

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS
ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
MAESTRÍA EN FORMULACIÓN Y EVALUACIÓN DE PROYECTOS



**INSTALACIÓN DE UN SISTEMA DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN EL
ESTADIO REVOLUCIÓN, UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



LIC. RONALDO MARCELO LAY DE LEÓN

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS
ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
MAESTRÍA EN FORMULACIÓN Y EVALUACIÓN DE PROYECTOS



**INSTALACION DE UN SISTEMA DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN EL
ESTADIO REVOLUCION, UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

Informe final de trabajo profesional de graduación para la obtención del Grado de Maestro en Artes, con base en el "Instructivo para elaborar el trabajo profesional de graduación", Aprobado por Junta Directiva de la Facultad de Ciencias Económicas, el 15 de octubre de 2015, según Numeral 7.8 Punto SEPTIMO del Acta No. 26-2015 y ratificado por el Consejo Directivo del Sistema de Estudios de Postgrado de la Universidad de San Carlos de Guatemala, según Punto 4.2, sub incisos 4.2.1 y 4.2.2 del Acta 14-2018 de fecha 14 de agosto de 2018.

AUTOR: LIC. RONALDO MARCELO LAY DE LEÓN

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS
HONORABLE JUNTA DIRECTIVA

Decano: Lic. Luis Antonio Suárez Roldán

Secretario: Lic. Carlos Roberto Cabrera Morales

Vocal Primero: Lic. Carlos Alberto Hernández Gálvez

Vocal Segundo: Dr. Byron Giovanni Mejía Victorio

Vocal Tercero: Vacante

Vocal Cuarto: BR. CC.LL. Silvia María Oviedo Zacarías

Vocal Quinto: P.C. Omar Oswaldo García Matzuy

TERNA QUE PRACTICÓ LA EVALUACIÓN
DEL TRABAJO PROFESIONAL DE GRADUACIÓN

Presidente: MSc. Carlos Valladares

Secretario: MSc. Gilberto Robledo

Vocal Examinador: MSc. Josué Beltetón

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Yo: **RONALDO MARCELO LAY DE LEÓN**, estudiante del Programa de Maestría en Formulación y Evaluación de Proyectos identificado con el número de carné: **200414770**.

Declaro que como autor, soy el único responsable de la originalidad, validez científica de las doctrinas y opiniones expresadas en el presente Trabajo Profesional de Graduación, de acuerdo al artículo 17 del Instructivo para Elaborar el Trabajo Profesional de Graduación para Optar al Grado Académico de Maestro en Artes.

Autor: 



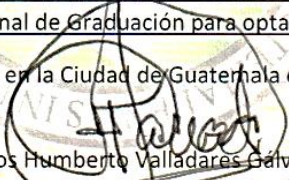
ACTA/EP No. 04663

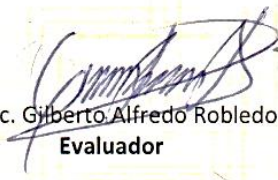
ACTA No. MFEP-06-2021

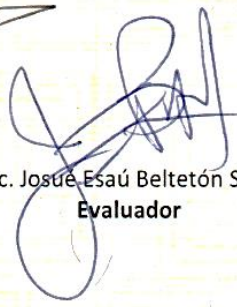
De acuerdo al Estado de Emergencia Nacional decretado por el Gobierno de la República de Guatemala y a las resoluciones del Consejo Superior Universitario, que obligaron a la suspensión de actividades académicas y administrativas presenciales en el Campus Central de la Universidad de San Carlos de Guatemala, ante tal situación, la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ciencias Económicas, debió incorporar tecnología virtual para atender la demanda de necesidades del sector estudiantil, por lo que en esta oportunidad nos reunimos de forma virtual los infrascritos integrantes de la Terna Evaluadora, el día jueves 30 de septiembre de 2021, a las 20:00 horas, para evaluar la presentación del TRABAJO PROFESIONAL DE GRADUACIÓN del Licenciado **Ronaldo Marcelo Lay De León**, carné No. 200414770, estudiante de la Maestría en Formulación y Evaluación de Proyectos de la sección **A** de la Escuela de Estudios de Postgrado, como requisito para optar al grado de **Maestro en Artes** en Formulación y Evaluación de Proyectos. La presentación se realizó de acuerdo con el Instructivo, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ciencias Económicas, el 15 de octubre de 2015, según Numeral 7.8 Punto SÉPTIMO del Acta No. 26-2015 y ratificado por el Consejo Directivo del Sistema de Estudios de Postgrado -SEP- de la Universidad de San Carlos de Guatemala, según Punto 4.2, subincisos 4.2.1 y 4.2.2 del Acta 14-2018 de fecha 14 de agosto de 2018.

Cada examinador evaluó, de manera oral los elementos técnico-formales y de contenido profesional del informe final presentado por el sustentante, denominado **"INSTALACIÓN DE UN SISTEMA DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN EL ESTADIO REVOLUCIÓN, UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA"**, dejando constancia de lo actuado en las hojas de factores de evaluación proporcionadas por la Escuela. La presentación fue calificada con una nota promedio de 84 puntos, obtenida de los punteos asignados por cada integrante de la Terna Evaluadora. La Terna hace las siguientes recomendaciones: Que, de acuerdo a las observaciones realizadas por cada uno de los miembros de la Terna Evaluadora; en los documentos revisados y entregados al estudiante; éste debe de incorporarlos al documento final de Trabajo Profesional de Graduación. Para el efecto dispone de cinco (5) días hábiles de acuerdo con el Instructivo para Elaborar Trabajo Profesional de Graduación para optar a la Maestría en Artes.

En fe de lo cual firmamos la presente acta en la Ciudad de Guatemala el 30 de septiembre 2021.


Msc. Carlos Humberto Valladares Galvez
Coordinador


Msc. Gilberto Alfredo Robledo Robles
Evaluador


Msc. Josué Esaú Beltetón Salazar
Evaluador


Lic. Ronaldo Marcelo Lay De León
Postulante



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS
ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
MAESTRIA EN ARTES EN FORMULACION Y EVALUACION DE PROYECTOS

ADENDUM al ACTA No. MFEP-06-2021

El infrascrito Examinador CERTIFICA que el estudiante **Ronaldo Marcelo Lay De León**, carné No. 200414770 incorporó los cambios y enmiendas sugeridas por cada miembro de la terna evaluadora.

Guatemala, 05 de octubre de 2021.



(f)

Carlos Humberto Valladares Gálvez
Coordinador

AGRADECIMIENTOS

- A Dios:** Por darme la sabiduría, las fuerzas y hacer posible mi desarrollo profesional.
- A mis padres:** Por el apoyo incondicional brindado en el transcurso de toda mi vida.
- A mi hija:** Por ser la inspiración y motivación en mi vida y en mi carrera.
- A mis hermanos:** Por la confianza que siempre me han brindado.
- A mis amigos y amigas:** Por su amistad, por las conversaciones, y por su apoyo durante toda mi carrera.
- A mis catedráticos:** En especial a Licda. Rosa Solís y al Ing. Agr. Hugo Arriaza por la orientación y paciencia.
- A la Escuela de Estudios de Postgrado:** Por brindarme conocimientos y por haberme permitido conocer a grandes seres humanos.
- A la Universidad de San Carlos de Guatemala:** Por ser la casa de estudios donde se forman los mejores profesionales de Guatemala y por ser "Grande entre las del mundo".

CONTENIDO

RESUMEN.....	i
INTRODUCCIÓN.....	iii
1. ANTECEDENTES.....	1
1.1. Universidad de San Carlos de Guatemala.....	1
1.2. Energía solar fotovoltaica	4
1.2.1. Energía solar fotovoltaica en Guatemala.....	6
1.3. Investigaciones similares al tema	11
2. MARCO TEÓRICO	13
2.1. Proyecto	13
2.1.1. Tipos de Proyectos.....	13
2.1.2. Identificación, formulación y evaluación de Proyectos	14
2.1.3. El ciclo de vida del Proyecto.....	15
2.2. Energía	16
2.2.1. Energía primaria.....	16
2.2.2. Energía secundaria (energía final)	17
2.2.3. Energía útil	17
2.2.4. Fuentes de energía no renovable.....	17
2.2.5. Fuentes de energía renovable.....	18
2.2.6. Medición de la energía	18
2.2.7. Cadena energética	19
2.2.8. Balance energético.....	19
2.2.9. Energía eléctrica.....	19
2.3. El Sistema Nacional Interconectado -SNI-.....	20
2.4. Matriz energética	20

2.4.1.	Matriz energética nacional.....	20
2.4.2.	Matriz de generación eléctrica por tipo de recurso	21
2.5.	Gases de Efecto Invernadero -GEI-.....	22
2.5.1.	Emisiones de Dióxido de Carbono CO ₂	22
2.5.2.	Cálculo de Barriles Equivalentes de Petróleo -BEP-	23
2.5.3.	Bonos de carbono	23
2.6.	Energía solar	24
2.7.	Radiación solar	25
2.7.1.	Irradiación.....	27
2.7.2.	Irradiancia.....	27
2.7.3.	Insolación	27
2.7.4.	Horas Sol Pico -HSP-	28
2.8.	Energía solar térmica.....	29
2.9.	Energía solar fotovoltaica	30
2.9.1.	Características de las instalaciones solares fotovoltaicas	30
2.9.2.	Sistemas de generación fotovoltaica	31
2.9.3.	Componentes de un sistema fotovoltaico conectado a la red	33
2.9.4.	Energía consumida y generada del sistema fotovoltaico.....	58
2.9.5.	Orientación e inclinación de los paneles fotovoltaicos.....	58
2.9.6.	Separación entre paneles fotovoltaicos.....	61
2.9.7.	Eficiencia y pérdidas en el sistema fotovoltaico	62
2.10.	Conceptos básicos de iluminación	62
2.10.1.	La luz.....	63
2.10.2.	Magnitudes y unidades fundamentales luminosas.....	64
2.11.	Métodos de iluminación en campos de fútbol.....	67

2.11.1.	Tipos de luminarias o lámparas	67
2.11.2.	Datos fotométricos de una luminaria.....	74
2.11.3.	Iluminancia del Plano Horizontal -E _H -.....	76
2.11.4.	Iluminancia del Plano Vertical -E _V -.....	77
2.11.5.	Uniformidad en la iluminación	77
2.11.6.	Restricción del alumbrado.....	77
2.11.7.	Reproducción del color.....	80
2.11.8.	Torres de iluminación	80
2.12.	Sistemas de iluminación.....	82
2.12.1.	Estudio luminotécnico	83
2.12.2.	Software DIALux Evo -Dx-	83
2.12.3.	Normativa FIFA para los sistemas de iluminación	83
3.	METODOLOGÍA.....	90
3.1.	Definición del Problema.....	90
3.2.	Delimitación del Problema	91
3.2.1.	Unidad de análisis	91
3.2.2.	Periodo histórico.....	91
3.2.3.	Ámbito geográfico.....	91
3.3.	Objetivos.....	92
3.3.1.	Objetivo general	92
3.3.2.	Objetivos específicos.....	92
3.4.	Justificación	93
3.5.	Método.....	94
3.5.1.	Enfoque mixto	94
3.5.2.	Alcance correlacional	94

3.5.3. Diseño no experimental.....	94
3.6. Matriz de Marco Lógico	95
3.7. Técnicas de investigación aplicadas.....	95
3.7.1. Técnicas de investigación documental	95
3.7.2. Técnicas de investigación de campo.....	95
4. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	97
4.1. Estudio Técnico	97
4.1.1. Descripción general del producto o servicio	97
4.1.2. Localización.....	98
4.1.3. Balance de energía	100
4.1.4. Precios de la energía eléctrica	104
4.1.5. Diseño del Proyecto	105
4.1.6. Tamaño del Proyecto	127
4.1.7. Procesos del Proyecto.....	127
4.2. Estudio Administrativo y Legal.....	137
4.2.1. Personal necesario para la instalación y operación del Proyecto.....	137
4.2.2. Tiempo de instalación del Proyecto.....	140
4.2.3. Legislación y normas nacionales.....	141
4.2.4. Legislación y normas internacionales.....	152
4.3. Estudio Ambiental.....	153
4.3.1. Descripción del entorno.....	153
4.3.2. Identificación de impactos ambientales	160
4.4. Estudio Financiero	169
4.4.1. Costo de inversión inicial.....	169
4.4.2. Costo de operación y mantenimiento	172

4.4.3. Estimación de ingresos	174
4.4.4. Supuestos financieros	180
4.4.5. Flujo de fondos.....	182
4.4.6. Evaluación financiera	184
4.4.7. Sensibilidad	186
4.4.8. Evaluación económica y social.....	188
CONCLUSIONES.....	192
RECOMENDACIONES	194
ACRÓNIMOS	195
BIBLIOGRAFÍA.....	196
E-GRAFÍA.....	205
ANEXOS.....	209
ÍNDICE DE FIGURAS	226
ÍNDICE DE TABLAS.....	228

RESUMEN

En los últimos años, se ha observado una disminución en el uso de los combustibles fósiles como principal fuente de generación de electricidad, la matriz energética, ha ido diversificándose hacia fuentes de energía renovables, pero este cambio aun no es suficiente, puesto que la matriz energética es mayormente dependiente del recurso hídrico. A nivel nacional, se han dejado de explotar otras fuentes con gran potencial, con costos más bajos de generación promedio y con menores riesgos debido al cambio climático (sequias) y ante los precios volátiles de los combustibles fósiles.

En presencia de esto, surge la importancia de contar con otras fuentes de generación que complementen con las hidroeléctricas y reduzcan el porcentaje de contribución, aún alto, de los combustibles de origen fósil que generan graves consecuencias al medio ambiente. Este, es un problema que involucra a todos pero sobre todo a la Universidad de San Carlos, que como ente rector de la educación superior, debe contribuir a ejercer liderazgo tanto en el tema ambiental como en el tema social.

Es por ello, que el siguiente trabajo, tuvo como objeto motivar y aplicar el uso de la tecnología solar fotovoltaica al interior de la Universidad, partiendo de una propuesta de instalación de un sistema fotovoltaico que suministre iluminación de forma eficiente y sostenible al estadio Revolución, que desde su construcción ha carecido de este servicio.

Para llegar a obtener los resultados planteados, se aplicó el método científico en sus tres respectivas fases (indagadora, demostrativa y expositiva); asimismo, se empleó un enfoque mixto, aplicando técnicas de investigación documental en consultas bibliográficas, e investigación de campo, en visitas al recinto deportivo y conversaciones con expertos en tema. En función de ello, los resultados más importantes que se obtuvieron al realizar el presente documento fueron:

Con respecto al estudio técnico, se definió que la localización en los edificios S3 y S6 posee un gran potencial solar, apto para permitir y motivar programas exitosos de aprovechamiento al interior de la Universidad; del mismo modo, se determinó que el proceso que deberá llevar a cabo el proyecto para su ejecución y operación deberá ir

acompañado de un asesor especializado y sobre todo deberá ir respaldado de áreas técnicas de la Universidad como la Facultad de Ingeniería, la Facultad de Agronomía y/o la Facultad de Arquitectura.

En cuanto al aspecto administrativo, se determinó que para este tipo de proyectos, el personal contratado es mínimo en la etapa de operación, y en la etapa de ejecución, solamente se deberá contratar a una persona experta en el tema. En cuanto al marco legal relacionado al proyecto, se observó que el país cuenta con la legislación adecuada para el desarrollo de proyectos de energía renovable, resaltando además, que la Universidad por ser un ente del Estado esta exonerada de pagar IVA e ISR.

En el análisis ambiental del proyecto, se identificó a los impactos negativos generados en la etapa de instalación como mínimos; adicionalmente, en la etapa de operación, se observó que el impacto positivo que se generará el proyecto es mucho mayor, puesto que evitará durante 25 años la emisión de 5,244.71 toneladas de CO₂ al ambiente, que incluso pueden venderse como CER's en el mercado de carbono.

Desde el punto de vista financiero, económico y social, se determinó que el proyecto fotovoltaico, utilizando una tasa de descuento y una tasa de descuento social del 12%, a lo largo de la vida útil de 25 años en los diferentes escenarios expuestos es factible y viable, siendo sensible a la variable precio de la energía; finalmente se observó, que el proyecto generará durante su vida útil un ahorro considerable en el gasto de energía, que bien puede llegar a invertirse en otras áreas, bienes o servicios, con el fin de mejorar el servicio a la población universitaria y a la población en general.

INTRODUCCIÓN

Actualmente en Guatemala, la cantidad de energía renovable en el SNI alcanza el 62% y la energía no renovable un 38%, sin embargo, conviene destacar el consumo excesivo de energía sustentada en el recurso hídrico con un 41% y en los combustibles de origen fósil con un 38%. Esto, conlleva inevitablemente a una falta de seguridad energética, y a un grado de exposición por parte de los consumidores a las variaciones de los costos de energía correspondientes a los precios volátiles de los combustibles fósiles, y a los ciclos desfavorables de la naturaleza, principalmente de la escasez hídrica.

Al respecto, es fundamental contar con más fuentes de energía, y la Universidad de San Carlos, también expuesta a esta problemática, debería llevar a cabo esfuerzos para lanzar iniciativas de inversión al interior de la misma, con el fin de motivar el uso de otras fuentes de energía limpias, modernas y no convencionales.

Pese a los beneficios tanto económicos como ambientales que poseen otras fuentes de energía, como por ejemplo la energía solar, en la Universidad aún no se han aplicado y desarrollado inversiones en el tema energético, especialmente en la tecnología fotovoltaica, que tiene uno de los costos más bajos de generación promedio. Lo anterior, aunado a las variaciones en los precios de la energía eléctrica, ha provocado un nulo ahorro en el gasto de energía universitaria, que bien podría invertirse en otras áreas que han estado abandonadas, como por ejemplo el estadio Revolución.

Es por ello, que el presente documento tiene como finalidad, proponer el suministro de iluminación al estadio Revolución mediante un sistema solar fotovoltaico conectado a la red, y que con ello, se puedan generar beneficios tanto al medio ambiente, a la población universitaria como a la población en general.

En consecuencia, el objetivo principal de esta investigación, es la realización de la propuesta mencionada, siendo de vital importancia la elaboración de los objetivos específicos, que corresponden a los elementos primordiales técnicos, administrativos-legales, ambientales y financieros/económicos que se requieren para llevar a cabo la elaboración de la propuesta.

Para la comprensión del lector, este estudio fue dividido en cuatro capítulos. El primer capítulo, desglosa los antecedentes del tema a tratar en: antecedentes generales de la Universidad de San Carlos de Guatemala; antecedentes de la energía solar fotovoltaica; antecedentes de la energía solar fotovoltaica en Guatemala; y por último, en antecedentes de investigaciones similares al tema de investigación.

En el segundo capítulo, se presenta el marco teórico. En este, se listan naturalmente todos los conceptos y terminología clave que sustentaran la investigación objeto de estudio, del mismo modo, se fundamenta el proyecto en base al planteamiento del problema que se ha desarrollado.

El tercer capítulo, contiene la metodología de la investigación, es decir, aquellos procedimientos y criterios generales, en el cual se definieron y sistematizaron todos los métodos y técnicas utilizados durante la investigación para darle solución al problema planteado y alcanzar los objetivos previstos.

En el cuarto capítulo, se presenta la discusión y análisis de los resultados obtenidos en el proceso de investigación. En esta sección, se muestra el desarrollo de cada objetivo específico planteado para poder alcanzar el objetivo general y así poder darle respuesta al problema de investigación.

Por último, se detallan tanto las conclusiones y recomendaciones, como la bibliografía correspondiente a los autores citados; adicionalmente, se incorpora una lista de acrónimos para hacer más comprensible la lectura; y finalmente, se adjuntan todos los anexos utilizados como referencia en el capítulo cuatro.

1. ANTECEDENTES

El presente capítulo, tiene como objetivo, explicar el origen y la razón de ser del tema seleccionado, así como exponer los estudios previos que guardan relación con el objeto de estudio. A continuación, se expone una breve descripción general de los principales hallazgos, historia y evolución del problema en cuestión.

1.1. Universidad de San Carlos de Guatemala

La Universidad de San Carlos de Guatemala -USAC-, surge como una iniciativa del Obispo Licenciado Francisco Marroquín, cuando el 1 de agosto de 1548 expresa una carta al Reino de España solicitando la autorización para fundar una universidad en la ciudad de Santiago de Guatemala, actualmente Antigua Guatemala. No obstante, la Universidad fue fundada hasta el 31 de enero de 1676 por Real Cedula de Carlos II, siendo la cuarta orden de fundación del continente americano (Sagastume, 2013).

La USAC, obtuvo varios cambios de nombres así como diversas sedes en el transcurso de la historia. Inicialmente, esta se establece en la antigua ciudad capital de Guatemala; posteriormente, debido a los terremotos de Santa Marta en 1773 se realiza su traslado a la nueva ciudad capital, en el actual Museo de la Universidad de San Carlos -MUSAC-; finalmente y con el fin de concentrarse en un solo lugar, llega a instaurarse en la ahora Ciudad Universitaria, conocida también como Campus Central Universitario, ubicado en la zona 12 de la ciudad capital (Marroquín, 2015).

En el año de 1944, derivado de los frutos de la revolución de octubre y con el inicio de un cambio político y social en el país, la Junta Revolucionaria establece a través del decreto No.12 la Autonomía Universitaria, en donde el Congreso de la República a su vez complementa las disposiciones de la Carta Magna (aprobada en 1945) con la emisión de una Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, originándose así la Universidad contemporánea autónoma y singular (Sagastume, 2013). Asimismo, es importante mencionar que en la Constitución Política de la República de Guatemala de los años 1956, 1965, así como en la nueva Constitución aprobada en mayo de 1985, se garantiza la Autonomía Universitaria y su papel rector en la educación superior del país,

(López, 2017). De esta manera, la Misión de la Universidad de acuerdo al artículo 82 de la nueva Constitución Política de la República establece que:

“... En su carácter de única universidad estatal le corresponde con exclusividad dirigir, organizar y desarrollar la educación superior del Estado y la educación profesional universitaria estatal, así como la difusión de la cultura en todas sus manifestaciones. Promoverá por todos los medios a su alcance la investigación en todas las esferas del saber humano y cooperará al estudio y solución de los problemas nacionales. Su fin fundamental es elevar el nivel espiritual de los habitantes de la República, conservando, promoviendo y difundiendo la cultura y el saber científico.”

Por su parte, en noviembre del 2013, de acuerdo a sesión celebrada por el Consejo Superior Universitario -CSU-, se cambia la Visión de la Universidad, incorporándose el termino ambiental, quedando de la siguiente manera :

“La Universidad de San Carlos de Guatemala es la institución de educación superior estatal, autónoma, con cultura democrática, con enfoque multi e intercultural, vinculada y comprometida con el desarrollo científico, social, humanista y ambiental, con una gestión actualizada, dinámica, efectiva y con recursos óptimamente utilizados para alcanzar sus fines y objetivos, formadora de profesionales con principios éticos y excelencia académica” (USAC, 2015, pág. 12)

Sin duda, la importancia de la Universidad se ha visto reflejada en diferentes temáticas, como en diferentes épocas que van desde la independencia de Guatemala, la revolución de 1944, el conflicto armado guatemalteco, hasta la fecha; y es que muchos de los pensadores más relevantes e influyentes de la historia del país se han formado en esta casa de estudios (Sagastume, 2013).

En los últimos años, el crecimiento y la evolución de la USAC ha sido notable, y hoy en día cuenta con la mayor oferta académica de carreras a nivel nacional. Naturalmente, cada año la población estudiantil de la universidad supera los 200,000 estudiantes

inscritos en programas académicos de pregrado y grado en 10 facultades, 9 escuelas no facultativas, 22 centros universitarios departamentales y 2 institutos tecnológicos, en los que laboran 10,989 docentes y 5,734 trabajadores administrativos y de servicios. Por otro lado, se subraya el hecho de que la Universidad también ofrece diversidad de programas sociales, tanto para estudiantes como para la sociedad guatemalteca en general (Soy Usac, 2020).

De acuerdo a su Manual de Organización (2016), dicha casa de estudios superiores, funciona a través de Unidades de Decisión Superior, Unidades de Apoyo, Asesoría y Extensión, y Unidades Académicas con el objetivo de dar cumplimiento al desarrollo de sus actividades primordiales.

Dentro de las Unidades de Apoyo, Asesoría y Extensión, se cuenta desde 1970 con la Dirección General de Extensión Universitaria -DIGEU-; esta unidad administrativa según Martínez (2014), es esencialmente quien dirige la Política Cultural Universitaria, esto con el fin de promover el desarrollo del arte, la cultura, la ciencia y el deporte al interior de la Universidad y en la comunidad guatemalteca.

Inicialmente, el Consejo Superior Estudiantil era la instancia responsable del área de deportes en la USAC, sin embargo, al no cumplir con la centralización de las labores deportivas, se suprime y se crea el Departamento de Deportes en enero de 1971. Este departamento, es actualmente la instancia encargada de fomentar, promover e impulsar el deporte dentro de la Universidad en sus diferentes disciplinas. Para cumplir con esta finalidad, el departamento integra equipos de trabajo multidisciplinarios, productivos, dinámicos e innovadores que obedezcan al fin de mejorar la calidad de vida y valorar el talento deportivo de los estudiantes San Carlistas (Martínez, 2014).

El Departamento de Deportes, cuenta con dos instalaciones o sedes para su actual funcionamiento, El Club Deportivo Los Arcos ubicado en zona 14, y el Complejo Deportivo de la Ciudad Universitaria situado dentro del Campus Central de zona 12 (García G. , 2018). El Complejo Deportivo Revolución como se le conoce, fue fundado el 23 de octubre de 1977 y cuenta actualmente con una piscina olímpica, canchas de tenis, un

polideportivo techado, un gimnasio y un estadio de futbol para la práctica de diferentes deportes. (Marroquín, 2015).

Al estadio de futbol se le conoce con el nombre de estadio Revolución, y actualmente es la sede principal del club de futbol Universidad, quien milita en la tercera división nacional del futbol guatemalteco (Gómez J. , 2020). Asimismo, este recinto deportivo cuenta en su estructura con una pista de atletismo cubierta de tierra y un graderío con capacidad para albergar cómodamente a 3,980 personas (Villatoro J. M., 2008).

El estadio Revolución, se utiliza primordialmente para albergar los encuentros del equipo universitario de futbol; sin embargo, también es aprovechado por estudiantes, personal administrativo, visitantes, trabajadores, y catedráticos que practican deportes en sus diferentes disciplinas deportivas, y de igual manera, es utilizado tanto para actividades culturales como para actividades huelgueras propias de la Universidad.

En ese sentido, y a pesar de que los estudiantes y demás personal universitario ya cuentan con un área deportiva dentro del Campus Central, estas instalaciones no cumplen de manera integral con los requerimientos que la población universitaria necesita. Una de ellas es la falta de inversión a su infraestructura, como por ejemplo la ausencia histórica de alumbrado o iluminación artificial al estadio Revolución.

En consecuencia, y de conformidad a la Misión, a la Visión y al Fin primordial de la Universidad, surge la necesidad de buscar una forma alternativa de suministro que permita iluminar de manera eficiente y sostenible las instalaciones del estadio, con el objetivo de que estas puedan utilizarse mejor si se extienden las horas de aprovechamiento, puesto que se encuentran parcialmente ociosas por carecer de iluminación.

1.2. Energía solar fotovoltaica

A lo largo de la historia, la energía solar siempre ha estado presente en la vida del planeta, siendo de vital importancia para el desarrollo de la misma. Al principio, esta fuente de energía se aprovechaba de forma pasiva, en donde los griegos fueron los primeros en

utilizarla de una forma consciente. Más adelante, en el año 1767, el científico suizo Horace Bénédict De Saussure había inventado el colector solar, el cual tendrá una repercusión determinante en el desarrollo de la energía solar térmica de baja temperatura. Posteriormente, en el año de 1839, el físico francés Alexandre Edmund Becquerel descubre el efecto fotoeléctrico, dando comienzo así a las células fotovoltaicas y por consiguiente a la energía solar fotovoltaica (Planas, Energía Solar, 2015).

En 1873, la energía solar fotovoltaica da el siguiente paso a través del ingeniero eléctrico inglés Willoughby Smith, quien descubre el efecto fotoeléctrico en sólidos, en este caso sobre el selenio. Del mismo modo, en 1877, el inglés William Grylls Adams y Richard Evans Day aplicaron al selenio el principio de Becquerel, registrando que de hecho, este sólido podía generar electricidad al quedar expuesto a la luz (Abele, 2020).

Más tarde, en 1883, y luego de casi 50 años después del descubrimiento de Becquerel, el inventor estadounidense Charles Fritz creó la primera celda o célula solar fotovoltaica de selenio funcional, siendo la precursora principal de la tecnología usada hoy en día (Vivint Solar, 2021).

En el año de 1953, tres de los científicos en una investigación de los laboratorios Bell, crean una célula solar más práctica utilizando el silicio, la cual tiene como ventajas una mejor eficiencia y una amplia disponibilidad como recurso natural. Estas mejoras en eficiencia, llevan a los paneles solares incluso a programas aeroespaciales en los años cincuenta y en los años sesenta (Planas, Energía Solar, 2015).

En ese momento, la energía solar fotovoltaica logra un impulso en el desarrollo tecnológico del sector, y en 1966, aparece la primera aplicación terrestre de tipo comercial en el faro de la isla Ogame, Japón. Esta instalación, permitía sustituir el uso de gas de antorcha por una fuente eléctrica renovable y autosuficiente. Se trataba del primer faro alimentado mediante energía solar fotovoltaica y fue de vital importancia para demostrar la viabilidad y el potencial de esta fuente de energía (Facio & Estrada, 2014)

A pesar de lo anterior, esta tecnología pierde relevancia en otros sectores debido al bajo coste de extracción del carbón, el petróleo y la utilización de energías no renovables de

esa época (Abele, 2020). Dicha tecnología se consideró entonces como cara y se abandona para fines industriales, encontrando únicamente aplicaciones en el sector espacial y en menor medida en la industria juguetera.

Posteriormente en los años 1970, ante una época de escasez de petróleo y subida generalizada de precios, resurge el uso de la energía solar fotovoltaica como fuente de energía, utilizándose tanto para calentar hogares, agua y para la generación de electricidad, especialmente para las viviendas sin conexión a red. (Vivint Solar, 2021).

Si bien en esa época, la energía solar fotovoltaica estaba en creciente popularización, las mejoras en este tipo de tecnología se produjeron de forma lenta durante las siguientes dos décadas, y es hasta a mediados de los años 1990, que las actividades en el campo fotovoltaico fueron impulsadas de nuevo por la presión ecológica de crear una fuente alternativa limpia y viable del petróleo (Enciso, 2019).

A partir de entonces, la evolución de la tecnología solar fotovoltaica se ha dado de forma progresiva y continua, logrando año con año mejoras en eficiencia y disminución en sus costos. Hoy en día, y derivado de los enormes avances realizados, la energía solar fotovoltaica se ha consolidado como un sector maduro y altamente atractivo, aumentando de apenas 43.7GW de capacidad total instalada en 2010 a 651GW a finales de 2019, siendo por sus beneficios, la tecnología más popular desplegada en un tercio de las naciones para 2019 (Bloomberg, 2020).

1.2.1. Energía solar fotovoltaica en Guatemala

En Guatemala, la información sobre el desarrollo y uso de los sistemas de energía solar fotovoltaica es escasa, sin embargo, de acuerdo a Córdoba (2011), las primeras aplicaciones de este tipo de tecnología aparecieron en los años ochenta, dándose sobre todo en el área rural, debido esencialmente a que son las zonas donde se presenta una mayor pobreza y por ende una mayor necesidad de energía eléctrica.

Para la década de 1990, con el objetivo de resolver la oferta eléctrica que no satisfacía las necesidades de la mayor parte del país, se da un importante avance en el sistema

eléctrico nacional. Es a partir de la Ley General de Electricidad -LGE-, que se tiene una trascendencia económica positiva y el respaldo a la diversificación renovable del sistema eléctrico en actividades de generación, transporte, comercialización y distribución de energía en virtud de la participación de varios actores que contribuyen a un equilibrio fiscalizador y eficiente (Palma, 2017).

Posteriormente, en el año 2003, debido a la importancia de crear esas alternativas de inversión que ayuden a diversificar la matriz energética, el Congreso de la República emite la Ley de Incentivos para el Desarrollo de Proyectos de Energía Renovable, la cual tiene como objetivo principal promover el desarrollo de proyectos de energía renovable y establecer los incentivos fiscales, económicos y administrativos (Palma, 2017)

Poco tiempo después, en el 2008, con la publicación oficial de la Norma Técnica para la Conexión, Operación, Control y Comercialización de la Generación Distribuida Renovable -NTGDR- y Usuarios Auto productores con Excedentes de Energía, por parte de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica -CNEE-, se abre una importante oportunidad para que inversionistas interesados en el sector evaluaran realizar proyectos de baja escala de fuentes de energía renovable. Según Pérez (2014), este escenario regulatorio nacional y la continua disminución en el costo de los equipos solares en el mercado internacional, favoreció el uso de energía fotovoltaica en Guatemala registrándose así un interés por la generación fotovoltaica.

En cuanto a proyectos se refiere, en septiembre de 2011, la Universidad del Valle de Guatemala -UVG-, conjuntamente con la CNEE y el Banco Interamericano de Desarrollo -BID-, lanza un proyecto piloto con el fin de promover el uso de energía solar como alternativa para el ahorro. El programa consistía en la instalación de 28 paneles fotovoltaicos, en el que se permitía generar 17,527 kW/h al año, economizando alrededor de Q28 mil 324 anuales (Bolaños, UVG impulsa uso de energía solar, 2011).

Para enero del año 2014, el colegio Evelyn Rogers inaugura el sistema de energía solar más grande de Guatemala a nivel educativo. Este proyecto, posibilitaba que el 90% de la energía del colegio fuera cubierta a través de un sistema fotovoltaico, el cual comprendía

una inversión de 342 paneles solares y permitiría la reducción de mil 564.50 toneladas de CO₂ en una proyección de 25 años (Bolaños, Prensa Libre, 2014).

Asimismo, en mayo de ese año (2014), Prensa Libre anuncia sobre la inauguración de la primera planta de energía solar en Guatemala, considerada la más grande de Centroamérica, con capacidad para producir 5,000 kilovatios de luz, equivalentes a 50 mil galones de bunker. El proyecto denominado “SIBO”, impulsado por las empresas Gran Solar de España y el Fondo de Inversiones de Suiza Ecosolar, se estableció en Estanzuela Zacapa en un tiempo récord (cuatro meses), instalándose en el terreno 20 mil 320 paneles fotovoltaicos y 15 motores para la generación de energía, teniendo un costo de aproximadamente 14 millones de dólares (Agencia ACAN EFE, 2014).

Otro antecedente de relevancia, fue la realización del congreso “Impulsando a los protagonistas del crecimiento en generación energética a partir de recursos renovables, Guatemala 2014-2020”, a cargo del Ministerio de Energía y Minas -MEM-. En dicho evento, se estudiaron las posibilidades de que Guatemala pudiera seguir creciendo en la producción de energía limpia y así poder abrir futuras oportunidades de inversión externa con el objetivo de disminuir el costo de la energía eléctrica entre el 25% y el 30% a partir de mayo del 2015 (Trejo, 2015).

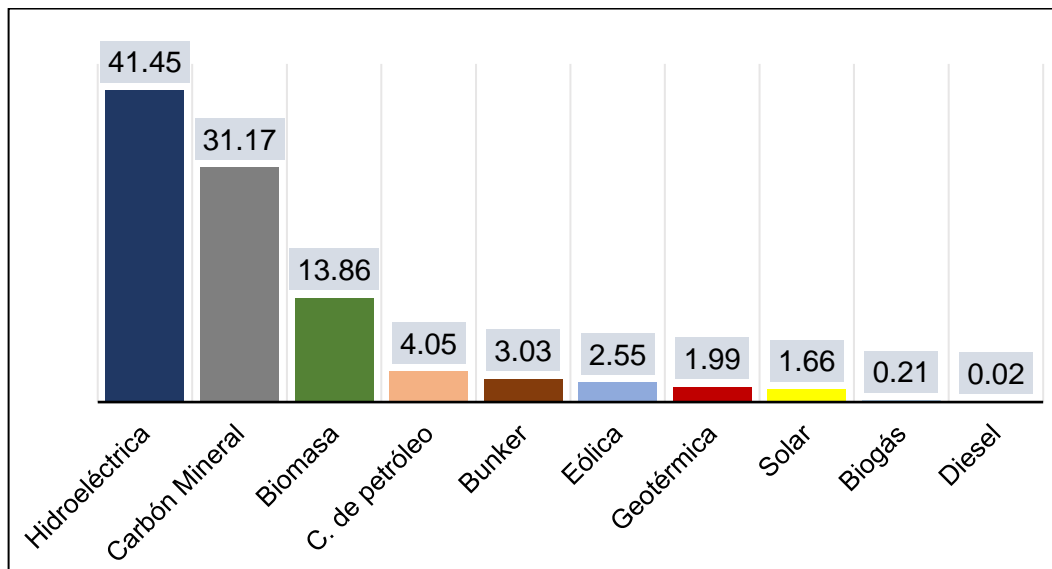
Desde entonces (2015), se han realizado diversidad de proyectos a nivel nacional, entre los más importantes se pueden mencionar los de San Jerónimo, Tacuilula, Rio Hondo I, Rio Hondo II y III, Horus I y Horus II, Granja Solar El Jobo, Buena Vista, Taxisco, Pedro de Alvarado y el primer sistema de electrificación solar aislado en Uaxactún Petén por parte del Instituto Nacional De Electrificación -INDE- (MEM, 2020).

1.2.1.1. Situación actual de la energía solar fotovoltaica

Naturalmente, la generación eléctrica con centrales solares fotovoltaicas en el Sistema Nacional Interconectado -SIN- o subsector eléctrico, ha tenido un marcado crecimiento desde que se instaló la primera planta fotovoltaica, pasando de 7.10 GWh en 2014 a 208.31 GWh en 2018. Sin embargo, esta fuente de energía aun es poco explotada,

puesto que dentro de la matriz energética nacional su aportación aún es muy baja, lo cual se representa a través de la siguiente gráfica:

Figura 1. Generación eléctrica por tipo de combustible. Guatemala, año 2018 (%)



Fuente: Elaboración propia en base a datos del MEM, año 2018

Según datos del Ministerio de Energía y Minas -MEM-, para el año 2018, la generación de electricidad llegó a los 13,000 GWh, en donde las principales contribuyentes a la matriz energética fueron las hidroeléctricas con 41.45%, las plantas térmicas de carbón con 31.17%, la biomasa con un 13.86%, el coque de petróleo con 4.05% y el bunker con 2.55%. Por su parte, las que menos contribuyeron fueron la energía eólica, aportando 2.55%, la geotérmica 1.99%, la solar 1.66%, y por último el biogás y el diésel con 0.21% y 0.02% respectivamente.

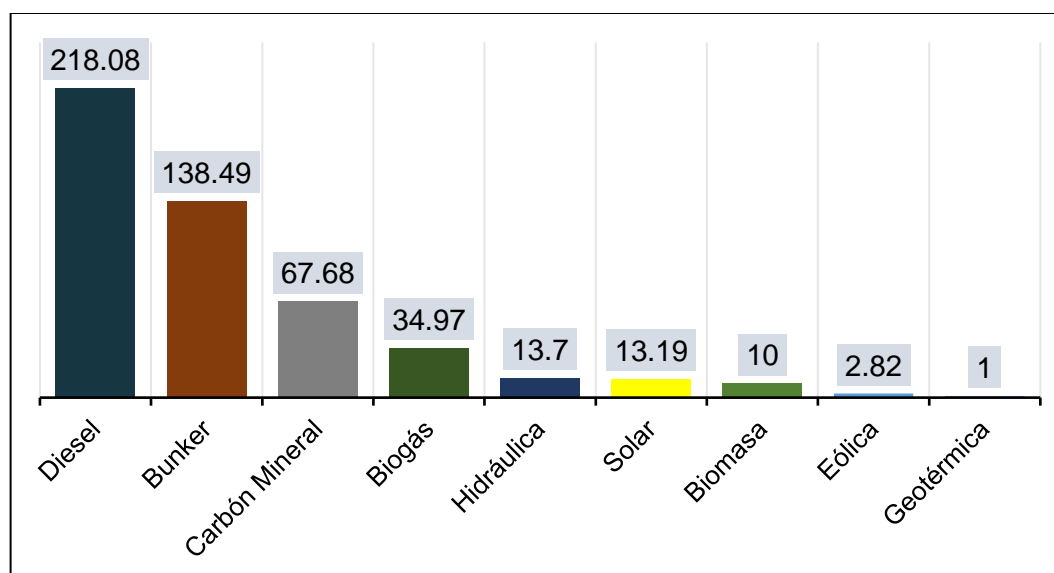
Si bien, para el año 2018, la cantidad de Energía Renovable en el SIN alcanzó el 61.74% y la Energía No Renovable un 38.26%, conviene destacar la dependencia de los combustibles de origen fósil y del recurso hídrico que tradicionalmente ha tenido el país para generar energía eléctrica (MEM, 2007). Esta dependencia, acrecienta aún más la importancia de diversificar la matriz energética hacia fuentes limpias, potenciales e inagotables como la energía solar fotovoltaica, principalmente debido a la exposición que tienen los consumidores a las variaciones de precios de la energía correspondientes a

los cambios en el precio de los combustibles fósiles, y a los ciclos desfavorables de la naturaleza, sobre todo de la escasez hídrica.

De lo anterior, resulta necesario decir que la generación de energía eléctrica por tipo de combustible aumenta año con año, pero también con ello aumentan las emisiones de Gases de Efecto Invernadero -GEI-. Según datos del MEM, del año 2013 al 2016 hubo un crecimiento promedio del 9.8% en las emisiones de GEI; y para el año 2017, se generaron 17.69 millones de toneladas de CO₂, de donde se puede mencionar que del total de emisiones, el 53.87% corresponden al transporte terrestre, seguido por actividades de generación eléctrica con un 26.91% e industria manufacturera y construcción con un 13.17%.

Es importante además, resaltar el hecho de que la energía solar fotovoltaica tiene uno de los costos variable más bajos de generación promedio por tipo de recurso en dólares americanos -US\$-, lo cual se puede visualizar a través de la siguiente gráfica:

Figura 2. Costo variable de generación promedio (US\$/MWh). Guatemala, año 2018 (%)



Fuente: Elaboración propia en base a datos del MEM, año 2018

Finalmente, y aunado a lo anterior, Guatemala es un país que presenta un gran potencial solar, puesto que el valor promedio de radiación solar global para todo el territorio nacional es de 5.3 kWh/m² al día, durante casi todo el año. Dicho valor es mucho más

alto que el de varios países que cuentan con programas exitosos de aprovechamiento de energía solar, lo cual convierte al país en idóneo para el aprovechamiento de esta fuente de generación de energía eléctrica (MEM, 2018).

1.3. Investigaciones similares al tema

En los últimos diez años, la tecnología solar fotovoltaica ha experimentado una baja considerable en los costos junto a la mejora de su eficiencia, y a pesar de que esta tecnología es relativamente nueva, en Guatemala existen algunos estudios de proyectos puestos a nivel de perfil y a nivel de prefactibilidad.

Del mismo modo, a nivel universitario se han realizado diversas investigaciones relacionadas al tema de investigación. No obstante, en este caso se citarán los hallazgos más relevantes de aquellas que se han enfocado al interior del Campus Central, las cuales se presentan a continuación:

La primera investigación encontrada que se focalizó al interior del Campus Central, fue la de Tay (2008), con nombre “Generación Eléctrica Fotovoltaica en la Facultad de Ingeniería USAC y Estudio del Aprovechamiento”. En dicho trabajo, se presenta un diagnóstico de factibilidad para la iluminación del Edificio T-6 por medio de paneles solares fotovoltaicos, en donde finalmente también se considera la posibilidad de verter excedente de energía producida por captación de paneles fotovoltaicos.

Por otro lado, una de las investigaciones más recientes es la de Aroche (2016), titulada “Propuesta de Proyecto de Árboles Solares en el Campus Central de la Universidad de San Carlos de Guatemala”. En esta investigación, como tal se realizó una propuesta de proyecto para la instalación de árboles solares. Entre los principales hallazgos encontrados fue el determinar el costo de inversión aproximado del proyecto, la mejor ubicación para colocar los paneles solares y por último, se conoció la aceptación de esta tecnología al interior del Campus Central Universitario.

Del mismo modo, relacionados al diseño de sistemas solares fotovoltaicos en edificios del Campus Central, se encuentran algunas investigaciones elaboradas recientemente, las cuales son:

- De León (2017). “Diseño Preliminar de un Sistema de Generación Fotovoltaica y su Protección Eléctrica para los Edificios S3, S6 y S8 de la Facultad de Ciencias Económicas.
- Diaz (2017). “Diseño Preliminar de un Sistema de Generación Fotovoltaica y Sistema de Protección Eléctrica, para la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala”.
- Alvarado (2017). “Diseño Preliminar de los Sistemas de Generación Fotovoltaica y su Protección Eléctrica para los Edificios de la Escuela de Ciencias de la Comunicación de la Universidad de San Carlos de Guatemala”.

En estos estudios de tesis, se presentó a la energía solar fotovoltaica como una fuente de energía alternativa limpia y capaz de generar corriente eléctrica necesaria para alimentar los edificios. Asimismo, se logró proveer suficiente base teórica y profesional para el diseño y cálculo de sistemas de generación fotovoltaica; para finalmente, evaluar la factibilidad técnica y económica de los proyectos para las correspondientes facultades.

Por último, vinculados al interior de las instalaciones deportivas de la USAC, se encuentran unos cuantos trabajos de tesis. Sin embargo, únicamente el realizado por Marroquín (2015), se enfocó al interior del estadio Revolución, esta investigación llamada “Propuesta de diseño para la iluminación del área deportiva USAC Campus Central”, tuvo como principal hallazgo, el realizar una propuesta de diseño para la iluminación de energía convencional para el área deportiva del campus central de la USAC, así como, dar a conocer los fundamentos teóricos sobre iluminación enfocada a recintos deportivos y por último determinar el estado actual de las instalaciones deportivas.

2. MARCO TEÓRICO

En este capítulo, es necesario definir algunos conceptos y terminología clave que será de uso constante en el presente trabajo. Por lo tanto, se describe a continuación una serie de definiciones tomadas de diferentes fuentes bibliográficas, que sustentaran la investigación objeto de estudio.

2.1. Proyecto

Para entender qué es un proyecto y las razones por las cuales se elabora, es necesario empezar por la concepción general de proyecto. Según diversos autores, los proyectos se crean o se originan cuando una persona o un grupo de personas, detectan problemas u oportunidades. El concepto de proyecto puede variar según el autor, pero el origen básicamente es el mismo, por ejemplo Díaz y otros (2010), denominan proyecto al “conjunto de actividades que se desarrollan en forma coherente con el propósito de obtener un resultado final como respuesta a una necesidad u oportunidad de negocio, en un tiempo determinado y mediante la utilización de recursos” (pág. 5).

Por su parte Crespo (2010), define proyecto al “conjunto de actividades interrelacionadas a ser llevadas a cabo bajo una gerencia unificada, para lograr un objetivo específico, en un plazo determinado mediante la utilización de recursos” (pág. 1).

2.1.1. Tipos de Proyectos

Según las necesidades que los distintos proyectos atienden, estos se pueden ordenar de varias maneras. Para Arboleda (2015), en una forma amplia, de acuerdo con su carácter, los proyectos se pueden clasificar en sociales y financieros; de acuerdo con el sector económico al que van dirigidos en agropecuarios, de servicios, de infraestructura, industriales, entre otros; y por último, de acuerdo con su ejecutor, en proyectos públicos, privados o mixtos.

Por ejemplo, en los proyectos privados, se esperan beneficios económicos como resultado del valor del producto o servicio que genera el mismo. De acuerdo a Alvizures (2019), los proyectos privados, son proyectos preparados y ejecutados por personas

naturales o jurídicas con recursos privados y de crédito, buscando siempre las mejores oportunidades de inversión y la máxima rentabilidad.

Por otro lado, los proyectos públicos, son proyectos no lucrativos, promovidos por el Estado y con presupuestos de inversión pública. Estos, son formulados con base en los planes y programas de desarrollo económico-social, apuntando generalmente al mejoramiento en áreas como salud, educación, vivienda, transporte y recreación, entre algunos otros (Arboleda, 2015).

2.1.2. Identificación, formulación y evaluación de Proyectos

La identificación de un proyecto, en atención a Pérez (2009), es establecer un problema que se presenta en un determinado sector, cual es la causa que lo origina y procurar resolverlo con probabilidades de éxito. Una vez identificada la causa, surge el análisis y selección de las alternativas para poder corregirla.

La formulación, es el conjunto de actividades orientadas a generar y procesar información sobre los diferentes aspectos que tengan relación con un proyecto, para posteriormente producir un documento donde se plasme de forma sistemática sus principales características, definiendo clara y coherentemente sus objetivos en relación con la producción de bienes y servicios que satisfagan las necesidades de una comunidad sobre la base de optimización de recursos (Córdoba, 2011).

La evaluación de proyectos, se encarga de construir toda la metodología necesaria para disminuir cualquier posibilidad de pérdida financiera y contar con una base científica que sustente las inversiones realizadas (Córdoba, 2011). Esta metodología, en términos generales, incluye diversos estudios particulares que deben realizarse para evaluar un proyecto, estos son: el Estudio de Mercado, Estudio Técnico, Estudio Administrativo y Legal, Estudio Ambiental y Estudio Financiero (Sapag & Sapag, 2008).

El fin de la evaluación de un proyecto, es determinar lo atractivo o viable que el proyecto es a la luz de diferentes criterios, los cuales determinan diferentes tipos de evaluación, a saber: evaluación técnica, financiera, económica, social y ambiental (Arboleda, 2015).

2.1.3. El ciclo de vida del Proyecto

Según Rosales (2011), el ciclo de vida de un proyecto independientemente de la forma en que se conceptualize y de su naturaleza, es posible identificarlo en cuatro fases o etapas sucesivas” (pág. 22), estas son: preinversión; promoción, negociación y financiamiento; inversión o ejecución; y operación o funcionamiento.

Para autores como Vidal & González (2015) y Sapag (2011), el ciclo de vida de un proyecto, está compuesto por cuatro etapas secuenciales básicas: la generación de la idea, los estudios de preinversión (idea, perfil, prefactibilidad y factibilidad) para medir la conveniencia económica de llevar a cabo la idea, la inversión para la implementación del proyecto y la puesta en marcha y operación.

De acuerdo a Rosales (1999), a la etapa de preinversión también se le conoce con el nombre de fase de planificación del proyecto, fase de estudios y fase de elaboración del proyecto. Es en la etapa de preinversión, con sus subprocesos (idea, perfil, prefactibilidad y factibilidad), en donde se elabora el documento de proyecto, el cual incluye todos los estudios y estimaciones que determinarán la factibilidad y viabilidad del proyecto.

En la etapa de inversión o ejecución, Vidal & González (2015), señala que es en esta etapa, donde se decide invertir en el proyecto, por tanto se toman todas las acciones tendientes a ejecutarlo físicamente, tal y como ha sido analizado y especificado en la etapa de preinversión.

Por su parte, la etapa de Operación o puesta en marcha, consiste únicamente en concretar los beneficios netos estimados en el documento de preinversión. Según Rosales (1999), en esta fase los bienes o servicios que se esperan del proyecto se prestan de manera continua y permanente durante su vida útil.

Básicamente, cada una de estas etapas, se divide en diferentes fases que requieren de un criterio de decisión para pasar a la siguiente; asimismo, la información utilizada debe ser cada vez más elaborada y precisa, con la finalidad de asegurar que los recursos financieros sean empleados con el menor riesgo e incertidumbre posible.

2.2. Energía

El concepto de energía se puede puntualizar de distintas maneras, no obstante, Schallenberg y otros (2008), la definen como la capacidad que tienen los cuerpos para producir trabajo: trabajo mecánico, emisión de luz, generación de calor, entre otros.

La energía permite el desarrollo, siendo un tema de gran relevancia para la actividad humana. Esta se encuentra en todas partes, pero solo se pueden ver los efectos que produce, por lo que puede manifestarse de distintas formas, como lo son la energía mecánica, cinética, potencial, eléctrica, térmica, electromagnética, química, solar, nuclear, entre algunas otras (Conde, 2018).

Adicionalmente, también puede clasificarse según el tipo de fuente. Estas fuentes, se ordenan en dos grandes grupos (Renovables y No Renovables), y son esencialmente los recursos existentes en la naturaleza de los que el ser humano puede obtener energía utilizable en sus actividades (Conde, 2018).

Por otro lado, en atención a Jarabo, Perez, Elortegui, Fernandez & Macias (1988), desde el punto de vista de la utilización de la energía, se puede clasificar a la energía en primaria, secundaria y útil, las cuales se describen a continuación:

2.2.1. Energía primaria

Es la que se adquiere directamente de la naturaleza y que no ha sufrido ningún tipo de transformación, como por ejemplo las energías renovables (energía solar, energía eólica, energía hidráulica, energía geotérmica, biomasa y biogás), así como las que se obtienen después de un proceso de extracción, como el petróleo, el carbón, el gas natural y el uranio, entre otras (Incyt URL, 2018).

En Guatemala, las energías primarias que se contabilizan son: el petróleo, el carbón mineral, la hidroenergía, la geoenergía, el biogás, la leña, el bagazo de caña, la energía solar y la energía eólica. De acuerdo al MEM, el consumo final de las fuentes primarias de energía para el año 2017 fue de 48,904.05 Kilo Barriles Equivalentes de Petróleo -KBEP-.

2.2.2. Energía secundaria (energía final)

Esta se obtiene a partir de transformaciones de la energía primaria. Ejemplos de esta categoría son la electricidad, el gas licuado de petróleo, las gasolinas, el kerosene, el Diesel Oil, el Fuel Oil, el petCoke y los no energéticos (Schallenberg et al, 2008).

En cuanto a las energías secundarias, el territorio nacional posee dentro de su matriz energética una diversidad de fuentes, entre ellas la electricidad, el gas licuado de petróleo, las gasolinas, el kerosene, el Diesel oil, el fuel oil, el petcoke y los no energéticos. En atención al MEM, para el año 2017 el consumo final de las fuentes secundarias de energía fue de 38,484.82 -KBEP-.

2.2.3. Energía útil

Energía útil, es la que obtiene el consumidor después de la última conversión realizada por sus propios equipos de demanda, como por ejemplo la energía mecánica gastada en un motor, la luminosa en una bombilla, entre otras. Algunas energías primarias pasan directamente a energía útil, sin transformarse previamente en energía secundaria (Schallenberg et al, 2008).

2.2.4. Fuentes de energía no renovable

Según la Fundación Asturiana de la Energía -FAEN- (2009), las fuentes de energía no renovables son aquellas que se encuentran de forma limitada en el planeta y cuya velocidad de consumo es mayor que la de su regeneración. Existen varias fuentes de energía no renovables, como: la energía nuclear (fisión, fusión nuclear) y los combustibles de origen fósil, los cuales comprenden a los hidrocarburos (petróleo, gas natural) y al carbón.

Cabe resaltar, que este tipo de fuentes de energía no renovables, se tienen que tratar y cuesta extraerlas, se agotan, se desechan y no son sustentables (FAEN, 2009). En el caso de los combustibles fósiles, estos producen dióxido de carbono, que es un gas de efecto invernadero y contribuye al calentamiento global.

2.2.5. Fuentes de energía renovable

Las energías de origen renovable, son aquellas cuyo potencial es inagotable, ya que provienen de la energía que llega a nuestro planeta de forma continua, como consecuencia de la radiación solar o de la atracción gravitatoria de la luna. Entre estas se encuentran: la energía solar, la energía hidráulica, la energía eólica, biomasa, geotérmica y las marinas (Schallenberg et al, 2008).

A las energías renovables también se les conoce como fuentes de energía limpias o energía verde, debido a que estas no producen gases de efecto invernadero (causantes del cambio climático), ni emisiones contaminantes (Jarabo y otros, 1988).

Cabe mencionar, que la disponibilidad de fuentes de energía renovable es mayor que las fuentes de energía convencionales (no renovables), básicamente es infinita y su potencial de aprovechamiento puede ser en cualquier parte del planeta, sin embargo, hasta el momento, su utilización ha sido escasa (Arenas & Zapata, 2011).

2.2.6. Medición de la energía

Conforme al Manual de Estadística Energética de la Organización Latinoamérica de Energía -OLADE-, la cuantificación de la energía desde el punto de vista estadístico, se realiza considerando las fuentes de las cuales se extrae, haciendo las distinciones siguientes (pág. 25):

I. Fuentes combustibles

Como sólidos, líquidos y gases. Estos se pueden medir mediante unidades físicas de masa o de volumen o en unidades energéticas, de acuerdo a su capacidad de producir calor por combustión.

II. Fuentes no combustibles

Como la energía solar, geotermia, hidroenergía y eólica. Estas se medirán solamente en unidades energéticas (calor y/o electricidad).

2.2.7. Cadena energética

La cadena energética, también llamada flujo energético, es la serie de fases, procesos y eventos, por los que una fuente energética debe pasar desde su origen hasta su aprovechamiento, como producción, transporte, transformación, almacenamiento, consumo, entre otros (Ministerio de Energía y Minería, 2015).

Conforme a la CNEE, la cadena energética es el conjunto de actividades y procesos que inician con la fuente de energía primaria, producción, transformación, transporte y distribución, hasta el uso final de la energía por el consumidor.

2.2.8. Balance energético

Con el fin de conocer el consumo energético nacional, el MEM publica anualmente los balances energéticos, en donde la producción de energía se detalla por tipos de energía primaria y tipos de energía secundaria.

Los balances energéticos, son instrumentos que permiten medir el consumo anual de energía y el consumo en los distintos sectores. En este caso, la unidad de medida utilizada por esta instancia, son los Kilo Barriles Equivalentes de Petróleo -KBEP-.

2.2.9. Energía eléctrica

Se define como energía eléctrica o electricidad, a la forma de energía que produce efectos luminosos, mecánicos, caloríficos y químicos, que se deben a la separación o movimiento de los electrones que forman los átomos. Su importancia radica, en que es una de las principales formas de energía usada en el mundo moderno, constituyéndose en la mayor parte de los hogares, oficinas, la industria y el comercio (Pérez, 2018).

Naturalmente, la energía eléctrica, es indispensable para toda actividad, siendo uno de los recursos que hace posible que se lleven a cabo actividades para el desarrollo humano.

2.3. El Sistema Nacional Interconectado -SNI-

El Sistema Nacional Interconectado -SNI-, es el sistema encargado de generar, transmitir y distribuir toda la energía eléctrica que se produce o se genera en el país (INCYT URL, 2018). Dicho de otra manera, el SNI, está compuesto por todas las plantas generadoras, las líneas de transmisión y las subestaciones de todos los participantes del mercado eléctrico nacional.

