



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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL AHORRO DE ENERGÍA AL REEMPLAZAR EL USO  
DE COMBUSTIBLE FÓSIL POR TECNOLOGÍA SOLAR EN EL USO DE COMPRESORES DE  
AIRE EN LAS OPERACIONES DE MANTENIMIENTO DE POZOS PETROLEROS DEL  
CAMPO XAN, SAN ANDRÉS PETÉN, GUATEMALA**

**Luiguy Darren Cabrera Cano**

Asesorado por el MSc. Ing. Anibal Armando Alvarado Racancoj

Guatemala, agosto de 2020

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL AHORRO DE ENERGÍA AL REEMPLAZAR EL USO DE COMBUSTIBLE FÓSIL POR TECNOLOGÍA SOLAR EN EL USO DE COMPRESORES DE AIRE EN LAS OPERACIONES DE MANTENIMIENTO DE POZOS PETROLEROS DEL CAMPO XAN, SAN ANDRÉS PETÉN, GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**LUIGUY DARREN CABRERA CANO**  
ASESORADO POR EL MSC. ING. ANIBAL ARMANDO ALVARADO  
RACANCOJ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO INDUSTRIAL**

GUATEMALA, AGOSTO DE 2020

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Christian Moisés de la Cruz Leal
VOCAL V	Br. Kevin Armando Cruz Lorente
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. César Augusto Akú Castillo
EXAMINADORA	Inga. Karla María Lucas Guzmán
EXAMINADOR	Ing. Erwin Danilo González Trejo
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL AHORRO DE ENERGÍA AL REEMPLAZAR EL USO DE COMBUSTIBLE FÓSIL POR TECNOLOGÍA SOLAR EN EL USO DE COMPRESORES DE AIRE EN LAS OPERACIONES DE MANTENIMIENTO DE POZOS PETROLEROS DEL CAMPO XAN, SAN ANDRÉS PETÉN, GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 17 de febrero de 2020.

**Luiguy Darren Cabrera Cano**

Ref. EEPFI-564-2020  
Guatemala, 25 de mayo de 2020

Director  
César Ernesto Urquizú Rodas  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial  
Presente.

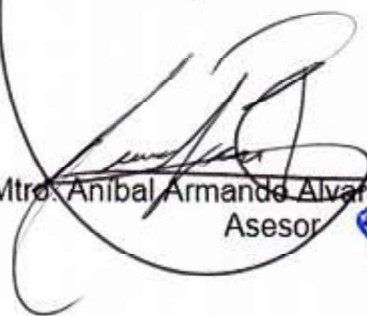
Estimado Ing. Urquizú:

Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN: AHORRO DE ENERGÍA AL REEMPLAZAR EL USO DE COMBUSTIBLE FÓSIL POR TECNOLOGÍA SOLAR EN EL USO DE COMPRESORES DE AIRE EN LAS OPERACIONES DE MANTENIMIENTO DE POZOS PETROLEROS DEL CAMPO XAN, SAN ANDRÉS PETÉN, GUATEMALA**, presentado por el estudiante **Luiguy Darreen Cabrera Cano** carné número **8918846**, quien optó por la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría en Artes en Energía y Ambiente.


Y habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Décimo, Inciso 10.2 del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Atentamente,

*"Id y Enseñad a Todos"*

  
Mtro. Anibal Armando Alvarado Bacanco  
Asesor



  
Mtro. Juan Carlos Fuentes Montepeque  
Coordinador de Área  
Desarrollo Socio-Ambiental y Energético



  
Mtro. Edgar Darío Álvarez Cotí  
Director  
Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería






*EEP-EIMI-047-2020*

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador y Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, del Diseño de Investigación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **AHORRO DE ENERGÍA AL REEMPLAZAR EL USO DE COMBUSTIBLE FÓSIL POR TECNOLOGÍA SOLAR EN EL USO DE COMPRESORES DE AIRE EN LAS OPERACIONES DE MANTENIMIENTO DE POZOS PETROLEROS DEL CAMPO XAN, SAN ANDRÉS PETÉN, GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario Luiguy Darreen Cabrera Cano, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería en esta modalidad.

ID Y ENSEÑADA TODOS

  
Ing. César Ernesto Urquizú Rodas  
Director

Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, junio de 2020





**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Decanato  
Facultad de Ingeniería  
24189101 - 24189102

DTG. 179.2020.

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL AHORRO DE ENERGÍA AL REEMPLAZAR EL USO DE COMBUSTIBLE FÓSIL POR TECNOLOGÍA SOLAR EN EL USO DE COMPRESORES DE AIRE EN LAS OPERACIONES DE MANTENIMIENTO DE POZOS PETROLEROS DEL CAMPO XAN, SAN ANDRÉS PETÉN, GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario: **Luigy Darren Cabrera Cano**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

  
Inga. Anabela Cordova Estrada  
Decana



Guatemala, agosto de 2020

## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por haberme permitido realizar una más de mis metas.
<b>Mis padres</b>	Por el ejemplo y especialmente mi madre Blanca Cano (q. e. p. d.) por el incansable esfuerzo hacia sus hijos.
<b>Mis hermanas</b>	Bianky y Rocío Cabrera Cano, por su apoyo y compañía durante mi vida.
<b>Mi abuelo</b>	Alfredo Cano (q. e. p. d.), por sus sabias enseñanzas y consejos durante toda mi vida.
<b>Mi esposa e hijos</b>	Por el amor y apoyo incondicional.



## AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San  
Carlos de Guatemala**

Por ser la *alma mater* que me permitió nutrirme de conocimientos.

**Facultad de Ingeniería**

Por proporcionarme los conocimientos que me han permitido realizar este trabajo de graduación.

**Perenco Guatemala**

Por haberme brindado la información necesaria para realizar este diseño de investigación.

**Mi asesor**

Msc. Ing. Anibal Armando Alvarado Racancoj, por haberme guiado durante el trabajo de graduación.

**Familia**

Porque siempre me han apoyado en todas las etapas de mi vida.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	VII
GLOSARIO .....	IX
RESUMEN.....	XIII
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. ANTECEDENTES .....	5
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	9
3.1. Contexto general .....	9
3.2. Descripción general.....	9
3.3. Delimitación del problema .....	9
3.4. Pregunta principal.....	9
4. JUSTIFICACIÓN .....	11
5. OBJETIVOS .....	13
5.1. General.....	13
5.2. Específicos .....	13
6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN.....	15
7. MARCO TEÓRICO.....	17
7.1. Energías .....	17

7.1.1.	Evolución e historia de la energía .....	18
7.1.2.	Clasificación de las fuentes de energía .....	20
7.1.3.	¿El actual modelo energético es sostenible? .....	21
7.1.4.	Agotamiento en las reservas de combustibles .....	22
7.1.5.	Efecto invernadero .....	23
7.1.6.	Energía eólica .....	26
7.1.7.	Energía solar .....	26
7.1.8.	Energía hídrica .....	27
7.1.9.	Biomasa .....	27
7.2.	Aire comprimido .....	27
7.3.	Combustibles fósiles .....	28
7.3.1.	Exploración.....	29
7.3.2.	Perforación .....	29
7.3.3.	Producción .....	29
7.3.4.	Transporte .....	29
7.3.5.	Refinación .....	30
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	33
9.	METODOLOGÍA .....	35
9.1.	Tipo de estudio.....	35
9.2.	Fases del estudio .....	36
9.2.1.	Fase 1: estudio aplicado sobre el desarrollo de tecnologías solares y recursos renovables.....	37
9.2.2.	Fase 2: disponibilidad de energía.....	38
9.2.3.	Fase 3: costos .....	38
9.2.4.	Fase 4: guía mecánica práctica.....	39
9.2.5.	Fase 5: interpretación de resultados .....	39
9.2.6.	Diseño de la investigación.....	39

10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN .....	43
11.	CRONOGRAMA.....	47
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO .....	49
13.	REFERENCIAS .....	51



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Esquema de solución.....	16
2.	Producción de petróleo y gases líquidos.....	23
3.	Efecto invernadero .....	24
4.	Cronograma de actividades .....	47

### TABLAS

I.	Clasificación de las energías según su utilización .....	21
II.	Operacionalización de variables .....	40
III.	Recursos necesarios para la investigación .....	49





## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
°C	Grados centígrados
I+D	Investigación y desarrollo
Kg	Kilogramo
<i>Mt</i> <sup>2</sup>	Metros cuadrados
Onz	Onzas
%	Porcentaje
Q	Quetzal, moneda guatemalteca
°T	Temperatura



## GLOSARIO

<b>Aceptabilidad</b>	Actitud hacia un producto expresada por un consumidor. Frecuentemente indica el uso real del producto.
<b>Arbitrario</b>	Basado en un juicio individual o personal.
<b>Atributo</b>	Una característica percibida, cualidad distintiva, aspecto de un producto.
<b>Boleta</b>	Formulario utilizado por los panelistas para anotar puntajes, decisiones y comentarios respecto a las muestras. Usualmente incluye instrucciones para los panelistas, relacionadas con el tipo de prueba a realizarse.
<b>Calidad</b>	Grado de excelencia.
<b>Característica</b>	Propiedades de olor, textura y apariencia en un producto.
<b>Categoría</b>	Una división definida en un sistema de clasificación.
<b>Clasificar</b>	Ordenar en categorías predeterminadas.

