cell>

dispositivo eléctrico puede tener en su estructura (intertek, s.f.). El vidrio templado cuenta con un espesor de 3.2 *mm* y con un marco compuesto de una aleación plata-aluminio anodizado.

Ilustración 54. Módulo solar monocristalino de 144 células



Fuente: Solar Plak, 2022. <https://solarplak.es/panel-solar-risen-450w-mono-perc.html>

#### b. Respaldos técnicos

La empresa fabricante, así como los productos que ofrece, están debidamente respaldados por las siguientes certificaciones:

- 1) Inmetro: es el Instituto nacional de metrología, normalización y calidad industrial. Es un organismo certificador controlado y aprobado por el gobierno brasileño debido a la alta demanda de electrodomésticos, equipos eléctricos y electrónicos y la creciente economía de este país, posicionándose en el puesto 8 de las potencias mundiales, lo que atrae a los fabricantes de otras partes de mundo tras observar dicho mercado (intertek, s.f.).

2) TÜV SGS SAAR: es una certificación de la empresa líder en pruebas, inspecciones y certificación SGS-TÜV SAAR. Esta vela por la confiabilidad y calidad de los procesos, productos y servicios técnicos (SGS TÜV SAAR, s.f.).

3) Comisión Electrotécnica Internacional: International Electrotechnical Commission o por sus siglas en ingles *IEC*, es la organización líder mundial en la preparación y publicación de normas internacionales para todas las tecnologías eléctricas, electrónicas y relacionadas (*IEC*, s.f.).

4) CE: es un símbolo que declara que el producto cumple con todos los requisitos de fabricación, diseño, seguridad y salud que son establecidos en la normativa de seguridad europea (IDEPA, s.f.).

5) *IEC 61215*: es una norma que establece los requisitos para la cualificación del diseño y homologación de paneles fotovoltaicos para uso terrestre y adecuados para una larga duración en exteriores (INTECO, s.f.).

6) *IEC 61730*: es una norma que describe los requisitos fundamentales para la construcción de los módulos fotovoltaicos con el fin de proporcionar un funcionamiento eléctrico y mecánico seguro durante su vida útil (INTECO, s.f.).

7) ISO: conjunto de estándares de reconocimiento internacional que tienen por objeto ayudar a las empresas a establecer ciertos niveles de homogeneidad en relación con la gestión, prestación de servicios y desarrollo de productos (GlobalSuite Solutions, 2020).

### 3. Determinar la cantidad de unidades

Para poder obtener la cantidad de los módulos fotovoltaicos es necesario tener tres variables las cuales son las *HSP*, la potencia máxima del panel y la demanda energética en *Wh* (AutoSolar, 2022). Primeramente, hay que dimensionar los consumos diarios a *Wh*; en el caso de la demanda de las áreas comunes, la cantidad de energía es igual a 129,710 *Wh*; para la demanda en conjunto de áreas comunes y locales comerciales será de 518,570 *Wh*.

Se mencionó anteriormente y según la ilustración 48, el valor de las *HSP* que se tomará para este cálculo será de 3.73, debido a que esta cantidad de horas las proporciona el mes con más presencia de lluvias y tempestad en el país, de manera que la disponibilidad del recurso solar está presente por menos tiempo durante las horas del día. Entonces ya con lo anterior y con la potencia del panel solar propuesto (450 *W*), se utilizará la siguiente fórmula:

Ecuación 4. Cantidad de paneles a necesitar para cubrir un consumo energético diario  
No. de paneles = Demanda energética diaria en  $Wh$  / ( $HSP$  \* Potencia del panel en  $W$ )

Se considerará un aumento de  $20\text{ }^{\circ}C$  en la superficie del panel solar, asumiendo que dicho aumento vendría en horas del día en donde la radiación solar es más intensa y por lo tanto, un clima más caluroso; para la cantidad de potencia pico de este panel se puede establecer una pérdida del 8 al 10% (AutoSolar, 2021). Esto significa que, respecto a la potencia del módulo presentado, este comprenderá teóricamente una potencia de  $405\text{ W}$  al aplicar el porcentaje de pérdida, debido a que la superficie del panel puede superar en ciertas horas del día y en condiciones reales de operación, los  $25\text{ }^{\circ}C$  de las  $STC$ .

La cantidad de módulos solares para suplir la demanda de las áreas comunes es:

$$\text{No. de paneles} = 129,710\text{ Wh} / (3.73\text{ h} * 405\text{ W})$$

$$\text{No. de paneles} = 129,710\text{ Wh} / 1,510.65\text{ Wh}$$

$$\text{No. de paneles} = 85.86$$

Si el resultado del cálculo anterior no es exacto y está compuesto de más dígitos como es el caso, entonces se debe de redondear por encima al valor exacto más próximo, por lo que serán necesarios 86 paneles para abastecer la misma demanda energética incluso con la disponibilidad solar más inapropiada del año. Teóricamente, considerando las pérdidas por temperatura, se tendría una potencia total instalada de  $34,830\text{ W}$  ( $86 * 405\text{ W}$ ); tomando el dato más favorable de las  $HSP$  vistas en la imagen 48 se tiene que:

$$\text{Energía diaria producida} = 34,830\text{ W} * 7.1\text{ h}$$

$$\text{Energía diaria producida} = 247,293\text{ Wh}$$

Y con las  $HSP$  promedio anual a nivel nacional:

$$\text{Energía diaria producida} = 34,830\text{ W} * 5.3\text{ h}$$

$$\text{Energía diaria producida} = 184,599\text{ Wh}$$

Esto quiere decir que incluso con las  $HSP$  promedio se puede superar hasta en un 40 % la demanda energética diaria de las áreas comunes con dicha cantidad de paneles, por lo que es sumamente ventajoso esta excesiva producción de *vattios* debido a que la Distribuidora lleva el control de estos excedentes de energía inyectada a la red eléctrica y luego lo acreditaría a favor de Íntegro dentro de su correspondiente facturación.

Ahora se procederá a observar la cantidad de paneles solares necesarios para cubrir la demanda energética de Íntegro y las demás empresas en conjunto:

$$\text{No. de paneles} = 518,570 \text{ Wh} / (3.73 \text{ h} * 405 \text{ W})$$

$$\text{No. de paneles} = 518,570 \text{ Wh} / 1,510.65 \text{ Wh}$$

$$\text{No. de paneles} = 343.27$$

$$\text{No. de paneles} = 344$$

Para este caso se tendría una potencia máxima instalada de 139,320 W (344 \* 405 W) por lo que la energía entregada con la máxima cantidad de horas disponibles en un día de verano será de:

$$\text{Energía diaria producida} = 139,320 \text{ W} * 7.1 \text{ h}$$

$$\text{Energía diaria producida} = 989,172 \text{ Wh}$$

Y con las *HSP* promedio a nivel nacional:

$$\text{Energía diaria producida} = 139,320 \text{ W} * 5.3 \text{ h}$$

$$\text{Energía diaria producida} = 738,396 \text{ Wh}$$

De igual forma se afirma que con las *HSP* promedio que inciden en el territorio nacional, se superaría en un 40% a esta demanda colectiva con la cantidad de 344 módulos.

#### 4. Instalación

##### a. Eléctrica

1) Inversor solar: será necesario conocer visualmente algunos elementos que se incluyen en los sistemas autónomos, los cuales comprenden de reguladores de carga y baterías para aprovechar la energía almacenada durante cierto tiempo, pero hay un dispositivo que en sencillas palabras, se encarga de hacer útil la corriente eléctrica producida por un conjunto de paneles para acoplarla a los circuitos eléctricos de una infraestructura.

El inversor seguido de los módulos solares, se considera un elemento totalmente indispensable para aprovechar directamente la energía solar en energía eléctrica útil. Su objetivo principal es claro, convertir la electricidad de corriente continua generada por los módulos en energía eléctrica de corriente alterna para electrificar viviendas e infraestructuras en general. Dependiendo de los parámetros de la red eléctrica en cada región o país y de la empresa que sea propietaria de las

líneas de distribución eléctrica, establecerá los debidos procedimientos y elementos necesarios para cuantificar, controlar y registrar la energía entregada a la red mediante el punto de conexión indicado (Componentes de una instalación solar fotovoltaica, s.f.). En el caso de Guatemala, se observó en la *NTGDR* que estas mediciones se hacen mediante un contador bidireccional.

Ilustración 55. Instalación fotovoltaica aislada y conectada a la red



Fuente: s.a., 2022. <https://www.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448171691.pdf>

Es notable que la diferencia principal entre las instalaciones fotovoltaicas conectadas a red y las aisladas o autónomas es la inclusión de acumuladores y un respectivo regulador de carga para este último sistema. Sin embargo, se observa que el inversor siempre se incluye debido a que como ya se mencionó, es totalmente imprescindible para aprovechar el recurso solar en energía eléctrica.

Como principales características en común, no importando para que tipo de instalación sea, los fabricantes de los inversores deberán asegurar o incluir los siguientes aspectos: seguridad, protecciones contra cortocircuitos, una alta eficiencia, un bajo consumo en vacío, una óptima regulación en la frecuencia y tensión de salida, además de poseer una alta fiabilidad en cuanto a resistir picos de arranque de los equipos eléctricos (Componentes de una instalación solar fotovoltaica, s.f.).

Es bastante importante conocer cómo se lee la ficha e instrucciones técnicas que cada inversor posee; entre los parámetros eléctricos más destacables de los inversores diseñados para conectarse a la red se encuentran:

a) Potencia: es la potencia máxima que podrá suministrar a la red eléctrica en óptimas condiciones. Muchos modelos están fabricados para poder conectarlos en paralelo con el objetivo de aumentar la potencia total de la instalación.

b) Forma de onda: indica que la onda emitida es senoidal con el *voltaje* correspondiente como valor eficaz con su respectivo porcentaje de variación.

c) Distorsión: es un porcentaje que indica cuanto se puede degradar la onda.

d) Frecuencia de la señal: en el caso de la red nacional será de 60 *Hz* y deberá ser muy estable, con variaciones que pueden estar entre un 0.01%.

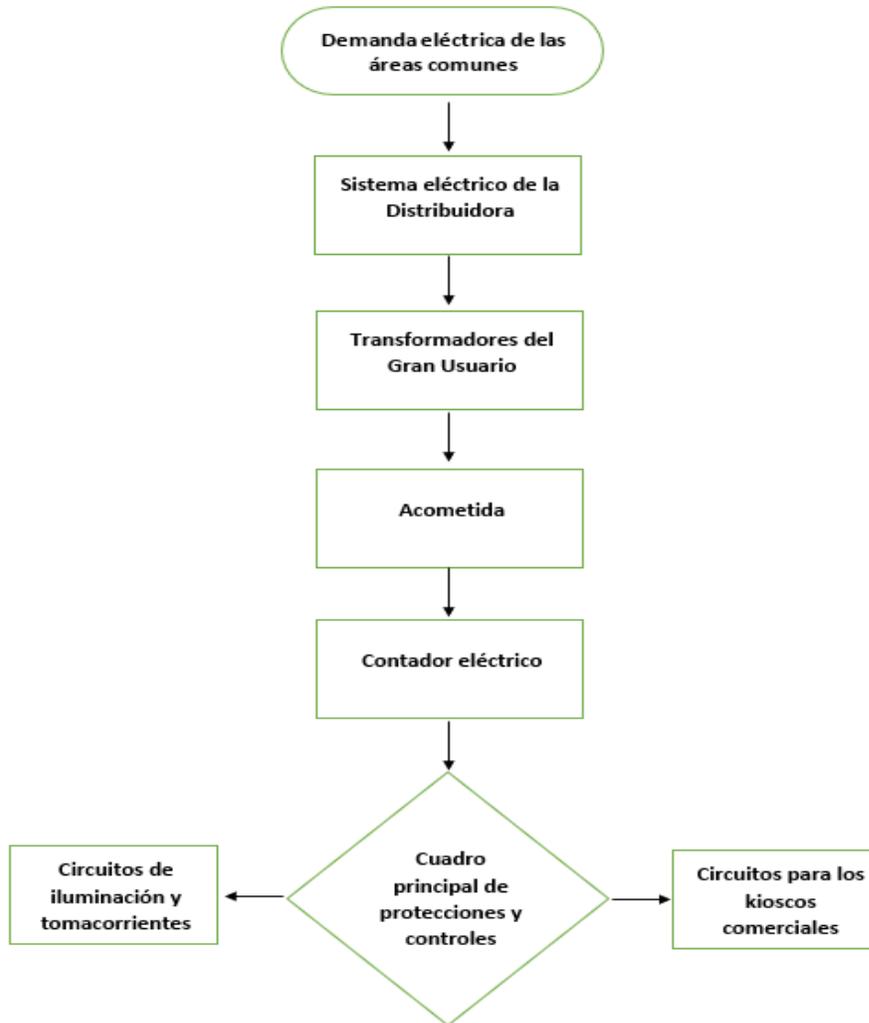
e) Fase: normalmente los inversores que cuentan con una potencia inferior a los 5 *kW* son de una sola fase o monofásicos y los que superan los 15 *kW* suelen ser trifásicos.

f) Rendimiento energético: no importando la gama que sea, este debería siempre de ser alto, entorno a un 90 % según los que actualmente se ofrecen en el mercado. Cuando se aproxima la potencia total instalada por los paneles en conjunto a la potencia nominal del inversor, es más factible obtener un mejor desempeño y rendimiento por parte de este. En la mayoría de los casos, no es tan recomendable que se tenga una potencia total fotovoltaica instalada menor a la potencia nominal que el inversor puede ofrecer, ya que de esta manera no se estaría obteniendo el máximo provecho del dispositivo en condiciones reales de operación.

g) Protecciones: el inversor debe contar como mínimo con las protecciones de interruptor automático, funcionamiento en isla (evitar el funcionamiento del sistema ante fallas en la red), limitador de la tensión máxima y mínima, limitador de la frecuencia máxima y mínima, protección contra contactos directos, protección contra sobrecarga, protección contra cortocircuito, entre otras. Es sumamente ideal que el funcionamiento del inversor se pueda monitorear y visualizar desde un ordenador o un dispositivo móvil, de manera que se indiquen actividades anómalas en el mismo, averías, pausa del funcionamiento por fallas en la red, etc. (Componentes de una instalación solar fotovoltaica, s.f.).

2) Electrificación de las áreas comunes: la ilustración 56 muestra como es la lógica principal del recorrido de la energía para electrificar a las áreas comunes, de este modo se visualiza más fácilmente como se distribuye el servicio energético en estos lugares:

Ilustración 56. Diagrama de flujo del recorrido de la energía eléctrica hacia las áreas comunes



Fuente: elaboración propia

Según el artículo 16 bis del reglamento de la *LGE*, la distribuidora está obligada a permitir la conexión y prestar los servicios a un generador renovable para realizar los respectivos estudios eléctricos y emitir los costos que serán necesarios invertir dentro de las líneas que se estén involucrando. Será responsabilidad de la empresa proveedora de energía eléctrica referir las debidas aprobaciones y/o observaciones por si se tienen que realizar cambios o modificaciones dentro del circuito del punto de conexión de un generador renovable, así como los costos a adquirir por parte del generador.

Lo que se pretende es que ya no se utilicen los servicios que el gran usuario presta a las debidas instalaciones, en este caso se está utilizando una línea eléctrica que sale directamente de los transformadores instalados para el mismo con tal de electrificar dichas áreas según los debidos contratos entre empresas; al pactar y pasar a los debidos procesos legales, Íntegro estaría ahora conectado y cancelando directamente a la Distribuidora eléctrica la energía que se utilizara de la red cuando se necesite bajo la tarifa de un Autoproductor, así como los costos fijos.

3) Inversor para las áreas comunes: se continuará con la debida descripción general del inversor:

Ilustración 57. Datos técnicos de entrada del inversor

**Technical Data** www.deyeinverter.com

Model	SUN-7K-G	SUN-7.5K-G	SUN-8K-G	SUN-9K-G	SUN-10K-G	SUN-10.5K-G
<b>Input Side</b>						
Max. DC Input Power (kW)	9.1	9.8	10.4	11.7	13	13.7
Max. DC Input Voltage (V)	550					
Start-up DC Input Voltage (V)	80					
MPPT Operating Range (V)	70~500					
Max. DC Input Current (A)	13+26			26+26		
Max. Short Circuit Current (A)	19.5+39			39+39		
Number of MPPT / Strings per MPPT	2/1+2			2/2		

Fuente: Suministros del sol, 2022. <https://suministrosdelsol.com/es/inversores-por-marca/1723-inversor-deye-sun-10-g.html>

Este inversor pertenece a la marca Deye y se propone junto a lo indicado en la asesoría de AISA, escoger el modelo SUN-10K-G; inicialmente se tienen los parámetros eléctricos para las entradas del dispositivo que recibirán la electricidad de corriente continua del campo fotovoltaico.

Ilustración 58. Inversor Deye de 10 kW

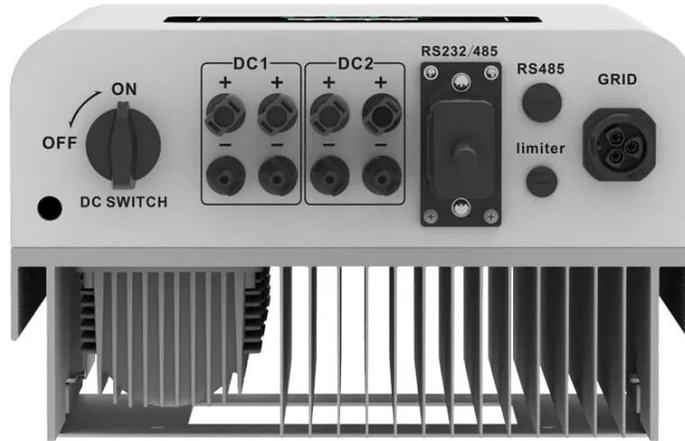


Fuente: AISA, 2022.

Este modelo internamente incluye un sistema cuyo objetivo es siempre ir en busca de la cantidad de potencia que más se pueda obtener por parte de la disponibilidad energética solar para usarse como energía eléctrica según el Centro de Inteligencia en Ahorro de Energía (2,022), llamado por sus siglas en inglés *MPPT* (Maximum Power Point Tracking); el equipo incluye 2 sistemas que realiza esta función o 2 *MPPT*.

El inversor soporta una tensión de 550 V por cada entrada fotovoltaica. Este inversor cuenta con 2 entradas fotovoltaicas por cada *MPPT* y cada entrada tiene una tolerancia de corriente de hasta 26 A.

Ilustración 59. Parte de conectividad del inversor



Fuente: AISA, 2022.

Ahora se muestran los datos de salida o los valores eléctricos que se espera tener de la energía entregada por este equipo en la Ilustración 60:

Ilustración 60. Datos técnicos de salida del inversor

Output Side						
Rated Output Power (kW)	7	7.5	8	9	10	10.5
Max. Active Power (kW)	7.7	8.25	8.8	9.9	11	11.55
Nominal Output Voltage / Range (V)	L/N/PE 220V/187V-242V, 230V/ 195.5V-253V (Optional)					
Rated Grid Frequency (Hz)	50 / 60 (Optional)					
Operating Phase	Single phase					
Rated AC Grid Output Current (A)	30.4	32.6	34.8	39.1	43.5	45.7
Max. AC Output Current (A)	33.5	35.9	38.3	43	47.8	50.2
Output Power Factor	0.8 leading to 0.8 lagging					
Grid Current THD	<3%					
DC Injection Current (mA)	<0.5%					
Grid Frequency Range	47~52 or 57~62 (Optional)					
Efficiency						
Max. Efficiency	97.7%					
Euro Efficiency	97.5%					
MPPT Efficiency	>99%					

Fuente: Suministros del sol, 2022. <https://suministrodelsol.com/es/inversores-por-marca/1723-inversor-deye-sun-10-g.html>

El inversor entregara en promedio una potencia de  $10kW$  y como máximo  $11kW$ , por lo cual se deberán de disponer de 2 debido a que la potencia total de los objetos, equipos y herramientas utilizados en las áreas comunes es la siguiente:

Tabla 35. Potencia total instalada en las áreas comunes

Área	Cantidad de potencia en <i>Watts</i> por objetos registrados
Primer Nivel	2,873
Segundo Nivel	4,441
Bodegas	612
Parqueo	983
Oficina de administración	3,520
<i>TMA</i>	57
Heladería Oso Polar	350
Cámaras fix	30
Motor Franklin sumergible	8,408.4
Motor hidroneumático	746
Total en Watts	22,020

Fuente: elaboración propia

Son 22.02 kW de potencia total que se tienen instalada en todas las áreas comunes, aunque es de entenderse que evidentemente esta potencia total podrá ir variando con el tiempo, así como se expuso acerca de la variabilidad de la demanda energética, debido a que como en su momento se dijo, las instalaciones están propensas a sufrir modificaciones infraestructurales en donde directamente se influenciara en la adaptación o el desacople de ciertos elementos eléctricos, por lo general luminarias.

Estos inversores se adaptarían perfectamente al tipo de sistema eléctrico que se distribuye en las áreas comunes, siendo este del tipo monofásico a 220 V. Los dispositivos de protección que sean necesarios instalar dentro del tablero eléctrico principal serán establecidos por el equipo técnico de la distribuidora y de AISA. El inversor se puede adecuar a una frecuencia de 50 o 60 Hz.