2.4. Matriz energética

Según OLADE (2017), es el estudio del sector energético en el que se cuantifica la oferta, la demanda y la transformación de cada una de las fuentes energéticas al interior del país, así como el inventario de recursos energéticos disponibles; considerando para estas variables su evolución histórica y proyección a futuro. El conocimiento y análisis de la matriz energética son elementos básicos para la planificación y el aseguramiento del abastecimiento energético.

Por otro lado, de acuerdo al MEM (2013), la matriz energética es la representación cuantitativa de toda la energía disponible en un determinado territorio, región, país, o continente para ser utilizada en los diversos procesos productivos.

2.4.1. Matriz energética nacional

En la siguiente tabla, se presenta el porcentaje de estructura o composición tanto pasada, actual, como tendencias a los años 2027 y 2032 de la matriz energética nacional.

Tabla 1. Composición porcentual, matriz energética nacional

Año	Renovable	No Renovable
2016	58%	42%
2018	62%	38%
2020	75%	25%
2027	70%	30%
2032	64%	36%

Fuente: Elaboración propia en base al Plan Nacional de Energía 2017-2032

Como se observa en la tabla n° 1, la participación de las energías renovables en la matriz energética nacional ha tenido un importante crecimiento, el cual va encaminado a cumplir con los objetivos propuestos por la Política Energética al reducir su dependencia del petróleo e impulsar otras fuentes de energía.

De acuerdo al MEM (2017), esta participación de las fuentes de energía renovable dentro de la matriz energética, también dependerá de las disponibilidades de los energéticos debido a condiciones climáticas externas al mercado eléctrico, que puedan afectar los embalses hidroeléctricos principalmente debido a sequías.

2.4.2. Matriz de generación eléctrica por tipo de recurso

La matriz energética de Guatemala, tiene una gran participación de la generación por recursos hídricos, la cual se ha mantenido como la mayor fuente de electricidad, solamente seguida por la generación de carbón. En la siguiente tabla, se presenta la generación eléctrica del Sistema Nacional Interconectado -SNI- por tipo de recurso:

Tabla 2. Generación eléctrica por tipo de recurso en GWh

Año	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Hidroeléctrica	4,434.83	4,630.73	4,825.15	3,815.79	3,951.29	5,765.33	5,190.98
Carbón	1,237.92	1,633.91	1,854.73	2,631.78	2,856.75	3,059.52	3,092.72
Biomasa	995.52	1,294.59	1,467.29	1,602.36	1,769.36	1,577.67	1,735.90
Bunker	1,788.32	1,497.96	1,380.22	1,971.57	1,595.57	395.47	379.22
Geotermia	245.63	212.35	246.60	251.53	289.14	253.05	249.75
Solar			7.10	149.26	191.80	198.20	208.31
Eólica				107.29	215.07	218.06	319.50
Biogás				5.15	8.62	17.56	26.33
Coque petróleo							507.75
Diesel	1.26	0.94	1.18	1.13	0.31	5.05	1.93
TOTAL	8,703.48	9,270.48	9,782.27	10,301.87	10,877.91	11,489.90	12,522.39

Fuente: Elaboración propia en base a datos del MEM

Para el año 2018, las principales aportadoras fueron: las plantas hidroeléctricas con 41.45%, las plantas térmicas de carbón con 31.17%, la biomasa con un 13.86%, el coque de petróleo con 4.05% y el bunker con 2.55%.

Por su parte, las que menos contribuyeron a la generación de electricidad fueron: la energía eólica aportando 2.55%, la geotérmica 1.99%, la energía solar 1.66%, y por último el biogás y el diésel con 0.21% y 0.02% respectivamente.

2.5. Gases de Efecto Invernadero -GEI-

Un Gas de Efecto Invernadero -GEI-, es todo aquel gas presente en la atmosfera que contribuye al efecto invernadero, lo intensifica y lo vuelve más peligroso, entre otras cosas. La emisión continuada de estos gases, provoca un mayor calentamiento de la superficie terrestre, puesto que absorben mayor radiación de la que después es devuelta por la superficie terrestre (CEPSA, 2015).

Los GEI pueden ser de origen natural y antropogénico, es decir, resultado de la actividad humana. De acuerdo a CEPSA (2015), entre los GEI de origen natural y antropogénicos se encuentran el vapor de agua, el dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4), el óxido nitroso (N_2O) y el ozono troposférico (O_3); finalmente, entre los de origen antropogénico se ubica al Hexafluoruro de azufre (SF_6), los Hidrofluorocarbonos (HFC's) y los perfluorocarbonos (PFC's).

En Guatemala, el inventario de GEI del sector energía fue integrado a los balances energéticos del MEM a partir del año 2016. Estos inventarios de emisiones, fueron incluidos de manera informativa con el objetivo de monitorear las emisiones que se producían en las distintas actividades derivadas del uso de energéticos a nivel nacional. Entre los principales GEI contabilizados en este inventario sectorial estas el dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4) y el óxido nitroso (N_2O) (MEM, 2018).

2.5.1. Emisiones de Dióxido de Carbono CO_2

El Dióxido de Carbono - CO_2 -, es un gas de referencia para la medición de otros gases de efecto invernadero. En este caso, para calcular y obtener la estimación por ahorro de

emisiones de dióxido de carbono CO₂ del sistema fotovoltaico, se multiplica la energía generada durante los años de vida útil del proyecto por un factor de referencia (Diaz, 2017). El cálculo se realiza de la siguiente manera:

$$\text{Cantidad CO}_2 = \text{consumo electricidad (kWh)} * \text{factor CO}_2 \text{ (kg/kWh)} \quad (1)$$

El factor de referencia a utilizar, es expresado en kg/kWh, el cual denota la emisión de CO₂ que se produce en un país por kilovatio/hora de electricidad. A este respecto, de acuerdo a SunEarthTools (2021), para Guatemala, el valor de este factor es de 0.28567 Kg de CO₂ por cada kilovatio hora -kWh- de energía producida.

Una vez obtenido este valor, se convierte a toneladas de CO₂. Para ello, se divide el resultado por 1,000 kg equivalentes a una tonelada de CO₂; seguidamente, se realiza el cálculo de ahorro de combustible por medio de los barriles equivalentes de petróleo -BEP-; y finalmente los valores obtenidos se multiplican por el precio actual de un barril de petróleo (De León, 2017).

2.5.2. Cálculo de Barriles Equivalentes de Petróleo -BEP-

Para calcular la cantidad de barriles equivalentes de petróleo, se utiliza la unidad -BEP-, la cual esencialmente indica la energía liberada durante la quema de un barril de petróleo, que tiene por lo general 42 galones estadounidenses o bien aproximadamente 158 litros de petróleo crudo. Un barril de petróleo equivale alrededor de 1,700 kilovatios hora kWh, es decir 1.70 MWh por cada BEP (Diaz, 2017).

$$\text{BEP} = \text{Energía anual generada} * 1.70 \text{ MWh} \quad (2)$$

Posteriormente, los valores obtenidos de la anterior ecuación, se multiplican por el precio actual de un barril de petróleo.

2.5.3. Bonos de carbono

Los bonos de carbono, son incentivos económicos que se entregan a empresas privadas que logren disminuir la contaminación ambiental. Por ejemplo, una tonelada de CO₂

equivale a un Certificado de Emisiones Reducidas -CER-, el cual puede ser vendido en el mercado. Los diferentes proyectos que pueden aplicar a una certificación son generación eléctrica con energía renovable, eficiencia energética en procesos y limpieza de lagos, entre otros (Díaz C. E., 2017).

Por su parte, la Organización de Naciones Unidas -ONU-, es la institución encargada de entregar los bonos; las empresas para recibir estos bonos deben demostrar el capital utilizado en tecnologías que sean menos contaminantes; deben hacer estudios del nivel de reducción de gases; hacer una presentación a la ONU y entrega de certificados. Las empresas que se pasen de la cantidad de emisión de gases, deben pagar también estos bonos de carbono por exceso de producción de CO₂ o realizar intercambios con empresas que logren disminuir su emisión de gases (Conde, 2018).

2.6. Energía solar

La energía solar, como su nombre lo indica es procedente del sol. Dicho de otro modo, esta se obtiene fundamentalmente de la radiación solar que llega a la tierra en forma de luz, calor o rayos ultravioleta (Aroche, 2016).

Este tipo de energía, es un recurso renovable que se constituye prácticamente en una fuente inagotable. Esta, se mide en cada lugar como la cantidad diaria de energía que llega a cada metro cuadrado de superficie horizontal, expresándose habitualmente en kilovatio hora por metro cuadrado kWh/m²/día (MEM, 2018).

De acuerdo a Arenas & Zapata (2011), el aprovechamiento de este tipo de energía puede realizarse por medio de dos formas o maneras distintas: la primera, puede ser por sistemas solares térmicos, y la segunda por sistemas solares fotovoltaicos utilizando paneles o módulos solares.

En ese sentido, el MEM (2018), expresa que la mejor calidad energética la tienen los rayos solares directos, aun cuando en algunas regiones del país o épocas del año predomina la radiación difusa. De modo que, se puede decir que en los colectores

térmicos se aprovecha tanto la luz directa como la difusa y en cambio para la conversión fotovoltaica, la luz directa (Ver radiación solar).

Asimismo, es importante destacar que el uso de sistemas de energía solar ofrece diferentes ventajas y desafíos, los cuales se presentan a continuación:

Tabla 3. Ventajas y desafíos de la energía solar

Ventajas	Desafíos
Es energía limpia, debido a que no se utiliza ningún tipo de combustible de origen fósil para la generación de electricidad. Únicamente se tiene como fuente energética la radiación directa del sol.	No siempre se cuenta con una radiación idónea para su aprovechamiento, las condiciones climáticas pueden afectar, sin embargo, un día nublado aún es un día aprovechable debido a que una parte de la radiación solar se puede seguir aprovechando para la generación de energía.
La instalación de un parque fotovoltaico es relativamente sencilla al momento del montaje comparado con proyectos que utilizan otras tecnologías para la generación de electricidad.	No es un tipo de energía constante; durante la noche no se cuenta con radiación solar por lo que el parque no presenta generación alguna.
Es posible aprovechar áreas destinadas para otros objetivos, tal como una instalación de paneles fotovoltaicos en el techo de un edificio.	Para conseguir una cantidad de generación alta, se debe contemplar el hecho de un parque de magnitud considerable; siendo necesaria extensiones amplias de tierra.
Guatemala se considera un país idóneo para la generación de energía eléctrica a través de paneles fotovoltaicos, debido al posicionamiento geográfico del país que permite tener valores aprovechables de radiación solar en casi todo el año.	Debido a que la construcción de una central fotovoltaica utiliza grandes extensiones de terreno para el montaje de los paneles solares, provoca que dichos terrenos se dejen de utilizar para otras actividades comerciales o agrícola

Fuente: Elaboración propia en base a datos del MEM

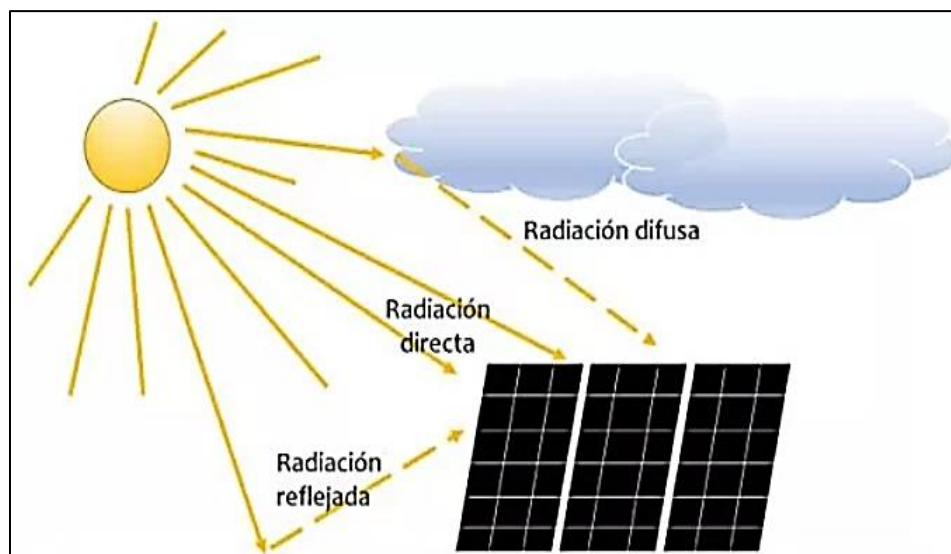
2.7. Radiación solar

La radiación solar, como se menciona anteriormente, llega a la tierra en forma de luz, calor o rayos ultravioleta. Al respecto, el Instituto de Estudios Ambientales IDEAM (2014), señala que la radiación solar, es la energía emitida por el sol que se propaga en todas las direcciones a través del espacio por medio de ondas electromagnéticas.

Medir esta radiación, es importante para un amplio rango de aplicaciones en diferentes campos, sobre todo como fuente alternativa de energía para la generación de electricidad, en el diseño de uso de calentamiento de agua, en el diseño de edificios e infraestructuras, y además, usos que emplean la radiación solar como unas de sus fuentes de energía, entre algunos otros (IDEAM, 2014).

Esta radiación, que alcanza a un determinado lugar puede tener tres orígenes: una parte (directa), proviene directamente del sol después de que los rayos solares han sido absorbidos parcialmente en la atmósfera; la otra (difusa), proviene de toda la atmósfera, siendo el resultado de la dispersión de los rayos solares por los gases y partículas que forman parte de la misma; y la última (reflejada), se origina básicamente por el reflejo de cuerpos sólidos cercanos o bien por la superficie de la tierra como la nieve, asfaltos, lagos, entre otros (Alvarado, 2017). (Ver figura 1)

Figura 3. Tipos de radiación solar



Fuente: www.sfe-solar.com

Del mismo modo, es importante mencionar, que la disponibilidad de radiación solar en cualquier lugar dependerá de diversos factores como lo son: la latitud del lugar, la época del año, la altura del lugar y las condiciones meteorológicas (Díaz, 2017).

2.7.1. Irradiación

El término irradiación, en atención a Gómez (2013), se refiere a la cantidad de energía solar recibida por unidad de superficie durante un periodo de tiempo determinado.

Esta irradiación, se puede representar en Julios (energía) por metro cuadrado J/m^2 o MJ/m^2 , así como en Wh/m^2 y finalmente en kWh/m^2 (potencia) mediante la conversión de unidades (Sebastián, 2019).

En ese contexto, según Alvarado (2017), se debe tener en cuenta la dirección con la cual la irradiación solar llega a la tierra, para conocer su comportamiento al ser reflejada. Por lo tanto, tomando en cuenta que la irradiancia depende del ángulo con que los rayos del sol alcancen a la superficie de la tierra, puede decirse entonces que la radiación en cualquier punto de la superficie de la tierra depende de su latitud y longitud.

2.7.2. Irradiancia

La irradiancia, es un término que se usa para determinar la potencia instantánea recibida por unidad de superficie de todo tipo de radiación electromagnética. En términos de unidades, esta irradiancia se puede medir en W/m^2 o bien kW/m^2 (Gómez, 2013)

El valor promedio de la irradiancia directa normal fuera de la atmosfera es de $1,367 W/m^2$, conocido también como Constante Solar con Cielo Limpio. Sin embargo, en la superficie de la tierra no alcanza $1,367 W/m^2$ de irradiancia debido a la presencia de la atmosfera, la cual no permite que llegue la radiación solar en forma directa (Sebastián, 2019).

2.7.3. Insolación

A la insolación, se le conoce como acumulación de energía promedio durante un intervalo de tiempo (diario, mensual, anual y estacional). Básicamente, la insolación es la misma irradiancia, pero considerando un tiempo promedio de permanencia sobre una superficie (De León, 2017).

Las unidades que se emplean para este concepto son las unidades de energía por unidades de área. Esto quiere decir, que las unidades de insolación se pueden medir en, Langley: cal/cm^2 , MJ/m^2 , BTU/ft^2 y en $\text{kW}\cdot\text{h}/\text{m}^2$ (Sebastián, 2019).

2.7.4. Horas Sol Pico -HSP-

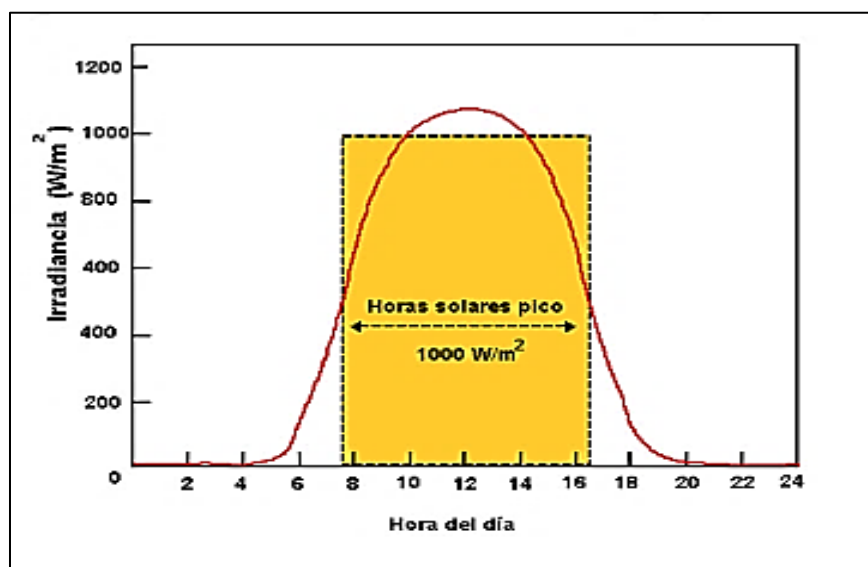
La Hora Sol Pico -HSP-, de acuerdo a Sebastián (2019), es una expresión muy usada para dar a entender la mayor insolación en un área o ciudad y en un tiempo o periodo de tiempo conocido.

La HSP, es un parámetro importante para medir los sistemas de energía solar fotovoltaicos, puesto que corresponden a la cantidad de horas en las cuales cada metro cuadrado de superficie obtiene de modo constante $1,000 \text{ W}/\text{h}$ de energía, generando una potencia máxima en cada panel llamada potencia pico (P_{pico}) (De León, 2017).

Dicho de otro modo, se entiende como HSP a la cantidad de insolación recibida en un panel solar fotovoltaico (o cualquier captador solar) en un tiempo de una hora. Las unidades generalizadas de las HSP son: 1 hora solar pico = $1,000 \text{ W}\cdot\text{h}/\text{m}^2$ (Diaz, 2017).

El concepto de Hora Sol Pico, se puede comprender mejor a través de la siguiente figura:

Figura 4. Irradiancia y HSP durante el día



Fuente: Alvarado (2017).

En la figura anterior, básicamente se puede observar que en el horario de 10:00 AM para las 2:00 PM se obtienen 1,000 W/m².

En Guatemala, las Horas Sol Pico fluctúan entre 5.31 y 5.67 HSP por día, según datos proporcionados por la National Aeronautics and Space Administration -NASA- y por la Solar and Wind Energy Resource Assessment -SWERA-. En la siguiente tabla, se muestra la radiación solar, así como las HSP, para Guatemala durante el año 2014.

Tabla 4. Radiación solar. Guatemala, año 2014

Año 2014	Radiación solar	Radiación solar	Hora Sol Pico SWERA
	NASA kWh/m2 día	SWERA kWh/m2 día	
Enero	5.18	6.03	6.03
Febrero	5.73	6.52	6.52
Marzo	6.02	6.82	6.82
Abril	6.05	6.42	6.42
Mayo	5.48	5.50	5.50
Junio	5.16	4.92	4.92
Julio	5.45	5.00	5.00
Agosto	5.34	5.20	5.20
Septiembre	4.73	5.06	5.06
Octubre	4.76	5.30	5.30
Noviembre	4.90	5.57	5.57
Diciembre	4.95	5.67	5.67
Promedio anual	5.31	5.67	5.67

Fuente: Elaboración propia

2.8. Energía solar térmica

La energía solar térmica, consiste en el aprovechamiento de la radiación solar mediante el uso de paneles solares térmicos, colectores o captadores. El funcionamiento de un sistema de energía solar térmica consiste en lo siguiente: el colector o panel solar capta los rayos del sol, absorbiendo de esta manera su energía en forma de calor, a través del panel solar se hace pasar un fluido (normalmente agua) de manera que parte del calor

absorbido por el panel es transferido a dicho fluido, el fluido eleva su temperatura y es almacenado, o es llevado directamente al punto de consumo (Arenas & Zapata, 2011).

Las aplicaciones más conocidas de este tipo de tecnología son el calentamiento de agua para uso doméstico, sistemas de calefacción en zonas frías, y finalmente la climatización del agua para piscinas (S.A., 2017)

2.9. Energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica, esencialmente es el proceso de obtención de energía eléctrica por medio de paneles o módulos fotovoltaicos. Dicho de otro modo, transforma de forma directa la radiación solar en electricidad, para lo cual se necesitan paneles formados por células fotovoltaicas (Arenas & Zapata, 2011).

En este caso, la conexión de estas células fotovoltaicas y su posterior encapsulado y enmarcado, da como resultado la obtención de los conocidos paneles o módulos fotovoltaicos, ya sea de utilización doméstica o industrial, como elementos generadores de corriente continua o corriente directa -DC- (Asociación de la Industria Fotovoltaica ASIF, 2004).

2.9.1. Características de las instalaciones solares fotovoltaicas

De acuerdo a Diaz (2017), las instalaciones solares fotovoltaicas se caracterizan entre muchas cosas por:

- Simplicidad y fácil instalación.
- Amigable con el medio ambiente, no produce ningún tipo de contaminación.
- Costos de operación muy bajos, mantenimiento sencillo y de bajo costo.
- Los módulos tienen un periodo de vida de hasta 25 años.
- Se puede integrar en las estructuras de construcciones nuevas o existentes.
- Elevada fiabilidad
- Funcionamiento silencioso.
- Costos de instalación ligeramente altos, gran inversión inicial.

- Requieren relativamente gran extensión de terreno para recolectar gran cantidad de energía solar.

2.9.2. Sistemas de generación fotovoltaica

Los sistemas de generación fotovoltaica, suministran energía eléctrica a partir de dos formas o maneras distintas, el primero se realiza mediante una conexión directa a la red de distribución eléctrica y el segundo por medio de un banco de baterías denominado sistema autónomo. (Ver apartados 2.10.2.1. y 2.10.2.2)

2.9.2.1. Sistema fotovoltaico conectado a la red

Este sistema, está compuesto por un generador fotovoltaico que se encuentra conectado en paralelo a la red eléctrica convencional, mediante un inversor que realiza la función de intercambiar la energía eléctrica generada durante el día y la energía consumida de la red eléctrica durante la noche o en periodos nublados. Estos, llevan sus protecciones tanto en Corriente Directa -DC- como en Corriente Alterna -AC-, y un contador que determina la cantidad de corriente que es inyectada a la red. (De León, 2017). (Ver apartado 2.10.3)

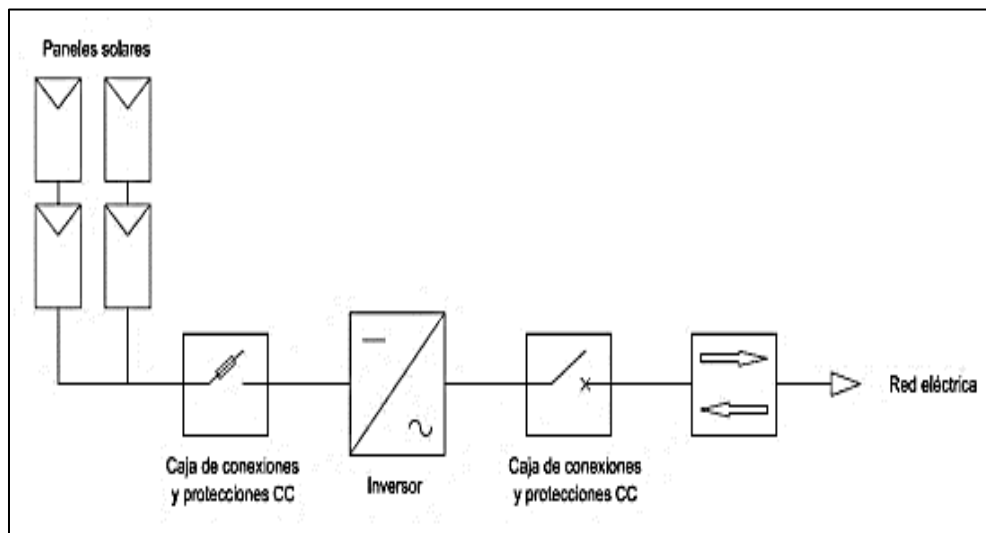
Dicho de otro modo, este tipo de instalación, permite que el excedente de electricidad producida pueda ser vendido o regresado al sistema nacional de electrificación, y en caso contrario, habilita la compra de energía, puesto que el sistema consume más de lo produce (Trejo, 2015).

Según ASIF (2004), al instalar un sistema fotovoltaico conectado a la red, se dispone de una minicentral eléctrica que inyecta kWh verdes a la red para que se consuman allí donde sean demandados, lo que elimina las pérdidas en transporte de electricidad.

La conexión a red de este tipo de instalaciones, se puede realizar directamente a la red de baja tensión en modo monofásico hasta 5 kW y en trifásico para el resto; otro tipo de instalaciones, son las centrales de generación eléctrica con potencias nominales superiores a los 100 kWp, estas suelen disponer de una conexión a la red en media o

alta tensión, disponiendo de un centro de transformación en el que se eleva la tensión de salida de los inversores adecuándola a la tensión de la línea eléctrica (Miranda, 2016).

Figura 5. Esquema de un sistema fotovoltaico conectado a la red



Fuente: Miranda (2016)

I. Mantenimiento.

El mantenimiento de los sistemas, se reduce esencialmente a la limpieza de los paneles cuando se detecte suciedad solidificada, y la comprobación visual del funcionamiento del inversor (ASIF, 2004).

II. Aplicaciones.

Las aplicaciones de un sistema conectado a la red son muy variadas, entre las principales se puede mencionar: tejados de viviendas, plantas de producción, sistemas de iluminación e integración en edificios, entre algunos otros (Trejo, 2015).

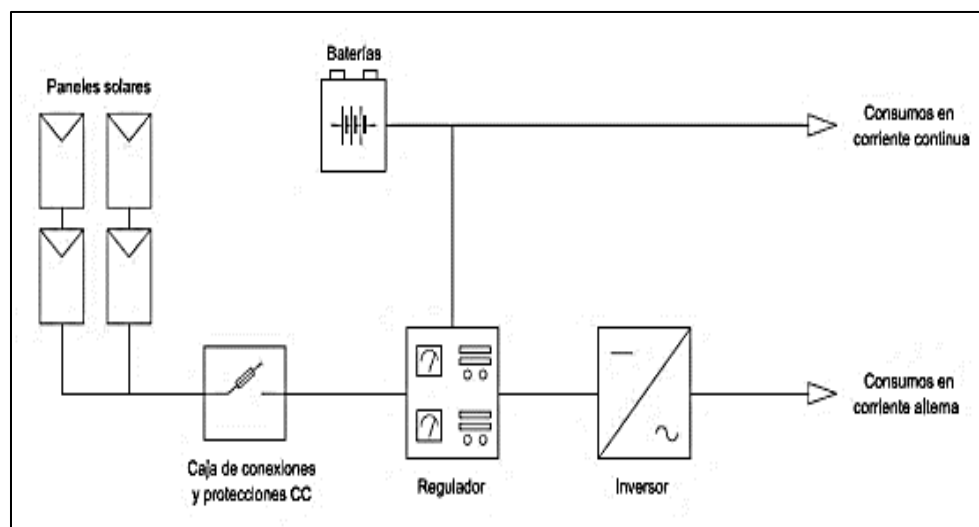
2.9.2.2. Sistema fotovoltaico autónomo

Los sistemas fotovoltaicos autónomos, se caracterizan por ser independientes de la red eléctrica, debido a que los paneles no almacenan energía y usualmente se conectan a un banco de baterías para almacenar la energía generada durante el día para luego ser usada en periodos nublados o durante la noche (De León, 2017).

Estos sistemas, se utilizan sobre todo en lugares donde no se tiene acceso a la red eléctrica y resulta más económico instalar un sistema fotovoltaico que tender una línea entre la red y punto de consumo (Trejo, 2015).

Los elementos que comprende este tipo de sistema de generación fotovoltaica son por ejemplo, el módulo o panel fotovoltaico, el regulador de carga, las baterías solares, el sistema de acumulación y el inversor (Miranda, 2016).

Figura 6. Esquema de un sistema fotovoltaico autónomo



Fuente: Miranda (2016)

2.9.3. Componentes de un sistema fotovoltaico conectado a la red

En atención a diversos autores, un sistema de generación fotovoltaica conectado a la red, está compuesto por la siguiente tecnología y los siguientes elementos:

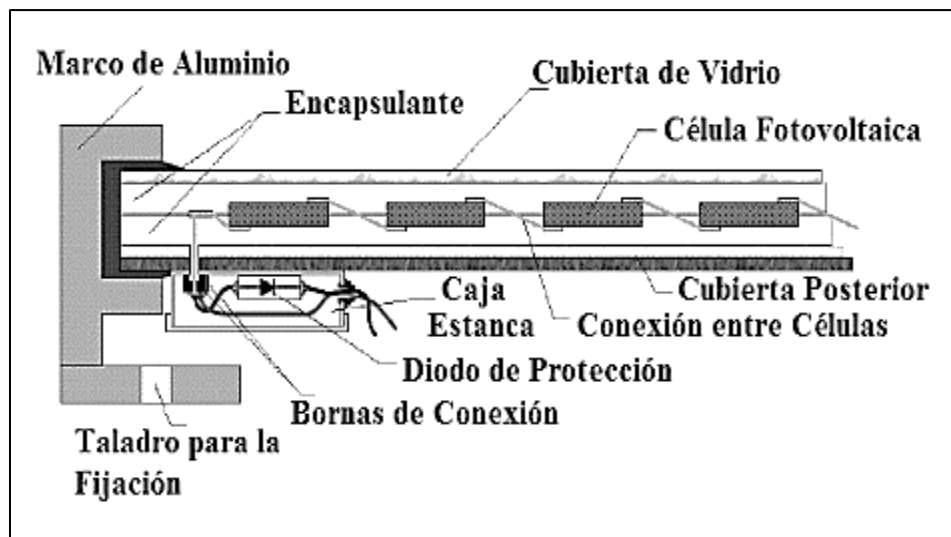
2.9.3.1. Panel fotovoltaico

Los paneles, módulos o colectores fotovoltaicos, son los elementos fundamentales de cualquier sistema solar fotovoltaico y su misión básicamente es captar la energía solar incidente y transformarla en corriente eléctrica. Estos, están formados por la unión en serie o interconexión de celdas solares encapsuladas entre materiales que las protegen de los efectos del clima o elementos contaminantes (Alvarado, 2017).

I. Estructura del panel fotovoltaico.

En la estructura del panel fotovoltaico, cada fabricante adopta una forma de empaquetar diferente al construirlo. No obstante, ciertas características son comunes a todos ellos, como por ejemplo, el uso de una estructura de sándwich, donde ambos lados de las células quedan mecánicamente protegidos (Chávez, 2015).

Figura 7. Estructura de un panel fotovoltaico



Fuente: De León (2017)

Como se observa en la figura anterior, los paneles solares están formados por una cubierta frontal o cubierta de vidrio, de material encapsulante, de células o celdas solares y sus conexiones eléctricas, por una cubierta posterior y por un marco metálico. Para una mejor comprensión, a continuación se describe cada uno de los elementos:

II. Cubierta frontal o cubierta de vidrio.

La cubierta frontal, sirve para proteger a las celdas contra las inclemencias del tiempo o bien contra los impactos que se puedan dar. Esta, es de vidrio templado con bajo contenido de hierro de aproximadamente 3 a 4 mm de espesor, con el fin de favorecer la transmisión hacia el material semiconductor y presentar una buena protección contra los impactos (Planas, Energía Solar, 2016).

III. Material encapsulante.

Este material se encuentra entre el vidrio y las células, su función es la de proteger las células solares y sus contactos. Como material encapsulante, se emplea un copolímero denominado EVA (etileno-vinil-acetato), el cual es un material que tiene un índice de refracción similar al vidrio, proporcionando una excelente transmisión a la radiación solar, así como una nula degradación frente a las radiaciones ultravioletas (Chávez, 2015).

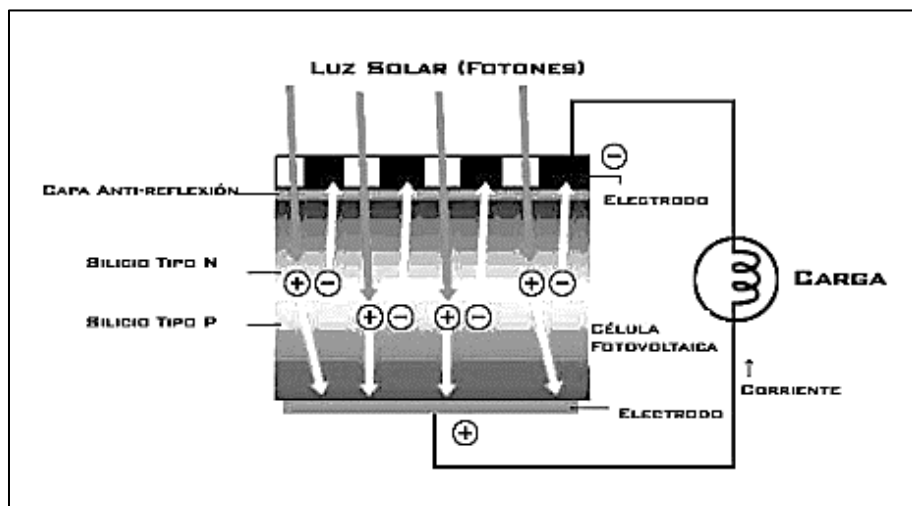
IV. Célula solar fotovoltaica.

Las celdas o células solares fotovoltaicas, son los elementos más importantes de un panel fotovoltaico. Se trata de unos dispositivos electrónicos que posibilitan transformar la energía luminosa (fotones) en energía eléctrica (electrones), es decir, mediante el efecto fotoeléctrico (Conde, 2018).

El efecto fotoeléctrico, se da cuando las partículas de luz llamadas fotones, impactan con un átomo de algún material, el átomo absorbe la energía del fotón y un electrón del material queda en un estado excitado por la energía absorbida, lo que permite en algunos casos que se mueva libremente. Si en lugar de uno, son varios los electrones que circulan libremente, pueden producir una corriente eléctrica bajo ciertas condiciones, y por lo tanto, generar electricidad a partir de la energía solar (S.A., 2017).

Estos dispositivos, están hechos de dos tipos de materiales semiconductores, uno de carga positiva (p) y otro de carga negativa (n). Por lo general, la parte superior tiene un carácter negativo y el resto positivo para crear la unión p-n. En este sentido, el trabajo de la celda es provocar que los electrones libres vayan de un material semiconductor a otro en busca de un “hueco” que llenar, produciendo así una diferencia de potencial y por tanto una corriente eléctrica, es decir, que se producirá un flujo de electricidad del punto de mayor potencial al de menor potencial hasta que en los dos puntos el potencial sea el mismo (Iluminet, 2016).

Figura 8. Funcionamiento de la célula fotovoltaica



Fuente: De León (2017)

Físicamente, la celda fotovoltaica es un diodo con una superficie amplia. Estas, comúnmente se fabrican de silicio, aunque también existen otras tecnologías o procesos de aceptable rendimiento como es el caso del telurio de cadmio, arseniuro de galio y células bifaciales, entre algunas otras (ASIF, 2004).

En el caso del silicio utilizado actualmente en la fabricación de las celdas que componen los módulos fotovoltaicos, se presenta en tres formas diferentes:

- *Silicio monocristalino.*

Las celdas de silicio monocristalino, se fabrican a partir de un único cristal de silicio extraído de un baño de silicio fundido. La red cristalina es uniforme en todo el material y tiene muy pocas imperfecciones. Por su parte, el proceso de cristalización es complejo y costoso, pero en cambio, es el que proporciona la mayor eficiencia de conversión de luz en energía eléctrica (ASIF, 2004)

Este tipo de celdas, son las más utilizadas y comercializadas en la tecnología solar a pesar de su elevado costo de fabricación, principalmente debido a que posee un rendimiento entre 14% y 20%. Este desempeño mejora en clima frío y su relación Wp/m^2 es de aproximadamente $150 Wp/m^2$ (De León, 2017).

- *Silicio policristalino.*

Las celdas de silicio policristalino, no están formadas por cristales orientados de la misma forma. En este caso, el proceso de cristalización es más barato y no tan cuidadoso, puesto que su red cristalina no es uniforme en todo el material. Sin embargo, obtiene rendimientos ligeramente inferiores a los del silicio monocristalino (ASIF, 2004).

Estas celdas, a pesar de que su costo de fabricación es más económico que el monocristalino, posee una buena eficiencia de conversión 100 Wp/m². Su rendimiento mejora en clima cálido, pero por otro lado, posee el inconveniente que su rendimiento baja en condiciones de iluminación baja (De León, 2017).

- *Silicio amorfo.*

En las celdas de silicio amorfo, no hay red cristalina, y se alcanza un rendimiento inferior a los de composición cristalina. No obstante, posee la ventaja además de su bajo coste, de ser un material muy absorbente por lo que basta una fina capa para capturar la luz solar (ASIF, 2004).

Las celdas de silicio amorfo, tienen un costo de fabricación bajo, lo cual presenta algunos inconvenientes como su bajo rendimiento, alcanzando entre el 5% y el 10% a pleno sol. En cambio, funcionan con una luz difusa baja, incluso en días nublados, y por otro lado, también facilitan su integración sobre soportes flexibles o rígidos (De León, 2017).

V. *Cubierta posterior.*

La cubierta posterior, sirve de protección y cerramiento al módulo, principalmente contra los agentes atmosféricos, ejerciendo una barrera infranqueable contra la humedad. A menudo está cubierta, es de color blanco, debido a que esto favorece el rendimiento del panel debido al reflejo que produce en las células (Planas, Energía Solar, 2016).

VI. *Marco metálico.*

El marco metálico o de apoyo, es la parte que le da rigidez mecánica al conjunto, permitiendo que se puede montar formando estructuras. Este marco, generalmente es de aluminio anodizado, aunque también pueden ser de otros materiales como el acero inoxidable o similares (Chávez, 2015).

VII. Caja de conexiones eléctricas.

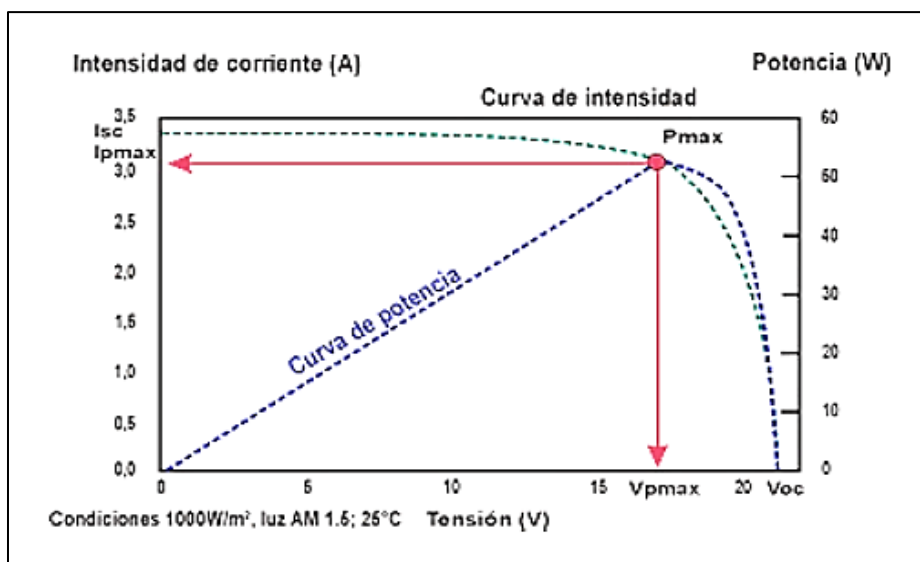
La caja de conexiones eléctricas, es el lugar donde se da una continuidad en el circuito eléctrico. De esta caja, salen dos cables (uno positivo y uno negativo), los cuales deben ser de sección superior a los utilizados en instalaciones convencionales y tener un grado de protección adecuado contra la humedad y fenómenos atmosféricos (Planas, Energía Solar, 2016).

La caja de conexiones, asimismo contiene unos diodos de by-pass (diodos de paso) que protegen individualmente a cada panel de posibles daños ocasionados por sombras parciales, impidiendo que las células sombreadas actúen como receptores o carga (Chávez, 2015).

VIII. Curva característica del panel fotovoltaico (I-V).

La representación estándar de un panel o modulo fotovoltaico es la característica corriente (I) – tensión (V). La curva I-V, representa las posibles combinaciones de corriente y voltaje para un panel fotovoltaico bajo unas condiciones ambientales determinadas (radiación solar incidente y temperatura ambiente). El punto en concreto de corriente y voltaje en el que el panel fotovoltaico trabajará, vendrá determinado por la carga a la que esté conectado (Alvarado, 2017).

Figura 9. Curva característica del panel



Fuente: Alvarado (2017)

La figura anterior, muestra en el eje de las abscisas (x) a la tensión, la cual está representada en voltios. Por su parte, en el eje de las ordenadas (y) se representa a la intensidad de corriente, la cual se expresa en amperios.

IX. Parámetros eléctricos de los paneles fotovoltaicos.

En el diseño del sistema de generación fotovoltaico, es importante contar con los parámetros y características de los paneles a utilizar para dimensionar adecuadamente la instalación. Por lo general, los fabricantes proporcionan la siguiente información:

- La corriente o intensidad de cortocircuito (I_{sc} - I_{cc}): es el punto donde el panel produce la corriente máxima, puesto que no existe una resistencia entre sus terminales representado en la curva un valor de voltaje cero. En el punto de cortocircuito la potencia de salida es igual a cero debido a que la tensión es cero (De León, 2017).
- Tensión nominal (V_N): esta es esencialmente el valor de la tensión a la cual trabaja el panel (Chávez, 2015).
- Voltaje en circuito abierto (V_{oc} - V_{ca}): es el máximo voltaje, que se mediría entre los bornes de un panel si se dejaran los terminales en circuito abierto ($I=0$). Dicho de otro modo, es la diferencia de potencial entre los bornes de la celda sin carga, con una iluminación fija, a una temperatura determinada (Diaz, 2017).
- Punto de máxima potencia (MPP): es el punto donde se encuentra o donde se intercepta la tensión máxima (V_{MPP}) con la corriente máxima (I_{MPP}), lo que al multiplicarse se traduce en la potencia máxima, $P_{max} = V_{MPP} * I_{MPP}$. Cabe mencionar, que la potencia disponible en un punto cualquiera de la curva se expresa en vatios (De León, 2017).
- Corriente o intensidad de máxima potencia (I_{MPP}): es la corriente presente en la curva donde se intercepta con la tensión de máxima potencia (V_{MPP}). Asimismo, es un punto en la curva donde se encuentra la potencia máxima de salida, este punto es

cuando se obtiene un valor determinado de tensión y de corriente máxima (Alvarado, 2017).

- Voltaje de máxima potencia (V_{MPP}): es la tensión normal de funcionamiento del panel. Del mismo modo, es la tensión presente en el punto de máxima potencia y donde se intercepta con la corriente de máxima potencia (I_{MPP}) (Alvarado, 2017).
- Rendimiento η : es la eficiencia del panel, donde se establece la relación entre la energía eléctrica generada y la energía luminosa recibida. Su valor está entre el 5% y 20%, dependiendo del material de construcción de la celda (Díaz, 2017).
- Rango de operación de temperatura: es la temperatura en la cual puede operar el panel, sirve básicamente para calcular el número de paneles por fila (Díaz, 2017).

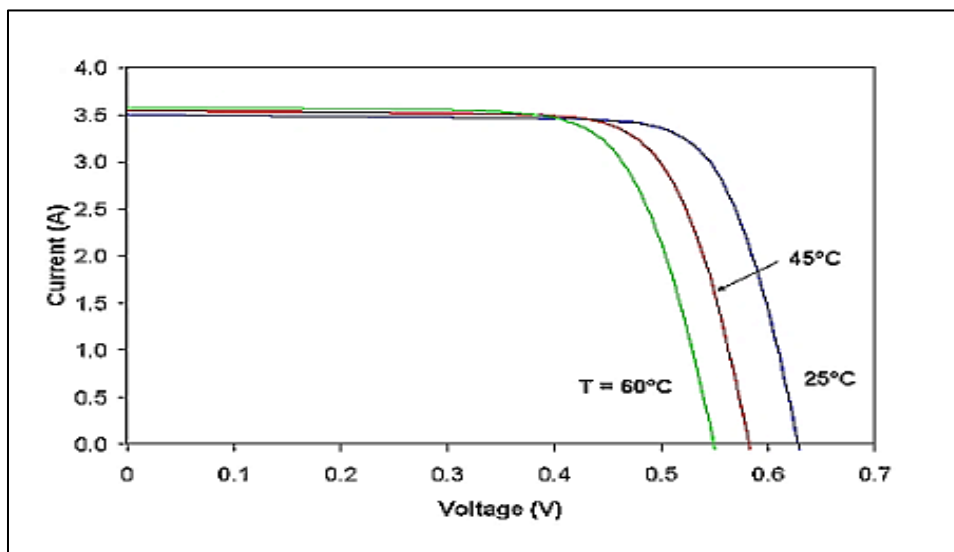
X. Curva V-I en función de la temperatura.

El aumento de la temperatura en las celdas, supone un incremento de la corriente, pero al mismo tiempo una disminución mucho mayor en proporción a la tensión. Esto significa, que tanto la corriente de cortocircuito como el voltaje a circuito abierto se ven afectados por la temperatura de trabajo, disminuyendo la potencia global del panel (De León, 2017).

Dicho de otro modo, la exposición al sol de las celdas provoca su calentamiento, lo que lleva aparejados cambios en la producción de electricidad; así, la tensión generada varía de forma inversamente proporcional a la temperatura de las células, sin que esto provoque cambios en la corriente de salida. Altas temperaturas en el panel, reducen de 0,04 a 0,1 voltios por cada grado centígrado que sube la temperatura (Chávez, 2015).

Por esta razón, los paneles fotovoltaicos no deberían ser instalados directamente sobre una superficie, sino que debe permitirse al aire circular por detrás de cada módulo para que su temperatura no suba. Es necesario un espacio de unos 10 cm para proporcionar ventilación adecuada. La temperatura de las células es superior a la temperatura ambiente, por el calentamiento a la que la somete la radiación solar (Chávez, 2015).

Figura 10. Curva V-I en función de la temperatura

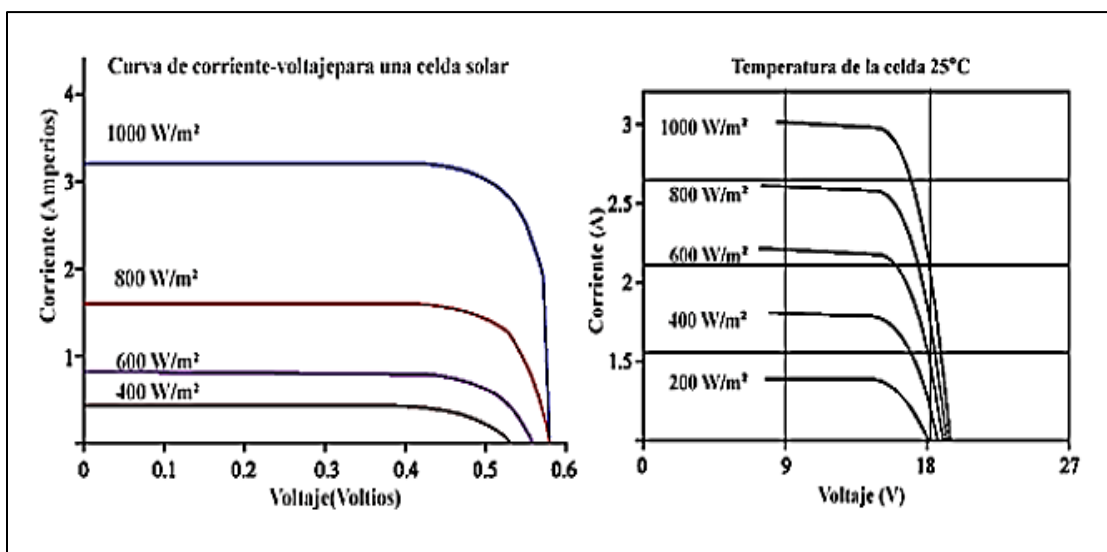


Fuente: De León (2017)

XI. Curva V-I en función de la irradiancia.

El comportamiento eléctrico de un panel cambia además con la irradiancia solar. La corriente proporcionada por un panel fotovoltaico es directamente proporcional a la energía solar recibida. La intensidad aumenta con la radiación, permaneciendo el voltaje más o menos constante, por lo tanto, habrá aumento de potencia (Chávez, 2015).

Figura 11. Comportamiento eléctrico de un panel fotovoltaico



Fuente: Chávez (2015)

XII. Pérdida anual del panel fotovoltaico.

Los paneles fotovoltaicos, conforme pasan los años entregan menos potencia, y pesar de que estos pueden durar hasta más de 30 años con el correcto mantenimiento, se toma como norma general una vida útil de 25 años (AutoSolar, 2020). En la tabla nº 5, se muestra el porcentaje de potencia que tienden a perder los paneles año con año.

Tabla 5. Porcentaje de pérdida anual de un panel fotovoltaico

Tiempo (Años)	Eficiencia del panel
0	100
1	97.5
2	96.8
3	96.1
4	95.4
5	94.7
6	94
7	93.3
8	92.6
9	91.9
10	91.2
11	90.5
12	89.8
13	89.1
14	88.4
15	87.7
16	87
17	86.3
18	85.6
19	84.9
20	84.2
21	83.5
22	82.8
23	82.1
24	81.4
25	80.7

Fuente: elaboración propia en base a Diaz (2017)

2.9.3.2. Medidor o contador

El medidor o contador, es el encargado de medir la energía eléctrica que fluye en una instalación fotovoltaica en dos trayectorias: de la red al usuario (energía demandada) y del usuario a la red (energía inyectada) (Guijarro, 2021).

Por ejemplo, en el momento que se necesite la corriente y los paneles no estén funcionando, entonces se puede tomar energía de la red eléctrica. Al terminar cada día o el periodo establecido se contabiliza la diferencia entre la energía que se ha inyectado a la red y la que se ha tomado de la misma. Si se ha consumido más corriente que la que se produce entonces la empresa eléctrica cobrará la diferencia. Si el caso es contrario, y se produce más de la que se consume, entonces la empresa guarda la diferencia para restarla en el momento que sea necesario, en épocas del año donde se produce menos corriente (Alvarado, 2017).

2.9.3.3. Inversor

El inversor, también conocido como ondulator o convertidor, es el equipo encargado de transformar la energía recibida del generador o panel fotovoltaico (en forma de corriente continua) y adaptarla a las condiciones requeridas según el tipo de cargas, generalmente en corriente alterna, para el posterior suministro a la red (Chávez, 2015).

Dicho de otro modo, el inversor, permite conectar la energía de corriente alterna generada a partir de la conversión desde los paneles solares, directamente a la red eléctrica, en forma sincronizada con el mismo voltaje y frecuencia (Aroche, 2016).

Este sistema, es muy común en los países donde los productores de energía alternativa venden excedentes de utilidad (durante el día, por ejemplo) y permiten recomprar cuando aumenta el consumo (por ejemplo, por la noche) (Florián, 2015).

Los inversores, se pueden clasificar de acuerdo al número de fases en: inversores monofásicos e inversores trifásicos. Asimismo, dependiendo de la configuración del sistema pueden ser: inversores centrales, inversores en cadena e inversores modulares.

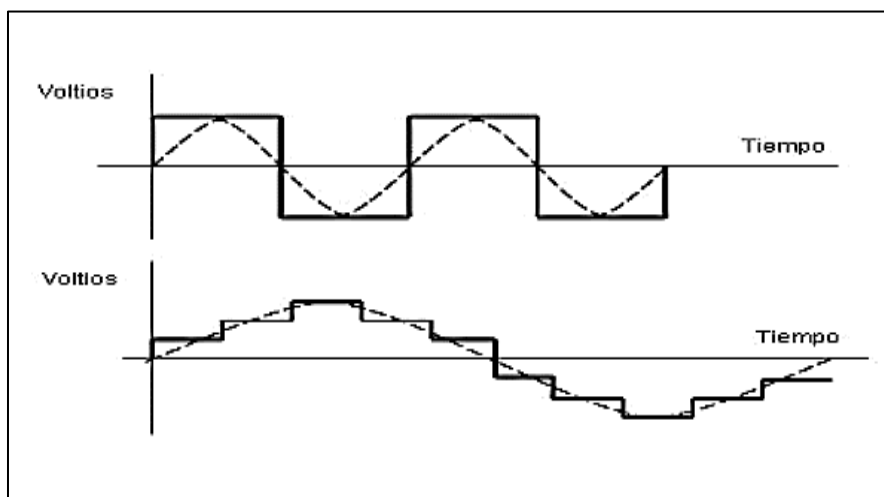
Finalmente, los inversores también se pueden clasificar según el número de etapas en: una etapa, dos etapas o multietapas (Alvarado, 2017).

Básicamente, los aspectos importantes que deben de cumplir los inversores son: tener una eficiencia alta, pues en caso contrario se habrá de aumentar innecesariamente el número de paneles para alimentar la carga; asimismo, estar adecuadamente protegidos contra cortocircuitos y sobrecargas; y por último, admitir demandas instantáneas de potencia mayores del 150 % de su potencia máxima (Chávez, 2015). Los elementos fundamentales de un inversor conectado a la red (on grid), son:

I. Control principal.

El control principal, incluye todos los elementos de control general, así como la propia generación de onda que se suele basar en un sistema de modulación por ancho de pulsos -PWM-. De igual manera, este incluye una gran parte del sistema de protecciones, así como funciones adicionales relacionadas con la construcción de la forma de onda (Yubasolar, 2015).

Figura 12. Conversión de la onda de salida del inversor



Fuente: De León (2017)

II. Control de red.

El control de Red, es la interfase entre la red y el control principal. El control de red, proporciona el correcto funcionamiento del sistema al sincronizar la forma de onda

generada a la de la red eléctrica, ajustando tensión, fase, sincronismo, entre otros (Yubasolar, 2015).

III. Seguidor del punto de máxima potencia -MPPT-

Es uno de los factores más importantes en un inversor. Su función esencialmente es acoplar la entrada del inversor a los valores de potencia variables que producen los paneles fotovoltaicos, obteniendo en todo momento la mayor cantidad de energía disponible (De León, 2017).

En el momento que los paneles están proporcionando su punto de máxima potencia, el inversor debería operar de forma óptima, pero existe una única carga para cualquier condición de irradiancia y temperatura a la que el panel entrega la máxima potencia. Esta carga es variable, por lo que se obtienen distintos valores de corriente y tensión para cada caso, el inversor se encarga de ajustar estas variaciones realizando un seguimiento del punto de máxima potencia o Maximum Power Point Tracking -MPPT- (Alvarado, 2017).

Si por ejemplo, los paneles están dando corriente por debajo o encima de este punto o parámetro, los inversores no funcionan en su máxima capacidad y se pierde eficiencia de los paneles, por ello es importante que el seguidor MPPT realice un seguimiento continuo para encontrar el punto correcto.

Estos seguimientos, se alcanzan mediante el uso de algoritmos que monitorean los valores de entrada de corriente, voltaje, potencia, frecuencia, entre otros. Existen varios tipos de algoritmos que realizan estas tareas de monitoreo, en el caso de sistemas conectados a la red generalmente se utilizan el algoritmo de conductancia y el algoritmo de perturbación y observación (De León, 2017).

IV. Protecciones del inversor.

Los inversores de conexión a red, disponen de unas protecciones adecuadas al trabajo que deber realizar. Básicamente, la función de estos elementos de protección, es la de reaccionar de forma adecuada ante la presencia de un defecto o fallo de instalación (Yubasolar, 2015).

Dentro de los defectos más comunes están, los diferentes niveles de tensión a los que puede encontrarse la instalación, y dentro de las fallas más comunes se identifican los cortocircuitos, frecuencia de red fuera de márgenes, temperatura de trabajo elevada y fallo de la red eléctrica, entre otros (De León, 2017).

Por otro lado, dentro de las protecciones más relevantes que debe poseer el inversor, se encuentran las siguientes:

- Interruptor automático sobre el cual actuarán los relés de mínima y máxima tensión para controlar las fases de la red de distribución.
- Protección contra funcionamiento en modo isla, esto significa evitar la posibilidad de funcionamiento cuando ha fallado el suministro eléctrico o su tensión ha descendido
- Limitador de frecuencia máxima y mínima para que esté debidamente sincronizada con la red eléctrica y evitar así un desfase.
- Protección contra sobrecarga y cortocircuito
- Protección por potencia inversa, es decir, que debe desconectarse si el caudal de la potencia de la red cae a cero o se invierte de dirección.
- Protección contra transitorios.
- Protección contra falla a tierra.
- Protección por baja tensión DC.

V. Monitoreo de datos y rendimiento.

Los inversores, deben proporcionar una variedad de datos al usuario, tanto de los parámetros habituales (tensión, corriente, frecuencia, entre otros) como de parámetros externos (radiación, temperatura ambiente, entre otros), como también parámetros internos del inversor (temperatura de trabajo) (Yubasolar, 2015).

Cabe mencionar, que el rendimiento de los inversores, oscila entre el 90 % y 97 %. Dicho rendimiento depende de la variación de la potencia de la instalación, temperatura de funcionamiento, tipo de panel, nivel de contaminación, entre algunos otros. De modo que, el inversor debe trabajar a potencias cercanas o iguales a la nominal, puesto que si la

potencia de entrada del inversor procedente de los paneles varía, el rendimiento del inversor actuará de igual forma (De León, 2017).

VI. *Parámetros eléctricos del Inversor.*

El inversor, se define por un conjunto de especificaciones técnicas. En este caso, para seleccionar el inversor adecuado, los fabricantes proporcionan las especificaciones técnicas de los equipos, siendo las más relevantes:

- *Entradas de Corriente Directa -DC-.*
 - Voltaje máximo en DC
 - Potencia máxima en DC
 - Rango de tensión del seguidor de punto de máxima potencia (MPP)
 - Voltaje nominal en DC
 - Voltaje mínimo de activación del inversor en DC (voltaje inicial)
 - Corriente máxima de entrada por fila (string)
 - Cantidad de seguidores de punto de máxima potencia

- *Salidas en Corriente Alterna -AC-.*
 - Potencia nominal en AC
 - Potencia aparente máxima
 - Voltaje nominal en AC
 - Frecuencia de red
 - Corriente máxima de salida AC
 - Factor de potencia
 - Número de fases
 - Protecciones del inversor

VII. *Configuraciones para conectar paneles fotovoltaicos al inversor.*

En el sistema fotovoltaico, para obtener una tensión o corriente deseada para que el inversor funcione adecuadamente, es necesario conectar varios paneles fotovoltaicos ya sea en serie o en paralelo según sea el caso. Por ejemplo, para aumentar la tensión (V), los paneles deben conectarse en serie mientras la corriente permanece constante, y si el

valor de la corriente (A) se quiere aumentar los paneles deben conectarse en paralelo mientras la tensión permanece constante o igual (De León, 2017).