<b>Codificar</b>	Asignar símbolos, usualmente, números aleatorios de 3 dígitos.
<b>Confiabilidad</b>	Grado en que una característica puede ser medida consistentemente en repetidas ocasiones.
<b>Confiable</b>	Medir lo que el experimentador espera medir. Es seguro.
<b>Conservador</b>	Moderado o cauteloso.
<b>Consistencia</b>	Acuerdo o armonía entre las partes, uniformidad.
<b>Consumidor</b>	Individuo que obtiene o usa un bien.
<b>Control escondido</b>	Muestra de referencia cuya identificación es conocida únicamente por el investigador. Es codificada y presentada con las muestras experimentales.
<b>Definición</b>	Enunciado del significado de una palabra, frase o término. Es el acto de hacer claro o distintivo.
<b>Estadística</b>	Las matemáticas de la colección, organización e interpretación de datos numéricos, particularmente el análisis de características de población por inferencia de una muestra.
<b>Estandarizar</b>	Adaptar a una norma, patrón, tipo o modelo.

**Hipótesis**

Una expresión de las suposiciones de un investigador concerniente al resultado de su investigación, que está sujeta a verificación o prueba. Puede ser derivada de una teoría, también estar basada en observaciones pasadas o meramente un presentimiento.



## RESUMEN

El uso de la energía solar cada día va en incremento aprovechándola en diferentes actividades, tales como ambientes domésticos e industriales

El consumo de combustibles fósiles ha sido utilizado en la industria por la facilidad y costo inicial de equipos, también por la disponibilidad de dicho combustible, lo cual permite que las operaciones sean continuas.

El diseño de investigación busca la viabilidad en el cambio de tecnología de las operaciones de mantenimiento de pozos, para demostrar que la energía solar puede llegar a sustituir el consumo de combustibles fósiles, ya sea de forma parcial o total, con el fin de reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>.





# 1. INTRODUCCIÓN

El informe de protocolo de tesis es el resultado del proceso de la maestría en Energía y Ambiente. Se llevó a cabo en la Universidad de San Carlos de Guatemala, durante los años 2013 y 2014. Se tuvo como resultado el proyecto denominado Ahorro de energía al reemplazar el uso de combustible fósil por tecnología solar en el uso de compresores de aire en las operaciones de mantenimiento de pozos petroleros del Campo Xan, San Andrés Petén, Guatemala.

El abastecimiento de combustibles derivados del petróleo y el fluido energético de potencia en lugares aislados ejemplifican los yacimientos principales y productores en el campo petrolero Xan, quienes, en el transcurso del tiempo, han afrontado el problema debido a varios factores. Básicamente se podrán resumir a una limitada capacidad de distribución. Es por ello que se presenta una alternativa para lograr satisfacer la demanda de energía, que sea posible desde el punto de vista económico, técnico y ambiental. Surge, entonces, la provisión a través de la radiación solar.

La finalidad de este trabajo es presentar una alternativa para el suministro de aire de instrumentación, el cual es de mucha importancia para las operaciones de mantenimiento y reparación de pozos productores, debido a que la mayoría de válvulas son accionadas por aire. Dicha alternativa está basada, principalmente, en la utilización de energías renovables, como el recurso solar disponible. Se determinará la radiación solar global en los diferentes horarios sobre la región. Se estimarán sus costos y la comparación

con distintas variantes o alternativas indicando las ventajas y desventajas técnicas y económicas para cada caso.

Para realizar las actividades de mantenimiento en los pozos productores de petróleo e inyectores de agua se utilizan varios tipos de motores de combustión interna, los cuales consumen energía generada por combustibles fósiles, que producen gases de efecto invernadero. Surge la necesidad de evaluar las diferentes formas de aprovechar la energía solar para accionar compresores de aire que actualmente utilizan motores de combustión con el fin de mejorar la eficiencia, el consumo de energía y la reducción de emisiones.

Durante las operaciones de mantenimiento en los pozos petroleros existe un elevado consumo de combustibles (diésel); la combustión de estos genera emisiones de CO<sub>2</sub>, por lo que se pretende hacer eficiente el uso de la energía que se utilizará para el funcionamiento de compresores de aire industrial, en las operaciones de mantenimiento de pozos productores e inyectores, específicamente.

En la etapa de alcances se describirá el lugar en el cual se realizará la evaluación, a quienes les será de utilidad, las técnicas instrumentales que se utilizarán para las mediciones climatológicas y qué tipos de tecnologías son las que se analizarán.

En la justificación se hace mención de la importancia del estudio, debido a que, si los resultados muestran que es funcional realizar el cambio de fuente de energía, esto favorecería a la sustitución en otros equipos que sean alimentados por motores de combustión interna. Los objetivos del estudio están orientados a reducir el impacto ambiental, reducir el uso de combustibles

fósiles, implementar el uso de energía solar en compresores de aire durante operaciones de mantenimiento de pozos petroleros.

En el marco teórico se abordarán los conceptos de energía solar y sus aplicaciones, así como la utilidad del aire en los equipos de mantenimiento. Adicionalmente, se hará referencia a distintos componentes que son necesarios para el desarrollo de la tecnología solar aplicada en los equipos de mantenimiento de pozos petroleros.

La metodología que se utilizará para obtener la información necesaria, para análisis y evaluación de resultados, se basa en realizar mediciones directas de consumo de combustibles, cálculo de emisiones, medición de intensidad solar y análisis históricos de monitoreo ambiental.

Los cálculos de las emisiones de CO<sub>2</sub> se realizarán con base en el balance de masas, ya que se determinarán todos los flujos de entradas y salidas. Las técnicas de análisis de información serán aplicadas con base en los conocimientos adquiridos en la maestría de Energía y Ambiente, ya que se pueden aplicar técnicas estadísticas para evaluación de resultados, así como el monitoreo de estaciones meteorológicas para analizar las tendencias que son de suma importancia en el estudio.

La realización del estudio es factible, debido a que se cuenta con todos los medios necesarios para realizarlo y adquirir datos verídicos. Estos determinarán la factibilidad de realizar o no el cambio de tecnología. En el desarrollo del estudio se evaluará la radiación solar en tres pozos, con el fin de tener una muestra representativa en el área evaluada, lo cual será de suma importancia para identificar si es posible realizar el cambio de tecnología a energía solar.



## 2. ANTECEDENTES

Con el incremento en la demanda debido al consumo de energía en el mundo completamente industrializado aumenta segmentadamente el consumo de productos fósiles y sus derivados. Es parte inicial donde radica la necesidad de idear en recurrir a la ciencia y la creatividad para tener la capacidad de diseñar un modelo sostenible y de bajo impacto, para satisfacer una demanda conocida de potencia con el uso de energías renovables.

El fomento del uso de las energías renovables y la aplicación de medidas de eficiencia energética son la mejor manera de reducir el daño provocado al planeta. Esto no solo es de aplicación importante en la vida cotidiana, sino también en la industria y en los negocios. La eficiencia energética en la industria a conseguir no solo conduce a una mejora del medio ambiente, sino también incrementar la rentabilidad de una empresa. Se puede conseguir a través de reducciones en costes de energía y, en general, en aumentos en la eficiencia del proceso. (IUSES, 2010, p. 5)

Debido a que los combustibles fósiles están poco a poco disminuyendo y, además, producen gases de efecto invernadero durante la combustión. Se plantea aprovechar la energía del sol, ya que se traslada en forma de ondas electromagnéticas que se desplazan en el vacío a una velocidad de 300,000 Km/s, tardando en llegar a la tierra unos 8 segundos. “Para el año 2030 el mundo consumirá 60 % más energía que la que consume hoy, pero mientras la demanda de energía aumenta, el suministro de combustible no” (IUSES, 2010, p. 15).

“En la actualidad los motores de combustión externa cobraron interés debido a sus ventajas frente a la escasez de fuentes energéticas no renovables” (Econoticias, 2011, p. 01). Una de las aplicaciones más llamativas de la energía solar es su conversión directa en fuerza motriz, por sistemas termodinámicos, en vez de fotoeléctricos. De acuerdo a lo que describe Castilleja (2008) el grupo concentrador/Stirling cuenta con una alta eficiencia, escalabilidad, funcionamiento autónomo y, además, es híbrido. Todos los grupos concentradores/Stirling han demostrado alta eficiencia de conversión de energía solar a energía eléctrica, aproximadamente un 30,6 %; potencialmente, en el futuro sea la fuente más económica de energía renovable. Es una máquina termodinámica muy buena que ha sido perfeccionada hasta alcanzar rendimientos energéticos del 50 al 60 % muy superiores al motor diésel.

