

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

**ANÁLISIS DE INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS PARA SUPLIR
LA DEMANDA ENERGÉTICA DE LA INDUSTRIA Y REDUCIR SU
HUELLA DE CARBONO**

**ANÁLISIS DE LA REDUCCIÓN EN EMISIONES DE EFECTO
INVERNADERO DEBIDO A LA PENETRACIÓN DE SISTEMAS
FOTOVOLTAICOS EN LA EMPRESA BAKER HUGHES (ALS
MITAD DEL MUNDO)**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO**

LUIS GONZALO COQUE TORRES
luis.coque@epn.edu.ec

DIRECTOR: Ing. SANTIAGO DAVID VACA JIMÉNEZ, MSc, PhD.
santiago.vaca@epn.edu.ec

DMQ, Febrero 2024

CERTIFICACIÓN

Yo, LUIS GONZALO COQUE TORRES declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

LUIS GONZALO COQUE TORRES

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por LUIS GONZALO COQUE TORRES, bajo mi supervisión.

Ing. SANTIAGO DAVID VACA JIMÉNEZ, MSc, PhD.
DIRECTOR

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el producto resultante del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

LUIS GONZALO COQUE TORRES

Ing. SANTIAGO DAVID VACA JIMÉNEZ, MSc, PhD.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi papá Gonzalo Coque y a mi mamá Graciela Torres, quienes me apoyaron para cumplir mis sueños y hacerlos realidad. Este logro es suyo papi y mami.

A mi hermanito Mateo, que este trabajo le sirva de guía y motivación para seguir adelante y cumplir sus metas.

Luis Gonzalo Coque Torres

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi padre Gonzalo Coque, por guiarme en el transcurso de mi vida. Gracias por estar pendiente de mi educación, por ser mi mejor amigo, consejero y mi mentor. Gracias por todo tu amor, comprensión y apoyo. Gracias por luchar a mi lado para que esto se cumpla. Gracias por ser mi ejemplo a seguir. Te amo mucho papi.

Agradezco a mi madre Graciela Torres, gracias a su esfuerzo pude hacer este sueño realidad. Gracias por cuidarme mami, y por ser mi fuente de motivación de trabajo duro y disciplina para lograr mis objetivos. Te amo mucho mami.

Agradezco a mi hermanito Mateo, quien estuvo todos los días a mi lado apoyándome, especialmente en los momentos difíciles. Gracias por todo hermanito de mi vida.

Agradezco a mis hermanas Gabriela y Carolina, que fueron como padre y madre durante mi niñez. Hermanitas, gracias por criarme, cuidarme, aconsejarme y guiarme en los pasos que di. Esto no se hubiera logrado sin su apoyo y consejos.

Agradezco a mi abuelita Lucrecia. Sé que desde el cielo me guiaste y cuidaste de mí. A mi abuelito Hernán, que estuvo en momentos que lo necesitaba.

Agradezco a mis abuelitos Camilo y Soledad, que son mis angelitos que me cuidaron desde el cielo y me acompañaron en cada decisión que tomé en mi vida.

Para finalizar, agradezco a todas las personas que de alguna manera colaboraron para que esto se pueda lograr.

Luis Gonzalo Coque Torres

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	V
RESUMEN	VII
ABSTRACT	VIII
1. DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO.....	1
1.1 Objetivo general.....	1
1.2 Objetivos específicos	1
1.3 Alcance	2
1.4 Marco Teórico	2
1.4.1 Cambio climático.....	2
1.4.2 Huella de Impacto Ambiental	4
1.4.3 Energía Renovable	4
1.4.4 Energía Solar.....	5
1.4.5 Hora Solar Pico.....	6
1.4.6 Energía Fotovoltaica	7
1.4.7 Sistemas Fotovoltaicos	7
1.4.8 Panel Solar	8
1.4.9 ISO 14064.....	9
2. METODOLOGÍA.....	10
2.1 Huella de carbono	10
2.1.1 Definición de los límites	10
2.1.2 Selección del año base.....	12
2.1.3 Cuantificación de las emisiones	13
2.2 Caso de Estudio.....	13
2.2.1 Localización	13
2.2.2 Espacio para la instalación del sistema fotovoltaico.....	14
2.2.3 Definición de casos de estudio.....	15
2.3 Sistema Fotovoltaico.....	16
2.3.1 Cálculo Horas Solar Pico	16
2.3.2 Potencia de paneles solares	17
2.3.3 Número de paneles solares	17

2.3.4 Energía anual por panel solar	17
2.3.5 Energía anual total de los paneles	18
2.4 Análisis económico	18
3. RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	19
3.1 Resultados Huella de Carbono	19
3.1.1 Identificación de las emisiones.....	19
3.1.2 Cálculo de las emisiones	20
3.1.3 Resultado: Inventario de GEI	20
3.2 Resultados Sistemas Fotovoltaicos	21
3.2.1 Energía Fotovoltaica	21
3.2.2 Consumo Eléctrico.....	21
3.2.3 Dimensionamiento del panel solar	22
3.2.3 Cálculo Hora Solar Pico	23
3.2.4 Potencia Nominal del Panel Solar	23
3.2.5 Número de paneles solares	23
3.3 Evaluación de la disminución de emisiones con la penetración de sistemas fotovoltaicos	24
3.3.1 Energía por panel solar.....	24
3.3.2 Energía anual total de los paneles	24
3.3.3 Huella de carbono en función de la variación de paneles solares	24
3.3.4 Análisis económico	25
3.4 Discusión	26
3.5 Conclusiones.....	28
3.6 Recomendaciones	30
4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	31
5. ANEXOS.....	34

RESUMEN

En respuesta a la creciente preocupación por el calentamiento global debido a la liberación de gases de efecto invernadero, el sector industrial emerge como uno de los principales responsables de estas emisiones. Por lo tanto, surge una tendencia creciente entre las empresas a iniciar estrategias de descarbonización mediante la adopción de fuentes de energía renovable. Este trabajo busca comprender cómo la adopción de sistemas fotovoltaicos puede contribuir a la disminución de emisiones de CO₂ en la empresa Baker Hughes (ALS mitad del mundo). Utilizando la norma ISO 14064-1 como guía metodológica para determinar la huella de carbono. Con este objetivo, se llevó a cabo el dimensionamiento del sistema fotovoltaico, determinando que se requerirían 107 paneles solares con una capacidad de 316 [W]. Los resultados revelaron una reducción de emisiones anuales de 15.94 [tCO₂-eq], equivalente a 115 viajes en avión de Quito a Guayaquil. Esto considerando que el sistema fotovoltaico está diseñado para proporcionar la energía requerida para el horario de 08h00 a 18h00, que es el periodo de mayor demanda de energía eléctrica.

PALABRAS CLAVE: Huella de carbono, Sistema Fotovoltaico, Descarbonización, Energía Solar, Sector Industrial.

ABSTRACT

In response to the growing concern over global warming due to the release of greenhouse gases, the industrial sector surfaces as a significant contributor to these emissions. Therefore, there is a rising trend among companies to initiate decarbonization strategies by adopting renewable energy sources. This study aims to explore how the adoption of photovoltaic systems can contribute to reducing CO₂ emissions at Baker Hughes (ALS mitad del mundo). Using ISO 14064-1 as a methodological guide to determine the carbon footprint, the sizing of the photovoltaic system was conducted, determining that 107 solar panels with a capacity of 316 [W] would be required. The results revealed an annual reduction in emissions of 15.94 [tCO₂-eq], equivalent to 115 flights from Quito to Guayaquil. This is considering that the photovoltaic system is designed to provide the required energy during the peak demand period from 08h00 to 18h00.

KEYWORDS: Carbon Footprint, Photovoltaic System, Decarbonization, Solar Energy, Industrial Sector.

1. DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO

En la actualidad, existe un creciente interés en migrar hacia fuentes de energías que sean más sostenibles y limpias. En particular, la generación de electricidad mediante el empleo de combustibles convencionales, que es uno de los principales emisores de Gases de Efecto Invernadero (GEI), contribuyendo significativamente al calentamiento global. El sector del suministro de energías es el responsable del 35% de las emisiones totales, siendo uno de los principales generadores de GEI en el Ecuador [1]. En el año 2022, las emisiones totales en el Ecuador alcanzaron un valor de 2,648 kilotoneladas de dióxido de carbono debido a la producción de electricidad a nivel nacional, alcanzando la cifra más elevada registrada desde el 2018 [2].

En este contexto, el objetivo principal del presente trabajo de integración curricular es realizar un análisis de la mitigación de emisiones mediante la penetración de sistemas fotovoltaicos en la empresa Baker Hughes (ALS mitad del mundo). El inicio del estudio implica un análisis de las conexiones entre el uso de energía y las emisiones generadas en el sector industrial y las soluciones basadas en energías renovables. Esto proporcionará el contexto necesario para comprender la magnitud de los desafíos ambientales actuales y las potenciales soluciones que se pueden ofrecer con la energía solar fotovoltaica.

Posteriormente, se abordará la caracterización del consumo eléctrico temporal y sectorial de Baker Hughes (ALS mitad del mundo). Este análisis no sólo revelará patrones de consumo para el diseño de estrategias energéticas, sino que también establecerá una línea base para evaluar el impacto de los sistemas fotovoltaicos. A continuación, con la determinación de la disminución de la huella a través de la penetración del sistema fotovoltaico, permitirá proyectar y cuantificar los beneficios ambientales. Este análisis es esencial para evaluar el impacto a largo plazo de la adopción de sistemas fotovoltaicos en Baker Hughes (ALS mitad del mundo).

1.1 Objetivo general

Evaluar la reducción de la huella de carbono, vinculada al uso de electricidad, en la empresa Baker Hughes (ALS mitad del mundo) en Ecuador, consecuencia de la implementación de sistemas fotovoltaicos.

1.2 Objetivos específicos

- Realizar una estimación del consumo eléctrico de la empresa Baker Hughes (ALS mitad del mundo) en diferentes períodos de tiempo y sectores específicos.