Por consiguiente, en atención a De León (2017), se utilizan las siguientes configuraciones o arreglos de inversores:

- *Arreglo de inversores centralizado.*

Este arreglo, utiliza un único inversor para realizar las conexiones entre paneles. Su ventaja, se basa en la simplicidad y el menor número de conexiones; la desventaja de este arreglo, es el aumento de paneles conectados en serie, existiendo la posibilidad de que algunos paneles trabajen a potencia diferente debido a sombras y afectando la eficiencia del sistema, por el cual este arreglo es utilizado a campo abierto.

- *Arreglo de inversores modulares.*

Este tipo de arreglo, tiene la ventaja de trabajar en el punto de máxima potencia por cada arreglo de paneles y la versatilidad para expandir el sistema; la desventaja, es el aumento de equipos, conexiones y distribución física de los dispositivos.

- *Arreglo de inversores integrados al panel.*

Por su parte, este arreglo de paneles es de reciente creación, consiste en que cada panel tiene su propio inversor (micro inversor) que convierte la corriente CD a corriente AC por cada panel. Cabe mencionar, que este sistema es recomendado para pequeñas potencias que no superan los 5 kW.

2.9.3.4. Estructura soporte para los paneles fotovoltaicos

Los paneles fotovoltaicos, deben contar con una apropiada estructura soporte. Esta, deberá ser capaz de resistir el peso del panel, soportar la sobrecarga que ejerza el viento sobre dichos paneles y asimismo proporcionar una ventilación adecuada. Cabe mencionar, que existen diferentes tipos y modelos de estructuras soporte para paneles fotovoltaicos, pero en todos los casos deben cumplir con las normas exigidas tanto por el fabricante de paneles como por las demás normas aplicables (Díaz, 2017).

En atención al IDAE (2011), la estructura soporte debe cumplir especificaciones como: tener la orientación óptima para la cual los paneles puedan captar la mayor cantidad de radiación solar, no arrojar sombra sobre los paneles, tener la facilidad de montaje y desmontaje y la posible necesidad de sustituciones de elementos, soportar cargas extremas debidas a factores climatológicos adversos y tener una altura mínima para evitar la acumulación de agua y la acumulación de basura, entre algunos otros.

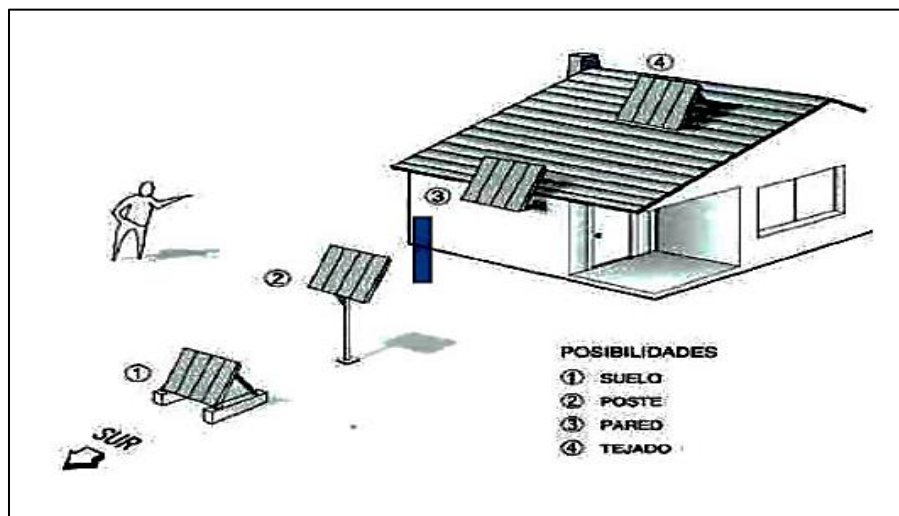
I. Estructura móvil.

Las estructuras móviles, tienen un costo mayor que oscila entre un 15% y 20% adicional comparado con el sistema de estructura fija, pero permiten un rendimiento entre un 25% y 35% extra de generación. Este sistema, consiste de una estructura dinámica que se va orientando hacia el sol en forma automática por medio de un seguidor solar, este seguidor a su vez se puede construir a uno y dos ejes (De León, 2017).

II. Estructura fija.

La estructura fija, como su nombre lo indica, permanece siempre en la misma posición a una inclinación definida. Estas, pueden ubicarse en el suelo o en cubierta plana y deben estar dispuestas de tal forma que garantice el óptimo aprovechamiento de radiación solar (Energiza, 2018). En la siguiente figura, se muestran cuatro formas habituales de colocar paneles fotovoltaicos en estructuras fijas:

Figura 13. Formas de colocar estructuras fijas



Fuente: De León (2017)

- *Estructura para montar sobre suelo.*

En esta disposición, la acción del viento es menor, por lo que es de gran facilidad su instalación, tanto de la propia estructura soporte como de los paneles fotovoltaicos. Como inconvenientes presenta, su excesiva accesibilidad y la mayor probabilidad de que puedan producirse sombras parciales (Sanz, 2010).

- *Estructura para montar sobre poste.*

Esta estructura, es usada principalmente en instalaciones donde ya se dispone de un mástil. Las estructuras sobre mástiles, no suelen darse en instalaciones de conexión a red, sino más bien en instalaciones aisladas tanto para bombas de riego, dispositivos de telefonía móvil, como dispositivos meteorológicos, entre otros (De León, 2017).

- *Estructura para montar sobre pared.*

Consiste en acoplar la estructura a una de las paredes del recinto o espacio. Estas estructuras, son de fácil adaptación, en donde la acción del viento queda prácticamente disminuida. Como inconvenientes presenta, que ante cualquier cambio presentará problemas accesorios y que de una de las fachas posiblemente dé al sur (Sanz, 2010).

- *Estructura para montar sobre techos.*

La instalación en el techo o cubierta de un edificio, es uno de los métodos más usados a la hora de realizar el montaje de un sistema de generación, puesto que generalmente se puede disponer del lugar adecuado para garantizar la perfecta orientación, además de suficiente espacio (Sanz, 2010).

Los factores importantes a tomar en cuenta en este tipo de estructura, es la acumulación de agua de lluvia, puesto que esta no corre con la misma facilidad que en los inclinados; otro factor a prestar atención, es el estudio de las cargas de viento y lluvia que va a soportar la estructura, así como, el conocimiento de la sobrecarga o peso adicional sobre la terraza o techo (IDAE, 2011).

2.9.3.5. Conductores y canalización en DC y AC

Los métodos de cableado, y la selección apropiada de los conductores, son importantes para la seguridad, la durabilidad y la facilidad de mantenimiento en una instalación solar fotovoltaica. En los siguientes apartados, se describen los elementos fundamentales para las conexiones y ductería de un sistema fotovoltaico.

I. Aislantes.

El alambre conductor de corriente, se protege comúnmente por medio de distintos tipos de aislamientos, esto con el objetivo de resguardarse de varios factores, como puede ser el agua, la temperatura, agentes químicos, la radiación solar y el polvo, entre algunos otros (Sebastian, 2013).

Para la marcación de los conductores eléctricos, se identifican varias siglas que hacen referencia al tipo de aislamiento utilizados en los cables y sus especificaciones. Por ejemplo, el material termoplástico se identifica con la sigla (T), su designación de acuerdo a norma UL se indican de la siguiente manera: TW, THW, THHN, entre otros. También se encuentran los polímeros que se identifican con la sigla (R), que indican que contienen una cubierta de hule (rubber) dentro de los que están los siguientes: R, RW, RHW, RH y RHH. Y por su parte, la sigla W hace referencia para ambientes húmedos (water) (De León, 2017).

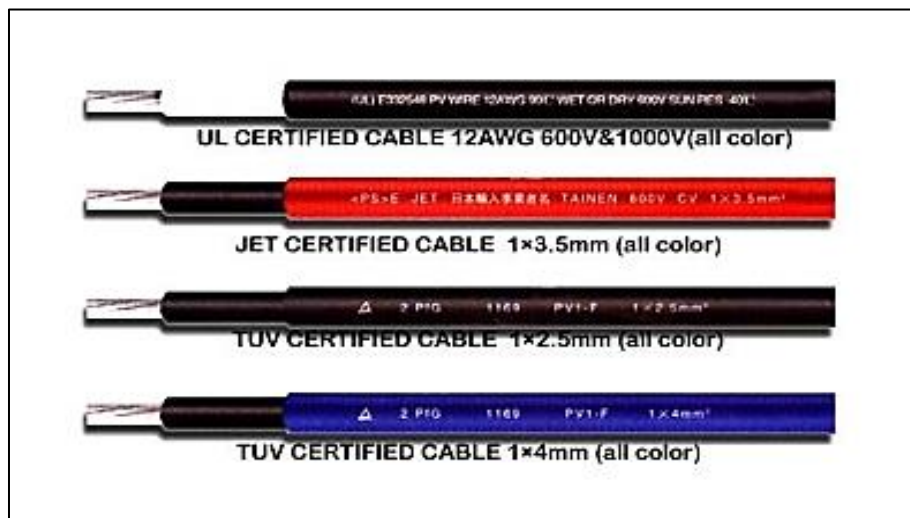
II. Conductores.

Los conductores o cables eléctricos, son los que se encargan de transportar la energía eléctrica desde la fuente o distribuidora hacia el consumidor. Los materiales que normalmente se emplean para su construcción son el cobre y el aluminio, debido a su alta conductividad (AutoSolar, 2019).

Estos, se identifican por el número de calibre, que por lo general siguen códigos internacionales denominados AWG. Es importante mencionar además, el color del conductor, ya que esto hace que se pueda usar con facilidad en su instalación. Si por ejemplo, no se toma en cuenta el código de colores o de alambre, o si se emplean los

cables de forma incorrecta es someterse a riesgos de seguridad, violando la cantidad de energía eléctrica y caídas de tensión superiores a las recomendadas (Sebastian, 2013).

Figura 14. Conductor fotovoltaico



Fuente: De León (2017)

Cabe resaltar, que dentro de las variadas conexiones entre equipos, existirán segmentos o tramos con diferentes calibres de conductores, que dependerán del nivel de corriente que circule por el conductor y de la distancia de cada segmento (Alvarado, 2017).

- *Efecto de la temperatura en el conductor.*

Generalmente, el conductor se ve afectado por el cambio de la temperatura, esto significa que cuando la temperatura aumenta, el valor de la conductividad disminuye, provocando que la caída de tensión aumente, afectando la capacidad de conducción del conductor. En la siguiente tabla, se muestran los diferentes valores de la conductividad a diferentes temperaturas de operación.

Tabla 6. Conductividad a distintas temperaturas

Material	20° C	30° C	40° C	50° C	60° C	70° C	80° C	90° C
Cobre $\frac{\text{mm}^2}{\Omega\text{m}}$	56	54	52	50	48	47	45	44
Aluminio $\frac{\text{mm}^2}{\Omega\text{m}}$	35	34	32	31	30	29	28	27

Fuente: De León (2017)

- *Requisitos y recomendaciones para conductores DC y AC.*

En atención a De León (2017), deberán aplicarse ciertas recomendaciones para la instalación de conductores eléctricos CD, estas son:

- El cable para DC debe ser unipolar, un conductor para el polo positivo y otro para el negativo.
- Los colores de los conductores en DC se identificarán de la siguiente manera: conductor positivo (color rojo, negro o marrón), conductor negativo (color blanco), conductor de tierra (color verde, verde/amarillo o desnudo).
- Las conexiones eléctricas en DC deben efectuarse con dispositivos y terminales diseñados para instalaciones fotovoltaicas y con protección igual o superior a IP65.
- Los cables de control y fuerza deben poseer aislamiento termoplástico tipo XLPE a 75°C como mínimo o se recomienda 90°C para valores de voltaje de 1000–2000 V.
- Los conductores serán de cobre y tendrán la sección adecuada para evitar caídas de tensión y calentamiento de los mismos, el valor mínimo permitido por caída de tensión es de 1.5 %.
- La ampacidad de los conductores se reducirá debido a la temperatura de operación, de acuerdo a norma de la National Electrical Code -NEC-.
- Debe tener la longitud necesaria para un tránsito normal de personas y evitar que el conductor sufra esfuerzos mecánicos.
- De acuerdo a normas NEC, no se permite usar cables sin ductos excepto en el arreglo de paneles y los cables deben contar con aislamiento mínimo de 75°C.
- Los empalmes se realizarán utilizándose cajas de derivación cada vez que sea necesarios y diseñadas para instalaciones fotovoltaicas con protección igual o superior a IP65.

Por su parte, conforme a Alvarado (2017), las siguientes recomendaciones deberán aplicarse para la instalación de conductores eléctricos AC:

- El cable AC será unifilar para cada fase, neutro y tierra.
- Los colores de los conductores en AC se identificarán de la siguiente manera: conductores vivos (color rojo, azul y negro), conductor neutro (color blanco),

conductor de tierra (color verde, verde con amarillo o desnudo) para puesta a tierra de los equipos.

- Los conductores serán de cobre o aluminio y tendrán la sección adecuada para evitar caídas de tensión y calentamiento de los mismos, el valor mínimo permitido por caída de tensión hasta el punto de conexión a red es de 2 %.
 - Se debe tapar cualquier orificio que no se esté usando en las cajas, gabinetes utilizando tapones apropiados para proteger los conductores.
 - Todas las cajas que contengan conexiones eléctricas deben ser accesibles para mantenimiento.
 - La ampacidad de los conductores se reducirá debido a la temperatura de operación y debe contar con aislamiento mínimo de 75° C (se recomienda aislamiento a 90° C) de acuerdo al NEC.
 - Debe tener la longitud necesaria para un tránsito normal de personas y evitar que el conductor sufra esfuerzos mecánicos.
- *Selección del conductor de puesta a tierra.*

El conductor de puesta a tierra, se conectará al chasis de los equipos, estructuras, circuitos y/o canalizaciones a la varilla o electrodo de puesta a tierra, para determinar el calibre se empleará, para determinar el calibre se empleará la tabla 250-94 y 250-95 del NEC (Diaz, 2017).

III. Canalización eléctrica.

La canalización, es el elemento que se encarga de contener los conductores eléctricos, asegurando su fijación y su protección mecánica (Alvarado, 2017).

Para la National Fire Protection Association -NFPA- (2020), la canalización, es un conducto cerrado o abierto construido con materiales metálicos o no metálicos, expresamente diseñado para contener cables o barras conductoras.

Estas canalizaciones eléctricas, están elaboradas para adaptarse a cualquier ambiente donde se requiera llevar cableado eléctrico. Es por ello, que se pueden presentar varios tipos y formas de canalizar, de acuerdo a De León (2017), estas son:

- Canalización fijada sobrepuesta en techo o pared.
- Canalización cerrada provista de una tapa amovible.
- Canalización por encima o dentro de los pisos, techos, entre otros.
- Bandeja de cables con paredes laterales y sin tapa.
- Tubería de sección circular plástico o metálica galvanizada.
- Canaleta de sección no circular.

IV. Dimensionado de la canalización.

En atención a De León (2017), para dimensionar los distintos diámetros o tamaños de las canalizaciones, es importante definir todos los valores de secciones de los conductores eléctricos de la instalación, lo cual se realiza considerando las siguientes etapas:

- Definir la tensión y corriente nominal del circuito.
- Elegir el tipo de conductor y la forma de la instalación.
- Aplicar factores de corrección por temperatura, por tipo de tubería, número de conductores activos y horas de servicio continuo.
- Determinar la sección de los conductores por el método de regulación de corriente.
- Verificar la sección por el método de caída de tensión.
- Verificar el cumplimiento de las secciones mínimas exigidas.

V. Bandejas para canalizar cables solares.

La utilización de bandejas para la suspensión de los cables, es de uso principalmente industrial. Según Alvarado (2017), para la elección de la bandeja porta cables a instalar es necesario tener en cuenta una serie de elementos, a saber:

- Cantidad y sección de los cables a llevar por la bandeja.
- Características del ambiente donde se montará la misma (ambiente húmedo, con polvo, corrosivo, entre otros).
- Peso de los cables a instalar, lo que deberá también contrastarse con la capacidad de carga de la bandeja.
- Tipo de bandeja, abierta o cerrada.

VI. Factores que se deben tomar en cuenta en la canalización.

Aunado a lo anterior y de acuerdo a Alvarado (2017), al seleccionar y establecer un sistema de canalizaciones debe tenerse en cuenta las influencias externas, como la temperatura ambiente, las fuentes externas de calor, la presencia de agua y la presencia de cuerpos solidos extraños, entre otros.

VII. Cableado DC/AC

El cableado DC/AC, debe realizarse según lo especificado en la Norma Internacional IEC 60364-4-41, IEC 60364-7-712 y asimismo cumplir con lo requerido en el Artículo 690 y 705 de la Norma NOM 001-SEDE 2012.

2.9.3.6. Sistema de protección

La protección eléctrica, tiene como objetivo detectar y aislar las fallas tan pronto sea posible para proteger los equipos, circuitos o personas. Asimismo, debe ser capaz de detectar y alertar sobre condiciones indeseables y anormales de los equipos y de operaciones dentro del sistema eléctrico de la instalación (De León, 2017).

De acuerdo a Joaquín (2008), las fallas que generalmente suceden en este tipo de instalaciones son las de sobrecargas, voltajes de cortocircuito, cambio de fases, desbalance de cargas (sistemas trifásicos), entre otros.

La protección eléctrica en el sistema fotovoltaico, debe proteger tres partes esenciales: la primera parte debe proteger los paneles; la segunda el inversor (la primera y segunda parte es en corriente directa); mientras que la tercera parte es de proteger el lado de corriente alterna. Naturalmente, los equipos a proteger poseen alguna protección integrada, pero se recomienda complementarlas con otros dispositivos para una mejor protección (Alvarado, 2017).

En atención a De León (2017), entre las principales protecciones con las que debe contar el sistema son:

I. Protecciones en circuitos DC:

- Diodo de bloqueo y bypass

- Fusible (opcional)
- Interruptor se sobre corriente en DC
- Interruptor seccionador
- Descargadores de sobretensiones o varistores

II. Protecciones en circuitos AC:

- Interruptor termomagnético
- Tablero de distribución
- Interruptor principal
- Interruptor automático diferencial
- Puesta a tierra en DC/AC

2.9.3.7. Puesta a tierra en DC/AC

La red de tierras o tierra física, es un conjunto de elementos formados principalmente por varillas o electrodos de cobre, cables y líneas de tierra física, teniendo como objetivo la seguridad del personal, protección y funcionamiento adecuado de los equipos eléctricos, para limitar sobretensiones, transitorios o contacto directo con líneas con tensión, todo esto se logra por medio de una baja impedancia (De León, 2017).

I. Normas sobre el valor de resistencia.

Naturalmente, una conexión a tierra debe tener una resistencia de cero ohmios. Por su parte, la NFPA y la IEEE recomiendan un valor de 5 Ohm, la norma NEC recomienda un valor menor o igual a 10 Ohm (Diaz, 2017).

II. La resistividad del suelo.

la resistividad, es un parámetro importante en el diseño del sistema de puesta a tierra. Está definida por la resistencia que presenta el terreno o suelo al paso de una corriente por dos caras o aristas opuestas de un cubo de 1 x 1 x 1 metros de tamaño, la magnitud se expresa en Ohm-cm (De León, 2017).

De acuerdo a Alvarado (2017), los valores que influyen en la resistividad del suelo son la temperatura, contenido de humedad, compactación y presión del terreno, composición y

concentración de sales disueltas en el suelo, entre otros. La combinación de e varios de estos factores da como resultado suelos con características diferentes lo que da origen a tener valores de resistividad diferentes.

2.9.4. Energía consumida y generada del sistema fotovoltaico

La energía consumida y generada, básicamente es la cantidad de energía que se consume o se genera en un periodo de tiempo, la unidad de medida es el vatio hora -Wh- con sus respectivos múltiplos que son el kilovatio hora por día -kWh/día-, el kilovatio hora por mes -kWh/mes- o bien kilovatio hora por año -kWh/año- (De León, 2017).

Asimismo, conforme a diversos autores, para estimar la producción de energía eléctrica mensual y anual se debe tomar en cuenta el factor perdidas que afecta la producción de energía del sistema fotovoltaico, lo que significa el nivel de rendimiento global de la instalación.

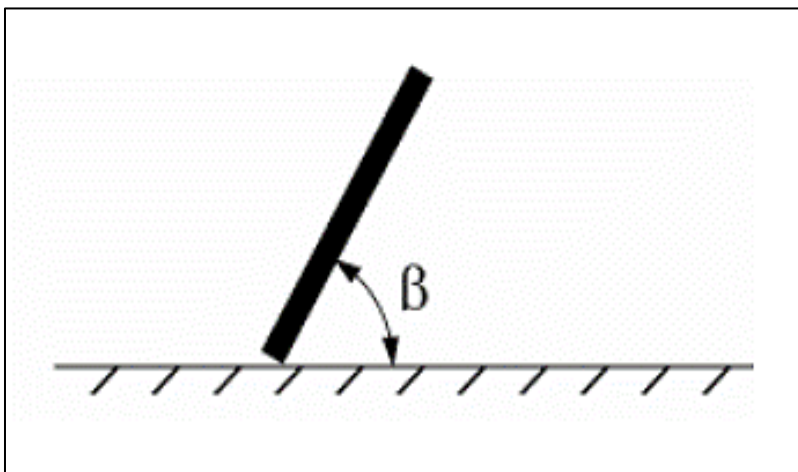
2.9.5. Orientación e inclinación de los paneles fotovoltaicos

La orientación e inclinación de los paneles, es de gran relevancia para el diseño de las instalaciones fotovoltaicas de montaje fijo, principalmente, para que estas puedan aprovechar u obtener la mayor cantidad de radiación solar.

La inclinación, se define como el ángulo β , el cual es el ángulo que forma la superficie de los paneles con el plano horizontal (figura 10). Su valor es 0° para paneles horizontales y 90° para verticales (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía -IDAE-, 2011).

Para determinar el grado de inclinación óptima de los paneles se toman varios criterios: el primero, consiste en aprovechar la mayor radiación durante el año que suele ser la época de verano, lo que significa restarle 10° grados al valor de la latitud; o bien elegir la época de fin de año que suele ser el peor mes para obtener la mayor radiación captada por los paneles lo que significa sumarle 10° grados al valor de la latitud; y la tercera opción, es elegir una inclinación donde se pueda captar una radiación aceptable a lo largo de todo año y donde las pérdidas posibles sean menores (De León, 2017).

Figura 15. Inclinación del panel fotovoltaico



Fuente: IDAE (2011)

Para el cálculo de la inclinación de los paneles fotovoltaicos se hace referencia a la fórmula que sigue (Diaz, 2017):

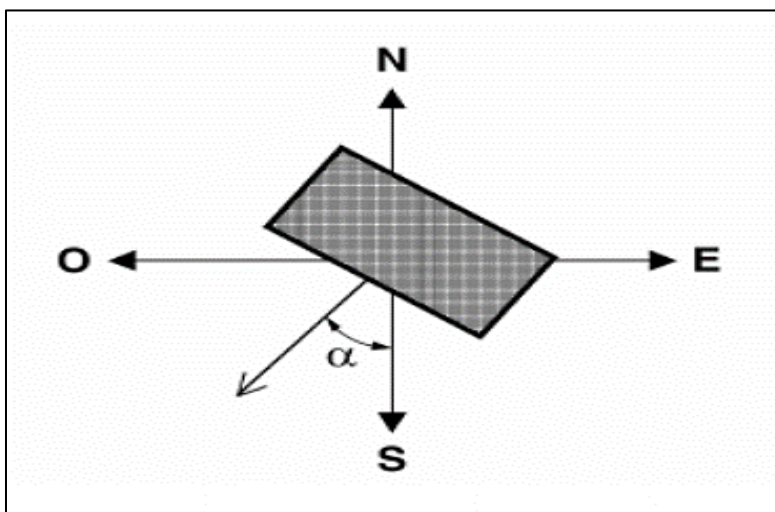
$$\beta = 3.7 + 0.69 * \text{Latitud} \quad (3)$$

Donde:

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

Por otro lado, el azimut (α), es el ángulo que define la orientación para captar la mayor cantidad de radiación en el día. El azimut según IDAE (2001), se define como el ángulo entre la proyección sobre el plano horizontal de la normal a la superficie del módulo y el meridiano del lugar (figura 11). Su valor es 0° para módulos orientados al Sur, -90° para módulos orientados al Este y $+90^\circ$ para módulos orientados al Oeste.

Figura 16. Orientación, ángulo de Azimut α

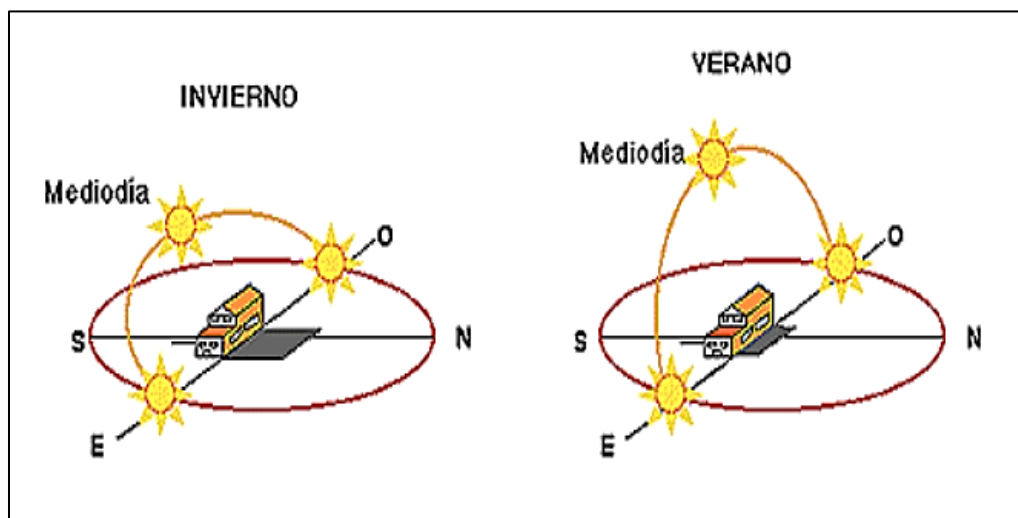


Fuente: IDAE (2011)

Dicho de otro modo, en el hemisferio norte se toma la dirección sur como referencia de 0° y viceversa; además, el azimut solar posee valores positivos de 0° a 180° hacia el oeste y valores negativos de 0° a -180° hacia el este (Díaz, 2017).

De manera que para definir la orientación, debe tomarse en cuenta el oriente y poniente del sol para el aprovechamiento y las sombras tanto lejanas como cercanas que se puedan producir (Alvarado, 2017).

Figura 17. Movimiento del sol en Guatemala



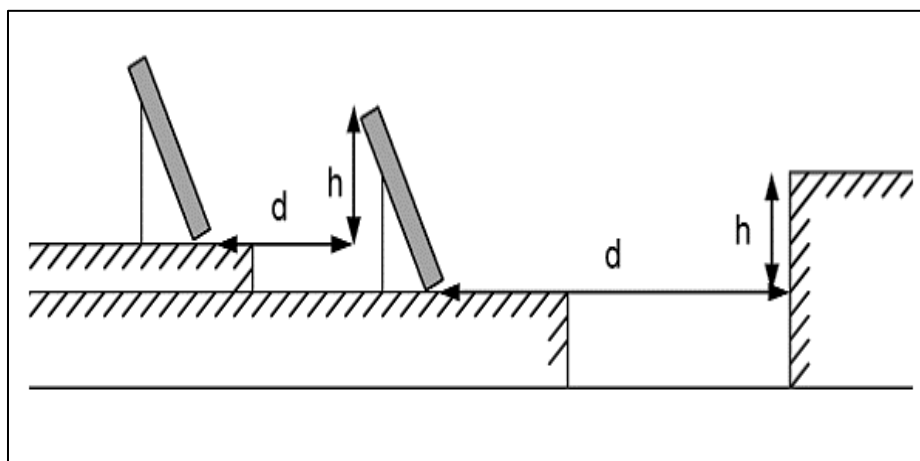
Fuente: Díaz (2017)

2.9.6. Separación entre paneles fotovoltaicos

La separación entre filas o hileras de paneles fotovoltaicos, debe garantizar la no superposición de sombras entre las hileras de paneles los meses del solsticio de invierno y verano (Planas, Energía Solar, 2016).

El IDAE (2011), en este caso, recomienda que la distancia mínima que debe existir entre filas o hileras de paneles, sea tal que garantice al menos 4 horas de sol en torno al mediodía del solsticio de invierno.

Figura 18. Distancia mínima entre paneles fotovoltaicos



Fuente: IDAE (2011)

En consecuencia, la distancia mínima de separación entre filas/hileras, se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$d = \frac{h}{\tan(61^\circ - \text{latitud})} \quad (4)$$

Donde:

h : altura del panel

d : distancia mínima de separación entre los paneles

Por su parte, de acuerdo a De León (2017), la distancia mínima de separación entre filas y de sombras se obtiene mediante el uso del teorema de Pitágoras dando como resultado

las siguientes expresiones:

$$X = L * \cos\beta \quad (5)$$

$$h = L * \sin\beta \quad (6)$$

$$dp = X + d \quad (7)$$

2.9.7. Eficiencia y pérdidas en el sistema fotovoltaico

Las pérdidas que normalmente se presentan en un sistema de generación fotovoltaica son por degradación y suciedad del panel, por el incremento de la temperatura, pérdidas en DC (cobre), pérdidas en AC (contador) y pérdidas en el inversor (Alvarado, 2017).

La suma de estas pérdidas da como resultado una Pérdida Total del Sistema -PTS-. En la siguiente tabla, se resumen las pérdidas del sistema más importantes que se toman en cuenta para el dimensionamiento:

Tabla 7. Resumen de pérdidas del sistema fotovoltaico

Causa de perdida	Porcentaje
Desviación del rendimiento nominal del panel a 1000 W/m ²	0.0%
Suciedad del panel	2.0%
Temperatura del panel	3.5%
Sombreado (no afecta)	0.0%
Pérdidas en DC en el cobre	2.0%
Pérdidas en el inversor	3.0%
Pérdidas en AC, contador	1.5%
Total de pérdidas	12.0%

Fuente: Elaboracion propia en base a Alvarado (2017)

2.10. Conceptos básicos de iluminación

Es necesario conocer algunos conceptos básicos de iluminación, los cuales servirán para comprender, revisar y desarrollar un proyecto de iluminación como el presente, es por ello que se desarrollan los siguientes conceptos.

2.10.1. La luz

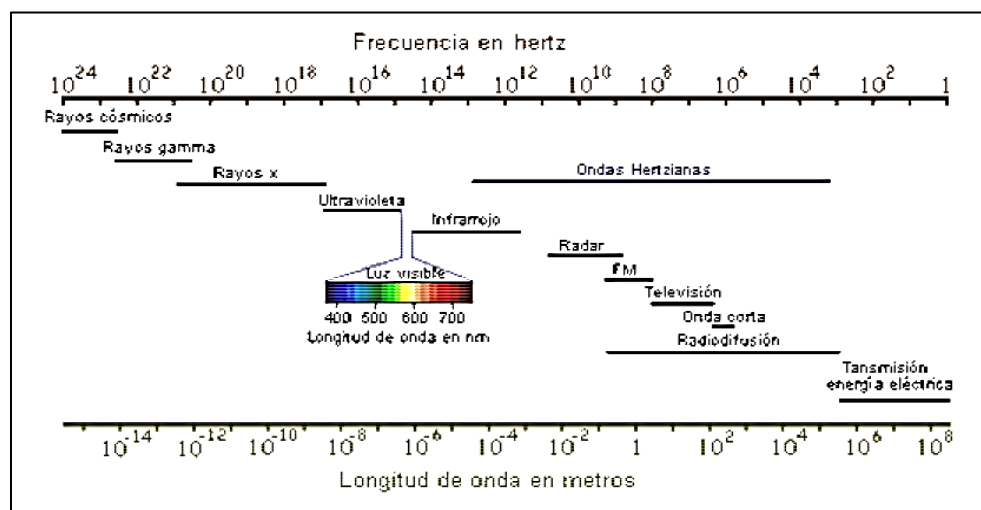
La luz, de acuerdo a Lechner (2019), se define como aquella pequeña porción del espectro electromagnético a la que el órgano visual es sensible. A su vez, para Reyes (2016), la luz es el transporte de energía en forma de una onda electromagnética capaz de estimular el sentido de la vista.

Por otro lado, en términos generales, se puede decir que el espectro electromagnético es el conjunto de ondas magnéticas, o radiación electromagnética que emite (espectro de emisión), o absorbe (espectro de absorción) un objeto. Dicha radiación sirve para identificar al objeto (Reyes, 2016).

En consecuencia, la luz forma parte del espectro electromagnético que abarca tipos de ondas tan dispares como los rayos cósmicos, los rayos gamma, los ultravioletas, los infrarrojos y las ondas de radio o televisión, entre otros. Cada uno de estos tipos de onda, comprende un intervalo definido por una magnitud característica que puede ser la longitud de onda (λ) o la frecuencia (f) (ClasesIluminación, 2014).

El espectro visible para el ser humano, en otras palabras, el ojo humano es sensible a la radiación electromagnética con longitudes de onda comprendidas entre 380 y 780 nanómetros, margen que se denomina luz visible (Marroquín, 2015). (Ver figura 18)

Figura 19. Diagrama del espectro electromagnético



Fuente: clasesiluminacion.files.wordpress.com

Las longitudes de onda más cortas del espectro visible, corresponden a la luz violeta y la más larga a la luz roja, y entre estos extremos se encuentran todos los colores del arco iris. Dicho de otro modo, las ondas electromagnéticas, con longitudes de onda ligeramente inferiores a las de la luz visible se denominan rayos ultravioletas, y las que poseen longitudes de onda ligeramente superiores, se conocen como ondas infrarrojas (Chabla & Córdova, 2015).

2.10.2. Magnitudes y unidades fundamentales luminosas

En atención a diversos autores, las magnitudes y unidades de medida empleadas para valorar y comparar las cualidades y los efectos de las fuentes de luz son: flujo luminoso, rendimiento luminoso, energía luminosa, intensidad luminosa, iluminancia y luminancia.

2.10.2.1. Flujo luminoso

La energía luminosa, no se puede aprovechar en su totalidad para la generación de luz, puesto que una parte se transforma en energía eléctrica que se puede ver y el resto se pierde en calor, como el caso de las lámparas incandescentes (Chabla & Córdova, 2015).

De esa manera, al flujo luminoso, se le puede definir como la cantidad de luz emitida en todas las direcciones por una fuente luminosa (lámpara) en el tiempo de un segundo. Su unidad de medida es el lumen (lm), y se representa normalmente con el símbolo o letra griega ϕ (Lechner, 2019).

$$\phi = \frac{Q}{t} \quad (8)$$

Donde:

ϕ = Flujo luminoso (lm)

Q = Cantidad de luz emitida en lúmenes por segundo (lm * seg.)

t = Unidad de tiempo (segundos)

Asimismo, es importante mencionar, que los valores correspondientes se encuentran generalmente en las tablas proporcionadas por los fabricantes de lámparas.

2.10.2.2. Rendimiento luminoso

Se lo conoce también como coeficiente de eficacia luminosa de una fuente de luz. La eficacia luminosa de una lámpara, es la relación entre el flujo luminoso producido y la potencia eléctrica utilizada. Su unidad de medida es el lumen por vatio (lm/W), y se representa generalmente con la letra griega η (ISR - Universidad de Coimbra, 2017).

$$\eta = \frac{\phi}{P} \quad (9)$$

Donde:

η = Rendimiento luminoso (lm/W)

ϕ = Flujo luminoso (lm)

P = Potencia consumida (W)

2.10.2.3. Energía luminosa

La cantidad de luz o energía luminosa, se determina por la potencia luminosa o flujo luminoso emitido en la unidad de tiempo. Esta, se representa comúnmente con la letra Q y su unidad de medida es el lumen por hora (lm*h) (Chabla & Córdova, 2015).

$$Q = \phi * t \quad (10)$$

Donde:

Q = Energía luminosa

ϕ = Flujo luminoso

t = Unidad de tiempo (horas)

Es importante comprender la energía luminosa, puesto que gracias a este cálculo se conocerá la cantidad de luz que emitirá la lámpara durante su vida útil, resaltando que deberá tenerse en cuenta las pérdidas que se producen (Chabla & Córdova, 2015).

2.10.2.4. Intensidad luminosa

En este caso, debido a que el flujo luminoso da una noción de la cantidad de luz que emite una fuente luminosa, es necesario conocer cómo se distribuye la misma en cada dirección del espacio, para lo cual se define la intensidad luminosa.

La Intensidad Luminosa, se define como el flujo luminoso emitido por una unidad de ángulo sólido en una dirección determinada. Su unidad de medida es en candelas (cd) y se representa normalmente con la letra I (Reyes, 2016).

$$I = \phi / \omega \quad (11)$$

Donde:

I = Intensidad luminosa

ϕ = Flujo luminoso

ω = Angulo solido

2.10.2.5. Iluminancia

Se entiende por iluminancia, la cantidad de flujo luminoso que cae sobre un área unitaria de una superficie. Su unidad de medida es el lux ($\text{lx} = \text{lumen}/\text{m}^2$) y se representa habitualmente con la letra E (ClasesIluminación, 2014).

$$E = \frac{\phi}{S} \quad (12)$$

Donde:

E = Iluminancia

ϕ = Flujo luminoso

S = Superficie iluminada

En este caso, se puede decir que mientras mayor sea el flujo luminoso mayor será la iluminancia, y para un mismo flujo luminoso será mayor la iluminancia si disminuye la superficie.

2.10.2.6. Luminancia

La luminancia, es la intensidad luminosa emitida en una dirección dada por una superficie luminosa o iluminada (efecto de “brillo” que una superficie produce en el ojo). Su unidad de medida es candela por metro cuadrado (cd/m^2) y se representa generalmente con la letra L (ClasesIluminación, 2014).

$$L = \frac{I}{S_a}; S_a = S * \cos (a) \quad (13)$$

Donde:

L = Luminancia

I = Intensidad luminosa

Sa = Superficie aparente

2.11. Métodos de iluminación en campos de futbol

Para elegir el tipo y método de iluminación adecuado, se debe tener en cuenta las necesidades y requerimientos de los usuarios en las diferentes disciplinas y diferentes tipos de instalaciones deportivas. Esto, con el fin de poder brindar confort visual, satisfacer las necesidades propias de las actividades a realizar y sobre todo ser eficiente/sostenible energéticamente.

Las exigencias dentro de las instalaciones deportivas pueden cambiar según la finalidad (competición, entrenamiento o recreo) y según el nivel de actividad del deporte (amateur o profesional). Por consiguiente, para establecer qué tipo de iluminaria se instalará, debe conocerse los diferentes tipos de tecnologías existentes, las cuales se desarrollan a continuación.

2.11.1. Tipos de luminarias o lámparas

Para efectuar el alumbrado de diferentes áreas, se emplean varios tipos de luminarias, lo cual dependerá de consideraciones técnicas y/o económicas. Por su parte Carpio (2019),

señala que desde el punto de vista eléctrico, existen tres formas principales de generar luz, estas son:

- Incandescencia
- Arco voltaico o descarga eléctrica de HID (Alta Intensidad de Descarga)
- LED o estado sólido

Tabla 8. Comparativo, tipos de lámparas

Tipo de lampara	Eficiencia lumínica (lm/W)	Temperatura de color (°K)	Horas de vida útil
Incandescente	10 a 30	2,100 a 3,200	1,000 a 2,000
Fluorescente	38 a 91	3,000 a 6,000	5,000 a 7,000
Mercurio alta presión	80	3,500	16,000 a 25,000
Sodio baja presión	160	1,800	15,000
Sodio alta presión	130	2,000	20,000
Haluros Metálicos	75 a 105	2,000	25,000
Led	60 a 100	2,000 a 7,000	25,000 a 50,000

Fuente: Elaboración propia

2.11.1.1. Lámparas incandescentes

Las lámparas incandescentes, generan un haz de luz al hacer fluir una corriente eléctrica a través de un filamento dentro de un bombillo al vacío o lleno de un gas inerte, este filamento se calienta y resplandece sin romperse (Vásquez, 2015).

Los bombillos y lámparas incandescentes, emiten un espectro de luz continuo, generalmente cálido, teniendo una muy buena reproducción de color, lo cual hace que este tipo de lampara sea usado en estudios de filmación, teatros y escenarios. Sin embargo, cabe destacar, que la energía eléctrica que no es aprovechada para producir energía lumínica, se transforma en su mayoría en calor, por lo que este tipo de lámparas tiene una baja eficiencia lumínica (Carpio, 2019).

En la actualidad, debido a su baja eficiencia lumínica, se ha reemplazado el uso de los bombillos incandescentes y su producción ha disminuido considerablemente. No obstante, aún existen en el mercado este tipo de luminarias, debido a su bajo precio.

2.11.1.2. Lámparas de descarga eléctrica

En las lámparas de descarga, la corriente eléctrica pasa a través de un gas entre dos electrodos localizados en las puntas opuestas de un tubo de descarga. Las colisiones entre los átomos del gas y los electrones libres excitan los átomos del gas, haciendo que aumenten el nivel de energía. Estos átomos excitados, seguidamente vuelven a su estado natural liberando el exceso de energía en forma de radiación visible (Vásquez, 2015).

Cabe mencionar, que las lámparas de descarga para que funcionen correctamente, es necesario, en la mayoría de los casos, la presencia de elementos auxiliares como cebadores y balastos (Carpio, 2019).

Estas, se clasifican conforme al gas utilizado (vapor de mercurio o sodio) o según la presión a la que este se encuentre (alta o baja presión). Las propiedades varían de una a otras y esto las hace adecuadas para unos usos y otros (García & Boix, s.f.).

I. Lámparas de vapor mercurio a baja presión.

También conocidas como lámparas fluorescentes, son de gran uso en áreas residenciales e industriales, debido a su alta eficiencia lumínica que se encuentra entre los 38 y 91 lm/W, dependiendo de las características de cada lámpara (Carpio, 2019).

El rendimiento en color de estas lámparas, varía de moderado a excelente según las sustancias fluorescentes empleadas. Por su parte, el precio depende de la aplicación y la durabilidad, la cual está entre 5,000 y 7,000 horas, aunque por su gran uso y por aplicación, algunas marcas han hecho crecer su vida útil hasta las 25,000 horas (García & Boix, s.f.).

Las lámparas fluorescentes, necesitan para su funcionamiento la presencia de elementos auxiliares. Para limitar la corriente que atraviesa el tubo de descarga, utilizan el balasto y para el encendido existen varias posibilidades que se pueden resumir en arranque con cebador o sin él. No obstante, actualmente, han aparecido las lámparas fluorescentes compactas, que llevan incorporado el balasto y el cebador (García & Boix, s.f.).

II. Lámparas de vapor mercurio a alta presión.

Las lámparas de mercurio a alta presión, emiten una luz azul verde blanquecina, lo que las hace tener un pobre rendimiento de color, aunque se mejora con la aplicación de polvos fluorescentes. Estas, se utilizan principalmente para el uso en sistemas de alumbrado de exteriores (Hernández, 2017).

Una de las características de estas lámparas, es su vida útil de larga duración, ya que rinde un promedio de 16,000 a 25,000 horas de vida, aunque la depreciación lumínica es considerable. En los modelos más habituales de estas lámparas, se tiene una tensión de encendido entre 150 y 180V que permite conectarlas a la red de 220V sin necesidad de usar elementos auxiliares (Carpio, 2019).

De acuerdo a San (2015), entre las principales ventajas de estas lámparas se encuentran el coste de inversión moderado, alta potencia apta para altura grande y también para ambientes fríos y reproducción más o menos fiable de los colores verdes. Por otro lado, entre las desventajas se pueden mencionar una menor eficacia luminosa que otras lámparas HID (lámparas de descarga de alta intensidad) y el contenido de mercurio en estas.

III. Lámparas de sodio de baja presión.

En las lámparas de sodio de baja presión, la radiación visible es producida directamente por una descarga de Sodio. Esta, emite la mayor parte de su energía en la parte visible del espectro (la luz amarilla característica del sodio), por eso cuando una lámpara de sodio es encendida, genera un color rojizo (Vásquez, 2015).

Estas lámparas tienen una alta eficiencia y debido a las ventajas visuales que poseen normalmente se les utiliza para finalidades decorativas. La vida útil de estas, se encuentra

entre las 6,000 y 8,000 horas, pero la vida media de estas lámparas es muy elevada, de unas 15,000 horas sufriendo una depreciación muy baja del flujo luminoso, en donde el agotamiento de la sustancia emisora de electrones es la causante de la disminución de su vida útil (Carpio, 2019).

De acuerdo a diversos autores, este tipo de lámparas, tiene como defecto un arranque de diez minutos, que es el tiempo que necesita desde que se inicia la descarga en el tubo entre la mezcla de un gas inerte (neón y argón) hasta que se haya vaporizado todo el sodio y de esta manera se empieza a emitir luz. Transcurriendo aproximadamente un tiempo de diez minutos, la lámpara alcanza el 80% de sus valores nominales, finalizando el periodo de arranque en unos quince minutos.

Entre las principales ventajas de estas lámparas se encuentran, la larga vida útil y precio moderado comparado con otras lámparas HID, es la más eficaz de todas las fuentes de luz (hasta 180 lm/W), no les influye la temperatura ambiente y son aptas para utilizar allí donde solo importe el reconocimiento de contraste. Por otro lado, entre las desventajas que poseen estas, se encuentran, la reproducción cromática nula ya que no permiten reconocimiento de color y finalmente, su gran longitud dificulta su utilización en alumbrado por proyección (San, 2015).

IV. Lámparas de sodio de alta presión.

Este tipo de lámparas, tienen una distribución espectral que abarca casi todo el espectro visible, el cual proporciona una luz blanca dorada mucho más agradable que la proporcionada por las lámparas de baja presión (Villatoro D. A., 2012).

Estas, tienen una capacidad para reproducir los colores mucho mejores que la de las lámparas a baja presión. No obstante, esto se consigue a base de sacrificar eficacia; aunque su valor que ronda los 130 lm/W sigue siendo un valor alto comparado con los de otros tipos de lámparas la vida media de este tipo de lámparas ronda las 20,000 horas (Villatoro D. A., 2012).

Cabe mencionar, que el período de arranque con la lámpara fría dura de tres a cuatro minutos. Asimismo, este tipo de lámparas, tienen muchos usos posibles tanto en

iluminación de interiores como de exteriores. Algunos ejemplos son en iluminación de naves industriales, alumbrado público o iluminación decorativa (Carpio, 2019).

De acuerdo a San (2015), entre las principales ventajas de estas lámparas se encuentran la alta eficacia luminosa (solo superada por vsbp), el aceptable rendimiento de color para muchas aplicaciones comunes en especial para exteriores, elevada vida, pueden operar en cualquier posición de funcionamiento, no les influye la temperatura y por último, tienen un precio moderado aunque superior al del mercurio de alta presión. Por otro lado, entre las desventajas se pueden mencionar que tienen una apariencia de color cálido y finalmente no se pueden utilizar en aplicaciones donde el rendimiento de color es prioritario.

V. Lámparas de haluros metálicos.

Las lámparas de descarga de haluros metálicos, además de tener mercurio en el bulbo, cuentan con kriptón, argón y neón. Del mismo modo, contienen sales de haluros metálicos, que agregan los colores que no reproducen las lámparas de mercurio, además, pueden tener elementos cerámicos que aumentan su vida útil, disminuyendo la depreciación de la luz (Marroquín, 2015).

Estas lámparas, tienen un alto rendimiento de color, su eficiencia va de 60 a 100 lm/W, tienen buen rendimiento de color, el control de luz es más preciso pues la luz es emitida por el pequeño tubo de arco. Debido a su rendimiento de color, eficiencia lumínica, poca depreciación luminosa y larga vida útil (aproximadamente 25,000 horas), esta lámpara es ideal para ser usada en recintos deportivos, plazas y monumentos (Marroquín, 2015).

El tiempo de arranque, es de unos 3 a 8 minutos y el de enfriamiento, unos 5 minutos. Algunos modelos permiten un encendido inmediato con lámparas en caliente (inmediatamente después de apagar), empleando para ello tensiones de choque del orden de 35 a 60 kV (Carpio, 2019).

Entre las principales ventajas de estas lámparas se encuentran la alta eficacia luminosa (75-105 lm/W), buen rendimiento de color, espectro luminoso que se adapta a la TV en color, dimensiones reducidas y buena adaptabilidad a sistemas de proyección. Por otro

lado, entre las desventajas que poseen estas, se encuentran, duración escasa en comparación con otras HID, funcionan en un rango limitado de posiciones, descarga inestable que implica distintas apariencias de color y finalmente, precio elevado (solo para aplicaciones con prioridad en IRC) (San, 2015).

2.11.1.3. Lámparas LED

La iluminación de estado sólido utiliza componentes electrónicos, tanto para su alimentación, como para convertir la energía eléctrica en energía lumínica, estos semiconductores son conocidos como LED o Light Emitting Diode (Diodos Emisor de Luz). El LED, es un diodo de tipo especial que permite el paso de la corriente en un solo sentido, pero que al ser atravesado por esta, emite luz (Chabla & Córdova, 2015).

El rápido desarrollo de los LED como nuevas fuentes de emisión luminosa, ha permitido ser consideradas en sistemas de alumbrado e iluminación, esto ha sido posible por la elevada vida media de los LED de las últimas generaciones, el notable incremento de su luminosidad y el mantenimiento de su reducido consumo, dando lugar a sistemas altamente eficaces energéticamente y de bajo costo de mantenimiento (Villatoro D. A., 2012).

De acuerdo a Marroquín (2015), esta tecnología está actualmente en pleno desarrollo y no existen luminarias de alto flujo lumínico, además, la luminancia o brillo es muy alto, por lo que actualmente no pueden tomarse en cuenta para la iluminación de canchas deportivas donde es necesario un flujo alto y baja luminancia.

Entre las principales ventajas de estas lámparas, se puede mencionar la alta eficacia luminosa (70-110 lm/W), excelente rendimiento de color, vida útil extremadamente larga (hasta 50.000 horas), dimensiones reducidas y sustituyen cualquier tipo de incandescente, halógena, o de bajo consumo, de forma directa y por último, no emiten en el infrarrojo por lo que no calientan. Por su parte entre las desventajas se puede encontrar que el precio es todavía caro en comparación con las que sustituyen y para finalizar, envejecen rápidamente en luminarias no apropiadas y en ambientes con temperaturas elevadas (San, 2015).

2.11.2. Datos fotométricos de una luminaria

La fotometría, es la ciencia encargada de estudiar la capacidad que tiene la radiación electromagnética, solamente dentro del rango visible del espectro, para estimular el ojo humano. Esta, define además la forma y dirección de la distribución de la luz emitida por lampara en el espacio (Grupo de Estudios Lumitecnicos -UPC-, s.f.).

Dicho en otras palabras, la fotometría toma en cuenta únicamente la luz visible tal como la percibe la visión de un ser humano promedio, así pues, con los datos fotométricos de una luminaria, se describen las características de salida de luz que son sensibles para el ser humano. Cabe mencionar, que estos datos fotométricos están proporcionados por los fabricantes.

Esta información, ya sea en forma de tablas o curvas, se emplea para conocer de antemano como se distribuye la luz y poder hacer una correcta selección de los sistemas de iluminación en la etapa de diseño del proyecto (Vásquez, 2015).

2.11.2.1. Curvas fotométricas

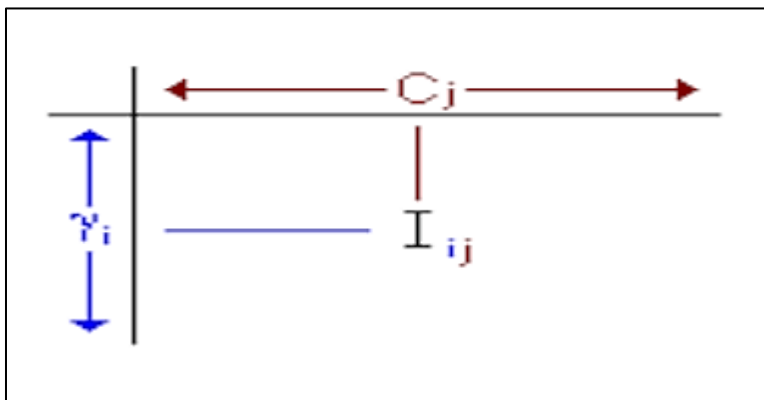
Las curvas fotométricas, básicamente son la representación gráfica del comportamiento de la luz. Muestran diferentes características relacionadas con la naturaleza de la fuente, el tipo de reflector, la óptica o el diseño de las luminarias (Carpio, 2019).

En base a ello, la representación de los valores de la intensidad calculados, se pueden representar por:

I. Matriz de intensidades.

Los valores de la intensidad luminosa, pueden encontrarse tabulados de forma matricial para distintas direcciones del espacio. En este caso, cada fabricante debe proporcionar la matriz calculada previamente. A modo de ejemplo, en la figura 19, se muestra una matriz de intensidades tipo C-y, correspondiente a una luminaria de alumbrado publico (UPC, s.f.).

Figura 20. Matriz de intensidad luminosa



Fuente: Vásquez (2015)

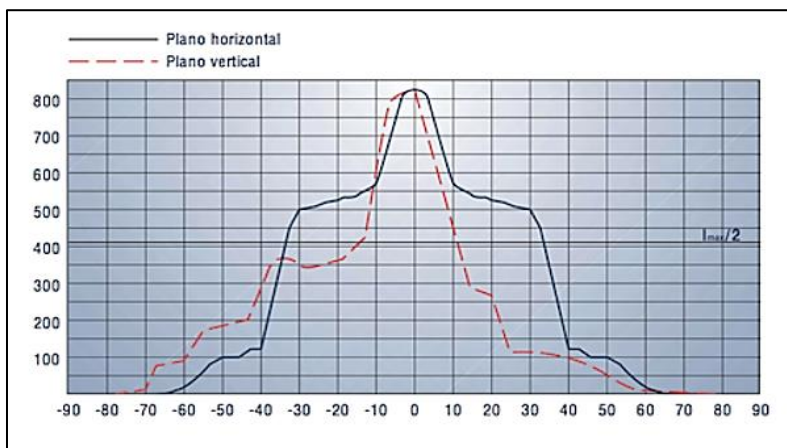
Los ejes de referencia C- γ corresponden al plano vertical (C) y la inclinación respecto al eje vertical (γ). Para cada pareja de valores de C y γ se obtiene un valor de la intensidad normalizado para una lámpara de flujo 1000lm.

II. Diagramas cartesianos.

Los diagramas cartesianos, son típicos para describir las características de los proyectores. Estos, se clasifican en función de su apertura del haz (UPC, s.f.).

Naturalmente, los diagramas cartesianos están representados en el sistema de coordenadas B-beta, y aparecen tres líneas: plano horizontal, plano vertical y mitad de la intensidad máxima (Ver figura 20):

Figura 21. Gráfico cartesiano

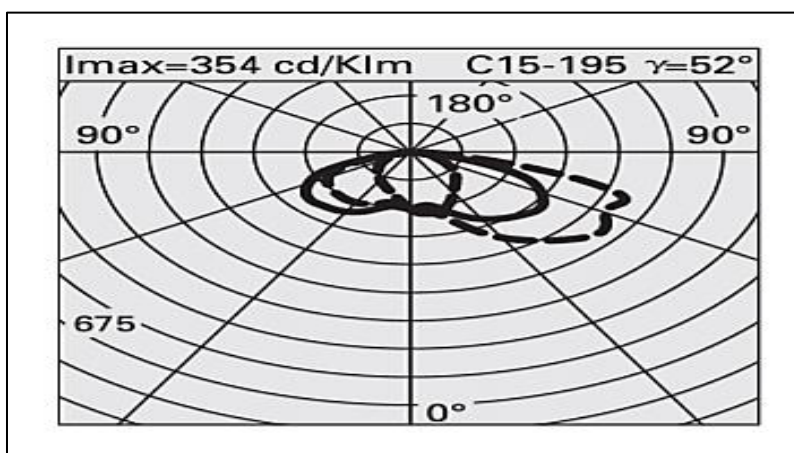


Fuente: Vásquez (2015)

III. Curvas polares.

Generalmente, la curva polar representa los dos planos verticales: el transversal (0°) y longitudinal (90°), aunque si la intensidad máxima no está contenida en estos dos planos, se representa también la curva polar del plano que la contiene. El centro del diagrama polar tiene intensidad 0, no hay luz, por lo que el valor de intensidad máxima será el punto que esté más alejado del centro. (UPC, s.f.).

Figura 22. Curva polar



Fuente: Vásquez (2015)

2.11.3. Iluminancia del Plano Horizontal $-E_H-$

Es una medida de iluminación que está referida al plano horizontal, siendo en este caso, las medidas registradas sobre el campo de juego. Estos niveles de iluminación, determinan el estado de adaptación del ojo del observador y constituye el fondo visual sobre el cual se desarrollan las acciones (Chávez, 2016).

En este plano horizontal, es necesario alcanzar un nivel de iluminación uniforme óptimo, así como un valor de Iluminancia Media $-E_M-$. Para medir este tipo de iluminancia, se requiere trazar una rejilla de 10m x 10m en toda la extensión del campo de juego, como base para recopilar todas las mediciones y calcular la iluminación máxima, mínima y media a un metro sobre la superficie del terreno de juego (Carpio, 2019).

2.11.4. Iluminancia del Plano Vertical -E_v-

Es esencial para observar los objetos en el plano vertical. A nivel de campo es la cantidad de iluminación que recibe la superficie vertical de los jugadores a una altura de 1.5m sobre la superficie del terreno de juego (Carpio, 2019).

Esta, también ayuda a presentar los detalles del primer plano de los jugadores (en especial rostros), así como la correcta visualización del balón cuando este alcanza diferentes alturas en el terreno de juego, por lo que los valores de iluminación en los planos verticales influyen bastante en la calidad de las transmisiones de televisión (Chávez, 2016).

2.11.5. Uniformidad en la iluminación

Se refiere esencialmente a la variación en la iluminancia. Es por ello, muy importante una adecuada uniformidad en ambos planos (vertical y horizontal), para la adecuada visión y adaptación tanto de los deportistas como de los usuarios o espectadores. En este caso, para la televisión en alta definición, la uniformidad es necesaria para evitar problemas de enfoque y sombras que impidan visualizar los objetos de una forma adecuada (Marroquín, 2015).

La uniformidad adecuada, dependerá de la clasificación de iluminación del estadio, si se utilizará para eventos televisados, la uniformidad debe contemplarse para los dos planos, en cambio sí será para eventos no televisados, únicamente se contempla el plano horizontal (Carpio, 2019).