El sol puede proporcionar gran cantidad de energía. En diversos artículos publicados se ha afirmado que si se pudiera captar la energía solar en la totalidad que se recibe, únicamente, un 4 % podría satisfacer todas las necesidades de energía.

La energía aún está dispersa, pero el colector solar puede concentrar para que se pueda obtener un calor utilizable. Según informes de la organización ecologista Greenpeace, muestra que en el año 2030, la energía solar fotovoltaica podría para satisfacer las necesidades de electricidad de casi el 14 % de la población mundial. (Teske, 2008, p. 9)

La energía solar se puede aprovechar a través de paneles fotovoltaicos, que consisten en una asociación de células encapsuladas en dos capas de EVA (etileno-vinilo-acetato), entre una lámina frontal de vidrio y una capa posterior de un polímero termoplástico (normalmente tedlar). Este conjunto es enmarcado en una estructura de aluminio con el objetivo de



aumentar la resistencia mecánica del conjunto y facilitar el anclaje del módulo a las estructuras de soporte. (Planas, 2016, p. 02)

Debido a que el funcionamiento de un sistema fotovoltaico supone la existencia de ciertas situaciones que pueden ser peligrosas para las personas o dañinas para los equipos. En términos generales, estas situaciones pueden ser analizadas con los conceptos y herramientas de uso común en la ingeniería. (Perpiñán, 2013, p. 125)

De acuerdo con González (2015):

Las células más comúnmente empleadas en los paneles fotovoltaicos son de silicio. Se puede dividir en tres subcategorías:

- Las células de silicio monocristalino están constituidas por un único cristal de silicio. Este tipo de células presenta un color azul oscuro uniforme.
- Las células de silicio policristalino (también llamado multicristalino) están constituidas por un conjunto de cristales de silicio. Su rendimiento es algo inferior al de las células monocristalinas. Se caracterizan por un color azul más intenso.
- Las células de silicio amorfo son menos eficientes que las células de silicio cristalino, pero también menos costoso. Este tipo de células es, por ejemplo, el que se emplea en aplicaciones solares como relojes o calculadoras.
- La calidad debe extenderse a todas las fases de las operaciones del grupo.

Comparando la fabricación de los paneles con los diferentes tipos de células, según su construcción, se conoce que:

Los rendimientos típicos de una célula fotovoltaica de silicio policristalino oscilan entre el 14 % a 20 %. Para células de silicio monocristalino, los valores oscilan entre 15 % a 21 %. Los más altos se consiguen con los colectores solares térmicos a baja temperatura (que puede alcanzar un 70 % de rendimiento en la transferencia de energía solar a térmica). (Cenergysolar, 2014, p. 01)

Sevilleja (2011) indica que se puede producir un ahorro energético, representado con la reducción del consumo de energía eléctrica mediante la racionalización del servicio o mediante la utilidad, sin restringir la eficiencia energética. Se podrá complementar con el ejemplo de ahorro energético en el sector industrial donde se propone la utilización de variadores de velocidad en los diferentes procesos productivos. Cuando un equipo industrial es accionado mediante el uso de un variador de velocidad, utilizará menos consumo de energía eléctrica a diferencia si el equipo fuese activado a una misma velocidad constante, ya que no podrá utilizar más energía eléctrica de la necesaria. Se regula la velocidad en función de las necesidades recurrentes o demandas inmediatas de la industria imparable. Productos como cintas transportadoras, bombas y compresores son ejemplos de ello.

### **3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **3.1. Contexto general**

En las operaciones de pozos (productores e inyectores) en el Campo Xan, al norte del Petén, se realizan intervenciones que se necesita contar con aire de instrumentación. Se utilizan compresores energizados por motores de combustión interna, los cuales son generadores de emisiones de CO<sub>2</sub>, las que colaboran a la generación del efecto invernadero. Además, el consumo de estos combustibles incrementa el costo operativo haciendo ineficiente la operación.

#### **3.2. Descripción general**

Debido al volumen constante en las operaciones y procesos repetitivos de reparación de los pozos se ve la necesidad de suplir el suministro de aire de instrumentación para la realización de dichas operaciones.

#### **3.3. Delimitación del problema**

Propuesta para el diseño de un sistema adaptable y eficiente en recursos renovables con la implementación de tecnología solar.

#### **3.4. Pregunta principal**

¿Es factible, eficiente y económicamente viable reemplazar la fuente de energía actual para alimentar los compresores de aire, utilizados actualmente en las operaciones de pozos petroleros del campo Xan por tecnología solar?



## 4. JUSTIFICACIÓN

Las operaciones dentro de la industria petrolera han sido autosuficientes, es decir, utilizan el combustible que producen. Debido a las restricciones ambientales y los cambios en la matriz energética es importante orientar el consumo a las energías renovables para colaborar en la reducción de gases de efecto invernadero; además, hacer más eficientes y económicos los procesos. En la industria petrolera se cuenta con equipos móviles que se utilizan para dar mantenimiento a los pozos, tanto productores como inyectores. Requieren del uso de compresores de aire energizados por motores de combustión interna.

Es importante realizar este estudio por si los resultados muestran que es funcional realizar el cambio de fuente de energía, esto favorecería a la sustitución en otros equipos, que sean alimentados por motores de combustión interna. De esta manera, se reduce el consumo de combustibles no renovables; se podría ir cambiando la matriz energética del país.

Las líneas de investigación en las que se aplica el trabajo serán:

- Energía renovable y no renovable
- Energía de origen no fósil
- Fundamentos de la industria petrolera y su gestión
- Producción y consumo de combustibles



## **5. OBJETIVOS**

### **5.1. General**

Evaluar según la demanda energética el factor de factibilidad técnica y económica de reemplazar la fuente de energía actual por tecnología solar para alimentar los compresores de aire utilizados en las operaciones de pozos petroleros del Campo Xan.

### **5.2. Específicos**

Evaluar la disponibilidad del recurso natural en el área con el fin de utilizarlo para generar energía eléctrica y alimentar los motores de compresores de aire. Impulsar el empleo, aprovechamiento y beneficios de la tecnología solar en el uso de compresores de aire en las operaciones de mantenimiento de pozos petroleros del Campo Xan.

Establecer el modelo estacionario de reducción del consumo de combustibles fósiles en las operaciones de mantenimiento de pozos petroleros del Campo Xan. Definir la metodología necesaria para lograr implementar el proceso de sustitución de tecnología actual por tecnología renovable.

Diseñar la guía técnica para concientizar sobre la importancia del uso de la tecnología solar en los compresores de aire en las operaciones de mantenimiento de pozos petroleros del Campo Xan.





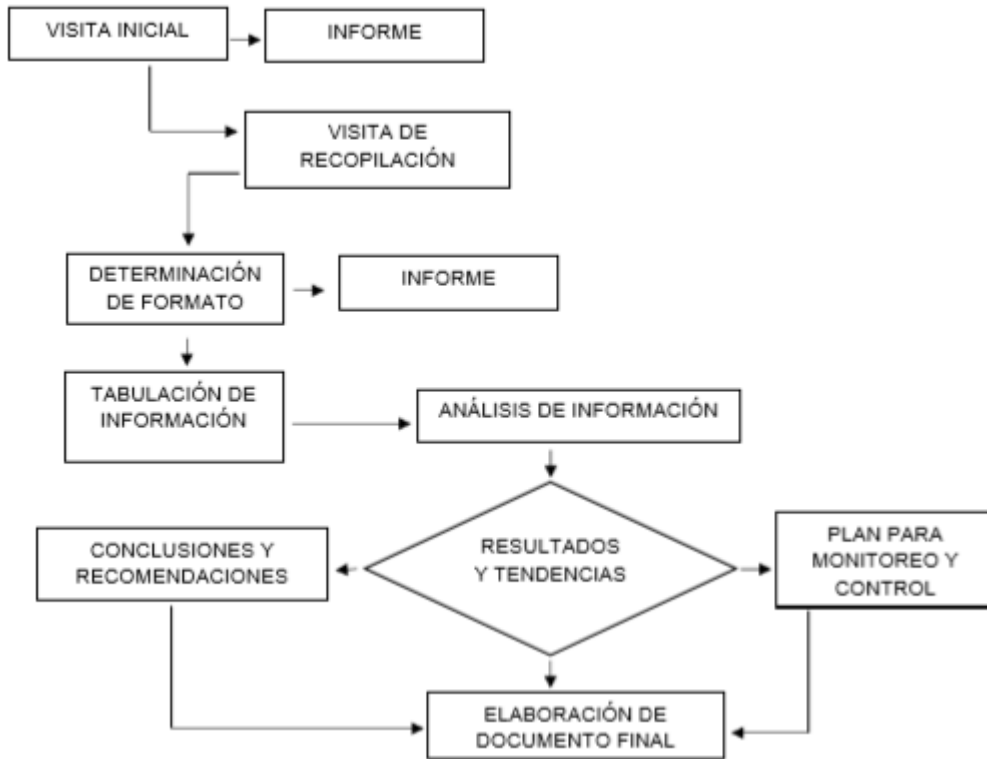
## **6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN**

Se pretende profundizar en los diferentes escenarios para lograr un ahorro energético, mejorando los sistemas de almacenamiento y distribución de aire a los diferentes equipos que se utilizan en el mantenimiento de pozos petroleros. También se analizarán los diferentes métodos de generación por energía solar, con el fin de sustituir los motores de combustión interna por motores que utilicen energía solar.