- Estimar la cantidad de CO₂ emitida por el sistema de generación eléctrica de Ecuador y utilizar los datos recolectados del consumo eléctrico y del factor de emisión para cuantificar las emisiones de CO₂ ligadas al consumo eléctrico en Baker Hughes (ALS mitad del mundo).
- Evaluar y comparar las potenciales reducciones en la huella de carbono que se relacionan con cada nivel de penetración de paneles fotovoltaicos.
- Realizar un análisis de inversión de la implementación de tecnologías fotovoltaicas en la empresa Baker Hughes, considerando tanto los costos de inversión como los beneficios debido a la disminución de emisiones y ahorro de energía.

1.3 Alcance

El estudio en la empresa tiene como objetivo principal llevar a cabo un análisis de la disminución de emisiones de GEI mediante la penetración de sistemas fotovoltaicos en la empresa Baker Hughes (ALS mitad del mundo). El estudio se centra en actividades para comprender y cuantificar el impacto ambiental positivo resultante de la implementación de paneles solares en un entorno industrial.

El alcance geográfico de este estudio se centra en las instalaciones de Baker Hughes (ALS mitad del mundo). El estudio abarca desde la recopilación de datos, estimación de flujo eléctrico, el registro de flujos de electricidad, cuantificación de emisiones y el análisis de la mitigación de emisiones mediante la penetración de sistemas fotovoltaicos.

1.4 Marco Teórico

1.4.1 Cambio climático

Son las alteraciones de las temperaturas en el planeta. Estas alteraciones pueden originarse de manera natural debido a actividades solares o grandes erupciones volcánicas. Además, las actividades humanas han asumido un papel predominante del cambio climático por la quema de combustibles desde el siglo XIX [3].

El efecto invernadero retiene una fracción de radiación solar en la Tierra mediante sustancias conocidas como GEI. En la atmósfera se encuentran algunos gases, siendo algunos de origen natural y otros producidos por actividades humanas (antropogénicos). Los gases antropogénicos, tales como el óxido nitroso, metano, dióxido de carbono y otros, pueden captar la radiación infrarroja que emana de la Tierra. Lo que contribuye a calentar la atmósfera y la superficie terrestre [4].

Aunque en la actualidad las actividades humanas han superado a los procesos naturales en su contribución al cambio climático, aún hay factores naturales que desempeñan un papel significativo. Entre estos se encuentran los fenómenos como la Oscilación Decenal del Pacífico, eventos de El Niño y La Niña, así como actividades volcánicas, las variaciones de la producción de energía solar y cambios en la órbita del planeta [6].

A partir de la era preindustrial, se estima que las acciones humanas han ocasionado un incremento de aproximadamente 1 grado Celsius en la temperatura promedio global de la Tierra. Actualmente, este aumento se acelera, registrando más de 0.2 grados Celsius por década. La actual tendencia de calentamiento que avanza a un ritmo sin precedentes en milenios es de manera inequívoca atribuible a la actividad humana [6].

Los efectos del cambio climático pueden repercutir en diversos aspectos de nuestras vidas, como la salud, la producción de alimentos, la vivienda, la seguridad y el empleo [7]. Algunas poblaciones y naciones en desarrollo ya son más susceptibles a los impactos climáticos, resultado de fenómenos climáticos como intensas sequías, incendios, tormentas, deshielos de los polos, aumento del nivel del mar y disminución de la biodiversidad.

Es crucial que todas las personas y países se comprometan con acciones climáticas, como la transición de sistemas energéticos basados en combustibles fósiles a fuentes renovables como la energía solar, eólica y otras formas de energía limpias, podrán reducir las emisiones que alimentan el cambio climático [8].

Como se muestra en la Figura 1.1 el CO₂ destaca con un 65%, siendo el gas más abundante en comparación con otros. La elevada cantidad de dióxido de carbono se atribuye principalmente al sector energético, abarcando áreas como la generación de electricidad y calor, transporte, industria manufacturera y construcción. La gestión de residuos, actividades agrícolas, el consumo de energía y la quema de biomasa son elementos que impactan en el incremento de emisiones de metano. Por otro lado, las emisiones de óxido nitroso provienen principalmente de prácticas agrícolas como el uso de fertilizantes. El aumento de gases fluorados (F-gases), que abarcan hidrofluorocarbono (HFC), hexafluoruro de azufre (SF₆), perfluorocarbono (PFC), se atribuye a prácticas industriales, sistemas de refrigeración y el uso de productos que contienen estos gases [9]. Es importante destacar que, al evaluar distintos GEI, se utiliza la unidad de [CO₂-eq] para expresar las emisiones en términos comparables.

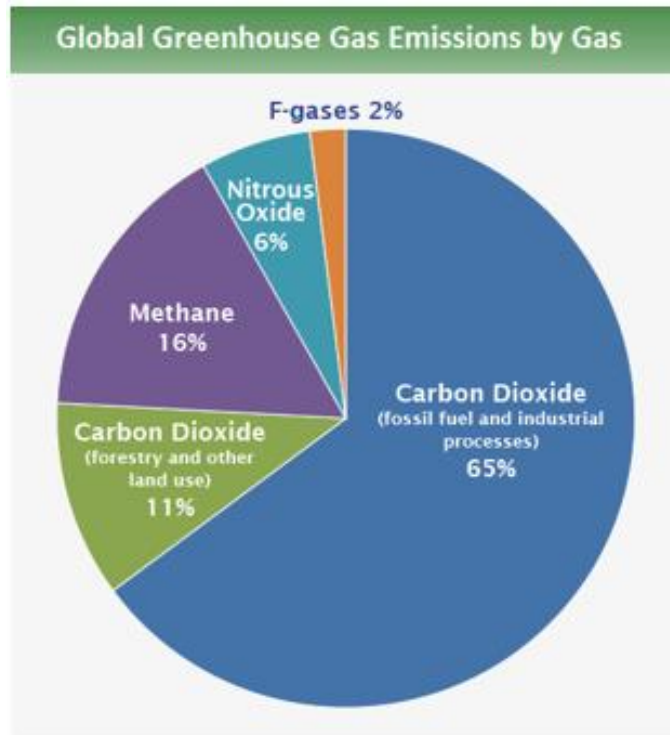


Figura 1.1. Emisiones de GEI a nivel mundial.
Fuente: [10]

1.4.2 Huella de Impacto Ambiental

Es un indicador que permite cuantificar el impacto ambiental y se puede dividir en dos ya sea de forma directa o indirecta como se muestra a continuación:

- Emisiones directas: Estas son emisiones que una persona o empresa posee y controla, como el uso de vehículos, hornos, calderas, entre otros.
- Emisiones indirectas: Estas emisiones están vinculadas a la actividad de la persona o empresa, pero no tienen control directo sobre el proceso, como las generadas por el consumo de electricidad.

1.4.3 Energía Renovable

Se deriva de fuentes naturales que se renuevan a una velocidad que supera su consumo. La fuerza del viento y la luz solar son ejemplos de fuentes de energías renovables que tienen amplia disponibilidad y son prácticamente inagotables. Por el contrario, los recursos no renovables, tales como el carbón, gas y petróleo necesitan cientos de millones de años para su formación. Al ser quemados con el fin de producir energía causan daños al medio ambiente. En contraste, el empleo de energías renovables genera emisiones considerablemente menores en comparación con la quema de combustibles fósiles [13].

La energía renovable tiene aplicaciones en la generación de electricidad, la refrigeración de espacios, el transporte y la calefacción. Entre los beneficios de las energías renovables se destacan los siguientes [14].

- Disminución en las emisiones de carbono.
- Disminución de la contaminación del aire.
- Mejora de la seguridad y confiabilidad de la red eléctrica nacional.
- Generación de empleo en la industria de energías renovables.
- Independencia energética.
- Provisión de acceso a energía limpia para comunidades remotas sin acceso a energía eléctrica.

1.4.4 Energía Solar

Representa una de las energías renovables más potentes a disposición de la Tierra. El adecuado aprovechamiento de esta energía tiene la capacidad de abastecer las demandas energéticas futuras, ofreciendo al mismo tiempo una alternativa sostenible y respetuosa al medio ambiente [15]. Esta energía solar puede ser empleada para generar electricidad de diversas maneras. La primera es conocida como energía solar térmica, que se basa en capturar, concentrar y emplear el calor para impulsar un motor térmico. La segunda implica la captación de energía solar y convertirla a electricidad mediante el uso de células fotovoltaicas [16].

La fuente primaria que impulsa la energía solar es la radiación solar, la cual consiste en energía electromagnética emitida por el Sol. La cantidad de radiación solar que recibe cada ubicación del planeta varía según:

- Ubicación geográfica
- Condiciones climáticas locales
- Estación del año
- Características del paisaje local
- Hora del día

Debido a la forma redonda de la Tierra, los rayos del sol inciden en su superficie desde diferentes ángulos, que varían desde 0° hasta 90° (directamente encima). Cuando los rayos del sol están a 90° , la superficie terrestre absorbe la máxima cantidad de energía posible. No obstante, cuando estos rayos solares se inclinan, atraviesan la atmósfera durante un periodo más prolongado, lo que provoca que se dispersen, perdiendo parte de su intensidad [17].

La radiación solar que alcanza a diferentes ubicaciones de la Tierra es identificada y evaluada en distintos momentos del año. Las mediciones de energía solar se expresan como radiación total en una superficie [17].

Para poder cuantificar la radiación solar, se presentan los siguientes parámetros:

- Irradiancia: Representa la potencia de la radiación electromagnética incidente por unidad de área. Se expresa en unidades de kilovatios por metro cuadrado [kW/m^2].
- Irradiación: Indica la energía solar total acumulada por unidad de área en un periodo de tiempo. Se expresa en unidades de kilovatios por metro cuadrado [kWh/m^2] o megajulios por metro cuadrado [MJ/m^2].

