ESTUDIO DE IMPLEMENTACIÓN DE PANELES SOLARES PARA LA CAPTACIÓN DE ENERGÍA SOLAR EN EL SUMINISTRO DE ENERGÍA PARA UN CARGADERO DE CARROTANQUES EN LA TRANSFERENCIA DE HIDROCARBUROS

DIEGO ALEJANDRO BERNAL BARRAGÁN
JUAN FELIPE RIOS TORRES
ALVARO LATORRE CABRA

PROYECTO INTEGRAL DE GRADO PARA OPTAR EL TÍTULO DE ESPECIALISTA EN GERENCIA DE PROYECTOS

ORIENTADOR
JULIAN ANDRES GOMEZ VARGAS
ADMINISTRADOR DE EMPRESAS

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS Y ADMINISTRATIVAS
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE PROYECTOS
BOGOTÁ D.C
2022

NOTA DE ACEPTACIÓN

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____ _____

Nombre Nombre

Firma del Director Firma del presidente Jurado

_____

Nombre

Firma del Jurado

_____

Nombre

Firma del Jurado

Bogotá, D.C. marzo de 2022

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro
Dr. Mario Posada García Peña

Vicerrector Académico de Recursos Humanos
Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Vicerrectora Académica y de Investigaciones
Dra. Alexandra Mejía Guzmán

Vicerrector Administrativo y Financiero
Dr. Ricardo Alfonso Peñaranda Castro

Secretario General
Dr. José Luis Macias Rodríguez

Decano Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas
Dra. Marcel Hofstetter,

Director de programa
Dr. Julian Andres Gomez Vargas

Las directivas de la Universidad América, Los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

TABLA DE CONTENIDO

	pág
1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	8
2. PLANTEAMIENTO DE LA IDEA	9
3. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	11
4. OBJETIVOS	12
5. MARCO TEÓRICO	13
5.1. Celdas Fotovoltaicas	16
5.2. Fotoconductor	17
5.3. Celdas Golay	17
5.4 Fotomultiplicadores	17
5.5. Fotoceldas Orgánicas	18
5.6. Energía eléctrica	18
5.7. Energía solar	18
5.8. Fotones	19
5.9. Electrones	19
5.10. Conductor eléctrico	19
5.11 Voltaje	19
5.12. Sistema de cargadero para carrotanque	19
6. DESARROLLO	21
6.1Análisis de radiación regional	21
6.2. Estudio técnico	23
6.2.1Análisis del fluido a tratar	23
6.2.2 Análisis energético de equipos	24
6.2.3Selección y especificaciones de los paneles solares	25
6.3Análisis financiero	28
7. CONCLUSIONES	36
BIBLIOGRAFIA	37

LISTA DE TABLAS

pág

Tabla 1. Análisis energético de equipos de potencia y control 24
Tabla 2 Análisis energético de equipos control 25
Tabla 3 Cálculo de energía requerida y dimensionamiento de los paneles solares 26
Tabla 4 Cálculo de energía requerida y dimensionamiento de los paneles solares sin abastecer la bomba 27
Tabla 5 Equipos dentro del funcionamiento de las fotoceldas 29
Tabla 6 Activos diferidos 29
Tabla 7 Gastos por mantenimiento 30
Tabla 8 Costos de mantenimiento generador Diesel 31
Tabla 9 31
Tabla 10 Variables de flujo de caja 32

RESUMEN

En el presento trabajo se realizó el análisis de viabilidad de instalar paneles solares para el suministro de energía para los equipos de un sistema de cargadero de carrotanque. Para realizar este análisis de viabilidad, primero fue necesario determinar en qué sector de Colombia se presenta mayor radiación solar. Posteriormente se determina cual es la potencia eléctrica requerida por los equipos y de esta forma definir la cantidad de paneles solares, esto nos permite saber la viabilidad técnica. Para finalizar el proyecto se hacer el respectivo análisis financiero donde se tiene en cuenta todos los costos de un sistema de cargue de carrotanque sin usar los paneles solares y utilizando esa energía renovable para comparar los valores y poder concluir su viabilidad.

Palabras claves: Energía solar, sostenibilidad, transporte, hidrocarburos.

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Dada la emergencia sanitaria que actualmente atraviesa el mundo producto del Covid-19 (Coronavirus) y debido al alto impacto económico que tuvo sobre diferentes industrias, incluyendo la industria petrolera (en adelante "la industria"), se han venido evaluando diferentes alternativas para la optimización y reducción de costos operativos para diferentes procesos llevados a cabo en la variedad de sectores de las compañías con el fin de asegurar la sostenibilidad a través del tiempo, generar mayor valor a la compañía y por supuesto, recuperarse del impacto negativo causado por la pandemia que dejó sin número de organizaciones al borde de la quiebra.

Para la industria, uno de los sectores más afectados y uno de los negocios de mayor interés a nivel mundial, por no decir el más importante, la optimización y reducción de costos operacionales pasó de ser realmente una alternativa a una necesidad, esto después de la caída del precio del barril producto de la pandemia que disminuyó la demanda a causa del cierre total de industrias de alto consumo de hidrocarburo en los países potencia y generó la sobreoferta de petróleo en el mercado, llevando al precio por barril a situarse en extremos tan bajos nunca antes vistos, sumándose a esta crisis, las divisiones y diferencias presentadas entre las figuras más distinguidas de este preciado recurso la Opep y Opep+.

Esta necesidad ha llevado a desarrollar diferentes avances que han permitido minimizar costos destinados para unas áreas e invertirlas en otras las cuales tendrán un mayor impacto positivo para el valor de las compañías. Asimismo, con el motivo de acercarse a esta necesidad y realizando un enfoque a lo requerido por las compañías se evidenció un proceso que permite la oportunidad de poder realizar la optimización y reducción de costos operativos en la industria, siendo esta en las operaciones de cargue y movilización de crudo en los campos petroleros, se han percibido altos costos energéticos y una oportunidad de reducirlos en las operaciones downstream-midstream en los cargaderos ubicados en cada cluster de los campos petroleros, debido a que esta operación implica el uso de combustible diésel para el funcionamiento de los equipos, por esto, lo que se plantea es determinar la alternativa más viable para reducir sustancialmente los costos e incluso facilitar las operaciones en estas instalaciones.

2. PLANTEAMIENTO DE LA IDEA

A partir de la necesidad de las compañías de la industria petrolera se planea realizar la optimización y reducción de costos operativos enfocados en tan solo un proceso de los muchos realizados en este sector. Se contempló reducir y minimizar los costos en diferente variedad de procesos pero solo se tomó la decisión de centrarse en uno en específico, a manera de ejemplo podríamos referirnos a uno de los que se evaluó, el cual fue el proceso de generación de energía para un campo, proceso que se descartó pero consiste en reemplazar la fuente de energía como el diésel y las conexiones al sistema interconectado de energía eléctrica (Sistema de Transmisión Nacional STN), al que comúnmente se recurre, por la implementación de energías renovables. Sin embargo, se menciona que se contempló mas no se realizó el enfoque y finalmente se descartó este proceso debido a que el consumo de energía de un campo petrolero es excesivamente alto en comparación al de otros sectores y la potencia requerida para la mayoría de las herramientas no es posible lograrla por medio de energías renovables, teniendo en cuenta también su dependencia a las condiciones medioambientales. Por este tipo de razones, se omitieron y no se contemplaron los diferentes procesos y se centralizó el enfoque para suplir la necesidad en las operaciones de cargue y movilización de crudo en los campos petroleros, siendo una actividad más específica y no tan determinante en el proceso la cual no se ve en la necesidad de implementar tanta potencia por el suministro de energía.