Los factores principales en la evaluación serán los siguientes:

- Generación de CO<sub>2</sub> por consumo del combustible fósil.
- Consumo energético que se quiere satisfacer.
- Grados de eficiencia que se pretenden alcanzar.
- Existencia de sistemas de apoyo o energías convencionales.
- Verificación de la necesidad o no de sistema de almacenamiento.
- Índices de radiación del lugar.
- Características y rendimientos de los equipos a ser alimentados.

Figura 1. **Esquema de solución**



Fuente: elaboración propia.

## 7. MARCO TEÓRICO

### 7.1. Energías

La energía es la capacidad que tienen los cuerpos para producir trabajo: trabajo mecánico, emisión de luz, generación de calor, entre otros. La energía puede manifestarse de distintas formas: gravitatoria, cinética, química, eléctrica, magnética, nuclear, radiante, entre otros. Existe la posibilidad de que se transformen entre sí, pero respetando siempre el principio de conservación de la energía. Prácticamente, toda la energía de que disponemos proviene del sol.

El sol produce el viento, la evaporación de las aguas superficiales, la formación de nubes, las lluvias, entre otros. Su calor y su luz son la base de numerosas reacciones químicas indispensables para el desarrollo de los vegetales y de los animales, cuyos restos, con el paso de los siglos, originaron los combustibles fósiles: carbón, petróleo y gas natural. (Schallenberg, *et al.*, 2008, p. 14)

Además, se puede encontrar las llamadas renovables como lo son las olas del mar, el agua de los ríos, el viento, incluso, el calor de la tierra.

Las hasta ahora conocidas como energías renovables son fuentes limpias e inagotables que adicionalmente son casi libres de daño al medio ambiente. Mientras, las no renovables pueden causar daño severo al medio ambiente y se agotan. La energía proveniente del sol es sin costo así como limpia, pero no es permanente ya que su fuerza se ve reducida en días con nubosidad. Una

desventaja, ya que para su transformación a energía eléctrica es necesaria la inversión de otra tecnología de costo elevado.

### **7.1.1. Evolución e historia de la energía**

Durante casi toda la historia de la humanidad, el hombre ha utilizado las energías renovables como fuente de energía; no es hasta después de la revolución industrial cuando se inicia la utilización generalizada de los combustibles fósiles.

Este último periodo, de unos 200 años, se ha caracterizado por un consumo creciente e intensivo de energía que prácticamente ha acabado con los combustibles fósiles. Con todo, representa un periodo muy pequeño en el conjunto de la historia de la humanidad, cuyo comienzo se puede cifrar hace unos 200,000 años (si se considera desde el hombre de Neandertal) o unos 40,000 años (si se considera desde el hombre de Cromañón).

El hombre de las cavernas era esencialmente carnívoro. La única energía de la que disponía era su propia fuerza muscular que utilizaba, fundamentalmente, para cazar alimentos. Con el descubrimiento del fuego el hombre primitivo pudo acceder, por primera vez, a algunos servicios energéticos como cocinar, calentar la caverna y endurecer las puntas de sus lanzas.

Hace unos 8,000 años el hombre comienza a explotar la tierra con fines agrícolas y ganaderos y aprende a domesticar animales de tiro, por lo que ya no tiene que valerse solo de su fuerza muscular. Cuando ni su propia fuerza muscular, con la ayuda de la de los animales, fue suficiente para satisfacer las crecientes demandas energéticas de las sociedades en expansión. Apareció la

esclavitud, con lo que pasó a utilizar la energía de muchos hombres al servicio de un número reducido de hombres libres.

Hace unos 2,000 años el hombre comienza a utilizar fuentes energéticas basadas en las fuerzas de la naturaleza, como es la del agua; hace unos 1000 años, la del viento. Aparecen así los molinos de agua, primero, y los de viento, después, que se utilizaron en sus orígenes para moler grano.

Hacia finales del siglo XVIII se produce un hecho trascendental: la invención de la máquina de vapor, un dispositivo que permitía convertir el calor en fuerza mecánica (se quema el carbón, produciéndose calor, que es utilizado para evaporar agua; el vapor a su vez se utiliza para accionar dispositivos mecánicos). Y con la máquina de vapor llegó la primera revolución industrial, que tuvo enormes repercusiones en el ámbito social y económico. Estas máquinas de vapor utilizaban carbón como fuente de combustible y representaron el comienzo de la era fósil, generalizando el consumo de los combustibles de origen fósil.

Casi un siglo después de las primeras máquinas de vapor empieza a introducirse una nueva forma de energía: la electricidad. Este hecho abrió a la humanidad nuevos horizontes. Ya no era necesario que el lugar del consumo de la energía fuese el mismo en el que se generaba y, además, esta forma de energía se podía transformar fácilmente en luz, en calor, en frío, en movimiento, en energía mecánica, entre otros, pero no es hasta finales del siglo XIX cuando empieza a introducirse en la vida cotidiana.

En la segunda mitad del siglo XIX aparecen los primeros motores de combustión interna y, con ellos, los automóviles, y en el último tercio de ese siglo se empiezan a emplear como combustible el petróleo y sus derivados. En

la primera mitad del siglo XX empieza a utilizarse el gas natural, y a partir de los años 50 se ponen en funcionamiento las primeras centrales nucleares.

Todo este intervalo de tiempo se ha caracterizado por la búsqueda por parte del hombre de nuevos artificios y combustibles que facilitasen su trabajo y mejorasen su nivel de vida, pero también por un crecimiento del consumo energético, al principio lentamente y en los últimos doscientos años de forma mucho más rápida, coincidiendo con un aumento del nivel de vida de los denominados países desarrollados. Problemas derivados de este cambio de modelo energético han sido el incremento de la contaminación, el aumento de las desigualdades sociales y el aumento de las diferencias entre los países pobres y ricos. (Schallenberg, *et al.*, 2008, pp. 14-16)

### **7.1.2. Clasificación de las fuentes de energía**

Las fuentes de energía pueden clasificarse, atendiendo a su disponibilidad, en renovables y no renovables. Las energías renovables son aquellas cuyo potencial es inagotable, ya que provienen de la energía que llega a nuestro planeta de forma continua, como consecuencia de la radiación solar o de la atracción gravitatoria de la luna. Son fundamentalmente la energía hidráulica, solar, eólica, biomasa, geotérmica y las marinas.

Las energías no renovables son aquellas que existen en la naturaleza en una cantidad limitada. No se renuevan a corto plazo y por eso se agotan cuando se utilizan. La demanda mundial de energía en la actualidad se satisface fundamentalmente con este tipo de fuentes energéticas: el carbón, el petróleo, el gas natural y el uranio. (Schallenberg, *et al.*, 2008, pp. 16-17).

Tabla I. **Clasificación de las energías según su utilización**

<b>Energía primaria</b>	Es obtenida de fuentes directas de la naturaleza que poseen una especie de almacenamiento de energía disponible. Entre ellos, uranio, gas natural y petróleo.
<b>Energía secundaria</b>	Es obtenida transformaciones o alteraciones de la energía primaria. Entre ellos, la gasolina, diésel y electricidad. Esta también se le conoce como energía final.
<b>Energía útil</b>	Relacionada directamente al consumidor después de su última conversión. Entre otras la iluminación por medio de bombillas y procesadas por motor. Cabe considerar que algunas energías primarias no pasan por el proceso de energía secundaria y van directo a energía útil.

Fuente: elaboración propia.

### 7.1.3. ¿El actual modelo energético es sostenible?

El desarrollo sostenible ha sido definido por la Comisión Mundial para el medioambiente y el desarrollo de la ONU como “aquel desarrollo que satisface las necesidades del presente sin poner en peligro la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades” (Schallenberg, *et al.*, 2008, p.20). Esta opción se basa en la idea de que es posible conservar el capital natural y cultural de un territorio sin comprometer su desarrollo presente y futuro.

De acuerdo con Schallenberg, *et al.* (2008), el mantenimiento del sistema energético actual durante un plazo de tiempo de una o dos generaciones es, simplemente, insostenible porque:

- Se presenta un agotamiento en las reservas de combustibles.

- Contribuye exponencialmente al efecto invernadero.
- Contribuye al incremento de lluvia ácida.
- Contribuye a la deforestación.
- Origina riesgos para la paz mundial.