1.4.5 Hora Solar Pico

Las horas pico solar se refieren al periodo del día en el que la radiación solar alcanza su punto máximo. Este periodo varía según la ubicación geográfica y la estación del año. Conocer el valor de las horas pico solares es esencial para diseñar eficientemente sistemas fotovoltaicos, ya que la eficiencia en la generación de energía solar suele ser mayor en este periodo, dado que la luz solar incide directamente sobre los paneles [26].

A continuación, se muestra la irradiación en un día normal soleado. En la gráfica color rojo se muestra la irradiación en [W/m^2] a lo largo del día hasta llegar a su valor máximo, a partir del cual empieza a disminuir, es decir, la irradiancia va variando. Sin embargo, en la gráfica color amarillo, la irradiancia es constante $1000 \text{ [W/m}^2\text{]}$ durante un periodo más corto de tiempo. Por lo tanto, cuando se habla de una hora solar pico (HSP), nos referimos a la energía captada en una hora, con irradiancia promedio de $1000 \text{ [W/m}^2\text{]}$ [18].

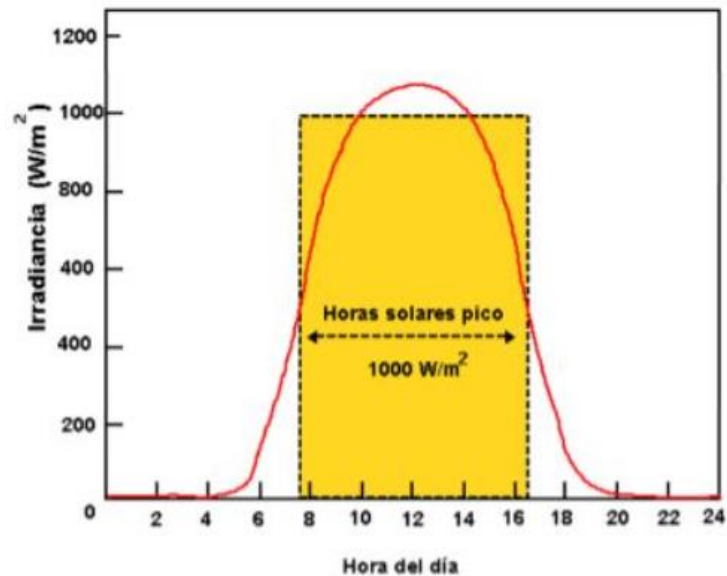


Figura 1.2. Irradiación en un día soleado normal.
Fuente:[18]

1.4.6 Energía Fotovoltaica

Es generar electricidad al convertir radiación solar en una corriente eléctrica continua, mediante células fotovoltaicas. Esta forma de energía puede ser implementada en cualquier ubicación donde sea necesaria. Esto permite su instalación en techos de edificios, residencias e incluso en ubicaciones remotas [20].

A continuación, se presentan las ventajas de la energía fotovoltaica:

- Utiliza fuentes de energía limpia y gratuita.
- No provoca impactos ambientales.
- Bajo costo de operación y mantenimiento.
- Potencial de mitigar las emisiones.
- Requiere mínimo mantenimiento.
- Independencia energética.
- Funciona de manera silenciosa.

1.4.7 Sistemas Fotovoltaicos

Los sistemas fotovoltaicos generan energía eléctrica mediante la absorción de la luz solar a través de células solares. Estas células pueden estar conectadas en manera paralela o en serie [21]. La energía producida puede ser utilizada directamente o almacenada en baterías. Aunque los paneles solares son componentes clave de estos sistemas fotovoltaicos, también existen otros componentes clave de estos sistemas conocidos como

“equilibrio del sistema “(BOS), que incluye banco de baterías, cajas combinadas, inversores, cableado, entre otros [22].

Estos sistemas fotovoltaicos tienen aplicación tanto en entornos residenciales como en entornos industriales. En residencias, pueden alimentar electrodomésticos y en entornos industriales además de suplir la energía eléctrica, contribuyen a menorar los costos de energía. La principal ventaja de esta tecnología fotovoltaica radica en su capacidad para adaptarse a diversas necesidades de energía y trabajar en conjunto con otras fuentes de energía para ofrecer un suministro de electricidad continuo [22].



Figura 1.3. Ejemplo de la instalación de sistemas fotovoltaicos.
Fuente: [23]

1.4.8 Panel Solar

Los paneles solares, están compuestos por un conjunto de células fotovoltaicas. Al incidir la luz solar sobre un panel solar, las células fotovoltaicas absorben su energía. Este proceso genera cargas eléctricas que se desplazan a lo largo de un campo eléctrico interno de la célula, facilitando así el flujo de electricidad. La forma más común de paneles solares son las de células solares de silicio cristalino. Estas células solares se forman de capas de silicio elemental y elementos como el fósforo y boro [24].

Los paneles solares de mayor eficiencia tienen la capacidad de transformar ligeramente más del 20% de los rayos del sol en electricidad [25]. La vida útil operativa estándar de un panel es de unos 30 a 35 años, aunque algunos pueden producir energía por periodos más

extensos y pueden alcanzar una potencia de 320-400 vatios en condiciones estándar. En la actualidad, gran parte de estos paneles se fabrican con materiales reciclables, los cuales pueden emplearse para la producción de nuevos paneles solares [26].

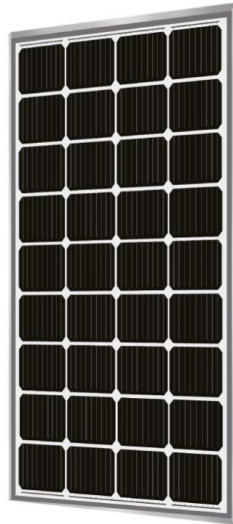


Figura 1.4. Ejemplo de Panel Solar.
Fuente: [27]

1.4.9 ISO 14064

La norma ISO 14064, es un marco globalmente reconocido que brinda directrices esenciales para certificar y respaldar los cálculos realizados en los informes sobre GEI. Asimismo, esta norma establece directrices para garantizar la credibilidad y precisión de dichos cálculos. Dividida en tres categorías, ISO 14064-1, ISO 14064-2 y la ISO 14064-3, cada una cumple un papel específico en el proceso. La ISO 14064-1 se centra en medir y reportar las emisiones, la ISO 14064-2 se enfoca en las bases para la planificación de proyectos de GEI y la ISO 14064-3 aborda los procesos de verificación y aseguramiento de la información [28].

2. METODOLOGÍA

Para llevar a cabo la determinación de emisiones, nos apoyaremos de la norma ISO 14064-1 “Gases de efecto invernadero. Parte 1: Especificación con orientación a nivel de organización para la cuantificación y notificación de emisiones y absorciones de gases de efecto invernadero” [28]. Posteriormente, se realizarán los cálculos necesarios para determinar el número de paneles solares.

2.1 Huella de carbono

Para determinar en la empresa Baker Hughes (ALS mitad del mundo) las emisiones de GEI, solo se tomará en cuenta los gases emitidos debido al consumo eléctrico de la empresa, para ello se seguirá los requisitos dictados por la norma.

2.1.1 Definición de los límites

Para poder seguir con la norma, primero se especifica que la empresa debe definir sus límites organizacionales y límites operativos, esto servirá como base para poder identificar los orígenes de las emisiones.

Límites Organizacionales

Dentro del límite organizacional, se ha establecido las instalaciones cuyas emisiones se tienen en cuenta para la medición de GEI. En esta sección, se adoptan dos enfoques:

- **Control:** En esta sección, se especifican las instalaciones sobre las cuales la organización tiene autoridad para aplicar políticas operativas y financieras. Posteriormente, se registra la cantidad de GEI generados por las instalaciones bajo su control.
- **Participación de capital:** En esta sección, se registran las emisiones provenientes de todas las instalaciones en las que posee participación y contabilización la empresa, únicamente un porcentaje de emisiones totales correspondiente a la proporción que representa su participación en cada instalación.

En base a las condiciones de la empresa Baker Hughes (ALS mitad del mundo). La empresa se encuentra ubicada en la ciudad de Quito. En esta ubicación, la empresa lleva a cabo sus actividades relacionadas con servicios petroleros. Contando con un terreno de 4,936.42 [m²] que sirve como límite organizacional, donde se determinará la huella de carbono indirecta de la empresa. El límite organizacional de la empresa se indica a continuación.



Figura 2.1. Límites organizacionales Baker Hughes (ALS mitad del mundo).
Fuente:[29]

Límites Operativos

Es el nivel en el cual la organización identifica y cuantifica emisiones asociadas con operaciones y actividades, a continuación, se especifica los alcances.

- **Alcance 1: Emisiones directas:** Hace referencia a emisiones que pertenecen y son gestionadas por la empresa.
- **Alcance 2: Emisiones indirectas:** No provienen directamente de las actividades controladas por una organización, pero están relacionadas con sus operaciones. Incluyen las emisiones derivadas por el consumo de electricidad
- **Alcance 3. Emisiones restantes:** Son las emisiones que no han sido abordadas en las categorías de emisiones indirectas del Alcance 2. Estas emisiones engloban fuentes de las cuales no tiene control directo ni son propiedad de la empresa.

Algunos ejemplos de emisiones se muestran a continuación.