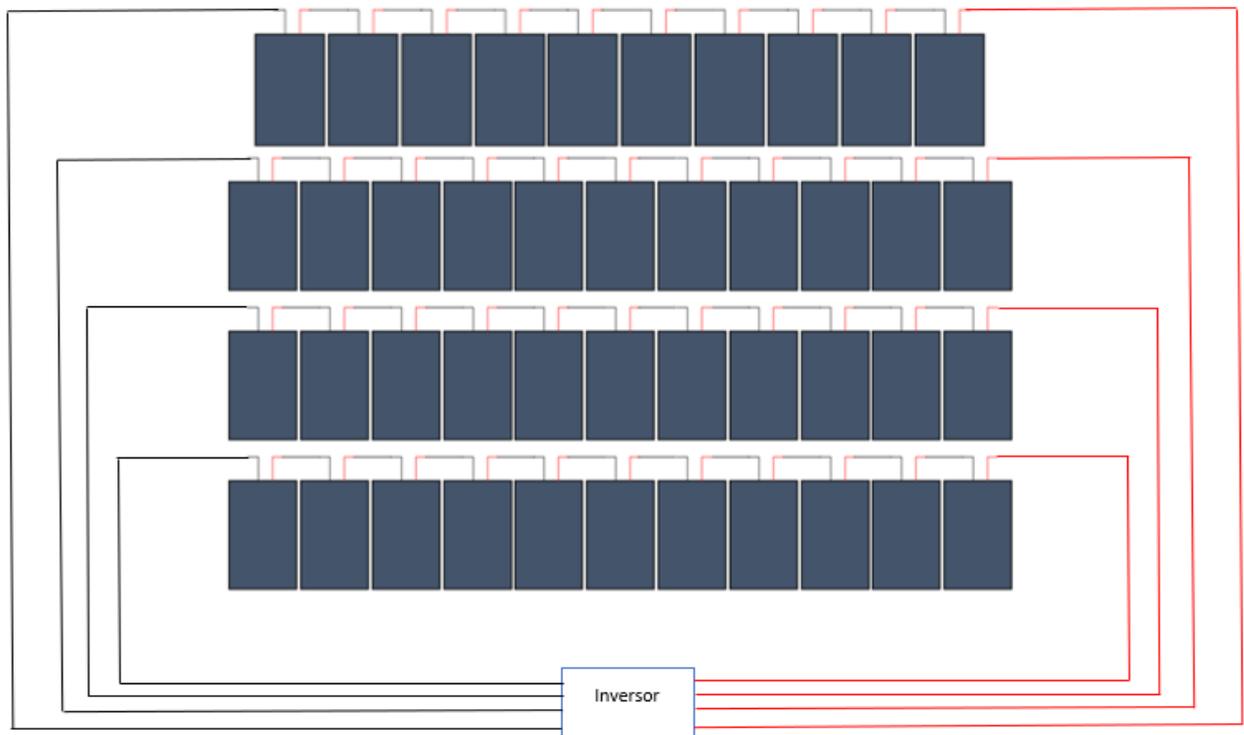
4) Agrupamiento de las unidades: los valores de tensión y corriente a considerar al momento de calcular teóricamente la energía que entregarán los módulos serán tomados de la información técnica que el fabricante de los paneles ofrece, lo cual son *voltaje* en circuito abierto igual a 50 V y la corriente máxima igual a 10.87 A (AutoSolar, 2021). Se plantea que habrá 2 grupos con 33 módulos cada uno y 2 filas o strings de 10 paneles, dando así un total de 86 unidades generadoras; cada grupo contará con 3 strings de 11 módulos, en donde cada string

emitirá unos valores de salida de 550 V y la corriente será la misma debido a que estos estarán interconectados en serie; para el caso de los strings de 10 módulos estos emitirán 500 V de tensión cada uno con el mismo valor de corriente. De esta manera se utilizarán exactamente las 4 entradas fotovoltaicas de cada inversor.

Es de entenderse que dicha instalación, así como la debida planificación y los estudios eléctricos necesarios, tendrá que ser realizados en armonía con la mano de obra técnica experimentada de *AISA*, sin embargo, los parámetros anteriores pueden ser una premisa teórica de lo que se supondría emitir hacia las entradas de los inversores; en la vida real la disponibilidad de la energía solar es muy vulnerable a estar sufriendo constantes cambios durante su aparición e incidencia en el territorio a analizar. Bajo lo anterior, se observa entonces que estos equipos de conversión de corriente cuentan con un grado porcentual de eficiencia del 99% por cada sistema *MPPT* y un 97.7% para el dispositivo en general.

A continuación, se muestra en la Ilustración 61 la cantidad de módulos fotovoltaicos que serán conectados a cada inversor:

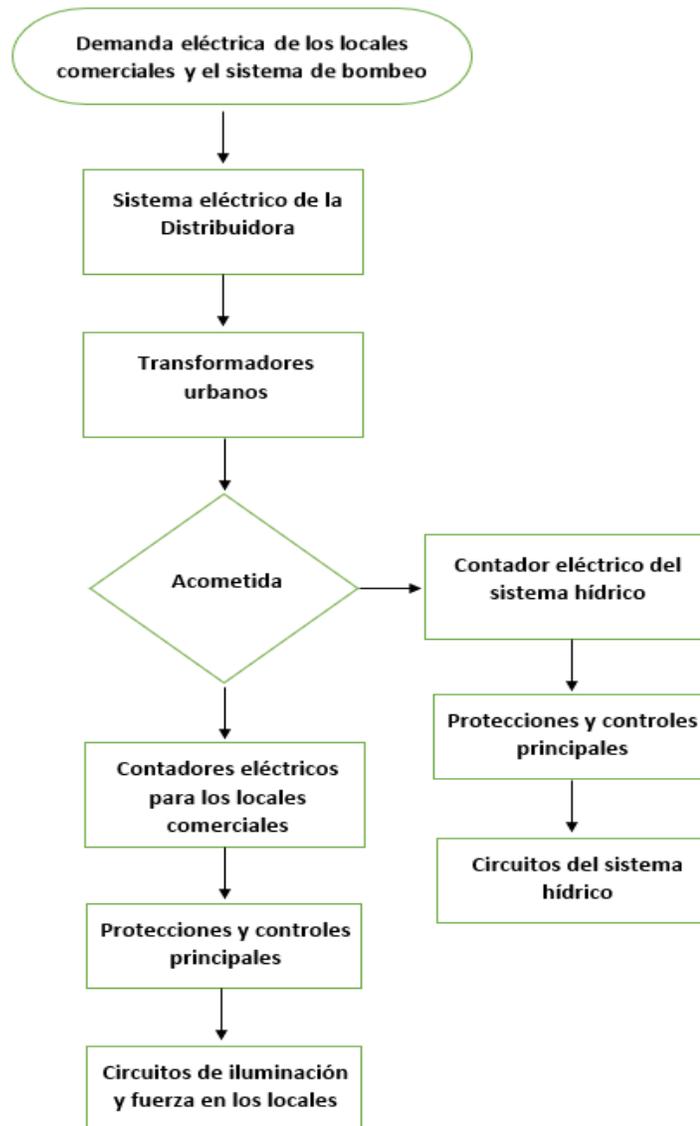
Ilustración 61. Grupo de 33 módulos más string de 10 con sus líneas eléctricas hacia el inversor



Fuente: elaboración propia

5) Electrificación para los locales comerciales: la electricidad que se distribuye a los locales del edificio y al sistema hídrico comprende el siguiente flujo de la Ilustración 62:

Ilustración 62. Diagrama de flujo del recorrido de la energía eléctrica hacia los locales comerciales



Fuente: elaboración propia

A pesar de que se pudiera utilizar varios inversores de la marca anterior o uno solo que pudiera tener una mayor capacidad para recibir una mayor tensión y corriente según la cantidad necesaria de paneles, no se puede afirmar que esto será suficiente para abastecer la potencia que se necesita

para todos los locales comerciales y las áreas comunes en conjunto. Se observa que entre los pocos locales comerciales a los que sí se pudo tener acceso para registrar los objetos, herramientas y dispositivos eléctricos, suman la siguiente potencia total:

Tabla 36. Potencia total instalada de los locales comerciales registrados

Empresa	Potencia instalada en <i>kW</i>
Kiosco comercial heladería Sarita	1.264
Local comercial claro	0.025
Local comercial oficina de administración de claro	0.430
Local comercial óptica santa paula	0.184
Local comercial heladería La Nevería	1.422
Local comercial cargo expreso	0.406
Local comercial zapatería Roy	0.365
Íntegro	22.02
Total	26.116

Fuente: elaboración propia

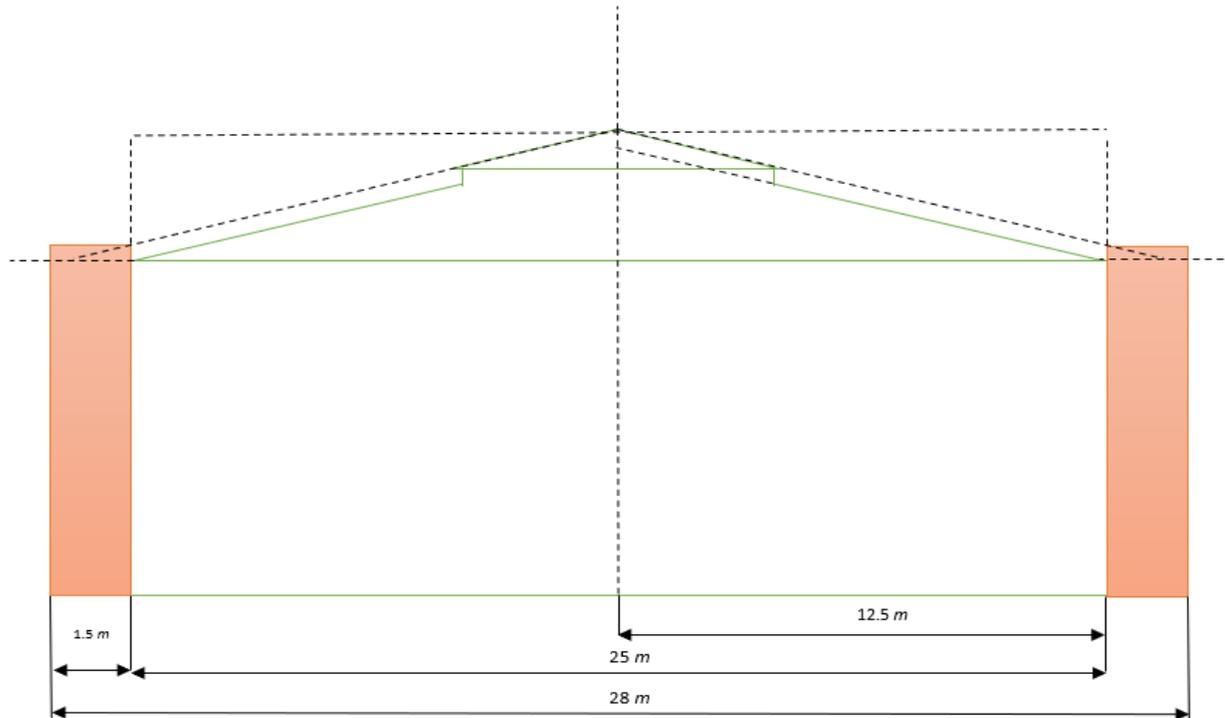
#### b. Física

Debido a las constantes modificaciones a las que el Centro Comercial está expuesto, se tiene la intrínseca variabilidad que las estructuras, superficies, objetos eléctricos y áreas en general, sufran cambios que vengán a alterar directamente el resultado en el dimensionamiento y en el diseño de una posible estructuración de los módulos fotovoltaicos en la parte superior del edificio. Sin embargo, se expondrán los siguientes criterios para proponer las dimensiones y características que los paneles tomarán en cuanto a perspectivas de espacio, estructura y seguridad ocupacional al momento de agruparse estéticamente.

1) Inclinación: se observa que la Ilustración 63 representa la forma bidimensional en una vista frontal al edificio, el cual proporciona un ángulo en común que definirá la elevación de los paneles. Se procede a representar con líneas puntuales las ampliaciones en una proyección

paralela tanto de los bordes de las figuras, así como referenciar planos verticales y horizontales respecto a la superficie del edificio:

Ilustración 63. Vista frontal del edificio en un plano de distancias



Fuente: elaboración propia

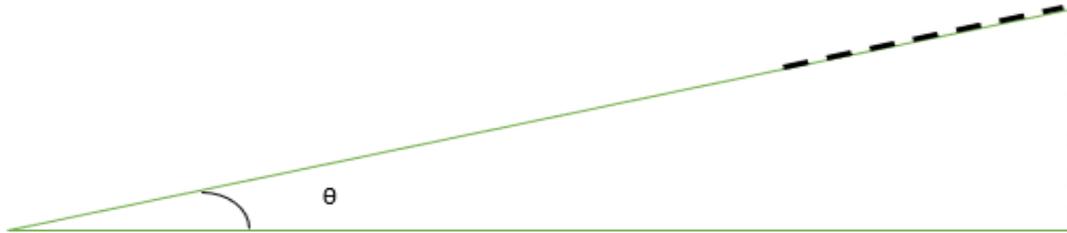
Lo que al principio llama la atención de la Ilustración 63 son los rectángulos laterales, lo cual representan la elevación realizada de concreto para la fachada, en donde se considera un espacio de aproximadamente 1.5 metros de largo para darle lugar a los conductos que se encargan de recolectar las aguas pluviales que en su momento hacen presencia. La estructura proporcional, recta y uniforme de los componentes de la superficie aérea, fue construida bajo un plano totalmente paralelo a la horizontal del lugar, esto notablemente por evidentes temas técnicos, estructurales, proporcionales, estéticos y de diseño como tal.

Sustrayendo dos veces la cantidad del espacio anterior hablado de la cantidad encontrada en la magnitud de esta arista del edificio (28 m) se observa que el diseño del techo esta sobre un plano totalmente horizontal de unos 25 metros, formándose los notables triángulos rectángulos en las diferentes intersecciones entre la estructura real con la visión geométrica representada en este plano de distancias. A pesar de no disponer en su momento con los instrumentos adecuados para medir dicha inclinación de la parte superior, se considera la Ilustración 63 para hacer ver que, la

cumbrera y la lámina superior principal suelen tener una inclinación sino parecida, muy similar, haciendo el razonamiento planteado para visualizar en lo más posible la semejanza de triángulos que se manifiesta.

Se analizará uno de estos triángulos y como se nota en la Ilustración 64, las líneas punteadas representan la proyección de la línea imaginaria vertical y la distancia de la cumbrera, en este caso se obtiene una hipotenusa con 13 *metros* de largo y con una inclinación desconocida ( $\theta$ ), considerándole el valor de 12.5 *metros* al cateto contiguo al ángulo de interés:

Ilustración 64. Inclinación en común de la cubierta y la cumbrera



Fuente: elaboración propia

Al tener el valor de la hipotenusa y el cateto adyacente del ángulo a conocer, se utilizará la siguiente identidad trigonométrica:

Ecuación 5. Identidad trigonométrica de Coseno  
 $\text{Coseno } \theta = \text{Cateto adyacente} / \text{Hipotenusa}$

En donde como cateto e hipotenusa se tiene 12.5 y 13 *metros* respectivamente:

$$\text{Coseno } \theta = 0.9615$$

Como lo que se necesita es saber el valor de *tita* ( $\theta$ ), se coloca en ambos lados de la ecuación la función inversa de Coseno, lo cual es Arco Coseno (ArcCos) o presentado en las calculadoras también como  $\text{Cos}^{-1}$  (Alex, 2018). La ecuación quedaría de la siguiente forma:  $\theta = \text{ArcCos}(0.9615)$ . Al confirmarlo con un dispositivo de cálculo se muestra la magnitud de elevación que ambas partes del techo comprenden, siendo un ángulo de  $15.95^\circ$  aproximadamente, ángulo que se considera dentro del rango ideal respecto al territorio nacional, debido a que Guatemala no presenta cambios tan significativos respecto a los movimientos de los rayos solares durante el año, a comparación de países como España en donde en temporadas de invierno y verano se ve bastante comprometido el trayecto del sol respecto a la superficie (Custodio, 2020).

2) Orientación: se tomará de referencia la instalación fotovoltaica encontrada en el área superior del edificio, el cual se plantea de la siguiente manera; mediante la ayuda de

herramientas como Google Earth y una brújula, se puede distinguir la posición entre los puntos cardinales a los que está orientado el sistema fotovoltaico.

Ilustración 65. Vista aérea y orientación del Centro Comercial



Fuente: Google Earth, 2022.

Ilustración 66. Antigua perspectiva del Centro Comercial desde la calzada principal de Tiquisate



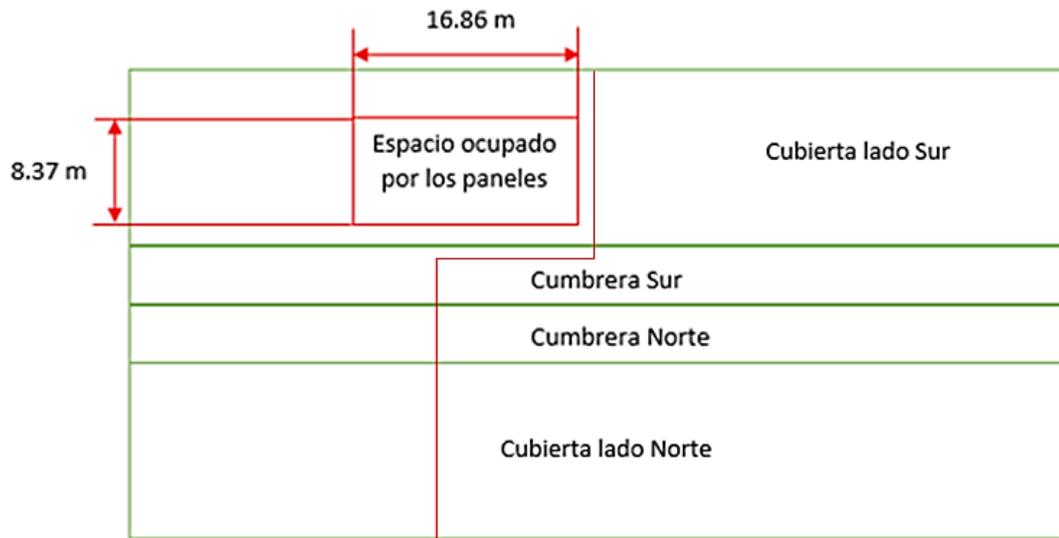
Fuente: Google Earth, 2022.

Las ilustraciones 65 y 66 fueron tomadas en la aplicación de Google Earth y se observa que, conforme a la posición y ubicación de las instalaciones, los módulos fotovoltaicos deberán ir

orientados hacia el sur, con variaciones de sur a este y oeste, más nunca considerar instalarlos hacia el norte. Esto último es porque Guatemala se encuentra en el hemisferio norte del globo terráqueo (Custodio, 2020). En la esquina inferior derecha de la ilustración 66 se puede ver el símbolo de la brújula y esta indica que los paneles que ya se encuentran allí están orientados aproximadamente hacia el sudoeste.

Es por esta razón de que solamente se pueden considerar realizar una instalación de este tipo hacia el lado sur, tanto de la cumbrera, así como de la cubierta principal, lo que de entrada significa contar con el 50% de espacio de estas partes.

Ilustración 67. Representación del espacio disponible en la cubierta próxima al sur geográfico



Fuente: elaboración propia

Los paneles solares fotovoltaicos existentes de por sí ocupan un área total de  $141.14 \text{ m}^2$  y las cantidades de largo y ancho se muestran en la Ilustración 67, sin embargo, hay que tomar en cuenta la nueva modificación que ha surgido en esta parte del edificio a consecuencia de la infraestructura para Dollar City; se visualiza como el ducto con las líneas para la electrificación de este nuevo edificio limita aún más el espacio disponible, que ahora se reduce aproximadamente a una cuarta parte del área total de la cubierta y cumbrera.

Ilustración 68. Vista aérea de todas las instalaciones

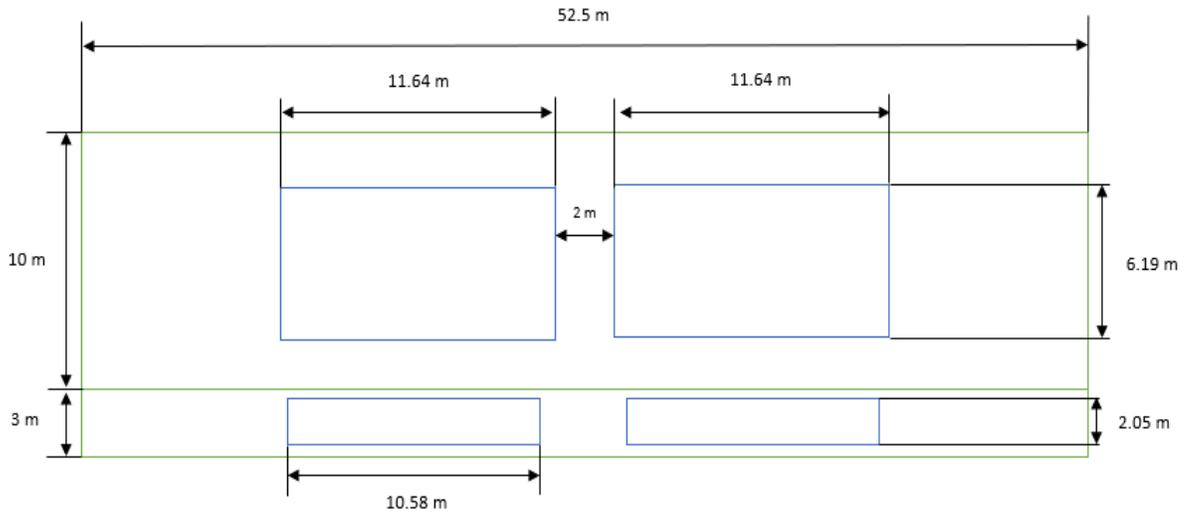


Fuente: elaboración propia

3) Adaptación a la cubierta: aunque en este caso los datos a presentarse puedan ser en su momento diferentes a lo que supondría ser volver a analizar el espacio de estudio con apoyo de los instrumentos de medición adecuados, se puede afirmar que, bajo el enfoque obtenido en la ilustración 68, un tramo del ducto que transporta a los conductores de electrificación de Dollarcity para luego descender hacia el área de bodegas, queda aproximadamente a la mitad de lo que justamente será el espacio que más se necesita, el lado sur.