2.11.6. Restricción del alumbrado

Al utilizar fuentes de luz de alta intensidad luminosa, en espacios exteriores o en algún otro ambiente puede presentarse el riesgo que ocurra un deslumbramiento a causa de la iluminación artificial. Es por ello, importante que los proyectores a utilizar se encuentren correctamente direccionados con el propósito de no interferir en el desempeño del deportista y de la visualización de los usuarios (Chávez, 2016).

2.11.6.1. Deslumbramiento

El deslumbramiento, es la condición visual en la que existe molestia, interferencia o perturbación en la eficacia óptica debido a la gran luminosidad en un punto o de una sección de la visual (Ixtiana, Presso, & Ferreyra, 2015)

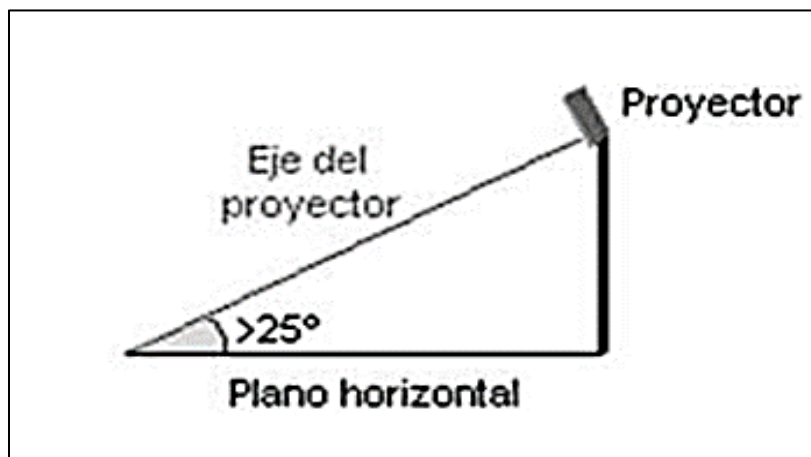
Existen dos tipos de deslumbramiento, el deslumbramiento molesto y el deslumbramiento perturbador. En el primer caso, se alude a situaciones perceptivas en la que existe cierta incomodidad debido a que la luz que llega a los ojos es demasiado intensa, produciendo fatiga visual. El segundo caso, consiste en la aparición de un velo luminoso que provoca una visión borrosa, sin nitidez y con poco contraste, que desaparece al cesar su causa (Ixtiana, Presso, & Ferreyra, 2015).

Estos deslumbramientos, pueden producirse de dos formas: una por observación directa de las fuentes de luz y la otra por observación indirecta o reflejada de las fuentes, como ocurre cuando se ven reflejadas en alguna superficie (Marroquín, 2015).

En base a ello, es de vital importancia considerar el deslumbramiento en los recintos deportivos, ya que puede afectar tanto a los deportistas, como a los espectadores y a las personas que circulen por el lugar. De modo que, al elegir las luminarias, no debe tomarse en cuenta solamente su limitación de luz dispersa por fuera del haz principal, sino también deben proyectarse adecuadamente en el ángulo preciso y a una altura adecuada para que este problema no aparezca (Marroquín, 2015).

De acuerdo a diversos autores, así como a la FIFA, para el caso de instalaciones exteriores y visto desde el centro del campo, el ángulo formado por el plano horizontal y el eje de cualquier proyector o luminaria debe ser superior a 25° como se puede ver en la siguiente figura:

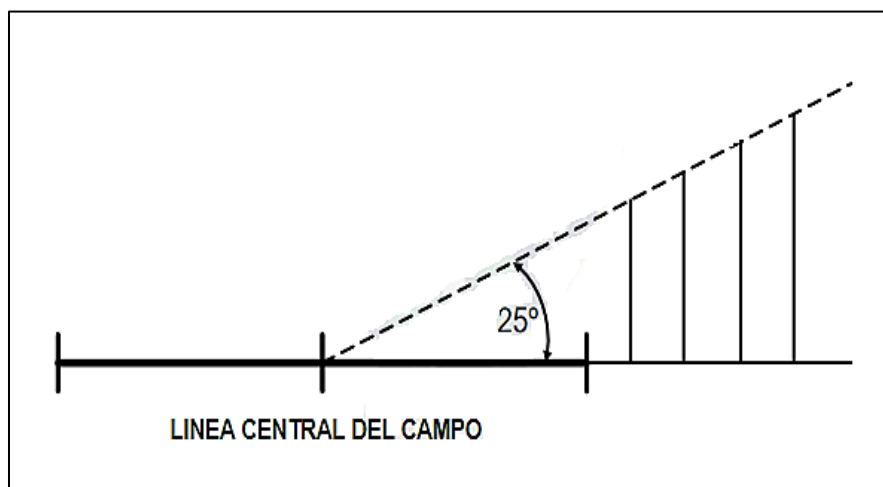
Figura 23. Altura de montaje de luminarias



Fuente: Chávez (2016)

Si las características del estadio o zona, va más allá de las líneas de banda y de gol, los postes han de ubicarse alejados de las mismas, su altura deberá aumentar de manera proporcional, teniendo en cuenta el ángulo de incidencia preferible del proyector de 25° con la horizontal (Ver figura 22).

Figura 24. Relación entre la separación del campo y la altura de los postes



Fuente: Vera (2017)

Cabe resaltar, que las luminarias a utilizar dependerán de la finalidad de instalación. En espacios deportivos según Chávez (2016), se usan lámparas HID, pero por sus características de luz fría ($3,600 - 4,900^\circ\text{K}$), excelente rendimiento del color y alta eficiencia, se emplean lámparas de aditivos metálicos.

2.11.7. Reproducción del color

La percepción o reproducción de color en todos los deportes es muy importante, la distorsión del color es intrínseca del alumbrado artificial, por ello es aceptable cierta distorsión, pero no deben existir problemas en cuanto a discriminación cromática o distinción de colores, ya que esta puede ocasionar problemas en la práctica del deporte (Carpio, 2019).

Las cualidades cromáticas de una lámpara, se caracterizan por dos atributos: la apariencia del color, que está dada por su temperatura de color, describiendo la sensación de caliente (rojo) o frío (azul) y por último, está dada en grados Kelvin -K-. En el caso de canchas deportivas, es aceptable en todo tipo de competición una temperatura de $\geq 4\ 000\ K$ (Chávez, 2016).

Otro atributo, de las fuentes de luz, es la capacidad de rendimiento de color de una luminaria, el cual es factor que afecta al aspecto cromático de los objetos iluminados por la lámpara, se le llama reproducción de color -Ra-. Este, es la capacidad de la fuente de iluminación artificial de reproducir una iluminación natural, un color de buena calidad producido por un sistema artificial de iluminación, se encuentra en $Ra \geq 65$ (Carpio, 2019).

2.11.8. Torres de iluminación

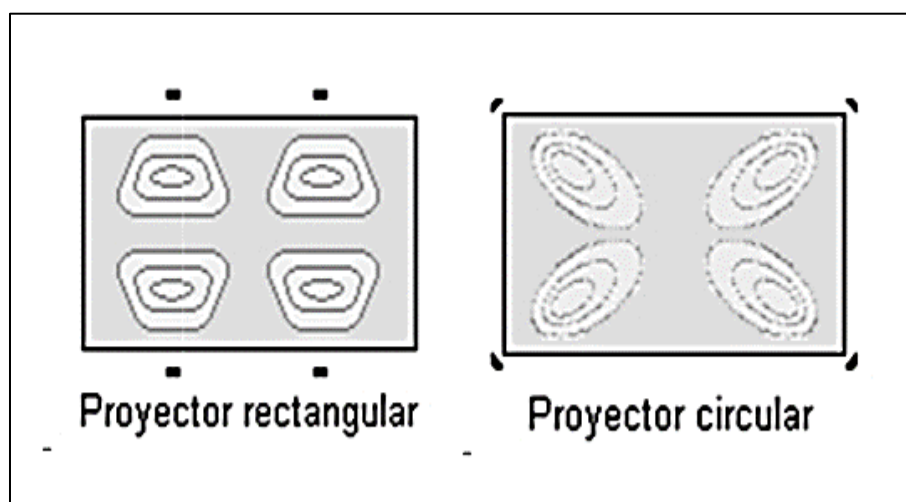
Al dispositivo donde se instalan las luminarias, son estructuras también llamadas torres de iluminación, conformadas por postes que pueden ser de madera, fundidos de hormigón o bien por materiales metálicos (Marroquín, 2015).

Para ello, es importante tener presente la gravedad, la cual afecta a todos los objetos con masa que están sobre la superficie de la Tierra, básicamente es el peso propio del poste y de los equipos a sostener. Por otro lado, hay que tener en cuenta las cargas laterales, que son de dos tipos; las cargas originadas por el viento y las cargas originadas por un movimiento telúrico. (Marroquín, 2015).

Naturalmente, estas luminarias, en instalaciones para la iluminación de estadios, se disponen generalmente en torres colocadas en los laterales, esquinas del campo de juego o en una combinación de ambas (Ver apartado Legal).

De acuerdo a Chávez (2016), en el primer caso, se pueden utilizar lámparas o proyectores rectangulares cuya proyección sobre el campo de juego tiene una forma trapezoidal obteniendo como valor añadido un buen modelado de cuerpos; y en el segundo caso, se pueden emplear los circulares que dan una proyección en forma elíptica (Ver figura 23).

Figura 25. Tipos de proyectores



Fuente: Chávez (2016)

2.11.8.1. Tipo de estructura o de postes

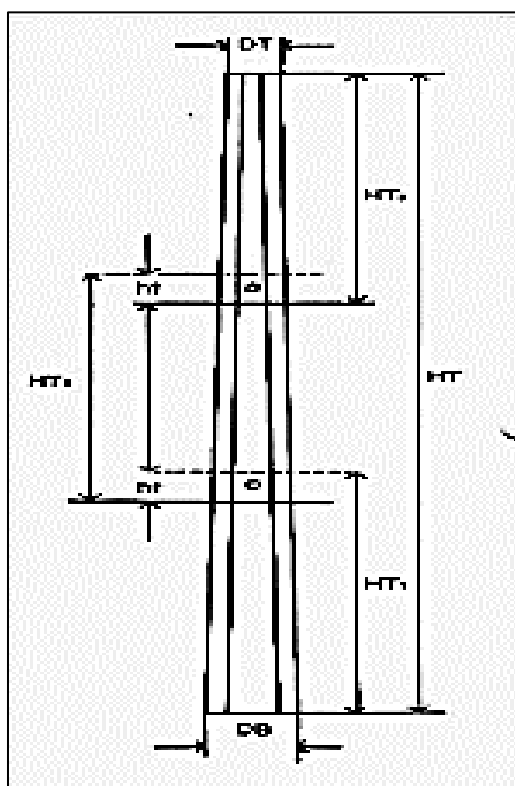
El tipo de estructura o poste a utilizar, dependerá de las necesidades requeridas por el proyecto, así como, la capacidad para soportar las cargas que actúen sobre la estructura, la factibilidad de poder instalarlos y la durabilidad en el tiempo. Puesto que estos, son utilizados generalmente a la intemperie en climas que van desde el frío al cálido y en ambientes húmedos o secos.

Como se menciona en el anterior apartado, estas estructuras pueden estar conformadas por postes de madera, postes fundidos de hormigón o bien por postes de materiales metálicos.

De acuerdo a Marroquín (2015), en instalaciones deportivas recientes, se utilizan aplicaciones de postes metálicos seccionables, por ser de gran duración, de fácil montaje, con capacidad para tolerar el peso y sobre todo capaz de soportar las tensiones del viento. Estos postes, son fabricados con lámina de acero de alta resistencia, galvanizados en caliente y generalmente compuestos de tres a siete secciones poligonales.

En la figura 25, se muestra un ejemplo de poste octogonal de tres secciones que también puede ser utilizado en telefonía o transmisión de energía eléctrica.

Figura 26. Poste poligonal seccionable



Fuente: Marroquín (2015)

2.12. Sistemas de iluminación

Un sistema de iluminación, de acuerdo a Cedeño (2018), es un conjunto de dispositivos que ayudan a iluminar un lugar determinado por medio de la conversión de energía eléctrica en luz artificial.

2.12.1. Estudio luminotécnico

El estudio luminotécnico, se refiere a la manera o el método utilizado para medir los niveles de iluminación o brillantez en un lugar específico, ya sea para entornos interior o para entornos exteriores (Hernández, 2017).

Existen dos formas principales de hacer el estudio luminotécnico. La primera, es de forma manual, utilizando equipos capaces de medir la iluminancia y la luminancia de los lugares; y la segunda, es utilizando algún tipo de programa informático (software) de simulación (Hernández, 2017).

2.12.2. Software DIALux Evo -Dx-

DIALux Evo -Dx-, es un software de utilización gratuita, empleado por profesionales de distintas áreas con el propósito de elaborar diseños, cálculos y medición de los niveles de iluminación y brillantez en varios ambientes (DIALux, s.f.).

Gracias a este software, se pueden simular varios escenarios con diferentes características, entre estos: la distancia entre lámparas, el ancho de las calles, altura de las lámparas y tipos de lámparas, entre muchos otros. Basado en esto, el software brinda los mejores resultados tanto de los niveles de luminancia o iluminancia que existen en definido lugar.

Para la correcta simulación de los niveles de iluminación, DiaLux maneja una base de datos con las características de las lámparas, la cual es alimentada por los propios fabricantes de lámparas quienes hacen la actualización necesaria en esta base de datos conforme liberan un producto nuevo o hacen un cambio de las características de los productos que ya existen en el mercado (Hernández, 2017).

2.12.3. Normativa FIFA para los sistemas de iluminación

La Federación Internacional de Fútbol Asociado -FIFA-, es el organismo encargado de regular las condiciones y exigencias de construcción, seguridad e iluminación para estadios y campos de fútbol. Para ello, y con el propósito de favorecer tanto a las

transmisiones o no televisivas, a los jugadores, a los árbitros y a los espectadores se respalda en los últimos avances tecnológicos (Carpio, 2019).

I. Categorías de competiciones.

Conforme a esta normativa, se han desarrollado cinco clases de sistemas de iluminación (I-V). Dos de ellas necesitan calidad televisada y las otras tres clases son para eventos no televisados. En la siguiente tabla, se presenta cada una de ellas:

Tabla 9. Categoría competiciones

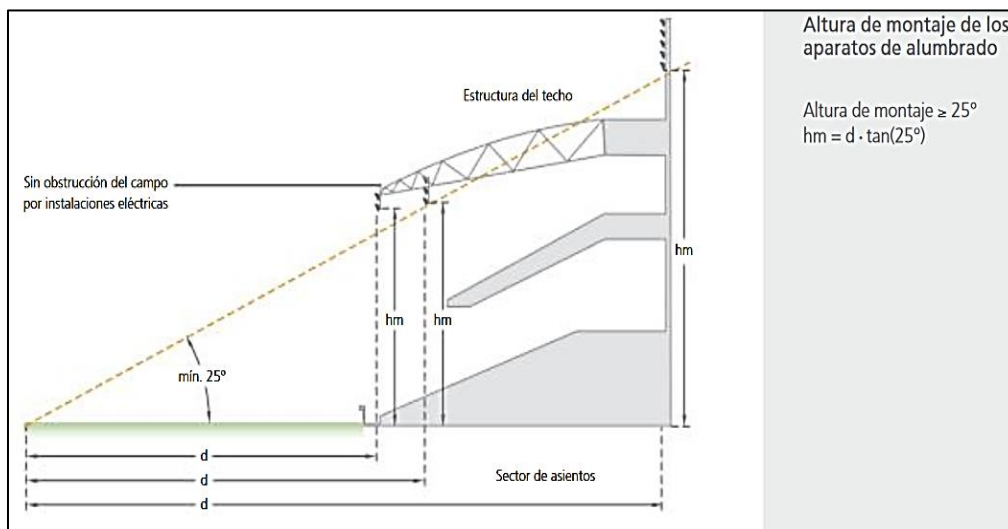
Clase V	Partido internacional televisado	Campo libre de sombras y deslumbramientos
Clase IV	Partido nacional televisado	Campo libre de sombras y deslumbramientos
Clase III	Partido nacional no televisado	Campo libre de deslumbramientos, provisto de un mínimo de ocho postes (recomendado)
Clase II	Partido de liga y/o clubes no televisado	Campo libre de deslumbramientos, provisto de un mínimo de seis postes (recomendado)
Clase I	Entrenamientos y juegos de recreo no televisados	Campo libre de deslumbramientos, provisto de un mínimo de cuatro postes (recomendado)

Fuente: FIFA. Recomendaciones técnicas y requisitos, estadios de fútbol.

II. Altura de montaje de las luminarias.

La altura de montaje de los aparatos de alumbrado, es crucial para un exitoso sistema de iluminación deportiva; la geometría de la altura de montaje para los bastidores de focos laterales y postes es de 25 grados sobre el horizonte, visto desde el centro del campo y mirando hacia las tribunas. Los bastidores de focos y la estructura de alumbrado podrán exceder esta recomendación mínima de 25 grados, pero no superar los 45 grados.

Figura 27. Altura de montaje de luminarias



Fuente: FIFA. Recomendaciones técnicas y requisitos, estadios de fútbol.

III. Ángulos visuales de jugadores y la transmisión.

El más importante requisito del diseño es proveer a los jugadores, los árbitros y los medios un ambiente sin deslumbramientos. Las siguientes dos áreas se definen como “zonas sin iluminación artificial” para la totalidad de las cinco clases de competiciones:

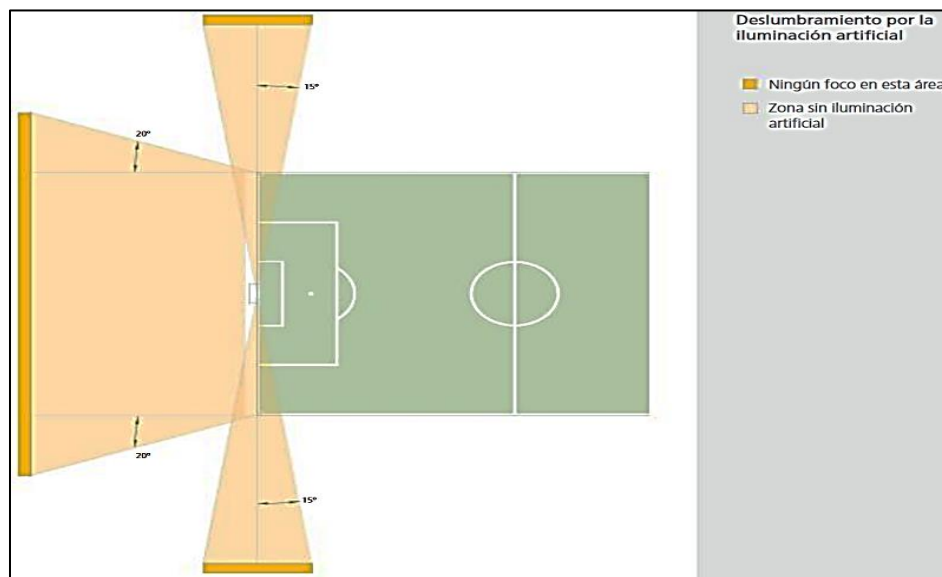
- *Zona de las esquinas de la línea de meta.*

A fin de mantener adecuadas condiciones visuales para el portero y los jugadores atacantes en los saques de esquina, no se colocará iluminación dentro de los 15 grados a ambos lados de la línea de meta.

- *Detrás de la línea de meta.*

A fin de mantener adecuadas condiciones visuales para los jugadores atacantes frente a la meta y para el portero, así como para los medios de video en el lado opuesto del campo, no se colocará iluminación dentro de los 20 grados a ambos lados de la línea de meta ni dentro de los 45 grados sobre el horizonte desde la línea de meta.

Figura 28. Deslumbramiento por iluminación artificial

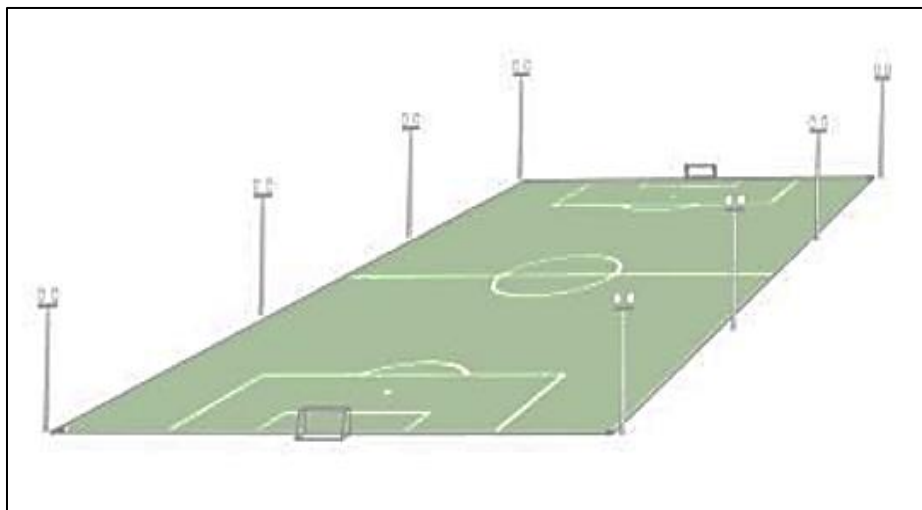


Fuente: FIFA. Recomendaciones técnicas y requisitos, estadios de fútbol.

IV. Planificación de las Instalaciones

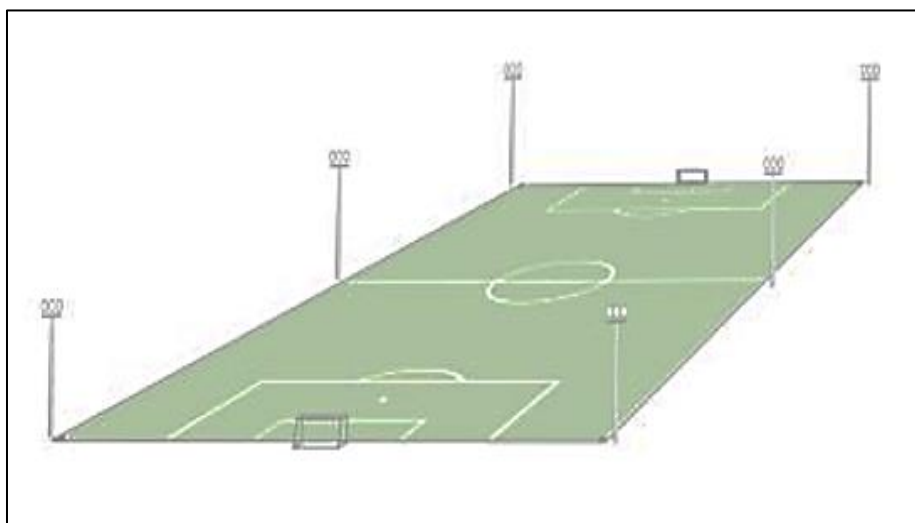
Para encuentros internacionales y nacionales televisados, los aparatos de iluminación se posicionan sobre el estadio para crear una iluminación correspondiente a los videos de calidad digital. No se requiere un direccionamiento multizona para un campo no televisado. En el caso de partidos nacionales, de liga, y de entrenamiento, no televisados, se aplicarán las siguientes directrices estándar para el diseño de la iluminación:

Figura 29. Eventos no televisados - Clase III, partidos nacionales



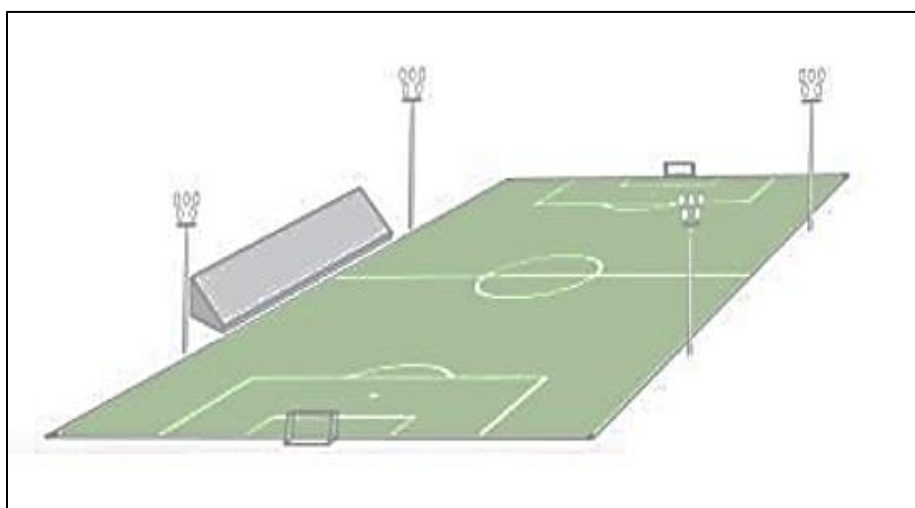
Fuente: FIFA. Recomendaciones técnicas y requisitos, estadios de fútbol.

Figura 30. Eventos no televisados - Clase II, partidos de liga y clubes



Fuente: FIFA. Recomendaciones técnicas y requisitos, estadios de fútbol.

Figura 31. Eventos no televisados - Clase I, entrenamiento y recreo



Fuente: FIFA. Recomendaciones técnicas y requisitos, estadios de fútbol.

V. Valores mínimos recomendados de iluminación.

El nivel de iluminación que recomienda la FIFA para un establecimiento deportivo, dependerá de varios factores, como lo puede ser el tipo de actividad visual a realizar, velocidad de acción, número de espectadores y distancia al campo de juego, entre otros.

Para el diseño de iluminación, en este caso de un estadio de fútbol, tendrá que conocerse el tipo de competición o partido que se contempla realizar en el campo de juego, asimismo, debe tomarse en cuenta la capacidad de aficionados que alberga o albergará, y si los eventos serán o no televisados (Marroquín, 2015).

De acuerdo a las normas FIFA (2011), en la tabla 9, se muestran los niveles de iluminación necesarios para realizar un evento transmitido en alta definición. En ella, se incluyen los valores de las luminancias verticales, horizontales, los coeficientes de uniformidad y propiedades de las lámparas.

Tabla 10. Especificación de iluminación para eventos televisados

		Iluminancia vertical			Iluminancia horizontal			Propiedades de las lámparas	
		Ev media de las cámaras	Uniformidad		Eh media	Uniformidad		Temperatura del color	Reproducción de color
Clase	Cálculo hacia	Lux	U1	U2	Lux	U1	U2	K	Ra
Clase V Internacional	Cámara fija	2,400	0.5	0.7	3,500	0.6	0.8	> 4,000	≥ 65
	Cámara de campo (al nivel del campo)	1,800	0.4	0.65					
Clase IV Nacional	Cámara fija	2,000	0.5	0.65	2,500	0.6	0.8	> 4,000	≥ 65
	Cámara de campo (al nivel del campo)	1,400	0.35	0.6					

Fuente: FIFA Recomendaciones técnicas y requisitos, estadios de fútbol.

- *Notas:*
 - La iluminancia vertical se refiere a la iluminancia hacia una posición de cámara fija o de campo.
 - La uniformidad de la iluminancia vertical para cámaras de campo puede ser evaluada en cada cámara, considerando la variación de este estándar.
 - Todos los valores de iluminancia indicados representan valores constantes. Se recomienda una constante de 0,7; por tanto, los valores iniciales serán aproximadamente 1,4 veces el valor de los antes indicados.

- En todas las clases, el índice de deslumbramiento será de $GR \leq 50$ para los jugadores en el campo, dentro del ángulo visual primario del jugador. Tal índice se cumple si se cumplen los ángulos visuales del jugador.
- Se acepta y recomienda el empleo de la tecnología de lámparas de iluminación constante.

Asimismo, en la tabla 10, se muestran los niveles de iluminación necesarios para realizar un evento no televisado. De igual manera, se incluyen los valores de las luminancias verticales, horizontales, los coeficientes de uniformidad y propiedades de las lámparas.

Tabla 11. Especificación de iluminación para eventos no televisados

Nivel de actividad	Iluminancia horizontal	Uniformidad	Temperatura del color de la lámpara	Reproducción de color de la lámpara
Clase	Eh media (lux)	U2	Tk	Ra
Clase III Partidos nacionales	750	0.7	> 4,000	≥ 65
Clase II Ligas y clubes	500	0.6	> 4,000	≥ 65
Clase I Entrenamiento y recreo	200	0.5	> 4,000	≥ 65

Fuente: FIFA Recomendaciones técnicas y requisitos, estadios de fútbol.

- *Notas:*
 - Todos los valores de iluminancia indicados representan valores constantes.
 - Se recomienda una constante de 0,70; por tanto, los valores iniciales serán aproximadamente 1,4 veces el valor de los antes indicados.
 - La desigualdad de iluminancia no deberá exceder de 30% cada 10 metros.
 - Los ángulos visuales primarios del jugador han de estar libres de deslumbramiento directo. Tal índice de deslumbramiento se cumple si se cumplen los ángulos visuales del jugador.

3. METODOLOGÍA

El presente capítulo, comprende los criterios y procedimientos generales que guiaron la realización del trabajo. A raíz de ello, se despliega la definición y delimitación del problema, el objetivo general acompañado de los objetivos específicos, el método científico y las principales técnicas de investigación documental y de campo empleadas en el desarrollo del mismo.

3.1. Definición del Problema

Según datos de la CNEE, la mayor aportación de generación de energía eléctrica en Guatemala proviene de los recursos hídricos y de los combustibles de origen fósil. En los últimos años, la creciente participación de las hidroeléctricas en la matriz energética nacional ha significado una reducción en el costo de la energía, sin embargo, depende en gran medida de los ciclos favorables de la naturaleza, de manera que los consumidores están expuestos a las variaciones de los precios de energía, tanto por los cambios correspondientes en el precio de los combustibles fósiles, como a las condiciones climáticas que puedan afectar los embalses hidroeléctricos debido a sequías.

Es por ello, necesario hacer un balance energético, diversificar la matriz energética y la Universidad de San Carlos también expuesta a esta problemática, debe ser un ejemplo en la aplicación y promoción de otras fuentes de energía renovables potenciales que ayuden a mitigar el problema identificado.

Sin embargo, a pesar de las ventajas que poseen otras fuentes de energía limpias, como por ejemplo la energía solar, en la Universidad no se han desarrollado y motivado inversiones de carácter energético, especialmente en la tecnología fotovoltaica que tiene una diversidad de aplicaciones, un gran potencial de generación, y uno de los costos más bajos de generación promedio.

A raíz de esta escasa inversión en el tema energético y de esta tecnología al interior de la Universidad, se han dejado de evitar toneladas de emisiones de CO₂ al medio ambiente, pero sobre todo, se han visto afectados los costos de electricidad año con año,

originando así un escaso o nulo ahorro en el gasto de energía, que se pudiera prevenir si la Universidad generará y se abasteciera su propia energía.

La Universidad, debe generar estos ahorros significativos en la emisión de toneladas de CO₂ como el ahorro en la factura eléctrica, y así poder llegar a invertir este ahorro en otras áreas de la ciudad universitaria que han estado abandonadas por carecer de iluminación, como por ejemplo la infraestructura del estadio Revolución, esto con el fin de dar un mejor servicio al estudiante y a la población en general.

Por tales motivos, se plantea la siguiente interrogante de investigación:

¿Qué elementos primordiales técnicos, administrativos-legales, ambientales y financieros se requieren para realizar un proyecto de instalación de un sistema de energía solar fotovoltaica en el estadio Revolución, Universidad de San Carlos de Guatemala?

3.2. Delimitación del Problema

Para delimitar el problema anteriormente descrito, fue necesario desglosarlo en tres dimensiones distintas: la unidad de análisis, el periodo histórico y el ámbito geográfico.

3.2.1. Unidad de análisis

Sistema de energía solar fotovoltaica.

3.2.2. Periodo histórico

El periodo que se consideró en el proyecto de investigación, fue de febrero del año 2018 a agosto del año 2021.

3.2.3. Ámbito geográfico

Estadio Revolución, Campus Central Universitario de la USAC, ubicado en la zona 12 del municipio y departamento de Guatemala.

3.3. Objetivos

Los objetivos, constituyen las acciones y metas necesarias para lograr un fin o propósito en una investigación, en base a ello, se plantea lo siguiente:

3.3.1. Objetivo general

Evaluar una propuesta de instalación de un sistema de energía solar fotovoltaica para cubrir de manera sostenible la demanda de energía del estadio Revolución, Universidad de San Carlos de Guatemala, Ciudad Universitaria zona 12.

3.3.2. Objetivos específicos

- Evaluar las características técnicas de la energía solar, así como otra información técnica fundamental para el diseño, construcción y operación del sistema solar fotovoltaico.
- Analizar los principales aspectos administrativos, marco legal regulatorio y normas relacionadas con la instalación y desarrollo de un proyecto de tecnología solar fotovoltaica.
- Determinar el impacto ambiental que podría presentar la instalación de un sistema solar fotovoltaico, así como las medidas de mitigación, de contingencia y plan de abandono correspondientes.
- Elaborar un análisis de los parámetros financieros, económicos y sociales del proyecto, a fin de establecer indicadores preliminares.

3.4. Justificación

Ante la dependencia de los combustibles de origen fósil y del recurso hídrico que tradicionalmente ha tenido el país para generar electricidad, es importante que la Matriz Energética Nacional tenga que diversificarse, y la Universidad de San Carlos de acuerdo a su Misión, Visión y consciente de esta problemática, debería realizar esfuerzos para lanzar iniciativas de inversión al interior de la misma, con el propósito de demostrar y promover otras fuentes de energía inagotables que no solo generen beneficios económicos sino también beneficios ambientales.

En vista de lo anterior, se presenta la oportunidad de sugerir y analizar la iluminación del estadio Revolución, puesto que dichas instalaciones, han carecido de alumbrado desde su fundación y hoy en día se encuentran parcialmente ociosas, pudiéndose utilizar mejor si se extienden las horas de aprovechamiento. En base a ello y junto con la dependencia de centrales hidroeléctricas o de aquellas que utilizan combustibles fósiles para la generación de electricidad, surge la necesidad de buscar una forma alternativa de suministro eléctrico que permita iluminar de forma eficiente y sostenible las instalaciones del estadio.

La propuesta que se plantea al problema, nace de la energía solar fotovoltaica, un tipo de energía poco explotado, no obstante, con un gran potencial de generación de electricidad en nuestro país. A nivel mundial, este tipo de tecnología está siendo aprovechada en sistemas de iluminación dadas sus ventajas de eficiencia en la conversión, y hoy en día, se presenta como la alternativa energética más económica y amigable con el medio ambiente.

De esa manera, el presente informe, busca no solo brindar información que permita a las autoridades de la USAC tomar decisiones acerca de la instalación de un sistema fotovoltaico de mediana escala en el estadio Revolución, sino que también, contribuya a buscar la autonomía energética en la Ciudad Universitaria, esperando servir de ejemplo a otras entidades públicas y privadas para que se integren como agentes de cambio actuando localmente, pero pensando nacional y globalmente.

3.5. Método

Al realizar el presente trabajo de investigación, se aplicó el Método Científico en sus tres respectivas fases, siendo estas:

- **Indagadora**

Se utilizó en visitas realizadas para ampliar información sobre el problema, y para recolectar información a través de fuentes secundarias.

- **Demostrativa**

Se emplearon los procesos de análisis, síntesis y organización de los resultados obtenidos en la investigación documental y de campo para sustentar la investigación.

- **Expositiva**

En esta fase se plasmó en el informe final de investigación, en el que se detallan los resultados obtenidos y los diferentes aportes correspondientes.

3.5.1. Enfoque mixto

El proceso de investigación metodológico empleado en este informe, fue el enfoque mixto. Lo anterior, debido a que fue necesario hacer combinaciones de información tanto cualitativa como cuantitativa.

3.5.2. Alcance correlacional

En este proceso, se asoció la variable “X” desarrollo de un sistema de energía solar fotovoltaica, con las variables “Y” consumo y gasto de energía, y ahorro de emisiones de Gases de Efecto Invernadero -GEI-.

3.5.3. Diseño no experimental

Este diseño, se determinó mediante los diferentes estudios elaborados, entendiendo que las variables de investigación no se manipularon sino solamente se observaron e interpretaron, para llegar finalmente a las conclusiones.

3.6. Matriz de Marco Lógico

Aunado al método científico, se define una matriz de marco lógico en donde se identifica el fin, el propósito, los componentes e insumos del proyecto, así como indicadores, medios de verificación y algunos otros elementos a tomar en cuenta. (Ver Anexo 8)

3.7. Técnicas de investigación aplicadas

Para la realización de la investigación, fue necesario emplear las siguientes técnicas:

3.7.1. Técnicas de investigación documental

Las técnicas de investigación documental, permitieron obtener información secundaria para la construcción de antecedentes, marco teórico y sobre todo los aspectos de mercado, aspectos técnicos, aspectos administrativos-legales, aspectos ambientales y aspectos financieros del proyecto. El procedimiento fue el siguiente:

- Elección del proyecto a realizar o evaluar
- Lectura analítica del tema a investigar
- Elaboración del plan de trabajo de investigación
- Recolección y revisión de información de fuentes secundarias como: datos estadísticos, datos demográficos, informes socioeconómicos, ambientales, marco normativo legal relacionado al objeto de estudio, documentos impresos y documentos electrónicos.
- Resumen y notas de las fuentes consultadas
- Organización y análisis de la información
- Redacción y presentación del informe

3.7.2. Técnicas de investigación de campo

Las técnicas de investigación de campo, contribuyeron a estudiar de cerca la problemática y especialmente a tener una visión más objetiva.

En este caso, se utilizó la técnica de la observación directa, la cual sirvió para recopilar información de primera mano, principalmente a las instalaciones del estadio Revolución. Durante la visita, se realizó un recorrido por el terreno de juego y pista de atletismo, en donde se tomaron fotografías del lugar, la cuales sirvieron para documentar en el informe final. (Ver Anexo 9)

Entre las limitantes más significativas, se menciona la pandemia del virus Covid-19, la cual complicó el acceso a información personalizada y del asesoramiento de profesionales especializados en la temática. Sin embargo, fue posible obtener algunos datos relevantes de los procesos a investigar mediante reuniones virtuales en Google Meet y conversaciones en diferentes redes sociales como WhatsApp.

4. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En el presente capítulo, se exponen los principales resultados de la investigación relacionados con la determinación del estudio técnico, estudio administrativo-legal, estudio ambiental, y estudio financiero/económico de la instalación de un sistema de energía solar fotovoltaica en el estadio Revolución de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

4.1. Estudio Técnico

En este apartado, se presenta la descripción general de la instalación, la localización, se evalúa el balance de energía, la mejor ubicación para colocar los paneles fotovoltaicos, se considera el diseño y el tamaño del proyecto con sus diferentes características, para finalmente analizar los procesos que se llevarían a cabo en la instalación y operación del mismo.

4.1.1. Descripción general del producto o servicio

El servicio esencialmente consiste en suministrar energía eléctrica generada de forma eficiente y sostenible mediante equipo solar fotovoltaico al estadio Revolución de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Si bien, el servicio está diseñado para tener como uso principal la distribución de iluminación al campo de fútbol y pista de atletismo del estadio Revolución, se dimensiona el uso previsible para otras aplicaciones eléctricas al interior del recinto deportivo.

4.1.1.1. Características de la instalación

El proyecto, propone trabajar por medio de un sistema fotovoltaico de autogeneración conectado a la red. Dicho de otro modo, el sistema debe ser capaz de generar energía eléctrica suficiente para cubrir la demanda de electricidad del estadio, así en caso de excedentes, se sustituirán o reducirán Kilovatios hora -kWh- comprados a la red eléctrica nacional para abastecer las necesidades de otros edificios vecinos, y en caso de no generar suficiente, se pagará la factura por la energía comprada de la red.

4.1.2. Localización

La localización del proyecto se divide en: macrolocalización, la cual representa una imagen general del lugar donde se prevé establecer el proyecto; y microlocalización, en la cual se especifica el lugar definitivo en donde se realizará el proyecto.

4.1.2.1. Macrolocalización

La macrolocalización del proyecto, se determinó en la zona 12 del departamento y municipio de Guatemala. Esta delimitación se debió esencialmente a que es esta zona, la que especialmente abarca la Ciudad Universitaria o Campus Central Universitario.

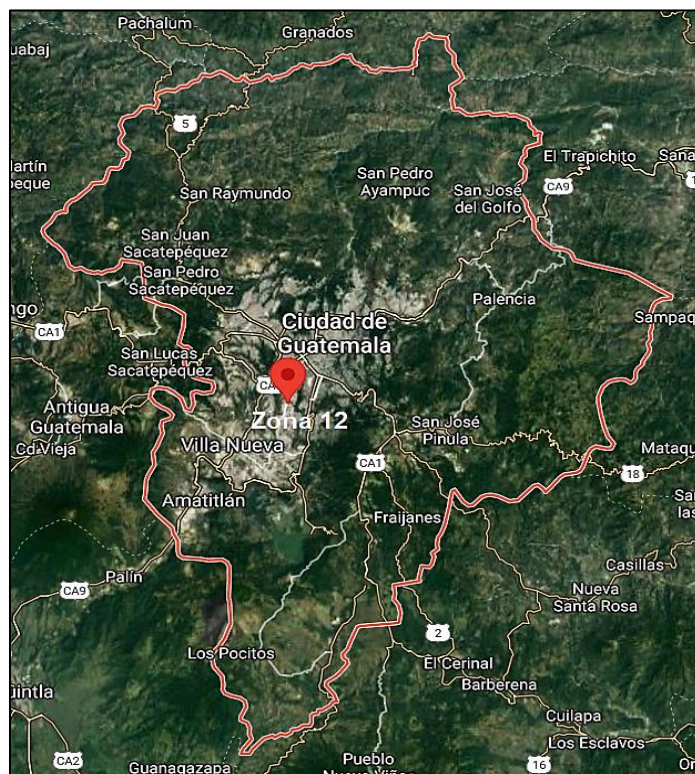
En la siguiente figura, se muestra el mapa de Guatemala, resaltando el departamento de Guatemala; seguidamente, en la figura 32, se ilustra la ubicación de la zona 12 de la ciudad capital dentro del departamento de Guatemala; y finalmente, en la figura 33, se señala el mapa de la zona 12, resaltando la ubicación de la Ciudad Universitaria.

Figura 32. Mapa de Guatemala, resaltando el departamento de Guatemala



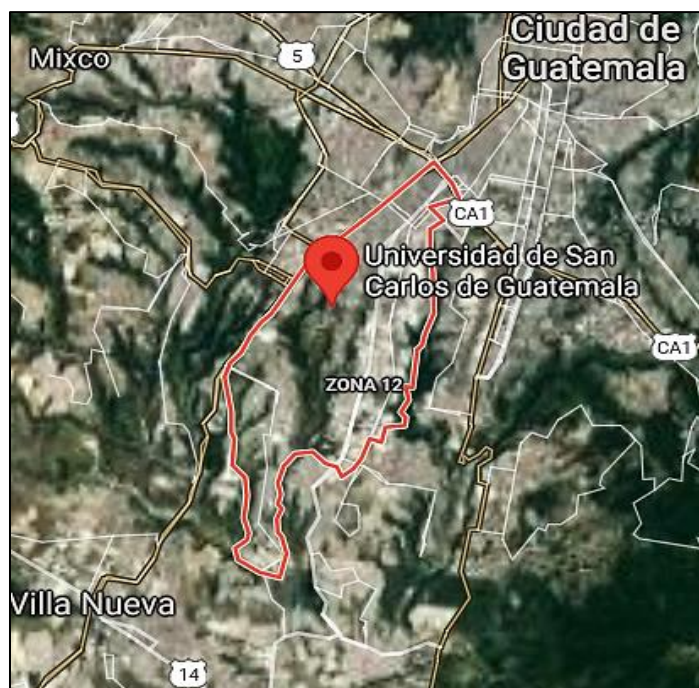
Fuente: Elaboración propia. Google Earth, año 2021

Figura 33. Mapa del departamento de Guatemala, resaltando la zona 12 capitalina



Fuente: Elaboración propia. Google Earth, año 2020

Figura 34. Mapa de la zona 12, resaltando la USAC



Fuente: Elaboración propia. Google Earth, año 2020

4.1.2.2. Microlocalización

En cuanto a la microlocalización, dicho proyecto se localiza en las coordenadas 14°35'11.36"N 90°32'52.12", estadio Revolución, Campus Central Universitario.

Figura 35. Estadio Revolución, Campus Central Universitario



Fuente: Elaboración propia. Google Earth, año 2021

El Campus Central Universitario, cuenta con dos accesos: uno, proveniente del Anillo Periférico y séptima avenida de la zona 12; y el otro, por la avenida Petapa en 35 calle. Ambas vías de acceso se encuentran asfaltadas, y cuentan cada una con dos carriles de ingreso y otros dos carriles de salida.

4.1.3. Balance de energía

Dentro del balance de energía, se presenta un análisis de la cuantificación de la demanda seguido por la determinación de la oferta del sistema de generación fotovoltaica.

4.1.3.1. Cuantificación de la demanda

Para elaborar el cálculo de la demanda de potencia y demanda de energía eléctrica que requiere el estadio, se empleó el software de utilización libre DIALux Evo -DX- (Ver Marco

Teórico). Gracias a este software, se permitió simular y definir el mejor escenario en el cual se cumplen todos los requerimientos de iluminación para estadios de fútbol.

Para la cuantificación de la demanda, se tomaron en cuenta características tanto cualitativas como cuantitativas de un sistema de iluminación. Estas características, se basaron en el nivel de iluminación Clase I recomendado por la FIFA (Ver Marco Teórico), las cuales ayudaron a realizar tanto el Estudio de Mercado como el Estudio Técnico adecuado para esta propuesta.

A partir de ello, y en base al estudio luminotécnico realizado por el software, para el campo de fútbol y pista de atletismo se permitió definir una demanda de potencia requerida de 96 Kilowatt -kW-. (Ver Anexo 1)

Ahora bien, debido al previsible uso de otras aplicaciones eléctricas al interior del estadio, se dimensiona un 20 por ciento extra de demanda de potencia, por lo que para el recinto deportivo será necesario generar una demanda de potencia promedio de:

$$P_{kwh} = \text{Potencia promedio kW} * 1.20$$

$P_{kwh} = 96 \text{ kW} \times 1.20 = \mathbf{116 \text{ kW}}$

Este resultado, servirá para el cálculo de la demanda de energía requerida o a consumir por el estadio. Esta demanda de energía, obedecerá de cuál sea el tiempo de uso en general del recinto deportivo, es decir, dependerá de las horas de uso de las lámparas y de las horas de uso de otras aplicaciones eléctricas (serán decisiones a tomar por parte de las autoridades pertinentes).

En este documento, se ejemplifica el panorama en donde las lámparas permanecerán encendidas un total de cuatro horas por día y doce horas a la semana, no obstante, es importante resaltar, que puede haber escenarios en donde el uso sea mayor o menor al estimado; y en el caso del tiempo de uso de otras aplicaciones, se muestra el planteamiento en la tabla nº 12.

Una vez definido lo anterior, y con la cantidad de potencia atribuida de 116 kW, fue posible elaborar el cálculo de la demanda de energía requerida o a consumir por día del estadio (expresado en Kilowatt hora kWh), lo cual se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 12. Demanda de potencia y demanda de energía, estadio Revolución

Descripción	Datos	
Potencia requerida iluminación (kW)	96	
Horas de uso por día (horas)	4	Definido por el formulador
Energía requerida por día (kWh/h)	384	Total
Potencia requerida otras aplicaciones (kW)	20	
Horas de uso por día (horas)	12	Definido por el formulador
Energía requerida por día (kWh/h)	240	Total

Fuente: Elaboración propia en base a los resultados obtenidos del estudio luminotécnico del estadio Revolución elaborado con el software DIALux evo

Como resultado, para el panorama ejemplo, se tiene que la demanda de energía a consumir o solicitada por el estadio para uso de iluminación es de 384 kWh/por día, y para el uso de otras aplicaciones, se tiene una demanda de energía estimada en 230.4 kWh/por día.

En la siguiente tabla, y para fines financieros del proyecto (para conocer cuál es el costo de la energía suministrada al estadio) se hace el cálculo mensual y anual de la energía requerida por el recinto deportivo:

Tabla 13. Demanda de energía requerida por mes y por año, estadio Revolución

Descripción	Datos	
Energía requerida iluminación día (kWh/h)	384	
Días de uso por mes (días al mes)	12	Panorama ejemplo
Energía requerida por día (kWh/mes)	4,608	Total
Días de uso por año (días al año)	144	Panorama ejemplo
Energía requerida por año (kWh/año)	55,296	Total

Continuación de la tabla n° 13.

Descripción	Datos	
Energía requerida otras aplicaciones día (kWh/h)	240	
Días de uso por mes (días al mes)	30	Definido por el formulador
Energía requerida por día (kWh/mes)	7,200	Total
Días de uso por año (días al año)	365	Definido por el formulador
Energía requerida por año (kWh/año)	87,600	Total

Fuente: Elaboración propia en base a los resultados obtenidos del estudio luminotécnico del estadio Revolución elaborado con el software DIALux evo

De la tabla anterior, se tiene una demanda de energía requerida anual por concepto de iluminación de 55,296 kWh/año; y para el uso de otras aplicaciones, se contempla una demanda de energía requerida anual de 87,600 kWh/año, haciendo un total de 142,896 kWh/ por año.

Es importante mencionar, que en estos datos no se incluye el factor perdidas, ni otros elementos que generalmente afectan la producción de energía de un sistema de generación fotovoltaica (Ver Marco Teórico). Posteriormente en el Estudio Técnico, se hace el cálculo tomando en consideración todas las perdidas por diversos factores.

4.1.3.2. Determinación de la oferta

El objetivo de estudiar la oferta, consiste en determinar o medir las cantidades y las condiciones con las que se puede poner a disposición el servicio anteriormente mencionado, en consecuencia con este proyecto se tiene:

Primeramente, conforme al MEM, para la ciudad capital y para la ubicación del estadio Revolución, el proyecto cuenta con una potencia o irradiación solar de 5.3 kWh/m² al día. Dicho valor, es mucho más alto que el de varios países que cuentan con programas exitosos de aprovechamiento de energía solar.

En segundo lugar, como se menciona anteriormente, este proyecto ofrece una generación de energía eléctrica mediante un sistema fotovoltaico conectado a la red

eléctrica, dicho de otro modo, por un lado, se cuenta con la generación eléctrica por parte de los paneles fotovoltaicos, y por otro lado se cuenta con el suministro de la Empresa Eléctrica de Guatemala.

Ahora bien, tomando como referencia las Horas Sol Pico por día de 5.3, el sistema fotovoltaico, en dependencia del tipo y potencia del panel a instalar y en dependencia del área física útil en donde se instalen, ofrecerá en conjunto un total de kWh/por mes y kWh/por año que cubra la demanda de electricidad del estadio, y en caso de generar excedentes, se propone inyectarlos o colocarlos a la red interna Universitaria, esto con el objeto de reducir la energía comprada a la red eléctrica nacional.

A raíz de ello, y sabiendo que el estadio tiene una demanda de energía, pero los edificios y la Universidad cuentan con otra demanda de energía, siendo potenciales clientes para los excedentes del proyecto, se diseña una oferta que supera a la demanda, entendiendo que todo superávit de electricidad que se genere tiene un mercado cautivo, que es la sustitución de energía que la Universidad compra al sistema.

4.1.4. Precios de la energía eléctrica

La Universidad de San Carlos de Guatemala, de acuerdo a De León (2017), está clasificada como Gran Usuario por la Empresa Eléctrica de Guatemala. Por su parte, los edificios ubicados al interior del Campus Central, pueden manejar diferentes contratos o pliegos tarifarios como lo son:

- Mediana tensión con demanda fuera de punta -MTDfp-
- Baja tensión con demanda fuera de punta - BTDfp –
- Baja tensión simple -BTS-

Cabe mencionar, que estos contratos o pliegos tarifarios, presentan una variación en el costo cada tres meses, es por ello que en la siguiente tabla, se indica el costo de variación para el año 2019.

Tabla 14. Pliego tarifario, año 2019

Mes	Tarifa	Valor -BTS-	Valor -MTDfp-	Valor -BTDfp-
Ene	Cargo por consumidor (Q/usuario-mes)	8.887887	711.030932	106.6546
	Cargo unitario por energía (Q/kWh)	1.172832	0.79669	0.8407
	Cargo unitario por potencia máxima (Q/kWh-mes)		25.159099	22.8301
	Cargo unitario por potencia contratada (Q/kW-mes)		10.356495	26.6139
Feb/mar/abr	Cargo por consumidor (Q/usuario-mes)	9.148141	732.203227	109.7777
	Cargo unitario por energía (Q/kWh)	1.230627	0.847378	0.8914
	Cargo unitario por potencia máxima (Q/kWh-mes)		25.159099	22.8301
	Cargo unitario por potencia contratada (Q/kWh-mes)		10.855422	27.5046
May/jun/jul	Cargo por consumidor (Q/usuario-mes)	9.148141	732.203227	109.7777
	Cargo unitario por energía (Q/kWh)	1.306812	0.924659	0.9707
	Cargo unitario por potencia máxima (Q/kWh-mes)		24.745442	22.4547
	Cargo unitario por potencia contratada (Q/kW-mes)		10.855422	27.5046
Ago/sep/oct	Cargo por consumidor (Q/usuario-mes)	9.375037	750.364348	112.5004
	Cargo unitario por energía (Q/kWh)	1.336747	0.951801	0.9979
	Cargo unitario por potencia máxima (Q/kWh-mes)		24.745442	22.4547
	Cargo unitario por potencia contratada (Q/kW-mes)		11.042426	27.8547
Nov/dic	Cargo por consumidor (Q/usuario-mes)	9.584285	766.74282	115.0114
	Cargo unitario por energía (Q/kWh)	1.34423	0.94829	0.9944
	Cargo unitario por potencia máxima (Q/kWh-mes)		24.745442	22.4547
	Cargo unitario por potencia contratada (Q/kW-mes)		11.570902	29.2325

Fuente: <https://www.cnee.gob.gt/Calculadora/pliegos.php>

En este caso, el valor a tomar en cuenta, es decir, el valor que servirá para el análisis económico, es el cargo unitario por energía en quetzales sobre kilovatios hora -Q/kWh-, como se verá más adelante en el estudio financiero.

4.1.5. Diseño del Proyecto

En este apartado, se define con un mayor grado de especificación como surge la distribución del proyecto, la cantidad necesaria y el tipo de luminarias por cada torre o poste, la cantidad y tipo de paneles, el área total útil para instalarlos, el grado de inclinación y separación entre ellos, entre algunos otros aspectos.

4.1.5.1. Disposición y cantidad de torres

La ubicación de las torres o postes, así como la cantidad de los mismos, está relacionada a la ordenación que se menciona anteriormente, a la clasificación Clase I elaborada por parte de la FIFA. (Ver Marco Teórico)

Según estas recomendaciones de iluminación, para el tipo de eventos que se requiere (juegos de entrenamiento y recreo), se instalarán cuatro torres en total, dos a cada costado del terreno de juego, alineados básicamente en las cuatro esquinas correspondientes, tomando en consideración el no entorpecer la visual de los espectadores.

4.1.5.2. Estudio luminotécnico

Para el dimensionamiento del sistema de iluminación, se utilizó el Software libre DIALux Evo. A través de este software, y según normas y características definidas (categoría de competición, medidas del terreno, cantidad de postes, entre otros) se simularon los niveles de iluminación más adecuados para este proyecto.

Previo a la elaboración de la simulación, es determinante visitar las instalaciones y hacer un levantamiento de las dimensiones de la estructura deportiva, tales como: medidas del campo de juego, la distancia entre el centro del campo y graderíos, entre algunos otros.

El presente documento, se basó esencialmente en las medidas y resultados obtenidos del trabajo de tesis realizado por Marroquín (2015), en el cual se lograron importantes resultados que serán tomados en cuenta. Partiendo de ello, fue necesario ingresar las siguientes medidas y parámetros:

- *Dimensiones del área a iluminar.*

El campo de juego, tiene las siguientes dimensiones:

Largo: 90 m

Ancho: 75 m

Nota: con el propósito de iluminar indirectamente pista de atletismo y graderíos, para el proyecto se dimensionaron medidas mayores a las del campo de juego (105 largo x 85 ancho)

- *Selección del tipo de lámparas.*

Para la selección de lámparas se consideraron las que cumplen con las siguientes características (Ver normativa FIFA):

Temperatura de color: 4,000 K

Reproducción de color $\geq 65\%$

- *La altura de los postes a utilizar.*

La distancia entre el centro del campo y el espacio donde se propone la ubicación de los postes, para el lado de las gradas es de 77 m y para el lado del montículo de tierra es de 70 m. A manera de que se cumpla con lo requerido de 25° de la normativa internacional, la altura de los postes queda de la siguiente manera:

- Altura mínima:

$$hm = 80 \tan 25^\circ = 37.30$$

$$hm = 70 \tan 25^\circ = 32.64$$

- Altura máxima:

$$hm = 80 \tan 45^\circ = 80$$

$$hm = 70 \tan 45^\circ = 70$$

Nota: de acuerdo a Marroquín (2015), la altura ideal que deben llevar estos postes es de 44 m para ambos lados. (Ver Anexo nº 5)

4.1.5.3. Luminaria a utilizar

Para la selección de equipos de iluminación, fue necesaria la recolección de información para determinar qué tipos de luminarias pudieron ser utilizadas en esta propuesta. Al respecto, se tienen diversas marcas y tipos de luminarias para recintos deportivos, tales como: General Electric, Philips, Holophane, Sylvania y Lithonia entre otras.

Una vez definida la luminaria y potencia de la misma, el programa lanza el mejor escenario en cuanto al número total de luminarias a necesitar. En ese sentido, para la propuesta en mención, se elaboraron varias simulaciones con distintos tipos de luminarias. Sin embargo, el mejor análisis arrojado por el software, fue con la marca Sylvania, utilizando la luminaria Powerflood Grey Narrow 2000W HSI-TD, especialmente utilizada en aplicaciones exteriores y en instalaciones deportivas.