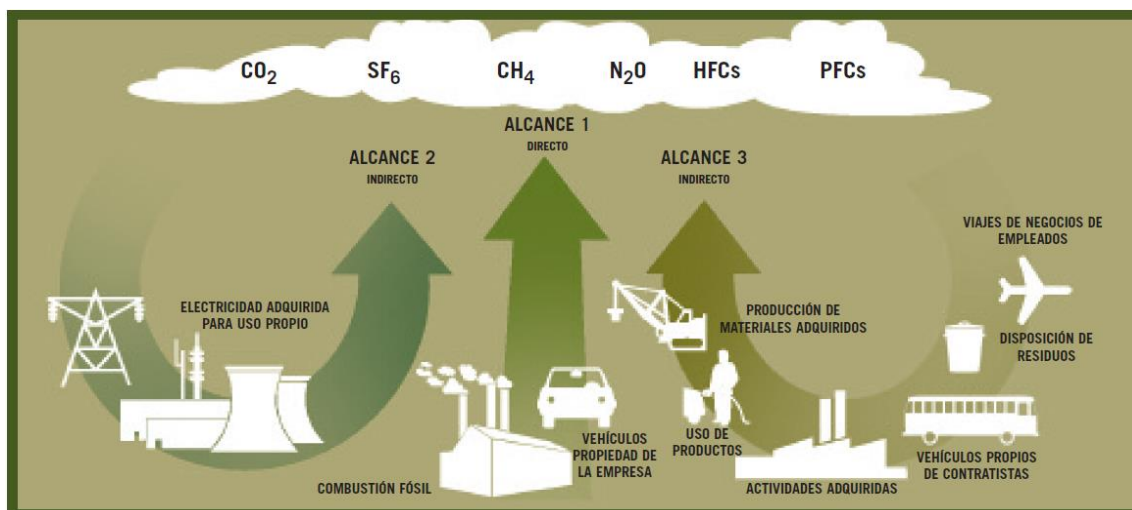


Figura 2.2. Emisiones y Alcances.
Fuente:[30]

En base a las condiciones que presentó la empresa Baker Hughes (ALS mitad del mundo) y los datos proporcionados por la misma, se evaluarán sólo las emisiones generadas por el uso interno de electricidad, las cuales pertenecen a las Emisiones Indirectas (Alcance 2). A continuación, se presentan las fuentes de emisión de la empresa en base a los datos disponibles.

Tabla 2.1. Resultados de las fuentes de emisión.

Alcance 2	Fuente de la emisión
Emisiones indirectas por el uso interno de electricidad provenientes de fuentes externas por parte de la organización.	Electricidad utilizada por las instalaciones de Baker Hughes (ALS mitad del mundo) proveniente del Sistema Nacional Interconectado (SNI).

Fuente: Propia

2.1.2 Selección del año base

En este apartado, la empresa designará un año base para luego poder identificar si hay o no una disminución de emisiones en el futuro. Para seleccionar este año, se realizó una evaluación del consumo eléctrico de la empresa Baker Hughes (ALS mitad del mundo). La recopilación de datos no solo permitió comprender el consumo de energía eléctrica a lo largo del tiempo, sino también identificar posibles tendencias estacionales o eventos específicos que puedan influir en los patrones de consumo eléctrico. Con los datos recopilados, se eligió el año base 2022.

2.1.3 Cuantificación de las emisiones

En esta sección, se debe establecer la metodología para las cuantificaciones de estas emisiones y la herramienta de cálculo, para posteriormente realizar el cálculo.

Metodología de cálculo

Para esta sección se usa el factor de emisiones y el consumo de energía. Según la norma se debe utilizar el Sistema Internacional de Unidades para representar las unidades. A continuación, se muestra la Ecuación 2.1 que se utilizará para este cálculo.

$$EM_{GEI} = DA * FE$$

Ecuación 2.1. Ecuación emisiones de GEI

Donde:

FE = Factor de emisión [tCO₂-eq/MWh].

DA = Dato de la actividad en un lapso definido de tiempo [kWh].

EM_{GEI} = Emisiones de GEI [tCO₂-eq].

El factor de emisiones del Sistema Nacional Interconectado (SNI), según lo establecido por la institución, para el año 2022 se establece un valor de 0.092 [tCO₂-eq/MWh] [1]. Este valor se implementará para determinar emisiones debido al uso de electricidad del SNI. Además, para el cálculo de emisiones asociadas al uso de energía fotovoltaica, el SNI establece un valor de 0.2957 [tCO₂-eq/MWh] [1].

2.2 Caso de Estudio

Baker Hughes cuya sucursal en Ecuador fue fundada en 1997 en la ciudad de Quito, se dedica a actividades en el sector de servicios petroleros. Además, del suministro de equipos y materiales necesarios para las operaciones de perforación en los bloques del oriente ecuatoriano.

2.2.1 Localización

Baker Hughes (ALS mitad del mundo) tiene su ubicación en la ciudad de Quito, en un área de 4,936.42 [m²] y tiene los siguientes límites, Qualipharm Laboratorio Farmacéutico al norte, la gasolinera Primax Ferrari Atimasa por el sur, avenida Manuel Córdova Galarza al este y el Río Monjas al oeste. Sus coordenadas son: 0° 5' 45.056" S 78° 29' 20.478" W, se presenta una imagen satelital del lugar.



Figura 2.3. Vista satelital Baker Hughes (ALS mitad del mundo).
Fuente:[29]

2.2.2 Espacio para la instalación del sistema fotovoltaico

En esta parte del estudio, se realizó una evaluación del espacio disponible en las instalaciones de la empresa Baker Hughes para la eventual instalación de sistemas fotovoltaicos. La superficie total estimada para la posible instalación es de 306.92 [m²]. Se consideraron aspectos como la orientación solar más adecuada, teniendo en cuenta la ausencia de edificios o árboles de mayor tamaño que pudieran generar sombras sobre los paneles, lo cual disminuiría su eficiencia.



Figura 2.4. Espacio para la instalación del sistema fotovoltaico.
 Fuente: [29]

2.2.3 Definición de casos de estudio

A continuación, se definieron algunos casos de estudio con el propósito de cubrir la demanda de consumo eléctrico en diferentes escenarios. Es importante destacar que se presentarán los cálculos para el Caso 1. En cuanto a los Casos 2 y 3, se empleará el mismo método de cálculo.

- **Caso 1: Suplir la demanda eléctrica de 08h00-18h00**

En este caso de estudio, se aborda la evaluación del consumo de electricidad durante el periodo comprendido entre las 08h00-18h00. Este periodo de tiempo se seleccionó debido a ser el horario de mayor consumo de energía eléctrica y a la óptima disponibilidad de luz solar, lo que favorece a la eficiencia de los paneles solares.

- **Caso 2: Suplir toda la demanda de consumo eléctrico de la empresa**

En el segundo caso de estudio se concentra en la evaluación de los sistemas fotovoltaicos para cubrir totalmente la demanda eléctrica. Se examina la viabilidad económica y la eficiencia de los paneles solares para atender todas las necesidades eléctricas de la empresa.

- **Caso 3: Suplir la demanda eléctrica de 18h00-22h00**

En este caso, se busca determinar la capacidad de los sistemas fotovoltaicos para cubrir el consumo eléctrico en el horario de 18h00-22h00, que se caracteriza por un menor consumo eléctrico. Esta selección permitirá comparar y contrastar con los casos anteriores, los cuales son los de mayor demanda energética.

2.3 Sistema Fotovoltaico

Los paneles seleccionados para el proyecto tienen dimensiones de 1722x1134x30 [mm] y están disponibles en el mercado con capacidad que oscilan entre 250 y 590 vatios [27]. También, es esencial tener en cuenta las condiciones estándar de prueba (STC) se utiliza para obtener características máximas del equipo, mientras que las condiciones (NOCT) pueden trabajar en condiciones más reales. Es importante señalar que, no es aconsejable el uso de las condiciones STC, ya que representan condiciones de laboratorio que rara vez se replican en el entorno real. En su lugar, se recomienda el empleo de las condiciones NOCT, que ofrece condiciones normales de operaciones de las celdas fotovoltaicas en entornos del mundo real, asegurando así una evaluación más realista y aplicable en el estudio.

2.3.1 Cálculo Horas Solar Pico

Para determinar la radiación solar en la empresa Baker Hughes (ALS mitad del mundo), se utilizaron los datos proporcionados por la plataforma NASA POWER [31]. Esta herramienta ofrece información detallada sobre las horas pico de la radiación solar. Para asegurar una selección más precisa de los valores de horas pico, se analizaron los datos disponibles de radiación solar incidente en la ubicación de la empresa desde 1984 hasta 2022. Este procedimiento se llevó a cabo para obtener datos más precisos, optimizando así la eficiencia del sistema fotovoltaico.

En el ANEXO I se presenta el promedio de la radiación solar incidente en la ubicación de la empresa, el cual tiene un valor de 4.37 [kWh/día/m²]. Este valor servirá como referencia para calcular las HSP.

$$HSP = \frac{R_s}{1000 [W/m^2]}$$

Ecuación 2.2. Hora Solar Pico.

Donde:

R_s = Radiación solar incidente [kWh/día/m²].

2.3.2 Potencia de paneles solares

Para determinar la potencia, se aplicará la Ecuación 2.3. Es importante resaltar que el factor de seguridad está contemplado en el valor de las horas pico solares.

$$P_{FV} = \frac{E}{HSP}$$

Ecuación 2.3. Potencia de los paneles solares.

Donde:

P_{FV} =Potencia fotovoltaica [kW].

E =Energía diaria consumida [kWh].

HSP = Hora solar pico [h].

2.3.3 Número de paneles solares

Para determinar el número de paneles se aplicará la Ecuación 2.4. Esta ecuación permite cuantificar los paneles necesarios para suplir la potencia eléctrica deseada.

$$N_{FV} = \frac{P_{FV}}{P_p}$$

Ecuación 2.4. Número de paneles solares.

Donde:

N_{FV} =Número de paneles solares.

P_p =Potencia del panel fotovoltaico [kW].

2.3.4 Energía anual por panel solar

Ya con los datos obtenidos del número de paneles solares procedemos a calcular la potencia individual del panel solar, esto para después determinar la energía total de todos los paneles en un año. A continuación, se muestra la Ecuación 2.5 que se usa para este cálculo.

$$E_{AP} = P_p * HPS * 365 \text{ días}$$

Ecuación 2.5. Potencia individual del panel solar.

Donde:

E_{AP} =Potencia individual del panel solar [kWh].

P_p =Potencia del panel fotovoltaico [kW].

HPS =Hora Solar Pico [h].

2.3.5 Energía anual total de los paneles

Con la potencia individual de cada panel, procedemos a calcular la potencia total de todos los paneles. A continuación, se muestra la Ecuación 2.6 que se usa para este cálculo.

$$E_{AP} = P_{AP} * N_{FV}$$

Ecuación 2.6. Energía anual total de todos los paneles solares.