Un campo petrolero puede estar compuesto solo por un pozo o por un número infinito de estos, al tener los campos una gran extensión se suelen agrupar estos pozos en clusters o pads para unificar su operación y facilitarla, de la misma manera en determinados pads se cuenta con los denominados cargaderos que tienen la funcionalidad de permitir el llenado de carrotanques del hidrocarburo obtenido posterior a su tratamiento y transportar este mismo a un destino específico.

Se tiene previsto que la implementación de energías renovables, concretamente, el uso de energía solar en estos cargaderos ubicados en los diferentes pads, puede tener un impacto significativo en la minimización de los costos en los que se incurre por suplir la generación de energía y así mismo puede llegar a facilitar la operación y evitar inconvenientes en la misma, dando efectivo funcionamiento a las diferentes herramientas que se disponen en el área. El propósito, es ejecutar el estudio técnico que demuestre que las diferentes herramientas que se encuentran en el área funcionan de manera correcta y que tanto podrían llegar a afectar las

condiciones ambientales al suministro de energía por fuentes renovables, para finalmente analizar la posibilidad de implementación mediante un análisis financiero de costos que a largo plazo manifieste la atenuación en los gastos.

3. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

La pregunta de investigación de este proyecto se basa en la oportunidad de realizar la optimización y reducción de costos operativos en alguno de los procesos llevados a cabo en la industria petrolera, de tal modo que se determina esta oportunidad en las operaciones de cargue y movilización de crudo en los campos petroleros y se generará una alternativa para subsanar la necesidad de las compañías en por lo menos un proceso de los muchos que se realizan. De acuerdo con lo anterior, la pregunta se plantea de la siguiente manera:

¿Es viable implementar el uso de energía solar como suministro de energía para el funcionamiento de un cargadero de carrotanques de transferencia de hidrocarburos?

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

Realizar un estudio técnico-financiero para la implementación de paneles solares para la captación de energía solar en el suministro de energía para un cargadero de carrotanques en la transferencia de hidrocarburos.

4.2 Objetivos específicos

- Identificar las zonas potenciales para la implementación de energía solar como suministro principal de energía en un cargadero de carrotanques mediante un análisis de radiación solar en las diferentes zonas geográficas de Colombia.

- Desarrollar el estudio técnico para la implementación de energía solar como suministro principal de energía en un cargadero de carrotanques de transferencia de hidrocarburos.

- Evaluar financieramente la implementación de energía solar como suministro principal de energía en un cargadero de carrotanques de transferencia de hidrocarburos, considerando la inversión y gastos en equipos, la viabilidad y el retorno.

5. MARCO TEÓRICO

En la industria de hidrocarburos existen 3 etapas y/o procesos principales los cuales son: upstream, midstream y downstream. El upstream son todos aquellos procesos que se requieren para poder extraer el producto y almacenarlo en los tanques, es decir abarca todas las operaciones de exploración y análisis geológicos que permiten determinar las zonas potenciales de hidrocarburos, la determinación de las reservas y los volúmenes de fluido disponible, las operaciones de explotación que permiten conectar mediante pozos el fluido contenido en el subsuelo con superficie para finalmente tratarlo dentro de las denominadas baterías o estaciones de tratamiento y entregar el producto de interés o hidrocarburo en una figura purificada. El midstream es la parte de logística de la industria del petróleo, es decir es cuando se transporta el fluido por oleoductos, carrotanques (trucking) o buques entre otros. Finalmente, el downstream es todo el tema de comercialización de este producto a clientes finales o a intermediarios. Para pasar de upstream a midstream se realiza el proceso de transferencia de custodia que es pasar un volumen determinado de producto de los tanques de almacenamiento a un carro tanque, buque u oleoducto, para este caso se va a tomar que el medio de transporte es el carro tanque. Para hacer este proceso se utiliza un sistema de llenadero de carro tanque, el cual se explicará más a detalle más adelante en el documento.

La emergencia sanitaria que pasó recientemente causó que muchas industrias tuvieran que detener la producción lo que generó que no se necesitará combustible, causando una fuerte caída en el precio del barril que no solo afectó a muchas empresas petroleras, sino a la economía mundial. Esta crisis económica obligó a las empresas a buscar cómo reducir costos ya sean de capital, es decir deteniendo algún proyecto que estaban ejecutando, o costos operativos.

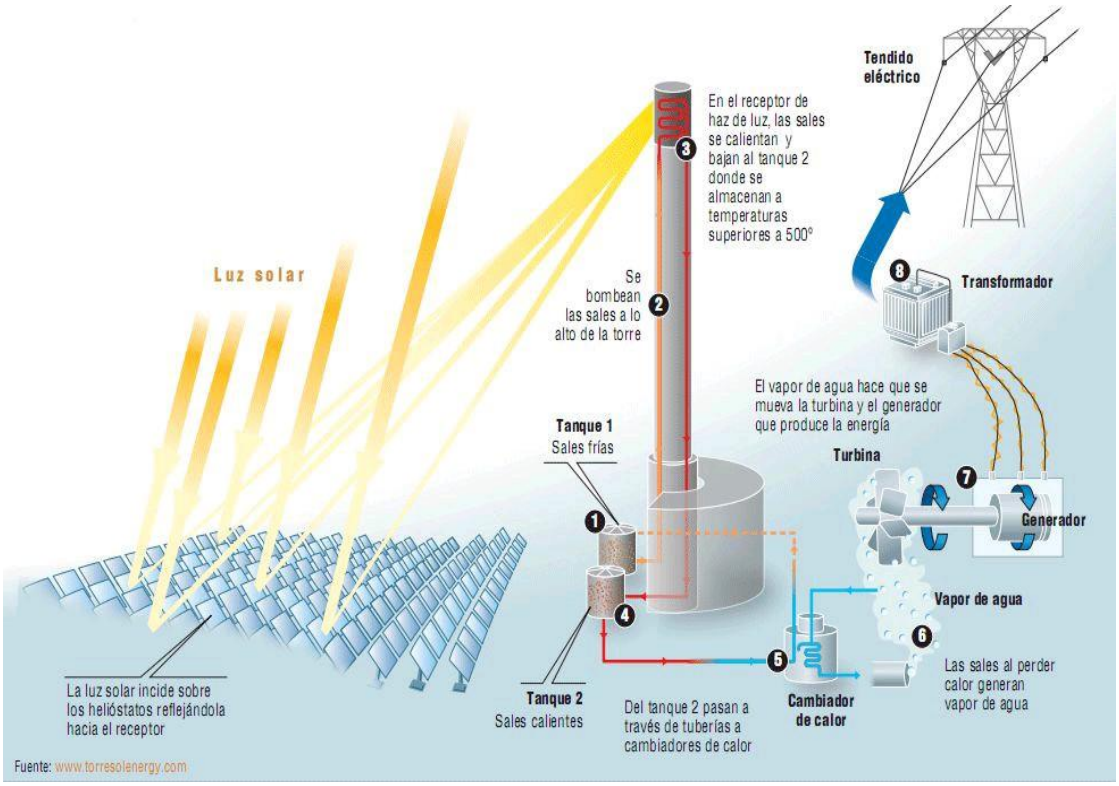
En los campos petroleros existen varios costos operativos, pero uno de los más altos es el costo energético, debido a que en algunos casos están ubicados en zonas rurales donde ni siquiera tienen la posibilidad de conectarse a una red eléctrica por lo cual necesitan de generadores que funcionan con diésel. Adicionalmente es importante tener en cuenta que en Colombia la mayoría de los campos petroleros se encuentran en áreas con alta radiación solar, en la cual se puede aprovechar ese tipo de energía utilizando los paneles solares. Hoy en día varias empresas ya se dieron cuenta de este recurso que no se estaba aprovechando y ya empezaron a instalar parques solares, entre estas empresas está Ecopetrol.