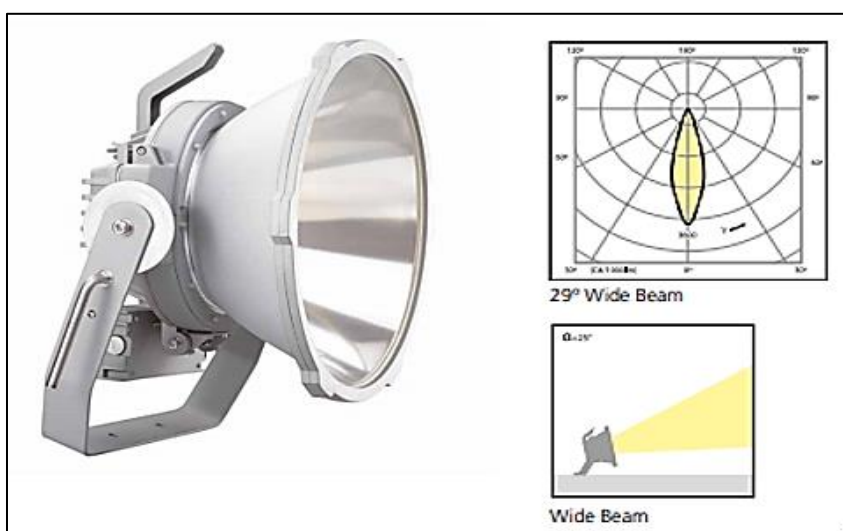
La Powerflood Grey Narrow 2000W HSI-TD, es una luminaria de mercurio clase A+, cuenta con una alta eficiencia lumínica en áreas donde se necesita una salida de alto lumen. Asimismo, esta lámpara tiene una excelente reproducción cromática y estabilidad del color y su capacidad de reinicio en caliente los hace ideales para su uso en estadios deportivos y sistemas de iluminación. En la tabla y figura siguiente, se muestra el tipo y especificaciones de la luminaria propuesta para el proyecto.

Tabla 15. Especificaciones de la lampara a utilizar

Lampara	Watts	Lúmenes	Índice de Eficiencia energética	Temp. color K	Vida Útil hrs.
V. Mercurio	2,000	210,000	$0.11 < IEE < 0.18$	6,100	7,500

Fuente: elaboración propia

Figura 36. Luminaria a utilizar

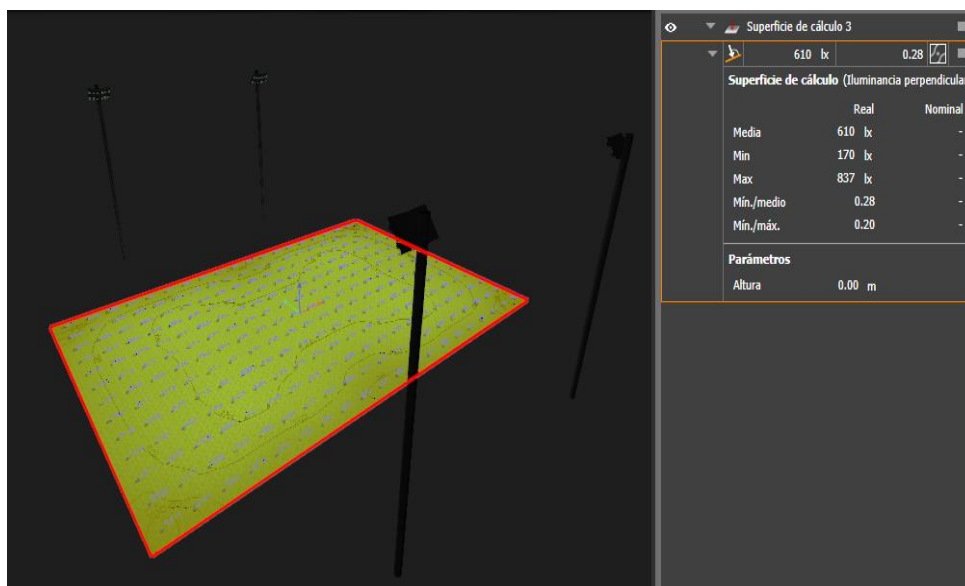


Fuente: Elaboración propia con base a DIALux evo.

4.1.5.4. Cantidad de luminarias

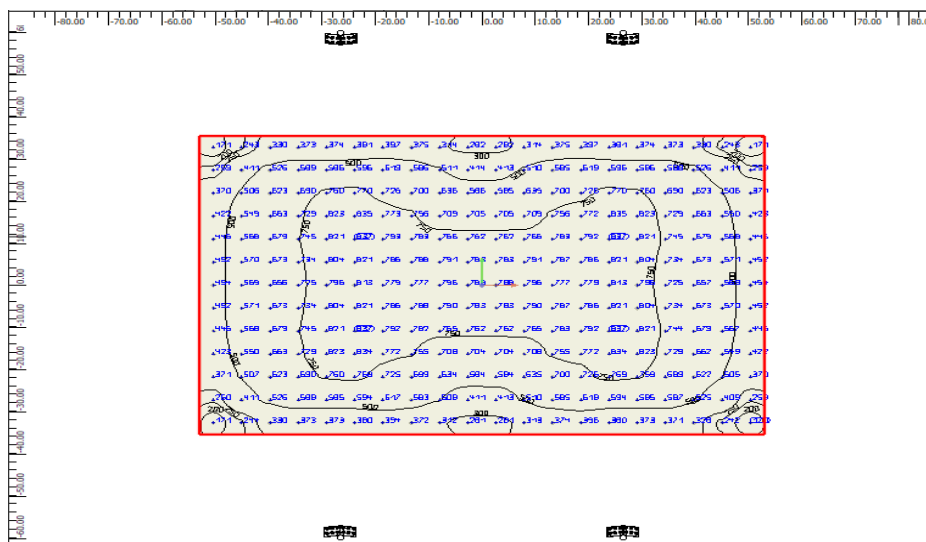
Del mismo modo, mediante el software DIALux y de acuerdo a la luminaria elegida, se determinó que cada torre o poste deberá llevar una cantidad de 12 luminarias de 2000W, generando un total de 48 luminarias y 96,000 kWp en total para el terreno de juego y pista de atletismo, esto a razón de cumplir con los requerimientos y recomendaciones FIFA.

Figura 37. Resultados de iluminación



Fuente: Elaboración propia a través del programa DIALux evo.

Figura 38. Valores de luminancia sobre el campo de fútbol, estadio Revolución



Fuente: Elaboración propia a través del programa DIALux evo.

4.1.5.5. Características y especificaciones de los postes a utilizar

Para la selección del diseño de los postes o torres del estadio, se tomaron en cuenta tres aspectos relevantes: primero, la durabilidad y accesibilidad para instalarlos, por ser un estadio ya construido; segundo, la altura necesaria; y tercero, la carga del viento, los cuales restringen el tipo de estructura que se elegirá.

Primeramente, será necesario comprar el material necesario para ensamblarlos e instalarlos (postes, lámparas, brazos y cables), puesto que el estadio Revolución, por ser un estadio ya construido, se debe tener especial cuidado a la logística, sobre todo para poder realizar el izaje y montaje del poste. De modo que, para poder resolver esta dificultad, se pretende que el poste sea seccionable (Ver Marco Teórico).

Para el tipo de poste elegido, existen dos opciones: el de concreto seccionable o el metálico seccionable. En este caso, se opta por el metálico seccionable, puesto que es mucho más liviano, durable y asimismo, su espacio interior hueco puede emplearse no solo para conducir perfectamente el cableado para la alimentación de las luminarias sino también para alojar los componentes de protección y control.

Este tipo de poste, es fabricado por empresas guatemaltecas como Milpas Altas o Grupo ITM S.A., con acero ASTM (Sociedad estadounidense para pruebas y materiales) A36, galvanizado por inmersión en caliente según norma ASTM A123 y ASTM A153.

En este trabajo, se incluyen las especificaciones del Grupo ITM, tomado de Marroquín (2015) y asimismo, se detalla en el Anexo nº 7 el cálculo de fuerzas que actúan sobre la estructura, con un software especializado con licencia para ITM.

4.1.5.6. Características y especificaciones del panel a utilizar

En el mercado mundial existe una diversidad de paneles solares, para este proyecto se basó en las especificaciones de un panel solar monocristalino de 400W de potencia y demás características tal como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 16. Características eléctricas, panel a utilizar

Datos eléctricos	Valores
Potencia nominal Pmax (W)	400
Tolerancia (%)	-3%/+5%
Eficiencia de conversión	17.49%
Tensión máx. potencia Mpp Vmp (V)	37.87 V
Corriente máx. potencia Mpp Imp (A)	8.45 A
Tensión circuito abierto Voc (V)	47.76 V
Corriente cortocircuito Isc (A)	8.48
Temperatura - NOCT (C)	47°C ± 2°C
Máximo voltaje del sistema (V)	1,000 V

Fuente: Elaboración propia con base en <http://www.europe-solarshop.com>

Del mismo modo, entre las características mecánicas del panel fotovoltaico a considerar en este proyecto se encuentran:

Tabla 17. Características mecánicas, panel a utilizar

Datos mecánicos	Valores
Dimensiones (A/A/F)	1.956 x 992 x 50 mm
Peso	22.9 kg
Tipo de células	Monocristalina
Tipo de trama	Aleación de aluminio

Fuente: Elaboración propia con base en <http://www.europe-solarshop.com>

I. Propuesta de ubicación de los paneles.

Con la finalidad de determinar la mejor o más adecuada ubicación en la que se colocarán los paneles fotovoltaicos al interior del Campus Central, se decide utilizar el método de localización por puntos ponderados.

En este método, se requiere mencionar determinados factores que benefician o que perjudican la ubicación. A estos factores, se les asigna un peso específico al comparar dos o más localizaciones como opciones, para posteriormente resolver. En base a ello, entre los factores más relevantes que se tomaron en cuenta para la ubicación, se encuentran:

- Disposición inmediata
- Costos de adecuación

- Seguridad
- Exposición adecuada a la irradiación solar
- Fácil acceso para mantenimiento
- Oportunidad de expansión.

Una vez determinados los factores, se establece como mejores propuestas de ubicación de los paneles fotovoltaicos, los siguientes dos sitios:

- Sitio 1: techos o azoteas de edificios adyacentes al estadio
- Sitio 2: techar graderíos del estadio e instalar paneles solares

Tabla 18. Propuestas de ubicación, método de localización por puntos ponderados

Factor relevante	Peso asignado	Techo edificios		Techo graderíos	
		Calif.	Pond.	Calif.	Pond.
Disposición inmediata	0.20	8	1.6	6	1.2
Exposición adecuada al sol	0.20	10	2.0	6	1.2
Seguridad	0.15	9	1.4	7	1.1
Costos de adecuación	0.15	8	1.2	7	1.1
Fácil acceso de mantenimiento	0.15	8.5	1.3	7	1.1
Oportunidad de expansión	0.15	9	1.4	4	0.6
TOTAL	1.0		8.9		6.3

Fuente: Elaboración propia.

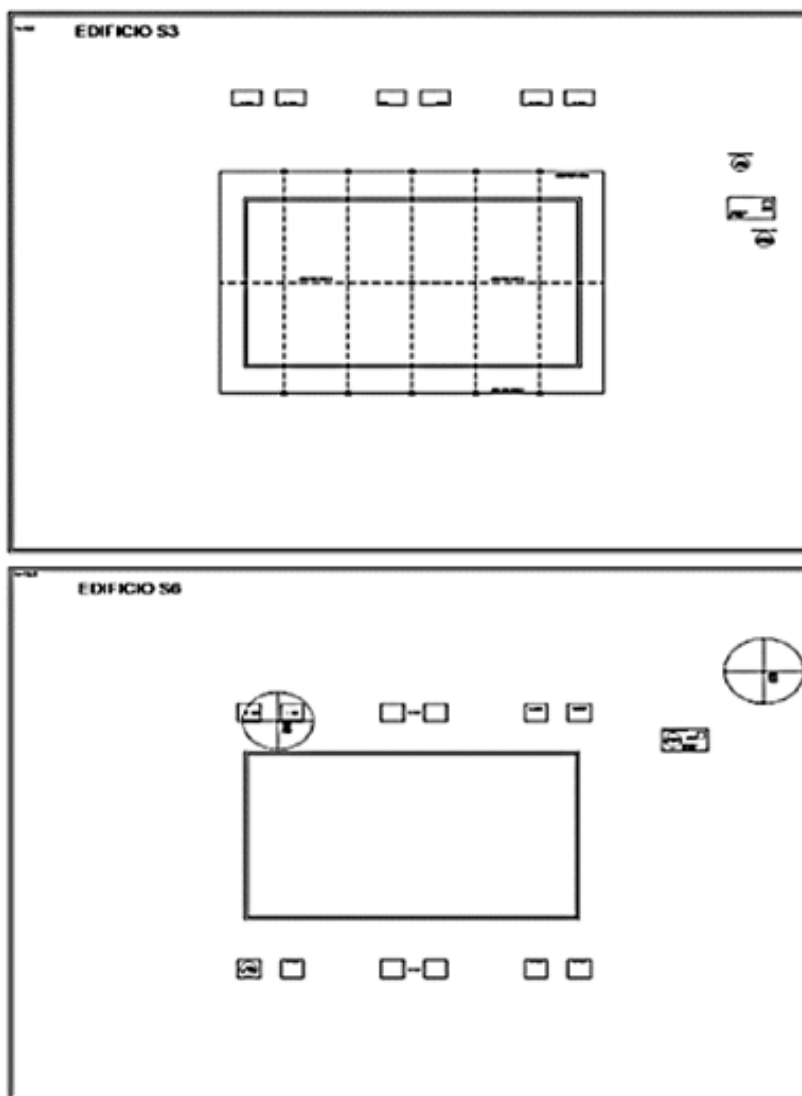
Como conclusión, se recomienda el uso de los techos o azoteas de los edificios colindantes al estadio Revolución, debido a la disposición que estos poseen, costos de adecuación más bajos que techar graderíos del estadio y sobre todo por la seguridad, la exposición libre a la irradiación solar, con altura y sin obstáculos que puedan incidir en la generación de electricidad (sombras).

Como consecuencia y de acuerdo a la figura n° 35 (Ver Microlocalización), se sugiere utilizar el techo o azotea de los edificios de la Facultad de Ciencias Económicas S3 y S6, principalmente por ser los de mayor cercanía al estadio.

II. Plano del área a utilizar en los edificios S3 y S6.

En la siguiente figura, se despliega el plano general de las azoteas o techos de los dos edificios propuestos. En esta imagen, se permite observar, que el edificio S3 se encuentra techado en su jardinera central, mientras que el edificio S6 en su jardinera central, el techo aún no se encuentra establecido.

Figura 39. Planos de los techos de los edificios S3 y S6



Fuente: De León (2017)

Adicionalmente, para una mejor comprensión, en la tabla n° 19, se detallan las dimensiones tanto de largo como de ancho de cada uno de los edificios.

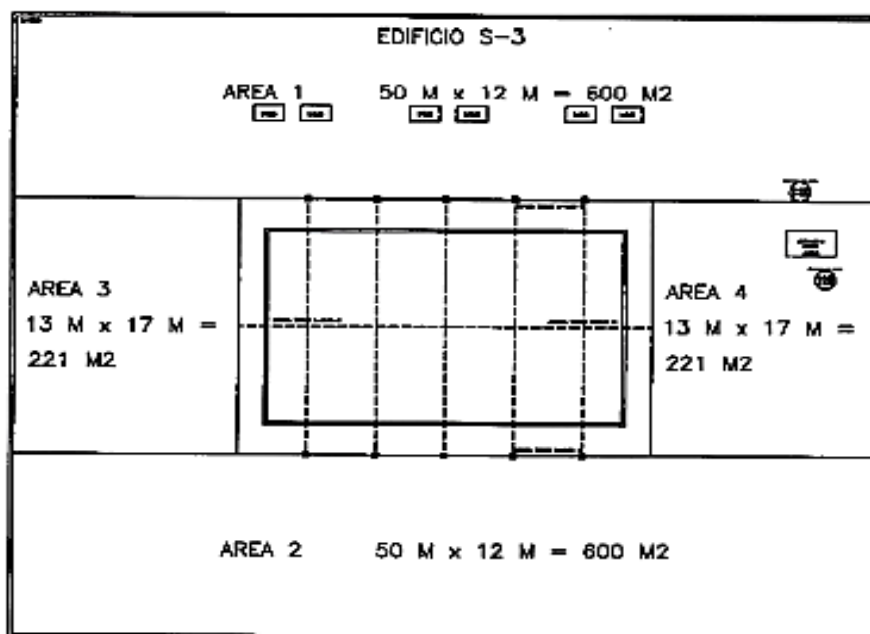
Tabla 19. Dimensiones de los edificios

Descripción	Largo (m)	Ancho (m)	Área (m ²)
Edificio S3	50.40	41.40	2,086.56
Edificio S6	50.40	41.40	2,086.56
Jardinera central S3	21.00	13.00	273.00
Jardinera central S6	21.00	13.00	273.00

Fuente: Elaboración propia en base a De León (2017)

En tal caso, para una distribución adecuada y en orden de los paneles fotovoltaicos, de los inversores y demás componentes del sistema, el techo de los dos edificios se propone dividirlo en cuatro áreas. En la siguiente figura, se detalla como ejemplo, el plano de la azotea del edificio S3, y se muestra en la tabla n° 20 de acuerdo a De León (2017) como quedaría la distribución de las áreas en los dos edificios.

Figura 40. Distribución de áreas en el techo o azotea



Fuente: De León (2017)

Tabla 20. Dimensiones de las áreas de los edificios

Edificio S3	Largo (m)	Ancho (m)	Área (m²)
Área 1	50.00	12.00	600.00
Área 2	50.00	12.00	600.00
Área 3	17.00	13.00	221.00
Área 4	17.00	13.00	221.00
Edificio S6	Largo (m)	Ancho (m)	Área (m²)
Área 1	50.00	14.00	600.00
Área 2	50.00	14.00	600.00
Área 3	14.00	13.00	221.00
Área 4	14.00	13.00	221.00

Fuente: Elaboración propia en base a De León (2017)

III. Obstáculos en azoteas de los edificios S3 y S6.

Otro aspecto a tomar en cuenta, es que en el techo de estos edificios, se encuentra una multiplicidad de obstáculos que generan sombra, estos pueden ser los techos que cubren las jardineras centrales de los edificios, depósitos de agua, unidades de aire acondicionado, antenas de radiocomunicación y pequeñas construcciones de concreto que se utilizan para brindar la circulación del aire natural (De León, 2017).

En la siguiente tabla, se muestran las longitudes de las sombras existentes en el techo de cada uno de los dos edificios.

Tabla 21. Longitud mínima de sombras de obstáculos en azoteas, edificios S3 y S6

Descripción	Altura del obstáculo (m)	Altura de montaje h (m)¹	Altura neta (m)²	Longitud de sombra (m)³
Módulos de concreto para aire	0.50	0.51	-0.01	0.00
Depósito de agua pequeño	1.25	0.51	0.74	0.71
Depósito de agua grande	1.60	0.51	1.09	1.05
Unidad de aire acondicionado	0.55	0.51	0.04	0.03

¹ Ver separación y distancia de los paneles

² Resultado de: altura del obstáculo(m) – altura de montaje(m)

³ Resultado de: altura neta(m) *cos(inclinación panel)

Continuación de la tabla n° 21.

Descripción	Altura del obstáculo (m)	Altura de montaje h (m) ⁴	Altura neta (m) ⁵	Longitud de sombra (m) ⁶
Depósito de agua grande + base de concreto (1.60+0.50) m	2.10	0.51	1.59	1.53
Depósito de agua grande + base de concreto (1.25+0.50) m	1.75	0.51	1.24	1.19
Antenas de radiocomunicación	2.20	0.51	1.69	1.63
Altura del techo central edificio S3	2.05	0.51	1.54	1.48

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de León (2017)

Derivado de lo anterior, se propone la reubicación de obstáculos como: depósito de agua pequeño, depósito de agua grande, depósito de agua grande más la base de concreto, y las antenas de radiocomunicación, puesto que tienen longitudes de sombra que entorpecerían la generación de energía de los paneles.

Para que esto se pueda llevar a cabo y según cotizaciones realizadas a empresas y contratistas especializados, la remoción y reubicación de estos depósitos tendrá un costo estimado de Q1,500 por cada edificio. En el caso de la antena de radiocomunicación, se solicitará a la empresa encargada, remover la estructura a otro edificio.

IV. Inclinación de los paneles solares.

Una vez elegido el tipo de panel, la inclinación que estos llevarán, es un factor de gran importancia para el diseño de las instalaciones fotovoltaicas, sobre todo para las de montaje fijo como en este caso. Lo anterior, es con el objetivo de que ellos puedan tener la mayor cantidad de radiación solar, para ello, se toman en cuenta varios criterios, en este documento se tomará el ultimo criterio, es decir, la latitud donde estarán ubicados los paneles (Ver Marco Teórico).

Guatemala, se encuentra sobre el hemisferio norte, de manera que, se verá que el sol sale por el oeste y se desplaza en dirección sur y se pone por el oeste. Es por ello, que

⁴ Ver separación y distancia de los paneles

⁵ Resultado de: altura del obstáculo(m) – altura de montaje(m)

⁶ Resultado de: altura neta(m) *cos(inclinación panel)

para aprovechar a lo largo del año más tiempo la luz solar, la orientación de los paneles se debe hacer hacia el sur en el hemisferio norte y hacia el norte en el hemisferio sur.

Para el cálculo de la inclinación de los paneles fotovoltaicos, se hace referencia de la fórmula que sigue:

$$\beta = 3.7 + 0.69 \cdot \text{latitud}$$

En este proyecto, para el diseño de inclinación de los paneles fotovoltaicos se tomarán en cuenta los datos de la zona 12, ciudad de Guatemala, la cual tiene una latitud de 14.5779451 y una longitud de -90.5504301, obteniendo así:

$$\beta = 3.7 + 0.69 * 145779451 = \mathbf{13.76}$$

El resultado de inclinación es de 13.76 grados, sin embargo, se aproximará a 15 grados la inclinación de los paneles con respecto a la horizontal. Esto se hará por conveniencia, con el propósito de evitar alguna acumulación de agua, polvo y algunos otros factores.

V. Separación y distancia de los paneles.

En atención al Marco Teórico, la distancia mínima de separación entre filas o hileras se obtiene mediante la siguiente fórmula:

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

De esta fórmula, se toman en cuenta los datos ya obtenidos de los paneles fotovoltaicos elegidos, y asimismo, de acuerdo a la inclinación obtenida anteriormente de estos mismos, se tiene que:

- Longitud del panel: 1.956m
- Angulo de inclinación: 15 grados

Seguidamente, para encontrar “h” se usa el teorema de Pitágoras como sigue:

$$h = 1.956 \text{ sen}15 = \mathbf{0.5063}$$

Ahora bien, la distancia mínima o separación entre paneles, tomando que la altura del panel es igual a 0.5063, y que la latitud de la microlocalización donde se realiza el cálculo es de 14.5779451, se obtiene:

$$d = \frac{0.5063}{\tan(61^\circ - 14.5779451)} = \mathbf{0.482}$$

Como resultado, la distancia mínima entre filas/hileras de paneles es de 0,482 metros. No obstante, para poder darles un mantenimiento adecuado a los mismos, se recomienda dejar una separación de 0.55.

VI. Número máximo de paneles en azoteas.

Tomando como referencia los datos anteriores, y que los edificios cuentan con amplias y con las mismas dimensiones de largo y ancho, se dividen prácticamente igual las cuatro áreas en los dos edificios.

Como ejemplo, a continuación, se obtiene el número máximo de paneles en la azotea del edificio S3, y posteriormente se resume en la tabla 22, el número máximo total de paneles para los edificios S3 y S6.

- *Áreas 1 y 2:*

Para estimar el número de paneles por fila, correspondientes al área 1 y 2 se utiliza la formula siguiente (De León, 2017):

$$\text{No. de filas} = \frac{\text{ancho area 1} - \text{longitud de sombra techo}}{X + d}$$

Donde:

$$x = \text{Longitud panel} * \cos 15$$

$$x = 1.956m * \cos 15 = 1.89m$$

$$\text{No. de filas} = \frac{12\text{ m} - 1.48}{1.89 + 0.55} = 4.22 \approx \mathbf{4\text{ filas}}$$

Seguidamente, para calcular el número de paneles en bloque correspondiente al área 1 y 2, se hace atención a la siguiente ecuación:

$$NPS = \frac{\text{largo area 1}}{\text{ancho panel} + \text{separación entre paneles}}$$

$$NPS = \frac{50 \text{ m}}{0.992 + 0.04} = 48.45 \approx \mathbf{48 \text{ paneles en bloque}}$$

- **Áreas 3 y 4:**

Por su parte, para estimar el número de paneles por fila, correspondientes al área 3 y 4 se utiliza la formula siguiente (De León, 2017):

$$\text{No. de filas} = \frac{\text{ancho area 3}}{X + d}$$

Donde:

$$x = \text{Longitud panel} * \cos 15$$

$$x = 1.956 \text{ m} * \cos 15 = 1.89 \text{ m}$$

$$\text{No. de filas} = \frac{17 \text{ m}}{1.89 + 0.55} = 6.96 \approx \mathbf{7 \text{ filas}}$$

Del mismo modo que en el apartado anterior, para calcular el número de paneles en bloque correspondiente al área 3 y 4, se utiliza la siguiente ecuación:

$$NPS = \frac{\text{largo area 3} - \text{Longitud de sombra techo}}{\text{ancho panel} + \text{separación entre paneles}}$$

$$NPS = \frac{13 \text{ m} - 1.48}{0.992 + 0.04} = 11.18 \approx \mathbf{11 \text{ paneles en bloque}}$$

En la siguiente tabla, a modo de resumen, se muestran los datos obtenidos del número máximo de paneles en los techos de cada edificio propuesto.

Tabla 22. Número máximo de paneles en azotea, edificios S3 y S6

Edificio S3	No. de Filas	Nº de paneles en bloque	No. de paneles	Potencia Panel kWp	Potencia máxima generada kWp
Área 1	4	48	192	0.400	76.8
Área 2	4	48	192	0.400	76.8
Área 3	7	11	77	0.400	30.8
Área 4	7	11	77	0.400	30.8
Total			538		215.2

Edificio S6	No. de Filas	Nº de paneles en bloque	No. de paneles	Potencia Panel kWp	Potencia máxima generada kWp
Área 1	5	48	240	0.400	96
Área 2	5	48	240	0.400	96
Área 3	7	13	91	0.400	36.4
Área 4	7	13	91	0.400	36.4
Total			662		264.8

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de León (2017)

Como resultado, y usando el área total útil en los dos edificios, se tiene que ambas azoteas permiten colocar 1,200 paneles en total (538 paneles en el edificio S3 y 662 paneles en el edificio S6) lo que a su vez generaría una potencia máxima de 480 kW.

Al comparar, la potencia que necesita el estadio (116 kW) con la potencia pico máxima generada mediante el uso del área total de las azoteas (480 kW), se puede comprobar que el sistema es capaz de producir cuatro veces más de lo que demanda del estadio.

Ahora bien, a esta demanda generada de potencia máxima, es importante considerarle, las pérdidas por diversos factores que generalmente presentan los sistemas de generación fotovoltaica. (Ver siguiente apartado)

VII. Estimación energía eléctrica generada

La estimación de la energía eléctrica generada, dependerá de tres factores principales: el porcentaje de degradación anual del panel fotovoltaico, las pérdidas que existen en el

sistema, y las HSP que se puedan presentar en el lugar donde se establezca el proyecto (Ver Marco Teórico). Tomando en cuenta estos factores, se obtiene:

Tabla 23. Producción total anual del sistema fotovoltaico

Año	Cantidad de paneles	Potencia kW degradación anual/panel	Generación kW	Generación real kW con 12% de pérdida	Generación kWh/año
1	1200	0.400	480.00	422.40	817,132.8
2	1200	0.390	468.00	411.84	796,704.5
3	1200	0.387	464.64	408.88	790,984.6
4	1200	0.384	461.28	405.93	785,264.6
5	1200	0.382	457.92	402.97	779,544.7
6	1200	0.379	454.56	400.01	773,824.8
7	1200	0.376	451.20	397.06	768,104.8
8	1200	0.373	447.84	394.10	762,384.9
9	1200	0.370	444.48	391.14	756,665.0
10	1200	0.368	441.12	388.19	750,945.0
11	1200	0.365	437.76	385.23	745,225.1
12	1200	0.362	434.40	382.27	739,505.2
13	1200	0.359	431.04	379.32	733,785.3
14	1200	0.356	427.68	376.36	728,065.3
15	1200	0.354	424.32	373.40	722,345.4
16	1200	0.351	420.96	370.44	716,625.5
17	1200	0.348	417.60	367.49	710,905.5
18	1200	0.345	414.24	364.53	705,185.6
19	1200	0.342	410.88	361.57	699,465.7
20	1200	0.340	407.52	358.62	693,745.7
21	1200	0.337	404.16	355.66	688,025.8
22	1200	0.334	400.80	352.70	682,305.9
23	1200	0.331	397.44	349.75	676,586.0
24	1200	0.328	394.08	346.79	670,866.0
25	1200	0.326	390.72	343.83	665,146.1

Fuente: Elaboración propia con base a Alvarado (2017) y Diaz (2017)

Con estos resultados, se indica que en efecto, se producirá energía suficiente, no solo para cubrir las necesidades de consumo eléctrico del estadio, sino también para inyectar o suministrar energía sobrada a algunos edificios o para otros usos en la red interna Universitaria.

4.1.5.7. Características y especificaciones de los Inversores a utilizar

La función de un inversor, es poder cambiar un voltaje de corriente continua en un voltaje de corriente alterna, con magnitud y frecuencia necesaria para poder trabajar según los usos que se necesiten (Ver Marco Teórico), resaltando que en este caso serán conectados a la red eléctrica. Para este proyecto, se pretende usar inversores que tengan los siguientes parámetros.

Tabla 24. Datos y especificaciones del inversor

Descripción	Valores
Tensión de entrada (rango MPP)	410 – 800 V
Tensión de circuito abierto	900 V
Corriente de entrada máx.	3 x 34 A
Potencia nominal inyectada	40000 W
Potencia CC máx.	48000 W
Seguidor Mpp	3 Uds.
Tensión de salida	480 / 277 V
Factor de potencia cos phi	0.8 inductivo, 0.8 capacitivo
Frecuencia de red	50 Hz
Factor de distorsión	< 3%
Eficiencia máx.	98.5%
Consumo nocturno	> 1W
Temperatura ambiente	-20 a +60°C
Disipación del calor	Refrigeración forzada/ventilador
Modo de protección	IP54
Conmutación	Sin trafo, trifásico
Seccionador de potencia CC	Integrado/a
Fusibles de fase	Integrado/a
Protección contra sobre tensiones	Integrado/a
Carcasa	Chapa de acero
Dimensiones (a / a / p)	840 mm / 1360 mm / 355 mm
Peso	173 kg

Fuente: Elaboración propia con base en <http://www.europe-solarshop.com>

I. Número de Inversores.

Para obtener el número de inversores que cubran la demanda del suministro de energía al estadio y sus excedentes, se utiliza el total de paneles fotovoltaicos descritos

anteriormente multiplicado por la potencia de cada panel y dividido entre la potencia del inversor.

En este caso, se ha elegido un inversor que trabaje para un voltaje trifásico y una potencia de 48 kW. En consecuencia, el número de inversores se obtiene por medio de la siguiente expresión:

$$\text{Número de inversores} = \frac{\text{Número de paneles} * \text{Potencia panel}}{\text{Potencia de inversor}}$$

$$\text{Número de inversores} = \frac{1200 * 400 \text{ w}}{48000 \text{ w}} = 10 \approx \mathbf{10 \text{ Inversores}}$$

En este caso y según los cálculos realizados, se necesitan 10 inversores de 48 kW para cubrir la demanda requerida de energía del estadio Revolución y sus excedentes.

4.1.5.8. Estructuras de soporte para los paneles

La estructura de soporte, como se menciona en el marco teórico, deberá resistir el peso de los módulos o paneles y la cargas que ejerza el viento. Asimismo, se debe tomar en cuenta que puede haber una dilatación térmica en dicha estructura debido a las altas temperaturas (Díaz, 2017),

En este caso, Alvarado (2017), recomienda colocar las estructuras sobre bases de hormigón situadas superficialmente en la terraza del edificio o azoteas de los edificios, a modo de evitar causarles algún tipo de daño.

En las azoteas de los edificios, como se vio anteriormente se encuentran una variedad de obstáculos que provocan sombra, en relación a ello, la altura de las bases más la altura de las estructuras está estimada en 0.55 metros sobre el nivel de la terraza para los dos edificios. Esta altura, según IDAE (2011), contribuirá a evitar que las sombras de los obstáculos afecten la producción del sistema y a la vez ayuden a una mejor colocación de los módulos.

I. Bases de concreto.

De acuerdo a De León (2017), el uso de bases de concreto radica en tres funciones básicas: la primera, es evitar el daño directo por perforación de anclaje a la losa o terraza donde se instalará la estructura de soporte; la segunda, es brindar protección por contacto de agua principalmente durante la época de invierno que ocasiona rápido deterioro por oxidación a la estructura; y la tercera función, es ofrecer un peso adicional al conjunto de estructura y paneles para evitar que vientos fuertes la derriben.

4.1.5.9. Dimensionamiento de los cables y conexiones

Para el diseño de los edificios de la Facultad de Ciencias Económicas se basa en el trabajo realizado por De León (2017), en la cual la instalación fotovoltaica se divide en diferentes segmentos o tramos de conexión entre los diferentes equipos que contiene la misma, los segmentos o tramos son los siguientes:

- Panel fotovoltaico - caja combinadora
- Caja combinadora - inversor
- Inversor - tablero de inversores
- Tablero de inversores - breaker principal
- Breaker principal - red eléctrica

4.1.5.10. Protecciones del sistema fotovoltaico

El sistema de generación fotovoltaico debe contar con protecciones tanto en la parte de corriente directa del lado de los módulos a la entrada del inversor, como a la salida del inversor al tablero de distribución (Alvarado, 2017).

La protección necesaria es en general para el personal y para la propia instalación ante la presencia de sobreintensidades donde existirá una interrupción en el tiempo necesario. Estas sobreintensidades, pueden darse por sobrecargas en los equipos, defectos de aislamiento de gran impedancia, cortocircuitos o también por descargas atmosféricas.

Esencialmente, de acuerdo a Alvarado (2017), los dispositivos que deben estar presentes en un sistema de protección son los siguientes:

- Dispositivos de interrupción: estos deben ser capaces de interrumpir la máxima corriente de falla.
- Dispositivos de desconexión de la interconexión, el cual debe ser visible y accesible.
- Dispositivos de desconexión del generador: es el interruptor principal termomagnético que está ubicado después del contador bidireccional el cual, al desconectarse, elimina toda la generación. Además, cuenta con un interruptor electromagnético que está ubicado en el tablero de distribución el cual desconecta solo un inversor.

I. Protecciones de corriente continua.

En el caso de las protecciones en corriente continua, según Diaz (2017), se emplean cajas combinadoras, con interruptores de desconexión integrados, las cuales irán conectadas en las salidas de las filas de los paneles eléctricos. Estas, tienen varias ventajas y adentro de ellas estarán las protecciones de una forma ordenada con sus respectivas protecciones para los paneles. Asimismo, son de fácil instalación, tienen la ventaja de ahorro de tiempo, evitando conexiones o soldaduras, se pueden remplazar con facilidad cuando presente algún desperfecto.

II. Protecciones en corriente alterna

En el estudio de protecciones en corriente alterna, se tendrán dos fases o tramos, la primera será de los inversores hacia la barra donde se juntarán todos los inversores y la segunda fase será de la barra hacia el flip-on principal.

En primer lugar, los interruptores termomagnéticos irán a la salida del inversor, en el que para realizar el cálculo del nivel de protección, se hará primeramente el cálculo de la intensidad nominal del interruptor a utilizar. Cabe mencionar, que en esta fase o tramo, se necesita saber la corriente máxima admisible por los conductores de luz y la corriente que se producirá en este tramo (Diaz, 2017).

Adicionalmente, los interruptores diferenciales, proporcionarán protección al personal contra las descargas eléctricas tanto en contactos directos como indirectos y protecciones a las instalaciones que detectan las fugas a tierra midiendo la corriente que pasa por los conductores.

Por su parte, en segundo lugar, del tablero de distribución se llevará una acometida hasta la entrada del interruptor termomagnético de la instalación existente, donde se pondrá un interruptor termomagnético general para la conexión y desconexión del sistema, el cual es requisito indispensable para la conexión al sistema de distribución de la Empresa Eléctrica de Guatemala (Díaz, 2017).

4.1.5.11. Puesta a tierra del sistema fotovoltaico

En la puesta a tierra del sistema de generación fotovoltaico, todos los elementos que conforman la instalación deben ser aterrizados adecuadamente para tener un voltaje estable que ayude a los dispositivos de protección a detectar y eliminar corrientes de falla, voltajes inducidos, interferencia electromagnética, entre otros, sobre todo para formar una malla equipotencial tanto en DC como en AC (De León, 2017).

Para ello, se debe medir los valores de resistencia del terreno o tierra con el fin de hallar puntos apropiados para la realización de la red de tierras. Este valor de resistencia, se logra elaborando varios perfiles de medición en diferentes direcciones, para obtener valores diferentes de resistividad a profundidades diferentes.

Cabe mencionar además, el conductor de puesta a tierra, el cual se encargará de conducir las corrientes de falla o de descarga atmosférica hacia la tierra, con el objetivo de proteger a las personas, equipos eléctricos y la propia instalación. Estos conductores, deben ser cables trenzados de cobre electrolítico semiduro desnudo o con aislamiento (el tipo de calibre se seleccionan en cada caso particular) (Alvarado, 2017).

4.1.6. Tamaño del Proyecto

El tamaño del proyecto, está en dependencia de la demanda que será atendida para el estadio Revolución, más el excedente que se puede llegar a producir con el sistema de energía solar fotovoltaica.

Si el proyecto se diseñara solo para cubrir la demanda del estadio, el tamaño del proyecto sería de 116 kW, sin embargo, se ha considerado un tamaño de 480 kW para mejorar los indicadores financieros, sabiendo que el excedente de energía generada por el sistema fotovoltaico será colocado y utilizado por la Universidad (Ver determinación de la oferta).

Esta demanda máxima total de potencia, y su proyección futura definirá los requerimientos de diseño, capacidad de paneles fotovoltaicos, capacidad de inversores, de lámparas, entre algunos otros elementos.

Cabe resaltar, que en el caso de graderíos, no hay un estimado de energía o iluminación específica a instalar, puesto que este indirectamente quedara reflejado por las luminarias instaladas en las torres o postes a los cuatro costados del campo de futbol. Ciertamente, el levantado de estructura de postes en área de graderíos ya está realizado (Ver Anexo nº 10), por lo que únicamente, será necesario instalar unas luminarias de menor capacidad en esas estructuras, o bien dejarlas con iluminación indirecta como se mencionó anteriormente.

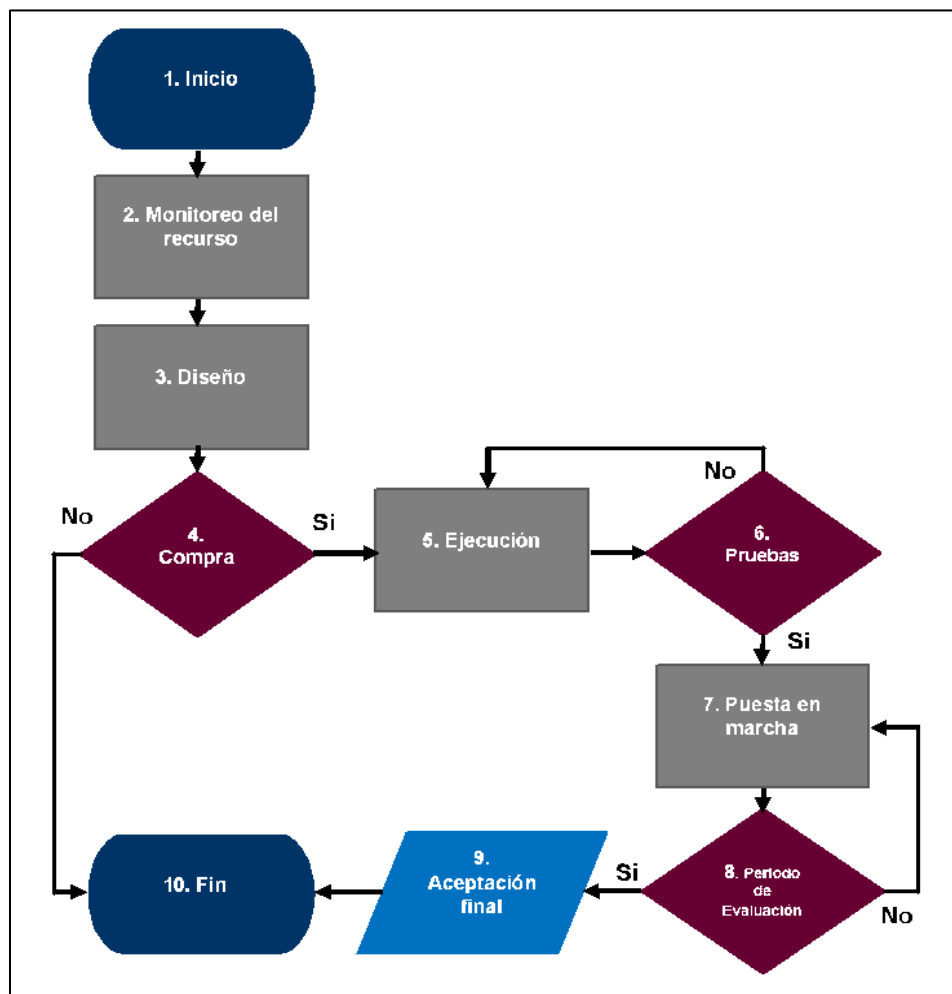
4.1.7. Procesos del Proyecto

En el presente apartado, se describen tanto los procesos de ejecución o instalación como los procesos de operación del proyecto.

4.1.7.1. Procesos para ejecución y operación del Proyecto

En términos generales, un proyecto de tecnología solar fotovoltaica puede tener los pasos mostrados en la siguiente figura para su ejecución y operación.

Figura 41. Procesos del Proyecto



Fuente: Elaboración propia en base a información obtenida de Hernández (2017)

El proyecto se divide en diez etapas, en cada una de estas se presentan diferentes actividades, las cuales se describen a continuación:

I. Inicio.

La primera parte del proceso, es el inicio, el cual se considera como el punto de partida del proyecto. Este, básicamente se da luego de decidir llevar a cabo el proyecto.

A este respecto, si el proyecto es factible, se mostrará el siguiente documento a las unidades de decisión superior (Ver Estudio Administrativo), con el fin de que puedan visualizar los beneficios tanto sociales, ambientales y financieros que se pueden llegar a tener al interior de la Ciudad Universitaria.

Una vez realizado esto y aceptado el proyecto por las unidades de decisión superior, se continúa con el siguiente nivel de profundidad de estudios. Estos, deberán ser elaborados por un profesional especializado en el tema que deberá ser contratado.

II. Monitoreo del recurso.

El propósito de esta etapa, es el de evaluar el recurso solar en situaciones en la que es necesario un monitoreo continuo y autónomo. Las actualizaciones periódicas de la radiación solar derivada del modelo satelital son una alternativa confiable, sin embargo, es necesario hacer usos de otros instrumentos como por ejemplo un radiómetro.

Luego de tener datos confirmados acerca de la irradiación solar derivada de los instrumentos más fiables como el radiómetro u otros, se procede a realizar el diseño final del proyecto, antes solamente sería prediseño.

III. Diseño.

Las unidades de decisión superior, como se menciona anteriormente, deberán contratar los servicios de un asesor técnico especializado que ayude y asesore a llevar a cabo el proyecto. Esta sección incluye las siguientes subdivisiones:

- *Presentación:* el asesor técnico contratado, deberá presentarse con las unidades de decisión superior y mostrar todos los puntos relevantes del proyecto incluyendo tiempo, recursos, personal, entre algunos otros elementos a tomar en cuenta.
- *Inspección del lugar:* el asesor técnico, conjuntamente con el personal designado por la Universidad, realizarán visitas necesarias a las diferentes zonas de las instalaciones de los edificios, como del estadio y recolectarán toda la información relevante para el proyecto. El asesor técnico generará y entregará un informe de la información obtenida, el cuál será validado y aceptado por las autoridades correspondientes.
- *Diseño a alto nivel:* el asesor técnico con su experiencia en el tema, deberá crear un documento en donde indique la forma en cómo se hará el proyecto, respetando los reglamentos nacionales como internacionales para el suministro de energía a

través del sistema fotovoltaico y para la iluminación de estadios de fútbol. Si se da el caso de llegar a requerir algún cambio en el diseño, el asesor técnico deberá realizarlo, siempre y cuando sea algo relevante a tomar en cuenta.

- *Diseño a bajo nivel:* en este caso, el asesor técnico, generará un documento donde se explique cómo se realizará el proyecto, incluyendo todos los detalles específicos necesarios para la realización del mismo.
- *Informes de pruebas a realizar al sistema:* el asesor técnico entregará una lista de pruebas que se deben de correr en conjunto con los encargados designados por la USAC, y a su vez, estos deberán realizar contrapropuestas, donde se incorporen pruebas relevantes que a su criterio no son cubiertas por la propuesta.

IV. Compra.

En esta sección, se realizará la compra de los elementos de ambos sistemas, cumpliendo con todos los requisitos de la licitación y definiendo los medios de financiamiento del proyecto. Si los proveedores licitan dentro del presupuesto definido para el proyecto, se pasará a la siguiente fase, de lo contrario se terminará con el proceso. Esta parte está conformada por las siguientes actividades:

- Se presentará el proyecto a las unidades de decisión superior, para su aprobación en el presupuesto del siguiente año o de los siguientes, según sea los fondos disponibles por la Universidad.
- Se hará la asignación del presupuesto, la cual debe incluir el monto del proyecto y la definición de fuentes de financiamiento. No obstante, debido a la importancia que tendrá el estadio en la población deportiva universitaria, una fuente de financiamiento podría gestionarse por medio de una donación de las diferentes instituciones dedicadas al medio ambiente y al deporte nacional.
- Se procederá a realizar la licitación, según lo establecido en la ley de contrataciones del Estado. Asimismo, se conformarán las autoridades que evaluarán y que aceptarán: la evaluación del proyecto, generación de los documentos de la

adquisición del proyecto en el diseño, publicación en los medios oficiales, envío de requerimientos del proyecto, respuesta de los diferentes proveedores, y definición de la forma de evaluación.

- Se realizará la evaluación técnica, legal y financiera para verificar al proveedor que se ajuste más a las necesidades del proyecto. Es importante que el asesor técnico y los delegados de la universidad formen parte del equipo de evaluación, ya que estos deben tener la experiencia necesaria para verificar lo que los contratistas están ofertando.
- Se definirá al ganador. En base a la evaluación anterior se procederá a definir al ganador de la licitación.
- Se asignará al proveedor. Se asignará el proyecto al proveedor y se le notificará de los resultados.
- Creación y firma del contrato que regirá el proyecto.
- Generación de orden de compra. Se procederá a generar la orden de compra del proyecto y asimismo, se hará el envío de orden de compra.

V. Ejecución o instalación

En esta etapa, se llevará a cabo la entrega, así como la instalación y ajustes necesarios para poner a operar el sistema fotovoltaico y el sistema de iluminación. Cabe mencionar, que algunas actividades de esta etapa se realizarán en paralelo o incluso después de algunas actividades de las siguientes etapas, sin embargo, al momento de definir el diseño pueden existir cambios a esta etapa. A continuación, se listan las actividades:

- *Compra de materiales por parte del proveedor.*
- *Envío y recepción de materiales fase 1:* en esta actividad, se movilizarán los diferentes componentes del sistema fotovoltaico, a los edificios elegidos por este documento.

- *Envío y recepción de materiales fase 2:* en esta actividad se movilizarán camiones para la entrega del equipo de iluminación, grúas de instalación de los mismos y equipos que abrirán los agujeros entre algunos otros.
- *Ejecución o Instalación fase 1:* esta actividad radica en la instalación de los paneles, inversores y demás componentes del sistema fotovoltaico por el equipo y personal encargado en el edificio o edificios elegidos.
- *Ejecución o Instalación fase 2:* esta actividad comprende esencialmente el instalado de las cuatro torres, así como la instalación de lámparas y demás componentes del equipo de iluminación al interior del estadio

VI. Pruebas (seguimiento y monitoreo).

En esta etapa, la Universidad realizará las pruebas del sistema solar fotovoltaico y del equipo de iluminación, tanto sea para aceptarlo o solicitar reajustes correspondientes. El proveedor debe de acompañar a EGGSA (que dará permisos para cambiar diferentes elementos del sistema) y a las personas asignadas por la Universidad para realizar las pruebas definidas en el diseño. En este caso, si no se cumple con todos los requisitos establecidos, se deberá ajustar el sistema en la parte de instalación o ejecución y repetir los pasos anteriores. La actividad a realizarse en esta etapa será:

- *Pruebas y ajustes fase 1*
- *Pruebas y ajustes fase 2*

VII. Puesta en marcha.

Esta etapa, básicamente corresponde a la parte en que el sistema en general se acepta y empieza a funcionar. Una vez realizadas las pruebas y los ajustes pertinentes se procederán a poner en marcha el sistema de energía solar fotovoltaica y por ende la iluminación, como se muestra a continuación:

- *Puesta en marcha fase 1*
- *Puesta en marcha fase 2*

VIII. Período de evaluación.

En esta fase, la Universidad evaluará el sistema, y el proveedor deberá entregar reportes de cómo se comporta durante todo este período el sistema.

Esencialmente, aquí es donde se evalúa el comportamiento del sistema en general y se valida que no exista ningún problema que haya que corregir. Al momento de alguna falla, es necesario que el proveedor realice los ajustes necesarios para arreglar la situación. El tiempo de esta etapa estará estipulado en el contrato marco, en base a lo establecido en la ley de contrataciones del estado.

IX. Aceptación final.

Es la penúltima etapa del proyecto y se lleva a cabo con la firma de aceptación final del sistema y con la conclusión del período de evaluación. Como bien se menciona, se realizará después del período de evaluación, luego el proveedor deberá proceder a entregar el proyecto al grupo que se encargará de hacer operación y mantenimiento al sistema, y se procederá a firmar la aceptación.

X. Final.

Esta es la última etapa del proceso. En esta fase, únicamente se presenta el final del proyecto, para lo cual debe cerrarse todo contrato pendiente, así como, elaborarse el informe final de entrega del proyecto.

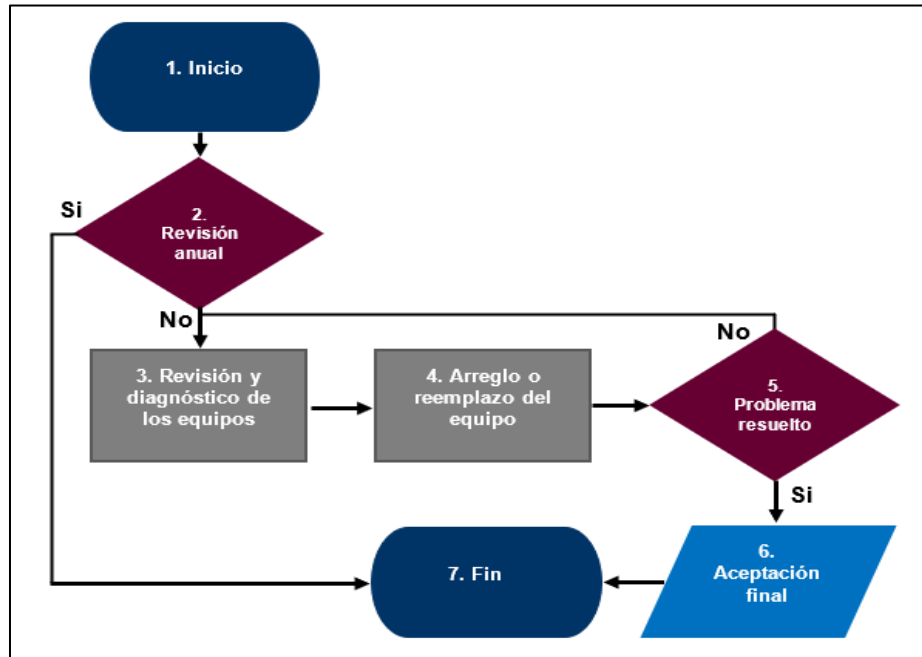
4.1.7.2. Proceso de operación del Proyecto

La operación del proyecto, debe dividirse en operaciones de mantenimiento correctivo y preventivo, enfocándose fuertemente en el mantenimiento preventivo para que el sistema fotovoltaico y el sistema de iluminación duren el mayor tiempo posible.

En atención a Hernández (2017), por mantenimiento correctivo, se entiende a aquel proceso que ayuda a identificar las fallas del sistema, permitiendo así resolverlo en el menor tiempo posible; por su parte, el mantenimiento preventivo, es aquel que determina las acciones que tratan de evitar las fallas potenciales del sistema.

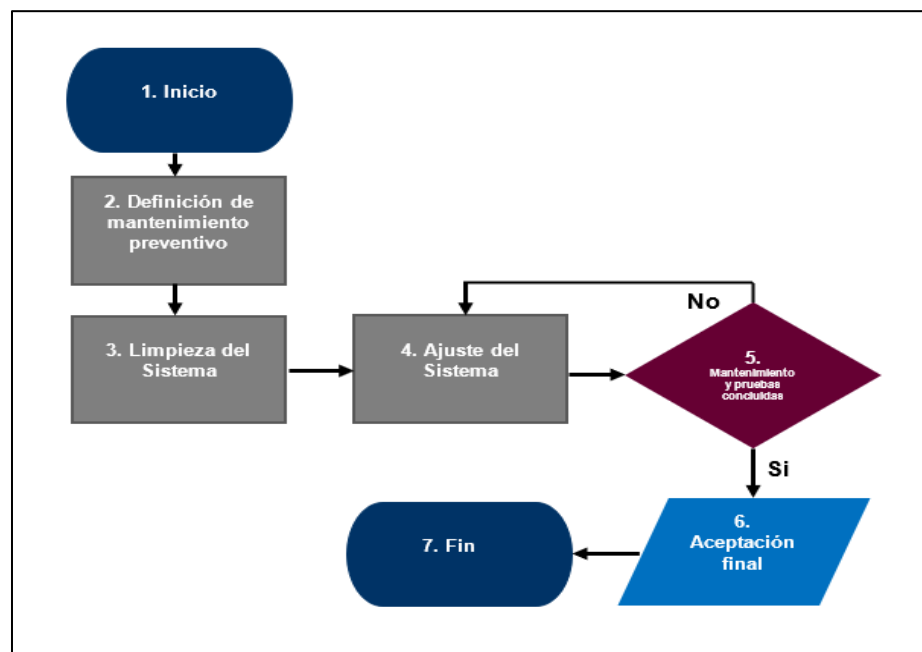
La propuesta para el proceso de operación de mantenimiento, tanto para la parte correctiva como para la parte preventiva de los sistemas, es la siguiente:

Figura 42. Proceso de mantenimiento correctivo



Fuente: Elaboración propia en base a información obtenida de Hernández (2017)

Figura 43. Proceso de mantenimiento preventivo



Fuente: Elaboración propia en base a información obtenida de Hernández (2017)

A pesar de que los sistemas de iluminación y especialmente los sistemas fotovoltaicos son simples, ya que la mayoría de elementos son autoinstalables y únicamente requieren de realizarse tareas de ensamblaje y en algunos casos soldadura, es importante resaltar, que en cada proceso de operación (preventiva y correctiva), se incluye un subproceso de monitoreo y evaluación con el propósito de hacer ajustes y verificar indicadores.

I. Mantenimiento correctivo.

Para el sistema de iluminación como para el sistema fotovoltaico, se describe brevemente cada uno de los procesos que se plantean en el mantenimiento correctivo:

- *Inicio.*

En esta etapa se da inicio al proceso.

- *Revisión anual.*

Esta actividad puede identificarse con el monitoreo y evaluación, ya que aquí se identifica si se tiene problemas en los sistemas (luminaria, panel, inversor), esto es con el propósito de hacer ajustes y verificar indicadores. Para este proceso, es necesario verificar al menos una vez al año, el en caso de observarse daño se reporta en un procedimiento o formato de conteo.

- *Revisión y diagnóstico de equipos.*

En este subproceso, se debe contar con el equipo necesario para revisar y diagnosticar lo que está ocurriendo con alguna luminaria o equipo específico del sistema fotovoltaico y la posible solución.

- *Arreglo o remplazo del equipo.*

Durante el período de garantía, el proveedor debe brindar el soporte para arreglar o reemplazar las lámparas o demás equipo según sea el caso. Este proveedor, cuando se presente el caso será acompañado de algún personal de la USAC para supervisar el trabajo. La salida de esta etapa, es un reporte con las evidencias de lo que se arregló.

- *Problema resuelto.*

Verificar si queda funcionando correctamente, o si necesita algún ajuste. En el caso de

necesitar algún ajuste se regresa a la etapa de revisión y diagnóstico del equipo, de lo contrario se pasa a la siguiente etapa. La salida de esta etapa es el resultado del cambio o arreglo.

- *Aceptación final.*

En este tramo, si todo queda como resuelto, se procede a pasar a la etapa donde se redactan los archivos de arreglos para la USAC. Estos documentos, deberán archivarse para que en futuras fallas similares se pueda identificar fácilmente que se puede hacer.

- *Fin.*

En esta etapa se finaliza el proceso.

II. Mantenimiento preventivo.

Adicionalmente, y con el objeto de que los paneles, inversores, lámparas y demás elementos tengan una vida útil más duradera, a continuación se describe cada uno los procesos sugeridos para el mantenimiento preventivo:

- *Inicio.*

Esta etapa, es el inicio del proceso.

- *Definición de mantenimiento preventivo.*

En esta actividad, se definen las áreas que serán cubiertas para realizar el mantenimiento preventivo, asimismo, se detallan que actividades se realizarán como parte del mismo. Esta etapa, debe ser realizada con el apoyo del asesor técnico para poder definir qué actividades son importantes a realizar para aumentar la probabilidad que los paneles, lámparas y demás equipo duren el tiempo que indicó el productor. La salida de esta etapa es un listado de fechas, lugares y actividades a realizar.

- *Limpieza del sistema.*

Dependiendo lo que se definió en el tramo anterior, en esta etapa se procederá a realizar las actividades definidas para la limpieza, lo cual quedará evidenciado por medio de fotos del antes y después. La salida de esta etapa, es completar el documento anterior con un “aprobado” o “no aprobado” de la actividad y sustentándolo con fotos.

- *Ajustes al sistema.*

Al igual que la etapa anterior, este tramo depende de lo que se definió en la etapa de definición de mantenimiento preventivo. A la salida de esta etapa, debe llenarse el documento de la definición y mantenimiento con el resultado de lo ejecutado, detallando todas las actividades y dejando la constancia necesaria para tener un registro.

- *Mantenimiento y pruebas realizadas.*

En este tramo, se verifica que todo quede funcionando correctamente, en caso contrario, se regresa a la etapa de ajustes del sistema para arreglar el sistema y documentarlo. Si todo queda funcionando correctamente, se procede a pasar a la siguiente etapa.

- *Aceptación final.*

Se procede a dar por finalizado el documento, archivándolo en la USAC para usarlo como referencia para el futuro.

- *Fin.*

En esta etapa se finaliza el proceso.

Aunado a lo anterior, debe pensarse en un proceso para la administración de los repuestos y almacenamiento de los elementos de la instalación fotovoltaica y del sistema de iluminación. Esto debe hacerse con el objetivo de evitar que el sistema se quede por periodos de tiempo sin iluminación.