Donde:

E_{AP} = Energía anual total de todos los paneles [kWh].

P_{AP} = Potencia individual del panel solar [kWh].

N_{FV} =Número de paneles fotovoltaicos.

2.4 Análisis económico

Para obtener la inversión requerida para instalar un sistema fotovoltaico, con el objetivo de reducir cada [tCO₂-eq], se utilizará la Ecuación 2.7. Es importante señalar que la cotización utilizada ha sido proporcionada por la empresa Renova Energía y se detalla en el ANEXO II.

$$Inversión_{tCO_2-eq} = \frac{CTI}{EM_{GEI}}$$

Ecuación 2.7. Inversión por [tCO₂-eq].

Donde:

CTI =Costo total de la instalación del sistema FV.

EM_{GEI} = Reducciones de emisiones de GEI.

3. RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1 Resultados Huella de Carbono

3.1.1 Identificación de las emisiones

Conforme a las pautas establecidas por la norma, se ha identificado que la empresa adquiere energía eléctrica del SNI, por lo que está dentro del Alcance 2. Los datos sobre el uso de energía son extraídos de los comprobantes de pago de la empresa, que indican el consumo mensual del año 2022.

Tabla 3.1. Consumo de electricidad año 2022.

Consumo de Electricidad año 2022 [kWh]					
Mes	L-V 08h00-18h00	L-V 18h00-22h00	L-V 22h00-08h00 S, D, F 22h00-18h00	S, D, F 18h00-22h00	Total
Enero	4648.38	1036.2	4621.32	440.88	10746.78
Febrero	4351.38	999.24	4142.82	368.94	9862.38
Marzo	4976.4	1229.58	4340.82	357.72	10904.52
Abril	4032.6	1046.1	4300.56	394.68	9773.94
Mayo	4012.8	1106.16	4610.76	439.56	10169.28
Junio	4388.34	1081.08	4280.76	363.66	10113.84
Julio	4348.74	984.06	4533.54	438.9	10305.24
Agosto	4810.74	1188.66	4418.7	463.32	10881.42
Septiembre	4843.74	1229.58	4280.1	382.14	10735.56
Octubre	4575.78	1098.24	4573.14	444.84	10692
Noviembre	4484.7	1139.16	4655.64	463.98	10743.48
Diciembre	4342.14	1081.74	4147.38	391.38	9962.64
Total	53815.74	13219.8	52905.54	4950	124891.08

Fuente: Propia

3.1.2 Cálculo de las emisiones

En este apartado es necesario identificar el factor de emisiones proporcionado por el SNI. Posteriormente, este factor se multiplica por la cantidad de energía consumida. A continuación, se presentan los valores y la Ecuación 2.1 que se utilizará para el cálculo.

- $DA=124,891.08$ [MWh] consumo eléctrico total del año 2022.
- $FE= 0.0920$ [tCO₂-eq/MWh]

$$EM_{GEI} = 124,891.08 \text{ [MWh]} * 0.0920 \left[\frac{\text{tCO}_2\text{-eq}}{\text{MWh}} \right] = 11.49 [\text{tCO}_2\text{-eq/año}]$$

3.1.3 Resultado: Inventario de GEI

Con el paso realizado anteriormente se obtienen las emisiones mensuales, que se presentan a continuación.

Tabla 3.2. Inventario de GEI.

Mes	Energía Total Activa [MWh]	Factor de Emisión [tCO ₂ -eq/MWh]	Emisiones [tCO ₂ -eq]
Enero	10.747	0.092	0.989
Febrero	9.862	0.092	0.907
Marzo	10.905	0.092	1.003
Abril	9.774	0.092	0.899
Mayo	10.169	0.092	0.936
Junio	10.114	0.092	0.930
Julio	10.305	0.092	0.948
Agosto	10.881	0.092	1.001
Septiembre	10.736	0.092	0.988
Octubre	10.692	0.092	0.984
Noviembre	10.743	0.092	0.988
Diciembre	9.963	0.092	0.917
Total	124.891	0.092	11.49

Fuente: Propia

3.2 Resultados Sistemas Fotovoltaicos

3.2.1 Energía Fotovoltaica

En esta sección, procedemos a dimensionar el sistema fotovoltaico para reducir las emisiones de la empresa, para ello se tendrá que seleccionar un horario de mayor consumo eléctrico que tenga la empresa y donde los paneles solares puedan tener mayor eficiencia, después de la selección de la hora de mayor demanda de energía se procede al cálculo de la energía fotovoltaica necesaria para suplir la demanda de electricidad, posteriormente se calculará el número de paneles solares necesario. Para finalizar, se realizará el análisis de la disminución de emisiones de acuerdo con la variación del número de paneles fotovoltaicos.

3.2.2 Consumo Eléctrico

Con el fin de disminuir la mayoría de las emisiones, se seleccionó el horario en el que la empresa tiene mayor demanda de consumo eléctrico. De acuerdo con la Figura 3.1 se puede evidenciar la tendencia del consumo eléctrico es mayor en el periodo de lunes a viernes, comprendida entre las 08:00 hasta las 18:00 horas, por lo que se seleccionó este horario para el cálculo, además que debido a condiciones ambientales este horario es más eficiente para el uso de paneles solares debido a que se tiene mayor radiación del sol incidente en los paneles.

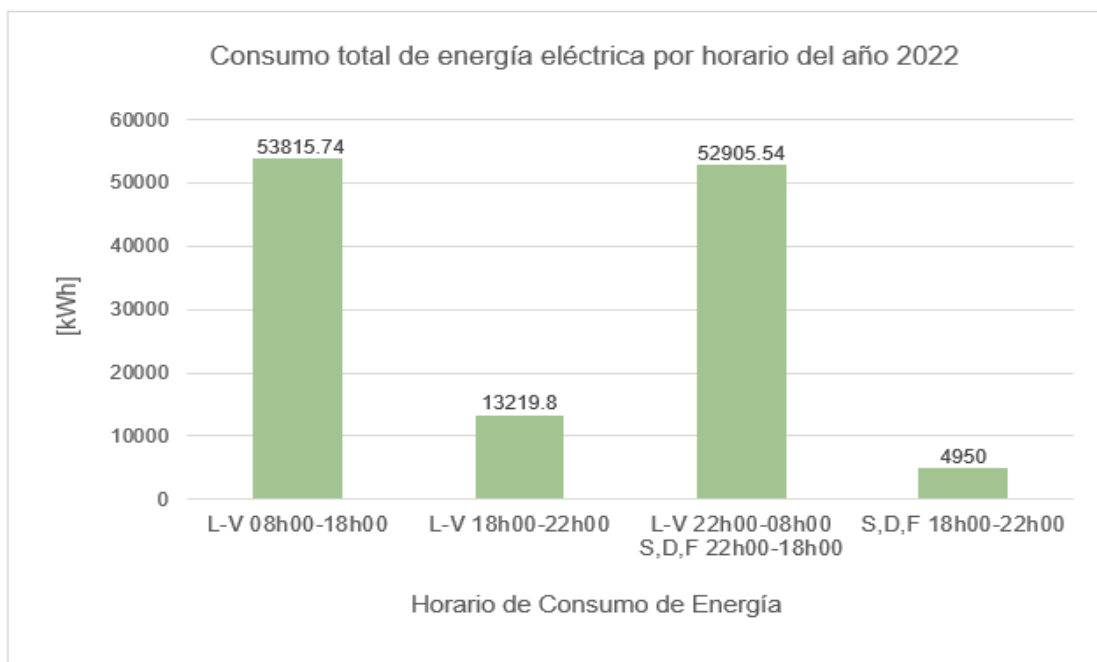




Figura 3.1. Consumo de energía por horario.
Fuente: Propia

Para obtener una estimación diaria del consumo de electricidad en la hora indicada se realiza una operación dividiendo los 53,815.74 [kWh] para 365 días del año, obteniendo una energía diaria de 147.44 [kWh].

3.2.3 Dimensionamiento del panel solar

Para el dimensionamiento se ha seleccionado un panel solar. A continuación, se muestran los datos más relevantes de su ficha técnica para posteriormente determinar la cantidad óptima de paneles solares. En este caso se seleccionó un panel solar de 316 vatios en condiciones NOCT, es decir se evaluarán los paneles en condiciones reales.

Tabla 3.3. Especificaciones del panel solar usado.

Panel Solar	
Marca	
Modelo	JKM420N-54HL4-V
Características Mecánicas	
Tipo de celdas	Monocristalinas tipo N
Dimensiones	1722x1134x30 mm
Peso	22 kg
Condiciones NOCT	
Potencia máxima	316 Wp
Voltaje máximo	29.34 V
Corriente máxima	10.76 A

Fuente: Propia

3.2.3 Cálculo Hora Solar Pico

Para el cálculo de la Hora Solar Pico, se utiliza la Ecuación 2.2. Para el cálculo se utilizó la radiación solar promedio en la ubicación de la empresa como se muestra a continuación:

- R_r = Radiación solar promedio de 4.37 [kWh/día/m²] desde 1984 hasta 2022.

$$HSP = \frac{4.37 [kWh/día/m^2]}{1000 [W/m^2]} = 4.37 [h]$$

3.2.4 Potencia Nominal del Panel Solar

Gracias a la Ecuación 2.3 se procede a calcular la potencia fotovoltaica necesaria para suplir la demanda de energía, para el cálculo se tomó los siguientes datos:

- $E = 147.44$ [kWh] energía diaria consumida, en el horario de mando demanda.
- $HSP = 4.37$ [h] Hora solar pico en la ubicación de la empresa.

$$P_{FV} = \frac{147.44 [kWh]}{4.37 [h]} = 33.73 [kW]$$

El valor obtenido nos muestra la potencia pico que debe generar el sistema fotovoltaico.

3.2.5 Número de paneles solares

Una vez obtenida la potencia fotovoltaica, se establece la cantidad de paneles solares para cubrir el requerimiento de electricidad. Para el cálculo se utilizará un panel solar de potencia de 316 [W] a 24 [V]. Con la Ecuación 2.4 se establece la cantidad de paneles solares necesarios.