Por lo tanto, se afirma desde ahora y hasta la realización de esta propuesta que, el espacio disponible para la adecuación de paneles solares que cubrirán las necesidades energéticas de las áreas comunes comprende estar aproximada y visualmente en  $52.5\text{ m}$  de largo por  $10\text{ m}$  de ancho en la cubierta y  $52.5\text{ m}$  de largo y  $3\text{ m}$  de ancho correspondientes a la cumbrera.

Ilustración 69. Representación espacial de una adaptación de 86 módulos al techo del edificio principal



Fuente: elaboración propia

Los trazos de la Ilustración 69 representan la adaptación del sistema fotovoltaico en el espacio disponible según las diferentes medidas obtenidas; se observa que los dos grupos principales compuestos de 33 módulos generadores se adecuarían perfectamente y en sinergia con el espacio del techo metálico presente en el edificio, lo que influye directamente en la facilidad con la que se podrían mantener y observar a los paneles solares debido al buen espacio que se manifiesta en esta parte. En la cumbrera se adaptarían los otros 2 strings de 10 módulos y sus conductores irían verticalmente entre el espacio de los dos grupos solares, para luego bajar directamente hacia el área del cuarto eléctrico, que será el lugar donde se propone instalar los inversores debido a la menor distancia que habría hasta los paneles, lo que significa una reducción en los costos por la utilización de menores extensiones de conductores eléctricos.

Para obtener las medidas de los grupos fotovoltaicos, se razonó lo siguiente:

$10 \text{ espacios} * 0.02 \text{ m} = \text{metros}$  que se agregan al valor del largo de cada grupo

$$10 * 0.02 \text{ m} = 0.2 \text{ m}$$

Esos 10 espacios son los que habría en cada string de 11 paneles debido a la distancia entre cada uno de estos, el cual al adicionarlos con la medida de ancho de los módulos ( $1.04 * 11$ ) da como resultado el largo de cada grupo que está dado en la Ilustración 69 (11.64 m); el mismo procedimiento anterior sería para los strings de la cumbrera, con la diferencia en restar un espacio y un panel, lo que da como resultado 10.58 m. Para el caso de la anchura de cada grupo se realizó

lo mismo, cambiando la cantidad de módulos por 3 y multiplicado por la altura del panel (2.05 m); los espacios en este caso serán 2 de 0.02 m, dando como respuesta una medida de 6.19 m de ancho. Se podría considerar un espacio de 2 m o inclusive de 1.5 m entre cada grupo fotovoltaico, de esta manera se tendrá un espacio suficiente para que el personal de mantenimiento supervise y atienda periódicamente a los generadores eléctricos en un espacio más ergonómico y accesible.

Una de las grandes ventajas que se mencionó al principio cuando presencialmente se observó y se analizó el techo del edificio, es que este contaba con costillas metálicas que resaltan de la lámina e inevitablemente suponen deducir que la estructura para la fijación y soporte de los módulos no será de mayor complejidad a comparación de otras estructuras en donde incluso se puede llegar a dañar los materiales del espacio superior, ocasionando fugas y filtraciones de aguas pluviales. En base a la adaptabilidad de este espacio para recibir una instalación energética de este tipo, se plantea que podrá utilizarse una estructura parecida a la de la marca Falcat, fabricada de aluminio anodizado y acero inoxidable. La estructura según la cantidad de paneles que se vayan a instalar en ella, comprende de los siguientes accesorios indispensable para la fijación:

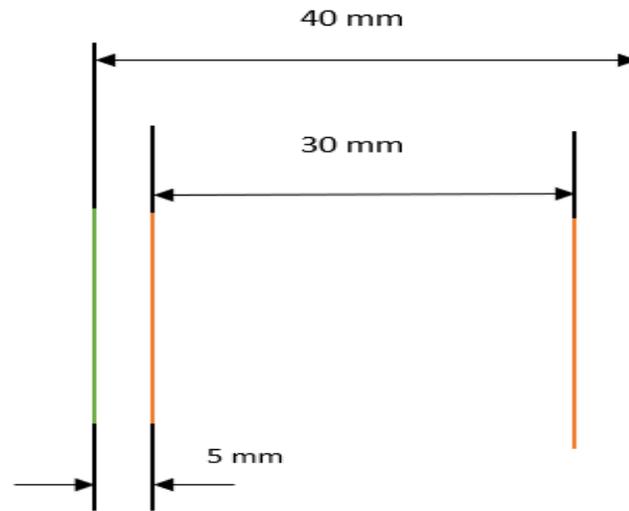
Ilustración 70. Componentes de sujeción para instalar los módulos fotovoltaicos al techo standing seam

Cantidad/ paneles	 L feet	 Rail	 Empalme de rail	 Abrazadera intermedia	 Abrazadera final
1 panel	4	2	-	-	4
2 paneles	6	4	2	2	4
3 paneles	8	6	4	4	4
4 paneles	8	8	6	6	4
5 paneles	10	10	8	8	4
6 paneles	12	12	10	10	4

Fuente: Falcat, 2022. <https://autosolar.es/pdf/datasheet-estructura-cubierta-metalica-falcat.pdf>

El accesorio que irá instalado directamente en las costillas metálicas son las piezas que tienen forma de L y en el manual se indican los pasos que deben seguirse para una correcta instalación de esta estructura (Falcat, s.f.). Respecto a la primera instrucción con las dimensiones de dicha pieza, se proyecta lo siguiente:

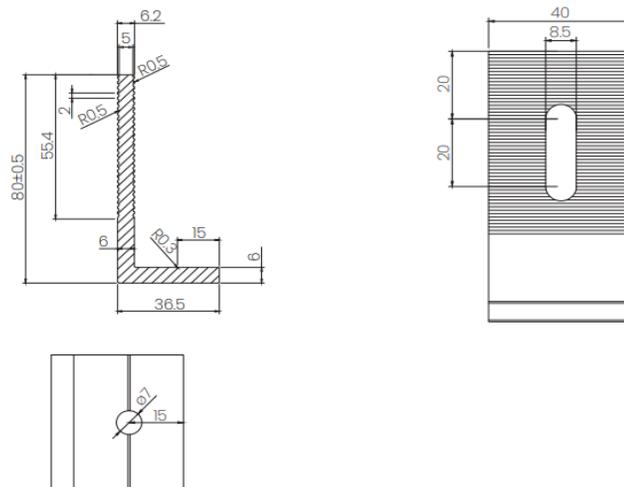
Ilustración 71. Comparativa de anchura entre pieza en L y la costilla metálica del techo



Fuente: elaboración propia

Las líneas verdes verticales corresponden al ancho de la pieza en L desde una vista frontal según lo establecido en la ficha técnica que describe a esta pieza. Lo de color naranja pretenderá ser un valor aproximado a los 3 cm de anchura de cada costilla metálica. La Ilustración 71 da a representar los espacios laterales que no irán en contacto con la anchura de la costilla, visualizándose un espacio de 5 milímetros por lado, sin embargo, se observa que tampoco puede significar un inconveniente al momento de la sujeción mediante el perno, ya que dichas piezas se instalarán lo más centradas posible con estas costillas metálicas.

Ilustración 72. Medidas de la pieza en L el cual permite la instalación de los perfiles de la estructura



Fuente: Falcat, 2022. <https://autosolar.es/pdf/datasheet-estructura-cubierta-metalica-falcat.pdf>

## 5. Aspectos y componentes a considerar

En este punto se mencionará otras cuestiones básicas que serán llevadas paralelamente a la instalación física y eléctrica del sistema fotovoltaico, aunque evidentemente una perspectiva de un agente o individuo técnicamente más capacitado para aplicar la mano de obra requerida, resaltarán otros asuntos más detallados e imperceptibles a comparación de un punto de vista meramente analítico y teórico.

### a. Sistema fotovoltaico para ambas demandas

Se definirá el porqué de no haber propuesto un modelo que simule una adecuación de los 344 módulos fotovoltaicos necesarios para cubrir la demanda energética de todas las empresas, mencionando a continuación las siguientes razones:

1) El principal inconveniente para esta propuesta es la limitación y disponibilidad energética solar; aunque Guatemala tiene una media anual de *HSP* considerablemente óptima, esto no es suficiente para cubrir la necesidad energética nocturna de todos los negocios. Aunque el sistema sea conectado a la red general, esto no es para nada conveniente ni una opción a considerar para las demás empresas, ya que no se pondrían en la situación de perder tiempo y dinero por tratar de utilizar energía verde y a su vez mantener el contrato con *DEOCSA* para los consumos nocturnos, por lo que en este caso prevalecerá más la disponibilidad que el tipo de energía demandada (limpia o contaminante) y la accesibilidad de menor complejidad por mantener un suministro eléctrico constante en cuanto a trámites, costos y tiempo.

2) Otro aspecto por el cual esta opción no es factible es por la incertidumbre que se tiene en desconocer la potencia total instalada que se tendría en todos los negocios y empresas en conjunto, ya que como se mencionó en su momento, la mayoría del personal que opera en los locales comerciales no hicieron posible el registro de los objetos eléctricos. Aunque existan inversores con la capacidad de entregar grandes cantidades de potencia, esto no es suficiente para afirmar con seguridad que se cumplirá con la potencia que se demanda conjuntamente en el Centro Comercial.

3) En un principio el techo del edificio daba la impresión de ser un espacio lo suficientemente amplio, sin embargo, se visualizó que la cubierta principal y la cumbrera tienen solo el 25% de disponibilidad debido a lo demostrado en cuanto a la orientación de los paneles. 344 módulos suponen en términos de espacio y dimensionamiento, cuadruplicar la cantidad de paneles propuestos para las áreas comunes (86 paneles), el cual evidentemente se necesitaría muchísimo más espacio para un proyecto de este tipo con tal magnitud de generadores solares.

b. Herramientas y equipo de seguridad

Uno de los detalles importantes a resaltar dentro del manual para la instalación de la estructura modelo, es que contiene ciertos elementos y herramientas que por parte del fabricante se consideran indispensables dentro de las actividades del equipo de trabajo técnico, de manera que se aseguren dos factores: una correcta manipulación de los materiales para su debida instalación y la seguridad dentro de las actividades realizadas por los colaboradores, dado el caso, el personal de mantenimiento del Centro Comercial y personal técnico a contratar.

Estos elementos se dividen en dos grupos los cuales son las herramientas como tal (un taladro o barreno, una cinta métrica, llaves inglesas del número 13 y 17, llave Allen número 6) y los elementos de protección personal (guantes, lentes, casco, arnés, botas del tipo industrial, chaleco reflectivo). De esta manera al seguir con estas indicaciones, se evitan daños y pérdidas tanto materiales, así como humanas.

Ilustración 73. Herramientas y equipo de protección recomendado para la instalación de estructuras fotovoltaicas

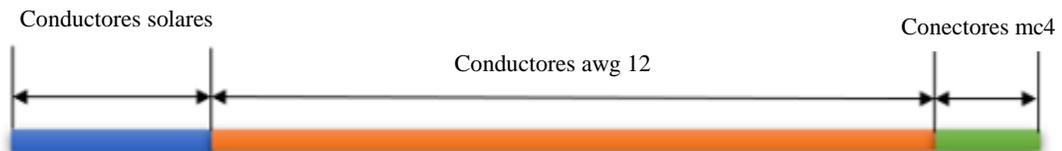


Fuente: Falcat, 2022. <https://autosolar.es/pdf/manual-estructura-cubierta-metalica-falcat.pdf>

### c. Cables, conectores y ductos

Apoyando el siguiente argumento en cuanto al gran dinamismo y facilidad con que los inversores aceptan las líneas conductoras de corriente continua de los strings fotovoltaicos, será necesario realizar solo unas pequeñas modificaciones a lo que supondría ser los conductores eléctricos de cada string.

Ilustración 74. Secuencia de conductores y conectores para unir a los módulos con los inversores



Fuente: elaboración propia

La Ilustración 74 conceptualiza la idea de cómo en el apropiado orden, se conectarían las líneas eléctricas que serán necesarias incluir para juntar a los componentes más importantes dentro del sistema, los inversores y los paneles. Los tramos representarían la conducción eléctrica y se ha de suponer que tanto el conductor neutro como la línea viva siguen la anterior estructuración; el tramo azul representa a los conductores del módulo conectándose a conductores de mayor extensión representado con el tramo naranja, el cual atravesaría el resto de la cubierta sur, descenderían por todo lo alto del edificio y seguirían subterráneamente hasta llegar al cuarto eléctrico en donde se conectarían a los inversores. Esta conexión directa con los conductores de los módulos se hace a través de los conectores Weidmüller PV-Stick vpe200. Al verificar si este conector soporta la intensidad máxima que supondría llevar los conductores de los strings, lo cual es de 10.87 A, se obtiene un resultado positivo, ya que efectivamente este valor se encuentra por debajo de la corriente nominal que tolera este elemento de conexión, siendo esta de 30 A.

Ilustración 75. Conectores Weidmüller



Fuente: Autosolar, 2022. <https://autosolar.es/accesorios-paneles-solares/conectores-weidmuller-pvstick>

En el sitio web de la empresa Auto Solar, se ofrece un video instructivo de cómo se deben de conectar estos componentes a los conductores y a los conectores mc4; se plantea que el conductor más ideal para este caso sería el del tipo unipolar awg 12, ya que supone tener una sección más próxima ( $3.32 \text{ mm}^2$ ) según la ficha técnica de los Weidmüller (Weidmüller, s.f.).

Es importante mencionar que para este tipo de conductores se otorga obligatoriamente un factor de corrección, el cual tiene que ver con la cantidad de *amperaje* que soporta el conductor en función del aumento de la temperatura ambiental; tomando el segundo rango de temperatura que pudiera hacerse presente en el techo (de 36 a 40 °C) se obtiene un factor de corrección con valor de 0.82, en el cual se tendrá que multiplicar con la intensidad eléctrica máxima que normalmente el conductor soportaría bajo una temperatura ambiental de 30 °C, lo cual es de 34 A (SAB Brockskes, s.f.).

Realizando la mencionada operación, se obtiene que bajo el anterior rango de temperatura ambiental al que estarán sometidos los conductores, los mismos soportaran una intensidad máxima de 27.8 A, resultado que es favorable para conducir la corriente de cada string sin que el material conductor se sobre esfuerce y sufra daños permanentes, aun aumentando en un 25% más la intensidad de la corriente (Contreras, 2021:116), siendo bajo el criterio anterior igual a 13.58 A ( $10.87 \text{ A} * 1.25$ ).

Continuando con la secuencia de la Ilustración 74, ahora se sabe que el tramo naranja representa al conductor awg 12, que por un extremo estará conectado a los Weidmüller y por el otro al inversor. Para lograr esto último se utilizarán adaptadores mc4 los cuales son representados por el tramo verde juntamente con el último paso para completar esa secuencia conductora, el cual sería la conexión directa a los inversores.

Ilustración 76. Conectores mc4



Fuente: Autosolar, 2022. <https://autosolar.es/accesorios-paneles-solares/conectores-mc4-paneles-solares>

Es importante también considerar que los cables eléctricos deberán de ir plenamente protegidos al ambiente y a todas las condiciones atmosféricas adversas, por lo cual se propone adquirir tuberías flexibles en donde puedan introducirse los conductores de modo que los mismos estén debidamente asegurados, identificados y adaptados a una canalización moldeable para poder implementarse en el trayecto hacia el cuarto eléctrico.

Ilustración 77. Tubo flexible para proteger a los conductores eléctricos



Fuente: Elecsa, 2022. <https://www.elecsa.com.gt/tuberia-y-canalizacion/flexible.html>

#### d. Temperatura del cuarto eléctrico

Al tener los inversores instalados dentro del cuarto eléctrico, lo ideal sería que en las primeras semanas se observe constantemente la temperatura del lugar en las horas donde la radiación solar se hace presente con más intensidad, que puede ser de 10 de la mañana a 3 o 4 de la tarde. Esto con el objeto de mantener al inversor bajo temperaturas que no superen los  $40^{\circ}\text{C}$  de manera que el rendimiento del mismo no se vea afectado por un exceso de temperatura en el ambiente y por lo tanto en el equipo. Si en caso de que se presente una temperatura mayor a la anterior en este lugar, lo más óptimo en dicho caso sería instalar en este cuarto un aire acondicionado con el fin de mantener una temperatura para los equipos entre unos  $20$  o  $25^{\circ}\text{C}$ , evidentemente este elemento de enfriamiento será alimentado por la energía producida por los paneles y será activado solo en las horas donde se haga presente el intenso calor característico del municipio.

Ilustración 78. Cuarto eléctrico del Centro Comercial

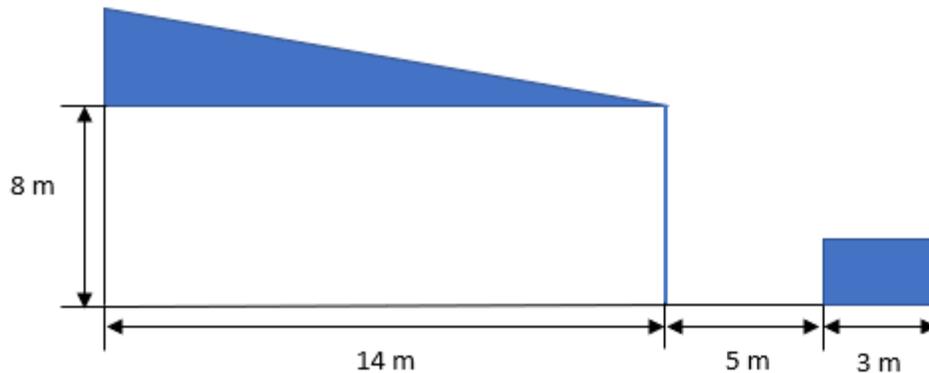


Fuente: elaboración propia

e. Distancia de los cables

La distancia total que comprendería cada conductor awg 12 para llegar hasta el cuarto eléctrico es aproximadamente 30 *metros*; con este valor los cables permanecerían en perfectas condiciones agregando *centímetros* extras en donde se requirió tener un valor más exacto y así no exponer a que los conductores queden muy justos y por lo tanto, se mantengan en una constante tensión que pueda dañar el material aislante.

Ilustración 79. Distancias desde el techo del edificio hasta el interior del cuarto eléctrico



Fuente: elaboración propia

Aunque en la realidad algunos conductores quedarán más cerca al momento de descender hacia el cuarto eléctrico, se da esta proximidad en base a los datos medidos como punto de referencia en la magnitud de distancia a utilizar para cada uno de ellos. Luego de descender, los cables tienen que recorrer aproximadamente 8 *metros* más hasta llegar al interior del cuarto eléctrico.

## B. Inversión

Entrando en materia de lo que justificara en gran parte las decisiones futuras que el Centro Comercial pueda considerar tomar, los recursos a invertir son principalmente 2, tiempo y dinero.

Por la parte económica y financiera, se mostraran los siguientes argumentos que demostraran lo que supone ser la inversión a realizar en los componentes y elementos anteriormente mencionados, así como los beneficios que en conjunto se pueden obtener en función de las horas promedio de disponibilidad solar que se tengan por mes, ya que así se observara una proyección de cuanta energía el sistema podría generar de acuerdo a las condiciones climáticas y la incidencia promedio de la radiación solar dentro de la ubicación vista.

## 1. Cuantificación de costos

La empresa *AISA* proporciono una cifra exacta de lo que supondría significar poner en marcha la implementación del sistema fotovoltaico; a continuación se observara que esta empresa ofrece una estimación redonda con base a uno de los paquetes iniciales más vendidos en cuanto a proyectos de escala industrial, el cual especifican claramente que esta puede variar dependiendo del criterio final en el momento que el personal técnico realice la visita a las instalaciones para estudiar el lugar y si serán necesarias otras modificaciones que procedan a cambiar el costo total del proyecto:

Tabla 37. Presupuesto redondeado en una cifra exacta estimado por el personal de ventas de *AISA*

100 paneles solares monocristalinos de 450 W con tecnología half-cell	
4 Inversores centrales Solar de 10,000 W	
Materiales de instalación para paneles sobre techo de lámina	
Mano de obra capacitada y puesta en marcha inicial del sistema	
<b>Valor total =</b>	<b>Q 500,000.00</b>

Fuente: *AISA*, 2022.

Se indicó que las estructuras de sujeción y soporte son similares a la marca Falcat, así como otros componentes que la propia mano de obra utilizara para hacer exitosa la instalación de los paneles en la cubierta. En el costo por la mano de obra capacitada se incluye los conectores mc4, Weidmuller, conductores eléctricos, estructuras de soporte y todos aquellos elementos intrínsecos dentro de las actividades del personal técnico para realizar la instalación física y eléctrica. Se recalca por parte de *AISA* que el proyecto no incluye ductos o canaletas para proteger a los conductores eléctricos.