4.2. Estudio Administrativo y Legal

El apartado del Estudio Administrativo y Legal, está conformado por dos secciones en las que se muestran tanto el personal humano para la ejecución y operación del proyecto, así como, las leyes o normas que pueden impactar el desarrollo del proyecto.

4.2.1. Personal necesario para la instalación y operación del Proyecto

La Estructura Orgánica de la USAC, se encuentra integrada por unidades de decisión superior, unidades de apoyo funcional y las unidades ejecutoras del desarrollo de las funciones de docencia, investigación y extensión de la Universidad. (Ver Anexo nº 11)

En base a ello y debido a que es imprescindible definir los recursos humanos que se necesitarán para la ejecución y operación del proyecto, a continuación se realiza un diagnóstico preliminar del personal que puede participar en el proyecto.

4.2.1.1. Personal necesario para la instalación del Proyecto

En la propuesta de ejecución referida en el Estudio Técnico, el proyecto consta de varias etapas. En estas etapas, si este documento es factible se plantea contratar los servicios de un asesor técnico especializado en el tema, al respecto, algunas áreas de la Universidad pueden estar involucradas, así como otras personas o grupos externos, por ejemplo:

- En las etapas de monitoreo del recurso y diseño, deben apoyarse del asesor técnico para definir el diseño final del proyecto y que en efecto, cubra todos los requerimientos establecidos. Sin embargo, en estas etapas también pueden participar algunas unidades del área técnica de la Universidad.
- En la etapa de compra, deben estar involucrados las unidades de decisión superior, el área de presupuestos, contabilidad y tesorería, debido al nivel de requerimientos técnicos del proyecto, se sugiere que el asesor técnico participe en conjunto con las personas definidas por la USAC para realizar la evaluación.
- Para las etapas de instalación, pruebas y puesta en marcha, el supervisor de obra debe apoyarse con el asesor técnico, el personal del área técnica designada de la USAC, el proveedor y EGGSA para poder llevarlas a cabo.
- En el período de evaluación, se realizarán los procesos según corresponda por personal de la USAC, acompañado del asesor técnico, EGGSA y por el proveedor.
- Finalmente, en la etapa de aceptación final y en la etapa final, pueden involucrarse áreas de decisión superior, el asesor técnico, personal técnico de la USAC, el supervisor de obra y el proveedor.

Cabe destacar, que las personas o grupos implicados para la implementación del proyecto, queda a disposición del experto o asesor técnico, sin embargo, se recomienda algunas unidades del área técnica como la facultad de arquitectura, la facultad de ingeniería y la facultad de agronomía.

En la siguiente tabla, se presenta el sueldo anual que devengaría el asesor experto:

Tabla 25. Integración sueldo asesor experto

Nombre del puesto	Salario Mensual	Bonificación Incentivo	Sueldo bruto	Aguinaldo Bono 14	Cuota patronal IGSS	Total Mensual	Total Año
Asesor Experto	10,000	250	123,000	10,250	13,124.1	13,607.1	163,285.2

Fuente: Elaboración propia

4.2.1.2. Personal necesario para la operación del Proyecto

Para el mantenimiento correctivo, en el período de garantía, será realizado por el proveedor con acompañamiento de la persona responsable de este servicio. Al finalizar este período, al momento de una falla, la persona encargada de este servicio deberá realizar el cambio por su cuenta.

Por otro lado, el mantenimiento preventivo, es un proceso que se debe definir y ejecutar por la Universidad. En el caso del sistema fotovoltaico, el plan de mantenimiento incluye aspectos de limpieza de la superficie de los paneles, revisión de todas las conexiones eléctricas y de fijación de la estructura, presencia de humedad, limpieza de la azotea y equipos, entre algunos otros.

En aspectos de limpieza del sistema fotovoltaico, es necesaria la contratación de una persona vigilante no experta, que se ocupe de los paneles y demás componentes. Esta persona encargada, deberá realizar una limpieza superficial periódica a todos los elementos que conforman el sistema. A este efecto, el asesor técnico debe enseñar al vigilante, ya sea interno o externo para que pueda realizar dicha actividad.

En la siguiente tabla, se presenta el sueldo anual que devengaría el técnico vigilante:

Tabla 26. Integración sueldo vigilante

Nombre del puesto	Salario Mensual	Bonificación Incentivo	Sueldo bruto	Aguinaldo y Bono 14	Cuota patronal IGSS	Total Mensual	Total Año
Vigilante	3,500	250	45,000	3,750	4,801.1	4,970.1	59,646.6

Fuente: Elaboración propia

En la parte de revisión de conexiones eléctricas, se recomienda que el o los encargados del mantenimiento, tanto de cableado como de la verificación correcta de indicadores y de los componentes del sistema fotovoltaico, sea por medio de una contratación externa a diferentes empresas,

Finalmente, en cuanto al mantenimiento preventivo del sistema de iluminación del estadio, de igual manera, se recomienda realizarla por medio de una contratación externa a diferentes empresas dedicadas al tema.

4.2.2. Tiempo de instalación del Proyecto

Con información obtenida anteriormente, se realizó un cronograma de actividades, se le colocaron tiempos y duración estimada tanto en base a proyectos tecnológicos similares y a lo establecido en la ley de contrataciones del estado.

La etapa de diseño según lo estimado podría demorar 2 meses, la etapa de compra 2 meses, la etapa de implementación 5 meses, las etapas de pruebas, puesta en marcha y período de evaluación tendrían una duración estimada de 2 meses y la etapa de aceptación final un transcurso de 18 meses.

Tanto la etapa de implementación, la etapa de pruebas, la etapa de puesta en marcha y la etapa del período de evaluación pueden ir en paralelo, en base a como se defina en el diseño.

Para completar el proyecto, hasta antes de la aceptación final, el tiempo estimado es de 12 meses, el cual es el tiempo mínimo por el que se tendrá que contratar al asesor

técnico. Por su parte, el período de evaluación deberá durar 18 meses, según se establece en la Ley de Contrataciones del Estado, artículo 67.

En la siguiente figura, se muestra el cronograma propuesto para cada etapa:

Figura 44. Cronograma de actividades para el Proyecto

Actividad	Mes																													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Inicio	■																													
Diseño	■	■																												
Compra			■	■	■																									
Implementación				■	■	■	■	■	■	■																				
Fase 1 - Sistema FV				■	■	■	■	■	■	■																				
Fase 2 - Sistema Ilum.							■	■	■	■	■																			
Pruebas										■	■	■																		
Fase 1										■	■	■																		
Fase 2											■	■	■																	
Puesta en marcha												■	■	■																
Fase 1												■	■	■																
Fase 2													■	■	■															
Periodo de evaluación																														
Aceptación final																														

Fuente: Elaboración propia en base a Hernández (2017)

4.2.3. Legislación y normas nacionales

A continuación, se expone el marco legal de aplicación más importante en Guatemala que incide en lo relativo al tema energético y al medio ambiente que viabiliza el proyecto. De esta manera, se podrá evaluar la importancia que tiene esta legislación con la propuesta que se desea presentar.

4.2.3.1. Constitución Política de la República de Guatemala

“Artículo 97.- Medio ambiente y equilibrio ecológico. El Estado, las municipalidades y los habitantes del territorio nacional están obligados a propiciar el desarrollo social, económico y tecnológico que prevenga la contaminación del ambiente y mantenga el equilibrio ecológico. Se dictarán todas las normas necesarias para garantizar que la utilización y el aprovechamiento de la fauna, de la flora, de la tierra y del agua, se realicen racionalmente, evitando su depredación.”

Si bien, la generación de electricidad mediante fuentes de energía renovable no contribuye a mejorar el medio ambiente, estas si ayudan a disminuir el impacto contaminante al no generarla por fuentes convencionales. En la última década, varios países han tenido el compromiso de diversificar su matriz energética hacia fuentes más limpias y Guatemala no debe ser la excepción, puesto que existe actualmente diversos cuerpos legales que propician el desarrollo social, económico y tecnológico en beneficio del medio ambiente.

4.2.3.2. Reglamento de la Ley General de Electricidad

Las disposiciones del presente reglamento se aplican, dentro del marco de la LGE, a las actividades de generación, transporte, distribución y comercialización, que incluye la importación y exportación, de electricidad que desarrollan tanto las personas individuales o jurídicas con participación privada, mixta o estatal, independientemente de su grado de autonomía y régimen de constitución.

Este reglamento en su artículo 16bis, establece además que los Distribuidores están obligados a permitir la conexión a sus instalaciones y efectuar las modificaciones o ampliaciones necesarias para permitir el funcionamiento del Generador Distribuido Renovable y que para el efecto, la Comisión emitirá las disposiciones generales y la normativa para regular las condiciones de conexión, operación, control y comercialización de la Generación Distribuida Renovable, de conformidad con la Ley General de Electricidad y su Reglamento. Asimismo, el referido artículo dispone que la Comisión evaluará la pertinencia del alcance de las modificaciones y de las ampliaciones de las instalaciones de los Distribuidores para la conexión del Generador Distribuido Renovable, así como su respectivo costo y los beneficios por la mejora en la calidad del servicio de distribución y por la reducción de pérdidas.

4.2.3.3. Ley de Protección y Mejoramiento al Medio Ambiente (Dec. N° 68-86)

En el considerando primero de la presente ley, se indica *“Que la protección y mejoramiento del medio ambiente y los recursos naturales y culturales es fundamental para el logro de un desarrollo social y económico del país, de manera sostenida”*.

La anterior declaración se ratifica en el artículo primero *“El Estado, las municipalidades y los habitantes del territorio nacional, propiciarán el desarrollo social, económico, científico y tecnológico que prevenga la contaminación del medio ambiente y mantenga el equilibrio ecológico. Por lo tanto, la utilización y el aprovechamiento de la fauna, de la flora, suelo, subsuelo y el agua, deberán realizarse racionalmente”*. De modo que, se reafirma el hecho de que el desarrollo social, económico, científico y tecnológico va de la mano con la energía y por lo tanto debe existir un enlace en el cual, ni una ni la otra se perjudiquen.

De acuerdo al artículo 8, es importante mencionar que *“para todo proyecto, obra, industria o cualquier otra actividad que por sus características puede producir deterioro a los recursos naturales renovables o no, al ambiente, o introducir modificaciones nocivas o notorias al paisaje y a los recursos culturales del patrimonio nacional, será necesario previamente a su desarrollo un estudio de evaluación del impacto ambiental, realizado por técnicos en la materia y aprobado por la Comisión del Medio Ambiente”*.

En el artículo 12 inciso g, además se establece como objetivo específico *“la promoción de tecnología apropiada y aprovechamiento de fuentes limpias para la obtención de energía”*. En efecto, predominando por sobre todo, la protección del medio ambiente.

Igualmente, es importante mencionar que, el artículo 17 faculta al Organismo Ejecutivo para emitir reglamentos en relación a la emisión de energía, en forma de ruido, sonido, microondas, vibraciones, ultrasonido o acción que perjudiquen la salud física y mental y el bienestar humano, o que cause trastornos al equilibrio ecológico.

4.2.3.4. Ley y Reglamento de Incentivos para el desarrollo de Proyectos de Energía Renovable

En atención al considerando primero y segundo, es importante resaltar la facultad de participación de la iniciativa privada y la urgencia nacional de la electrificación en el país, en donde el estado como obligado de establecer medidas necesarias para orientar la economía nacional al uso de recursos naturales, supone la necesidad de promover en todo ámbito proyectos a gran, mediana y pequeña escala.

En el considerando tercero, se hace énfasis que Guatemala cuenta con recursos naturales renovables suficientes para su aprovechamiento y que su aprovechamiento otorgará independencia de los combustibles de origen fósil, facilitando con ello el suministro de energía económica a favor del consumidor final y sobre todo minimizando la fuga de divisas por concepto de compra de combustibles al exterior.

Finalmente, en el último considerando, se destaca la necesidad de emitir una norma que promueva el desarrollo y aprovechamiento continuo de los recursos energéticos renovables en el país, que a su vez permita lograr un equilibrio entre las fuentes de energía nacional e importada con el fin de mejorar la calidad del ambiente y la participación de inversionistas interesados en el sector energético.

La urgencia que se establece en el artículo primero, radica en el desarrollo racional de los recursos energéticos renovables, de modo que el órgano competente estimule, promueva, facilite y cree las condiciones adecuadas para el fomentar la inversión.

De acuerdo al artículo 5, los incentivos para promover la inversión en proyectos de energía con recursos energéticos renovables son tres, estos son:

a) Exención de derechos arancelarios para las importaciones, incluyendo el Impuesto al Valor Agregado -IVA-, cargas y derechos consulares sobre la importación de

maquinaria y equipo, utilizados exclusivamente para la generación de energía en el área donde se ubiquen los proyectos de energía renovable.

b) Exención del pago del Impuesto Sobre la Renta.

c) Exención del Impuesto a las Empresas Mercantiles y Agropecuarias -IEMA-.

En relación al Reglamento de Incentivos para el Desarrollo de Proyectos de Energía Renovable, cabe mencionar al MEM como encargado de calificar los proyectos como aptos para los incentivos fiscales. Asimismo, en el proceso de evaluación y calificación del proyecto, se solicita a los interesados acompañar un estudio de prefactibilidad a nivel técnico y financiero, además de requisitos específicos de la etapa de ejecución.

4.2.3.5. Reglamento de Evaluación, Control y Seguimiento Ambiental (A.G: N° 137-2016)

El presente reglamento, desarrolla los principios establecidos en la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente, con el objeto de apoyar el desarrollo sostenible del país en el tema ambiental. Para el efecto, establece reglas para el uso de instrumentos y guías que faciliten la evaluación, control y seguimiento ambiental de los proyectos, obras, industrias o actividades que se desarrollan y los que se pretenden desarrollar en el país.

En ese sentido, le corresponde al MARN, la aplicación del presente reglamento por conducto de la Dirección de Gestión Ambiental y Recursos Naturales -DIGARN-, la Dirección de Coordinación Nacional -DCN- a través de las delegaciones departamentales cuando corresponda y demás dependencias del ministerio en los casos que así lo ameriten.

Muchas son las funciones de la DIGARN, entre las más importantes están el aprobar los instrumentos de evaluación ambiental; diseñar las medidas necesarias para el buen funcionamiento ambiental; verificar el adecuado cumplimiento de los procedimientos técnicos y administrativos contenidos en este reglamento; emitir, renovar, suspender las licencias, y realizar las inspecciones necesarias entre algunas otras.

Por su parte, la DCN, es la encargada de llevar a cabo los procesos de recepción, revisión, análisis, inspección, dictamen, resolución final y notificación de los instrumentos ambientales categorizados como C y B2, así como resolver las modificaciones, actualizaciones, ampliaciones y solicitudes que deriven de las resoluciones de los instrumentos ambientales en estas categorías; emitir las licencias ambientales con los instrumentos ambientales categoría B2 y C y realizar actividades de inspección, entre muchas otras.

En el Título cuarto, artículos del 11 al 26, se definen los instrumentos de gestión ambiental, que por su naturaleza y modo de aplicación, se dividen en dos grupos, estos son: los denominados instrumentos ambientales (predictivos, correctivos y complementarios) y los denominados de control y seguimiento ambiental.

De los instrumentos ambientales (predictivos, correctivos y complementarios) se generan los correspondientes compromisos ambientales que deben adoptar los proponentes y que sirven de base para el control y seguimiento de los proyectos, obras, industrias o actividades.

Para efecto del cumplimiento de los artículos 4, 8, 11 y 12 del Decreto número 68-86, Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente, en función de su naturaleza, se establecen los instrumentos ambientales siguientes:

a) Instrumentos ambientales predictivos: La autorización de un instrumento de este tipo cumple con la obligación establecida en el artículo 8 de la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente; y

b) Instrumentos ambientales correctivos: La aprobación de este instrumento regulariza el proyecto, obra, industria o actividad, sin perjuicio de la aplicación de las sanciones a que se refiere el artículo 8 de la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente.

Son considerados instrumentos ambientales predictivos, los siguientes:

- Evaluación ambiental inicial;
- Estudio de evaluación de impacto ambiental;
- Evaluación ambiental estratégica; y,
- Formulario de actividades para registro en los listados.

Son considerados instrumentos ambientales correctivos los siguientes:

- Diagnostico ambiental;
- Diagnostico ambiental de bajo impacto; y,
- Formulario de actividades correctivas para registro.

Son considerados instrumentos ambientales complementarios los siguientes:

- Evaluación de riesgo ambiental;
- Evaluación de impacto social;
- Evaluación de efectos acumulativos; y,
- Plan de gestión ambiental.

Por otro lado, los instrumentos de control y seguimiento ambiental, se consideran los siguientes:

- Auditorías ambientales;
- Acciones de seguimiento y vigilancia ambiental, desarrolladas por el proponente y de oficio.

En todos los casos anteriores, los términos de referencia, contenidos y procedimientos técnicos específicos para el desarrollo de cada uno de ellos serán determinados por parte del MARN.

En el Título quinto, artículos 27 y 28, se establece la categorización de los proyectos, obras, industrias o actividades, conforme a su naturaleza, características y potenciales impactos al ambiente, de donde surgen las categorías: A para proyectos de alto impacto ambiental potencial o megaproyectos; B para proyectos de moderado impacto ambiental potencial y C, para proyectos de bajo impacto ambiental potencial.

Esta categorización tiene relación con los instrumentos de evaluación ambiental creados en el Artículo 12 del Reglamento, especialmente con la evaluación ambiental inicial, con el diagnóstico ambiental y con el estudio de evaluación de impacto ambiental; toda vez que según la categoría a que pertenezca cada proyecto o actividad, será aplicable uno u otro instrumento de evaluación ambiental.

En el Título sexto se regula el procedimiento administrativo para el análisis y evaluación de instrumentos de evaluación ambiental, disponiendo en el Artículo 29 que para todo proyecto, obra, industria o actividad nueva, el procedimiento inicia por la presentación del instrumento de evaluación ambiental denominado evaluación ambiental inicial. En el segundo párrafo de dicho Artículo, se establece que para toda obra, industria o actividad ya existente, el procedimiento iniciará por la presentación del instrumento de evaluación ambiental denominado diagnóstico ambiental.

4.2.3.6. Normas Técnicas de Diseño y Operación de las Instalaciones de Distribución -NTDOD- (Resolución CNEE 47-99)

Estas Normas tienen por objeto establecer las disposiciones, criterios y requerimientos mínimos para asegurar que las mejoras y expansiones de las instalaciones de distribución de energía eléctrica, se diseñen y operen, garantizando la seguridad de las personas y bienes y la calidad del servicio.

4.2.3.7. Norma Técnica de Generación Distribuida Renovable y Usuarios Auto Productores con Excedentes de Energía -NTDGR-

La CNEE, emitió la Resolución CNEE-171-2008 con fecha 16 de septiembre de 2008, mediante la cual aprobó la *Norma Técnica para la Conexión, Operación, Control y Comercialización de la Generación Distribuida Renovable -NTGDR- y Usuarios Auto Productores con Excedentes de Energía* con el objetivo de establecer las disposiciones generales que deben cumplir los generadores distribuidos renovables y las distribuidoras para la conexión, operación, control y comercialización de energía eléctrica producida con fuentes renovables.

Posteriormente, debido a la necesidad de adaptar las disposiciones generales contenidas en ella a la actualidad, la CNEE emitió la Resolución -227-2014, con la finalidad de facilitar el acceso al Sistema Eléctrico Nacional a través de fuentes energéticas renovables, en atención a su tamaño, ubicación física, infraestructura eléctrica de las empresas de distribución, así como por el nivel de tensión al cual sea técnica y económicamente viable su conexión.

La presente norma es de aplicación obligatoria para Distribuidores, Generadores Distribuidos Renovables -GDR-, y Usuarios Auto Productores con Excedentes de Energía. A continuación, se resume de forma breve las características de esta norma:

En el caso de los GDR, su aporte de potencia deberá ser menor o igual a 5 MW, teniendo que solicitar acceso a la red a las compañías de distribución, y de ser necesario aumentar la capacidad de la red a la que se van a conectar.

Para poder obtener una autorización de conexión de GDR es necesario presentar al distribuidor una solicitud de dictamen de capacidad y conexión usando el formulario establecido. Igualmente, el interesado deberá pagar los costos y todo lo necesario concerniente a la construcción de la línea y equipos o instalaciones necesarios. Desde la planta generadora hasta el punto de conexión, incluyendo el último elemento de maniobras entre las instalaciones del GDR y las existentes del distribuidor.

Asimismo, los GDR pueden participar en licitaciones públicas para suplir la demanda de las compañías de distribución o vender su energía en el mercado spot guatemalteco.

Para los usuarios auto productores que cuenten dentro de sus instalaciones de consumo con excedentes de energía renovable para inyectarla al sistema de distribución, deben manifestar expresamente por medio de un formulario que no desean participar como vendedor de energía eléctrica correspondiente.

Los usuarios auto productores con excedente de energía no recibirán ningún tipo de pago por la energía eléctrica inyectada al sistema de distribución; para los efectos de facturación mensual del usuario el distribuidor leerá cada mes los registros del medidor correspondiente, si la medición neta del mes corresponde a un consumo de energía para cobrar dicho consumo al usuario, de conformidad con la tarifa que le corresponda; por el contrario, si la medición neta corresponde a una inyección de energía del usuario hacia el sistema de distribución, el distribuidor le reconocerá como crédito de energía a favor del usuario hasta que dicho crédito sea agotado contra el consumo del Usuario Auto Productor con Excedente de Energía -UAEE-. No obstante, el distribuidor cobrará el cargo fijo y los cargos por potencia que le sean aplicables a cada usuario, según la tarifa correspondiente.

Para el caso de tarifas sin medición de potencia, el distribuidor podrá cobrar los cargos por distribución correspondiente en función de la energía que entregue al usuario, todos los cargos deben ser detallados en la factura.

Para las fuentes que no generan energía eléctrica en corriente alterna, el GDR deberá instalar equipos de conversión necesarios, tales como inversores, debiendo filtrar todas

las posibles perturbaciones que producen los equipos electrónicos encargados de la conversión DC-AC para que su centro de generación pueda conectarse sin ninguna complicación. Las especificaciones técnicas de los equipos deben cumplir con las normas nacionales e internacionales, que garanticen la desconexión de los equipos o del sistema cuando detecte falla o falla de tensión.

El GDR es responsable de la operación de todas sus instalaciones, una vez conectado el GDR será gobernado por un sistema de protección de forma que únicamente pueda inyectar energía al sistema de distribución si este tiene tensión dentro de las tolerancias establecidas en las Normas Técnicas de Diseño y Operación de Distribución -NTSD-; de lo contrario, deberá desconectarse automáticamente y solo podrá conectarse nuevamente con la autorización del distribuidor. El sistema de medición de energía eléctrica de las instalaciones de un usuario auto productor con excedente de energía, deberá tener la característica de medición, registro y lectura en forma bidireccional.

4.2.3.8. Ley de Contrataciones del Estado

Esta Ley tiene por objeto normar las compras, ventas, contrataciones, arrendamientos o cualquier otra modalidad de adquisición pública, que realicen: los organismos del Estado; las entidades descentralizadas y autónomas, incluyendo las municipalidades; las entidades o empresas, cualquiera sea su forma de organización, cuyo capital mayoritariamente esté conformado con aportaciones de Estado; las organizaciones No Gubernamentales y cualquier entidad sin fines de lucro, que reciba, administre o ejecute fondos públicos; y finalmente, las demás instituciones que conforman el sector público.

En el artículo cuatro, se indica que para la eficaz aplicación de la presente ley, las entidades públicas, antes del inicio del ejercicio fiscal, deberán programar las compras, suministros y contrataciones que tengan que hacerse durante el mismo

Esta Ley establece que la oferta tiene que tener el precio unitario por cada renglón de la misma, en quetzales (artículo 6). Por su parte, las autoridades designaran los integrantes de la junta de licitación y la aprobación de la adjudicación de toda la licitación para el

proyecto (artículo 9). Esta junta de licitación, deberá estar formada por 5 personas, y son los únicos encargados de recibir, calificar ofertas y adjudicar el negocio (artículo 10).

Según el artículo 17, cuando el monto total de los bienes, suministros y obras, exceda de las cantidades establecidas, en el artículo 38, la compra o contratación deberá hacerse por Licitación Pública. Asimismo, para hacer la licitación, se deben elaborar los siguientes documentos: bases de licitación, especificaciones generales, especificaciones técnicas, disposiciones especiales y planos de construcción (artículo 18).

Las bases de licitación, deben contener como mínimo lo siguiente (artículo 19):

- Condiciones que deben reunir los oferentes.
- Características generales y específicas.
- Lugar y forma donde será ejecutada la obra.
- Indicaciones de las garantías establecidas en la ley de contrataciones del Estado.
- Forma de pago del proyecto y porcentaje de anticipo y procedimiento para otorgarlo.
- Lugar, dirección exacta, fecha y hora en que se ejecutará la diligencia de presentación, recepción y apertura de aplicaciones.
- Declaración jurada del oferente.
- Indicación de la forma de integración de precios unitarios por renglón.
- Criterios que seguirá la junta de licitación para calificar las ofertas recibidas.
- Indicación de requisitos que se consideren fundamentales y
- Modelo de oferta y proyecto de contrato.

El artículo 23, señala que para hacer válida la licitación es necesario que se publique la misma por lo menos 2 veces en el diario oficial y dos en otro diario de mayor circulación, y en GUATECOMPRAS, asimismo, no se deben exceder 15 días hábiles entre ambas publicaciones. Después de la última publicación y recepción de ofertas, debe existir un plazo no menor de 40 días.

Artículo 28, los criterios de calificación que se utilizarán para escoger la mejor opción son: calidad, precio, tiempo, características y demás condiciones que se fijan en las bases.

Artículo 55, Al momento de finalizar el proyecto, el proveedor debe indicar al supervisor que revise que todo está según las especificaciones del contrato, y de ser así, se pasa el proyecto a la comisión receptora, quienes revisarán y aprobarán la recepción

Artículo 56, luego de recibido el proyecto se tienen 90 días para liquidar el contrato, que conlleva ejecutar el pago correspondiente al proveedor. Se puede hacer un anticipo de hasta el 20% para el inicio del proyecto y para las asesorías de un 10%. Dependiendo lo que se pacte en el contrato podrán hacerse pagos parciales contra estimaciones periódicas de trabajo ejecutado y aceptado (artículo 58).

Se tienen que tomar en cuenta las garantías de sostenimiento de la oferta, cumplimiento, de anticipo, de calidad de funcionamiento y de saldos deudores mencionados en esta ley. La garantía de la calidad cubre 18 meses a partir de la fecha de recepción del proyecto, y si se destruye el proyecto y se logra comprobar la culpabilidad del proveedor el mismo debe de cumplir con las garantías hasta un período de 5 años (artículo 64-70).

Asimismo, se establece la importancia que el proveedor cumpla con los tiempos establecidos en el contrato, ya que de no ser así, la USAC podrá aplicar el artículo 85 de la presente ley en donde se indica que hay sanciones por retrasos atribuibles y demostrables al proveedor, sin exceder el 5%, si llegase a superar este valor, la USAC podrá rescindir el contrato.

4.2.4. Legislación y normas internacionales

Para elaborar el proyecto, asimismo se tomaron en consideración algunas leyes vigentes a nivel internacional, entre estas se encuentran:

4.2.4.1. American Society for Testing and Materials -ASTM-

La ASTM, es una organización de normas internacionales que desarrolla y publica acuerdos voluntarios de normas técnicas para una amplia gama de materiales, productos, sistemas y servicios (Asociación Española para la Calidad -AEC-, 2019).

Dicho de otra manera, en referencia a AEC. estas normas son empleadas y aceptadas mundialmente abarcando campos tales como: construcción, pinturas, plásticos, textiles, petróleo, metales, energía, el medio ambiente, productos para consumidores, dispositivos y servicios médicos y productos electrónicos.

4.2.4.2. National Electric Code -NEC- o NFPA 70

El Código Eléctrico Nacional, es una extensa colección de artículos para garantizar la segura instalación de los equipos eléctricos y el cableado eléctrico en los Estados Unidos. Si bien, estas normas son escritas en Estados Unidos, otros países lo han adoptado.

El National Electrical Code -NEC-, es parte de la serie de normas de prevención de incendios publicada por la National Fire Protection Association -NFPA-. Entre el contenido de esta norma, se encuentra:

- Definiciones y requisitos para las instalaciones eléctricas
- Cableado y protección
- Métodos de cableado y materiales
- Equipo para uso general y equipos especiales.

4.3. Estudio Ambiental

En el presente estudio, se identifican los impactos positivos y negativos que el proyecto generaría al medio ambiente involucrado, asimismo, se implementan las medidas de mitigación según sea los efectos del mismo; y finalmente, se propone un plan de contingencia y un plan de abandono para la ejecución y operación del proyecto.

4.3.1. Descripción del entorno

Con el fin de caracterizar el entorno dentro del cual se pretende instalar el proyecto, a continuación se describe de manera breve tanto los elementos Bióticos como Abióticos y Socioeconómicos circundantes al mismo.

4.3.1.1. Entorno biótico

Dentro de los elementos Bióticos, se comprende a todo aquel ser vivo circundante al sitio de impacto del proyecto, especialmente haciendo referencia al conjunto de Flora y Fauna.

I. Flora.

De acuerdo a los mapas de vida de Holdridge, la zona 12 capitalina se encuentra dentro de una zona de Bosque Húmedo Premontano Tropical bh-PMT, de la cual Melgar (2015), señala que en torno al Campus Central, se puede encontrar una gran pluralidad de especies Arbóreas, Plantas Herbáceas y Arbustivas Ornamentales. En el caso de las plantas localizadas en el área de jardines, Bosque de las Ardillas y otras áreas verdes de la Ciudad Universitaria, la mayoría pertenecen a especies ornamentales exóticas, en menor cantidad a especies nativas y aún más escasas son las especies endémicas.

De esta manera, entre los árboles presentes, se pueden mencionar al Liquidámbar, Casia, Jacaranda, Matiliguete, Eucalipto, Fresno, Casuarina, Ahuehuete, Cipreses, Encinos, Nogales, Ceibas, Cedros, y Pinos entre muchos otros. En el caso de las plantas ornamentales, también existe una gran variedad como Plumajillo, Payasito, Ruelia, Amaranto Rojo, Narciso, Palmera Enana, Artemisia, Begonia, Hortensia, Cola de Quetzal, Buganvillas y algunas otras (Melgar, 2015).

Por su parte, en los alrededores del estadio Revolución y de los edificios S3 y S6, también pueden observarse varios ambientes como el boulevard universitario, algunos otros edificios pertenecientes a las diferentes facultades y un área boscosa que rodea una fracción del estadio. En esta área que rodea el estadio, es evidente la presencia de árboles, arbustos y plantas que adornan el área, brindando no solo sombra, sino en algunos casos alimento y hogar para diversos tipos de animales.

II. Fauna.

En atención a estudios realizados por la USAC, por la Universidad del Valle de Guatemala -UVG- y por la Fundación para el Ecodesarrollo y la Conservación -FUNDAECO-, en el departamento y municipio de Guatemala se cuenta con multiplicidad de animales, tales como insectos (35 especies), crustáceos, peces, reptiles (serpientes, lagartijas), anfibios

(ranas, sapos), mamíferos (marsupiales, ardillas, ratones, taltuza, murciélagos) y aves (88 especies) entre algunos otros.

Cabe mencionar, que de esta pluralidad de especies, la mayoría pueden verse diariamente dentro del Campus Central Universitario y a los alrededores del estadio Revolución. Resaltando sobre todo animales como: murciélagos, insectos, lagartijas, aves y ardillas.

4.3.1.2. Entorno abiótico

En cuanto al recurso Abiótico, se comprende a aquellos factores y procesos no vivos de un ecosistema, como lo son el suelo, el agua, los factores climáticos, entre algunos otros.

I. Aspectos topográficos.

La estructura topográfica del Área Metropolitana de la Ciudad de Guatemala, muestra un valle central de orientación aproximadamente norte-sur, bordeado por áreas montañosas al oriente y occidente. Asimismo, el valle central, internamente forma secuencias de planicies, cerros y barrancos (Peña, 2018).

En este caso, la zona 12 finaliza la ciudad al sureste, siendo bastante plana en su mayor desarrollo, sin embargo, también es accidentada en sus orillas, encontrándose cerros, barrancos (quebradas) y planicies (Del Cid, 2012).

Por su parte, el Campus Central, se encuentra en un terreno que presenta cambios de nivel; no obstante, la construcción se encuentra en un área bastante plana que se comunica a través de rampas y declives para el acceso de los usuarios (Barrios, 2011).

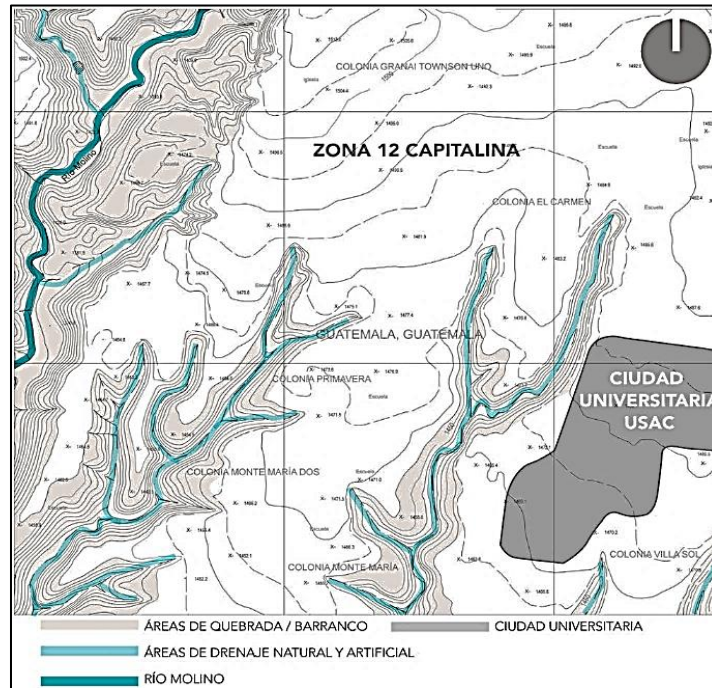
II. Drenaje e hidrografía.

Conforme a De Paz (2008), los recursos hídricos del departamento de Guatemala fluyen hacia la vertiente del Pacífico y hacia la vertiente del Caribe, a través de cuatro cuencas hidrográficas, la de Motagua, María Linda, Los Esclavos y la de Achíquate.

El siguiente mapa, muestra las quebradas cercanas al área del Campus Central, el cual contiene dentro de su terreno la quebrada del barranco denominado “Las Ardillas” y la de

la Colonia Villa Sol. Estas quebradas, han servido como un drenaje natural para el agua de lluvia de la Universidad, siguiendo su trayecto hasta el Rio Villalobos (Peña, 2018).

Figura 45. Mapa de quebradas y drenaje natural



Fuente: Peña (2018)

III. Suelos.

De acuerdo a De Paz (2008), los suelos del departamento de Guatemala o de la Altiplanicie Central, se dividen en suelos profundos sobre materiales volcánicos, a mediana altitud, suelos poco profundos sobre materiales volcánicos débilmente cementados, suelos poco profundos sobre materiales volcánicos firmemente cementados y suelos poco profundos sobre roca.

Por otro lado, según Herrera (2011), los suelos del área de estudio están clasificados dentro de los Cambizoles. Estos en particular, son caracterizados por ser originados de ceniza volcánica pomácea de color claro, que presentan un relieve casi plano y un buen drenaje interno; su suelo superficial es de color café muy oscuro, franco arcilloso, de 30 a 50 cm de espesor; su suelo subsuperficial es de color café amarillento a café rojizo, franco arcilloso friable, de 50 a 60 cm de espesor. El drenaje a través del suelo es lento, la capacidad de abastecimiento de humedad es muy alta, el peligro de erosión es bajo,

la fertilidad natural es alta y el problema especial que presenta en el manejo del suelo es el mantenimiento de la materia orgánica.

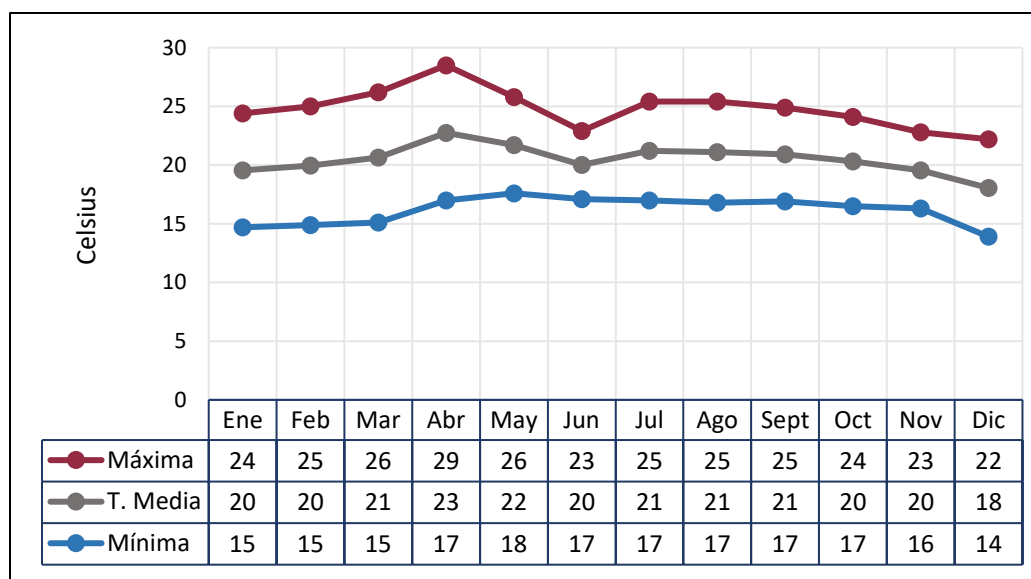
IV. Factores climáticos.

Con respecto a los mapas de vida de Holdridge, la zona 12 capitalina y por ende la ciudad Universitaria, se encuentran dentro de una zona de Bosque Húmedo Premontano Tropical bh-PMT. El área o territorio cubierto por esta zona de vida, registra ciertas condiciones climáticas, las cuales se observan a continuación:

- *Temperatura.*

En el último periodo (2020), se registran temperaturas templadas durante todo el año, con aumento en los meses de marzo a mayo y disminución en los meses de octubre a febrero, lo cual se puede visualizar a través de la siguiente gráfica:

Figura 46. Temperatura promedio mensual -Celsius-, año 2020

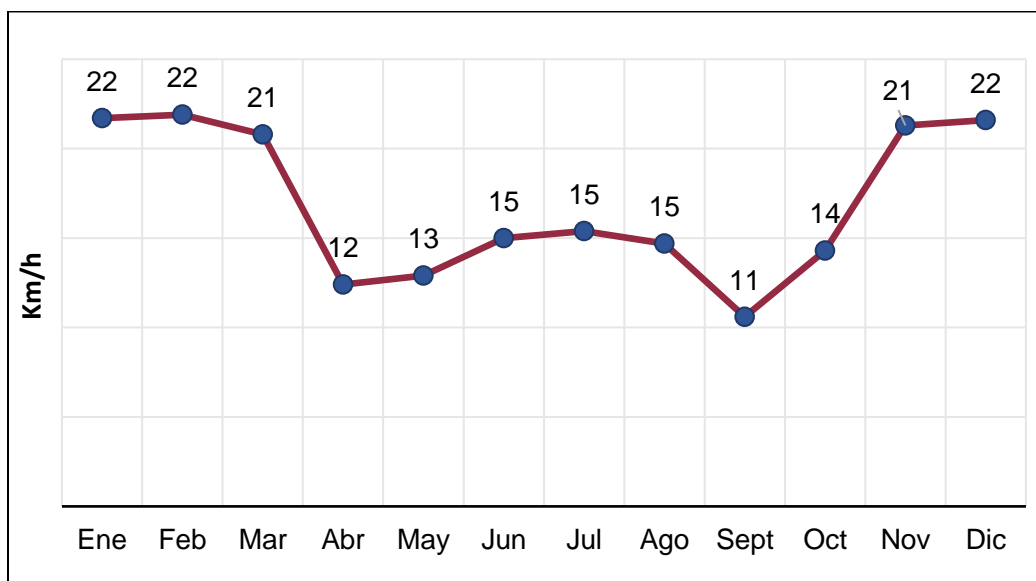


Fuente: Elaboración propia en base a datos de woesspana.es

- *Vientos.*

En cuanto a los vientos, se registra una velocidad promedio del viento de 16.9 km/h, llegando a velocidades máximas de hasta 22 km/h los últimos meses del año y mínimas de hasta 10.6 km/h en el mes de septiembre.

Figura 47. Velocidad promedio del viento -Km/h-, año 2020

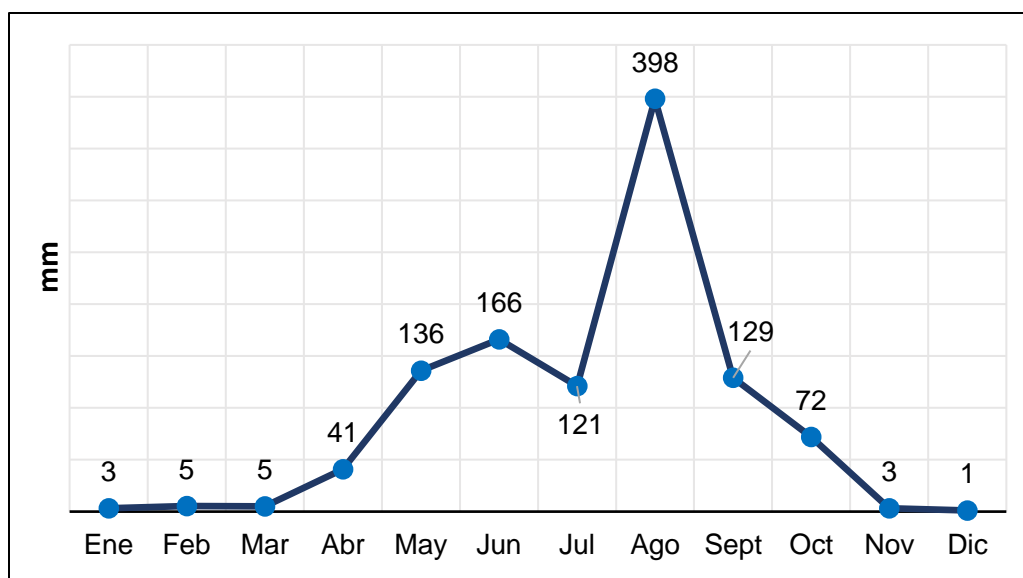


Fuente: Elaboración propia en base a datos de woespana.es

- **Lluvias.**

En referencia a Peña (2018), en los últimos años, la zona 12 capitalina ha registrado una mayor cantidad de lluvia en los meses de mayo a septiembre y una menor cantidad en los meses de octubre a abril, siendo este variable durante los fenómenos del Niño o de la Niña.

Figura 48. Pluviosidad -mm-. Zona 12, ciudad de Guatemala, año 2016



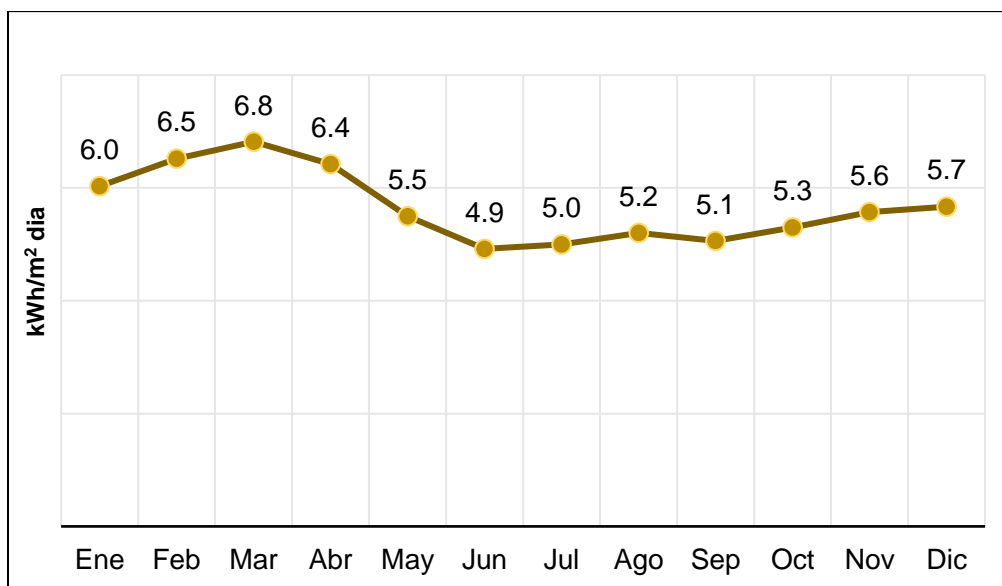
Fuente: Elaboración propia en base a información de Peña (2018)

- **Soleamiento.**

La Ciudad de Guatemala, se ubica a unos 1,495 metros sobre el nivel del mar, en la latitud: 14°38" N y longitud; 90°30". Esta ubicación, es la que rige el paso del sol y los factores climáticos del país.

En ese sentido, de acuerdo a datos proporcionados por SWERA. En la siguiente gráfica, se muestra la radiación solar, para la Ciudad de Guatemala durante el año 2014.

Figura 49. Radiación solar -kWh/m² día- ciudad de Guatemala



Fuente: Elaboración propia en base a SWERA

4.3.1.3. Entorno socioeconómico

En esta sección, se describen los factores sociales y económicos que pueden llegar a impactar con el establecimiento del proyecto, estos pueden resumirse en:

I. Tamaño de la población.

Según datos obtenidos del Departamento de Registro y Estadística, dentro del Campus Central, durante el ciclo académico 2018, se registraron 97,850 estudiantes. Por otro lado, de acuerdo a Villatoro (2008), para el año 2006, el número total de personal universitario (docentes y personal administrativo), localizado dentro del Campus Central Universitario, asciende a la cantidad de 5,331 personas.

II. Actividades económicas.

En atención a su ubicación, la Ciudad Universitaria se localiza entre diversas áreas de uso comercial, de vivienda, industrial e incluso recreacional, convirtiéndola en una referencia tanto para el área sur de la ciudad capital, como para municipios aledaños del departamento de Guatemala.

Según se logra observar, se tienen áreas bien definidas por su densidad poblacional, las cuales se pueden identificar como colonias cerradas, edificios de apartamentos, hospitales privados, colegios, institutos, bodegas, empresas proveedoras de diferentes servicios y grandes centros comerciales, entre algunos otros.

III. Factores sociales.

La USAC, es un lugar de influencia y de uso institucional, que atrae a miles de estudiantes de todas partes del país y a estudiantes fuera del país. En ese sentido, se cree que con el establecimiento del proyecto, se puedan generar ahorros en la emisión de GEI y ahorro en el gasto de energía que bien podrían invertirse eventualmente en otras áreas de la Ciudad Universitaria, y que con ello se pueda brindar mejor servicio al estudiante y a la población en general.

4.3.2. Identificación de impactos ambientales

Para la identificación de impactos ambientales en el proyecto, se hace uso de la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente. Esta Ley, indica que para todo proyecto que impacte al ambiente o no, es necesario un Estudio de Impacto Ambiental -EIA- realizado por técnicos en la materia y aprobado por la Comisión de medio ambiente. Del mismo modo, esta Ley señala que la determinación de la Evaluación Ambiental a realizarse se hará con respecto al Listado Taxativo.

El Listado Taxativo, contenido en el Acuerdo Ministerial 204-2019 del MARN donde se obtiene la clasificación, indica que para un proyecto de instalación de un sistema de energía solar fotovoltaica con una potencia ≤ 5 MW, es categorizado como:

- Sector: 07 Energía
- Subsector: A. Generación de Energía
- Categoría de Actividad Económica (CIIU): Generación, transmisión, y distribución de energía eléctrica
- Clase CIIU: 3510
- Descripción: Proyectos relacionados con actividades de generación de energía eléctrica a partir del recurso de radiación solar
- Categoría: C (Actividades de bajo impacto ambiental potencial)
- Instrumento de Evaluación: Evaluación Ambiental Inicial -EAI-

Para el proyecto, deberá presentarse únicamente la Evaluación de Impacto Ambiental Inicial -EAI- al MARN o Delegaciones Departamentales, y que este determine los términos de referencia que hay que cumplir.

Es importante mencionar, que para el establecimiento del proyecto, se tiene contemplado un costo en la realización del EAI, además de los trámites asociados al mismo. El costo estimado y a tomar en consideración asciende a un monto total de Q.30,000.00.

4.3.2.1. Valoración de impactos

En la tabla nº 27, se muestran los impactos negativos identificados que generaría el proyecto con su instalación y desarrollo.

Tabla 27. Impactos ambientales en factores bióticos, abióticos y socioeconómicos

Factor	Descripción
Flora	Por el tipo de luminarias a instalar, podría tenerse un incremento de insectos, los cuales pueden convertirse en plagas para la flora del lugar
Flora	Árboles que por su altura pueden encontrarse en la trayectoria del haz de luz de las luminarias, considerar el podar la cantidad mínima de algunos de ellos
Fauna	Por el tipo de luminarias a instalar, podría tenerse un incremento de insectos, los cuales pueden convertirse en plagas que afecten la fauna del lugar
Suelo	Obra civil, apertura de agujeros durante la instalación

Continuación de la tabla n° 27.

Factor	Descripción
Aire	Contaminación del aire debido a partículas de polvo
Social	La iluminación puede llegar a causar cierta molestia en algunos vecinos
Social	Generación de un leve un incremento en el tráfico, al momento de la instalación de los sistemas
Social	Podría llegar a generarse un incremento en el ruido, afectando no solo a facultades estudiantiles sino a vecinos cercanos del lugar
Social	Producción de desechos solidos

Fuente: Elaboración propia

De la misma manera, en la tabla n° 28, se valoran estos impactos identificados a través de una matriz de Leopold.

Tabla 28. Matriz de Leopold

Entorno	Factor ambiental	Etapas												Total	
		Construcción						Operación							
		Transporte equipos y materiales		Adecuación sitio		Instalación bases soportes		Montaje de equipos		Mantenimiento equipos		Disposición final equipos		M	I
Abiótico															
Suelo	Alteración del suelo	0	0	-2	5	3	3	-1	-1	0	0	0	0	0	7
	Emisión de partículas	0	0	-1	1	1	0	-2	1	0	0			-2	2
Aire	Ruido	2	0	1	0	-3	2	-4	-2	0	0	0	0	-4	0
	Emisión CO2	-1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
Agua	Agotamiento	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Biótico															
Flora	Diversidad y riqueza	-1	1	-1	2	-1	1	-1	1	0	0	0	0	-4	5
Fauna	Diversidad y riqueza	-1	1	-1	2	-1	1	-1	1	0	0	0	0	-4	5
Socioeconómico															
Social	Satisfacción comunidad	0	0	0	0	0	0	7	8	0	0	0	0	7	8
	Bienestar social	0	0	0	0	0	0	7	7	0	0	0	0	7	7
Salud	Enfermedades	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cultural															
Alteración del paisaje	Alteración visual	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Patrimonio cultural	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Totales		-1	3	-4	10	-1	7	5	15	1	0	0	0	0	35

Fuente: Elaboración propia en base a información obtenida de Palacios, Hernández, Villarreal, & Fontalvo (2017)

De acuerdo a la tabla n° 27 y 28, existen algunos impactos que pueden perjudicar el entorno donde será instalado el proyecto, por tal motivo, se deberá tener un control adecuado de los mismos tanto en la fase de instalación como operación del mismo.

El impacto negativo que tendrá el proyecto sigue siendo demasiado bajo y por lo mismo, se pretende que genere mayores impactos positivos, siendo el caso de la reducción de los GEI como el dióxido de carbono, y asimismo, el caso de los impactos sociales y económicos favorables.

4.3.2.2. Medidas de mitigación

En un proyecto de desarrollo de energía solar fotovoltaica, se encuentra la fase de instalación y la fase de operación. En cada una de estas fases, pueden presentarse impactos ambientales, por lo que se deberá considerar el establecimiento de acciones o cualquier otro tipo de medidas encaminadas a contrarrestar o minimizar los impactos identificados, dando prioridad a aquellos particularmente significativos. En la siguiente tabla, se muestran las medidas de mitigación correspondientes a tomar en cuenta para el proyecto.

Tabla 29. Plan de mitigación a implementar en el proyecto

Factor	Descripción	Mitigación
Flora	Por el tipo de luminarias a instalar, podría tenerse un incremento de insectos, los cuales pueden convertirse en plagas para la flora del lugar	Limpieza de calles y fumigaciones eventuales para evitar que los insectos se reproduzcan
Fauna	Por el tipo de luminarias a instalar, podría tenerse un incremento de insectos, los cuales pueden convertirse en plagas que afecten la fauna del lugar	Limpieza de calles y fumigaciones eventuales para evitar que los insectos se reproduzcan
Suelo	Obra civil, apertura de agujeros durante la instalación	Tomar medidas preventivas en cuanto a señalización restrictiva a fin de prevenir accidentes
Aire	Contaminación del aire debido a partículas de polvo	Realizar algún tipo de estabilización regando agua a la tierra
Social	La iluminación puede llegar a causar cierta molestia en algunos vecinos	Controlar intensidad de las lámparas bajo ciertas condiciones (horarios, circulación)
Social	El proyecto podría generar un incremento en el tráfico, al momento de la instalación y operación del mismo	Hacer uso eficiente de los policías internos de la Universidad para controlar tráfico

Continuación de la tabla nº 29.

Factor	Descripción	Mitigación
Social	Podría llegarse a generarse un incremento en el ruido, afectando no solo a facultades estudiantiles sino a vecinos cercanos del lugar	Es recomendable que todo el trabajo que requiera maquinaria se haga en horarios matutinos, evitando realizarlos en la noche
Social	Producción de desechos solidos	Deben transportarse a basureros con periodicidades establecidas

Fuente: Elaboración propia

4.3.2.3. Plan de contingencia

Consiste en la descripción de medidas a tomar como contención a situaciones de accidentes o emergencia derivadas del desarrollo del proyecto, y/o para situaciones de riesgo ante fenómenos naturales. Para ello, todo plan de contingencia efectivo, nace de la prevención, de manera que, a continuación se plantean algunas medidas que indicaran como se debe proceder.

I. Riesgos causados por personal humano.

Con el propósito de evitar lesiones o accidentes por contacto eléctrico. A continuación, se indican las reglas y herramientas básicas que debe poseer el personal antes y durante el mantenimiento eléctrico del proyecto

- Utilizar señalización en zona de trabajo, previniendo así, el acceso de personas no autorizadas.
- Llevar hoja de control de mantenimiento.
- Utilizar zapatos o botas con suela de hule, casco de seguridad, gafas protectoras, guantes aislantes de electricidad, cinturones de seguridad, arnés para las alturas y mascarilla antipolvo, entro otros.
- No manejar alimentos ni bebidas en área de trabajo.
- No usar ningún tipo de joyería metálica que pueda estar expuesta a circuitos activos.
- Evitar contacto con las terminales de los paneles, puesto que se encuentran energizadas debido a la radiación solar.
- Prestar especial atención al trabajo que se realice.

- Utilizar caja de herramientas adecuadas, porta herramientas (generalmente de cuero, cinta de aislar apropiada , linterna recargable y escalera

II. Riesgo por fenómenos telúricos y tectónicos.

En el caso que ocurriera algún temblor o terremoto del cual pudiere derivarse un riesgo de accidente, se recomienda actuar de la siguiente manera:

- Mantener la calma en todo momento, sobre todo no gritar y asustar a demás personas.
- No correr, esto con el fin de evitar lesiones en caso de caída o desplazamiento de objetos.
- Una vez terminado el sismo o terremoto se deberá inspeccionar el entorno y comprobar si existen riesgos adherentes o personas en peligro para informarlos al encargado.
- No entrar en lugares que evidencien daños en su estructura.

III. Riesgo por incendio.

Los riesgos de incendio, pueden darse en varios lugares del sistema fotovoltaico, por lo que es importante disponer de un plan contra incendios, los elementos y recomendaciones básicas que se debe tener en cuenta son:

- Evitar tener en el ambiente inmediato materiales inflamables.
- Todas las áreas de paso, deberán encontrarse libres de obstáculos.
- Disponer de equipos de extinción de incendios, los cuales deben estar en perfecto estado y en lugares o puntos clave.
- Mantener señalización visible en caso de incendios.
- Dar voces de alarma.

IV. Riesgo por fenómenos atmosféricos.

Al interior del Campus Central, pueden manifestarse tormentas, vientos e insolación por altas temperaturas, entre algunos otros, que presenten un nivel de riesgo tanto para el

personal que realiza el mantenimiento de los sistemas, como para el propio equipo, por ello se recomienda:

- Mantener bien asilado el sistema fotovoltaico.
- En caso que estos fenómenos presenten un alto riesgo para el personal que realiza el mantenimiento, se recomienda suspender toda actividad.
- Proteger el sistema mediante un sistema de pararrayos.

V. Riesgo de emergencias o accidentes.

Tomadas las medidas de seguridad pertinentes, se evitan diferentes riesgos de accidentes. En el caso de que se presenten emergencias o accidentes, tomar en cuenta las siguientes disposiciones:

- Tener carteles o avisos en lugares visibles, tanto el listado tanto de la clínica universitaria, como el de la estación de bomberos y centros de asistencia más cercanos.
- Tener personal contratado con afiliación al Instituto Guatemalteco de Seguridad Social -IGSS- y/o con seguro médico.
- Disponer de un botiquín o kit de primeros auxilios.

4.3.2.4. Plan de abandono

El plan de abandono, es el conjunto de acciones que se llevan a cabo para abandonar el área o instalación del proyecto, incluyendo las medidas a adoptar para evitar efectos adversos al ambiente. En relación a ello, se tiene:

I. Acciones generales.

Están orientadas a regular las actividades generales que se han de realizar una vez finalizadas las etapas de instalación y operación del proyecto. Entre los procedimientos generales que se han de seguir en la ejecución del plan de abandono para los paneles, estructuras y montajes del proyecto, se pueden mencionar:

- Realización de las actividades de desmantelamiento de obras temporales, almacenes, equipos de generación, iluminación e interconexión eléctrica,
- Traslado de los equipos y material de desmonte generados a los lugares previamente establecidos por el asesor o responsable.
- Las herramientas, equipos y/o maquinaria que serán empleados en las actividades y proceso de abandono, deberán estar en perfecto estado de operación, para prevenir mayores niveles de ruidos y posibles fugas de combustibles u otros elementos.
- Las áreas de trabajo donde se implemente el plan de abandono, deben ser señalizadas y delimitadas.
- Los trabajadores deberán hacer uso de equipos e indumentaria de seguridad
- Realizar la limpieza y restauración de las áreas intervenidas, devolviéndolas a las condiciones originales, previas a la intervención.

II. Requerimientos.

Por su parte, los requerimientos básicos que se deben cumplir para la ejecución del presente plan, en términos generales son:

- Comunicación a las autoridades competentes de la ejecución del plan
- Desmontar, desplazar y proteger todas las estructuras sobre y bajo tierra
- Presentación del informe de abandono a la entidad correspondiente
- Seguimiento de la efectividad de las medidas

III. Esquema general del plan.

A modo de resumen, se presenta en la tabla siguiente, el esquema general del plan de abandono del proyecto.