- $PP = 0.316$ Potencia del panel solar a condiciones NOCT.

$$N_{FV} = \frac{33.73 [kW]}{0.316 [kW]} = 106.74 \text{ paneles}$$

Resolviendo la ecuación se obtiene un valor de 106.74 paneles solares, para obtener una mejor eficiencia se opta por seleccionar 107 paneles solares.

3.3 Evaluación de la disminución de emisiones con la penetración de sistemas fotovoltaicos

Con los resultados de la cantidad óptima de paneles solares, se procede a realizar el cálculo y análisis de la disminución de la huella en función de la penetración del sistema fotovoltaico.

3.3.1 Energía por panel solar

En este paso, calculamos la potencia generada por un solo panel solar durante un año utilizando la Ecuación 2.5.

$$E_{AP} = 0.316[kW] * 4.37 [h] * 365 \text{ días} = 504.04 [kWh]$$

3.3.2 Energía anual total de los paneles

Con el valor de la potencia individual de cada panel solar procedemos al cálculo de la energía total de los paneles con la Ecuación 2.6.

$$E_{AP} = 504.04 [kWh] * 107 \text{ paneles} = 53,931.83 [kWh] = 53.93 [MWh]$$

3.3.3 Huella de carbono en función de la variación de paneles solares

Con el valor obtenido anteriormente y la Ecuación 2.1 se procede a determinar las emisiones del caso 1.

$$EM_{GEI} = 53.93[MWh] * 0.2957 \left[t \frac{CO_2}{MWh} \right] = 15.95 [t CO_2/año]$$

En la Tabla 3.4 se presenta la reducción de emisiones del Caso 1 con la integración del sistema fotovoltaico.

Tabla 3.4. Reducción de emisiones Caso 1.

Dato de actividad [MWh/año]	Factor de emisión [tCO ₂ -eq/MWh]	Reducción de emisiones [tCO ₂ -eq/año]
53.93	0.2957	15.95

Fuente: Propia

Ahora realizamos también el análisis para minimizar las emisiones en función de la variación de los paneles fotovoltaicos. A continuación, se presentan algunos casos de estudio que se evaluaron según la variación de paneles fotovoltaicos, los cálculos usados para el caso 2 y 3 son los mismo que los utilizados en el Caso 1.

- Caso 1: Suplir la demanda eléctrica de 08h00-18h00.
- Caso 2: Suplir toda la demanda de consumo eléctrico de la empresa.
- Caso 3: Suplir la demanda eléctrica de 18h00-22h00.

Tabla 3.5. Reducciones de emisiones en diferentes casos.

Reducción de emisiones	Número de paneles fotovoltaicos	Dato de actividad [MWh/año]	Factor de emisión [tCO ₂ -eq/MWh]	Reducción de emisiones [tCO ₂ -eq/año]
Caso 1	107	53.93	0.2957	15.95
Caso 2	248	124.89	0.2957	36.93
Caso 3	27	13.22	0.2957	3.91

Fuente: Propia

3.3.4 Análisis económico

En este apartado se procederá a calcular la inversión por [tCO₂-eq]. Para llevar a cabo este cálculo, se empleará la cotización proporcionada por la empresa Renova Energía, donde se detalla el costo estimado para la instalación del sistema fotovoltaico. Cabe destacar que la empresa utiliza paneles solares diferentes a los empleados en nuestro estudio. En el ANEXO II se encuentra la cotización completa de la empresa Renova Energía, presentando un costo total de \$32,092.98 para la implementación del sistema fotovoltaico del Caso 1. Con el costo mencionado, se establece mediante la Ecuación 2.7. la inversión para la implementación del sistema fotovoltaico por [tCO₂-eq].

$$Inversión_{tCO_2-eq} = \frac{32,092.98 \text{ dólares}}{15.95 [t CO_2/año]} = 2,012.09 \text{ dólares}/t CO_2$$

Por lo tanto, la inversión que debe realizar la empresa por [tCO₂-eq] es de \$2,012.09 dólares.

3.4 Discusión

Este estudio se diferencia a otros estudios al centrarse específicamente en la industria petrolera en su análisis de la reducción de emisiones. La singularidad de este enfoque radica en la búsqueda de soluciones específicas y aplicables a los desafíos ambientales dentro de un sector que ha sido históricamente un importante emisor de GEI. Al explorar la integración de sistemas fotovoltaicos en este sector industrial específico, la investigación aspira a ofrecer contribuciones prácticas y significativas para avanzar hacia prácticas más sostenibles en una industria de vital importancia en la industria global.

Este análisis de reducción de emisiones derivada de la implementación de sistemas fotovoltaicos en Baker Hughes (ALS mitad del mundo), se enfoca específicamente en la ciudad de Quito, Ecuador. Es fundamental señalar que la variabilidad geográfica y las condiciones políticas de los países pueden impactar significativamente en los resultados. Diferentes ubicaciones geográficas resultarán en niveles distintos de radiación solar, lo cual influye directamente en el diseño del sistema fotovoltaico. Además, algunos países pueden tener políticas que favorecen o restringen el uso de energías renovables. Por lo tanto, este estudio se enfoca especialmente en industrias petroleras ubicadas en Ecuador, considerando las limitaciones de locación.

En este estudio enfrenta también limitaciones en cuanto al espacio disponible para la instalación del sistema fotovoltaico. Las características del terreno, como la infraestructura existente y restricciones del uso del suelo, pueden influir directamente en la capacidad de implementar eficazmente estas tecnologías. Es crucial destacar que la disponibilidad limitada de espacio puede reducir la eficiencia de la instalación de paneles, que, a su vez, impacta en la magnitud de la reducción de emisiones.

La estimación de costos para la instalación del sistema fotovoltaico está evaluada en \$32,029.09 dólares. Es esencial destacar que, según nuestra estimación, el costo asociado a la reducción de emisiones por [tCO₂-eq] mediante la implementación de este sistema es de \$2,012.09 dólares. Si bien la inversión inicial puede percibirse como significativa, resulta crucial considerar este costo en relación con los beneficios ambientales y las implicaciones financieras a largo plazo.

En términos de retorno de inversión, la empresa Renova Energía calcula que se recuperara la inversión en 9 años a través de los ahorros generados por la producción de energía solar, en el ANEXO II está ubicada la estimación. Esta evaluación económica a largo plazo puede ofrecer una visión más completa sobre la viabilidad económica del proyecto. A continuación, utilizando la herramienta CO2cero [32], hemos identificado la cantidad de

[tCO₂-eq] producido en diversas actividades realizadas por las personas que habitan la ciudad de Quito.



Figura 3.2. Contextualización de emisiones de [tCO₂-eq] reducidas.
Fuente: Propia

La implementación del sistema fotovoltaico sugiere un impacto ambiental positivo, con un estimado de ahorro de 15.95 [tCO₂-eq]. Estos resultados que se observan en la Figura 3.2 revelan datos en términos de actividades cotidianas y movilidad. Estas emisiones son equiparables a la mitigación de emisiones de [tCO₂-eq] asociadas a viajes en avión, automóvil, autobús y otras actividades generadoras de emisiones, así como al consumo per cápita de electricidad y las emisiones generadas por una persona. Este análisis nos ayuda a identificar beneficios no solo medioambientales, sino también en términos de ahorros económicos y sostenibilidad a largo plazo.

3.5 Conclusiones

Se realizó el análisis de la disminución de emisiones después de implementar el sistema fotovoltaico en la empresa Baker Hughes (ALS mitad del mundo), estimando el consumo eléctrico de la empresa, inventariando el flujo de electricidad dentro del proceso productivo, determinando la huella de carbono indirecta y con la implementación del sistema fotovoltaico se identificó una reducción de 15.95 [tCO₂-eq].

Partiendo de una recopilación de datos brindados por la empresa, se llevó a cabo una estimación del requerimiento de electricidad. Utilizando la norma ISO 14064-1 como referencia para el análisis. Dado que la norma requiere un año base para futuras comparaciones en el análisis de reducción de emisiones, se seleccionó el consumo eléctrico del año 2022. Durante este año base, se determinó un valor total de requerimiento de electricidad de 124,891.08 [kWh].

También para la estimación del CO₂ emitida por el sistema eléctrico ecuatoriano, se empleó el factor de emisiones proporcionado por el SNI del año 2022. El valor utilizado fue de 0.092 [tCO₂-eq /MWh], con este valor se determinó las emisiones de Baker Hughes (ALS mitad del mundo) del año 2022, obteniendo un valor de 11.49 [tCO₂-eq] referentes a las emisiones del Alcance 2 debido al consumo de electricidad. Este valor servirá a la empresa como línea base para en un futuro identificar si existe o no una disminución de emisiones.

En la mitigación de las emisiones relacionadas con el nivel de penetración de paneles fotovoltaicos, se determinó el horario de mayor consumo de energía eléctrica para la penetración del sistema fotovoltaico, la franja horaria de mayor demanda fue de 08h00 hasta las 18h00 debido a las condiciones ambientales que beneficiaban la eficiencia de los paneles solares, además que es el horario de mayor demanda de consumo de energía eléctrica de la empresa. Con estos datos como base se obtuvo un número de 107 paneles solares para suplir la demanda de energía de 08h00 a 18h00 y debido a que es el horario de mayor consumo eléctrico, se disminuyeron la mayor parte emisiones vinculadas al uso de electricidad. El valor utilizado fue de 0.2957 [tCO₂-eq /MWh], con este valor se determinó la reducción de emisiones de Baker Hughes (ALS mitad del mundo) del año 2022, obteniendo un valor de reducción de emisiones de 15.95 [tCO₂-eq] debido a la penetración del sistema fotovoltaico.