Este presupuesto incluye otros 2 inversores y 14 paneles más, por lo que se tendrá que restar el valor de estos dispositivos (Q32,030 y Q32,130 respectivamente) quedando ahora como presupuesto base una cantidad aproximada de Q436,000; se obtendrán los costos unitarios y los totales por la cantidad a utilizar de estos elementos vistos en el tema anterior y solo quedara obtener el valor aproximado de la mano de obra técnica a aplicarse a este proyecto:

Tabla 38. Estratificación de costos según la valorización inicial del proyecto fotovoltaico

Descripción	Costo unitario en Q.	Cantidad	Total en Q.
Panel solar SOLAR de 450 W	2,295.00	86	197,370.00
Inversor SUN-10K-G	16,015.00	2	32,030.00
Estructuras y materiales para la instalación física y eléctrica	Incluido en la ejecución del proyecto		
Total entre paneles e inversores			229,400.00
Mano de obra técnica			206,600.00
Costo total por la implementación del proyecto			436,000.00

Fuente: elaboración propia

Ahora se procederá a realizar una comparación de costos y las ventajas que tendría contratar a *AISA* para poner en marcha el proyecto fotovoltaico. Los siguientes costos unitarios por los componentes del sistema se tomaron del portal web de Autosolar y se visualizaran productos similares en cuanto a la potencia que estos pueden ofrecer; al momento de la realización de esta investigación el euro suponía tener un valor de 8.18 quetzales:

Tabla 39. Costos de dispositivos y componentes fotovoltaicos tomados del sitio web de Autosolar

Especificación	Costo unitario en euros	Cantidad	Total en euros	Total en quetzales
Panel solar JA SOLAR, 450 W de 144 células	211.46	86	18,185.56	148,757.88
Inversor HD Wave solar Edge de 10 kW	2,161.41	2	4,322.82	35,360.66
Estructura Falcat para 5 módulos.	163.99	10	1,639.9	13,414.38
Estructura Falcat para 6 módulos	210.41	6	1,262.46	10,326.92
Par de conectores Weidmuller	6.56	8	52.48	429.28
Par de conectores mc4	5.93	8	47.44	388.05
Total en Quetzales				208,677.17

Fuente: elaboración propia

Respecto al costo de los conductores y los ductos se tomó de referencia el dato que proporcionó el negocio Celuxsa ubicado en Tiquisate, el cual indicó que el precio por cada metro de cable awg 12 del tipo unipolar es de Q5.00 y cada metro del tubo flexible tiene un costo de Q5.50; el tubo tiene un diámetro de una pulgada y se utilizarán 30 m para introducir los cables positivos y otros 30 para los cables neutros.

Tabla 40. Referencia de costos de conductores y ductos

Descripción	<i>Metros</i>	Costo por metro en <i>Q.</i>	Total en <i>Q.</i>
Cable AWG 10 color rojo	240	5.00	1,200.00
Cable AWG 10 color negro	240	5.00	1,200.00
Tubo flexible para conductores positivos	30	5.50	165.00
Tubo flexible para conductores negativos	30	5.50	165.00
Total			2,730.00

Fuente: elaboración propia

Nótese que la cantidad de *metros* totales a utilizar por cada conductor (positivo y negativo) corresponde a la cantidad de *metros* que se estableció desde la cubierta sur hasta el cuarto eléctrico (30 *m*). Cada string utilizará 2 conductores, por lo tanto, serán necesarios 240 *metros* en total por cada conductor (8 strings \* 30 *m*).

Debido a que los dispositivos fotovoltaicos se localizan en el país de España, era de total relevancia encontrar un costo base que indique en cuanto se debe presupuestar el transporte de estos dispositivos. El transporte marítimo es la opción más viable para la movilización de estos, ya que mayormente el peso en conjunto de los 86 paneles supone ser el principal reto para garantizar el óptimo traslado de un continente hacia otro, lo cual comprende estar en unas 4,558 *lbs* o lo equivalente a 2.07 *toneladas* aproximadamente. Dicho esto, se procedió a cotizar en la web el flete marítimo en relación con el contenedor que tendría que ocuparse para introducir todos los objetos, el cual pretenderá ser uno de 20 pies, comprendiendo unas medidas de 5.9 *m* de largo, 2.34 *m* de ancho y 2.29 *m* de alto (iContainers, s.f.).

Este contenedor será exclusivamente para el traslado de estos objetos conociéndose en este ámbito como un envío del tipo *FCL* (iContainers, s.f.). Este servicio incluiría: la obtención de los productos fotovoltaicos por transporte terrestre en la tienda principal de Autosolar según la dirección que proporcionan en el sitio web (Carrer de Traginers, 20, 46290 Alcàsser, Valencia), montar la carga en el puerto de Valencia y el transporte marítimo hasta el puerto de Puerto Barrios, Izabal.

Ilustración 80. Costos estimados por el flete marítimo de un contenedor desde España

The screenshot displays the iContainers interface for a shipping quote. At the top, the origin is '46290 - Alcañes (SPAIN)' and the destination is 'GTPBR - Puerto de PUERTO BARRIOS (GUATEMALA)'. The cargo is 'CARGA FCL' (1x DV20). The quote shows 2 results found, with options for direct routes and currency (EUR). A 'Desglose de precios' (Price Breakdown) table is visible on the right side of the quote details.

Desglose de precios	
FLETE Y RECARGOS	6609,78 €
GASTOS LOCALES	395,82 €
GASTOS ADMINISTRATIVOS	10,00 €
SERVICIOS ADUANEROS	35,00 €
TRANSPORTE TERRESTRE	233,00 €
<b>SUBTOTAL:</b>	<b>7283,60 €</b>
IVA:	0,00 €
<b>TOTAL:</b>	<b>7283,60 €</b>

Fuente: iconainers, 2022. <https://www.iconainers.com/es/cotizaciones/FCL/ESVLC/PORT/ES/GTPBR/PORT/GT/?dv20=1>

El costo por el transporte marítimo supone comprender una cantidad aproximada de 7,283.60 euros (iContainers, s.f.) o lo equivalente en quetzales igual a 59,579.85, esto sin incluir los costos que devengara el puerto de Puerto Barrios y los que se incluirán por los tramites y acciones propias que el importador guatemalteco deberá cubrir.

## 2. Comparación de alternativas

Teniendo la información anterior se muestra la Tabla 41 el cual hace una comparativa de costos entre ambas opciones:

Tabla 41. Diferencia de costos al realizar una importación entre contratar una empresa nacional para la puesta en marcha del proyecto

Descripción	Inversión en Auto Solar en Q.	Inversión en AISA en Q.
Paneles de 450 W	148,757.88	197,370.00
Inversores de 10 kW	35,360.66	32,030.00
Estructuras de sujeción y soporte	23,741.3	206,600.00
Conectores fotovoltaicos	817.33	
Conductores eléctricos	2,400.00	
Mano de obra técnica	No aplica	
Tubos flexibles	330.00	330.00
Transporte marítimo	59,579.85	No aplica
Total en Q.	270,987.02	436,330.00

Fuente: elaboración propia

Aunque el total de ambas opciones suele ser diferente y a simple vista la compra de los dispositivos supone ser más barata al traerlos desde otro país, la mejor opción será contratar a las empresas que ofrezcan el servicio en Guatemala para la implementación de este sistema por las siguientes razones<sup>6</sup>:

- a. El mercado interno del país es más accesible e inmediato.
- b. La mano de obra técnica está incluida con el presupuesto del proyecto, así como la respectiva asesoría y seguimiento.
- c. Las empresas guatemaltecas ofrecen una garantía detallada.
- d. Al momento de cualquier eventualidad, defecto de fábrica o cualquier otro evento desfavorable respecto a los dispositivos, estas situaciones se pueden resolver en cuestión de horas o en un par de días con empresas que estén en el interior del país.
- e. Si se decidiese traer todos los dispositivos desde otro país, es alta la probabilidad que existan atrasos en el viaje del barco, ruptura, daño o hurto de los mismos componentes o cualquier otro inconveniente aduanero que atrase la implementación del sistema y que pueda

<sup>6</sup> En el caso del presente ejercicio se está incluyendo la oferta de la empresa AISA, pero existen otras en el mercado guatemalteco como lo puede ser Makbi, empresa que desarrollo un sistema fotovoltaico en la Universidad del Valle de Guatemala. <https://www.makbi.com/proyectosguatemala/universidaddelvalledeguatemala>

desencadenar en costos imprevistos, ya sea por trámites de importación o cualquier otro problema de esta índole.

f. Si los dispositivos se importaran, probablemente no existirá ninguna empresa que se decida a ofrecer solamente la mano de obra para instalar todo el sistema y si fuera así, esta mano de obra la duplicarían o triplicarían de lo que normalmente estaría valorizada, elevando por mucho la inversión del proyecto a comparación de la cotización ofrecida por una empresa nacional que ofrezca tanto los materiales y dispositivos, así como la instalación y adecuación del sistema a la red.

g. Si los dispositivos importados son exitosamente implementados y en un futuro uno de los paneles sufre una ruptura o golpe que quiebre su vidrio templado, queda preguntarse... ¿En cuánto tiempo vendrá un panel nuevo? ¿Cuánto sería el costo por traer solamente un panel? ¿Cómo afectaría la producción con la ausencia de un módulo en el string correspondiente por esperar que el nuevo panel solar venga de otro país?

h. Al contratar a una empresa en el interior del territorio nacional para dar marcha al proyecto, se evitarían los asuntos y trámites aduaneros propios de recibir un contenedor en cualquiera de los puertos del país, cosa que si sucediera al contrario, se tendría que contratar a otra empresa especializada para que se encargue de dichos asuntos y poder traer el contenedor hasta las instalaciones del Centro Comercial, lo que evidentemente desencadenaría en otros costos importantes a contemplar como lo es el transporte terrestre.

Si Íntegro desea saber un capital redondo mayor y más próximo al total anterior visto debido a las modificaciones y criterios finales que supongan elevar la inversión, entonces el presupuesto total con el que se deberá disponer para la realización de este proyecto será alrededor de Q450,000.00. Lo que siempre quedara por hacer al momento de negociar, es tratar de mantener baja en lo más que se pueda la utilización de este capital extra (Q13,670.00) al momento que el personal técnico indique las decisiones finales, lo cual podría elevar los costos en cuanto a la adecuación del sistema fotovoltaico en el edificio, así como la adaptación al punto de conexión con la red eléctrica.

### 3. Tiempo de instalación

AISA propone que el tiempo que se podría demorar el personal técnico para desarrollar el proyecto en el Centro Comercial será entre 1 o 2 días, dependiendo siempre de la complejidad que requieran las actividades a realizar; el tiempo para el trámite con Energuate para solicitar ser un UAEE puede también estar entre 1 o 2 días y el cambio del contador convencional a uno

bidireccional, así como la conexión del sistema fotovoltaico a las redes de distribución, puede tomar entre 3 días a 2 semanas.

Se plantea el siguiente cronograma para que el personal de mantenimiento del Centro Comercial pueda ir verificando las actividades principales que se llevaran a cabo por el personal técnico:

Tabla 42. Cronograma de las actividades principales para conformar el sistema fotovoltaico

Actividades para la Instalación del Sistema	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7
Instalación de estructuras							
Acoplamiento de los módulos a las estructuras							
Interconexión de los módulos en serie							
Conectar un Weidmuller a cada terminal de los strings							
Conectar cada Weidmuller a cada conductor AWG 10							
Conectar en el otro extremo de cada conector un MC4							
Conectar y verificar la conexión de los MC4 a los inversores							
Programar inversores							
Sacar las líneas eléctricas de los inversores y conectar a protecciones							
Otorgar tiempo al personal de DECOSA para realizar conexión a red							
Verificar la actividad técnica de DEOCSA y la mano de obra contratada							
Verificar la actividad del sistema en conjunto							
Verificar la correcta sujeción de todo el sistema							

Fuente: elaboración propia

#### 4. Análisis financiero

Como parte de todas las decisiones en conjunto al evaluar un proyecto, normalmente la financiera se suele considerar de último, pero no por menos importante, sino al contrario, es la que determina un factor vital dentro de las funciones de las empresas con fines de lucro. Principalmente se determina y establece un concepto clave y es que el dinero va cambiando su valor respecto al tiempo y dependiendo en donde se encuentre un valor monetario respecto a un punto temporal, este se verá afectado ya sea en incrementar su valor o depreciarlo.

Antes de presentar las herramientas de evaluación financiera necesarias para dar un punto de vista razonable, tomando en cuenta la inversión inicial que comprende este proyecto renovable, se desarrollarán conceptos relacionados entre sí y que corresponden a la matemática básica financiera, los cuales darán a conocer la importancia de estos.

##### a. Producción y rendimiento

Si se quiere obtener una producción de los *kWh* en función de las *HSP* promedio de cada mes del año, se muestra lo siguiente:

Tabla 43. Producción de energía según las HSP de cada mes

Mes	HSP promedio	Días	Potencia Instalada en W	Producción diaria en kWh	Producción mensual en kWh
Enero	7.1	31	34,830	247.29	7,666.08
Febrero	6.89	28	34,830	239.98	6,719.40
Marzo	6.09	31	34,830	212.11	6,575.56
Abril	4.71	30	34,830	164.05	4,921.48
Mayo	3.73	31	34,830	129.92	4,027.39
Junio	4.17	30	34,830	145.24	4,357.23
Julio	4.76	31	34,830	165.79	5,139.51
Agosto	4.64	31	34,830	161.61	5,009.95
Septiembre	4.1	30	34,830	142.80	4,284.09
Octubre	4.41	31	34,830	153.60	4,761.61
Noviembre	5.75	30	34,830	200.27	6,008.18
Diciembre	6.68	31	34,830	232.66	7,212.60
				<b>Producción anual en kWh</b>	<b>66,683.08</b>
		<b>Demanda mensual en kWh</b>	<b>4,021.01</b>		

Fuente: elaboración propia

El proyecto tiene la capacidad de producir hasta 66.68 MWh de energía anual con la disponibilidad de energía solar vista. Este último dato se obtendría en el primer año, momento en que los paneles tienen el 100 % de su rendimiento, pero a medida que los años avanzan los mismos disminuirán en su rendimiento y no podrán entregar la misma cantidad de energía; se procede a considerar el descenso del rendimiento de la siguiente manera con base a la vida útil promedio de los paneles solares:

Tabla 44. Producción de energía respecto a la disminución del rendimiento durante la vida útil de los paneles

Año	Rendimiento de paneles respecto al tiempo	Producción promedio anual en kWh	Producción anual en kWh respecto al rendimiento
1	100%	66,683.08	66,683.08
2	99.17%	66,683.08	66,129.61
3	98.33%	66,683.08	65,569.47
4	97.50%	66,683.08	65,016.00
5	96.67%	66,683.08	64,462.53
6	95.83%	66,683.08	63,902.40
7	95%	66,683.08	63,348.93
8	94.17%	66,683.08	62,795.46
9	93.33%	66,683.08	62,235.32
10	92.50%	66,683.08	61,681.85
11	91.67%	66,683.08	61,128.38
12	90.83%	66,683.08	60,568.24
13	90%	66,683.08	60,014.77
14	89.17%	66,683.08	59,461.30
15	88.33%	66,683.08	58,901.16
16	87.50%	66,683.08	58,347.69
17	86.67%	66,683.08	57,794.23
18	85.83%	66,683.08	57,234.09
19	85%	66,683.08	56,680.62
20	84.17%	66,683.08	56,127.15
21	83.33%	66,683.08	55,567.01
22	82.50%	66,683.08	55,013.54
23	81.67%	66,683.08	54,460.07
24	80.83%	66,683.08	53,899.93
25	80%	66,683.08	53,346.46

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 44 es muy notable la disminución en la producción de energía que se va dando año tras año debido a que el propio sistema va reteniendo cada vez menos cantidad del recurso solar mientras se encamina al final de su vida útil.

Si se considera un promedio del costo por cada *kWh* bajo una tarifa de un usuario Autoprodutor, se obtiene que cada *kWh* ha venido comprendiendo un costo en la primera mitad del año 2,022 de *Q1.95* según los datos que proporciona el portal web de la *CNEE*:

Ilustración 81. Pliegos tarifarios en mayo del 2,022 publicados por la *CNEE*

RESOLUCIÓN	CNEE-107-2022 CNEE-108-2022
<b>Tarifa: Social - TS</b>	Valor
Cargo por Consumidor (Q/usuario-mes)	21.143178
Cargo Unitario por Energía (Q/kWh)	2.116621
<b>Tarifa: Baja Tension No Social - BTS</b>	Valor
Cargo por Consumidor (Q/usuario-mes)	21.143178
Cargo Unitario por Energía (Q/kWh)	2.248439
<b>Tarifa: Baja Tensión Autoprodutores - BTSA</b>	Valor
Cargo por Consumidor (Q/usuario-mes)	21.143178
Cargo Unitario por Energía (Q/kWh)	2.080134

Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica, 2022. <https://www.cnee.gob.gt/Calculadora/pliegos.php>

A pesar de tener estos datos, es importante aclarar que la valorización económica que se pretende tomar en cuenta es la cantidad de energía promedio demandada por el Centro Comercial en un día (*129.71 kWh*) o anualmente (*129.71 kWh \* 365 días*). Aunque en el primer año de funcionamiento se tenga una cantidad promedio de energía producida de *66,683.08 kWh*, lo que realmente se cuantificara serán los *47,344.15 kWh* demandados anualmente por las instalaciones, ya que en este caso *DEOCSA* no reconoce y se especifica en la *NTGDR*, ninguna retribución monetaria por los excedentes de energía que se inyecten a la red.

Por lo tanto, es necesario entender que la cantidad de *Q92,321.09* (*47,344.15 kWh \* Q1.95 / kWh*) representará el ahorro total que se estará percibiendo constante y anualmente, ya que

incluso con la producción del último año de vida útil de los paneles solares, será suficiente para sostener la demanda anual del Centro Comercial.

Al valor anterior habrá que restarle la tasa de alumbrado público para usuarios de baja tensión, lo cual será de Q2,400 anuales ( $Q200 * 12$  meses) y el cargo fijo para usuarios Autoprodutores que en promedio se estima en Q20.71 mensuales o Q248.52 anuales. Incluso cancelando en efectivo y directamente a la distribuidora una cantidad de Q2,648.52 por año, seguirá teniendo más valor la actividad que los paneles realizan al tratar de mantener la demanda anual, por lo que en términos monetarios, el ahorro anual no se ve afectado si se cancela este monto, ya que la actividad del sistema en este caso estaría valorizada en Q89,672.57 ( $Q92,321.09 - Q2,648.52$ ).

Para poner a prueba la eficiencia y productividad del sistema en base al rendimiento de los módulos generadores, se planteará en las siguientes páginas un escenario hipotético extremo y desfavorable.

Tabla 45. Producción de energía según las HSP de cada mes y los excedentes energéticos generados

Mes	HSP promedio	Días	Potencia Instalada en W	Producción diaria en kWh	Producción mensual en kWh	Excedentes en kWh
Enero	7.1	31	34,830	247.29	7,666.08	3,645.07
Febrero	6.89	28	34,830	239.98	6,719.40	2,698.39
Marzo	6.09	31	34,830	212.11	6,575.56	2,554.55
Abril	4.71	30	34,830	164.05	4,921.48	900.47
Mayo	3.73	31	34,830	129.92	4,027.39	6.38
Junio	4.17	30	34,830	145.24	4,357.23	336.22
Julio	4.76	31	34,830	165.79	5,139.51	1,118.50
Agosto	4.64	31	34,830	161.61	5,009.95	988.94
Septiembre	4.1	30	34,830	142.80	4,284.09	263.08
Octubre	4.41	31	34,830	153.60	4,761.61	740.60
Noviembre	5.75	30	34,830	200.27	6,008.18	1,987.17
Diciembre	6.68	31	34,830	232.66	7,212.60	3,191.59
				<b>Producción anual en kWh</b>	<b>66,683.08</b>	
		<b>Demanda mensual en kWh</b>	<b>4,021.01</b>			

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 45 se considera tan solo la producción promedio anual respecto al primer año de vida útil, sin embargo, para probar la valiosa y cuantificable función que tendría el sistema atado a la red, se tomarán los excedentes de energía que habría en cada mes los cuales la distribuidora registraría y los descontaría hasta que ya no exista algún excedente a favor del UAEE. En la Tabla 46 se relaciona la capacidad del sistema de producir excedentes respecto al rendimiento:

Tabla 46. Producción de excedentes energéticos según el mes y según el rendimiento por año

Año	Rendimiento	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	1	3,645.07	2,698.39	2,554.55	900.47	6.38	336.22	1,118.50	988.94	263.08	740.60	1,987.17	3,191.59
2	0.9917	3,614.82	2,676.00	2,533.34	893.00	6.33	333.43	1,109.22	980.73	260.90	734.45	1,970.67	3,165.10
3	0.9833	3,584.20	2,653.33	2,511.88	885.43	6.28	330.61	1,099.83	972.42	258.69	728.23	1,953.98	3,138.29
4	0.975	3,553.95	2,630.93	2,490.68	877.96	6.22	327.82	1,090.54	964.21	256.50	722.08	1,937.49	3,111.80
5	0.9667	3,523.69	2,608.54	2,469.48	870.48	6.17	325.03	1,081.26	956.01	254.32	715.94	1,920.99	3,085.31
6	0.9583	3,493.07	2,585.87	2,448.02	862.92	6.12	322.20	1,071.86	947.70	252.11	709.72	1,904.30	3,058.50
7	0.95	3,462.82	2,563.47	2,426.82	855.45	6.06	319.41	1,062.58	939.49	249.93	703.57	1,887.81	3,032.01
8	0.9417	3,432.57	2,541.08	2,405.62	847.97	6.01	316.62	1,053.30	931.28	247.74	697.42	1,871.31	3,005.52
9	0.9333	3,401.95	2,518.41	2,384.16	840.41	5.96	313.80	1,043.90	922.98	245.53	691.20	1,854.62	2,978.71
10	0.925	3,371.69	2,496.01	2,362.95	832.93	5.90	311.01	1,034.62	914.77	243.35	685.05	1,838.13	2,952.22
11	0.9167	3,341.44	2,473.62	2,341.75	825.46	5.85	308.22	1,025.33	906.56	241.17	678.91	1,821.63	2,925.73
12	0.9083	3,310.82	2,450.95	2,320.29	817.90	5.80	305.39	1,015.94	898.25	238.96	672.69	1,804.94	2,898.92
13	0.9	3,280.57	2,428.55	2,299.09	810.42	5.74	302.60	1,006.65	890.04	236.77	666.54	1,788.45	2,872.43
14	0.8917	3,250.31	2,406.16	2,277.89	802.95	5.69	299.81	997.37	881.84	234.59	660.39	1,771.96	2,845.94
15	0.8833	3,219.69	2,383.49	2,256.43	795.38	5.64	296.99	987.98	873.53	232.38	654.17	1,755.26	2,819.13
16	0.875	3,189.44	2,361.09	2,235.23	787.91	5.59	294.20	978.69	865.32	230.20	648.02	1,738.77	2,792.64
17	0.8667	3,159.18	2,338.70	2,214.02	780.44	5.53	291.40	969.41	857.11	228.01	641.88	1,722.28	2,766.15
18	0.8583	3,128.57	2,316.03	2,192.57	772.87	5.48	288.58	960.01	848.80	225.80	635.66	1,705.58	2,739.34
19	0.85	3,098.31	2,293.63	2,171.36	765.40	5.43	285.79	950.73	840.60	223.62	629.51	1,689.09	2,712.85
20	0.8417	3,068.06	2,271.24	2,150.16	757.92	5.37	283.00	941.45	832.39	221.43	623.36	1,672.60	2,686.36
21	0.8333	3,037.44	2,248.57	2,128.70	750.36	5.32	280.17	932.05	824.08	219.22	617.14	1,655.90	2,659.55
22	0.825	3,007.19	2,226.17	2,107.50	742.89	5.27	277.38	922.77	815.87	217.04	610.99	1,639.41	2,633.06
23	0.8167	2,976.93	2,203.78	2,086.30	735.41	5.21	274.59	913.48	807.67	214.86	604.85	1,622.92	2,606.57
24	0.8083	2,946.31	2,181.11	2,064.84	727.85	5.16	271.77	904.09	799.36	212.65	598.63	1,606.23	2,579.76
25	0.8	2,916.06	2,158.71	2,043.64	720.38	5.11	268.98	894.80	791.15	210.46	592.48	1,589.73	2,553.27