Tabla 30. Esquema general del plan de abandono del proyecto

Medida	Descripción
Comunicación del desarrollo del Plan	Se comunicará a las autoridades competentes, a fin de coordinar el abandono, así como, las medidas y acciones que se aplicaran
Procedimiento de desmantelamiento	Los componentes del desmantelamiento serán: obras temporales, almacenes, paneles, estructuras, retiro de cimentaciones, recolección transporte y disposición final de residuos, desmontaje de sistemas eléctricos, entre otras,
Gestión de residuos peligrosos	Se realizará un adecuado manejo de los residuos contaminantes (baterías, aceites, productos químicos, entre otros), y por su parte, la disposición de estos, se realizará en lugares autorizados, teniendo en consideración en lo posible no afectar al medio ambiente
Delimitación de áreas de trabajo	Las áreas de trabajo donde se implemente el plan de abandono, serán señalizadas y delimitadas, prohibiéndose el paso de personal ajeno a estas actividades, como una medida de precaución para evitar accidentes
Control de acceso para todas las estructuras	Se deben adoptar prácticas de seguridad y advertir a los posibles usuarios del entorno la presencia de algún peligro
Limpieza de los sitios	Se verificará que la limpieza de los sitios se haya elaborado conforme los acuerdos adoptados, asimismo, se velará porque la disposición de los restos producidos sea trasladada a lugares autorizados y que la limpieza sea absoluta

Fuente: Elaboración propia

IV. Presentación de informe a la autoridad competente.

Una vez que hayan sido culminadas todas las actividades del plan de abandono para las instalaciones del proyecto, se presentará un informe a la autoridad competente conteniendo todas las actividades desarrolladas, objetivos cumplidos y resultados obtenidos, documentándose a través del empleo de fotografías y documentos de almacenaje de equipos y disposición final de residuos.

V. Responsable

Para la puesta en marcha y ejecución de los procedimientos descritos anteriormente, se tiene que establecer los siguientes niveles de responsabilidad:

- *Responsable de la operación del proyecto.*
 - Velar para que las actividades que estén a su cargo, se adecuen al cumplimiento del presente plan.
 - Organizar los trabajos de desmontaje o demolición definidos, manejo de los residuos generados y la limpieza de sitios.
 - Vigilar porque la supervisión de las labores se lleve a cabo según lo descrito en el plan.

- *Contratistas.*
 - Efectuar las demoliciones respetando los requisitos establecidos en el plan.
 - Gestionar los residuos generados en las instalaciones según lo establecido.
 - Cumplir lo indicado con el plan y con los lineamientos de seguridad sugeridos.

4.4. Estudio Financiero

En este apartado, se realiza el análisis financiero para la instalación y desarrollo del proyecto, describiendo cada parte importante dentro de las que se encuentra el costo de la inversión inicial, el presupuesto de gastos, los ingresos y demás elementos que permitirán medir la rentabilidad del mismo durante su vida útil.

4.4.1. Costo de inversión inicial

Dentro de la Inversión Inicial, está referidos todos aquellos egresos de dinero que se harán para el montaje y construcción del proyecto. En especial, se incluyen categorías del costo del equipo de generación, costo del equipo de iluminación, así como datos obtenidos de la estructuración de los estudios anteriores.

4.4.1.1. Equipo de generación

Dentro del equipo de generación, se incluyen cotizaciones de empresas nacionales como Grupo Solares, Ecolumen, Copensa y algunos sitios web internacionales⁷ en rubros como

⁷1.http://www.europesolarshop.com/kaco.html?qclid=CjwKCAjwk6P2BRAIEiwAfVJ0rP6II5vsWuJqmD7fYsSsAmdiktEnUjZICYxXr2BYfPW9OfTpJLo_xfRoC738QAvD_BwE&infinite=true&
 2.https://www.merkasol.com/epages/62387086.sf/es_ES/?ObjectPath=/Shops/62387086/Products/estructura031

la cantidad de paneles fotovoltaicos, medidores, inversores, interruptores, cables, estructuras de soporte y costos de la obra civil, entre algunos otros.

Tabla 31. Costos equipo de generación

Elementos	Cantidad	Precio est/unidad	Precio total
Generación			Q2,263,536.00
Panel solar 400W	1,200	Q1,451.00	Q1,741,200.00
Inversor 48.0 TL3 XL INT	10	Q47,332.00	Q473,320.00
Cajas de conexión, Fusibles de 10A	56	Q77.00	Q4,312.00
Interruptor de Corte de carga, 60 A	8	Q2,538.00	Q20,304.00
Cables de conexión multicontact entre paneles	1,200	Q113.00	Q135,600.00
Metros Cable de interconexión entre módulos-caja	360	Q13.20	Q4,752.00
Metros Cable conexionado cajas de conexiones-inversor	1,720	Q88.00	Q151,360.00
Metros Cable de conexión alterna	480	Q193.10	Q92,688.00
Obra Civil			Q1,371,000.00
Estructuras de soporte	1,200	Q730.00	Q876,000.00
Pernos y líquidos para las estructuras de soporte	4,800	Q50.00	Q240,000.00
Tornillería y otros para sujeción de paneles	1,200	Q20.00	Q24,000.00
Metros de zanjeado y relleno	1,320	Q175.00	Q231,000.00
Interconexión			Q559,960.00
Interruptor automático, I=200A, NSX250N TM200D 4P4D	2	Q231,000.00	Q462,000.00
Contador Bidireccional	2	Q2,780.00	Q5,560.00
Metros de cable tripolar 15kV, Al	300	Q160.00	Q48,000.00
Metros de cable de cobre desnudo para Puesta a tierra	1200	Q37.00	Q44,400.00
TOTAL			Q4,554,496.00

Nota: * Medidas estimando una distancia aproximada de 200m entre los paneles y el cuarto de control.

Fuente: Elaboración propia en base a cotizaciones

4.4.1.2. Equipo de iluminación

En el equipo de iluminación, se incluyen cotizaciones principalmente obtenidas de Marroquín (2017), en rubros como el precio unitario de las torres, instalaciones eléctricas, obra civil y sistema de emergencia; y en el caso de la cantidad de lámparas requeridas, se hace uso del sitio Web del fabricante.⁸

³ <https://www.se.com/es/es/product/LV431851/disjuntor---nsx250n-tm200d-4p4d/>

⁸ <https://gduran.com/tarifas/electricidad/Sylvania.pdf>

Tabla 32. Costo equipo de iluminación

Elementos	Cantidad	Precio est/unidad	Precio total
Sistema de iluminación			Q1,341,904.00
Torre metálica seccionable	4	Q250,000.00	Q1,000,000.00
Lámparas	48	Q7,123.00	Q341,904.00
Instalación eléctrica de potencia			Q735,600.00
Acometida de media tensión	1	Q20,000.00	Q20,000.00
Celda en media tensión	5	Q55,000.00	Q275,000.00
metros de cable tripolar 15kV, Al	610	Q160.00	Q97,600.00
Juego codo rompe carga 15kV	15	Q1,200.00	Q18,000.00
Transformador 3F, anillo, 50 kVA	5	Q55,000.00	Q275,000.00
Instalaciones complementarias	1	Q50,000.00	Q50,000.00
Instalación eléctrica de control			Q258,210.00
Micrologix 1400	4	Q6,500.00	Q26,000.00
Factory Talk (Ignition V.7)	1	Q58,500.00	Q58,500.00
Switch Ethernet Stratix 5700	7	Q7,500.00	Q52,500.00
Fibra óptica monomodo	610	Q11.00	Q6,710.00
Contactador 3 polos, 23 A, 600 VAC, 120V	48	Q1,000.00	Q48,000.00
Interruptor termomagnético 2P, 25kA, 20A	48	Q190.00	Q9,120.00
Contacto lateral para interruptor	48	Q35.00	Q1,680.00
Gabinetes IP65	4	Q4,300.00	Q17,200.00
Instalaciones complementarias	1	Q35,000.00	Q35,000.00
Obra civil			Q721,850.00
metros de zanjeado y relleno	500	Q175.00	Q87,500.00
Tubería 4" HG	320	Q550.00	Q176,000.00
Vueltas 4" HG	8	Q475.00	Q3,800.00
Tubería 2" HG	320	Q325.00	Q104,000.00
Vueltas 2" HG	8	Q275.00	Q2,200.00
Resanado graderío	95	Q250.00	Q23,750.00
Cajas de registro de concreto tipo H	14	Q1,900.00	Q26,600.00
Cimiento para torres de iluminación	4	Q20,000.00	Q80,000.00
Cuarto eléctrico	1	Q178,000.00	Q178,000.00
Instalaciones complementarias	1	Q40,000.00	Q40,000.00
Total sin sistema de emergencia			Q3,057,564.00
Sistema de emergencia			Q660,000.00
Transformador 3F, radial, 225 kVA	1	Q280,000.00	Q280,000.00
Generador de emergencia 225 kVA	1	Q380,000.00	Q380,000.00
Total con sistema de emergencia			Q3,717,564.00

Fuente: Elaboración propia en base a datos de Marroquín (2015)

4.4.1.3. Inversión inicial

Derivado de lo anterior, la inversión inicial del proyecto, queda de la siguiente manera:

Tabla 33. Inversión inicial del Proyecto

Descripción	Costo Total	Participación %
Costo equipo de Generación	Q4,554,496.00	53.78%
Costo equipo de Iluminación	Q3,717,564.00	43.90%
Estudio de Impacto Ambiental	Q30,000.00	0.35%
Remoción obstáculos en azoteas	Q3,000.00	0.04%
Salario asesor experto	Q163,285.20	1.93%
Total	Q8,468,345.20	100.00%

Fuente: Elaboración propia

4.4.2. Costo de operación y mantenimiento

El costo de operación y mantenimiento, es un proceso que se debe definir y ejecutar por la Universidad, es por ello que dentro del periodo de vida útil del proyecto (Ver Supuestos Financieros), se proyecta incurrir en costos y gastos de forma anual tanto en el sistema fotovoltaico como en el sistema de iluminación.

Por una parte, el sistema fotovoltaico, debe generar energía de forma eficiente y sostenible durante su vida útil, lo cual se logra mediante un plan de mantenimiento que genera un costo. Este plan de mantenimiento, incluye aspectos como la limpieza de la superficie de los paneles, revisión de todas las conexiones eléctricas y de fijación de la estructura, presencia de humedad, limpieza de la azotea y equipos, entre algunos otros.

En atención a cotizaciones realizadas a empresas guatemaltecas, en la siguiente tabla, se da un estimado del costo anual de lo que costaría contratar externamente el mantenimiento del cableado (conexiones eléctricas) y revisión del funcionamiento correcto del sistema fotovoltaico.

Tabla 34. Costo mantenimiento de conexiones eléctricas, sistema fotovoltaico

Descripción	Edificio S3 y S6 1200 paneles
Mano de obra (limpieza y revisión general de equipos, estructura, cables, conexiones, red de tierras)	Q32,000.00
Costo anual (mantenimiento 2 veces al año)	Q32,000.00

Fuente: Elaboración propia

Nota: la mayoría de empresas por la instalación de paneles, ofrece de dos a tres años de mantenimiento completamente gratis.

Adicional, al mantenimiento de cableado y de la verificación del funcionamiento correcto del sistema, se le debe agregar la vigilancia de limpieza periódica de los paneles y demás equipo. Por tanto, es necesario que el proyecto cuente con una persona contratada para el efecto (Ver Estudio Administrativo), así como con diversos accesorios para la limpieza, tal como se observa en la siguiente tabla:

Tabla 35. Costo mantenimiento de limpieza paneles, sistema fotovoltaico

Descripción	Edificio S3 y S6 1200 paneles
Accesorios para limpieza (mangueras, paños suaves, cinchos plásticos, imprevistos)	Q6,000.00
Salario Vigilante	Q59,646.60
Total anual	Q65,646.60

Fuente: Elaboración propia

Aunado al costo anual del mantenimiento fotovoltaico, se debe considerar el precio del mantenimiento correctivo y del mantenimiento preventivo que requiere el sistema de iluminación en el estadio Revolución.

Como mantenimiento preventivo, el sistema de iluminación deberá tener una frecuencia de al menos una vez al año. En ese sentido, de acuerdo a expertos en el tema y a Carpio (2019), el precio del mantenimiento preventivo es de aproximadamente Q8,000.00 al año.

Por su parte, el mantenimiento correctivo estará en función de la durabilidad o vida útil de la luminaria elegida (Ver Estudio Técnico). En este documento, se pretende que estas luminarias se utilicen alrededor de 4 horas al día, con un aproximado de 144 días al año (Ver Estudio de Mercado), por lo que estas permanecerían un estimado de:

$$Vida\ útil\ lámpara = \frac{7,500\ hrs}{4 * 144} = 13\ años$$

En ese sentido, se debe estimar un cambio de lámparas a partir de los 13 años, para ello se toma el precio total de las 48 lámparas (Q341,904.00) y se le suma el costo estimado de técnicos y maquinaria por cambio de lámparas, el cual asciende a Q15,000.00 según cotizaciones.

Como resultado, los costos de mantenimiento anual del sistema fotovoltaico y del sistema de iluminación, quedan de la siguiente forma:

Tabla 36. Costo mantenimiento anual, sistema fotovoltaico y sistema de iluminación

Descripción	Costo Total (anual)	Costo Total (a los 13 años)
Costo anual sistema fotovoltaico (2 veces al año)	Q32,000.00	Q32,000.00
Costo anual de accesorios para limpieza	Q6,000.00	Q6,000.00
Salario anual vigilante	Q59,646.60	Q59,646.60
Costo anual sistema de iluminación (1 vez al año)	Q8,000.00	Q8,000.00
Costo cambio de luminarias (a los 13 años)		Q356,904.00
Costo anual de operación y mantenimiento	Q105,646.60	Q461,550.60

Fuente: Elaboración propia

Cabe resaltar, que el costo de cambio de luminarias, únicamente será en el décimo tercer año, luego se normalizan los gastos de operación de ambos sistemas.

4.4.3. Estimación de ingresos

Este análisis, se fundamenta en el beneficio que se obtiene al producir la propia energía con un sistema de generación fotovoltaica. En ese sentido, se presenta el ahorro en que

se estaría incurriendo con el suministro de electricidad al estadio y a la red interna universitaria en cuanto esta fuera proporcionada por energía convencional.

Se destaca el hecho, de que el precio por energía generada, no incluye impuestos o cargos por consumidor, por potencia máxima y por potencia contratada (Ver punto 4.1.4); de la misma manera, no se incluye ningún cargo por inyectar y hacer uso de la red de distribución de electricidad como es el Valor Agregado de Distribución -VAD- (actualmente el promedio de este valor es de 14.5% de la tarifa final). Estos, no se han incluido para crear un balance más preciso, y para que al mostrar estos costos en forma simple y sencilla, se pueda apreciar los ingresos y egresos del sistema fotovoltaico.

Por su parte, el valor del cargo unitario por energía (Q/kWh), para los cálculos correspondientes, se realizó mediante un promedio de la tarifa establecida durante los trimestres del año 2019.

Partiendo de lo anterior, como primer punto, se encuentra el consumo de energía a requerir de forma anual para uso del estadio. Esto, se hace con el objeto financiero de calcular el precio de la energía que se suministrará al recinto deportivo, de modo que, se toma la tarifa que actualmente se distribuye en estas instalaciones, siendo esta la Tarifa en Mediana Tensión con Demanda fuera de punta -MTDfp-.

Tabla 37. Ingreso energía anual, estadio Revolución

Año	Energía requerida	Precio promedio	Anual Quetzales
	kWh/año	kWh/año -Q-	-Q-
1	142,896	0.8938	127,720.44
2	142,896	0.8938	127,720.44
3	142,896	0.8938	127,720.44
4	142,896	0.8938	127,720.44
5	142,896	0.8938	127,720.44
6	142,896	0.8938	127,720.44
7	142,896	0.8938	127,720.44
8	142,896	0.8938	127,720.44
9	142,896	0.8938	127,720.44
10	142,896	0.8938	127,720.44

Continuación de la tabla n° 37.

Año	Energía requerida kWh/año	Precio promedio kWh/año -Q-	Anual Quetzales -Q-
11	142,896	0.8938	127,720.44
12	142,896	0.8938	127,720.44
13	142,896	0.8938	127,720.44
14	142,896	0.8938	127,720.44
15	142,896	0.8938	127,720.44
16	142,896	0.8938	127,720.44
17	142,896	0.8938	127,720.44
18	142,896	0.8938	127,720.44
19	142,896	0.8938	127,720.44
20	142,896	0.8938	127,720.44
21	142,896	0.8938	127,720.44
22	142,896	0.8938	127,720.44
23	142,896	0.8938	127,720.44
24	142,896	0.8938	127,720.44
25	142,896	0.8938	127,720.44

Fuente: Elaboración propia

Como segundo punto, se presenta la generación real de los 1,200 paneles menos la energía a requerir por el estadio, ya que el exceso o superávit de energía que se produzca, se inyectará a los edificios o para cualquier otro uso a lo interno de la Universidad con el contrato o tarifa en Baja Tensión con Demanda fuera de punta -BTDfp.

Tabla 38. Ingreso energía anual destinada a edificios

Año	Generación kWh/año	Superávit energía kWh/año⁹	Precio promedio kWh/año quetzales	Anuales quetzales -Q-
1	817,132.8	674,236.80	0.96417	650,078.90
2	796,704.5	653,808.48	0.96417	630,382.52
3	790,984.6	648,088.55	0.96417	624,867.54
4	785,264.6	642,368.62	0.96417	619,352.55
5	779,544.7	636,648.69	0.96417	613,837.57

⁹ Generación kWh/año (-) Energía a consumir por el estadio kWh/año

Continuación de la tabla n° 38.

Año	Generación kWh/año	Superávit energía kWh/año¹⁰	Precio promedio kWh/año quetzales	Anuales quetzales -Q-
6	773,824.8	630,928.76	0.96417	608,322.58
7	768,104.8	625,208.83	0.96417	602,807.60
8	762,384.9	619,488.90	0.96417	597,292.62
9	756,665.0	613,768.97	0.96417	591,777.63
10	750,945.0	608,049.04	0.96417	586,262.65
11	745,225.1	602,329.11	0.96417	580,747.66
12	739,505.2	596,609.18	0.96417	575,232.68
13	733,785.3	590,889.25	0.96417	569,717.69
14	728,065.3	585,169.32	0.96417	564,202.71
15	722,345.4	579,449.40	0.96417	558,687.72
16	716,625.5	573,729.47	0.96417	553,172.74
17	710,905.5	568,009.54	0.96417	547,657.75
18	705,185.6	562,289.61	0.96417	542,142.77
19	699,465.7	556,569.68	0.96417	536,627.79
20	693,745.7	550,849.75	0.96417	531,112.80
21	688,025.8	545,129.82	0.96417	525,597.82
22	682,305.9	539,409.89	0.96417	520,082.83
23	676,586.0	533,689.96	0.96417	514,567.85
24	670,866.0	527,970.03	0.96417	509,052.86
25	665,146.1	522,250.10	0.96417	503,537.88

Fuente: Elaboración propia

De esta manera, y con el fin de determinar el beneficio en términos económicos del proyecto, en la siguiente tabla, se determina el total de los ingresos anuales en Quetzales del sistema de generación fotovoltaica (incluyendo pérdidas del 12%):

¹⁰ Generación kWh/año (-) Energía a consumir por el estadio kWh/año

Tabla 39. Ingreso total anual del sistema fotovoltaico

Año	Total Quetzales -Q- (energía requerida + energía generada)
1	777,799.34
2	758,102.97
3	752,587.98
4	747,073.00
5	741,558.01
6	739,874.64
7	734,359.66
8	728,844.67
9	723,329.69
10	717,814.70
11	716,246.28
12	710,731.30
13	705,216.31
14	699,701.33
15	694,186.34
16	692,736.32
17	687,221.33
18	681,706.35
19	676,191.36
20	670,676.38
21	669,348.30
22	668,145.83
23	662,630.85
24	657,115.86
25	651,600.88

Fuente: Elaboración propia

4.4.3.1. Otros ingresos

Como ingresos adicionales, se puede tomar el mercado de carbono, a través del cual los países comprometidos a reducir sus emisiones, compran bonos que emiten empresas que reducen la emisión de contaminantes en países subdesarrollados. Según Palacios (2009), el valor de una tonelada de dióxido de carbono -CO₂- que se evita generar, se

vende entre US\$ 10.0 y US\$ 12.0, alrededor de Q 77.0 y Q 90.0 al tipo de cambio de referencia del año 2019 (7.70).

Como ejemplo, durante el primer año de operación del proyecto, la producción de energía eléctrica alcanzaría los 817,132.8 kWh/año, incorporando el dato de que por cada kWh generado se evitan 0.28567 kg de CO₂, se tiene entonces un total de 233,430.3 kg de CO₂ ahorrados, lo que multiplicado por 77.0, permite al proyecto la obtención de ingresos adicionales por Q 17,974.1.

Para conocer estos ingresos adicionales, pero sobre todo para entender la importancia que tiene el proyecto desde el punto de vista ambiental, se elaboran los cálculos de cuanta emisión de CO₂ se ahorra anualmente con el sistema funcionando, quedando de la siguiente manera:

Tabla 40. Ingresos por concepto de CER's y ahorro de emisiones CO₂

Años	Energía total generada kWh/año -Q-	Factor CO ₂ kg/kWh generado	Ahorro CO ₂ edificios S3 y S6 kg CO ₂	Ahorro CO ₂ edificios S3 y S6 toneladas CO ₂	Ingresos por concepto de venta de CER's -Q-
1	817,132.8	0.28567	233,430.33	233.43	17,974.14
2	796,704.5	0.28567	227,594.57	227.59	17,524.78
3	790,984.6	0.28567	225,960.56	225.96	17,398.96
4	785,264.6	0.28567	224,326.54	224.33	17,273.14
5	779,544.7	0.28567	222,692.53	222.69	17,147.32
6	773,824.8	0.28567	221,058.52	221.06	17,021.51
7	768,104.8	0.28567	219,424.51	219.42	16,895.69
8	762,384.9	0.28567	217,790.50	217.79	16,769.87
9	756,665.0	0.28567	216,156.48	216.16	16,644.05
10	750,945.0	0.28567	214,522.47	214.52	16,518.23
11	745,225.1	0.28567	212,888.46	212.89	16,392.41
12	739,505.2	0.28567	211,254.45	211.25	16,266.59
13	733,785.3	0.28567	209,620.43	209.62	16,140.77
14	728,065.3	0.28567	207,986.42	207.99	16,014.95
15	722,345.4	0.28567	206,352.41	206.35	15,889.14
16	716,625.5	0.28567	204,718.40	204.72	15,763.32
17	710,905.5	0.28567	203,084.38	203.08	15,637.50

Continuación de la tabla n° 40.

Años	Energía total generada kWh/año -Q-	Factor CO ₂ kg/kWh generado	Ahorro CO ₂ edificios S3 y S6 kg CO ₂	Ahorro CO ₂ edificios S3 y S6 toneladas CO ₂	Ingresos por concepto de venta de CER's -Q-
18	705,185.6	0.28567	201,450.37	201.45	15,511.68
19	699,465.7	0.28567	199,816.36	199.82	15,385.86
20	693,745.7	0.28567	198,182.35	198.18	15,260.04
21	688,025.8	0.28567	196,548.34	196.55	15,134.22
22	682,305.9	0.28567	194,914.32	194.91	15,008.40
23	676,586.0	0.28567	193,280.31	193.28	14,882.58
24	670,866.0	0.28567	191,646.30	191.65	14,756.76
25	665,146.1	0.28567	190,012.29	190.01	14,630.95
TOTAL				5,244.71	403,842.87

Fuente: Elaboración propia

Resumiendo, el factor de referencia a utilizar, es de 0.28567 Kg de CO₂ por cada kilovatio hora -kWh- de energía producida (SunEarthTools, 2021). Este factor, se multiplica por la energía generada durante los 25 años de vida útil del proyecto y como resultado se tiene:

- Ahorro de emisiones de dióxido de carbono equivalente a 5,244.71 toneladas.
- Otros ingresos por concepto de venta de Certificados de Reducción de Emisiones -CER-, por un valor Q 403,842.87.

4.4.4. Supuestos financieros

Para la instalación y desarrollo del proyecto, se han estudiado diversos supuestos o escenarios financieros, estos son:

- *Donativo.*

Se asume una donación equivalente para el costo total del equipo de iluminación en el estadio Revolución. Dicho de otro modo, toda la inversión de luminarias será gestionada a través de otra fuente externa como donativos de otras entidades interesadas en el medio ambiente o bien entidades interesadas en el deporte como lo puede ser, el

Ministerio de Cultura y Deportes -MCD-, la Confederación Deportiva Autónoma de Guatemala -CDAG- y la Federación Nacional de Fútbol -FEDEFUT-, entre algunas otras.

- *Periodo de análisis.*

El proyecto está diseñado para una vida útil de 25 años.

- *Mantenimiento.*

La Universidad, se hará cargo tanto del mantenimiento correctivo como del mantenimiento preventivo del sistema de iluminación y del sistema fotovoltaico. A raíz de ello, se supone que los egresos totales por mantenimiento aumentarán 3% cada 5 años.

- *Tasa de descuento.*

Se utilizará una Tasa de Descuento o Costo de Oportunidad del Capital -COK- del 12%. Este porcentaje, es el recomendado por la secretaria de Planificación y Programación de la Presidencia -SEGEPLAN- para entidades públicas.

- *Precio de energía.*

Se asume un precio o costo fijo de energía por el periodo de análisis de 25 años.

- *Excedente de energía.*

Debido a que el sistema fotovoltaico cubre en su totalidad la demanda de energía del estadio y a su vez genera excedentes, se asume que el superávit producido se venderá en su totalidad a la Universidad.

- *Recursos financieros para la inversión.*

Para la ejecución del proyecto, se asumen dos escenarios posibles de fuentes de financiamiento:

- El financiamiento estará a cargo en su totalidad por la Universidad. Al realizarse el financiamiento de parte del presupuesto adjudicado, no se tendrá a bien determinar el servicio de deuda.
- Una parte, el 37% del total del costo de inversión (Q1,750,781.2), corresponderá a las aportaciones directas de la Universidad; y la otra, el restante 63%

(Q3,000,000.0), como financiamiento externo a partir de la colocación de capital en préstamo.

- *Programa de financiamiento.*

El programa de financiamiento del préstamo, integra los datos del préstamo bancario equivalente al 63% del costo total de la inversión (Q3,000,000.0). Se ha planificado, la amortización en un plazo de 11 años, sin periodo de gracia y con una tasa de interés del 9% anual (Según cotizaciones a los bancos del sistema nacional, el préstamo podría obtenerse a una tasa del 8% anual).

Tabla 41. Programa de financiamiento del préstamo, en Quetzales

Años	Saldo Inicial	Cuota nivelada	Amortización K	Amortización I	Saldo Final
1	3,000,000.00	Q440,839.97	170,839.97	270,000.00	2,829,160.03
2	2,829,160.03	Q440,839.97	186,215.57	254,624.40	2,642,944.46
3	2,642,944.46	Q440,839.97	202,974.97	237,865.00	2,439,969.49
4	2,439,969.49	Q440,839.97	221,242.72	219,597.25	2,218,726.78
5	2,218,726.78	Q440,839.97	241,154.56	199,685.41	1,977,572.22
6	1,977,572.22	Q440,839.97	262,858.47	177,981.50	1,714,713.75
7	1,714,713.75	Q440,839.97	286,515.73	154,324.24	1,428,198.01
8	1,428,198.01	Q440,839.97	312,302.15	128,537.82	1,115,895.87
9	1,115,895.87	Q440,839.97	340,409.34	100,430.63	775,486.52
10	775,486.52	Q440,839.97	371,046.18	69,793.79	404,440.34
11	404,440.34	Q440,839.97	404,440.34	36,399.63	0.00
TOTAL		4,849,239.67	3,000,000.00	1,849,239.67	

Fuente: Elaboración propia

4.4.5. Flujo de fondos

Una vez tomados los anteriores supuestos, se desarrolla el flujo de fondos del proyecto, sabiendo que la Universidad por ser un ente del Estado está exenta de pagar el Impuesto al Valor Agregado -IVA- y el Impuesto Sobre la Renta -ISR-.

De esa manera, en las tablas 40 y 41 se muestran los flujos de fondos sin préstamo y con préstamo del proyecto: (Ver Anexo nº 12 y 13)

Tabla 42. Flujo de fondos, escenario sin préstamo

Año	Inversión Inicial	Producción Total anual paneles Q (+)	M. Preventivo (-)	M. correctivo (-)	Flujo de Fondos	Flujo de Fondos Acumulado
0	(4,750,781.2)				-4,750,781.20	-4,750,781.20
1		777,799.34	73,646.60		704,152.74	-4,046,628.46
2		758,102.97	73,646.60		684,456.37	-3,362,172.09
3		752,587.98	105,646.60		646,941.38	-2,715,230.71
4		747,073.00	105,646.60		641,426.40	-2,073,804.31
5		741,558.01	108,816.00		632,742.02	-1,441,062.30
6		739,874.64	108,816.00		631,058.64	-810,003.65
7		734,359.66	108,816.00		625,543.66	-184,459.99
8		728,844.67	108,816.00		620,028.68	435,568.68
9		723,329.69	108,816.00		614,513.69	1,050,082.37
10		717,814.70	112,080.48		605,734.23	1,655,816.60
11		716,246.28	112,080.48		604,165.80	2,259,982.40
12		710,731.30	112,080.48		598,650.82	2,858,633.22
13		705,216.31	112,080.48	355,904.00	236,231.83	3,094,865.06
14		699,701.33	112,080.48		587,620.85	3,682,485.91
15		694,186.34	115,442.89		578,743.45	4,261,229.36
16		692,736.32	115,442.89		577,293.43	4,838,522.78
17		687,221.33	115,442.89		571,778.44	5,410,301.22
18		681,706.35	115,442.89		566,263.46	5,976,564.68
19		676,191.36	115,442.89		560,748.47	6,537,313.15
20		670,676.38	118,906.18		551,770.20	7,089,083.35
21		669,348.30	118,906.18		550,442.12	7,639,525.47
22		668,145.83	118,906.18		549,239.65	8,188,765.13
23		662,630.85	118,906.18		543,724.67	8,732,489.79
24		657,115.86	118,906.18		538,209.68	9,270,699.48
25		651,600.88	118,906.18		532,694.70	9,803,394.18

Fuente: Elaboración propia

Tabla 43. Flujo de fondos, escenario con préstamo

Año	Inversión Inicial	Producción Total anual paneles Q (+)	M. Preventivo (-)	M. Correctivo (-)	Pago Interés Préstamo (-)	Pago K préstamo (-)	Flujo de Fondos
0	(4,750,781.2) +3,000,000.0						(1,750,781.2)
1		777,799.34	73,646.60		270,000.00	170,839.97	263,312.77
2		758,102.97	73,646.60		254,624.40	186,215.57	243,616.40
3		752,587.98	105,646.60		237,865.00	202,974.97	206,101.41
4		747,073.00	105,646.60		219,597.25	221,242.72	200,586.43
5		741,558.01	108,816.00		199,685.41	241,154.56	191,902.05
6		739,874.64	108,816.00		177,981.50	262,858.47	190,218.67
7		734,359.66	108,816.00		154,324.24	286,515.73	184,703.69
8		728,844.67	108,816.00		128,537.82	312,302.15	179,188.70
9		723,329.69	108,816.00		100,430.63	340,409.34	173,673.72
10		717,814.70	112,080.48		69,793.79	371,046.18	164,894.26
11		716,246.28	112,080.48		36,399.63	404,440.34	163,325.83
12		710,731.30	112,080.48				598,650.82
13		705,216.31	112,080.48	356,904.00			236,231.83
14		699,701.33	112,080.48				587,620.85
15		694,186.34	115,442.89				578,743.45
16		692,736.32	115,442.89				577,293.43
17		687,221.33	115,442.89				571,778.44
18		681,706.35	115,442.89				566,263.46
19		676,191.36	115,442.89				560,748.47
20		670,676.38	118,906.18				551,770.20
21		669,348.30	118,906.18				550,442.12
22		668,145.83	118,906.18				549,239.65
23		662,630.85	118,906.18				543,724.67
24		657,115.86	118,906.18				538,209.68
25		651,600.88	118,906.18				532,694.70

Fuente: Elaboración propia

4.4.6. Evaluación financiera

Por medio de fórmulas financieras en Microsoft Excel, y con el fin de obtener valores de una manera sencilla y precisa, en la siguiente tabla, con los escenarios propuestos y agregando otro panorama en donde se pueden incluir o no los CER's como otros ingresos, se elabora la estimación de algunos Indicadores de Rentabilidad. (Ver Anexo nº 14 y 15)

Tabla 44. Indicadores de rentabilidad del proyecto

Descripción	Sin CER'S		Con CER's	
	Sin préstamo	Con préstamo	Sin préstamo	Con préstamo
Tasa de descuento -COK-	12%	12%	12%	12%
Valor Actual Neto Financiero -VANF-	Q72,679.1	Q455,103.4	Q204,722.5	Q587,147.4
Tasa Interna de Retorno Financiera -TIRF-	12.3%	14.8%	12.8%	15.6%
Periodo de Recuperación de la inversión -PRI-	8 años	9 años	8 años	8 años
Relación Beneficio Costo -RB/C-	1.02	1.51	1.04	1.54
Índice de Rentabilidad -IR-	1.03	1.26	1.05	1.34

Fuente: Elaboración propia

Con respecto a estos valores obtenidos, se determinó que el proyecto presentó variaciones ante los supuestos o escenarios planteados, sin embargo, se considera que los mismos no son significativos debido a que el proyecto sigue presentando valores positivos.

4.4.6.1. Criterios de evaluación

En los escenarios propuestos y aplicando los criterios de rentabilidad, se puede comprobar que el proyecto desde el punto de vista financiero es rentable, destacando lo siguiente:

I. Valor Actual Neto -VANF- y Tasa Interna de Retorno -TIRF-.

A una tasa de descuento o COK del 12%, se tiene que el Valor Actual Neto Financiero para todos los escenarios es mayor o igual a 0 ($VAN > 0$), lo que indica que el proyecto es rentable.

Por su parte, se tiene que la Tasa Interna de Retorno para todos los escenarios es mayor que la tasa de descuento del 12% ($TIR > COK$). Esto quiere decir, que el proyecto supera las expectativas de inversión.

II. Periodo de Recuperación de la Inversión -PRI-

Para determinar el Periodo de Recuperación de la Inversión, se establece el flujo neto de fondos, con estos montos se realiza una columna de saldos acumulados durante la vida útil del proyecto, y con esta información establecida, se ubica el saldo acumulado que sea superior a la inversión inicial. En este caso, se observa en la tabla n° 42, que el Periodo de Recuperación se encuentra entre los 8 y 9 años respectivamente.

III. Relación Beneficio Costo -RB/C-

Después de calcular la Relación Beneficio Costo, y aplicando el criterio de rentabilidad, se tiene que este indicador para todos los escenarios es mayor o igual a 1 ($RB/C > 1$), lo que demuestra una asignación de recursos eficiente, y por lo tanto demuestra también que el proyecto es rentable.

IV. Índice de Rentabilidad -IR-

Aplicando la metodología para el cálculo del índice de Rentabilidad, se determinó que este indicador para la mayor parte de escenarios es mayor o igual a 1 ($IR > 1$), lo que indica que por Q invertido, el proyecto está ganando, por lo tanto es rentable invertir en el mismo.

4.4.7. Sensibilidad

Aunado a los anteriores escenarios, se consideró necesario evaluar el proyecto en otros dos escenarios complementarios. El primero, es aquel en donde se presenta una reducción en la variable precio de la energía del 3% cada 5 años; y en el segundo, de igual manera se presenta un cambio en la variable precio, aumentando 3% cada 5 años.

En la tabla siguiente, se presentan los principales valores obtenidos con el cambio en la variable precio de la energía:

Tabla 45. Sensibilidad ante la variable precio de la energía

Escenario 1. Disminución de Energía	Sin CER'S		Con CER's	
	Sin préstamo	Con préstamo	Sin préstamo	Con préstamo
Tasa de descuento -COK-	12%	12%	12%	12%
VANF	Q-140,352.1	Q242,072.9	Q-8,308.6	Q374,116.29
TIRF	11.6%	13.6%	12.0%	14.5%
PRI	8 años	10 años	8 años	9 años
RB/C	0.97	1.45	1.00	1.49
IR	0.98	1.14	1.00	1.21
Escenario 2. Aumento de Energía	Sin CER'S		Con CER's	
	Sin préstamo	Con préstamo	Sin préstamo	Con préstamo
Tasa de descuento -COK-	12%	12%	12%	12%
VANF	Q288,244.3	Q670,669.2	Q420,287.7	Q802,712.6
TIRF	12.9%	15.9%	13.3%	16.7%
PRI	8 años	9 años	8 años	8 años
RB/C	1.06	1.57	1.08	1.60
IR	1.07	1.38	1.09	1.46

Fuente: Elaboración propia

Luego de haber realizado el análisis financiero del proyecto y de haber aplicado el análisis de sensibilidad, se puede observar que la variable precio de la energía, es la variable que hace más sensible el proyecto, ya que una reducción en el precio de la energía afecta los

indicadores de rentabilidad; pero por otro lado, si aumenta el precio de la energía, el proyecto se ve beneficiado en gran medida.

4.4.8. Evaluación económica y social

La evaluación económica y social de proyectos, básicamente determina la conveniencia de ejecutar un proyecto desde la perspectiva de la sociedad y el bienestar colectivo. Para esta evaluación, se utiliza como metodología, la propuesta desarrollada por el Ministerio de Desarrollo Social del Gobierno de Chile (2013), para proyectos sociales.

Dado que esta evaluación debe realizarse en función de la sociedad, es necesario que las valoraciones de bienes y/o servicios se realicen con los denominados precios sombra, lo cual se calcula en el apartado siguiente.

4.4.8.1. Cálculo de precios sociales o precios sombra

Para la evaluación socio económica deberán utilizarse precios sociales, para ello, se utilizan los factores de corrección social según se ve en la siguiente tabla:

Tabla 46. Factores de corrección

Nombre del parámetro	Valor
Factor de corrección para la inversión	0.83
Factor de corrección para la operación y mantenimiento	0.85
Mano de obra calificada	0.91

Fuente: Elaboración propia en base a Alvarado (2017)

Los factores de corrección, fueron aplicados a los costos de inversión y a los costos de mantenimiento y operación del proyecto, estos se presentan de manera detallada en la tabla siguiente:

Tabla 47. Costo inversión inicial y costo de mantenimiento en valores de precios sociales

Descripción	Costo financiero	Factor de corrección	Costo económico
Costo equipo de Generación	Q4,554,496.00	0.83	Q3,780,231.68
Estudio de Impacto Ambiental	Q30,000.00	0.83	Q24,900.00
Remoción obstáculos en azoteas	Q3,000.00	0.83	Q2,490.00
Salario asesor experto	Q163,285.20	0.91	Q148,589.53
Costo anual de operación/mant.	Q105,646.60	0.85	Q89,799.61
Cambio de luminarias (13 años)	Q461,550.60	0.85	Q392,318.01

Fuente: Elaboración propia

Una vez realizado lo anterior, se construyen los flujos actualizados a una tasa social de descuento del 12%, posteriormente como se observa en la tabla n° 48, se calculan los indicadores económicos correspondientes, resultando:

Tabla 48. Indicadores económicos del proyecto

Descripción	Sin CER'S		Con CER's	
	Sin préstamo	Con préstamo	Sin préstamo	Con préstamo
Tasa social de descuento	12%	12%	12%	12%
VANE	Q981,402.9	Q1,249,673.9	Q1,113,446.3	Q1,381,717.3
TIRE	15.7%	26.0%	16.2%	26.6%
PRI	6 años	5 años	6 años	4 años
RB/C	1.21	1.99	1.24	1.95
IR	1.25	2.43	1.28	2.44

Fuente: Elaboración propia

Con respecto a los valores obtenidos, se determinó que el proyecto presenta valores positivos, por lo tanto es económicamente atractivo. Esto significa, que implementar el

proyecto aumentará el bienestar general y asegurará que el uso de recursos será eficiente y eficaz en el alcance de los objetivos de país.

Desde el punto de vista social, la instalación y desarrollo de un sistema fotovoltaico en el Campus Central Universitario, comprende diversidad de beneficios directos e indirectos, así como externalidades positivas, como lo pueden ser:

I. Beneficios directos

- La liberación de recursos escasos o generación de ahorros al presentarse una reducción en el precio de energía eléctrica o en el precio del kilovatio hora. Esta liberalización de recursos escasos, tendrá un efecto multiplicador que se traducirá en un mayor beneficio para el consumidor, puesto que dispondrá de muchos más recursos para invertir en otros bienes o servicios en pro de población universitaria y a la población en general.
- Disponibilidad de áreas en horario extendido para el desarrollo de actividades deportivas, culturales y de recreación.

II. Beneficios indirectos

- Disminución de gases de efecto invernadero, los cuales incluso pueden venderse en el mercado de carbono.
- Con este proyecto, se contribuye a la investigación y desarrollo, insertando a la Universidad de San Carlos dentro de una línea de innovación y resiliencia al cambio climático.
- Mejoramiento del clima psicológico y de la calidad de vida.

III. Externalidades positivas

- La USAC podría permitir que niños y estudiantes de todos los niveles académicos, se acerquen a la tecnología fotovoltaica a través de visitas guiadas, usando el proyecto como un módulo educativo de tecnología limpia e inagotable.
- Con la ejecución del proyecto, la Universidad estará siendo un buen ejemplo, para mostrar a otras entidades del gobierno y a otras universidades del país que esta tecnología, es una tecnología sólida, apropiada, y financieramente válida.

IV. Externalidades negativas.

- El proyecto a nivel de generación (sistema fotovoltaico) no genera ningún tipo de impacto negativo durante su vida útil, mientras que con el sistema de iluminación puede preverse en la etapa de operación algún tipo de impacto negativo que perjudiquen la fauna y flora del lugar, así como molestias en los vecinos por ruido y algunos otros elementos contemplados en el estudio de impacto ambiental.

CONCLUSIONES

1. Al analizar la información técnica para el diseño, instalación y operación del proyecto, se observó que el sitio establecido posee recurso solar capaz de permitir programas exitosos de aprovechamiento de energía fotovoltaica al interior de la USAC. Asimismo, se determinó que el proceso que deberá llevar a cabo el proyecto para su ejecución y operación, deberá ir acompañado de un asesor experto responsable y sobre todo deberá ir respaldado de las unidades de decisión superior y de las áreas técnicas de la Universidad como la Facultad de Ingeniería, la Facultad de Agronomía y/o la Facultad de Arquitectura.
2. En los aspectos administrativos, se determinó que para este tipo de proyectos, el personal contratado es mínimo tanto en la etapa de ejecución como en la etapa de operación; sin embargo, deberán participar las unidades de decisión superior y las áreas técnicas de la Universidad. En cuanto al marco legal regulatorio de Guatemala, se observó que el país, cuenta con la legislación adecuada para la instalación y el desarrollo de proyectos de energía renovable.
3. Los impactos ambientales identificados en la etapa de instalación son mínimos, mientras que en la etapa de operación, el impacto positivo que generará el proyecto es mucho mayor, puesto que evitará durante 25 años la emisión de 5,244.7 toneladas de CO₂ al ambiente, sabiendo que estas pueden llegar a generar ingresos adicionales en concepto de CER's por Q403,842.9. Finalmente, se estableció que las diferentes medidas de mitigación, plan de contingencia y plan de abandono correspondientes, no generan costos significativos, ni impactos negativos tanto en la etapa de instalación como en la etapa de operación del proyecto.
4. Al realizar la evaluación financiera, económica y social se determinó que la instalación del sistema fotovoltaico, constituye una propuesta que financieramente requiere de donativos, recursos propios, o bien con una combinación de recursos propios con deuda. Del mismo modo, se observó que utilizando una tasa de descuento y tasa de descuento social del 12% a lo largo de la vida útil de 25 años, en los escenarios

planteados el proyecto demuestra ser factible y viable, generando así un ahorro para que tendrá un efecto multiplicador para invertir en otros bienes o servicios en pro de población universitaria y a la población en general.

RECOMENDACIONES

1. A las autoridades pertinentes de la Universidad de San Carlos de Guatemala, aprovechar el potencial solar existente en los edificios del Campus Central, puesto que los espacios son adecuados y suficientes para generar una gran cantidad de energía, lo cual conllevaría a un ahorro considerable en la factura universitaria.
2. A la Universidad de San Carlos de Guatemala, continuar con la siguiente etapa de estudios y diseños para la ejecución del proyecto, puesto que a este nivel de estudios, la propuesta demuestra ser factible.
3. A la Universidad de San Carlos de Guatemala, para mantener su liderazgo en investigación y desarrollo, se recomienda invertir en estudios de tecnología solar fotovoltaica, esto con el propósito contribuir a diversificar la matriz energética y promover y aplicar la inversión de proyectos limpios con conciencia social y ambiental.
4. Para la realización de este proyecto, se recomienda a las autoridades de la Universidad de San Carlos de Guatemala, trabajar en alianzas entre entidades interesadas en mejorar el medio ambiente y entre entidades interesadas en mejorar el deporte, esto con el fin de poder obtener fondos extras y así llegar a financiar de una mejor manera la inversión.

ACRÓNIMOS

MW	Mega Watt
GWh	Giga Watt Hora
MWh	Mega Watt Hora
kWh	Kilo Watt Hora
kW	Kilo Watt
HSP	Hora Solar Pico
Wh/m²	Watt hora sobre metro cuadrado
KWp	Kilo Watt Pico
W	Watt o vatio
AC	Corriente Alterna
DC	Corriente Directa
M²	Metro cuadrado
Lm	Lumen
Lx	Lux
FV	Fotovoltaico
ASTM	American Society for Testing and Materials

BIBLIOGRAFÍA

1. Alvarado Arroyo, L. F. (2017). *Diseño preliminar de los sistemas de generación fotovoltaica y su protección eléctrica para los edificios de la escuela de ciencias de la comunicación de la Universidad de San Carlos de Guatemala*. Guatemala: USAC.
2. Alvarado, C. J. (2017). *Propuesta de iluminación aplicando nuevas tecnologías para el sendero ecológico sur-norte de la Ciudad de la Loja*. Loja, Ecuador: Universidad Nacional de Loja.
3. Arboleda , G. (2015). *Proyectos. Identificación, formulacion, evaluación y gerencia*. México: Alfaomega.
4. Arenas, D. A., & Zapata, H. S. (2011). *Libro interactivo sobre energía solar y sus aplicaciones*. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira.
5. Aroche Sandoval, C. H. (2016). *Propuesta de Proyecto de Árboles Solares en el Campus Central de la Universidad de San Carlos de Guatemala*. Guatemala.
6. Asociación de la Industria Fotovoltaica ASIF. (2004). *Energía Solar Fotovoltaica en la Comunidad de Madrid*. Madrid: Imprenta Modelo, S.L.
7. Barrios, J. M. (2011). *Redensificación en el uso del suelo de los edificios del EFPEM, Ciudad Universitaria*. Guatemala: USAC.
8. Camilo Uzquiano (Solar Energy International), Mike Sullivan (Solar Energy International), Ximena Sandy (WCS) . (2015). *Capacitación e instalación de sistemas fotovoltaicos en las Comunidades de Carmen del Emero y Yolosani*. Bolivia: Artes Gráficas Sagitario.
9. Carpio, B. R. (2019). *Diseño luminico para el estadio de la Universidad Nacional de Loja*. Loja: Universidad Nacional de Loja.
10. Cedeño, F. S. (2018). *Estudio Luminotécnico e instalaciones eléctricas para la iluminación del estadio de futbol Miguel Zambrano del Cantón Tosagua*. Manabí: Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí.

11. CEPSA. (2015). *El Cambio Climático y los Gases de Efecto Invernadero -GEI-*. CEPSA.
12. CESEL Ingenieros. (2018). *Evaluación Ambiental Preliminar para la construcción de la primera etapa de la S.E. Carapongo y enlaces de conexión a líneas asociadas*.
13. Chabla, L. L., & Córdova, D. F. (2015). *Eficiencia energética en el alumbrado público del centro histórico de Cuenca: telegestión y sustitución de luminarias*. Cuenca, Ecuador: Universidad de Cuenca.
14. Chávez Villatoro, J. F. (2015). *Diseño de un generador de energía fotovoltaica para el Centro Universitario de Nor-occidente (CUNOROC), Universidad de San Carlos de Guatemala, bajo la normativa de Generación Distribuida*. Guatemala.
15. Chicojay, C. A. (2010). *Impacto en la Matriz Energética de Guatemala debido a la generación de energía eólica*. Guatemala: USAC.
16. Comisión Nacional de Energía Eléctrica. (2016). *Marco Legal del Sub Sector Eléctrico de Guatemala, Compendio de Leyes y Reglamentos*. Guatemala: CNEE.
17. Conde, F. R. (2018). *Análisis y desarrollo del uso de sistemas de energía solar en construcciones civiles de Guatemala*. Guatemala.
18. Córdoba Padilla, M. (2011). *Formulación y evaluación de proyectos*. Bogotá: Ecoediciones.
19. Córdoba Ramirez, Y. I. (2016). *Uso de la energía solar en el corredor seco de Guatemala*. Guatemala: USAC.
20. Crespo, M. (Marzo de 2010). *Guía de Diseño de Proyectos Sociales Comunitarios Bajo el Enfoque del Marco Lógico*. Caracas.
21. De la Cruz, H. R. (2013). *Propuesta de edificación bajo la superficie compuesta de tres niveles de sótano, como solución a la problemática de estacionamiento vehicular en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala*. Guatemala: USAC.

22. De León Hernández, E. G. (2017). *Diseño preliminar de un sistema de generación fotovoltaica y su protección eléctrica para los edificios S3, S6 y S8 de la Facultad de Ciencias Económicas*. Guatemala.
23. De León Morales, V. H. (2008). *Generación eléctrica fotovoltaica en la Facultad de Ingeniería USAC y estudio de aprovechamiento*. Guatemala.
24. De Paz, E. A. (2008). *Trabajo de Graduación realizado dentro del Proyecto de Fortalecimiento Forestal Comunal y Municipal -BOSCOM-, de la Región I Metropolitana, del Instituto Nacional de Bosques -INAB-, Departamento de Guatemala*. Guatemala: USAC.
25. Del Cid, P. J. (2012). *Diseño del tercer acceso hacia la Universidad de San Carlos de Guatemala por la Avenida Petapa y del Auditorium para la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala*. Guatemala: USAC.
26. Departamento de Registro y Estadística. (2018). *Total de estudiantes inscritos por unidad académica y carrera según categoría de ingreso y sexo*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
27. Díaz Mayorga, C. E. (2017). *Diseño preliminar de un sistema de generación fotovoltaico y sistema de protección eléctrica, para la facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala*. Guatemala.
28. Díaz, F. N., Medellín, V., Ortega, J. A., Santana, L., González, M. R., Oñate, G. A., & Baca, C. A. (2010). *Proyectos, Formulación y criterios de evaluación*. Ciudad de México: Alfaomega.
29. Enciso, N. (2019). Antecedentes, perspectivas y potencial de la energía solar fotovoltaica en la industria en Puebla, México. *Revista de Energías Renovables*, 18.
30. Escuela de Estudios de Postgrado CCEE USAC. (2018). *Instructivo para elaborar el Trabajo Profesional de Graduación para optar al grado académico de Maestro en Artes*. Guatemala: USAC.

31. Facio, D., & Estrada, J. (2014). *Propuesta para la implementación de paneles solares en el edificio "C" de un complejo comercial en la zona norte del D.F. México D.F.:* Instituto Politécnico Nacional. Obtenido de Energía Solar Fotovoltaica.
32. Federación Internacional de Fútbol Asociado -FIFA-. (2011). *Estadios de fútbol. Recomendaciones, técnicas y requisitos.* FIFA.
33. Florián Martínez, E. R. (2015). *Estudio de factibilidad para el uso de energía solar, como alternativa energética, en la industria guatemalteca.* Guatemala: USAC.
34. Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología -FODECYT-. (2007). *Diversidad biológica en el departamento de Guatemala.* Guatemala: FODECYT.
35. Fundación Asturiana de la Energía (FAEN), Agencia de Sanidad Ambiental y Consumo. (2009). *Energía y Consumo.* Gráficas Rigel.
36. Girón Alvarado, A. L. (2014). *Estudio de impacto ambiental en la editorial universitaria de la USAC.* Guatemala: USAC.
37. Gómez, J. E. (2013). *Inserción de Generación Distribuida en la red de distribución eléctrica de Guatemala.* Guatemala: USAC.
38. González Velasco, J. (2009). *Energías renovables.* Barcelona: Reverté.
39. Hernández Hernández, A., Hernández Villalobos, A., & Hernández Suárez, A. (2007). *Formulación y Evaluación de Proyectos de Inversión.* Ciudad de México: Thomson .
40. Hernández Ramírez, K. F. (2017). *Estudio sobre la factibilidad de la instalación de luces led en el alumbrado público del municipio de San Miguel Dueñas, del departamento de Sacatepequez como alternativa de eficiencia energética.* Guatemala: USAC.
41. Herrera, W. S. (2011). *Evaluación del rendimiento de dos variedades de papa para producción de semilla vegetativa en sistemas protegidos, bajo condiciones del Centro Experimental Docente de Agronomía -CEDA- y Servicios para el VI Encuentro Nacional de la Horticultura FASAGUA.* Guatemala: USAC.

42. ICEFI. (2016). *Brechas y puentes entre la política fiscal y las energías renovables: Guatemala*. Guatemala: ICEFI.
43. Incyt URL. (2018). *Pérfil energético de Guatemala*. Guatemala: Universidad Rafael Landívar.
44. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía -IDAE-. (2011). *Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Conectadas a Red (Instalaciones de Energía Solar Fotovoltaica)*. Madrid: IDAE.
45. Investigación, D. G. (2009). *Evaluación del impacto de la política de descentralización, desconcentración y diversificación de la educación superior de la Universidad de San Carlos de Guatemala*. Guatemala: USAC.
46. ISR - Universidad de Coimbra. (2017). *Conceptos básicos de diseño de iluminación interior*. Coimbra: ISR - Universidad de Coimbra.
47. Jarabo Friedrich, F., Perez Dominguez, C., Elortegui Escartin, N., Fernandez Gonzalez, J., & Macias Hernandez, J. (1988). *El libro de las Energías Renovables*. Madrid: Artes Gráficas Gala.
48. Joaquín, C. D. (2008). *Diseño de un sistema solar fotovoltaico aislado, para el suministro de energía eléctrica a la Comunidad Rural Buena Vista, San Marcos*. Guatemala: USAC.
49. Lechner, N. (2019). *Iluminación. Conceptos generales*.
50. López, B. (2017). *La USAC en el marco de la internacionalización de la educación superior*. Guatemala: USAC.
51. Maltéz Romillo, G. E. (2012). *Diseño de un sistema fotovoltaico para alimentar*. Guatemala.
52. Marroquín Juárez, D. E. (2006). *Anteproyecto de edificio de estacionamiento y áreas de ampliación para la facultad de Arquitectura*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.

53. Marroquín, O. R. (2015). *Propuesta de diseño para la iluminación del área deportiva USAC Campus Central*. Guatemala: USAC.
54. Martínez, D. E. (2014). *Dirigencia deportiva del departamento de deportes de la Universidad de San Carlos de Guatemala*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
55. Melgar, A. A. (2015). *Guía informativa de identificación taxonómica de las principales especies vegetales del Campus Central de la Universidad de San Carlos de Guatemala*. Guatemala: DIGI USAC.
56. MEM. (2007). *Política Energética y Minera 2008-2015*. Guatemala: MEM.
57. MEM. (2013). *Política Energética 2013-2027*. Guatemala: MEM.
58. MEM. (2017). *Plan Nacional de Energía 2017-2032*. Guatemala: MEM.
59. MEM. (2017). *Subsector Eléctrico en Guatemala*. Guatemala: MEM.
60. MEM. (2018). *Energía Solar en Guatemala*. Guatemala: MEM.
61. MEM. (2020). *Estudio y Perfil Básico de la medición solar en Finca "La Sabana"*. Guatemala: MEM.
62. Ministerio de Desarrollo Social. (2013). *Metodología General de Preparación y Evaluación de Proyectos*. Gobierno de Chile.
63. Ministerio de Energía y Minas. (2018). *Estadísticas del subsector eléctrico 2018*. Guatemala: MEM.
64. Ministerio de Energía y Minas -MEM-. (2018). *Política Energetica 2019-2050*. Guatemala: MEM.
65. Ministerio de Energía y Minería. (2015). *Balance Energetico Nacional*. Argentina: Ministerio de Energía y Minería, Presidencia de la Nación.
66. Miranda, K. A. (2016). *Implementacion de energia solar en la vivienda guatemalteca*. Guatemala: Universidad Rafael Landivae.

67. Montgomery, R. (1986). *Energía Solar: Selección del equipo, instalación y aprovechamiento*. Ciudad de México: Limusa.
68. Muñoz Razo, C. (2011). *Cómo elaborar y asesorar una investigación de Tesis*. México: Pearson Education de México.
69. National Fire Protection Association -NFPA-. (2020). *National Electric Code -NEC-*. NFPA.
70. OLADE. (2017). *Manual Estadística Energetica*. Ecuador: OLADE.
71. Palacios, L., Hernández, A., Villarreal, Y., & Fontalvo, R. (2017). *Elaboración de documento del estudio de factibilidad para la implementación de energía solar fotovoltaica en la vereda Dindal*. Universidad Católica de Colombia.
72. Palacios, M. O. (2009). *Estudio de prefactibilidad para la construcción y operación de la Pequeña Central Hidroeléctrica Río la Virgen en el municipio de Masagua, Escuintla, Guatemala, 2007*. Guatemala: USAC.
73. Palma, J. (2017). *Análisis de la aplicación de la Ley de Incentivos para el Desarrollo de Proyectos de Energía Renovable a proyectos de pequeña escala*. Guatemala: Universidad Rafael Landívar.
74. Peña, T. (2018). *Jardín Botánico para el Instituto de Ciencias de la Tierra, Universidad de San Carlos de Guatemala*. Guatemala: USAC.
75. Pérez Solares, M. T. (2009). *Guía para la Formulación y Evaluación de Proyectos*. Guatemala.
76. Pérez, J. (2014). *Análisis de viabilidad financiera de inversión en energía de fuente solar fotovoltaica en departamento de Jutiapa de la República de Guatemala*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
77. Pérez, J. C. (2018). *Modelo para el uso de la energía eléctrica en la Facultad de Medicina, Veterinaria y Zootecnia, en concordancia con la Política Ambiental de la Universidad de San Carlos de Guatemala*. Guatemala: USAC.