La energía solar se puede aprovechar de dos formas, la energía térmica y la energía fotovoltaica. La energía térmica la cual se utiliza en plantas termo solares funciona aprovechando el calor que generan los rayos solares para calentar unas sales que después pasan por intercambiador de calor para generar vapor, este vapor se transporta a través de una tubería metálica para terminar llegando a una turbina, ahí esa energía térmica se convierte en energía mecánica al hacer mover esa turbina. La turbina está conectada a un generador el cual al momento de girar genera un cambio de campo magnético el cual crea una energía eléctrica. Este tipo de energía requiere de 3 subsistemas principalmente para su constitución, encontramos el subsistema de captación (Batería de los captadores solares), subsistema de intercambio y acumulación (Uno o más depósitos para la acumulación de energía) y un sistema de energía convencional para suplir el sistema en caso de falla o altercado. Estos 3 subsistemas determinan la funcionalidad para la cual se tenga destinada esta alternativa de energía. Algunas de las funcionalidades para las cuales se usa esta energía solar térmica son: la producción de agua caliente sanitaria (Producción A.C.S), calefacción y frio solar, calentamiento de agua para piscinas y calentamiento en diferentes aplicaciones industriales. Una instalación que tenga la capacidad de brindar estas funcionalidades (Instalación termosolar), debe componerse en primer lugar por captadores solares, determinados circuitos, el primario y el secundario, un intercambiador de calor, un vaso de expansión y tuberías, para poder cumplir el proceso anteriormente descrito. Respecto a los captadores solares, los cuales podríamos decir que son los componentes de mayor importancia en el proceso, sin restar importancia a los demás, son aquellos que permiten la captura de la radiación solar y la convierten en la energía térmica, entre estos encontramos los más conocidos, los captadores de placa plana que se caracterizan por su color oscuro que capta más calor, y los menos conocidos o comerciales los captadores solares de tubos de vacío y los captadores absorbedores sin ningún tipo de protección ni aislamiento.(Ingeniería Mecánica, 2018)

A continuación, se muestra un diagrama del funcionamiento de una planta termo solar.

Figura 1

Funcionamiento de una planta termo solar.

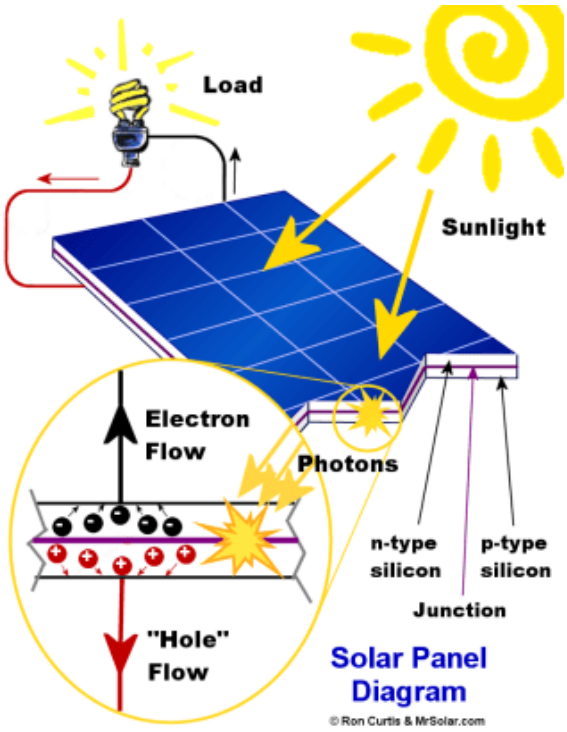


Nota. Proceso de funcionamiento de una planta termo solar. Tomado de: Ingeniería Mecánica (2018) Planta Termo solar con Tecnología de Torre https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn134.html

Para la energía solar fotovoltaica es necesario utilizar paneles solares los cuales están fabricados con materiales semiconductores que permiten un movimiento de electrones al momento que los protones de los rayos solares toquen el panel, este movimiento de electrones es corriente que se puede utilizar como energía eléctrica. Esta energía se puede utilizar directamente en los equipos o puede ser almacenada en una batería, es necesario tener en cuenta que esta es corriente directa (DC), si los equipos que van a utilizar esta energía necesitan corriente alterna, entonces sería necesario un inversor (MRWATT, 2017). A continuación, se muestra un diagrama general de funcionamiento de los paneles solares.

Figura 2

Funcionamiento de paneles solares.



Nota: Proceso de funcionamiento de una celda fotovoltaica. Tomado de Planta MRWATT (2017) Como Funciona una Celda Solar https://www.mrwatt.eu/es/content/come-funziona-una-cella-solare.

A través de los años se ha incursionado en la implementación de energías renovables en pro de la mitigación de la contaminación ambiental y que paralelamente cuenten con la capacidad de suplir la demanda energética en diferentes ámbitos industriales. Esta práctica ha permitido desarrollar nuevas tecnologías innovadoras cuyas características operacionales y funcionales desarrollan de forma efectiva las actividades energéticas que se desarrollan con los métodos convencionales. En el caso específico de los paneles solares actualmente encontramos diferentes diseños operativos como describe Oriol Planas. (2015, 2 de septiembre).

5.1. Celdas Fotovoltaicas

Las celdas fotovoltaicas se usan en paneles solares y funcionan para convertir energía solar en electricidad. Los fotones de la luz del sol chocan con los electrones de la fotocelda y se hacen más energéticas. Mientras más energética y alta sea en cantidad de los electrones afectados, se

encontrará más cantidad de energía eléctrica que se use. Los conductores eléctricos se unen a las celdas fotovoltaicas para atrapar estos electrones en forma de corriente. Las celdas fotovoltaicas también son conocidas como celdas solares y se conectan en los rayos de la celda solar para producir el voltaje deseado.

5.2. Fotoconductor

Un fotoconductor cuenta con una variable de cambio en la resistencia eléctrica que depende de la intensidad de la luz que brilla en él. Por lo general, la resistencia disminuye cuando aumenta la intensidad de la luz. Los fotoconductores se construyen con un material semiconductor que absorbe la luz causando que los electrones entren en el fotoconductor para que se libre de ser golpeado. Esto baja la resistencia eléctrica del fotoconductor convirtiéndolo en un mejor conductor de electricidad. Los fotoconductores comúnmente se usan en los radios reloj eléctricos y en las luces de las calles y también se pueden usar para detectar la radiación infrarroja para propósitos militares y científicos.

5.3. Celdas Golay

Una celda Golay es un detector de luz de alta eficiencia que principalmente se usa para detectar la luz infrarroja. Las celdas Golay son cilindros pequeños de metal con una lámina de metal oscurecida en una punta y una membrana flexible en la otra. Las celdas contienen gas xenón que se calienta cuando la luz infrarroja golpea en la lámina de metal. Conforme se expande el gas calentado, la presión en el cilindro causa que la membrana cambie de forma. Después, una lámpara brilla en la membrana y separa la fotocelda usada para medir la salida de la celda Golay. Esto ayuda a medir la cantidad de radiación infrarroja que se haya producido.

5.4 Fotomultiplicadores

Los fotomultiplicadores son dispositivos de foto detección que funcionan bajo los principios del efecto fotoeléctrico. El efecto fotoeléctrico es la propiedad del metal que causa la emisión de electrones cuando la luz brilla sobre éste. Los fotomultiplicadores son tubos de vacío con superficies sensibles a la luz que actúan para multiplicar la corriente de fotones por medio de una enorme cantidad de hasta 100 millones de veces. Los fotomultiplicadores son tan sensibles

que, si la luz brillaba en una sola superficie, era lo suficientemente baja y los fotones se pueden detectar. Estas celdas se usan más en investigaciones de física y en laboratorios médicos.