#### **7.1.4. Agotamiento en las reservas de combustibles**

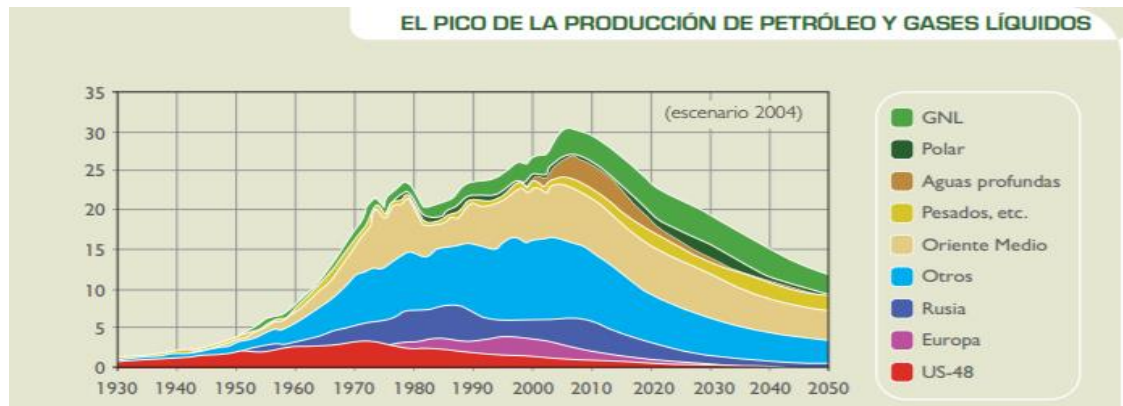
El sistema energético actual está fundamentalmente basado en los combustibles fósiles. El ritmo de consumo es tal que en un año la humanidad consume lo que la naturaleza tarda un millón de años en producir, por lo que el posible agotamiento de las reservas existentes es una realidad que no admite discusión. La posibilidad de agotamiento del petróleo y del gas natural será una realidad en el plazo de 1 o 2 generaciones.

Las reservas de carbón son menos limitadas (y menos aún si se incluyen los carbones de muy mala calidad). Sin embargo, este combustible es altamente contaminante, de forma que su utilización estará condicionada al desarrollo de tecnologías más limpias para la quema del carbón.

“Mucho antes del agotamiento de los recursos convencionales se están produciendo tensiones en los precios del petróleo, ante la falta de capacidad mundial de mantener el ritmo de crecimiento de la producción que sería necesario para satisfacer la demanda” (Schallenberg, *et al.*, 2008, p. 20).



Figura 2. **Producción de petróleo y gases líquidos**



Fuente: Campbell, (2002). *Association for the Study of the Peak Oil & Gas.*

### 7.1.5. Efecto invernadero

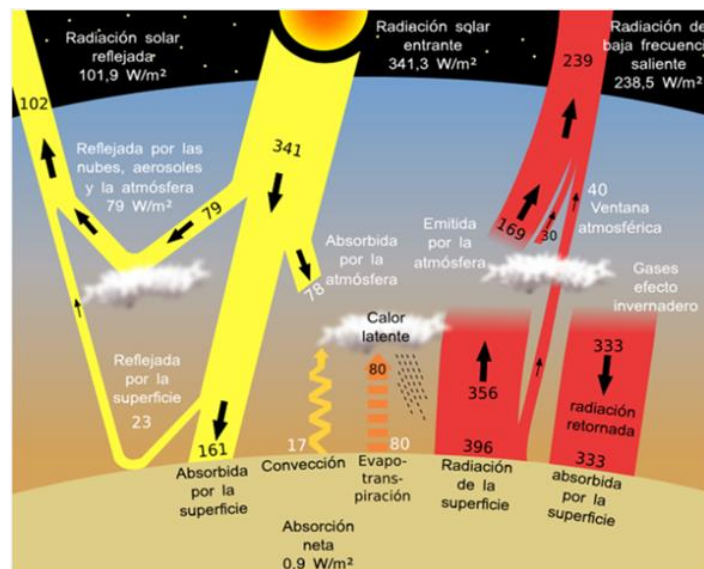
Sin nuestra atmósfera, la temperatura media de la Tierra sería de unos  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$  y no los  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$  actuales. Toda la luz solar que recibimos alcanzaría la superficie terrestre y simplemente volvería, sin encontrar ningún obstáculo, al vacío. La atmósfera aumenta la temperatura del globo terrestre unos  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$  y permite la existencia de océanos y criaturas vivas como nosotros. Gracias a nuestra atmósfera, solo una fracción de ese calor vuelve directamente al espacio exterior.

El resto queda retenido en las capas inferiores de la atmósfera, que contienen gases –vapor de agua,  $\text{CO}_2$ , metano y otros– que absorben los rayos infrarrojos emitidos. A medida que estos gases se calientan, parte de su calor vuelve a la superficie terrestre. Todos ellos actúan como una gran manta que impiden que salga el calor. Todo este proceso recibe el nombre de efecto invernadero.

La energía solar llega a la tierra en forma de radiación de longitud de onda corta (radiación ultravioleta), al tomar contacto con el suelo se refleja una parte, siendo el resto absorbido por este. La radiación absorbida vuelve a la atmósfera en forma de calor, que es una radiación de longitud de onda larga (radiación infrarroja).

Al viajar hacia la atmósfera se encuentra con los mismos gases, que, si bien antes dejaban pasar libremente a las radiaciones de onda corta, actúan de freno a las de onda larga, devolviéndola otra vez a la Tierra, evitando que la energía escape hacia el exterior y calentando más el resto del planeta. Cuanto mayor sea la concentración de esos gases, mayor es la energía devuelta hacia el suelo y, por tanto, mayor el calentamiento de las superficies. (Schallenberg, *et al.*, 2008, p. 20-21).

Figura 3. Efecto invernadero



Fuente: Trenberth, (2008). *Balance anual de energía de la Tierra*. Recuperado de [http://www.ciifen.org/index.php?option=com\\_content&view=category&layout=blog](http://www.ciifen.org/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog).

En los últimos decenios, se ha producido en la atmósfera un sensible incremento de CO<sub>2</sub> y de otros gases de efecto invernadero. Según estudios realizados por el IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre cambio climático reunido por la ONU) alrededor de tres cuartas partes de las emisiones de CO<sub>2</sub> antropogénicas (producidas por la actividad humana) que se han producido en los últimos 20 años se deben a la quema de combustibles fósiles. El resto se debe, sobre todo, a la deforestación.

En la actualidad, los océanos y los suelos están absorbiendo aproximadamente la mitad de estas emisiones; a pesar de lo cual las concentraciones atmosféricas de CO<sub>2</sub> se han incrementado un 31 % desde 1750 al año 2000, y han pasado de 280 partes por millón (ppm) a casi 370 ppm en el año 2000. Entre algunas de las consecuencias más palpables del cambio climático se encuentra el deshielo de parte de los casquetes polares, lo cual provocaría un ascenso del nivel del mar, generando innumerables catástrofes en todo el mundo debido a la inundación de amplias zonas costeras con el consiguiente coste humano y económico. Además del aumento de las sequías y la pérdida de muchos ecosistemas que no podrían adaptarse a un cambio tan rápido. Otra de las consecuencias sería la salinización del agua dulce de los acuíferos al penetrar el mar tierra adentro.

Hay que tener en cuenta que las islas Canarias, como región costera, sufriría de forma directa estos efectos. Por todo ello, el Protocolo de Kyoto tiene como objetivo disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero, fijando una reducción del 8 % de estos gases para el 2012, con respecto al nivel de emisión de 1990. Aunque las reservas de combustibles fuesen eternas (que no lo son), al planeta Tierra no sería capaz de absorber las emisiones de CO<sub>2</sub> que se desprenderían de su

quema, por lo menos no sin terminar con la vida tal y como la conocemos. (Schallenberg, *et al.*, 2008, pp. 21-22)

#### **7.1.6. Energía eólica**

“Fuerza del viento que se utiliza para generar electricidad. El principal medio para obtenerla son los aerogeneradores molinos de viento de tamaño variable que transforman con aspas la energía cinética del viento en energía mecánica” (Manrique, 2017, p. 6).

#### **7.1.7. Energía solar**

Es una fuente de energía renovable que se obtiene del sol y con la que se pueden generar calor y electricidad. Existen varias maneras de recolectar y aprovechar los rayos del sol para generar energía que dan lugar a los distintos tipos de energía solar: la fotovoltaica (que transforma los rayos en electricidad mediante el uso de paneles solares), la fototérmica (que aprovecha el calor a través de los colectores solares) y termoeléctrica (transforma el calor en energía eléctrica de forma indirecta). (Manrique, 2017, p. 7)

La energía solar fotovoltaica como tal, tiene su origen en estudios e investigaciones sobre el efecto fotoeléctrico. Se dice que éste es instantáneo, ya que la radiación aparece sin retraso sensible; dado que el número de fotoelectrones emitidos, es decir, la intensidad de la corriente producida, es proporcional a la radiación recibida; la velocidad de la emisión no influye en absoluto la intensidad luminosa, ni su estado de polarización, pero sí su frecuencia o longitud de onda; y para cada metal

existe una frecuencia mínima de la radiación luminosa por debajo de la cual no se presenta el efecto fotoeléctrico. (Miranda, 2016, p. 25)

#### **7.1.8. Energía hídrica**

Aprovecha la caída de agua desde una cierta altura para generar energía eléctrica. Esta aprovecha la energía cinética de una corriente o salto de agua natural. Para utilizar esta energía se aprovechan los recursos tal y como surgen en la naturaleza (por ejemplo, cataratas, gargantas, entre otras) o se construyen presas. Las instalaciones más comunes son las centrales hidroeléctricas.