78. Piloña Ortiz, G. A. (2017). *Guía práctica sobre Métodos y Técnicas de Investigación Documental y de Campo*. Guatemala: GP Editores.
79. Pons Tabascar, R. (2016). *Proyecto de Instalación Solar Fotovoltaica Para Bloque de Viviendas*. Valencia.
80. Reyes, M. A. (2016). *Diseño de la investigación: beneficios en la implementación del sistema de alumbrado público tipo LED, para la población del municipio El Tejar, Chimaltenango*. Guatemala: USAC.
81. Rosales, R. (1999). *Formulación y Evaluación de Proyectos*. San José, Costa Rica: ICAP.
82. S.A., S. E. (2017). *Libro Blanco de las Energías Renovables*. Salvador Escoda S.A.
83. Sagastume, M. A. (2013). *Síntesis Histórica de la Universidad de San Carlos de Guatemala*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
84. Sampieri, R. (2014). *Metodología de la Investigación*. México: McGraw Hill .
85. San, H. B. (2015). *Módulo 1.3 – Lámparas: aplicaciones y modelos comerciales*. Catellón de la Plana: Universitat Jaume I - Fundación F2e.
86. Sanz, R. (2010). *Diseño de una central fotovoltaica de 100 kWp de potencia nominal*. Madrid: Universidad Carlos III de Madrid.
87. Sapag Chaín , N. (2011). *Proyectos de Inversión: Formulación y Evaluación*. Chile: Pearson.
88. Sapag, N., & Sapag, R. (2008). *Preparación y Evaluación de Proyectos*. Mexico: McGraw Hill.
89. Scaglia Martínez, J. L. (2017). *Proyecto de pre-factibilidad para la inversión de un centro de acopio de reciclaje en el municipio de sanarate del departamento de el Progreso, Guatemala*. Guatemala.
90. Schallenberg Rodríguez, J., Piernavieja Izquierdo, G., Hernández Rodríguez, C., Unamunzaga Falcón, P., García Déniz, R., Díaz Torres, M., . . . Subiela Ortin, V.

- (2008). *Energías renovables y eficiencia energética*. Canarias, España: Instituto Tecnológico de Canarias, S.A.
91. Soria González, J. P. (2015). *Propuesta de diseño para una instalación fotovoltaica de generación distribuida*. Guatemala.
92. Sulá Tajín, R. A. (2018). *Proyecto de prefactibilidad para la inversión en una planta de producción de reencauche de llantas agrícolas, ubicada en la ciudad de Guatemala*. Guatemala.
93. Trejo, J. R. (2015). *Factibilidad técnico – económica del uso de paneles solares fotovoltaicos en una granja porcina*. Guatemala.
94. UCI Universidad para la Cooperación Internacional. (2014). *Sustento del uso justo de Materiales Protegidos por derechos de autor para fines educativos*. UCI.
95. Universidad de San Carlos de Guatemala. (2016). *Manual de Organización de la Universidad de San Carlos de Guatemala*. Guatemala: USAC.
96. Universidad de San Carlos de Guatemala USAC. (2019). *Informe Estadístico Estudiantil 2019*. Guatemala: USAC.
97. USAC. (2015). *Plan Estratégico USAC*. Guatemala: USAC.
98. Vásquez, J. P. (2015). *Propuesta para iluminar de forma arquitectónica el edificio de Rectoría con iluminación LED RGB y análisis de armónicos producidos por las mismas*. Guatemala: USAC.
99. Vera, M. S. (2017). *Diseño del sistema de iluminación y sistema eléctrico del campo deportivo de Villa Copacabana de la Ciudad de La Paz*. La Paz: Universidad Mayor de San Andrés.
100. Vidal Gazaue, K. A., & González Serna, J. D. (2015). *Proyectos Evaluación y Formulación*. Ciudad de México: Alfaomega .
101. Villatoro, J. M. (2008). *Polideportivo de la Universidad de San Carlos de Guatemala*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.

E-GRAFÍA

1. Abele, C. (09 de 11 de 2020). La Historia de la energía y tecnología solar fotovoltaica. Obtenido de Hogarsense: <https://www.hogarsense.es/energia-solar/historia-energia-solar-fotovoltaica>
2. Agencia ACAN EFE. (28 de Mayo de 2014). *Guatemala inaugura planta de energía solar*. Obtenido de Prensa libre: <https://www.prensalibre.com/guatemala/planta-de-generacion-de-energia-solar-zacapa-sibo-electricidad-perez-molina-0-1146485508/>
3. AutoSolar. (17 de 09 de 2019). *AutoSolar*. Obtenido de Qué cable es el adecuado para las instalaciones solares: <https://autosolar.es/blog/energia-solar-fotovoltaica/que-cable-es-el-adecuado-para-las-instalaciones-solares>
4. AutoSolar. (11 de 23 de 2020). *AutoSolar*. Obtenido de Vida útil de los paneles solares: <https://autosolar.pe/blog/aspectos-tecnicos/vida-util-de-los-paneles-solares>
5. Bloomberg. (01 de 09 de 2020). *Bloomberg*. Obtenido de La energía solar y eólica alcanzó el 67% de la capacidad nueva de energía eléctrica agregada a nivel mundial en 2019: <https://www.bloomberg.com/latam/blog/la-energia-solar-y-eolica-alcanzo-el-67-de-la-capacidad-nueva-de-energia-electrica-agregada-a-nivel-mundial-en-2019/>
6. Bolaños, R. (13 de Septiembre de 2011). *UVG impulsa uso de energía solar*. Obtenido de Prensa Libre: https://www.prensalibre.com/economia/uvg-impulsa-uso-energia-solar_0_553744623-html/
7. Bolaños, R. (15 de 01 de 2014). *Prensa Libre*. Obtenido de Instalan paneles solares en centro educativo: https://www.prensalibre.com/economia/instalan-paneles-solares-centro-educativo_0_1066693329-html/
8. Chávez, C. (2016). *DocPlayer.es*. Obtenido de Capítulo 1, iluminación de estadios: <https://docplayer.es/5425681-Capitulo-1-iluminacion-de-estadios.html>
9. ClasesIluminación. (10 de 11 de 2014). *ClasesIluminación.wordpress.com*. Obtenido de Clases de Iluminación, conceptos básicos:

<https://clasesiluminacion.files.wordpress.com/2014/11/clases-iluminacion-conceptos-basicos.pdf>

10. Congreso de la República. (23 de 10 de 2003). *Congreso de la República*. Obtenido de https://www.congreso.gob.gt/detalle_pdf/decretos/243#
11. DIALux. (s.f.). *dialux.com*. Obtenido de Sobre: <https://www.dialux.com/es-ES/sobre>
12. Direccion General de Extension Universitaria . (s.f.). *Quienes Somos*. Obtenido de Direccion General de Extension Universitaria Universidad de San Carlos de Guatemala : <http://digeu.usac.edu.gt/index.php/quienes-somos>
13. Energiza. (2018). *Energiza*. Obtenido de Estructuras móviles y fijas en paneles fotovoltaicos:
https://www.energiza.org/index.php?option=com_k2&view=item&id=1164:estructuras-m%C3%B3viles-y-fijas-en-paneles-fotovoltaicos
14. García, G. (7 de Septiembre de 2018). *Conoce más sobre el departamento que incentiva el deporte dentro de la USAC*. Obtenido de El SancarlistaU: <https://elsancarlistau.com/2018/09/07/conoce-mas-sobre-el-departamento-que-incentiva-el-deporte-dentro-la-usac/>
15. García, J., & Boix, O. (s.f.). *recursos.citcea.upc.edu*. Obtenido de Clases de lampara de descarga: <https://recursos.citcea.upc.edu/llum/lamparas/ldesc2.html>
16. Gómez, J. (05 de 22 de 2020). *La Usac desciende de categoría y jugará en la Tercera División*. Obtenido de Prensa Libre: <https://www.prensalibre.com/deportes/futbol-nacional/dia-triste-para-el-futbol-la-usac-desciende-de-categoria-y-jugara-en-tercera-division/>
17. Gonzalez, E. (13 de 05 de 2010). *Conceptos de Formulación y Evaluación de Proyectos*. Obtenido de Ideas compilativas: <http://ideascompilativas.blogspot.com/2010/05/concepto-de-formulacion-y-evaluacion-de.html>

18. Guijarro, C. (29 de 03 de 2021). *Selectra*. Obtenido de Contador bidireccional: ¿Cómo funciona en las instalaciones solares?: <https://selectra.es/autoconsumo/info/componentes/contador-bidireccional>
19. Iluminet. (25 de 10 de 2016). *luminet*. Obtenido de ¿Cómo funcionan las celdas fotovoltaicas?: <https://www.iluminet.com/funcionamiento-paneles-fotovoltaicos-energia-solar/>
20. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales -IDEAM-. (2014). *IDEAM*. Obtenido de Radiación Solar: <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/radiacion-solar-ultravioleta>
21. xtiana, P., Presso, M., & Ferreyra, J. (10 de 2015). *Editores*. Obtenido de Deslumbramiento en dispositivos LED: https://www.editores-srl.com.ar/revistas/lu/129/ixtaina_deslumbramiento_en_dispositivos_led
22. Lozano, E. (04 de 02 de 2019). *La Tricentenaria: una Universidad en expansión*. Obtenido de Soy Usac: <https://soy.usac.edu.gt/?p=3815>
23. Planas, O. (16 de 12 de 2015). *Energía Solar*. Obtenido de Historia de la Energía Solar: <https://solar-energia.net/que-es-energia-solar/historia>
24. Planas, O. (25 de 02 de 2016). *Energía Solar*. Obtenido de ¿Cuál es la composición de un panel fotovoltaico?: <https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/elementos/panel-fotovoltaico/estructura-de-un-panel-fotovoltaico>
25. Planas, O. (17 de 03 de 2016). *Energía Solar*. Obtenido de ¿Cuál es la mejor ubicación, orientación e inclinación de los paneles solares?: <https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/elementos/panel-fotovoltaico/ubicacion-de-los-paneles-solares>
26. Rocha, J. (27 de 02 de 2012). *todosobreproyectos.blogspot.com*. Obtenido de La construcción de un flujo de caja de un proyecto de inversión: <http://todosobreproyectos.blogspot.com/>

27. Sebastian, E. (2013). *Tumblr.com*. Obtenido de Instalación de paneles fotovoltaicos Cables eléctricos:
<https://eliseosebastian.tumblr.com/post/29831386111/instalaci%C3%B3n-de-paneles-fotovoltaicos-cables>
28. Sebastián, E. (03 de 09 de 2019). *Eliseo Sebastián, Energia Solar*. Obtenido de Radiación solar, irradiancia e insolación: <https://eliseosebastian.com/radiacion-solar-irradiancia-e-insolacion/>
29. Soy Usac. (10 de Febrero de 2020). *La USAC es un pilar para el desarrollo*. Obtenido de Soy Usac: <https://soy.usac.edu.gt/?p=10733>
30. SunEarthTools. (2021). *SunEarthTools.com*. Obtenido de Outils pour les consommateurs et les concepteurs de l'énergie solaire / emisiones de Co2: https://www.sunearthtools.com/tools/CO2-emissions-calculator.php#txtCO2_16
31. SWERA. (10 de 04 de 2021). *OpenEi*. Obtenido de Solar and Wind Energy Resource Assessment (SWERA): <https://globalsolaratlas.info/map?r=GTM&c=14.622233,-90.518519,11&s=14.622233,-90.518519&m=site>
32. -UPC-, G. d. (s.f.). *Grupo de Estudios Lumitecnicos -UPC-*. Obtenido de Fotometría: <https://grlum.dpe.upc.edu/manual/sistemasIluminacion-fotometria.php>
33. USAC. (2021). *Misión, Visión y Valores*. Obtenido de USAC: <https://www.usac.edu.gt/misionvision.php>
34. USAC. (s.f.). *Departamento de Deportes*. Obtenido de <http://deportes.usac.edu.gt/index.php>
35. Vivint Solar. (2021). *Vivint Solar*. Obtenido de Historia de los paneles solares: <https://www.vivintsolar.com/es/centro-de-aprendizaje/historia-de-la-energia-solar>
36. Yubasolar. (30 de 03 de 2015). *YUBASOLAR*. Obtenido de Partes fundamentales que componen un inversor: <http://www.yubasolar.net/2015/03/partes-fundamentales-que-componen-un.html>

ANEXOS

Anexo 1. Luminarias para cubrir demanda de potencia (P total)

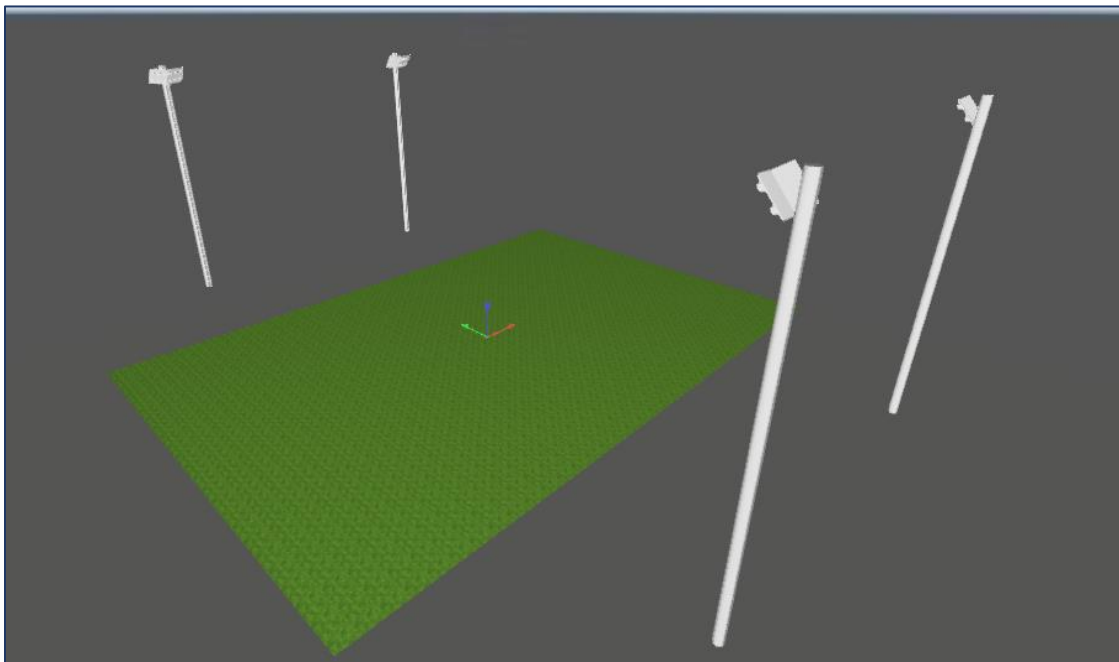
Modelación Luz DIALux

Lista de luminarias

Φ_{total} 7508016 lm	P_{total} 96000.0 W	Rendimiento lumínico 78.2 lm/W
------------------------------	--------------------------	-----------------------------------

Uni.	Fabricante	N° de artículo	Nombre del artículo	P	Φ	Rendimiento lumínico
48	SYLVANIA	0049383	POWERFLOOD 1 GRY WIDE 2000W HSI-TD	2000.0 W	156417 lm	78.2 lm/W

Anexo 2. Disposición general de las torres y plano de situación de luminarias

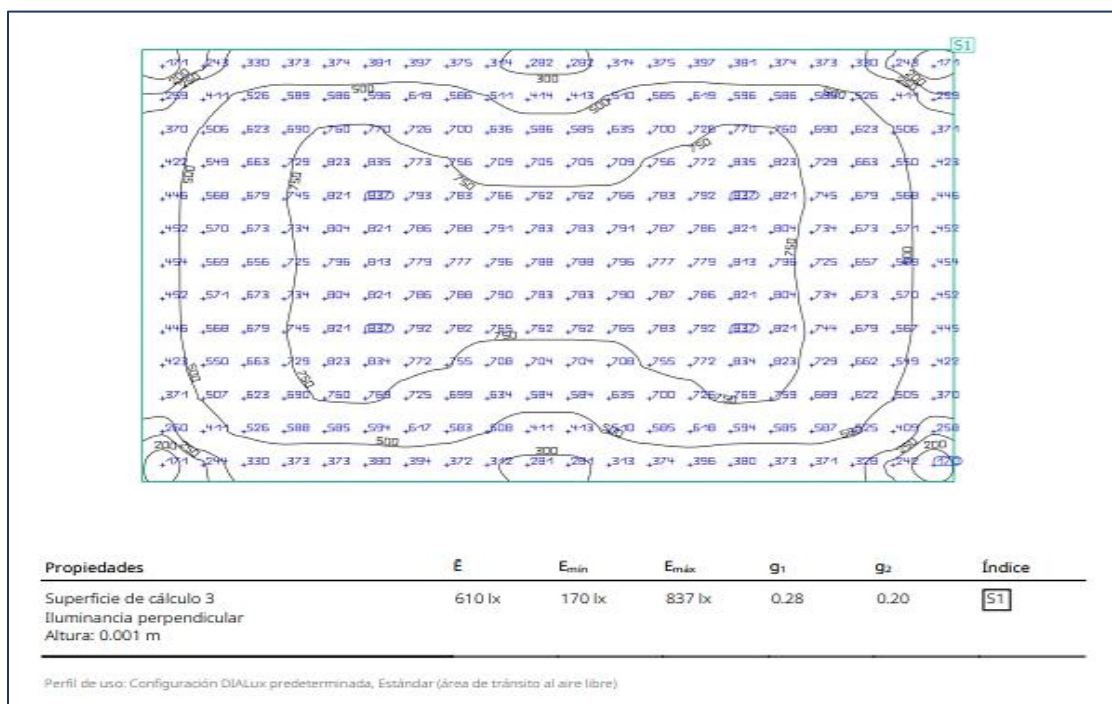


Anexo 3. Plano de situación luminarias (algunas)

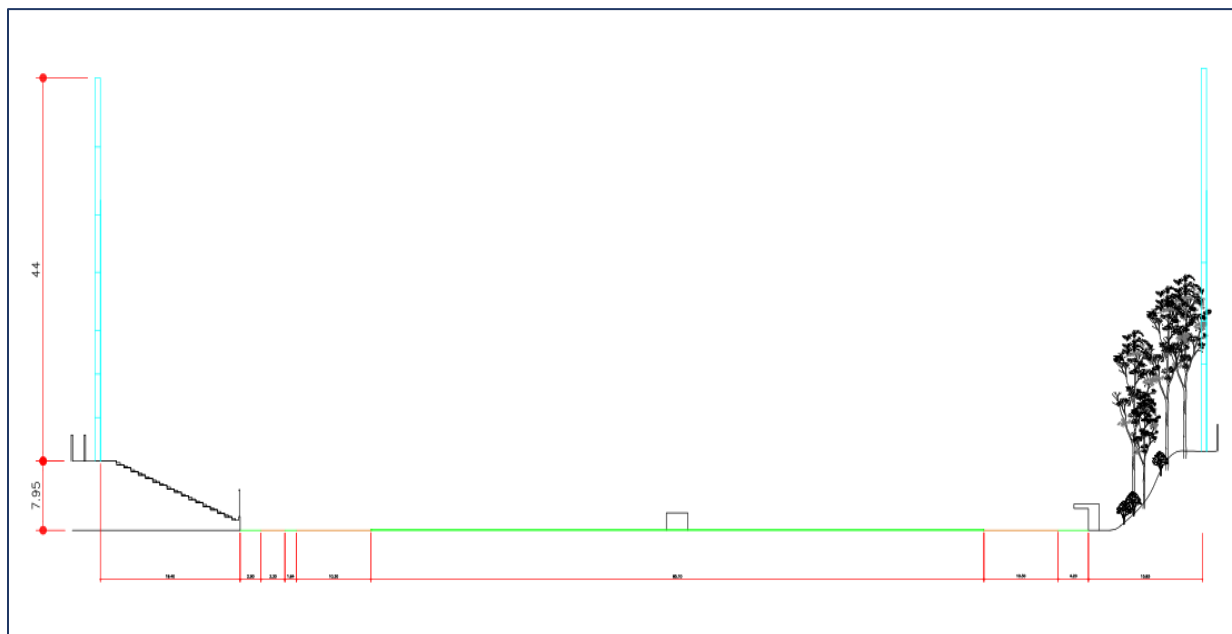
6 x SYLVANIA POWERFLOOD 1 GRY WIDE 2000W HSI-TD					
Tipo	Disposición en campo	X	Y	Altura de montaje	Luminaria
1era Luminaria (X/Y/Z)	-27.015 m / 57.805 m / 43.559 m	-27.015 m	57.805 m	43.559 m	1
Dirección X	2 Uni., Centro - centro, 1.750 m	-27.015 m	58.929 m	42.218 m	2
		-28.000 m	57.938 m	43.670 m	3
Dirección Y	3 Uni., Centro - centro, 1.000 m	-28.000 m	59.062 m	42.330 m	4
		-28.985 m	58.071 m	43.782 m	5
Organización	A1	-28.985 m	59.195 m	42.441 m	6

6 x SYLVANIA POWERFLOOD 1 GRY WIDE 2000W HSI-TD					
Tipo	Disposición en campo	X	Y	Altura de montaje	Luminaria
1era Luminaria (X/Y/Z)	-24.024 m / 58.066 m / 43.785 m	-24.024 m	58.066 m	43.785 m	7
Dirección X	2 Uni., Centro - centro, 1.734 m	-24.026 m	59.181 m	42.456 m	8
		-25.006 m	57.933 m	43.674 m	9
Dirección Y	3 Uni., Centro - centro, 0.997 m	-25.008 m	59.047 m	42.346 m	10
		-25.987 m	57.799 m	43.564 m	11

Anexo 4. Superficie de calculo



Anexo 5. Altura de los postes, tomando de referencia el centro del campo



Fuente: Marroquín (2015)

Anexo 6. Hoja técnica acero A-36

Descripción		
Placa de Acero al Carbón, Rolada en Caliente sin decapar, Calidad Estructural.		
Composición Química (ASTM A36/A36M-08)		
Elemento	Mínimo	Máximo
C ⁽²⁾	---	0.260%
Mn ^{(1), (2)}	---	---
P	---	0.04%
S	---	0.05%
Si ⁽¹⁾	---	0.40%
Cu ⁽³⁾	0.200%	---

(1) El contenido de Manganeso de 0.05 – 1.25% y el contenido de Silicio de 0.15 – 0.40%, será requerido para placas de espesor mayor a 75mm o con más de 634 Kg/m.
(2) Para cada reducción de 0.01% del peso de lo especificado como máximo de Carbono, se permite un incremento de 0.08% de Manganeso sobre el máximo especificado, hasta un máximo de 1.35%.
(3) Valor mínimo cuando es especificado el nivel de Cobre.

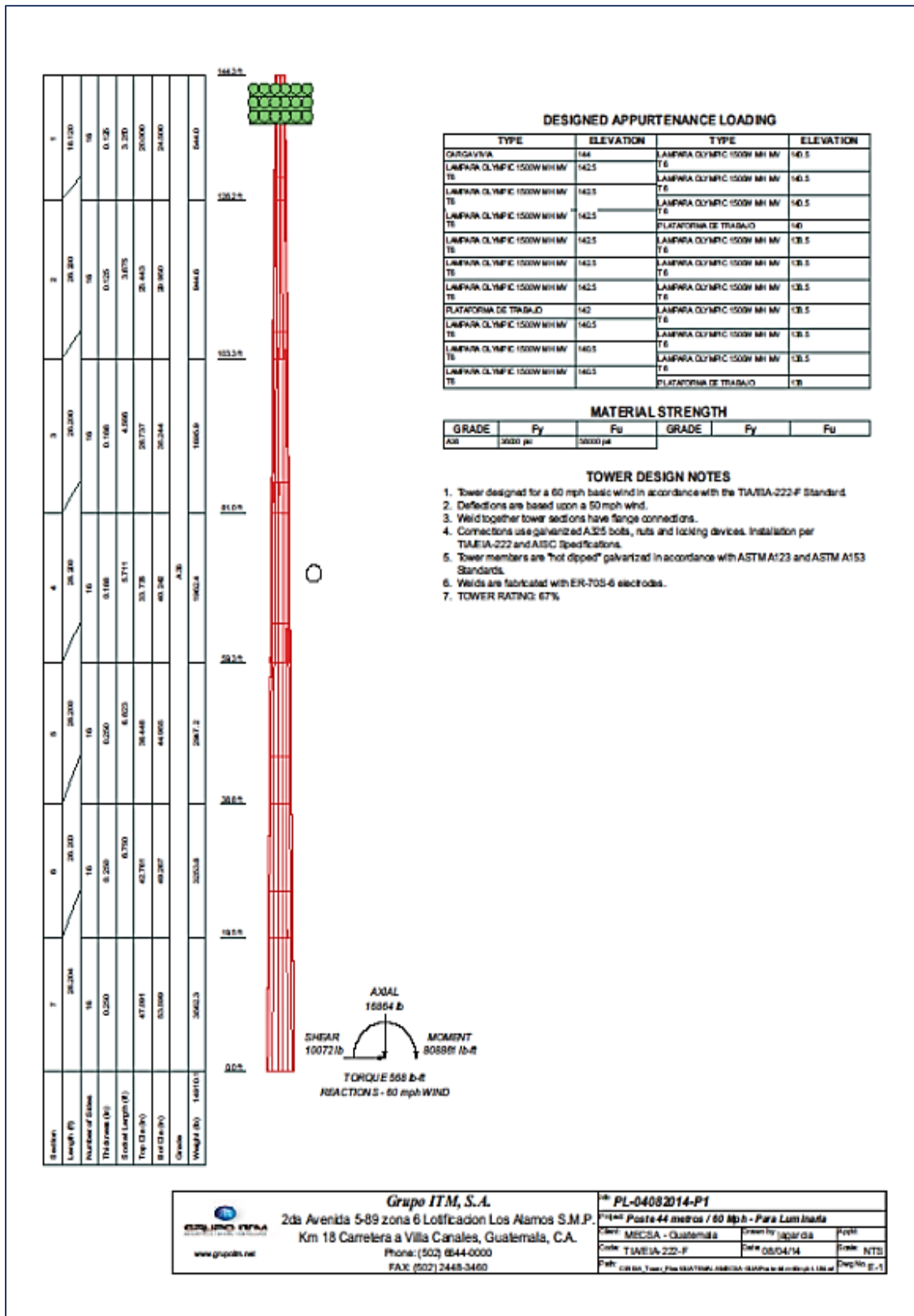
Propiedades Mecánicas (ASTM A36/A36M-08)			
Propiedad		ksi	MPa
Limite Elástico (Yield Strength)	Min	36	250
	Max	---	---
Resistencia a la Tensión (Tensile Strength)	Min	58	400
	Max	80	550
Elongación en 200 mm (%) ⁽⁴⁾	Min	20	
	Max	---	
Elongación en 50 mm (%) ⁽⁴⁾	Min	23	
	Max	---	

(4) Para placas de ancho mayor a 600mm, los requerimientos de elongación se reduce en dos puntos porcentuales.
(5) La orientación de las piezas para prueba deberán ser acorde a ASTM A6

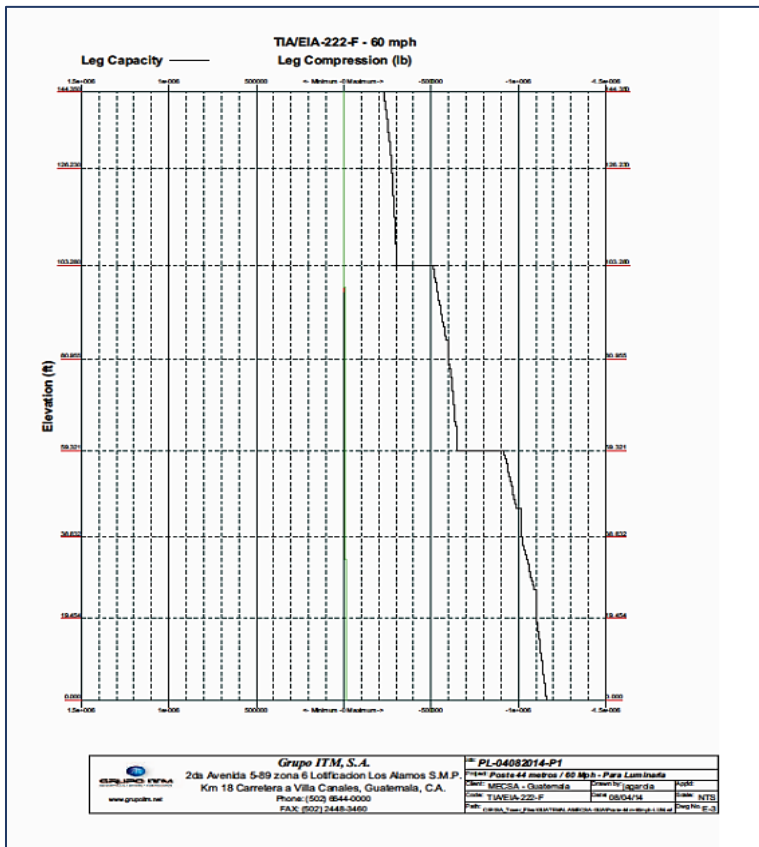
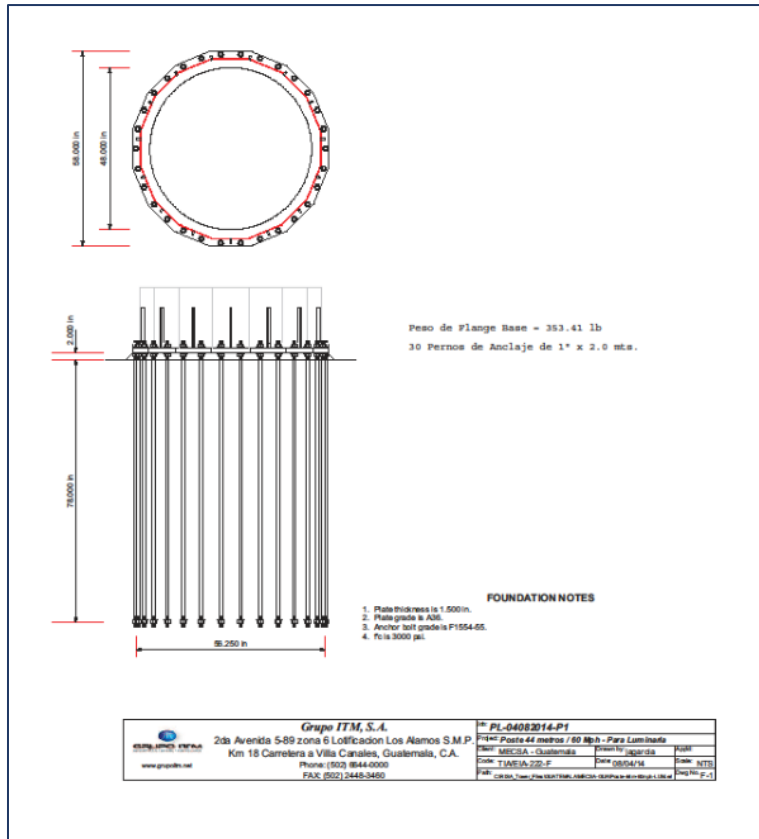
Tabla de Rango Dimensional, Espesores y Pesos							
Espesor		Ancho			Largo		Peso aprox.
mm	plg	pies	plg	m	pies	m	Kg/mt lineal
6.4	1/4	6	72	183	20	6.1	9.12
7.9	5/16	6	72	183	20	6.1	14.1
9.5	3/8	6	72	183	20	6.1	19.9
12.7	1/2	6	72	183	20	6.1	29.4
15.9	5/8	6	72	183	20	6.1	38.1
19.1	3/4	6	72	183	20	6.1	46.8
25.4	1	6	72	183	20	6.1	61.2
25.4	1	8	96	244	20	6.1	81.6

Fuente: Marroquín (2015)

Anexo 7. Diseño de poste



Fuente: Marroquín (2015)



Anexo 8. Matriz de Marco Lógico

Resumen Narrativo de Objetivos	Indicadores	Medios de Verificación	Supuestos/Riesgos
<p>Fin</p> <p>Contribuir a diversificar la matriz energética hacia fuentes de energía limpias, con costos de generación más bajos, y con ello lograr un ahorro en la factura de consumo energético de la USAC</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Generación de un porcentaje de energía solar fotovoltaica en el Campus Central Universitario. • Reducción estimada porcentual de consumo en la factura eléctrica universitaria 	<ul style="list-style-type: none"> • Factura eléctrica universitaria en los edificios donde se suministrará el excedente de energía generado por el proyecto. 	<ul style="list-style-type: none"> • Aceptación final del proyecto • Población universitaria accede a los servicios frecuentemente
<p>Propósito</p> <p>Instalación de un sistema de energía solar fotovoltaica para cubrir de manera sostenible la demanda de energía del estadio Revolución, USAC, Ciudad Universitaria zona 12.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Factor de carga del proyecto 	<ul style="list-style-type: none"> • Medidor o contador del sistema fotovoltaico conectado a la red. 	<ul style="list-style-type: none"> • Proyecto puesto en marcha • Se logran alianzas positivas interinstitucionales entre la USAC y otras entidades para cubrir el financiamiento del proyecto.
<p>Componentes</p> <ul style="list-style-type: none"> • Realización del Estudio de Mercado • Realización del Estudio Técnico • Realización del Estudio Administrativo y Legal • Realización del Estudio Ambiental • Realización del Estudio Financiero 	<ul style="list-style-type: none"> • Numero de reuniones entre asesor experto y unidades técnicas de la Universidad y Unidades de Decisión Superior 	<ul style="list-style-type: none"> • Documento final con la propuesta de diseño e instalación del sistema con costos y detalles relevantes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Participación activa de las áreas técnicas de la Universidad • Orden de compra para la ejecución del proyecto
<p>Actividades</p> <ul style="list-style-type: none"> • Promover la participación activa de las áreas técnicas de la Universidad. • Mostrar estudio de prefactibilidad a las unidades de decisión superior. 	<ul style="list-style-type: none"> • Numero de reuniones entre unidades de Decisión Superior y unidades técnicas de la Universidad. 	<ul style="list-style-type: none"> • Informes 	<ul style="list-style-type: none"> • Unidades de Decisión Superior llevan proyecto a siguiente nivel de estudios de preinversión • Contratación de asesor experto que diseñe estudios y diseños finales

Fuente: Elaboración propia

Anexo 9. Situación actual de graderíos y montículo de tierra, estadio Revolución



Anexo 10. Situación actual graderíos, parte superior externa



Anexo 12. Flujo de fondos con préstamo, en Quetzales

Descripción	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
INGRESOS													
Ingresos Energía		777,799.3	758,103.0	752,588.0	747,073.0	741,558.0	736,043.0	730,528.0	725,013.1	719,498.1	713,983.1	708,468.1	702,953.1
<i>Total Ingresos</i>		777,799.3	758,103.0	752,588.0	747,073.0	741,558.0	736,043.0	730,528.0	725,013.1	719,498.1	713,983.1	708,468.1	702,953.1
EGRESOS													
Mant. Correctivo													
Mant. Preventivo		73,646.6	73,646.6	105,646.6	105,646.6	108,816.0	108,816.0	108,816.0	108,816.0	108,816.0	112,080.5	112,080.5	112,080.5
Pago Interés Préstamo		270,000.0	254,624.4	237,865.0	219,597.3	199,685.4	177,981.5	154,324.2	128,537.8	100,430.6	69,793.8	36,399.6	
Depreciación Equipo G.		182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8
Amortización Estudios		6,000.0	6,000.0	6,000.0	6,000.0	6,000.0							
<i>Total Egresos</i>		531,826.4	516,450.8	531,691.4	513,423.7	496,681.2	468,977.3	445,320.0	419,533.6	391,426.4	364,054.1	330,659.9	294,260.3
UTILIDAD BRUTA		245,972.9	241,652.1	220,896.5	233,649.3	244,876.8	267,065.7	285,208.0	305,479.4	328,071.6	349,929.0	377,808.2	408,692.8
UTILIDAD NETA		245,972.9	241,652.1	220,896.5	233,649.3	244,876.8	267,065.7	285,208.0	305,479.4	328,071.6	349,929.0	377,808.2	408,692.8
INVERSIONES													
Equipo de Generación	-4,554,496												
Estudio Impacto Amb.	-30,000.0												
Remoción Obstáculos	-3,000.0												
Salario Asesor Experto	-163,285.2												
Préstamo Bancario	-3,000,000												
Depreciación Equipo G.		182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8
Amortización Estudios		6,000.0	6,000.0	6,000.0	6,000.0	6,000.0							
Pago Capital Préstamo		-170,840.0	-186,215.6	-202,975.0	-221,242.7	-241,154.6	-262,858.5	-286,515.7	-312,302.1	-340,409.3	-371,046.2	-404,440.3	
Flujo Neto de Fondos	-1,750,781	263,312.8	243,616.4	206,101.4	200,586.4	191,902.0	186,387.1	180,872.1	175,357.1	169,842.1	161,062.6	155,547.7	590,872.6

Fuente: Elaboración propia

Continuación del Anexo nº 12.

Descripción	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
INGRESOS													
Ingresos Energía	697,438.14	691,923.15	686,408.17	680,893.18	675,378.20	669,863.21	664,348.23	658,833.25	653,318.26	647,803.28	642,288.29	636,773.31	631,258.32
<i>Total Ingresos</i>	697,438.14	691,923.15	686,408.17	680,893.18	675,378.20	669,863.21	664,348.23	658,833.25	653,318.26	647,803.28	642,288.29	636,773.31	631,258.32
EGRESOS													
Mant. Correctivo	356,904.00												
Mant. Preventivo	112,080.5	112,080.5	115,442.9	115,442.9	115,442.9	115,442.9	115,442.9	118,906.2	118,906.2	118,906.2	118,906.2	118,906.2	118,906.2
Pago Interés Préstamo													
Depreciación Equipo G.	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8
Amortización Estudios													
<i>Total Egresos</i>	651,164.3	294,260.3	297,622.7	297,622.7	297,622.7	297,622.7	297,622.7	301,086.0	301,086.0	301,086.0	301,086.0	301,086.0	301,086.0
UTILIDAD BRUTA	46,273.8	397,662.8	388,785.4	383,270.5	377,755.5	372,240.5	366,725.5	357,747.2	352,232.2	346,717.3	341,202.3	335,687.3	330,172.3
UTILIDAD NETA	46,273.8	397,662.8	388,785.4	383,270.5	377,755.5	372,240.5	366,725.5	357,747.2	352,232.2	346,717.3	341,202.3	335,687.3	330,172.3
INVERSIONES													
Equipo de Generación													
Estudio Impacto Amb.													
Remoción Obstáculos													
Salario Asesor Experto													
Préstamo Bancario													
Depreciación Equipo G.	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8
Amortización Estudios													
Pago Capital Préstamo													
Flujo Neto de Fondos	228,453.7	579,842.7	570,965.3	565,450.3	559,935.3	554,420.3	548,905.3	539,927.1	534,412.1	528,897.1	523,382.1	517,867.1	512,352.1

Fuente: Elaboración propia

Anexo 13. Flujo de fondos sin préstamo, en Quetzales

Descripción	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
INGRESOS													
Ingresos Energía		777,799.3	758,103.0	752,588.0	747,073.0	741,558.0	736,043.0	730,528.0	725,013.1	719,498.1	713,983.1	708,468.1	702,953.1
<i>Total Ingresos</i>		777,799.3	758,103.0	752,588.0	747,073.0	741,558.0	736,043.0	730,528.0	725,013.1	719,498.1	713,983.1	708,468.1	702,953.1
EGRESOS													
Mant. Correctivo													
Mant. Preventivo		73,646.6	73,646.6	105,646.6	105,646.6	108,816.0	108,816.0	108,816.0	108,816.0	108,816.0	112,080.5	112,080.5	112,080.5
Pago Interés Préstamo													
Depreciación Equipo G.		182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8
Amortización Estudios		6,000.0	6,000.0	6,000.0	6,000.0	6,000.0							
<i>Total Egresos</i>		261,826.4	261,826.4	293,826.4	293,826.4	296,995.8	290,995.8	290,995.8	290,995.8	290,995.8	294,260.3	294,260.3	294,260.3
UTILIDAD BRUTA		515,972.9	496,276.5	458,761.5	453,246.5	444,562.1	445,047.1	439,532.2	434,017.2	428,502.2	419,722.7	414,207.79	408,692.8
UTILIDAD NETA		515,972.9	496,276.5	458,761.5	453,246.5	444,562.1	445,047.1	439,532.2	434,017.2	428,502.2	419,722.7	414,207.79	408,692.8
INVERSIONES													
Equipo de Generación	-4,554,496												
Estudio Impacto Amb.	-30,000.0												
Remoción Obstáculos	-3,000.0												
Salario Asesor Experto	-163,285.2												
Depreciación Equipo G.		182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8
Amortización Estudios		6,000.0	6,000.0	6,000.0	6,000.0	6,000.0							
Pago Capital Préstamo													
Flujo Neto de Fondos	-4,750,781	704,152.7	684,456.4	646,941.4	641,426.4	632,742.0	627,227.0	621,712.0	616,197.1	610,682.1	601,902.6	596,387.6	590,872.6

Fuente: Elaboración propia

Continuación del Anexo nº 13.

Descripción	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
INGRESOS													
Ingresos Energía	697,438.14	691,923.15	686,408.17	680,893.18	675,378.20	669,863.21	664,348.23	658,833.25	653,318.26	647,803.28	642,288.29	636,773.31	631,258.32
<i>Total Ingresos</i>	651,164.3	294,260.3	297,622.7	297,622.7	297,622.7	297,622.7	297,622.7	301,086.0	301,086.0	301,086.0	301,086.0	301,086.0	301,086.0
EGRESOS													
Mant. Correctivo	356,904.00												
Mant. Preventivo	112,080.5	112,080.5	115,442.9	115,442.9	115,442.9	115,442.9	115,442.9	118,906.2	118,906.2	118,906.2	118,906.2	118,906.2	118,906.2
Pago Interés Préstamo													
Depreciación Equipo G.	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8
Amortización Estudios													
<i>Total Egresos</i>	651,164.3	294,260.3	297,622.7	297,622.7	297,622.7	297,622.7	297,622.7	301,086.0	301,086.0	301,086.0	301,086.0	301,086.0	301,086.0
UTILIDAD BRUTA	46,273.8	397,662.8	388,785.4	383,270.5	377,755.5	372,240.5	366,725.5	357,747.2	352,232.2	346,717.3	341,202.3	335,687.3	330,172.3
UTILIDAD NETA	46,273.8	397,662.8	388,785.4	383,270.5	377,755.5	372,240.5	366,725.5	357,747.2	352,232.2	346,717.3	341,202.3	335,687.3	330,172.3
INVERSIONES													
Equipo de Generación													
Estudio Impacto Amb.													
Remoción Obstáculos													
Salario Asesor Experto													
Préstamo Bancario													
Depreciación Equipo G.	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8
Amortización Estudios													
Pago Capital Préstamo													
Flujo Neto de Fondos	228,453.7	579,842.7	570,965.3	565,450.3	559,935.3	554,420.3	548,905.3	539,927.1	534,412.1	528,897.1	523,382.1	517,867.1	512,352.1

Fuente: Elaboración propia

Anexo 14. Flujo de fondos con préstamo + CER's, en Quetzales

Descripción	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
INGRESOS													
Ingresos Energía		777,799.3	758,103.0	752,588.0	747,073.0	741,558.0	736,043.0	730,528.0	725,013.1	719,498.1	713,983.1	708,468.1	702,953.1
Otros Ingresos CER's		17,974.1	17,524.8	17,399.0	17,273.1	17,147.3	17,021.5	16,895.7	16,769.9	16,644.0	16,518.2	16,392.4	16,266.6
Total Ingresos		795,773.5	775,627.7	769,986.9	764,346.1	758,705.3	753,064.5	747,423.7	741,782.9	736,142.1	730,501.3	724,860.5	719,219.7
EGRESOS													
Mant. Correctivo													
Mant. Preventivo		73,646.6	73,646.6	105,646.6	105,646.6	108,816.0	108,816.0	108,816.0	108,816.0	108,816.0	112,080.5	112,080.5	112,080.5
Pago Interés Préstamo		270,000.0	254,624.4	237,865.0	219,597.3	199,685.4	177,981.5	154,324.2	128,537.8	100,430.6	69,793.8	36,399.6	
Depreciación Equipo G.		182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8
Amortización Estudios		6,000.0	6,000.0	6,000.0	6,000.0	6,000.0							
Total Egresos		531,826.4	516,450.8	531,691.4	513,423.7	496,681.2	468,977.3	445,320.0	419,533.6	391,426.4	364,054.1	330,659.9	294,260.3
UTILIDAD BRUTA		263,947.0	259,176.9	238,295.5	250,922.4	262,024.1	284,087.2	302,103.7	322,249.3	344,715.7	366,447.2	394,200.6	424,959.4
UTILIDAD NETA		263,947.0	259,176.9	238,295.5	250,922.4	262,024.1	284,087.2	302,103.7	322,249.3	344,715.7	366,447.2	394,200.6	424,959.4
INVERSIONES													
Equipo de Generación	-4,554,496												
Estudio Impacto Amb.	-30,000.0												
Remoción Obstáculos	-3,000.0												
Salario Asesor Experto	-163,285.2												
Préstamo Bancario	-3,000,000												
Depreciación Equipo G.		182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8
Amortización Estudios		6,000.0	6,000.0	6,000.0	6,000.0	6,000.0							
Pago Capital Préstamo		-170,840.0	-186,215.6	-202,975.0	-221,242.7	-241,154.6	-262,858.5	-286,515.7	-312,302.1	-340,409.3	-371,046.2	-404,440.3	
Flujo Neto de Fondos	-1,750,781	281,286.9	261,141.1	223,500.3	217,859.5	209,049.3	203,408.5	197,767.8	192,127.0	186,486.2	177,580.8	171,940.1	607,139.2

Fuente: Elaboración propia

Continuación del Anexo nº 14.

Descripción	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
INGRESOS													
Ingresos Energía	697,438.14	691,923.15	686,408.17	680,893.18	675,378.20	669,863.21	664,348.23	658,833.25	653,318.26	647,803.28	642,288.29	636,773.31	631,258.32
Otros Ingresos CER's	16,140.8	16,015.0	15,889.1	15,763.3	15,637.5	15,511.7	15,385.9	15,260.0	15,134.2	15,008.4	14,882.6	14,756.8	14,630.9
<i>Total Ingresos</i>	713,578.9	707,938.1	702,297.3	696,656.5	691,015.7	685,374.9	679,734.1	674,093.3	668,452.5	662,811.7	657,170.9	651,530.1	645,889.3
EGRESOS													
Mant. Correctivo	356,904.00												
Mant. Preventivo	112,080.5	112,080.5	115,442.9	115,442.9	115,442.9	115,442.9	115,442.9	118,906.2	118,906.2	118,906.2	118,906.2	118,906.2	118,906.2
Pago Interés Préstamo													
Depreciación Equipo G.	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8
Amortización Estudios													
<i>Total Egresos</i>	651,164.3	294,260.3	297,622.7	297,622.7	297,622.7	297,622.7	297,622.7	301,086.0	301,086.0	301,086.0	301,086.0	301,086.0	301,086.0
UTILIDAD BRUTA	62,414.6	413,677.8	404,674.6	399,033.8	393,393.0	387,752.2	382,111.4	373,007.3	367,366.5	361,725.7	356,084.9	350,444.1	344,803.2
UTILIDAD NETA	62,414.6	413,677.8	404,674.6	399,033.8	393,393.0	387,752.2	382,111.4	373,007.3	367,366.5	361,725.7	356,084.9	350,444.1	344,803.2
INVERSIONES													
Equipo de Generación													
Estudio Impacto Amb.													
Remoción Obstáculos													
Salario Asesor Experto													
Préstamo Bancario													
Depreciación Equipo G.	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8
Amortización Estudios													
Pago Capital Préstamo													
Flujo Neto de Fondos	244,594.4	595,857.6	586,854.4	581,213.6	575,572.8	569,932.0	564,291.2	555,187.1	549,546.3	543,905.5	538,264.7	532,623.9	526,983.1

Fuente: Elaboración propia

Anexo 15. Flujo de fondos sin préstamo + CER's, en Quetzales

Descripción	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
INGRESOS													
Ingresos Energía		777,799.3	758,103.0	752,588.0	747,073.0	741,558.0	736,043.0	730,528.0	725,013.1	719,498.1	713,983.1	708,468.1	702,953.1
Otros Ingresos CER's		17,974.1	17,524.8	17,399.0	17,273.1	17,147.3	17,021.5	16,895.7	16,769.9	16,644.0	16,518.2	16,392.4	16,266.6
Total Ingresos		795,773.5	775,627.7	769,986.9	764,346.1	758,705.3	753,064.5	747,423.7	741,782.9	736,142.1	730,501.3	724,860.5	719,219.7
EGRESOS													
Mant. Correctivo													
Mant. Preventivo		73,646.6	73,646.6	105,646.6	105,646.6	108,816.0	108,816.0	108,816.0	108,816.0	108,816.0	112,080.5	112,080.5	112,080.5
Pago Interés Préstamo													
Depreciación Equipo G.		182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8
Amortización Estudios		6,000.0	6,000.0	6,000.0	6,000.0	6,000.0							
Total Egresos		261,826.4	261,826.4	293,826.4	293,826.4	296,995.8	290,995.8	290,995.8	290,995.8	290,995.8	294,260.3	294,260.3	294,260.3
UTILIDAD BRUTA		533,947.0	513,801.3	476,160.5	470,519.7	461,709.5	462,068.7	456,427.9	450,787.1	445,146.3	436,241.0	430,600.2	424,959.4
UTILIDAD NETA		533,947.0	513,801.3	476,160.5	470,519.7	461,709.5	462,068.7	456,427.9	450,787.1	445,146.3	436,241.0	430,600.2	424,959.4
INVERSIONES													
Equipo de Generación	-4,554,496												
Estudio Impacto Amb.	-30,000.0												
Remoción Obstáculos	-3,000.0												
Salario Asesor Experto	-163,285.2												
Depreciación Equipo G.		182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8
Amortización Estudios		6,000.0	6,000.0	6,000.0	6,000.0	6,000.0							
Pago Capital Préstamo													
Flujo Neto de Fondos	-4,750,781	722,126.9	701,981.1	664,340.3	658,699.5	649,889.3	644,248.5	638,607.7	632,966.9	627,326.1	618,420.8	612,780.0	607,139.2

Fuente: Elaboración propia

Continuación del Anexo nº 15.

Descripción	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
INGRESOS													
Ingresos Energía	697,438.14	691,923.15	686,408.17	680,893.18	675,378.20	669,863.21	664,348.23	658,833.25	653,318.26	647,803.28	642,288.29	636,773.31	631,258.32
Otros Ingresos CER's	16,140.8	16,015.0	15,889.1	15,763.3	15,637.5	15,511.7	15,385.9	15,260.0	15,134.2	15,008.4	14,882.6	14,756.8	14,630.9
<i>Total Ingresos</i>	713,578.9	707,938.1	702,297.3	696,656.5	691,015.7	685,374.9	679,734.1	674,093.3	668,452.5	662,811.7	657,170.9	651,530.1	645,889.3
EGRESOS													
Mant. Correctivo	356,904.00												
Mant. Preventivo	112,080.5	112,080.5	115,442.9	115,442.9	115,442.9	115,442.9	115,442.9	118,906.2	118,906.2	118,906.2	118,906.2	118,906.2	118,906.2
Pago Interés Préstamo													
Depreciación Equipo G.	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8
Amortización Estudios													
<i>Total Egresos</i>	651,164.3	294,260.3	297,622.7	297,622.7	297,622.7	297,622.7	297,622.7	301,086.0	301,086.0	301,086.0	301,086.0	301,086.0	301,086.0
UTILIDAD BRUTA	62,414.6	413,677.8	404,674.6	399,033.8	393,393.0	387,752.2	382,111.4	373,007.3	367,366.5	361,725.7	356,084.9	350,444.1	344,803.2
UTILIDAD NETA	62,414.6	413,677.8	404,674.6	399,033.8	393,393.0	387,752.2	382,111.4	373,007.3	367,366.5	361,725.7	356,084.9	350,444.1	344,803.2
INVERSIONES													
Equipo de Generación													
Estudio Impacto Amb.													
Remoción Obstáculos													
Salario Asesor Experto													
Préstamo Bancario													
Depreciación Equipo G.	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8	182,179.8
Amortización Estudios													
Pago Capital Préstamo													
Flujo Neto de Fondos	244,594.4	595,857.6	586,854.4	581,213.6	575,572.8	569,932.0	564,291.2	555,187.1	549,546.3	543,905.5	538,264.7	532,623.9	526,983.1

Fuente: Elaboración propia

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Generación eléctrica por tipo de combustible. Guatemala, año 2018 (%).....	9
Figura 2. Costo variable de generación promedio (US\$/MWh). Guatemala, año 2018 (%).....	10
Figura 3. Tipos de radiación solar	26
Figura 4. Irradiancia y HSP durante el día	28
Figura 5. Esquema de un sistema fotovoltaico conectado a la red	32
Figura 6. Esquema de un sistema fotovoltaico autónomo.....	33
Figura 7. Estructura de un panel fotovoltaico.....	34
Figura 8. Funcionamiento de la célula fotovoltaica	36
Figura 9. Curva característica del panel	38
Figura 10. Curva V-I en función de la temperatura	41
Figura 11. Comportamiento eléctrico de un panel fotovoltaico.....	41
Figura 12. Conversión de la onda de salida del inversor	44
Figura 13. Formas de colocar estructuras fijas	49
Figura 14. Conductor fotovoltaico.....	52
Figura 15. Inclinación del panel fotovoltaico	59
Figura 16. Orientación, ángulo de Azimut α	60
Figura 17. Movimiento del sol en Guatemala.....	60
Figura 18. Distancia mínima entre paneles fotovoltaicos	61
Figura 19. Diagrama del espectro electromagnético.....	63
Figura 20. Matriz de intensidad luminosa	75
Figura 21. Gráfico cartesiano	75
Figura 22. Curva polar.....	76
Figura 23. Altura de montaje de luminarias	79
Figura 24. Relación entre la separación del campo y la altura de los postes	79

Figura 25. Tipos de proyectores	81
Figura 26. Poste poligonal seccionable	82
Figura 27. Altura de montaje de luminarias	85
Figura 28. Deslumbramiento por iluminación artificial.....	86
Figura 29. Eventos no televisados - Clase III, partidos nacionales	86
Figura 30. Eventos no televisados - Clase II, partidos de liga y clubes.....	87
Figura 31. Eventos no televisados - Clase I, entrenamiento y recreo	87
Figura 32. Mapa de Guatemala, resaltando el departamento de Guatemala	98
Figura 33. Mapa del departamento de Guatemala, resaltando la zona 12 capitalina	99
Figura 34. Mapa de la zona 12, resaltando la USAC	99
Figura 35. Estadio Revolución, Campus Central Universitario.....	100
Figura 36. Luminaria a utilizar	108
Figura 37. Resultados de iluminación.....	109
Figura 38. Valores de luminancia sobre el campo de futbol, estadio Revolución	109
Figura 39. Planos de los techos de los edificios S3 y S6	113
Figura 40. Distribución de áreas en el techo o azotea	114
Figura 41. Procesos del Proyecto.....	128
Figura 42. Proceso de mantenimiento correctivo.....	134
Figura 43. Proceso de mantenimiento preventivo.....	134
Figura 44. Cronograma de actividades para el Proyecto	141
Figura 45. Mapa de quebradas y drenaje natural	156
Figura 46. Temperatura promedio mensual -Celsius-, año 2020	157
Figura 47. Velocidad promedio del viento -Km/h-, año 2020	158
Figura 48. Pluviosidad -mm-. Zona 12, ciudad de Guatemala, año 2016.....	158
Figura 49. Radiación solar -kWh/m2 día- ciudad de Guatemala	159

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición porcentual, matriz energética nacional	20
Tabla 2. Generación eléctrica por tipo de recurso en GWh	21
Tabla 3. Ventajas y desafíos de la energía solar	25
Tabla 4. Radiación solar. Guatemala, año 2014.....	29
Tabla 5. Porcentaje de pérdida anual de un panel fotovoltaico.....	42
Tabla 6. Conductividad a distintas temperaturas	52
Tabla 7. Resumen de pérdidas del sistema fotovoltaico	62
Tabla 8. Comparativo, tipos de lámparas	68
Tabla 9. Categoría competiciones	84
Tabla 10. Especificación de iluminación para eventos televisados	88
Tabla 11. Especificación de iluminación para eventos no televisados	89
Tabla 12. Demanda de potencia y demanda de energía, estadio Revolución.....	102
Tabla 13. Demanda de energía requerida por mes y por año, estadio Revolución	102
Tabla 14. Pliego tarifario, año 2019.....	105
Tabla 15. Especificaciones de la lampara a utilizar	108
Tabla 16. Características eléctricas, panel a utilizar	111
Tabla 17. Características mecánicas, panel a utilizar	111
Tabla 18. Propuestas de ubicación, método de localización por puntos ponderados	112
Tabla 19. Dimensiones de los edificios.....	114
Tabla 20. Dimensiones de las áreas de los edificios	115
Tabla 21. Longitud mínima de sombras de obstáculos en azoteas, edificios S3 y S6.....	115
Tabla 22. Número máximo de paneles en azotea, edificios S3 y S6	120
Tabla 23. Producción total anual del sistema fotovoltaico.....	121
Tabla 24. Datos y especificaciones del inversor	122

Tabla 25. Integración sueldo asesor experto	139
Tabla 26. Integración sueldo vigilante	140
Tabla 27. Impactos ambientales en factores bióticos, abióticos y socioeconómicos	161
Tabla 28. Matriz de Leopold	162
Tabla 29. Plan de mitigación a implementar en el proyecto	163
Tabla 30. Esquema general del plan de abandono del proyecto	168
Tabla 31. Costos equipo de generación	170
Tabla 32. Costo equipo de iluminación	171
Tabla 33. Inversión inicial del Proyecto	172
Tabla 34. Costo mantenimiento de conexiones eléctricas, sistema fotovoltaico	173
Tabla 35. Costo mantenimiento de limpieza paneles, sistema fotovoltaico	173
Tabla 36. Costo mantenimiento anual, sistema fotovoltaico y sistema de iluminación	174
Tabla 37. Ingreso energía anual, estadio Revolución	175
Tabla 38. Ingreso energía anual destinada a edificios	176
Tabla 39. Ingreso total anual del sistema fotovoltaico	178
Tabla 40. Ingresos por concepto de CER's y ahorro de emisiones CO ₂	179
Tabla 41. Programa de financiamiento del préstamo, en Quetzales	182
Tabla 42. Flujo de fondos, escenario sin préstamo	183
Tabla 43. Flujo de fondos, escenario con préstamo	184
Tabla 44. Indicadores de rentabilidad del proyecto	185
Tabla 45. Sensibilidad ante la variable precio de la energía	187
Tabla 46. Factores de corrección	188
Tabla 47. Costo inversión inicial y costo de mantenimiento en valores de precios sociales	189
Tabla 48. Indicadores económicos del proyecto	189