5.5. Fotoceldas Orgánicas

También conocida como celda solar plástica, utiliza polímeros conjugados como material absorbente de luz, donante de electrones, aceptor y/o transportador. Inicialmente contaba con una estructura similar a la celda solar convencional basada en silicio con una unión plana. En el campo del desarrollo de células solares orgánicas (OSC), desde mediados de la década de 1990 se ha logrado un progreso real después de la síntesis de polímeros conductores conjugados de última generación utilizados para la producción de modernos diodos emisores de luz y transistores de efecto de campo.

Así mismo para comprender el funcionamiento de un dispositivo de captación solar se requiere tener claro los conceptos de energía que intervienen en el equipo, así como sus componentes.

5.6. Energía eléctrica

La electricidad constituye una forma de energía que está presente en la mayoría de las actividades que se realizan cotidianamente, esta es producida en las centrales eléctricas a partir de la transformación de una energía primaria ya sea hidráulica, térmica, solar, entre otras. De ahí se transporta por medio de redes eléctricas hasta los núcleos de población e industrias donde se transforma en otras formas de energía denominadas secundarias como luz, calor, movimiento, entre otras.

5.7. Energía solar

“La energía solar es aquella que obtenemos del sol. A través de placas solares se absorbe la radiación solar y se transforma en electricidad que puede ser almacenada o volcada a la red eléctrica.”.

5.8. Fotones

Teniendo en cuenta el estudio realizado por Daphne Pollaco, un fotón se puede definir como “Partícula elemental que describe la naturaleza cuántica de la luz y todas las demás formas de radiación electromagnética”. Es posible observar fácilmente los efectos de la fuerza de esta partícula tanto a nivel microscópico como macroscópico ya que el fotón tiene masa en reposo cero, permitiendo interacciones de larga distancia.

5.9. Electrones

Un electrón es una partícula subatómica con carga negativa. En los conductores eléctricos estas partículas circulan de forma individual de un átomo a otro en la dirección del polo negativo al polo positivo del conductor eléctrico generando así la energía eléctrica.

5.10. Conductor eléctrico

Es todo aquel cuerpo capaz de conducir o transmitir electricidad. Comúnmente se utilizan cobre y aluminio para la fabricación de estos elementos. Se clasifican según su constitución (alambre o cable), según el número de conductores (mono conductor o multi conductor) y según su utilización.

5.11 Voltaje

Hace referencia a la presión que ejerce una fuente de suministro de energía eléctrica o fuerza electromotriz (FEM) sobre las cargas eléctricas o electrones en un circuito eléctrico cerrado para poder establecer el flujo de una corriente eléctrica. A mayor diferencia de potencial o presión que ejerza una fuente de FEM sobre las cargas eléctricas o electrones contenidos en un conductor, mayor será el voltaje o tensión existente en el circuito al que corresponda ese conductor.

5.12. Sistema de cargadero para carrotanque

Los sistemas que se utilizan para cargar los carrotanques están compuestos por diferentes equipos, entre los que están los equipos de bombeo, el cual está compuesto por una bomba, un

motor que en la mayoría de los casos es eléctrico y algunas veces se requiere de un reductor de velocidades. Para proteger la bomba se requiere de un filtro debido a que si algún sólido de un tamaño considerado entra en la bomba puede causar que los componentes internos se dañen y deje de funcionar adecuadamente. También se necesita utilizar unos equipos de instrumentación para la medición de temperatura, presión, y en algunos casos viscosidad. Uno de los equipos de gran importancia es el medidor, debido a que este nos permite saber la cantidad de producto que se transfirió al carrotanque, como se mencionó anteriormente es de gran importancia porque cada galón de hidrocarburo tiene un costo y si el equipo funciona incorrectamente entonces se puede estar enviando más producto de lo que se registró, lo que se convierte en pérdidas para la empresa. Para estos sistemas se tienen a utilizar dos tipos de medidores que son los que tienen una mayor exactitud, linealidad y repetibilidad. Este tipo de medidores son los de desplazamiento positivo y los Coriolis. Los medidores de desplazamiento positivo son instrumentos que permiten medir directamente el volumen de un fluido que pasa por medio de un medidor de flujo, esto es posible encapsulando el fluido dentro de compartimentos que se llenan repetidamente y que tienen determinada capacidad de fluido. En cuanto a los medidores Coriolis, su principio de funcionamiento se basa en la mecánica del movimiento, el fluido fluye a través de un tubo que se hace vibrar por un pequeño actuador. Esta vibración produce una aceleración que concluye en una fuerza de torsión que es medible en el tubo (Juan Daniel Carvajal Fonseca & Victoria Andrea Leal Saavedra, 2016, p.68). Los últimos, son los más comunes y empleados para realizar este tipo de mediciones en el sector de hidrocarburos.

También es necesario tener en cuenta que debido a que este es un proceso de transferencia de custodia como se mencionó anteriormente, por normativa de Colombia se requiere utilizar un medidor con una exactitud de máximo 0.15% por tal motivo es que se intenta utilizar los medidores mencionados anteriormente. Finalmente está el computador de control que es donde se muestran los datos registrados para saber los volúmenes netos y brutos y permite prender y apagar la bomba.

Es necesario tener en cuenta que todos los fluidos al variar su presión y especialmente la temperatura, por tal motivo en los sistemas de cargadero de carrotanque se utiliza un tren de medición después del medidor el cual está compuestos por medidores de presión (manómetros), medidores de temperatura (RTD) y de viscosidad en caso de que sea necesario, esta medición es enviada electrónicamente al computador de flujo y con los datos del medidor se calculan cuáles son los volúmenes netos y brutos.

6. DESARROLLO

Para el estudio de implementación de paneles solares para la captación de energía solar en el suministro de energía para un cargadero de carrotanques en la transferencia de hidrocarburos se establece una serie de procedimientos basados en el análisis de radiación regional para la selección del lugar más indicado para llevar a cabo la instalación, los requerimientos energéticos con los que actualmente operan los cargaderos de carrotanques y la selección del tipo de panel solar a implementar así como su diseño y capacidad de potencia a suministrar para desarrollar el estudio técnico, y finalmente un análisis económico para llevar a cabo el proyecto.

6.1. Análisis de radiación regional

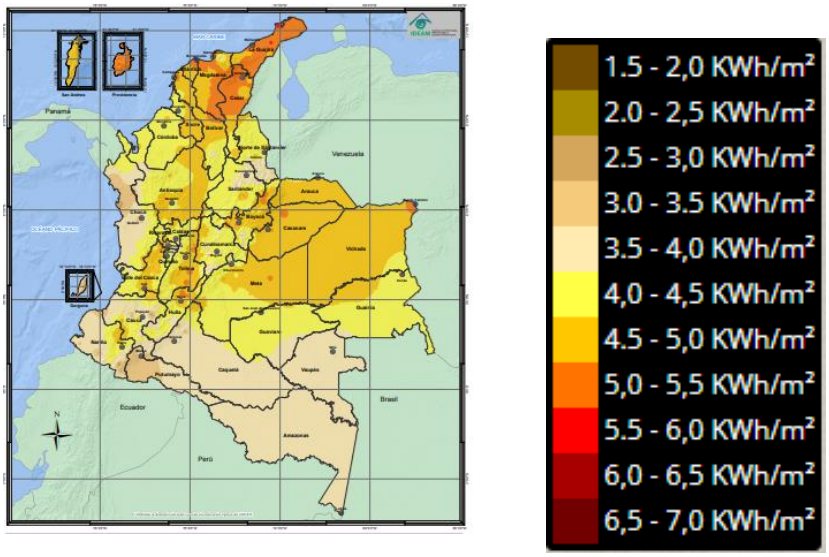
El principal factor que influye en la implementación de paneles solares hace referencia al clima sectorizado del área geográfica donde se vayan a implementar, ya que la eficiencia de los paneles solares depende de un sector con muy buena fuente de captación de radiación solar.