Analizando los 3 casos de mitigación de emisiones, se identificó que el Caso 1 es el más beneficioso debido a que es donde Baker Hugues (ALS mitad del mundo) tiene el mayor consumo eléctrico en el respectivo horario. Además, este caso ofrece una mayor eficiencia del sistema fotovoltaico aprovechando la luz solar. A diferencia del caso 3, donde solo se usaría la energía fotovoltaica para suplir la demanda de consumo eléctrico durante la noche y no se podría aprovechar al máximo el sistema fotovoltaico. Además, este caso corresponde al horario de menor demanda eléctrica y, por lo tanto, es el caso donde se tiene menor mitigación de emisiones con un valor de 3.91 [tCO₂-eq].

También, en el Caso 2 donde se cubre todo el consumo eléctrico, se puede identificar en la Tabla 3.5 que se necesitan 248 paneles, que es más del doble que el Caso 1. Aunque es el caso donde existe mayor mitigación de emisiones con un valor de 36.93 [tCO₂-eq], también requiere un espacio considerable dentro de la empresa. Esto complicaría la instalación ya que se tiene un espacio limitado y aumentaría los gastos para la instalación del sistema fotovoltaico.

Para finalizar, la evaluación económica del proyecto en base a la cotización proporcionada por la empresa Renova Energía para la instalación del sistema fotovoltaico. Es importante señalar que la empresa utiliza paneles solares diferentes a los empleados en el presente estudio. La cotización completa de Renova Energía presenta un costo total de \$32,092.98 dólares para la implementación del sistema fotovoltaico y la inversión necesaria para la reducción de una [tCO₂-eq] es de \$2,012.09 dólares, la inversión mostrada servirá para evaluar otros proyectos de descarbonización en un futuro.

3.6 Recomendaciones

Para abordar la mitigación de emisiones, se sugiere examinar estrategias para mitigar estas emisiones con la implementación de energías renovables, siendo los sistemas fotovoltaicos un ejemplo de ello. Esta aprovecha la radiación solar para generar electricidad de manera limpia y sostenible. Además de menorar las emisiones, proporciona independencia energética, ofrece beneficios económicos a largo plazo al aprovechar una fuente de energía gratuita y abundante que están disponibles para ser instaladas en casi cualquier ubicación.

Se sugiere a la empresa implementar toda la norma ISO 14064-1 con el fin de identificar no sólo las emisiones indirectas, sino también explorar otras emisiones que están relacionadas con procesos internos y externos que pueden estar asociadas con la generación de emisiones. Esto permitirá aplicar estrategias más efectivas de mitigación y sostenibilidad en la empresa.

Se recomienda completar el análisis mediante la inclusión del estudio titulado “Dimensionamiento y simulación de un sistema fotovoltaico para cubrir parte del consumo eléctrico de la empresa Baker Hughes (ALS mitad del mundo)”. La integración de este estudio complementario permitirá identificar oportunidades de optimización en el sistema fotovoltaico, así como evaluar su eficiencia energética.

Para finalizar, se recomienda implementar programas de capacitación dirigidos a la empresa Baker Hughes (ALS mitad del mundo) para generar conciencia sobre los diversos beneficios que ofrece las energías renovables, abordando aspectos como la mitigación de emisiones, impactos positivos en la calidad de aire, así como beneficios económicos asociados. Estas acciones colectivas fortalecerán el entendimiento sobre energías renovables y fomentarán la adopción de prácticas más sostenibles, contribuyendo así al avance hacia un futuro energético más limpio y sostenible.

4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Ministerio de Energía y Minas, “Ecuador avanza hacia la disminución de emisiones de CO₂ en el sector eléctrico – Ministerio de Energía y Minas,” Ministerio de Energía y Minas. Accessed: Oct. 31, 2023. [Online]. Available: <https://www.recursoyenergia.gob.ec/ecuador-avanza-hacia-la-disminucion-de-emisiones-de-co2-en-el-sector-electrico/>
- [2] Ministerio de Energía y Minas, “Informe sobre el Factor de Emisión de CO₂ del Sistema Nacional Interconectado de Ecuador - Estadísticas 2022.,” 2023.
- [3] U. Nations, “What Is Climate Change? | United Nations”, Accessed: Oct. 31, 2023. [Online]. Available: <https://www.un.org/en/climatechange/what-is-climate-change>
- [4] J. Xu, Y. Li, and Z. Dai, “Soil chemistry and climate change,” in *Encyclopedia of Soils in the Environment*, Elsevier, 2023, pp. 692–699. doi: 10.1016/B978-0-12-822974-3.00146-4.
- [5] Melissa Denchak, “Greenhouse Effect 101.” Accessed: Oct. 31, 2023. [Online]. Available: <https://www.nrdc.org/stories/greenhouse-effect-101#whatis>
- [6] NASA’s Jet Propulsion Laboratory, “What Is Climate Change? | Facts – Climate Change: Vital Signs of the Planet,” Nasa Global Climate Change. Accessed: Oct. 31, 2023. [Online]. Available: <https://climate.nasa.gov/what-is-climate-change/>
- [7] “Climate Change and Food Security: Risks and Responses |Policy Support and Governance| Food and Agriculture Organization of the United Nations .” Accessed: Feb. 11, 2024. [Online]. Available: <https://www.fao.org/policy-support/tools-and-publications/resources-details/en/c/427091/>
- [8] U. Nations, “Renewable energy – powering a safer future | United Nations”, Accessed: Feb. 11, 2024. [Online]. Available: <https://www.un.org/en/climatechange/raising-ambition/renewable-energy>
- [9] M. Ge, J. Friedrich, and L. Vigna, “Cuatro gráficos que explican las emisiones de gases de efecto invernadero por país y por sector.” 2021. Accessed: Oct. 31, 2023. [Online]. Available: <https://es.wri.org/insights/cuatro-graficos-que-explican-las-emisiones-de-gases-de-efecto-invernadero-por-pais-y-por>
- [10] “Global GHG emissions by gas; Source: IPCC (2014); based on global... | Download Scientific Diagram.” Accessed: Jan. 14, 2024. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/figure/Global-GHG-emissions-by-gas-Source-IPCC-2014-based-on-global-emissions-from-2010_fig1_362781243
- [11] M. E. Mann, “Greenhouse gas | Definition, Emissions, & Greenhouse Effect | Britannica.” Accessed: Oct. 31, 2023. [Online]. Available: <https://www.britannica.com/science/greenhouse-gas>
- [12] J. Meadowcroft, “Sustainability | Description, Theories, & Practices | Britannica.” Accessed: Oct. 31, 2023. [Online]. Available: <https://www.britannica.com/science/sustainability>
- [13] U. Nations, “What is renewable energy? | United Nations”, Accessed: Oct. 31, 2023. [Online]. Available: <https://www.un.org/en/climatechange/what-is-renewable-energy>

- [14] Renewable Energy, “Renewable Energy | Department of Energy.” Accessed: Oct. 31, 2023. [Online]. Available: <https://www.energy.gov/eere/renewable-energy>
- [15] Y. Li, C. K. Miskin, and R. Agrawal, “Land Availability, Utilization, and Intensification for a Solar Powered Economy,” *Computer Aided Chemical Engineering*, vol. 44, pp. 1915–1920, Jan. 2018, doi: 10.1016/B978-0-444-64241-7.50314-1.
- [16] P. Breeze, “Solar Power,” *Power Generation Technologies*, pp. 259–286, Jan. 2014, doi: 10.1016/B978-0-08-098330-1.00013-2.
- [17] Office of Energy Efficiency & Renewable Energy, “Solar Radiation Basics | Department of Energy.” Accessed: Oct. 31, 2023. [Online]. Available: <https://www.energy.gov/eere/solar/solar-radiation-basics>
- [18] “La hora solar pico equivalente: Definición e interpretación.” Accessed: Jan. 14, 2024. [Online]. Available: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59012017000200007
- [19] H. Sahar, J. Akhtar, M. Aamir, M. R. H. Shah Gilani, and U. Jabeen, “Self-cleaning coating materials,” *Antiviral and Antimicrobial Smart Coatings: Fundamentals and Applications*, pp. 289–308, Jan. 2023, doi: 10.1016/B978-0-323-99291-6.00018-9.
- [20] P. G. V. Sampaio and M. O. A. González, “Photovoltaic solar energy: Conceptual framework,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 74, pp. 590–601, Jul. 2017, doi: 10.1016/J.RSER.2017.02.081.
- [21] A. S. N. Huda and R. Živanović, “Large-scale integration of distributed generation into distribution networks: Study objectives, review of models and computational tools,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 76, pp. 974–988, Sep. 2017, doi: 10.1016/J.RSER.2017.03.069.
- [22] USAID, “Photovoltaic (PV) Systems | Powering Health | Energy | U.S. Agency for International Development.” Accessed: Oct. 31, 2023. [Online]. Available: <https://www.usaid.gov/energy/powering-health/system-components/photovoltaic-systems>
- [23] “Energía Solar – M&A International Group.” Accessed: Jan. 14, 2024. [Online]. Available: <https://myainternationalgroup.com/energia-solar/>
- [24] D. Burgess, “Thin-film solar cell | Definition, Types, & Facts | Britannica.” Accessed: Oct. 31, 2023. [Online]. Available: <https://www.britannica.com/technology/thin-film-solar-cell>
- [25] M. Biron, “An Overview of Sustainability and Plastics: A Multifaceted, Relative, and Scalable Concept,” *A Practical Guide to Plastics Sustainability*, pp. 1–43, Jan. 2020, doi: 10.1016/B978-0-12-821539-5.00001-X.
- [26] A. Norgren, A. Carpenter, and G. Heath, “Design for Recycling Principles Applicable to Selected Clean Energy Technologies: Crystalline-Silicon Photovoltaic Modules, Electric Vehicle Batteries, and Wind Turbine Blades,” *Journal of Sustainable Metallurgy*, vol. 6, no. 4, pp. 761–774, Dec. 2020, doi: 10.1007/S40831-020-00313-3.