Fuente: elaboración propia

El escenario hipotético que servirá para poner a prueba el sistema según estas bases teóricas es el siguiente; si se supone que, en los meses de mayo, junio, septiembre y octubre, el sistema no produjera la demanda promedio mensual, sino que el consumo de cada uno de estos meses sea sustentado solo por los excedentes de los meses anteriores, se obtienen los siguientes resultados. Se escogieron los meses anteriores debido a que son los que cuentan con las menores *HSP*:

Tabla 47. Demanda de los meses inapropiados siendo abastecida por los excedentes producidos en los otros meses

Año	Excedentes de Noviembre a Abril	Demanda Mayo y Junio	Excedente para Septiembre y Octubre	Demanda de Septiembre y Octubre	Excedente a principios de Nov.
1	14,977.23	8,042.02	9,042.65	8,042.02	1,000.63
2	15,853.56	8,042.02	9,901.49	8,042.02	1,859.47
3	16,586.58	8,042.02	10,616.81	8,042.02	2,574.79
4	17,177.59	8,042.02	11,190.33	8,042.02	3,148.31
5	17,626.80	8,042.02	11,622.04	8,042.02	3,580.02
6	17,932.70	8,042.02	11,910.24	8,042.02	3,868.22
7	18,096.59	8,042.02	12,056.64	8,042.02	4,014.62
8	18,118.68	8,042.02	12,061.24	8,042.02	4,019.22
9	17,997.47	8,042.02	11,922.33	8,042.02	3,880.31
10	17,734.25	8,042.02	11,641.61	8,042.02	3,599.59
11	17,329.22	8,042.02	11,219.10	8,042.02	3,177.08
12	16,780.90	8,042.02	10,653.07	8,042.02	2,611.05
13	16,090.55	8,042.02	9,945.23	8,042.02	1,903.21
14	15,258.41	8,042.02	9,095.60	8,042.02	1,053.58
15	14,282.97	8,042.02	8,102.45	8,042.02	60.43
16	13,165.51	8,042.02	6,967.50	8,042.02	-1,074.52
17	12,980.77	8,042.02	6,765.27	8,042.02	-1,276.75
18	12,854.96	8,042.02	6,621.76	8,042.02	-1,420.26
19	12,730.65	8,042.02	6,479.95	8,042.02	-1,562.07
20	12,606.34	8,042.02	6,338.15	8,042.02	-1,703.87
21	12,480.53	8,042.02	6,194.64	8,042.02	-1,847.38
22	12,356.22	8,042.02	6,052.84	8,042.02	-1,989.18
23	12,231.91	8,042.02	5,911.03	8,042.02	-2,130.99
24	12,106.10	8,042.02	5,767.52	8,042.02	-2,274.50
25	11,981.79	8,042.02	5,625.72	8,042.02	-2,416.30

Fuente: elaboración propia

Se plantea que el sistema sea implementado dentro de las últimas 2 semanas de octubre, para que sumado con el tiempo en que autoriza y licita la distribuidora la operación con la red, este empiece a funcionar correctamente a inicios de noviembre. Dando inicio la actividad del sistema con la red, del mes de noviembre al mes de abril supondrá sustentar la demanda mensual del Centro Comercial en esos meses y generará un excedente de 14,977.23 kWh. La cantidad de kWh anteriores suministraran la demanda de mayo y junio, llegando a presentar después de haber cubierto ambas demandas un excedente nuevo que tendrá que ser adicionado con los excedentes de los meses de julio y agosto, lo cual será de 9,042.65 kWh y que supondrá abastecer las demandas de septiembre y octubre, quedando como excedente una cantidad de 1,000.63 kWh al final del primer año de funcionamiento del sistema. Este último excedente tendrá que ser sumado con los excedentes de noviembre hasta abril del segundo año para que nuevamente se repita el proceso hasta ir obteniendo los resultados de la Tabla 47.

Se observa una acumulación máxima de excedentes hasta el año 8 de la vida útil y es a partir de este año que las consecuencias por la disminución del rendimiento de los paneles se hacen presentes, ya que el rango de meses que supone acumular más energía empieza a disminuir de forma gradual. Los excedentes que se tienen acumulados para cubrir la demanda de septiembre y octubre en el año 16 ya no son suficientes para abastecer a dichos meses y haría falta tomar

energía de la red según los valores negativos ascendentes que hacen presencia en la columna de los excedentes finales a principios de noviembre de la Tabla 47.

b. Valor presente o actual

Hasta este punto es entonces de aclarar que este proyecto contiene una inversión considerablemente alta, pero que así mismo este va desarrollando desde el primer año de su funcionamiento su propia generación de flujos de entrada valorizados en quetzales debido a la demanda anual sustentada. Como cada entrada o ahorro económico es beneficiosa, entonces esta representa una disminución de costos operativos al no movilizar dinero del capital de la empresa para pagar directamente los *kWh* consumidos en las áreas comunes, más que solo por los costos fijos impuestos por el distribuidor, los cuales como ya se demostró, estos costos son inferiores en cuanto al valor monetario que tiene la actividad anual del sistema fotovoltaico.

El valor actual consiste en atraer todos estos flujos de beneficios o entradas al presente distribuidos en distintos puntos del tiempo, en los cuales se aplica una tasa de descuento de acuerdo con la compra de activos que van perdiendo su valor. Para evaluar proyectos de inversión de larga vida útil es muy recomendable empezar a entender el concepto del valor presente, debido a que la valorización más alejada siempre suele valer menos en el presente; la ecuación para actualizar todos estos flujos del futuro al presente es la siguiente:

Ecuación 6. Valor actual respecto a una tasa de descuento

$$VP = FE_t / (1 + k)^t$$

Donde VP representa el valor presente, FE es un flujo de efectivo en un tiempo mayor a uno hasta n y k es una tasa de interés o descuento (Guit Pérez, Palencia Ovando y Martínez Samayoa, 2016:128).

Con base en la ecuación 6 se obtiene que FE será la valorización en quetzales de la energía abastecida correspondiente a la demanda anual menos los costos fijos; k será una tasa de descuento que normalmente se suele aplicar a los proyectos de este tipo, el cual suele estar entre un 8% al 12% (Contreras, 2021:171). Se considerará una tasa del 10 % para este sistema, mientras tanto t ira cambiando su valor dependiendo el año que se desee analizar:

Tabla 48. Valorización de la demanda anual sostenida siendo actualizada al presente en función al año de análisis

Año		Flujo neto anual		Valores actuales
1	Q	89,672.57	Q	81,520.52
2	Q	89,672.57	Q	74,109.56
3	Q	89,672.57	Q	67,372.33
4	Q	89,672.57	Q	61,247.57
5	Q	89,672.57	Q	55,679.61
6	Q	89,672.57	Q	50,617.83
7	Q	89,672.57	Q	46,016.21
8	Q	89,672.57	Q	41,832.92
9	Q	89,672.57	Q	38,029.92
10	Q	89,672.57	Q	34,572.66
11	Q	89,672.57	Q	31,429.69
12	Q	89,672.57	Q	28,572.44
13	Q	89,672.57	Q	25,974.95
14	Q	89,672.57	Q	23,613.59
15	Q	89,672.57	Q	21,466.90
16	Q	87,577.26	Q	19,059.36
17	Q	85,087.59	Q	16,834.13
18	Q	82,318.08	Q	14,805.63
19	Q	79,272.05	Q	12,961.61
20	Q	75,949.50	Q	11,289.41
21	Q	72,347.11	Q	9,776.31
22	Q	68,468.20	Q	8,411.04
23	Q	64,312.78	Q	7,182.33
24	Q	59,877.51	Q	6,079.10
25	Q	55,165.72	Q	5,091.58

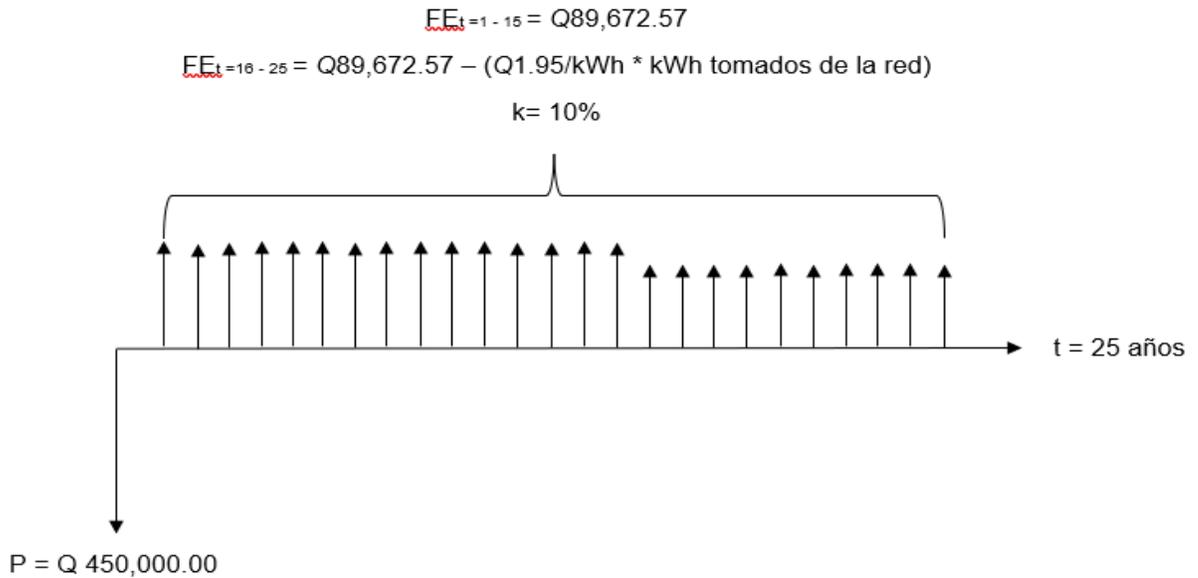
Fuente: elaboración propia

La Tabla 48 continua con el escenario desfavorable planteado para evaluar la actividad del sistema y se observa que hasta el año 15 el flujo neto anual supone ser el mismo, pero a partir del año 16 este va disminuyendo debido a que se tendría que tomar cierta cantidad de energía de la red según lo mostrado en la Tabla 47. Claramente mientras n o los años aumenten, la valorización disminuirá en su actualización al presente.

c. Valor Actual Neto (VAN)

Es el método más conocido por grandes empresas para evaluar diferentes proyectos que requieran de una seria e importante inversión, pero que a su vez se espera que dicho proyecto genere beneficios a lo largo del tiempo según la vida útil del mismo (Guit Pérez, Palencia Ovando, y Martínez Samayoa, 2016:130). El análisis consiste en observar principalmente una gráfica como la de la Ilustración 82 a la que se le conoce como diagrama de flujo de efectivo:

Ilustración 82. Diagrama de flujo de efectivo de toda la vida útil del proyecto



Fuente: elaboración propia

Básicamente el VAN indica que si la sumatoria de todos los flujos futuros actualizados al presente supera a la inversión, entonces se considera un proyecto interesante del que se puede esperar beneficios. Su ecuación es la siguiente:

Ecuación 7. Valor Actual Neto

$$VAN = [FE_1 / (1+k)^1 + FE_2 / (1+k)^2 \dots + FE_t / (1+k)^t] - P$$

La sumatoria de todos los flujos actualizados de la Tabla 48 conlleva a un resultado igual a Q793,547.19 y al sustraer el valor P (inversión) se obtiene que el proyecto cuenta con un VAN de Q343,547.19; si el VAN es mayor a cero significa que los flujos futuros son suficientes para hacer que el total de estos sea mayor a la inversión considerando toda su vida útil, por lo tanto el proyecto deberá aceptarse y deberá buscarse aquel con el VAN más alto en el caso de que sean 2 o más proyectos a comparar (Guit Pérez, Palencia Ovando, y Martínez Samayoa, 2016:131). Si es menor a cero y con cantidad negativa, el proyecto se rechaza, debido a que por su tasa de descuento, magnitud de los flujos o el tiempo, estén interviniendo para que el proyecto en si sea ineficiente al no alcanzar la inversión inicial, indicando claramente que tras dar marcha a esta situación no se tendrán más que pérdidas.

d. Índice de Rentabilidad (*IR*)

Se trata de una variación en la fórmula del *VAN* para proyectos que generan flujos de efectivos o beneficios a lo largo del tiempo; se obtiene al dividir el factor de conversión de un flujo futuro a presente (ecuación 6) entre la inversión inicial. Si el resultado es igual a 1 esto da una interpretación estimada en el cual el proyecto tendrá la capacidad de mantenerse hasta el final de su vida útil, pero sin generar beneficios, o sea un  $VAN = 0$ . Si es mayor a 1 significa que los valores de los flujos actualizados al presente superan a la salida inicial o la inversión y por lo tanto generara beneficios. Por lo general las empresas utilizan el *VAN* y el *IR* como principales e iniciales factores de rentabilidad para evaluar un proyecto y analizar mejor el criterio en la toma de decisiones (Guit Pérez, Palencia Ovando y Martínez Samayoa, 2016: 133-134). Su ecuación es la siguiente:

Ecuación 8. Índice de Rentabilidad

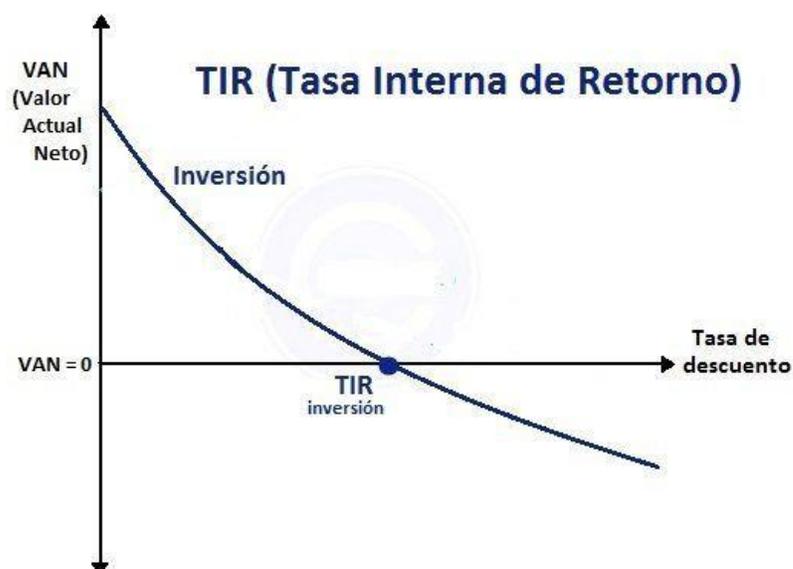
$$IR = [FE_1 / (1+k)^1 + FE_2 / (1+k)^2 \dots + FE_t / (1+k)^t] / P$$

Este proyecto según su parte cuantificable cuenta con un *IR* de 1.7, lo que quiere dar a entender también que por cada unidad monetaria que se invierta en este proyecto, se aumentara al final de la vida útil del mismo en 1.7 veces el valor actual (Cornejo, 2017).

e. Tasa Interna de Retorno o de Rendimiento (*TIR*)

Para entender el siguiente concepto será necesario observar la Ilustración 83:

Ilustración 83. Curva de relación entre la tasa de descuento y el *VAN*



Fuente: Economipedia, 2014. <https://economipedia.com/definiciones/tasa-interna-de-retorno-tir.html>

Es una tasa de descuento que hace ver cuál es el porcentaje de oportunidad que se tendría en el proyecto con un  $VAN = 0$ . Dicho de otra forma, la  $TIR$  hace que la sumatoria entre todos los flujos de efectivo actualizados sean igual a la inversión inicial (Guit Pérez, Palencia Ovando y Martínez Samayoa, 2016:140). Se observa en la Ilustración 83 que mientras más alta sea la tasa de descuento, menores beneficios traerá el proyecto incluso llegando a representar valores negativos cuando el  $VAN$  es menor que 0. En la ecuación 7, al cambiar la variable  $k$  por el valor de la  $TIR$ , el  $VAN$  deberá hacerse 0, por lo tanto, se procede a definir lo que matemáticamente significa encontrar el valor de esta tasa:

$$VAN = [FE_1 / (1 + TIR)^1 + FE_2 / (1 + TIR)^2 \dots + FE_{25} / (1 + TIR)^{25}] - P$$

$$0 = [FE_1 / (1 + TIR)^1 + FE_2 / (1 + TIR)^2 \dots + FE_{25} / (1 + TIR)^{25}] - P$$

Ecuación 9. Tasa Interna de Retorno

$$P = [FE_1 / (1 + TIR)^1 + FE_2 / (1 + TIR)^2 \dots + FE_{25} / (1 + TIR)^{25}]$$

En la ecuación 9 habrá que basarse para encontrar la  $TIR$ . Lo que instantáneamente se pensaría hacer es despejar la  $TIR$  para encontrar su valor, sin embargo, así mismo es notable que esto es imposible de realizar, ya que se estaría hablando de resolver una ecuación de grado 25, lo cual será necesario utilizar algún software o calculadora financiera que pueda realizar este cálculo, en este caso se utilizara el programa Microsoft Excel para calcularla:

Tabla 49. Inversión, flujos de efectivo y los años totales de vida útil del proyecto

Año	Flujo de efectivo
0	-450,000
1	89,672.57
2	89,672.57
3	89,672.57
4	89,672.57
5	89,672.57
6	89,672.57
7	89,672.57
8	89,672.57
9	89,672.57
10	89,672.57
11	89,672.57
12	89,672.57
13	89,672.57
14	89,672.57
15	89,672.57
16	87,577.26
17	85,087.59
18	82,318.08
19	79,272.05
20	75,949.50
21	72,347.11
22	68,468.20
23	64,312.78
24	59,877.51
25	55,165.72

Fuente: elaboración propia

Bastará solo con colocar la función *TIR* y automáticamente se indicará escribir un rango de valores los cuales se desea poner a analizar por el software, dicho rango será desde la inversión inicial (siempre en negativo) hasta el flujo de efectivo número 25, dando como resultado una *TIR* del 19.54%. Si la *TIR* es mayor que la tasa mínima exigida por la empresa o inversionista entonces debe aceptarse tal oportunidad de inversión, ya que el propio rendimiento o retorno del proyecto está superando al porcentaje de rendimiento mínimo esperado por el inversionista (Urbina, 2018:120).

f. Tasa Mínima Aceptable de Rendimiento (*TMAR*) o costo de capital

Todo inversionista que esté pensando poner en operación su dinero para dar marcha a un determinado proyecto, siempre llevara su criterio en cuanto a una tasa mínima aceptable sobre el rendimiento del capital aportado durante la duración del proyecto. Cualquier persona puede calcular su propia *TMAR* basándose principalmente en dos variables que componen la siguiente ecuación:

Ecuación 10. Tasa Mínima Aceptable de Retorno  
$$TMAR = i + f + (i * f)$$

En donde *i* es un porcentaje denominado premio al riesgo, que por lo general siempre se recomienda que este entre un 10% o 15%, aunque cada proyecto podrá diferenciarse de los más comunes y presentar factores que incidan en aumentar esta tasa. La *f* significa la tasa de inflación a la que la región o el país ha estado presentando durante los últimos años, tal dato se puede consultar en portales web de bancos o paginas financieras gubernamentales dependiendo la nación (Urbina, 2018:96).