#### **7.1.9. Biomasa**

Otro tipo de energía con posibilidades de utilización para generar electricidad o calor es la que se obtiene de los compuestos orgánicos mediante procesos naturales. Con el término biomasa se alude a la energía solar, convertida en materia orgánica por la vegetación, que se puede recuperar por combustión directa o transformando esa materia en otros combustibles, como alcohol, metanol o aceite. Al igual que el gas natural, el biogás tiene una amplia variedad de usos, pero al ser un derivado de la biomasa, constituye una fuente de energía renovable. (Varnero, 2011, p. 25)

### **7.2. Aire comprimido**

El uso del aire comprimido es muy común en la industria del petróleo y otras, su uso tiene la ventaja sobre los sistemas hidráulicos de ser más rápido, aunque es menos preciso en el posicionamiento de los mecanismos y no maneja presiones altas.

La compresión del aire puede realizarse para diversos propósitos, entre los que cuales se puede mencionar:

- Transmisión de potencia.
- Alimentación a un proceso de combustión.
- Alimentación a consolas de control de equipos mecánicos.
- Operación y control en transmisión de fluidos.

El aire comprimido es un alto consumidor de energía y normalmente es olvidado en los programas de ahorro de energía de las industrias. De hecho, el sistema de aire comprimido representa el 15 % de la energía que se utiliza en las industrias. Sin embargo, en muchas industrias puede ser el mayor consumidor de energía. (Durman Esquivel Guatemala S.A., 2013, p. 32).

Normalmente el ahorro de energía factible de lograr es de un 20 % pero después de la evaluación y análisis de las condiciones actuales en los equipos de aire comprimido que se utilizan en las reparaciones de pozos, es muy probable que el porcentaje sea mucho más grande pues no solo se evaluarán los aspectos mecánicos sino también la sustitución de los motores de combustión interna.

### **7.3. Combustibles fósiles**

Los combustibles fósiles son comúnmente utilizados en las industrias y en la vida cotidiana, debido a su poder calorífico, su fácil adquisición y manejo. La producción de estos combustibles es un proceso complejo.

### **7.3.1. Exploración**

Etapa que inicia con un estudio sísmico de la región en la cual se espera encontrar hidrocarburos, dicho estudio dará la pauta para dar inicio a la siguiente etapa.

### **7.3.2. Perforación**

Etapa en la cual se perfora un pozo (puede ser exploratorio si es el primer pozo en la región), con el fin de llegar a la profundidad propuesta durante la etapa de sísmica y así poder y realizar los estudios y pruebas necesarias que confirmen la existencia de hidrocarburos.

### **7.3.3. Producción**

Esta etapa es en la cual se llevan los hidrocarburos encontrados desde la profundidad en la que se encuentren hacia superficie (puede ser por métodos naturales o artificiales) para iniciar procesos de separación de impurezas (agua, sedimentos y gas) y luego proceder a almacenar el petróleo crudo y prepararlo para su respectiva fiscalización.

### **7.3.4. Transporte**

Etapa en la cual el petróleo crudo es trasladado (por medio de tuberías o camiones tipo cisternas) hacia las refinerías o plantas de procesamiento.

### **7.3.5. Refinación**

En esta etapa es donde se segregan los diferentes componentes del petróleo obteniendo el diésel, gasolina, keroseno y todos los derivados. El uso de combustibles fósiles también tiene sus desventajas y una de ellas es que uno de los productos de su combustión es el CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono).

El dióxido de carbono es un gas incoloro e inodoro que se forma en todos aquellos procesos en que tiene lugar la combustión de sustancias que contienen carbono. En ambientes interiores no industriales sus principales focos son la respiración humana y el fumar; aunque los niveles de dióxido de carbono también pueden incrementarse por la existencia de otras combustiones (cocinas y calefacción) o por la proximidad de vías de tráfico, garajes o determinadas industrias. (Berengues, 2000, p. 1)

El dióxido de carbono es un asfixiante simple que actúa básicamente por desplazamiento del oxígeno y que a elevadas concentraciones (>30.000ppm) puede causar dolor de cabeza, mareos, somnolencia y problemas respiratorios, dependiendo de la concentración y de la duración de la exposición. Es un componente del aire exterior en el que se encuentra habitualmente a niveles entre 300 y 400 ppm, pudiendo alcanzar en zonas urbanas valores de hasta 550 ppm. El valor límite de exposición profesional (LEP-VLA) del INSHT para exposiciones diarias de 8 horas es de 5 000 ppm con un valor límite para exposiciones cortas de 15 minutos de 15.000 ppm. Estos valores son difíciles de encontrar en ambientes interiores no industriales como son oficinas, escuelas y servicios en general. (Berengues, 2000, p. 1)



A nivel mundial los países que más invierten en energías renovables son: Japón, Alemania, España, Estados Unidos y otros, por ser potencias mundiales, tienen una gran responsabilidad por todos los problemas que se han desarrollado por la excesiva explotación de las fuentes de energía no renovable. Además, sus empresas generadoras de energía eléctrica están obligadas a utilizar energía renovable en sus instalaciones, especialmente en edificios e industrias.

Para la alimentación de los compresores se estará profundizando en el funcionamiento del motor Stirling, dicho motor teóricamente es el único que alcanza el rendimiento máximo teórico conocido como rendimiento de Carnot, por lo que, en lo que a rendimiento de motores térmicos se refiere, es la mejor opción.

El motor Stirling ofrece la oportunidad de alta eficiencia junto con la reducción de emisiones de productos de combustión, debido a que la combustión tiene lugar externamente y no dentro del cilindro como en los motores de combustión interna de encendido por chispa y por compresión. (Morgan, 2005, p. 485)

El argumento más sencillo de entender en relación con el alto rendimiento del motor es porque el calor directamente es el responsable de su ciclo de trabajo, es decir no tiene que producirse una reacción de combustión que implicaría lógicamente unas pérdidas añadidas. Este motor tiene la gran ventaja de que puede representar una fuente de energía, una vez que se le conecte una máquina mecánica, -eléctrica, alternador, dínamo-, totalmente autónoma cuyo rendimiento es muy elevado.

Se debe contar con una superficie colectora de los rayos solares en forma de espejo orientable o parábola, para hacer llegar el calor a la cámara caliente del motor y este se pondrá a funcionar. Teniendo en cuenta que al no haber combustión de ningún tipo el efecto contaminante de la instalación es prácticamente cero. (Ruiz, 2007).

Un desarrollo sostenible exige innovaciones que van más allá de la automatización y que, aun así, provienen de ella. La idea es darle movilidad a la tecnología solar, tanto por el lugar de su instalación como también por la optimización del aprovechamiento de energía.

## 8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

HIPÓTESIS

RESUMEN DEL MARCO TEÓRICO

INTRODUCCIÓN

### 1. MARCO TEÓRICO

#### 1.1. Energías

- 1.1.1 Evolución e historia de la energía
- 1.1.2 Clasificación de las fuentes de energía
- 1.1.3 ¿El actual modelo energético es sostenible?
- 1.1.4 Agotamiento en las reservas de combustibles
- 1.1.5 Efecto invernadero
- 1.1.6 Energía eólica
- 1.1.7 Energía solar
- 1.1.8 Energía hídrica
- 1.1.9 Biomasa

#### 1.2. Aire comprimido

#### 1.3. Combustibles fósiles

- 1.3.1 Exploración
- 1.3.2 Perforación

- 1.3.3 Producción
- 1.3.4 Transporte
- 1.3.5 Refinación

## 2. RECOLECCIÓN DE DATOS

## 3. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1 Costos

3.2 Discusión de resultados

## 4. ANÁLISIS DE COSTOS / ANÁLISIS FINANCIERO

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

ANEXOS

## **9. METODOLOGÍA**

### **9.1. Tipo de estudio**

El tipo de estudio es descriptivo porque en el desarrollo de la investigación se describirá la situación actual del diseño óptimo que permita cuantificar la cantidad necesaria de equipos fotovoltaicos necesarios. La situación actual permitirá que se pueda proponer un modelo básico y prototipo de aprovechar el espacio y su entorno para distribuir eficientemente los futuros dispositivos necesarios.

El documento se identifica como estudio mixto debido a que en sus características mecánicas y físicas se medirán variables de distancia, profundidad, tiempo y emisión de partículas por millón de agentes contaminantes al medio ambiente, en su proceso será probatorio y beneficioso debido a los datos que se obtendrán y generará resultados que se podrán aprovechar para tener predicciones del tiempo de vida para realizar la sustitución por energías limpias y renovables, describiendo las características de rendimiento, identificando una adecuada selección a través del seguimiento del plan de diseño estratégico aplicado a los lineamientos y componentes orientados al mercado industrial consumidor.