- [27] “Panel Solar Fotovoltaico Eco Green Energy EGE-210M-36(M6) PERC.” Accessed: Jan. 14, 2024. [Online]. Available: <https://www.renova-energia.com/productos/eco-green-energy-ege-210m-36m6-perc/>
- [28] ISO, “ISO 14064-1:2018(es), Gases de efecto invernadero — Parte 1: Especificación con orientación, a nivel de las organizaciones, para la cuantificación y el informe de las emisiones y remociones de gases de efecto invernadero.” Accessed: Nov. 01, 2023. [Online]. Available: <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14064:-1:ed-2:v1:es>
- [29] “BASE BAKER HUGHES - Google Maps.” Accessed: Jan. 14, 2024. [Online]. Available: <https://www.google.com/maps/place/BASE+BAKER+HUGHES/@-0.0958299,-78.7772942,11z/data=!4m10!1m2!2m1!1sbaker+hughes+mitad+del+mundo+ecuador+google+maps!3m6!1s0x91d585cbad0f4b1d:0xc04702ed79e48eb3!8m2!3d-0.0958313!4d-78.488919!15sCjBiYWtIciBodWdoZXMgbWI0YWQgZGVsIG11bmRvIGVjdWFKb3lgZ29vZ2xlIG1hcHMiA4gBAZIBG2Fzc29jaWF0aW9uX29yX29yZ2FuaXphdGlvbuABAA!16s%2Fg%2F11s7wk20y9?entry=tту>
- [30] “Protocolo de Gases de Efecto Invernadero | GHG Protocol.” Accessed: Jan. 14, 2024. [Online]. Available: <https://ghgprotocol.org/>
- [31] “NASA POWER | Prediction Of Worldwide Energy Resources.” Accessed: Jan. 21, 2024. [Online]. Available: <https://power.larc.nasa.gov/>
- [32] “Cálculo GEI CeroCO2.” Accessed: Jan. 14, 2024. [Online]. Available: <https://www.ceroco2.org/calculadoras/>
- [33] “Nuestros Productos de Energía Renovable | Renovaenergía S.A.” Accessed: Jan. 14, 2024. [Online]. Available: <https://www.renova-energia.com/productos/>

5. ANEXOS

ANEXO I. Horas Solar Pico en la empresa Baker Hughes (ALS mitad del mundo)

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual
1984	4,91	4,85	4,71	4,42	4,44	4,2	4,28	4,83	4,38	4,33	4,5	4,76	4.55
1985	4,42	4,98	5,12	4,72	4,64	4,92	4,87	4,76	4,86	5,43	5,35	4,66	4.89
1986	4,51	5	4,67	4,81	4,56	4,75	5,48	5,08	5,21	4,35	4,87	4,67	4.83
1987	4,88	4,86	5,3	5,13	5,25	5,32	4,87	5,11	4,86	4,97	5,26	4,82	5.05
1988	4,81	5	5,01	4,38	4,5	4,26	4,92	4,68	4,56	4,33	4,5	4,62	4.63
1989	4,66	4,81	4,72	4,96	4,77	4,56	5,35	4,94	5,35	4,99	5,48	5,56	5.01
1990	5,32	4,97	4,95	4,93	4,72	4,97	5,39	5,79	5,58	5,09	5,52	4,96	5.18
1991	4,84	5,23	4,86	5,11	4,59	4,8	5,37	5,54	5,42	5,38	5,04	5,28	5.12
1992	5,50	5,15	4,65	4,97	4,6	4,97	5,19	5,47	4,74	4,27	4,86	4,38	4.9
1993	4,46	4,62	4,37	4,65	4,6	5,33	5,37	5,51	4,29	4,5	4,77	4,26	4.73
1994	4,75	4,73	4,65	4,66	4,55	4,86	5,29	4,91	5,31	4,85	4,52	4,45	4.8
1995	4,87	5,27	5,37	5,52	4,73	4,56	4,44	4,39	4,93	5,01	4,8	4,7	4.74
1996	4,47	4,41	4,5	4,61	4,35	4,42	4,8	4,84	4,98	4,7	5,67	5	4.73
1997	4,86	4,83	4,97	4,8	4,88	4,86	5,38	5,56	4,97	5,16	4,61	5	4.99
1998	5,13	4,96	5	4,84	4,64	4,83	4,79	4,96	5,03	4,9	5,16	5,27	4.96
1999	4,67	4,38	4,81	4,74	4,65	4,18	4,93	5,35	4,25	4,81	4,79	4,19	4.65
2000	4,49	4,5	4,51	4,43	4,19	4,39	4,83	4,89	4,57	5,37	5,23	4,8	4.69
2001	3,95	4,04	3,68	3,87	3,69	4,18	4,11	4,71	4,2	5,07	4,25	3,95	4.14
2002	4,50	3,99	3,71	3,99	3,89	4,25	4,26	4,6	4,57	4,08	3,76	3,72	4.11
2003	4,07	3,78	3,65	3,9	3,76	3,52	4,2	4,23	4,2	4,21	4,15	3,9	3.97
2004	5,13	3,65	3,67	3,84	3,79	4,04	3,78	4,65	4,07	4,2	4,16	4,43	4.12
2005	4,33	3,71	3,38	3,7	4,28	3,92	4,54	4,36	4,17	3,98	4,71	3,77	4.07
2006	3,78	3,75	3,7	3,88	4,2	4,01	4,2	4,16	4,2	4,7	3,92	3,8	4.03
2007	4,00	4,46	3,48	3,7	3,81	3,57	4,49	3,79	3,82	3,88	3,83	3,82	3.88
2008	3,65	3,56	3,58	3,84	3,53	3,77	3,54	3,67	3,96	3,81	4,01	3,89	3.73
2009	3,39	3,55	3,84	3,77	4,07	3,65	4,02	3,94	4,88	4,39	4,67	3,99	4.01
2010	4,17	3,8	3,83	3,77	3,99	3,46	3,86	3,69	4,15	4,4	3,84	3,48	3.87
2011	4,25	3,63	4,23	3,73	4,07	3,81	3,62	4,5	4,05	4,45	4,71	3,71	4.07
2012	3,53	3,51	3,89	3,76	3,62	4,04	4,2	4,49	4,75	4,16	3,85	4,2	4
2013	3,92	3,32	3,66	4,04	3,54	4,03	3,91	4,14	4,3	4,07	4,55	4,12	3.97
2014	3,89	3,54	3,37	3,82	3,58	3,6	4,31	4,03	4,45	4,06	4,2	4,1	3.92
2015	3,74	4,25	3,63	3,84	3,69	3,88	3,83	4,21	4,73	3,92	3,94	4,27	3.99
2016	4,37	3,69	3,34	3,9	3,98	3,59	3,75	4,67	4,19	4,56	4,91	4,11	4.09
2017	4,01	3,79	3,55	3,84	3,69	3,93	4,35	4,35	4,3	4,07	4,46	4,04	4.03
2018	4,09	4,19	3,81	4,09	3,55	3,87	4,14	4,69	4,82	4,72	3,68	3,91	4.13
2019	4,07	3,66	3,73	3,8	3,67	3,8	4,04	4,43	4,82	4,01	3,89	3,85	3.98
2020	4,43	4,2	3,98	3,79	3,74	3,81	3,7	4,63	4,28	4,51	4,72	3,58	4.11
2021	3,79	3,82	3,64	3,72	3,8	3,75	4,1	3,89	4,18	4,18	4,11	3,78	3.9
2022	4,17	3,54	3,67	3,83	3,64	3,61	3,74	4,12	4,59	4,34	4,46	4,25	4
Promedio	4.38	4.26	4.18	4.26	4.16	4.21	4.47	4.63	4.59	4.52	4.56	4.31	4.37

Fuente: Propia

ANEXO II. Propuesta Técnica Comercial de la empresa Renova Energía.

PRESUPUESTO SISTEMA SOLAR PV

Equipos	Código y Modelo	Q	Precio Unitario	incluido IVA	SUBTOTAL	TOTAL (IVA)
Paneles	MD165 54HL4-V, 54, 420	70	203,42	203,42	14239,4	14239,4
Inversores Red	IR045 WLAN/LAN/Webserver 4,210,095,800, 0, 0	1	4110,12	4603,33	4110,12	4603,33
Soportes	ES030 techo inclinado. Costo total por número de vattos ofertados, 0, 0	1	2440,28	2733,11	2440,28	2733,11
Instalación y puesta en marcha	IN001 eléctrico, elaboración de planos y esquemas eléctricos, mano de obra calificada para instalación, de apoyo, puesta en marcha del sistema,	1	\$ 5.292,00	\$ 5.927,04	\$ 5.292,00	\$ 5.927,04
Kit de Instalación	KT001 Cableado y protecciones total por número de vattos ofertados, 0, 0	1	\$ 3.861,75	\$ 4.325,16	\$ 3.861,75	\$ 4.325,16
adicional	IG001 afectación de la implementación del sistema solar sobre la cubiertas existentes., 0, 0	1	179,67	201,23	179,67	201,23
TREINTA Y DOS MIL VEINTE Y NUEVE CON 28/100					Subtotal:	30.123,22 \$
DÓLARES DE LOS ESTADOS UNIDOS DE NORTE AMÉRICA					Neto:	32.029,27 \$
INCLUYE IMPUESTO AL VALOR AGREGADO IVA					Subtotal IVA 12%:	15.883,82 \$
					Subtotal IVA 0%:	14.239,40 \$
					IVA 12%:	1.906,06 \$
					Total:	32.029,28 \$

Fuente: [33]

Consumo energético anual promedio (horas de sol):	180.000,00 kWh/año
Pago anual planillas eléctricas totales:	17.398,80 USD
Pago anual electricidad exclusivamente:	16.110,00 USD
Tamaño del sistema solar:	29,400 kWp
Generación estimada del sistema solar (SSFV):	40.108,95 kWh/año
Monto de la inversión del SSFV sin IVA:	\$ 30.123,22 USD
Pago anual electricidad exclusivamente con SSFV:	\$ 12.520,25 USD
Ahorro anual estimado (primer año):	\$ 3.589,75 USD
Ahorro promedio anual estimado (25 años):	\$ 3.868,83 USD
Tiempo de retorno de la inversión:	8,59 años
Precio del vatio pico instalado:	\$ 1,02 USD/Wp
Factor de planta estimado:	15,57%

Fuente: [33]