Para el efecto anterior, se considerará obtener un promedio según el ritmo inflacionario a lo largo de 25 años atrás según la tabla 50 elaborada por el Instituto Nacional de Estadística (*INE*, s.f.):

Tabla 50. Ritmo inflacionario en Guatemala

**INFLACIÓN TOTAL  
RITMO INFLACIONARIO  
AÑOS 1996 - 2022  
PORCENTAJES**

Periodo	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Enero	9.76	10.80	7.29	6.29	5.27	6.05	8.85	6.20	6.21	9.04	8.08	6.22	8.39	7.88	1.43	4.90	5.44	3.86	4.14	2.32	4.38	3.83	4.71	4.10	1.78	5.24	2.87
Febrero	10.83	12.66	5.45	5.17	6.62	5.99	9.01	6.00	6.26	9.04	7.26	6.62	8.76	6.50	2.48	5.24	5.17	4.18	3.50	2.44	4.27	3.96	4.15	4.46	1.24	6.00	2.98
Marzo	11.48	11.51	6.11	3.99	8.28	5.42	9.13	5.78	6.57	8.77	7.28	7.02	9.10	5.00	3.93	4.99	4.55	4.34	3.25	2.43	4.26	4.00	4.14	4.17	1.77	5.84	4.17
Abril	11.95	10.13	6.94	3.47	9.07	4.87	9.25	5.67	6.65	8.88	7.48	6.40	10.37	3.62	3.75	5.76	4.27	4.13	3.27	2.58	4.09	4.09	3.92	4.75	1.88	5.20	4.62
Mayo	11.02	9.61	7.32	3.73	7.36	6.05	9.31	5.56	7.27	8.52	7.62	5.47	12.24	2.29	3.51	6.39	3.90	4.27	3.22	2.55	4.36	3.93	4.09	4.54	1.80	5.17	
Junio	10.34	8.97	7.43	4.22	7.23	6.30	9.14	5.24	7.40	8.80	7.55	5.31	13.56	0.62	4.07	6.42	3.47	4.79	3.13	2.39	4.43	4.36	3.79	4.80	2.39	3.91	
Julio	11.60	7.98	7.27	5.22	6.14	6.97	9.10	4.65	7.64	9.30	7.04	5.59	14.16	-0.30	4.12	7.04	2.86	4.74	3.41	2.32	4.62	5.22	2.61	4.37	2.88	3.82	
Agosto	12.03	8.05	6.31	6.03	4.71	8.79	7.73	4.96	7.66	9.37	7.00	6.21	13.69	-0.73	4.10	7.63	2.71	4.42	3.70	1.96	4.74	4.72	3.36	3.01	4.19	3.62	
Septiembre	11.77	8.33	5.49	6.79	4.29	8.99	7.10	5.68	8.05	9.45	5.70	7.33	12.75	0.03	3.76	7.25	3.28	4.21	3.45	1.88	4.56	4.36	4.55	1.80	4.97	3.67	
Octubre	10.64	8.48	4.97	7.57	3.84	9.47	6.60	5.84	8.64	10.29	3.85	7.72	12.93	-0.65	4.51	6.65	3.35	4.15	3.64	2.23	4.76	4.20	4.34	2.17	5.34	2.96	
Noviembre	10.44	7.66	7.35	5.15	4.17	9.51	6.34	5.84	9.22	9.25	4.40	9.13	10.85	-0.61	5.25	6.05	3.11	4.63	3.38	2.51	4.67	4.69	3.15	2.92	5.46	2.89	
Diciembre	10.85	7.13	7.48	4.92	5.08	8.91	6.33	5.85	9.23	8.57	5.79	8.75	9.40	-0.28	5.39	6.20	3.45	4.39	2.95	3.07	4.23	5.68	2.31	3.41	4.82	3.07	

Fuente: Banco de Guatemala, 2022. <http://www.banguat.gob.gt/page/inflacion-total>

Del promedio de cada año se obtiene un promedio general y se comprende en 5.7% la inflación de la divisa guatemalteca; considerando a su vez la tasa promedio propuesta en la sección del VAN como premio al riesgo, se obtiene el siguiente dato:

$$TMAR = 0.1 + 0.057 + (0.1) (0.057)$$

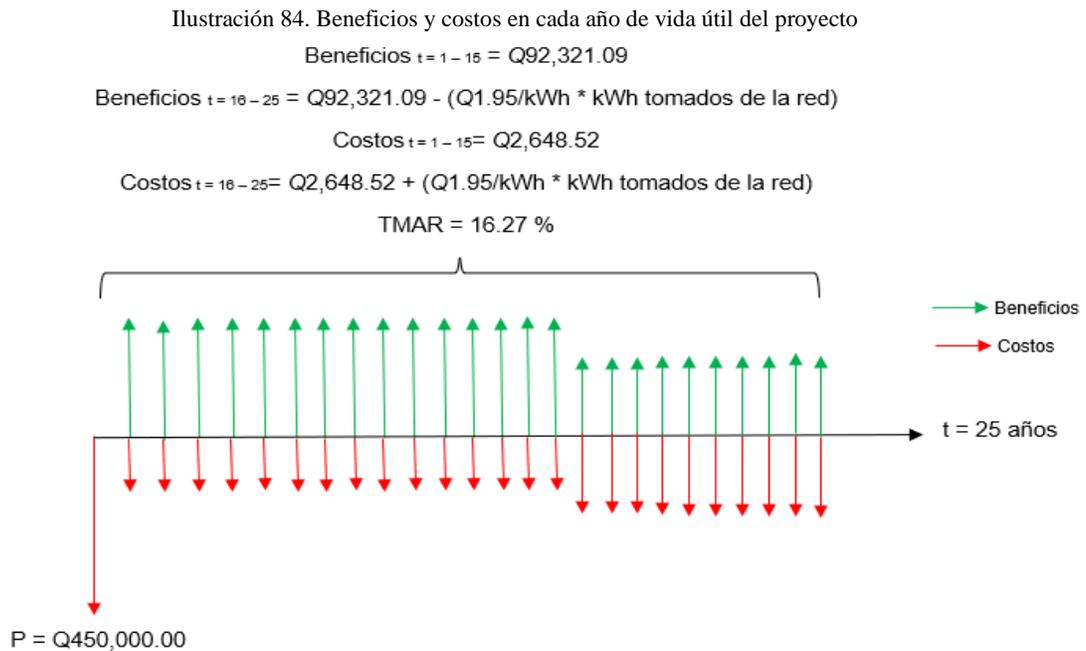
$$TMAR = 0.157 + 0.0057$$

La suma anterior da como resultado 0.1627, lo que es igual a decir que la *TMAR* que deberá considerar Íntegro será un valor muy próximo o exacto al 16.27%. Esta tasa se puede sustituir por la variable *k* en la fórmula del VAN, con lo que se sigue teniendo un valor por encima de 0 igual a Q82,246.93, por lo que dicho esto y observando que la *TMAR* es menor que la *TIR* (19.54%), el sistema fotovoltaico hasta este punto sigue manteniéndose con estos factores de rentabilidad en un estado positivo incluso con el escenario hipotético desfavorable considerado para estos indicadores.

g. Costo - Beneficio

Es un método que consiste en obtener un cociente entre los costos que comprende el proyecto a lo largo de su vida y los beneficios que el mismo producirá. Para obtener un resultado más sólido y confiable se recomienda que las entradas y salidas se trabajen por aparte y en sus valores presentes o actualizados, ya que esto funciona de mejor manera si se considera el valor del dinero en el tiempo. Este método se empezó a utilizar mayormente para los proyectos gubernamentales y sociales sin fines de lucro, en donde es necesario afirmar que tales proyectos serán rentables en el sentido de la recuperación del capital dada una tasa base como lo puede ser la inflación (Urbina, 2018:122).

Se presenta a continuación un diagrama de flujo de efectivo en donde se separará los beneficios de los costos a lo largo de los 25 años:



Fuente: elaboración propia

Observando la Ilustración 84 se atiende la idea de conocer cuánto es la sumatoria de los flujos actualizados tanto de los beneficios, así como la de costos, a lo que se obtienen los siguientes resultados; el total de los costos actualizados es igual a  $Q467,453.10$  y el de beneficios actualizados igual a  $Q552,782.59$ , al dividir el total de costos entre el total de beneficios se obtiene un valor de 0.84, el cual significa que el proyecto deberá aceptarse debido a que la relación entre costo y beneficio es menor que 1 (Urbina, 2018:122). Esto también puede traducirse en que por cada unidad de beneficio se requieren 0.84 unidades de costo.

#### h. Periodo de recuperación

Es un método que tiene por objeto determinar el número de años o periodos en específico que serán necesarios para recuperar la inversión inicial a través de los flujos de efectivo que generara el proyecto. A pesar de ser muy utilizado, la principal desventaja de este método es que no considera el valor del dinero en el tiempo, por lo que es de vital importancia considerar la actualización de todos los flujos utilizando la *TMAR* y luego observar hasta que año la sumatoria de los flujos iguala o supera a la inversión inicial (Urbina, 2018:122). En la Tabla 51 se muestra los flujos de efectivo actualizados respecto a la *TMAR* (16.27%) y en cuál año se llega a superar la inversión:

Tabla 51. Periodo de recuperación de la inversión

Año	Flujo neto anual	Valores actuales	Recuperación
1	Q 89,672.57	Q 77,124.43	Q 77,124.43
2	Q 89,672.57	Q 66,332.18	Q 143,456.61
3	Q 89,672.57	Q 57,050.12	Q 200,506.73
4	Q 89,672.57	Q 49,066.93	Q 249,573.67
5	Q 89,672.57	Q 42,200.86	Q 291,774.52
6	Q 89,672.57	Q 36,295.57	Q 328,070.09
7	Q 89,672.57	Q 31,216.62	Q 359,286.71
8	Q 89,672.57	Q 26,848.39	Q 386,135.10
9	Q 89,672.57	Q 23,091.42	Q 409,226.52
10	Q 89,672.57	Q 19,860.17	Q 429,086.68
11	Q 89,672.57	Q 17,081.08	Q 446,167.76
12	Q 89,672.57	Q 14,690.87	Q 460,858.63
13	Q 89,672.57	Q 12,635.13	
14	Q 89,672.57	Q 10,867.06	
15	Q 89,672.57	Q 9,346.40	
16	Q 87,577.26	Q 7,850.70	
17	Q 85,087.59	Q 6,560.18	
18	Q 82,318.08	Q 5,458.55	
19	Q 79,272.05	Q 4,521.00	
20	Q 75,949.50	Q 3,725.39	
21	Q 72,347.11	Q 3,052.11	
22	Q 68,468.20	Q 2,484.28	
23	Q 64,312.78	Q 2,006.97	
24	Q 59,877.51	Q 1,607.09	
25	Q 55,165.72	Q 1,273.44	

Fuente: elaboración propia

Se observa que la suma de los flujos actualizados hasta el año 12 es el tiempo en que el proyecto fotovoltaico en otras palabras se terminara de pagar. Es importante recordar que estos datos se basan en el planteamiento hipotético ya mencionado y por lo tanto pueda que, en una situación real, el proyecto tarde menos de 12 años para recuperar la inversión debido a que si existirá una producción de *kWh* en los 4 meses obviados que comprende la desfavorable situación

considerada para analizar la rentabilidad del sistema, basándose en la alterable disponibilidad que sufre la energía solar. Sin embargo, se puede decir que el tiempo en que se recupera el capital máximo propuesto mediante el ahorro de costos operativos es considerablemente extenso.

##### 5. Ahorro en el consumo energético

Suponiendo ahora una situación más realista, se considerará que, en los 4 meses ya mencionados, el sistema solo podrá sostener el 50% de la demanda promedio mensual, lo que da un resultado de 2,010.51 kWh; en los demás meses la demanda se sostiene normalmente pero no se consideraran los excedentes para complementar la demanda en los meses que se necesite. Dicho esto, se muestra la Tabla 52 con los meses en que no se tomará energía de la red y los meses en que se le exigirá al distribuidor la mitad de la demanda promedio mensual. Para esto último se tendrá en cuenta la disminución del rendimiento, por lo que el consumo de la red ira aumentando año tras año:

Tabla 52. Meses en donde se toma energía de la red y considerando todo el tiempo útil de los módulos

Año	Rendimiento	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	1	0	0	0	0	-2,010.51	-2,010.51	0	0	-2,010.51	-2,010.51	0	0
2	0.9917	0	0	0	0	-2,027.20	-2,027.20	0	0	-2,027.20	-2,027.20	0	0
3	0.9833	0	0	0	0	-2,044.09	-2,044.09	0	0	-2,044.09	-2,044.09	0	0
4	0.975	0	0	0	0	-2,060.77	-2,060.77	0	0	-2,060.77	-2,060.77	0	0
5	0.9667	0	0	0	0	-2,077.46	-2,077.46	0	0	-2,077.46	-2,077.46	0	0
6	0.9583	0	0	0	0	-2,094.35	-2,094.35	0	0	-2,094.35	-2,094.35	0	0
7	0.95	0	0	0	0	-2,111.04	-2,111.04	0	0	-2,111.04	-2,111.04	0	0
8	0.9417	0	0	0	0	-2,127.72	-2,127.72	0	0	-2,127.72	-2,127.72	0	0
9	0.9333	0	0	0	0	-2,144.61	-2,144.61	0	0	-2,144.61	-2,144.61	0	0
10	0.925	0	0	0	0	-2,161.30	-2,161.30	0	0	-2,161.30	-2,161.30	0	0
11	0.9167	0	0	0	0	-2,177.98	-2,177.98	0	0	-2,177.98	-2,177.98	0	0
12	0.9083	0	0	0	0	-2,194.87	-2,194.87	0	0	-2,194.87	-2,194.87	0	0
13	0.9	0	0	0	0	-2,211.56	-2,211.56	0	0	-2,211.56	-2,211.56	0	0
14	0.8917	0	0	0	0	-2,228.25	-2,228.25	0	0	-2,228.25	-2,228.25	0	0
15	0.8833	0	0	0	0	-2,245.14	-2,245.14	0	0	-2,245.14	-2,245.14	0	0
16	0.875	0	0	0	0	-2,261.82	-2,261.82	0	0	-2,261.82	-2,261.82	0	0
17	0.8667	0	0	0	0	-2,278.51	-2,278.51	0	0	-2,278.51	-2,278.51	0	0
18	0.8583	0	0	0	0	-2,295.40	-2,295.40	0	0	-2,295.40	-2,295.40	0	0
19	0.85	0	0	0	0	-2,312.09	-2,312.09	0	0	-2,312.09	-2,312.09	0	0
20	0.8417	0	0	0	0	-2,328.77	-2,328.77	0	0	-2,328.77	-2,328.77	0	0
21	0.8333	0	0	0	0	-2,345.66	-2,345.66	0	0	-2,345.66	-2,345.66	0	0
22	0.825	0	0	0	0	-2,362.35	-2,362.35	0	0	-2,362.35	-2,362.35	0	0
23	0.8167	0	0	0	0	-2,379.03	-2,379.03	0	0	-2,379.03	-2,379.03	0	0
24	0.8083	0	0	0	0	-2,395.92	-2,395.92	0	0	-2,395.92	-2,395.92	0	0
25	0.8	0	0	0	0	-2,412.61	-2,412.61	0	0	-2,412.61	-2,412.61	0	0

Fuente: elaboración propia

El ahorro energético se basará en la energía demandada de la red correspondiente a los meses presentados en la Tabla 52 con un valor negativo. Respecto a este nuevo punto de vista se obtiene que en promedio y anualmente, el sistema fotovoltaico representaría en un 81.32 % del suministro energético para las áreas comunes, considerando en abastecer a la demanda promedio mensual y sin tomar en cuenta los excedentes vertidos en la red de los meses más productivos.

En la Tabla 53 se muestra la producción de energía solar y la energía tomada de la red; en cada año se obtiene un ahorro aproximado que disminuye a través del tiempo, sin embargo, esta situación no debe considerarse como una predicción de que así sucederá la producción de energía, más solo como un análisis porcentual, por lo que se muestra un resultado promedio anual que hace ver en cuanto podría comprenderse dicho ahorro energético, a lo que ahora se considera que puede estar por encima del 75% la influencia de paneles solares dentro del abastecimiento anual de electricidad durante toda la vida de los mismos.

Tabla 53. Proporciones de abastecimiento de energía anual en *kWh*

Consumo de red anual	Producción solar anual	Demanda anual	Ahorro anual	Ahorro promedio
8,042.04	39,302.11	47,344.15	83.01%	81.32%
8,108.79	39,235.36	47,344.15	82.87%	
8,176.34	39,167.81	47,344.15	82.73%	
8,243.09	39,101.06	47,344.15	82.59%	
8,309.84	39,034.31	47,344.15	82.45%	
8,377.39	38,966.76	47,344.15	82.31%	
8,444.14	38,900.01	47,344.15	82.16%	
8,510.89	38,833.26	47,344.15	82.02%	
8,578.44	38,765.71	47,344.15	81.88%	
8,645.19	38,698.96	47,344.15	81.74%	
8,711.94	38,632.21	47,344.15	81.60%	
8,779.49	38,564.66	47,344.15	81.46%	
8,846.24	38,497.91	47,344.15	81.32%	
8,912.99	38,431.16	47,344.15	81.17%	
8,980.54	38,363.61	47,344.15	81.03%	
9,047.29	38,296.86	47,344.15	80.89%	
9,114.04	38,230.11	47,344.15	80.75%	
9,181.59	38,162.56	47,344.15	80.61%	
9,248.34	38,095.81	47,344.15	80.47%	
9,315.09	38,029.06	47,344.15	80.32%	
9,382.64	37,961.51	47,344.15	80.18%	
9,449.39	37,894.76	47,344.15	80.04%	
9,516.14	37,828.01	47,344.15	79.90%	
9,583.69	37,760.46	47,344.15	79.76%	
9,650.44	37,693.71	47,344.15	79.62%	

Fuente: elaboración propia

### C. Seguimiento al sistema fotovoltaico

Sera de carácter indispensable tener un constante compromiso de monitoreo y control al sistema fotovoltaico; una de las ventajas de estos sistemas en cuanto al aspecto de mantenimiento es que carecen del mismo y el personal del Centro Comercial podrá hacerse cargo de observar que los componentes del sistema estén en perfecto estado, de lo contrario se deberá avisar a AISA cuando se identifique alguna anomalía. Por lo general si todo está intacto en cuanto a los módulos y los conductores, el mismo debería de funcionar sin ninguna interrupción en conjunto igualmente con los inversores.

## 1. Mantenimiento

Aunque en si no se necesita estar invirtiendo constantemente en costos operativos específicos para el funcionamiento de la planta energética solar, esta no se libra de que en algún momento de la duración de su actividad eléctrica, pueda sufrir alteraciones y perturbaciones en uno o más componentes que comprometan la seguridad y el óptimo desempeño del sistema. Se propondrán las siguientes acciones a realizar para asegurar aún más el buen funcionamiento de este:

### a. Preventivo

Es aquel tipo de mantenimiento que consiste en las inspecciones y limpieza de los equipos para que estos se mantengan en su óptimo funcionamiento y fiabilidad (Wikipedia, 2022). Por lo tanto, las dos acciones principales e indispensables serán la limpieza del vidrio templado del módulo y la inspección visual de todo el sistema, de modo que estas prácticas sean parte de la fiabilidad para que los paneles se mantengan en condiciones normales en la cubierta del edificio. En época de invierno, la limpieza de los módulos no deberá considerarse hacer ya que la misma lluvia suele ser suficiente para tener despejado el vidrio templado. La limpieza se considera indispensable en días de verano, ya que el entorno suele estar expuesto a polvo y una alta contaminación como lo es la basura de la zafra que se hace presente en su momento, el cual provocaría que la producción de los paneles caiga hasta en un 15% (Sotysolar, 2021). La limpieza deberá ser simplemente con agua y jabón lavavajillas; si se agregan otros jabones o productos químicos, estos pueden afectar al vidrio templado o provocar opacidad en el mismo mientras pase el tiempo.

Juntamente con la inspección visual será totalmente crucial tomarle la temperatura a los paneles en horas donde se evidencien altas temperaturas ambientales; lo ideal es que estas mediciones realizadas con un termómetro infrarrojo se hagan durante las horas donde se presenta un evidente clima caluroso (12 p.m a 1 p.m) aunque más adelante se presenta un cronograma en donde se proponer realizar esta medición a las 3 de la tarde, debido a que la cubierta metálica es probable que alcance una temperatura superficial mucho más alta que la ambiental, lo cual puede ser incómodo para los colaboradores acompañado de un exceso de luminosidad el cual puede estropear la inspección visual. Si los paneles alcanzan temperaturas muy altas, es probable que la producción de energía sea interferida y por lo tanto habrá una menor disponibilidad de convertir la energía solar en electricidad. Estas inspecciones de temperatura aplican igualmente para los inversores.

#### b. Predictivo

Este tipo de mantenimiento contempla aquellas acciones que se realizan para detectar posibles situaciones las cuales pueden desencadenar fallos de mayor gravedad que obliguen a los operadores a detener de emergencia el funcionamiento de los equipos (Wikipedia, 2022). Al tener cualquier aparato eléctrico a la intemperie, siempre se corre con el riesgo que en temporada de invierno se puedan presentar descargas atmosféricas que puedan impactar muy cerca o en el propio conjunto de paneles, lo cual será muy riesgoso ya que se pueden producir inmensas perturbaciones ya sea en los mismos módulos, conectores, conductores o en los tubos flexibles. Es debido a lo anterior por lo que se propone plantearse la implementación de antenas que atraigan estas descargas atmosféricas para mandarlas directamente al suelo y evitar desperfectos en los materiales y el sistema eléctrico en general.

Otra acción que se considerara de forma constante será la monitorización del funcionamiento del sistema mediante la nube, utilizando el software que el propio inversor ofrezca para supervisar su producción y el estado de todo el sistema. Por lo general se puede darle seguimiento en uno o más dispositivos móviles y electrónicos que soporten dichos programas, de modo que tanto el jefe del área de mantenimiento, así como el administrador dentro de su oficina, mantendrán en constante supervisión el funcionamiento del sistema fotovoltaico según las notificaciones, alarmas o emergencias que el software del inversor pueda emitir.

También será necesario tener un numero inmediato o atender las llamadas del distribuidor en caso de que el equipo técnico del mismo procediera a realizar un mantenimiento en las líneas de distribución y se requiera desactivar correctamente el sistema en conjunto con el punto de conexión en la red.