Se emplearán manuales técnicos de información relevante y desarrollada sobre ensayos anteriores de impacto positivo al incluir herramientas, máquinas y equipos accionados por el aprovechamiento de fuentes fotovoltaicas en aprovechamiento de la radiación solar. Además de hacer uso de diferentes

diseños de energías renovables e información de investigaciones de universidades nacionales y extranjeras.

## **9.2. Fases del estudio**

La investigación realizada es de tipo cualitativa con metodología descriptiva, ya que aborda situaciones recientes o actuales, que el investigador obtiene por testigos, actores principales, o fuentes directas, cuya veracidad es posible comprobar en el trabajo de campo. Además, esta investigación explora y cuestiona la realidad actual, para describirla o recoger datos que le permitan predecir acontecimientos a corto, mediano o largo plazo.

Aspecto para resaltar es que esta investigación no plantea hipótesis, más bien formula objetivos. Las relaciones entre variables son están dadas y solo trata de detectar el grado de relación para poder darle una interpretación o una proyección estadística.

La aplicación de la metodología de investigación-acción se realizó de forma vivencial e interactiva, ya que hubo estrecha comunicación hacia personeros de la institución (Gerencia de campo, supervisores, encargado de relaciones comunitarias y supervisor de medio ambiente) y los grupos o miembros de la comunidad (Cocode, junta escolar, alcalde auxiliar, entre otros). Todo esto desarrollado en las diversas etapas del proyecto, mediante instrumentos previamente diseñados para su aplicabilidad.

Para lograr satisfactoriamente la aplicación de la metodología y el desarrollo de las actividades contempladas en el proyecto se utilizó varias técnicas con sus respectivos instrumentos.

Según Tamayo (2001), considera que la investigación como el proceso más formal, sistemático e intensivo de llevar a cabo el método científico del análisis. Expresa claramente el hecho de que la investigación no es una mera búsqueda de la verdad, si no una indagación prolongada, intensiva e intencionada, es decir, la investigación por sí misma constituye un método para descubrir la verdad. La investigación sobre el aprovechamiento de la energía solar utilizada; una metodología orientada a la búsqueda de lograr un ahorro energético y sustituir los motores de combustión interna por motores alimentados por energía solar para esto se desarrollarán las fases que se describen a continuación.

#### **9.2.1. Fase 1: estudio aplicado sobre el desarrollo de tecnologías solares y recursos renovables**

En esta fase se propondrá el uso de las tecnologías y ciencias aplicadas en el desarrollo de las últimas investigaciones de energías renovables utilizadas para dar potencia a motores, y se prevé evaluar cuál es la más adecuada para esta aplicación.

Con el desarrollo de la investigación sobre las tecnologías recientes que podrían ser una solución viable para desplazar y reducir el uso del diésel se planteara el desarrollo técnico y científico en la sustitución por dispositivos que pueden procesar la radiación solar en energía cinética para impulsar los dispositivos y equipos industriales señalados en el cuerpo del presente trabajo de investigación.

### **9.2.2. Fase 2: disponibilidad de energía**

En esta fase se evaluará y se investigará la cantidad de energía aprovechable y los tiempos de utilización, para esto será necesario conocer y estudiar las siguientes variables:

- Radiación solar.
- Clima.
- Humedad relativa.
- Trayectoria solar.
- Constante solar.
- Efecto de la nubosidad.

Para entender estas variables se deberá hacer uso de recursos instalados como estación meteorológica y el uso de equipos de medición solar.

### **9.2.3. Fase 3: costos**

Esta es una de las fases más importantes pues acá se desarrollarán las técnicas de comparación de las tecnologías que se citan en la fase 1, también se realizará los cálculos financieros con el fin de evaluar la rentabilidad y análisis de sensibilidad.

También en esta fase se debe de cuantificar los volúmenes consumidos de combustible durante una intervención a pozos productores de petróleo, esto se realizará por medio de mediciones volumétricas (gls), y la medición debe de realizarse cada día cuanto dure dicha intervención.



#### **9.2.4. Fase 4: guía mecánica práctica**

Durante esta fase crítica, sensible, metodológica y con cálculos exactos se desarrollará el perfil de guía mecánica práctica con un enfoque completamente sostenible que permita trabajar a los mecánicos asignados con la dinámica de trabajo sencilla, poco completa y operativamente de comprensión rápida, realizando un acople y unión hacia los compresores de forma eficiente, sin atrasos ni mayores imprevistos, esperando utilizar el desarrollo de la implementación de nueva tecnología.

#### **9.2.5. Fase 5: interpretación de resultados**

Durante esta fase se realizarán cálculos de las emisiones de CO<sub>2</sub> generado. Cuantificar las emisiones de CO<sub>2</sub> (ppm) producida durante el proceso de combustión en los motores de los compresores, se realizarán los cálculos de CO<sub>2</sub> generado, al finalizar la intervención en el pozo productor de petróleo. Dicha medición se realizará por medio de cálculos matemáticos. Otro aspecto que debe considerarse es el impacto que pueden llegar a generar las tecnologías que se investigarán vs la utilizada actualmente.

#### **9.2.6. Diseño de la investigación**

La investigación busca determinar numéricamente los rangos permisibles del diseño óptimo de la implementación de energía fotovoltaica y su aprovechamiento energético, la medición de la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> en el proceso productivo de las pruebas, para establecer los rangos se tomará en cuenta la magnitud del valor actual asignado en tablas definidas como *check list*. Se analizará si los diseños cumplen con la tolerancia establecida por el

fabricante, también se calcularán los porcentajes de corrección respecto a la tolerancia.

**Tabla II. Operacionalización de variables**

<b>Nombre de la variable</b>	<b>Definición conceptual</b>	<b>Definición operacional</b>	<b>Indicador</b>
Identificar elementos necesarios	Elementos que intervienen en el proceso de comunicación.	Seleccionar, agrupar y distinguir las variables necesarias.	Espacios físicos disponibles dentro en el campo XAN.
Determinar el diseño óptimo	Es el mejor grupo de puntos de un diseño.	Selección y análisis de la tipología estructural y diseño de detalles estructurales.	Optimizar el espacio físico disponible para realizar el diseño eficiente la distribución de los paneles fotovoltaicos.
Implementar la metodología	Actuar y ejecutar la programación diseñada en un proyecto determinado.	Serie de métodos y técnicas científicas, con secuencias programadas para llegar a un fin dado establecido.	Definir las prioridades en el proceso del diseño de las cantidades disminuidas de emisiones de CO2
Elaborar un plan de capacitación	Orden estratégico que resulta del diseño programado y académico para implementar adiestramiento al personal.	Diseñar un programa de capacitaciones, luego de realizar los análisis y observaciones de campo.	El recurso humano que será responsable de instalar las fuentes de energías renovables.
Elaborar un plan de capacitación Elaborar un diseño experimental	Orden estratégico que resulta del diseño programado y académico para implementar adiestramiento al personal. El diseño experimental es una técnica estadística que permite identificar y cuantificar las causas de un efecto dentro de un estudio experimental.	Diseñar un programa de capacitaciones, luego de realizar los análisis y observaciones de campo. Se manipulan deliberadamente una o más variables, vinculadas a las causas, para medir el efecto que tienen en otra variable de interés.	El recurso humano que será responsable de instalar las fuentes de energías renovables. Definir las cargas necesarias que serán suministradas hacia los pozos petroleros que lograrán satisfacer la demanda de potencia.

Continuación de la tabla II.

<p>Elaborar un diseño experimental Establecer el programa</p>	<p>El diseño experimental es una técnica estadística que permite identificar y cuantificar las causas de un efecto dentro de un estudio experimental. Proceso de planificación.</p>	<p>Se manipulan deliberadamente una o más variables, vinculadas a las causas, para medir el efecto que tienen en otra variable de interés. En la gran mayoría de actividades humanas, en las que se pretenden alcanzar objetivos, los recursos y los medios suelen estar limitados, son escasos.</p>	<p>Definir las cargas necesarias que serán suministradas hacia los pozos petroleros que lograrán satisfacer la demanda de potencia.</p>
<p>Establecer el programa</p>	<p>Proceso de planificación.</p>	<p>En la gran mayoría de actividades humanas, en las que se pretenden alcanzar objetivos, los recursos y los medios suelen estar limitados, son escasos.</p>	<p>Recurso humano, recursos económicos, espacios físicos, capacidades operativas del personal. Insumos.</p>

Fuente: elaboración propia.



## 10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Las técnicas de análisis que se utilizarán son de tipo descriptivo, observación de información bibliográfica, recopilación de datos tomados en campo y análisis de información.

Al inicio de la investigación se usará la técnica bibliográfica en la que se recopilarán los datos relacionados a la construcción, clasificación, utilización y parámetros de construcción de un prototipo empírico para sustituir la demanda de combustibles fósiles.