Para identificar las potenciales zonas y llevar a cabo instalación de paneles solares se hace uso de la herramienta *Atlas de Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia* y posteriormente se realiza un análisis de radiación promedio mensual de cada una de las zonas geográficas y así seleccionar aquellas que cumplen con las condiciones ambientales y realizar la instalación de los dispositivos en los diferentes periodos a través del año en los cuales alcanzarán su máxima eficiencia.

Como se observa en la figura, el mapa térmico muestra las zonas geográficas con mayor radiación solar en las cuales se destaca el noroeste del país en el departamento del Meta con una radiación promedio día/m2 de 5200 Wh, y la zona costera norte en la cual destaca el departamento de Bolívar con una radiación promedio día/m2 de 5600 Wh.

Figura 3

Niveles de Radiación en Colombia

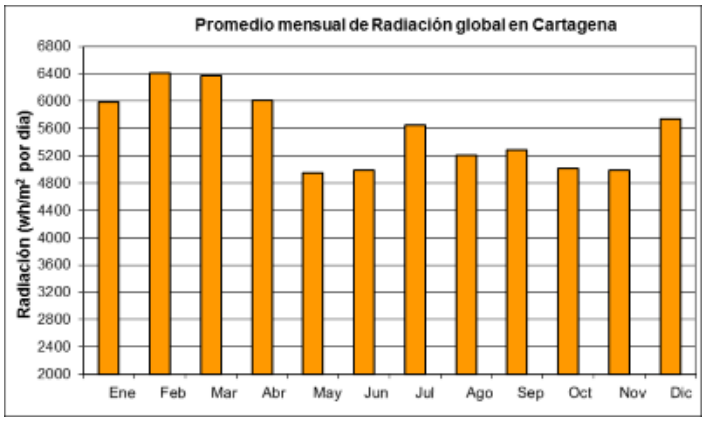


Nota. Niveles de radiación en Colombia. Tomado de Atlas interactivo – Radicación IDEAM

Finalmente se seleccionó Cartagena, ciudad localizada en el departamento de Bolívar como ubicación estratégica de instalación óptima dado a su plataforma logística que se desempeña como centro de conexiones para transporte de carga marítima y sus condiciones climáticas. Esta región se caracteriza por presentar una relativa uniformidad de temperatura a través del año, típica de los climas tropicales en general, y su promedio de temperatura anual está entre 25°C y 28°C. Adicionalmente cuenta con un promedio de radiación de 5500 Wh/día suficiente para que las fotoceldas generen una potencia de 320 Wh y así abastecer el requerimiento energético de los cargaderos.

Figura 4.

Promedio de radiación mensual en Cartagena



Nota. Tomado de Atlas interactivo – Radicación IDEAM

6.2. Estudio técnico

A continuación, se analizarán las herramientas y recursos necesarios para determinar todo lo referente al proceso de selección e instalación de los equipos fotovoltaicos.

6.2.1. Análisis del fluido a tratar

Como se mencionó previamente los cargaderos de carrotanques están conformados por diferentes equipos los cuales requieren de energía eléctrica para su funcionamiento. Estos equipos pueden variar dependiendo de los requerimientos energéticos que se necesiten debido a las propiedades del fluido a tratar durante la operación, ya que, si se carga un hidrocarburo pesado, este podría generar mayores caídas de presión a lo largo de todo el recorrido, lo que se ve representado en la implementación de una bomba de mayores caballos de potencia. Ahora bien, de acuerdo con lo mencionado anteriormente para nuestro caso de estudio, se plantea utilizar un crudo liviano con las siguientes condiciones de operación y propiedades de flujo:

- Grados API: 40°
- Viscosidad: 80 cP
- Temperatura: 20°C
- Caudal: 400 GPM

Con estas propiedades de flujo se seleccionan los equipos estándar que se encuentran en la operación de todos los cargaderos, identificados como equipos de potencia y los equipos de control. En los equipos de potencia se encuentran inicialmente la bomba, cuya función principal se centra en impulsar el fluido a lo largo de todo el cargadero con suficiente energía para que pueda superar las caídas de presión. Por otro lado, los equipos de control son aquellos que nos permiten monitorear y controlar el fluido durante su trayecto, realizar la instrumentación y tener un total seguimiento durante la operación proporcionando seguridad en el proceso. Entre estos equipos se encuentran: los paneles de inyección de aditivos, la válvula de control, el computador de flujo, el sistema de puesta a tierra y sobrellenado, la iluminación, los transmisores de presión y de flujo.

6.2.2 Análisis energético de equipos

Para realizar el cálculo de cargas se tuvo en cuenta cuánta energía consume cada equipo y se determinó que el cargadero va a trabajar horas diarias (13h). Se realiza el cálculo y se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 1.

Análisis energético de equipos de potencia y control

POTENCIA Y CONTROL								
ÍTEM	**Un**	**UNID**	**P**	**UNID**	**HORAS / DÍA**	**UNID**	**ENERGÍA DIARIA (Wh/día)**	**CARGA**
CIRCUITO TRIFÁSICO 220VAC								
1	220	VAC	22777,872	W	13	h	296112,336	BOMBA 25 HP
CIRCUITO MONOFÁSICO 110VAC								
2	110	VAC	18	W	13	h	234	PANELES DE INYECCIÓN DE ADITIVOS
3	110	VAC	40	W	13	h	520	VALVULA DE CONTROL
4	110	VAC	33	W	13	h	429	COMPUTADOR DE FLUJO
5	110	VAC	50	W	13	h	650	SISTEMA PUESTA A TIERRA Y SOBRELLENADO
6	110	VAC	64	W	12	h	768	ILUMINACIÓN LED
CIRCUITO DC 24VDC								
7	24	VDC	20	W	13	h	260	TRANSMISOR PRESIÓN
8	24	VDC	10	W	13	h	130	TRANSMISOR DE FLUJO

POTENCIA TOTAL (W)	**23012,872**
ENERGÍA TOTAL DIARIA (Wh/día)	**299103,336**

Nota. Representa la potencia eléctrica requerida para todos los equipos del descargadero

Al analizar el resultado obtenido en la *Tabla 1* se determina que uno de los equipos que más consume energía es la bomba con la cual se obtuvo un valor de 299.103 Wh/día.

Posteriormente se procede a realizar el mismo cálculo, pero esta vez sin la unidad de potencia, para analizar si la diferencia de energía que se requiere incluyendo el equipo es significativamente alta para lo cual se obtuvieron los siguientes datos:

Tabla 2

Análisis energético de equipos control

SOLAMENTE CONTROL								
ÍTEM	Un	UNID	P	UNID	HORAS / DÍA	UNID	ENERGÍA DIARIA (Wh/día)	CARGA
CIRCUITO MONOFÁSICO 110VAC								
1	110	VAC	18	W	13	h	234	PANELES DE INYECCIÓN DE ADITIVOS
2	110	VAC	40	W	13	h	520	VALVULA DE CONTROL
3	110	VAC	33	W	13	h	429	COMPUTADOR DE FLUJO
4	110	VAC	50	W	13	h	650	SISTEMA PUESTA A TIERRA Y SOBRELLENADO
5	110	VAC	64	W	12	h	768	ILUMINACIÓN LED
CIRCUITO DC 24VDC								
6	24	VDC	20	W	13	h	260	TRANSMISOR PRESIÓN
7	24	VDC	10	W	13	h	130	TRANSMISOR DE FLUJO

POTENCIA TOTAL (W)	235
ENERGÍA TOTAL DIARIA (Wh/día)	2991

Nota. Potencia eléctrica requerida para los equipos de control de un descargadero

En la ***Tabla 2*** se observa el cálculo sin la unidad de potencia y se determina un requerimiento de 2991 Wh/día, adicionalmente se observa que los resultados obtenidos son menores a los que se tenía con la bomba. Teniendo en cuenta estos dos valores y al haber determinado la localización geográfica estratégica más optima donde se instalaría el cargadero cuya ubicación es la ciudad de Cartagena, según lo mencionado anteriormente en el análisis regional, se procede a realizar los cálculos adecuados para determinar el número de paneles solares que se necesitan para alimentar dichos equipos.