#### c. Correctivo

Es una de las formas de mantenimiento más básica y consiste en reparar específicamente la pieza, máquina o parte dañada de un sistema con tal de mantener al equipo para la función destinada (Wikipedia, 2022).

Si uno de los paneles llegara a quebrarse debido a la extraña casualidad de impacto que pudiera tener un objeto sobre el vidrio templado, este aun funcionaria con el string al que está conectado, sin embargo, es necesario considerar cambiar dicho modulo o cualquier otro componente que sufra algún daño, en donde *AISA* será encargado de inspeccionar debidamente la situación y dar la solución más conveniente según sea la gravedad del asunto. Un módulo no puede permanecer con golpes o rajaduras en su vidrio templado ya que esto suele traer problemas futuros en el

rendimiento de este y afecte a la fila o string correspondiente, haciendo que los materiales internos del panel se desgasten con mayor facilidad al ingresar humedad y suciedad.

## 2. Vida útil

Es un rango de años que normalmente va desde el primer año de adquisición hasta los 25, comprendiendo una disminución gradual del rendimiento de un 100% a un 80%. La vida útil que el inversor ofrece está por encima de los 20 años, por lo que se considera que tanto estos dispositivos y los módulos contemplan el mismo tiempo de utilidad.

A lo largo de las observaciones realizadas en el Centro Comercial, se puede afirmar que existen cambios de personal dentro de los grupos de colaboradores; es destacable mencionar que como parte de las políticas o normas propias de Íntegro, se especifique directamente que por parte del personal que termine sus contrataciones, dedique al menos una semana para adaptar al nuevo personal que tomara las responsabilidades de mantener en óptimas condiciones a las instalaciones, así como al propio sistema fotovoltaico. Esto aplicaría desde el puesto más alto según la Ilustración 19, hasta los colaboradores que realizan como tal las actividades de mantenimiento y limpieza.

## 3. Costo de mantenimiento:

Como ya se mencionó es importante que el área de mantenimiento (auxiliares y jefe) se organicen de manera que puedan otorgar una supervisión al sistema fotovoltaico periódicamente. Se propone al menos 2 inspecciones rutinarias por mes, pero al menos después de pasada la semana de la instalación, se deberá supervisar al sistema 3 veces cada semana durante 2 semanas seguidas.

La frecuencia de inspecciones al sistema durante las primeras semanas serán las siguientes, sin embargo, las acciones mostradas serán siempre las mismas para los mantenimientos mensuales:

Tabla 54. Cronograma de actividades para el mantenimiento del sistema fotovoltaico

Primera Semana								
Actividades para el mantenimiento del Sistema	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Hora
Observar la actividad del inversor								8
								9
Observar el tubo flexible que llega al cuarto eléctrico								10
Observar el tubo flexible que desciende del edificio								
Tomar dato de temperatura en cuarto eléctrico								12
Observar que los paneles estén intactos								
Tomar temperatura de paneles y tubo flexible								
Observar la correcta sujeción de los paneles								15
Limpieza de los paneles								
Tomar dato de temperatura en cuarto eléctrico								16
Segunda semana								
	Día 8	Día 9	Día 10	Día 11	Día 12	Día 13	Día 14	Hora
Observar la actividad del inversor								8
								9
Observar el tubo flexible que llega al cuarto eléctrico								10
Observar el tubo flexible que desciende del edificio								
Tomar dato de temperatura en cuarto eléctrico								12
Observar que los paneles estén intactos								
Tomar temperatura de paneles y tubo flexible								
Observar la correcta sujeción de los paneles								15
Limpieza de los paneles								
Tomar dato de temperatura en cuarto eléctrico								16

Fuente: elaboración propia

Estas inspecciones realizadas por el propio personal de Íntegro no deberían tener ningún costo adicional, debido a que Aicsa sería quien otorgue el presupuesto necesario para la inversión de este proyecto, de manera que se disminuya la huella de carbono como cualquier persona o entidad tiende a emitir a lo largo del tiempo y aprovechar un recurso energético gratuito. Dado que el proyecto sería de carácter privado y propio, el personal de mantenimiento tiene la responsabilidad de procurar juntamente con el criterio del personal administrativo, las óptimas condiciones para el sistema de generación de energía.

#### 4. Garantía

##### a. Alcance

Dentro de la consultoría que realizó AISA, esta detallo claramente cómo se aplica la garantía al momento de ya tener implementado el sistema fotovoltaico. Los criterios para aplicarla correctamente son los siguientes:

- 1) A partir de la fecha de la instalación, se estima que la garantía para los paneles solares e inversores abarca como máximo 3 años y 1 año para todo lo referente a instalación eléctrica y estructuras de soporte.

2) Se cubren degradaciones y defectos de fábrica que tengan como consecuencia la pérdida de la funcionalidad del sistema o el componente que presente la falla.

3) Cada componente será reparado o sustituido según sea la decisión técnica de *AISA*.

4) El cliente deberá estar al día en el pago de los servicios solicitados a *AISA* para que la garantía se pueda aplicar correctamente.

b. Límite

La garantía no contempla:

1) El reemplazo de paneles solares o componentes por rupturas o golpes.

2) Reparaciones debido a daños causados por manipulaciones ajenas.

3) Daños causados por el traslado del lugar por personal que no pertenezca a *AISA*.

4) Problemas relacionados con la calidad del flujo eléctrico como fluctuaciones de *voltajes*, descargas atmosféricas, cortes en el suministro eléctrico de la red, etc.

5) Cuando el proyecto se encuentra fuera del perímetro de la ciudad capital, el cliente deberá enviar los componentes dañados o cubrir gastos de viajes para que se realice la respectiva inspección y diagnóstico.

c. Imprevistos

Cuando se necesite apoyo técnico, entonces:

1) *AISA* proporcionara vía telefónica y gratuita el apoyo necesario para que el cliente pueda hacer la revisión del sistema antes de coordinar una visita por parte del personal técnico.

2) Las visitas cubiertas por la garantía son libres de costos y las que no (cables o paneles rotos, desconectados, etc.), tendrán un costo de *Q150*, siempre y cuando el proyecto se encuentre dentro del perímetro de la ciudad capital. Si el proyecto se encuentra fuera del perímetro, entonces el cliente deberá cubrir costos de viaje referentes a la visita técnica o la emisión de repuestos a través de una encomienda.

3) Si se necesitara realizar alguna otra reparación o modificación adicional, el personal otorgara la orientación necesaria para que el cliente realice las acciones por su propia cuenta, o bien, estas podrían ser cotizadas por el personal técnico en el momento que se requiera.

#### d. Responsabilidades

Cuando el cliente contrata a *AISA*, deberá contemplar las siguientes:

1) Si el cliente acepta la cotización final, así mismo acepta las especificaciones de los productos ofrecidos.

2) El cliente es totalmente responsable de que las instalaciones y propiedades soporten adecuadamente la instalación del sistema y el funcionamiento posterior a largo plazo. Las recomendaciones verbales hechas antes y después de la implementación por parte del personal técnico no significan un compromiso de *AISA* y no significan cambios a las condiciones de compra de los productos descritas hasta este punto.

3) Deberá estar presente en el lugar de la instalación a la fecha y hora acordada, así como facilitar el ingreso al sitio para el día de la ejecución del proyecto.

4) Recibir el sistema al momento de la instalación.

5) Almacenar los componentes del sistema si la implementación requiere varios días de trabajo.

6) Tener instalados todos los sistemas y dispositivos eléctricos de protección necesarios para el buen funcionamiento del proyecto.

7) Contar con un seguro que proteja a sus bienes ante cualquier eventualidad.

#### e. Exenciones de responsabilidades

*AISA* no se responsabiliza por:

1) Daños secundarios derivados de la instalación, tales como rajaduras en paredes, lozas, etc. que no sean causados explícitamente por la negligencia del personal técnico.

2) Desperfectos en las instalaciones eléctricas del cliente que aparezcan después y no durante la instalación del sistema fotovoltaico.

3) Bajo ninguna circunstancia *AISA* se hace responsable de cualquier daño directo o indirecto a excepción que sea algo que contemple la garantía vista anteriormente en cuanto a la reposición o reparación del fallo según el criterio del personal técnico.

## IX. Conclusiones

### A. General

1. La implementación de un sistema fotovoltaico a escala industrial o comercial requiere considerar los siguientes criterios fundamentales: el espacio de la cubierta o techo del edificio, la demanda energética diaria, empresas nacionales que ofrezcan el servicio para la ejecución de estos proyectos y la correcta coordinación para la supervisión del sistema generador de electricidad. Para el caso expuesto, los resultados fueron positivos respecto a las áreas comunes, ya que haciendo pasar teóricamente al sistema incluso en un escenario desfavorable en donde no se consideró la producción de los 4 meses con las menores *HSP*, este aun mostraba una alta rentabilidad en función de la valorización de su actividad anual, de manera que se puede ahorrar costos operativos referentes a la utilización diaria de electricidad comprendida en 129.71 *kWh* en promedio a partir de los elementos eléctricos de uso constante en tales áreas.

### B. Específicas

1. La cantidad de módulos solares dependerá de principalmente 3 factores: la magnitud de la potencia del panel solar a utilizar, el consumo energético diario a cubrir y las *HSP* que se deseen considerar para el análisis. Si se plantea instalar un tipo de panel que ofrezca una mayor potencia a los propuestos, esto automáticamente conducirá a reducir el número de los mismos, a su vez si se analiza considerando las *HSP* de verano (7.1) y no las de invierno (3.73), pues obviamente la cantidad de paneles solares a necesitar será menor, aunque lo más recomendable es utilizar las *HSP* de invierno para tratar de mantener a la demanda energética en épocas lluviosas y de menor radiación solar.

2. Hubo diferencia al momento de mostrar los consumos energéticos representados por todas las cargas eléctricas en general, ya que por una parte, para las áreas comunes se obtuvieron datos más específicos de los objetos debido a la orientación recibida por el personal de mantenimiento. Por otro lado, se afirma haber obtenido diferentes promedios de consumo para cada local comercial de acuerdo con el código identificador de cada contador eléctrico, investigando dentro del portal web de Energuate el historial de consumo. Por parte de las áreas comunes, existe un total de 47.04 *kWh* de consumo diario debido a un conjunto de luminarias que son activadas diariamente durante toda la jornada laboral, estas son 164 ojos de buey de 12 *W* y 11 lámparas de 150 *W*, significando un costo promedio de Q3,260.00 mensuales, por lo que dicho

esto se determina que la iluminación es el costo operativo más relevante, abarcando aproximadamente el 58% dentro de la demanda energética.

3. Se tenía la intención de proponer dos sistemas fotovoltaicos conectados a la red, en donde uno tratara de sostener la demanda colectiva entre Íntegro y las demás empresas y el otro dispuesto únicamente para suplir de energía a las áreas comunes. No fue posible plantear una idea de diseño para el primer sistema ya que no se contaba con la potencia total de todos los objetos eléctricos de los locales comerciales y el espacio disponible en la cubierta superior no es suficiente para instalar la cantidad de unidades generadoras en base a tal demanda de energía en conjunto. En el caso de abastecer a las áreas comunes con energía renovable, el sistema básicamente se compone de 86 módulos monocristalinos y 2 inversores, en el cual la empresa AISA puede realizar la instalación del proyecto bajo una presupuestación de Q450,000. Considerando un costo de capital del 16.27% y utilizando las herramientas del VAN e IR y comparando el anterior costo con la TIR del proyecto, se establece entonces que la posibilidad de inversión ofrece una óptima rentabilidad para ahorrarse el costo operativo referente a la electricidad durante 25 años, recuperando la inversión inicial en 12 años o menos. Este sistema fotovoltaico para las áreas comunes tendrá que producir al menos 47.34 MWh de energía anual para al propio autoconsumo de tales áreas y sustrayendo el costo fijo para la distribuidora de Q2,648.52, la actividad de generación tendría un valor de Q89,672.57, lo cual es el ahorro que Íntegro percibiría anualmente al no cancelar el precepto de los kWh consumidos.

4. Se concluye esta investigación mencionando el compromiso que toda la población guatemalteca tiene para aprovechar de mejor manera los distintos recursos renovables, especialmente lo que establece el plan de energía 2,017 – 2,032, en el cual se resumen todas las estrategias y herramientas que facilitaran el incremento hacia el uso de las tecnologías que dependan de dichos recursos, enfocando el acceso a la electricidad con bajas emisiones como principal factor para el desarrollo socioeconómico del país de manera sostenible.

La actividad de un sistema fotovoltaico básicamente es dependiente de los paneles y los inversores, en donde los módulos captan la radiación directa del sol para luego transferirla a los inversores y estos últimos se encargan de transformar esta energía primitiva a energía eléctrica útil que podrá ser utilizada para la electrificación de los circuitos de iluminación y tomacorrientes.

Al final se cuenta con la certeza de que existen empresas dedicadas a la implementación de estos proyectos, por lo que la mano de obra requerida para la instalación física y eléctrica del

sistema está al alcance de Íntegro. Se espera que en este caso *AISA* pueda detallar concretamente todo el conocimiento hacia los colaboradores del Centro Comercial para el correcto monitoreo y control del sistema, de manera que se tenga la adecuada fiabilidad de mantener el constante aprovechamiento de uno de los recursos más abundantes de la Tierra.

## X. Recomendaciones

### A. General

1. Existe un aspecto que determina la correcta monitorización física de los módulos fotovoltaicos en la cubierta del edificio y aunque en su momento los colaboradores de mantenimiento confesaron que no se les dificulta el acceso al techo del Centro Comercial debido a que utilizan una escalera convencional, esto no es la mejor opción en cuanto a la seguridad ocupacional que los debería de respaldar para las actividades de limpieza e inspección en general. Se debe considerar en un futuro la construcción de escaleras industriales que ofrezcan la adecuada seguridad y facilitar la ascensión hacia la cubierta del edificio, más aún si se plantea instalar el sistema fotovoltaico que requerirá de una inspección más rutinaria en toda su área. Además, al momento de un evento indeseable en donde uno de los trabajadores sufra alguna caída y por lo tanto su integridad física se vea comprometida, la empresa podría enfrentar demandas o cargos legales que serán necesarios atender debido a las lesiones producidas por un accidente al no contar con una estructuración de este tipo.

### B. Específicas

1. Si la instalación del sistema fotovoltaico para las áreas comunes se implementa de manera exitosa, se recomienda registrar las producciones mensuales durante el primer año de actividad, ya que así se podrá predecir de forma más realista las producciones energéticas futuras con base a la disminución del rendimiento de los módulos. Aunque de igual manera la disponibilidad solar en los próximos 24 años será impredecible, con solo este año de registro se visualizará el comportamiento del sistema respecto a las condiciones climáticas que el municipio presenta en temporadas de verano e invierno.

2. Se mencionó que existe un total de 164 luminarias de 12 W y otras 11 de 150 W que deben permanecer activas durante todo el horario de apertura diaria del Centro Comercial, lo que implica un costo promedio mensual de unos Q3,260.00 solo por parte de este conjunto de luces. Una posible solución para tratar de minimizar estos costos si no se tiene pensado un presupuesto por parte de Íntegro para la implementación del sistema fotovoltaico, podría ser la instalación de lucernarios o tragaluz en la cubierta del edificio principal, de manera que se estará aprovechando el recurso solar pero de otra manera, lo cual sería directamente en luz durante las horas diurnas, comprendidas dentro de 7 de la mañana a 4 o 5 de la tarde. Esta acción favorecería principalmente en el periodo de verano y se ahorraría en buena parte el costo por la utilización de

estas luminarias en horas donde incide la luz solar, accionando a las mismas a partir de las 6 de la tarde, hora en donde la iluminación solar ya no es tan intensa y si se requerirá el funcionamiento de estas.

3. El presupuesto final lo decidirá *AISA* en el momento que el personal técnico evalúe el estado actual del edificio principal y considere otros factores que influyan en aumentar la inversión, pero se recomienda puntualmente en utilizar la fórmula del *VAN* con una tasa del 16.27% si es que la cantidad de dinero necesaria para dar marcha al proyecto supera los Q450,000. Si la cantidad final no esta tan alejada al valor propuesto, entonces no se verá un cambio significativo en el resultado del *VAN*. Caso contrario la fórmula dará como resultado un valor negativo, indicando claramente que el proyecto perdió su rentabilidad por el hecho de que la inversión es mayor y la suma de la valorización de los *kWh* producidos anualmente durante los 25 años no supera tal cantidad.

4. A pesar de que en esta investigación se propuso a la empresa *AISA*, pues fue la única que mostró interés en realizar una cotización base para la implementación del sistema, no debe tomarse a la misma como única alternativa para llevar a cabo el proyecto. Durante el periodo en que se realizó la propuesta se contactó con la empresa *Makbi* y su servicio parece ser bastante aceptable en cuanto a la orientación y asesoramiento al cliente, sin embargo, no se pudo obtener un presupuesto por parte de esta empresa debido a que insistían en obtener el precio del *kWh* que el Gran Usuario impone a Íntegro para las áreas comunes. Como tal dato no se pudo obtener, se recomienda que el personal administrativo se ponga en contacto con *Makbi* para visualizar la oferta y garantía que ellos pueden otorgar, ya que el caso quedo abierto con los datos generales del edificio y solo esperan el precio del *kWh* para completar y detallar la cotización.

## XI. Bibliografía

- Aicsa. *Aicsa*. <https://www.aicsacorp.com/portafolio-construccion/> [Enero de 2022].
- Aicsa. *Aicsa*. <https://www.aicsacorp.com/quienes-somos/> [Enero de 2022].
- Alex. *Encontrar un ángulo*. <https://www.youtube.com/watch?v=yVTQ0oJBGag&t=369s> [Febrero de 2022].
- AutoSolar. *Cómo entender la ficha técnica de un panel solar*. <https://autosolar.es/placas-fotovoltaicas/como-entender-la-ficha-tecnica-de-un-panel-solar> [Marzo de 2022].
- AutoSolar. *Ejemplo de cálculo del número de paneles fotovoltaicos necesarios para una vivienda en Valencia*. <https://autosolar.es/blog/placas-fotovoltaicas/ejemplo-de-calculo-del-numero-de-paneles-fotovoltaicos-necesarios-para-una-vivienda-en-valencia> [Marzo de 2022].
- Besun Energy. *Energía fotovoltaica; ventajas y desventajas*. <https://besunenergy.com/energia-fotovoltaica-ventajas-y-desventajas/> [Febrero de 2022].
- Centro de Estudios de Aparejadores por Correspondencia (CEAC). *¿Tienen impacto medioambiental las placas solares?*. <https://www.ceac.es/blog/tienen-impacto-medioambiental-las-placas-solares#:~:text=La%20producci%C3%B3n%20de%20paneles%20solares%20puede%20producir%20gases%20de%20efecto%20invernadero.&text=Se%20requiere%20una%20gran%20cantidad,son%20emitidos%20hacia%20la%20> [Febrero de 2022].
- Centro de Inteligencia en Ahorro de Energía. *Entendiendo a la energía solar; ¿Qué es el MPPT de los inversores y como extraer lo maximo del inversor?*. [https://www.youtube.com/watch?v=S3F\\_7JHVOx0&t=25s](https://www.youtube.com/watch?v=S3F_7JHVOx0&t=25s) [Marzo de 2022].
- Centro de Inteligencia en Ahorro de Energía. *Aprende de energía solar; ¿Qué es una hora solar pico y como obtenerla?* [https://www.youtube.com/watch?v=LC4D\\_9E2gL0&list=LL&index=56&t=8s](https://www.youtube.com/watch?v=LC4D_9E2gL0&list=LL&index=56&t=8s) [Febrero de 2022].
- Comisión Nacional de Energía Eléctrica. 2014. *Normas Técnicas para los generadores distribuidos renovables y usuarios autoproductores con excedentes de energía*. Resolución CNEE-227-2014. Guatemala. págs. 5-20.
- Contreras, Iván. 2021. *Diseño de sistema de generación fotovoltaica para el edificio de recursos educativos y sistemas de protección eléctrica, universidad de San Carlos de Guatemala*. Tesis Universidad San Carlos de Guatemala, Guatemala. Facultad de Ingeniería. pág. 116.

- Contreras, Iván. 2021 *Diseño de sistema de generación fotovoltaica para el edificio de recursos educativos y sistemas de protección eléctrica, universidad de San Carlos de Guatemala*. Tesis Universidad San Carlos de Guatemala Guatemala. Facultad de Ingeniería. pág. 171.
- Cornejo, Abel. *Índice de Rentabilidad*. [https://www.youtube.com/watch?v=\\_7--g7nqhgw&t=65s](https://www.youtube.com/watch?v=_7--g7nqhgw&t=65s) [Abril de 2022].
- Custodio, Carlos. *Fundamentos de energía renovable*. <https://uvg.instructure.com/courses/18323/files?preview=1659592> [Abril de 2022].
- Custodio, Carlos. *Energía Renovable Fotovoltaica*. <https://uvg.instructure.com/courses/18323/files?preview=1659594> [Abril de 2022].
- Energuate. *¿Cómo leo mi factura?*. <https://oficinavirtual.energuate.com/mifactura> [Febrero de 2022].
- Energuate. *Tarifario actual*. <https://oficinavirtual.energuate.com/mifactura> [Febrero de 2022].
- Falcat. *Instalación de estructura*. <https://autosolar.es/pdf/manual-estructura-cubierta-metalica-falcat.pdf> [Mayo de 2022].
- Franklin Electric. *Voltaje, corriente y potencia en una instalación sumergible*. <https://franklinlinkmx.wordpress.com/2007/09/28/voltaje-corriente-y-potencia-en-una-instalacion-sumergible> [Marzo de 2022].
- Franklin Electric. *Manual AIM*. <https://franklinagua.com/media/25617/AIM-Manual.pdf> [Marzo de 2022].
- Fundación Endesa. *Central eléctrica convencional*. <https://www.fundacionendesa.org/es/educacion/endesa-educa/recursos/centrales-electricas-convencionales/central-termica-convencional> [Febrero de 2022].
- Fundación Endesa. *Central eléctrica de ciclo combinado*. <https://www.fundacionendesa.org/es/educacion/endesa-educa/recursos/centrales-electricas-convencionales/central-termica-convencional-ciclo-combinado> [Febrero de 2022].
- Global Solar Atlas. *Global Solar Atlas*. <https://globalsolaratlas.info/detail?s=14.288066,-91.365109&m=site&c=14.288066,-91.365109,11> [Abril de 2022].
- GlobalSuite Solutions. *ISO*. <https://www.globalsuitesolutions.com/es/que-son-normas-iso/> [Mayo de 2022].
- Gobierno de la República. 2017. *Plan nacional de energía 2,017-2032*. Ministerio de Energía y Minas. Guatemala. págs. 5-32.