Los valores de cargas emitidas de CO<sub>2</sub> medidos y seleccionado del proceso de producción se recolectarán e ingresarán a una base de datos para analizarlos estadísticamente y gestionarlos de manera centralizada al finalizar las mediciones. El propósito de la base de datos es simplificar la visualización y análisis de las cargas de CO<sub>2</sub> registradas para controlar el proceso.

Se realizarán tres mediciones de descargas de partículas de CO<sub>2</sub>, al ingresar los valores tomados en la base de datos se genera el valor promedio y se determina la desviación estándar, que nos indicara la dispersión de los datos respecto al promedio calculado. La desviación estándar será el parámetro para establecer un valor de referencia que nos indique la variación general en las mediciones de partículas por millón de las descargas.

Al analizar la base de datos se podrá determinar el rango permisible de trabajo y el porcentaje de error aceptable en la medición de descargas de CO<sub>2</sub>. Al tener establecidas las ppm en el proceso se generan los gráficos de control,

se utilizarán como herramienta de análisis y solución de problemas, para realizarlos se establecerán los límites superiores e inferiores para cada aplicación del termopar dentro del proceso dependiendo de la temperatura ambiente a la que se encuentre.

Se utilizarán los historiales de fallas para estimar el tiempo de vida útil de cada nuevo panel fotovoltaico y evitar variaciones en las propiedades mecánicas del aire insuflado. Al analizar la tendencia en las lecturas de la carga disponible se determinará si el error se mantiene dentro de los límites superior e inferior del grafico de control, o su comportamiento indica que el error tiende a generar lecturas que se encuentren fuera de los límites.

En vista que se está en presencia de un estudio descriptivo, el análisis de los datos es el resultado del resumen y la información obtenida, el cual será estudiado por horarios y frecuencias absolutas, lo cual permitirá conocer la situación actual. Dichos resultados se plasmarán en cuadros y sus respectivas gráficas, en función de los indicadores (radiación, intensidad, nubosidad, lluvia, consumos de energía y combustible) análisis referidos a los objetivos de la investigación.

“El análisis de la distribución de frecuencias es un conjunto de puntuaciones ordenadas en sus respectivas categorías” (Hernández, Fernández y Baptistas, 2006, p. 287). Con el fin de observar el comportamiento de cada uno de los indicadores y tomando estos valores para determinar la relación existente entre ellos. Se realizarán mediciones de consumo de combustible durante la realización de diferentes operaciones para que la media sea representativa, así como los diferentes cálculos de CO<sub>2</sub> generado por la combustión.

Es importante también realizar cálculos y mediciones de las diferentes necesidades de aire de instrumentación que se requiera para realizar las operaciones, esto con el fin de poder tener un registro estadístico confiable de cada una de las variables. Para analizar los componentes de azufre en el combustible se realizarán muestreos de aceite y los análisis se desarrollarán en laboratorios que tengan la capacidad de realizar este tipo de análisis. Estas mediciones se realizarán para poder medir las pérdidas de poder calorífico y por ende la pérdida de eficiencia. Al finalizar con la obtención de datos se analizarán los valores para comparar costos y evaluar los diferentes valores de las variables identificadas con el fin de definir si es factible o no el cambio de tecnología.

La radiación solar se medirá y además se calculará en los tres puntos elegidos, para esto es muy importante la altura sobre el nivel del mar, como identificar las condiciones climáticas. Una herramienta importante para medir las horas de sol en los puntos seleccionados será el heliógrafo.





# 11. CRONOGRAMA

Figura 4. Cronograma de actividades



Fuente: elaboración propia.



## 12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

El trabajo de investigación se realizará con recursos propios del estudiante de maestría. Siendo la investigación descriptiva se tendrán en cuenta los siguientes recursos.

Tabla III. Recursos necesarios para la investigación

	Ítem			Fuente de financiamiento
		Cantidad	Costos	
Recurso humano	Asesor	1	Q. 2,500	Personal
Recursos materiales	Papelería y útiles		Q. 2,000	Personal
Transporte a Petén	Vehículo	8	Q.2,000	Personal
Rec. Tecnológicos	Dispositivos		Q.4,000	Personal
Equipo	Computadora	1	Q.5,500	Personal
Muestreo de aceites	Análisis	6	Q.300	Personal
Alquiler de actinógrafo	Horas	75	Q. 225	Personal
Mano de obra de toma de muestras	Operador	1	Q. 300	Personal
Paneles Fotovoltaicos	Unidades	6	Q. 33,000	Empresarial
Transporte de paneles a Petén	Plataforma	1	Q. 15,000	Empresarial

Fuente: elaboración propia.

Siendo los recursos aportados suficientes para la investigación se considera que es factible la realización del estudio.



### 13. REFERENCIAS

1. Agudelo, I. Y. (2018). *Propuesta para la implementación del laboratorio de análisis sensorial para liberación de jarabes terminados y bebidas no alcohólicas en el área de calidad de una empresa multinacional de consumo masivo*. (Tesis de licenciatura). Universidad Libre de Colombia, Colombia. Recuperado de <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/15892/PROYECTO%20DE%20GRADO%202018%20final.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
2. Cacuango, E. G. y Falconi, M. A. (2009). *Diseño y construcción de un motor prototipo de ciclo Stirling a base de energía solar*. (Tesis de licenciatura). Escuela Politécnica del Ejército. Latacunga, Ecuador. Recuperado de <file:///C:/Users/casa/Downloads/T-ESPEL-0590.pdf>
3. Clean, N. D. (2010). *Eficiencia energética en el sector industrial*. (Tesis de licenciatura). Universidad Carlos III de Madrid. Leganés, Madrid, España. Recuperado de <https://core.ac.uk/download/pdf/30045489.pdf>
4. Dutpon. (s.f.). *Juntos podemos reducir la dependencia de combustibles fósiles*. Recuperado de <https://www.un.org/es/chronicle/article/el-papel-de-los-combustibles-fosiles-en-un-sistema-energetico-sostenible>

5. Espinoza, A. V. (2005). *Espacios académicos internacionales*. (Tesis de Licenciatura). Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil, Ecuador. Recuperado de <https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/97266/D-CD88378.pdf>
6. Gomez, J. L. (2013). *Propuesta para la mejora de la eficiencia energética en el sistema de aire comprimido de la empresa Durman Esquivel Guatemala, S.A.* (Tesis de Licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_0682\\_MI.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0682_MI.pdf)
7. Hernández, R. Fernández, C. y Baptistas, P. (2006). *Metodología de la investigación*. México: McGraw-Hill. Recuperado de <https://es.scribd.com/doc/38757804/Metodologia-de-La-Investigacion-Hernandez-Fernandez-Batista-4ta-Edicion>
8. International Standard, ISO 8589. (2012). *Sensory analysis - General guidance for the desing of test rooms*. Recuperado de <https://www.sis.se/api/document/preview/909357/NORMAISO>
9. Lane, N. W. (24 de Septiembre de 1996). Stirling engines for gas fired micro-cogen and cooling. *Presentation at Strategic Gas Forum, volumen (12)*. pp. 62-78.
10. LLC. (2015). *Cómo funciona la energía solar*. Recuperado de <https://www.acciona.com/es/energias-renovables/energia-solar/fotovoltaica/>

11. Martínez, E. (s.f.). *Análisis de sistemas*. (Tesis de Licenciatura). Universidad Mundo Maya,. México. Recuperado de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/ingevin/article/view/28888/0>
12. Meilgaard, M., Civille, G. y Carr, T. (1999). *Sensory Evaluation Techniques*. United States of America, USA: CRC Press LLC.
13. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales de España. (2000). *El dióxido de carbono en la evaluación de la calidad del aire interior*. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, España. Recuperado de [https://www.insst.es/documents/94886/327064/ntp\\_549.pdf/e9364a82-6f1b-4590-90e0-1d08b22e1074](https://www.insst.es/documents/94886/327064/ntp_549.pdf/e9364a82-6f1b-4590-90e0-1d08b22e1074)
14. Miransa, K. A. (2016). *Implementación de la energía solar en la vivienda Guatemalteca*. (Tesis de licenciatura). Universidad Rafael Landívar, Guatemala. Recuperado de <http://recursosbiblio.url.edu.gt/tesiseortiz/2016/03/01/Miranda-Karla.pdf>
15. Morgan, M. J. (2005). *Fundamentos de termodinámica técnica*. Barcelona, España: Editorial Reverté S.A. Recuperado de [https://www.academia.edu/33466857/Fundamentos\\_de\\_termodin%C3%A1mica\\_t%C3%A9cnica\\_Moran\\_Shapiro\\_pdf](https://www.academia.edu/33466857/Fundamentos_de_termodin%C3%A1mica_t%C3%A9cnica_Moran_Shapiro_pdf)
16. Tamayo, M. (2001). *El proceso de la investigación científica*. México: Lamusa, Noriega Editores. Recuperado de <file:///C:/Users/casa/Downloads/El%20proceso%20de%20la%20Investigacion%20Cientifica.%20Mario%20Tamayo%20y%20Tamayo.%204ta%20edic.%202004.pdf>