6.2.3 Selección y especificaciones de los paneles solares

Para conocer el número exacto de paneles solares que se necesitan para abastecer el requerimiento energético durante la operación del cargadero, es necesario tener en cuenta las

pérdidas de energía que se presentan en los diferentes equipos del sistema eléctrico como por ejemplo las perdidas en el inversor, adicionalmente, teniendo en cuenta que la instalación de los paneles se llevara a cabo en la ciudad de Cartagena se hace uso de la información referente a la radiación promedio para conocer cuanta es la energía que se irradia por metro cuadrado.

Finalmente se hace el cálculo utilizando la energía que se requiere tanto para la unidad de potencia como para la unidad de control y se obtienen los siguientes resultados ilustrados en la ***Tabla 3***.

Tabla 3

Cálculo de energía requerida y dimensionamiento de los paneles solares

DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	VALOR	UNIDAD
PARAMETROS ENERGÉTICOS			
FACTOR DE CORRECIÓN POR VARIACIÓN DE CARGAS	FVC	1,1	N/A
FACTOR DE PERDIDAS ELÉCTRICAS	FPE	1,03	N/A
FACTOR PERDIDAS INVERSOR	FPI	1,1	N/A
TEMPERATURA AMBIENTE	FPT	32	C
CONSUMO DIARIO	Ed	299103,336	Wh
PORCENTAJE DE AHORRO ENERGÉTICO	PAE	100%	N/A
ENERGÍA PANELES	Ep	1.017.668,89	Wh
PARAMETROS AMBIENTALES			
MÍNIMA RADACIÓN SOLAR EN EL AÑO	I	3400	Wh/m^2
HORA SOLAR PICO	HSP	3,7	h
CARACTERISTICAS DE LOS PANELES			
POTENCIA MAXIMA	Pmax	320	W
EFICIENCIA PV	ηcr	0,9	N/A
NÚMERO DE PANELES	N	**955**	UNID
NÚMERO DE SERIES	Ns	5	UNID
NÚMERO EN PARALELO	Np	191	UNID
CARECTERISTICAS INVESOR			
POTENCIA ENTRADA MÍNIMA	Pin	305600	W
CORRIENTE DE SALIDA	Iout	2,14	A
TENSIÓN DE SALIDA	Uout	110	V
DIMENSIONES PANELES			
LARGO INDIVIDUAL	Li	1,96	m
ANCHO INDIVIDUAL	Ani	0,99	m
LARGO TOTAL	L	373,6	m
ANCHO TOTAL	An	4,96	m
AREA	A	1853,04	m^2

Nota. Cálculo de paneles solares requeridos para suministras la energía a todos los equipos del cargadero

Como se puede observar en la ***Tabla 3***, si también se desea abastecer energéticamente la bomba, entonces se requeriría implementar 955 paneles solares, lo cual desde el punto de vista mecánico y espacial, es una instalación imposible de llevar a cabo sobre la estructura del techo del cargadero. Ahora se realiza el mismo cálculo pero utilizando la energía requerida sin la unidad de potencia y se observan los siguientes resultados.

Tabla 4

Cálculo de energía requerida y dimensionamiento de los paneles solares sin abastecer la bomba

DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	VALOR	UNIDAD
PARAMETROS ENERGÉTICOS			
FACTOR DE CORRECIÓN POR VARIACIÓN DE CARGAS	FVC	1,1	N/A
FACTOR DE PERDIDAS ELÉCTRICAS	FPE	1,03	N/A
FACTOR PERDIDAS INVERSOR	FPI	1,1	N/A
TEMPERATURA AMBIENTE	FPT	32	°C
CONSUMO DIARIO	Ed	2991	Wh
PORCENTAJE DE AHORRO ENERGÉTICO	PAE	100%	N/A
ENERGÍA PANELES	Ep	4745,34084	Wh
PARAMETROS AMBIENTALES			
MÍNIMA RADACIÓN SOLAR EN EL AÑO	I	3400	Wh/m^2
HORA SOLAR PICO	HSP	3,7	h
CARACTERISTICAS DE LOS PANELES			
POTENCIA MAXIMA	Pmax	320	W
EFICIENCIA PV	ηcr	0,9	N/A
NÚMERO DE PANELES	N	**4**	UNID
NÚMERO DE SERIES	Ns	3	UNID
NÚMERO EN PARALELO	Np	1,33333333	UNID
CARECTERISTICAS INVESOR			
POTENCIA ENTRADA MÍNIMA	Pin	1280	W
CORRIENTE DE SALIDA	Iout	2,14	A
TENSIÓN DE SALIDA	Uout	110	V
DIMENSIONES PANELES			
LARGO INDIVIDUAL	Li	1,96	m
ANCHO INDIVIDUAL	Ani	0,99	m
LARGO TOTAL	L	2,61	m
ANCHO TOTAL	An	2,98	m
AREA	A	7,76	m^2

Nota. Cálculo de paneles solares requeridos para suministrar la energía a los equipos de control del cargadero

Finalmente, como se muestra en la ***Tabla 4*** se requiere implementar 4 paneles solares para poder cumplir con el requerimiento energético de la unidad de control, y así mismo se puede observar la cantidad de potencia que se requiere del inversor.

Por último, se definen las especificaciones para alimentar la unidad de control de un cargadero de crudo que trabaja por 13 horas diarias ubicado en la zona de Cartagena, para lo cual se necesitan 4 paneles solares policristalinos de 320W y un inversor solar de 2000W a 110 VAC.

6.3. Análisis financiero

Finalmente, en este apartado se realiza un análisis financiero basado en los costos e ingresos en los cuales se incurrirá en la implementación de paneles solares en el funcionamiento de los carrotanques en el proceso de transferencia de hidrocarburos y el estudio de viabilidad se definirá mediante indicadores económicos.

En primer lugar, se define cual es la inversión de activos necesaria para llevar a cabo el proyecto y la implementación de esta energía renovable. Lo anterior, teniendo en cuenta que ya parte de las herramientas, elementos e instrumentos se encuentran disponibles en el cargadero y aliviarán o atenuarán parte de la inversión inicial de este proyecto, de tal modo que para la inversión inicial, en cuanto a activos fijos se necesitará principalmente, de acuerdo con el estudio técnico: paneles solares policristalinos de 320 W, de donde se obtendrá la energía continua a través de la captación de la energía solar, un inversor de 2000 W (110VAC) con el que se realizará la conversión de la energía continua a energía alterna para poder ser empleada para los instrumentos y herramientas, inversor que a su vez integra el elevador (Booster) que permite como su nombre lo indica elevar la potencia eléctrica a la necesaria para ser empleada, un dispositivo de monitoreo, una batería que almacenará el excedente de energía generado y que cumplirá la función de respaldo del sistema. Finalmente, el cableado y el material eléctrico necesario para realizar las conexiones a las herramientas requeridas para el funcionamiento del proceso de transferencia de hidrocarburos en el cargadero. A continuación se relacionan los equipos necesarios para implementar la energía solar en un solo cargadero de acuerdo con el estudio técnico realizado y con los parámetros mencionados, esta relación de equipos incluye el estimado de los costos en dólares y los años de vida útil de los mismos.