- Gobierno de la República. 2018. *Energía solar en Guatemala*. Ministerio de Energía y Minas. Guatemala. págs. 1-5.
- Gobierno de la República. 2018. *Las energías renovables en la generación eléctrica en Guatemala*. Ministerio de Energía y Minas. Guatemala.
- González Velasco, Jaime. 2009. *Energías Renovables*. Barcelona. págs. 142 y 143.
- Grupo Editorial Océano. 1997. *Mentor Interactivo*. Barcelona. págs. 362-369.
- Grupo Editorial Océano. 1997. *Mentor Interactivo*. Barcelona. págs. 757-759.
- Grupo Editorial Océano. 1997. *Mentor Interactivo*. Barcelona. págs. 778-787.
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. 2013. *Resumen para responsables de políticas, resumen técnico y preguntas frecuentes*. Cambio Climático 2013, bases físicas. Prólogo.
- Guit Pérez, Sergio; Palencia Ovando, Edgar y Martínez Samayoa, Luis. 2016. *Finanzas Administrativas II*. págs. 128-140.
- iContainers. *Tipos de contenedores y sus dimensiones*. <https://www.icontainers.com/es/tipos-de-contenedores-y-sus-dimensiones/> [Mayo de 2022].
- iContainers. *Transporte marítimo FCL Y LCL*. <https://www.icontainers.com/es/ayuda/fcl-y-lcl/#:~:text=Qu%C3%A9%20es%20FCL%20y%20LCL%20en%20transporte%20mar%C3%ADtimo&text=En%20un%20FCL%20%20todo%20el,las%20cargas%20de%20otros%20expedidores> [Mayo de 2022].
- iContainers. *Tarifa por flete marítimo desde España hasta Guatemala*. <https://www.icontainers.com/es/cotizaciones/FCL/ESVLC/PORT/ES/GTPBR/PORT/GT/?dv20=1> [Mayo de 2022].
- IDEPA. *¿Qué es el mercado CE?*. <https://www.idepa.es/internacionalizacion/enterprise-europe-network-asturias/mercado-interior/que-es-el-mercado-ce?inheritRedirect=true> [Abril de 2022].
- IEA. *El crecimiento de la electricidad renovable se está acelerando más rápido que nunca en todo el mundo*. <https://www.iea.org/news/renewable-electricity-growth-is-accelerating-faster-than-ever-worldwide-supporting-the-emergence-of-the-new-global-energy-economy> [Febrero de 2022].
- IEC. *¿Qué es IEC?*. <https://iec.ch/who-we-are> [Abril de 2022].
- INE. *Ritmo inflacionario*. <https://www.banguat.gob.gt/page/inflacion-total> [Mayo de 2022].
- INELDEC. *¿De qué están hechos los paneles solares?*. <https://ineldec.com/de-que-estan-hechos-los-paneles-solares-fotovoltaicos/> [Marzo de 2022].

- INTECO. *Norma IEC 61215*. <https://www.inteco.org/shop/inte-iec-61215-1-1-2017-modulos-fotovoltaicos-fv-para-uso-terrestre-cualificacion-del-diseno-y-homologacion-parte-1-1-requisitos-especiales-de-ensayo-para-los-modulos-fotovoltaicos-fv-de-silicio-cristalino-2280#:~:text=Objeto%2> [Abril de 2022].
- INTECO. *Norma IEC 61730*. <https://www.inteco.org/shop/inte-iec-61730-1-2019-cualificacion-de-la-seguridad-de-los-modulos-fotovoltaicos-fv-parte-1-requisitos-de-construccion-3756> [Abril de 2022].
- Íntegro. *Íntegro*. <https://integro.gt/> [Febrero de 2022].
- Intertek. *Ingress Protection (IP)*. <https://www.intertek.es/iluminacion/ip-ingress-protection-iec-60529/> [Mayo de 2022].
- Intertek. *Inmetro*. <https://www.intertek.es/electrico-electronico/certificacion-inmetro-brasil/> [Mayo de 2022].
- IRENA. *Costos de generación de energía renovable en 2020*. <https://www.irena.org/publications/2021/Jun/Renewable-Power-Costs-in-2020> [Febrero de 2022].
- Lesics Española. *¿Cómo funcionan las celdas solares?*. <https://www.youtube.com/watch?v=MgLGKMrsBX8&t=188s> [Febrero de 2022].
- Montoya, Carlos. *Energía Solar Fotovoltaica*. <https://static.eoi.es/savia/documents/componente75553.pdf> [Marzo de 2022].
- NASA. *El 2021 empata como el sexto año más cálido en la tendencia de calentamiento*. <https://www.nasa.gov/press-release/el-2021-empata-como-el-sexto-a-o-m-s-c-lido-en-la-tendencia-de-calentamiento-seg-n-un> [Febrero de 2022].
- QuantumFracture. *El Cambio climático es culpa nuestra y puedo convencerte*. [https://www.youtube.com/watch?v=JQHtjT-\\_c7U](https://www.youtube.com/watch?v=JQHtjT-_c7U) [Marzo de 2022].
- s.a. *Componentes de una instalación solar fotovoltaica*. <https://www.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448171691.pdf> [Mayo de 2022].
- SAB Brockskes. *Construcción de conductores americanos; tablas de AWG*. <https://www.sab-cables.eu/productos/datos-tecnicos/cables-electricos/construccionesdevenasamericanas.html> [Mayo de 2022].
- SGS TÜV Saar. *SGS TÜV Saar* <https://www.sgs-tuev-saar.com/de/> [Abril de 2022].
- Sotysolar. *¿Como limpiar tus placas solares?*. <https://sotysolar.es/placas-solares/mantenimiento-garantias/limpieza#:~:text=La%20mejor%20manera%20de%20limpiar,al%20limpiar%20tu%20veh%C3%ADculo%20nuevo.> [Mayo de 2022].

- Temple, James. *Buenas noticias sobre el cambio climático, estamos creando una solución*. <https://www.technologyreview.es/s/13917/buenas-noticias-sobre-cambio-climatico-estamos-creando-una-solucion> [Enero de 2022].
- Torres Pacheco, Jurado Pérez, Granados Liberman y Lozano Luna. 2018. <<Eficiencia en paneles solares>>. *Revista del Diseño Innovativo*. Vol.2 (2): 9-21.
- Urbina, Gabriel. 2018. *Proyectos Empresariales 1*. Ciudad de México. págs. 95 y 96.
- Urbina, Gabriel. 2018. *Proyectos Empresariales 1*. Ciudad de México. págs. 119-122.
- Valladares, Luis. *Municipio de Tiquisate, Escuintla*. <https://aprende.guatemala.com/historia/geografia/municipio-de-tiquisate-escuintla/> [Enero de 2022].
- Weidmüller. *Hoja Técnica*. <https://autosolar.es/pdf/ficha-conectores-weidmuller.pdf> [Marzo de 2022].
- Wikipedia. *Tiquisate*. <https://es.wikipedia.org/wiki/Tiquisate> [Enero de 2022].
- Wikipedia. *Mantenimiento preventivo*. [https://es.wikipedia.org/wiki/Mantenimiento\\_preventivo#cite\\_note-2](https://es.wikipedia.org/wiki/Mantenimiento_preventivo#cite_note-2) [Mayo de 2022].
- Wikipedia. *Mantenimiento predictivo*. [https://es.wikipedia.org/wiki/Mantenimiento\\_predictivo](https://es.wikipedia.org/wiki/Mantenimiento_predictivo) [Mayo de 2022].
- Wikipedia. *Mantenimiento correctivo*. [https://es.wikipedia.org/wiki/Mantenimiento\\_correctivo](https://es.wikipedia.org/wiki/Mantenimiento_correctivo) [Mayo de 2022].

## XII. Anexos

Anexo 1. Procedimiento a realizarse directamente en las oficinas de Energuate, para el cambio de usuario normalizado a un Autoprodutor.

The screenshot shows the Energuate website interface. At the top left is the Energuate logo with the tagline 'LUZ DE MI TIERRA'. To the right, there is a phone icon with the text '¿Alguna Pregunta?' and the phone number '(502) 2385-2222'. Below this are social media icons for Facebook, Twitter, LinkedIn, YouTube, Apple, and WhatsApp. A blue navigation bar contains the following menu items: 'CONÓCENOS', 'CLIENTES', 'RESPONSABILIDAD SOCIAL EMPRESARIAL', 'SALA DE PRENSA', 'COMPROMISO DE ÉTICA', and 'DENUNCIAS'. The main heading is 'CAMBIO DE SUMINISTRO A AUTOPRODUCTOR'. Below the heading, the text reads: 'Cambio de suministro <11kwh o >11kwh a "autoprodutor de energía renovable"'. There are three vertical icons on the right side of the page: a hand holding a document, a document with a checkmark, and two people icons. The content is organized into sections: 'Requisitos', 'Datos Técnicos', 'Consideraciones especiales', and 'Importante:'. The 'Requisitos' section lists: 'Llena y firma el contrato de Suministro de Energía Eléctrica.', 'Si ya cuentas con servicio de energía eléctrica aporta el NIS o fotocopia de la factura al que deseas realizar el cambio de medidor, y si es servicio nuevo, es necesario presentar fotocopia del recibo de la casa vecina más cercana o bien el NIS.', and 'Presenta fotocopia del documento de identificación del titular del contrato (DPI o Pasaporte)'. The 'Datos Técnicos' section lists: 'Presentar diagrama unifilar del proyecto incluyendo dispositivos de protección y desconexión del sistema.', 'Presentar especificaciones de los equipos a instalar (panel e inversor).', 'El suministro no debe tener facturas pendientes de pago.', 'Fotografía del medidor y acometida actual.', and 'Fotografía de los paneles ya instalados.'. The 'Consideraciones especiales' section lists: 'Fotografía de Base tipo Socket clase 100 cuadrada debidamente instalada.', 'Si el suministro está registrado a nombre de una empresa debes presentar: Fotocopia de patente de Comercio y de Sociedad.', 'Fotocopia del nombramiento del representante legal.', 'Fotocopia del documento de identificación del representante legal (DPI o Pasaporte).', and 'Constancia de Inscripción ante la SAT (no más de 6 meses de haberse emitido)'. The 'Importante:' section lists: 'Los costos por cambio de voltaje se reflejarán en tu próxima.', 'El plazo para ejecutar el cambio del equipo de medición es de 28 días.', '\*La gestión debe realizarla el representante legal, caso contrario deberá otorgar una carta autenticada autorizando a otra persona a realizar el trámite.', and 'La persona autorizada para realizar esta gestión debe presentar también su documento de identificación.'. At the bottom of the page, there are three certification logos: AENOR Gestión Ambiental, AENOR Seguridad y Salud Laboral, and a circular logo for 'CERTIFIED Net MANAGEMENT SYSTEM'.

Fuente: Energuate, 2022. <https://www.energuate.com/cambio-de-suministro-autoprodutor>

Anexo 2. Ubicación de AISA en la ciudad de Guatemala



Fuente: AISA, 2022.

Anexo 3. Ejemplos de proyectos fotovoltaicos desarrollados por AISA



**PROYECTO TERMINADO**

Zona 10 | Guatemala

☎ 3320-0525 📞 2367-0227 [aisa.com.gt](http://aisa.com.gt) SOLAR

This graphic features a central photograph of solar panels installed on a red-tiled roof. The text 'PROYECTO TERMINADO' is prominently displayed at the top in a bold, stylized font. A yellow hard hat icon is positioned in the bottom left corner. The location 'Zona 10 | Guatemala' is noted in the bottom right. At the bottom, contact information including a phone number, a WhatsApp icon, a website URL, and the 'SOLAR' logo is provided.



**PROYECTO TERMINADO**

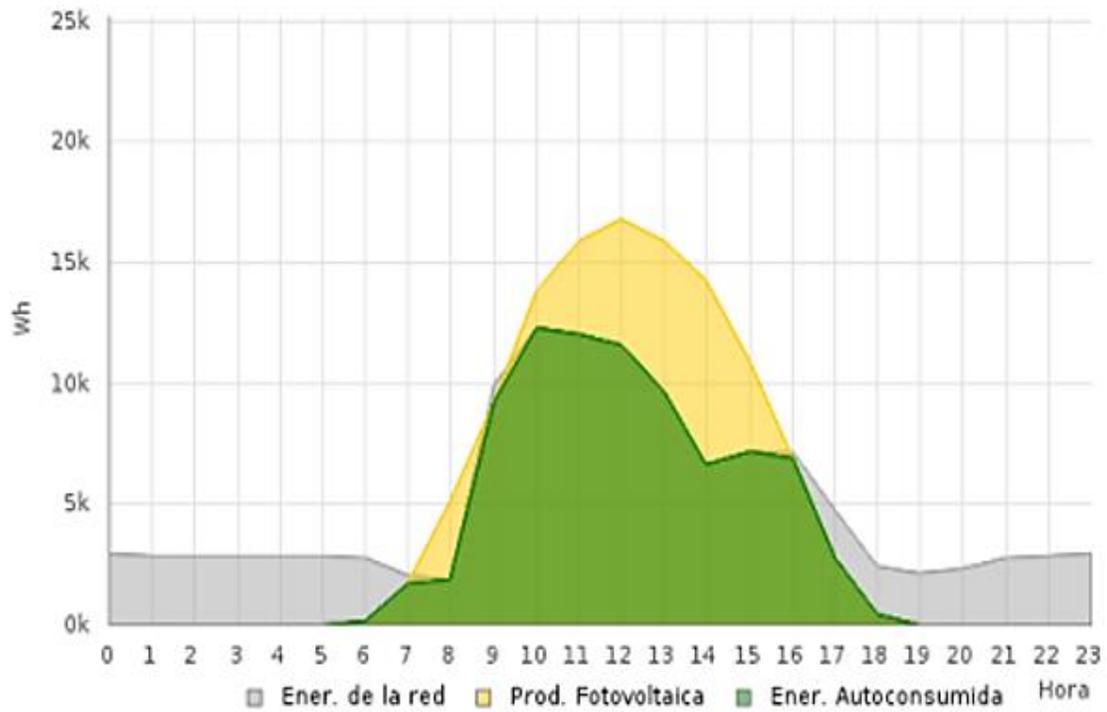
Iztapa | Escuintla

☎ 3320-0525 📞 2367-0227 [aisa.com.gt](http://aisa.com.gt) SOLAR

This graphic shows solar panels on a corrugated metal roof with palm trees in the background. The text 'PROYECTO TERMINADO' is at the bottom in a bold, stylized font. A yellow hard hat icon is in the bottom left corner. The location 'Iztapa | Escuintla' is noted in the bottom left. At the bottom, contact information including a phone number, a WhatsApp icon, a website URL, and the 'SOLAR' logo is provided.

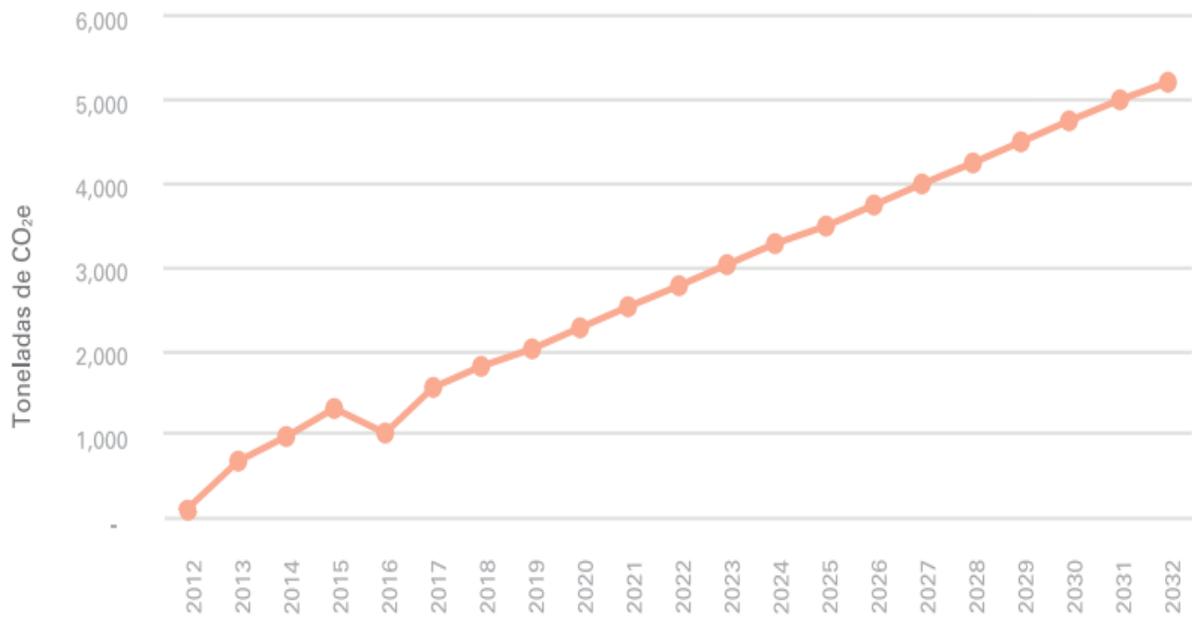
Fuente: AISA, 2022.

#### Anexo 4: Balance energético de un sistema fotovoltaico atado a la red



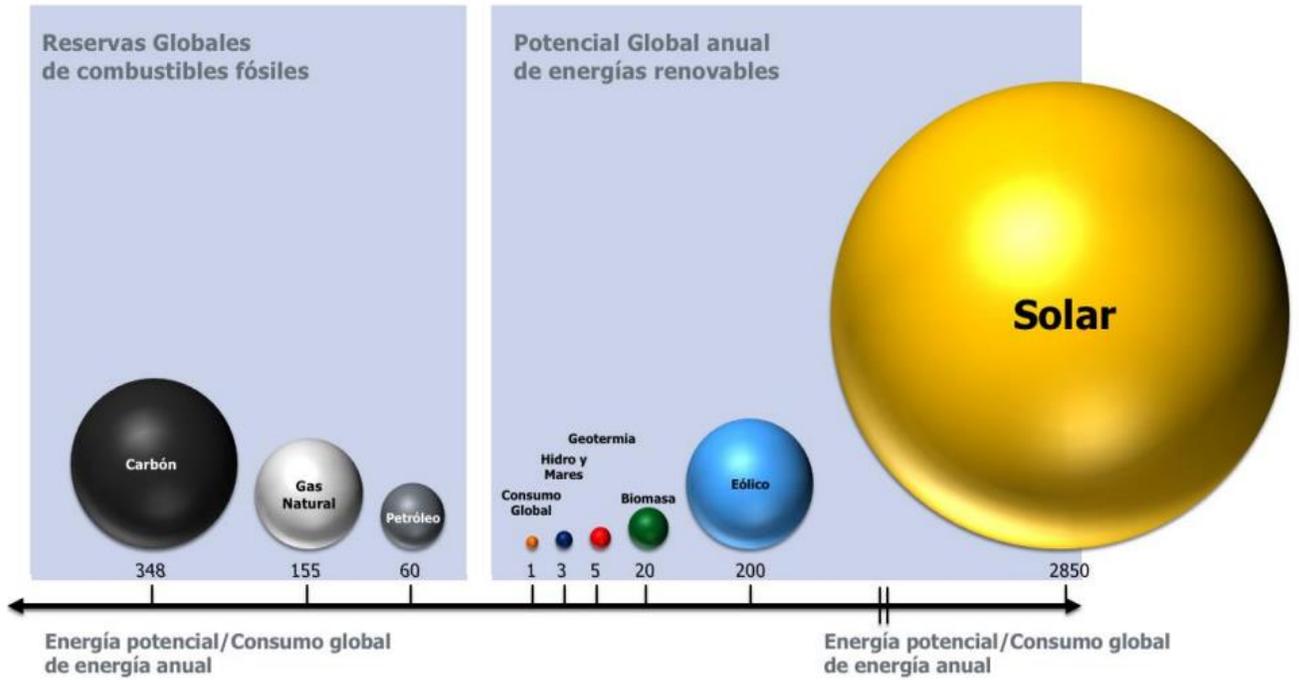
Fuente: AutoSolar, 2019. <https://autosolar.es/energia-solar-fotovoltaica/el-poder-de-los-datos-en-la-fotovoltaica>

Anexo 5: Predicción en la cantidad de toneladas de  $CO_2$  a evitarse debido a los *UAEE* conectados a los sistemas de distribución.



Fuente: Ministerio de Energía y Minas, 2017. <https://mem.gob.gt/wp-content/uploads/2020/10/15.-Plan-Nacional-de-Energia-2018-2032.pdf>

Anexo 6: Comparación del potencial energético global de distintas fuentes renovables y no renovables



Fuente: Corporación de Fomento de la Producción, 2017. [https://gedes.cl/documentos/pti-energia/PTI%20Cluster%20Energ%C3%ADa%20Antofagasta%20-%20difusi%C3%B3n%20\(Julio\).pdf](https://gedes.cl/documentos/pti-energia/PTI%20Cluster%20Energ%C3%ADa%20Antofagasta%20-%20difusi%C3%B3n%20(Julio).pdf)