Tabla 5

Equipos dentro del funcionamiento de las fotoceldas

Activos fijos	Cantidad	Aproximado Costo unitario $USD	Costo total $USD	Años de depreciación
Panel solar policristalino (320W)	4	100	400	25
Inversor (2.000W & 110VAC)	1	740	740	25
Estructuras de anclaje a cubierta	4	50	200	25
Dispositivo de monitoreo	1	600	600	20
Batería	1	1.000	1.000	16
Cableado y material eléctrico	4	20	80	20
Total activos fijos	**15**	**2.510**	**3.020**	**-**

Nota: Cálculo de los costos fijos

Es importante mencionar que para los equipos listados anteriormente se supuso una eficiencia del 100%, por lo que se considera que se les dará uso todos los años de su respectiva vida útil. En cuanto a los activos diferidos para la implementación del proyecto, se está contemplando la adecuación del área, por un costo muy mínimo, debido a que ya se cuenta con la infraestructura y las instalaciones del cargadero, además del costo por mano de obra por la instalación de las estructuras de anclaje, los paneles solares y los dispositivos electrónicos.

Tabla 6

Activos diferidos

Activos diferidos	Valor $USD
Diseño de paneles	-
Adecuación del área	50
Mano de obra por instalación	300
Licencias y permisos	-
Total activos fijos	**350**

Nota. Representa el valor de los activos diferidos

Adicionalmente, considerando que generalmente a los paneles solares debe realizarse mantenimiento de 3 a 4 veces al año, con el fin de mantener su eficiencia de captación de energía solar, en la ***Tabla 7*** se relaciona la inversión de capital de trabajo destinada a esta actividad de mantenimiento. Es importante aclarar que el valor relacionado en la tabla a continuación será el gasto trimestral destinado al mantenimiento, para un total anual de USD$ 1.000.

Tabla 7

Gastos por mantenimiento

Activos diferidos	Valor $USD / Q
Nomina por mantenimiento	250
Total activos fijos	**250**

Nota. Representa el valor de los gastos por mantenimiento

Posteriormente, para contemplar los gastos por consumo de Diesel y poder generar el flujo de caja del análisis financiero, de acuerdo con datos reales obtenidos de un generador que alimenta un cargadero, se estableció una relación de consumo de combustible para la potencia de energía requerida según los resultados obtenidos en el estudio técnico, 2991 Wh. Adicionalmente al gasto por consumo de combustible, dentro de estos gastos por consumo de Diesel se tomó en consideración que para mantener correctamente operativo el generador se debe realizar un mantenimiento periódico mensual, el cual incluye el pago a un técnico que realizará el mantenimiento frecuentando las instalaciones 2 horas cada semana, con un pago de USD$ 30 dólares por hora y el costo por el cambio de los filtros de combustible, cuya función es filtrar los sólidos y el agua presente en este derivado (Diesel) para evitar fallas en el sistema. En la siguiente tabla es posible observar los costos estimados, además de un presupuesto de USD$ 20 que se añade como contingente, en caso de presentar fallas y tener que realizar el cambio de una pequeña pieza.

Tabla 8

Costos de mantenimiento generador Diesel

Mantenimiento Generador Diesel (Mensual)	
Costo Mano de obra técnico	240
Cambio de Filtros	500
Otros	20
Total	**760**

Nota. *Cálculo de los costos de mantenimiento del generador Diesel*

Partiendo de las consideraciones y valores anteriores, se proyectaron los valores de costos por generación de energía mediante Diesel y los costos por generación de energía solar a la vida útil de los paneles solares (25 años), esto mediante un incremento anual del 4.5 % del Índice de Precios del Consumidor (IPC), según el comportamiento de los últimos meses del año 2021.

A continuación, se encuentra la proyección de los valores según lo mencionado:

Tabla 9

Proyección de costos para energía a partir de Diesel

Año	Costo Energía Generador Diesel	Costo Energía Solar	Energía Diesel - Energía Solar
1	9.120	1000	7.970
2	9.531	1045	8.336
3	9.960	1092	8.717
4	10.408	1141	9.117
5	10.876	1193	9.534
6	11.365	1246	9.969
7	11.877	1302	10.425
8	12.411	1361	10.900
9	12.970	1422	11.398
10	13.554	1486	11.917
11	14.163	1553	12.460
12	14.801	1623	13.028
13	15.467	1696	13.621
14	16.163	1772	14.241
15	16.890	1852	14.888
16	17.650	1935	15.565
17	18.444	2022	16.272

Tabla 10 (Continuación)

18	19.274	2113	17.011
19	20.142	2208	17.783
20	21.048	2308	18.590
21	21.995	2412	19.434
22	22.985	2520	20.315
23	24.019	2634	21.236
24	25.100	2752	22.198
25	26.230	2876	23.204
TOTAL AHORROS			**358.129**

Nota. Describe la proyección de los costos del requerimiento energético tanto para Diesel como para energía solar en un periodo de 25 años

Teniendo en cuenta los valores presentados en la ***Tabla 9***, es posible establecer un flujo de caja, el cual abarque los ingresos, egresos, depreciación anual de los activos, los pagos de intereses por préstamo, el valor de salvamento de los activos y el pago de impuestos.

Tabla 11

Variables de flujo de caja

Flujo de Caja y cálculo de indicadores económicos									
Año	**Inversión**	**Ingresos**	**Egresos**	**Depreciación**	**Interés**	**Salvamento**	**Utilidad sin impto**	**Impto**	**Utilidad**
0	3.370	0	0	0	0	0	0	0	-3.370
1	0	9.120	1.000	150	0	0	7.970	0	7.970
2	0	9.531	1.045	150	0	0	8.335	0	8.335
3	0	9.960	1.092	150	0	0	8.717	0	8.717
4	0	10.408	1.141	150	0	0	9.116	0	9.116
5	0	10.876	1.193	150	0	0	9.533	0	9.533
6	0	11.365	1.246	150	0	0	9.969	0	9.969
7	0	11.877	1.302	150	0	0	10.424	0	10.425
8	0	12.411	1.361	150	0	0	10.900	0	10.900
9	0	12.970	1.422	150	0	0	11.397	0	11.397
10	0	13.554	1.486	150	0	0	11.917	0	11.917
11	0	14.163	1.553	150	0	0	12.460	0	12.460

Tabla 12 (Continuación)

12	0	14.801	1.623	150	0	0	13.027	0	13.027
13	0	15.467	1.696	150	0	0	13.620	0	13.620
14	0	16.163	1.772	150	0	0	14.240	0	14.240
15	0	16.890	1.852	150	0	0	14.888	0	14.888
16	2.022	17.650	1.935	150	0	250	15.814	0	13.792
17	0	18.444	2.022	150	0	0	16.272	0	16.272
18	0	19.274	2.113	150	0	0	17.011	0	17.011
19	0	20.142	2.208	150	0	0	17.783	0	17.783
20	1.640	21.048	2.308	150	0	170	18.760	0	17.120
21	0	21.995	2.412	150	0	0	19.433	0	19.436
22	0	22.985	2.520	150	0	0	20.314	0	20.314
23	0	24.019	2.634	150	0	0	21.235	0	21.235
24	0	25.100	2.752	150	0	0	22.197	0	22.197
25	4.027	26.230	2.876	150	0	536	23.739	0	19.712
Total									**348.017**
Valor Presente Neto VPN									**70.908**
TIR									**241%**
Margen de rentabilidad del proyecto (TIR-TIO)									**227%**
Beneficio									**85.162**
Costo									**14.252**
Relación Beneficio/Costo									**5,98**

Nota. Representación tabulada del flujo de caja y sus variables que describen los indicadores económicos y desempeño del proyecto

Es importante tener claridad y mencionar que la inversión para el proyecto, al no ser un monto tan elevado, se realizará con recursos propios, por tal razón no hubo necesidad de estimar amortizaciones para calcular el valor de las cuotas a pagar según los intereses. Asimismo, se asumió el valor de impuestos como USD$ 0, debido a que los impuestos en este proyecto serian prácticamente nulos, fundamentados incluso en el hecho de que los entes gubernamentales colombianos incentivan mediante deducción de impuestos al uso de las energías renovables o al

uso de las fuentes de energía no convencionales, según lo dispuesto en la Ley 1715 de 2014. Por la cual se establece lo siguiente, como fomento a la investigación, desarrollo e inversión en el ámbito de la producción y utilización de energía a partir de FNCE, la gestión eficiente de la energía, los obligados a declarar renta que realicen directamente inversiones en este sentido, tendrán derecho a reducir anualmente de su renta, por los 5 años siguientes al año gravable en que hayan realizado la inversión, el cincuenta por ciento (50%) del valor total de la inversión realizada. El valor a deducir por este concepto, en ningún caso podrá ser superior al 50% de la renta líquida de la contribuyente determinada antes de restar el valor de la inversión. (Ley 1715, 2014, Articulo 11).

Para generar el flujo de caja del proyecto, se tuvieron en cuenta aspectos relevantes como los siguientes: se realiza la inversión inicial y a medida que avanzan los años se estima la depreciación anual de los activos fijos obtenidos, para los cuales al final de la vida útil se recupera el debido valor de salvamento y se vuelve a incurrir de nuevo en la inversión del mismo activo para el que ya finalizo la vida útil, su compra para el respectivo año se estimó con el incremento del IPC, como es posible apreciar en la ***Tabla 10***, se observan inversiones en el periodo inicial, el año 16, 20 y 25, donde en el último se realiza nuevamente la inversión en paneles, suponiendo que el proyecto será continuo.

En cuanto a los egresos, son los costos de mantenimiento de los paneles solares, los mismos relacionados en la ***Tabla 7*** pero reportados por un periodo contable anual, respecto a los ingresos, estos son los costos de generación de energía por generador Diesel, donde la utilidad neta representaría el ahorro por generación de energía con combustible. Considerando los parámetros y supuestos de los anteriores párrafos, finalmente es posible determinar los indicadores económicos que definen la viabilidad y rentabilidad del proyecto, dando uso a una Tasa de Interés de Oportunidad (TIO) equivalente al 14%.

El principal indicador económico que se determino fue el Valor Presente Neto (VPN) o Valor Actual Neto (VAN), índice que nos permite traer utilidades netas futuras para evaluarlas en el presente.

De acuerdo con lo que se define del VPN, el Valor Presente Neto (VPN), es la diferencia entre PVCI que es el valor presente de los flujos de entrada de efectivo y PVCO, que es el valor presente de los flujos de salida de efectivo. (R.W Johnson y R.W. Melicher, 2000, p. 325).

Un resultado de USD$ 70.908 para el Valor Presente Neto, es positivo para el proyecto, pues demuestra que se supera la rentabilidad mínima que se esperaba teniendo en cuenta la Tasa de Interés de Oportunidad, indica que el proyecto va a generar valor y por lo tanto es viable para generar la inversión por el número estimado. Esta viabilidad del proyecto no solo se fundamenta en el cálculo y valor obtenido del VPN, también se calcularon indicadores como la Tasa Interna de Retorno y con esta el margen de rentabilidad del proyecto para reafirmar esta viabilidad, obteniendo valores tentadores para la inversión de 241% y 227% respectivamente.

7. CONCLUSIONES

1. Como se mencionó anteriormente uno de los factores mas influyentes y determinantes en la operación de una fotocelda es la radiación, y por tal, también lo es el clima de la región donde se lleve a cabo la instalación de los dispositivos, por lo cual, el análisis regional concluye que las zonas potenciales para llevar a cabo el suministro energético solar que abastezca los cargaderos, radican principalmente en el noroccidente del país, siendo el área mas optima en el departamento del Meta, y la zona nororiental donde predomina el departamento de Bolívar como región potencial, sin embargo se debe tener en cuenta que dicha región a seleccionar debe tener una ubicación estratégica de movilizaciones para despachos de crudos, por tal motivo se seleccionó la ciudad de Cartagena que cumple con los niveles de radiación promedio/mes para el óptimo funcionamiento de las fotoceldas y adicionalmente tener diferentes rutas tanto marítimas como terrestres para realizar los despachos.

2. Al analizar la unidad de control y potencia de un cargadero de carrotanque y calcular la cantidad de paneles solares que se necesitan para su funcionamiento, se concluye que solo se puede alimentar la unidad de control con los paneles, en caso de que se quiera también alimentar la unidad de potencia, se necesitaría un área superficial mucho más grande que simplemente el techo de dicho sistema.

3. Se evidencia la viabilidad del proyecto mediante el análisis financiero por medio del cálculo de indicadores económicos, se obtienen excelentes valores de VPN, TIR, margen de rentabilidad y relación beneficio costo, los cuales reafirman la viabilidad del proyecto, donde para este último indicador se obtuvo un valor equivalente de beneficio de 5,8 partes, respecto al costo. La inversión inicial del proyecto de implementación de paneles solares según este análisis se recuperará en el quinto mes, lo que representa grandes rubros de ahorro reemplazando la generación de energía por combustible por la captación por energía solar. El valor de VPN equivalente a USD$ 70.908 permite inferir que el dinero invertido renta a una tasa superior a la Tasa de Interés de Oportunidad (TIO) y demuestra que el valor de la empresa incrementará al equivalente de ese valor.

BIBLIOGRAFIA

Enercon. (2018). *Product overview. https://acortar.link/glKPZ2*

Enercon. (2018). *Enercon wind turbines. https://acortar.link/glKPZ2*

Energía Solar Térmica - Campus Sostenible. (2021). Www.um.es. https://www.um.es/web/campussostenible/ambiental/energia/energias-renovables/energia-solar-termica

Ingeniería Mecánica. (2018). *Planta Termo solar con Tecnología de Torre*. https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn134.html

Johnson, Robert W., Melicher, Ronald W. (2000). Administración financiera. CECSA Colaboradores de los proyectos Wikimedia. (2003, 12 de agosto). *tecnología para aprovechar la energía solar como energía térmica*. Wikipedia.org; Wikimedia Foundation, Inc. https://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_solar_t%C3%A9rmica

Juan Daniel Carvajal Fonseca & Victoria Andrea Leal Saavedra. (2016). Diseño y propuesta de la implementación de un sistema de llenado para carrotanques en el campo el difícil. (trabajo de grado). Universidad Santo Tomas. Repositorio institucional. https://hdl.handle.net/11634/2375

Lecciones sobre Medidores de Flujo de Desplazamiento Positivo. (2017, 10 de febrero). https://es.omega.com/technical-learning/medidor-de-flujo-de-desplazamiento-positivo.html

Ley 1715 de 2014. Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional. 13 de mayo de 2014. D.O. No. 49150.

Mrwatt (2017) Como Funciona una Celda Solar :https://www.mrwatt.eu/es/content/come-funziona-una-cella-solare.

Nota Tecnológica. (2017). Importancia de las fotoceldas, tipos, uso y más. https://notatecnologica.com/dispositivos/fotoceldas/

Oriol Planas. (2015, 2 de septiembre). *Panel fotovoltaico. Tipos, diseño, y características*. Solar-Energia.net https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/elementos/panel-fotovoltaico