

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA

Propuesta integral de reducción de emisiones CO_2 en una estación de producción de
petróleo

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero en Petróleo

Presentado por:

Victor Manuel Jaime Saltos

GUAYAQUIL - ECUADOR

Septiembre 2023

DEDICATORIA

Esto va dedicado para mis padres: Victor y Mary por su gran esfuerzo, apoyo, paciencia y sobre todo amor. A mis hermanos, Juan y sol, que siempre confiaron en mí. Sin duda alguna, han sido la mayor guía y fortaleza en estos 5 años.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco profundamente a Dios por la guía y sabiduría.

A mi familia, por demostrar su amor y apoyo incondicional.

A mi novia Karelys, por su total apoyo durante la etapa más difícil

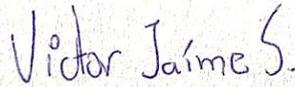
A los tutores, por su paciencia y dedicación.

A nuestro profesor, por las grandes enseñanzas.

A mis compañeros que demostraron su solidaridad y camaradería en todo momento.

DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, me corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Victor Manuel Jaime Saltos y doy mi consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"



Victor Jaime S.

Victor Jaime Saltos

EVALUADORES

MSc. Fernando Sagnay

PROFESOR DE LA MATERIA

Msc. Danilo Arcentales

PROFESOR TUTOR

MSc. Jorge Lliguizaca

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

El presente proyecto está enfocado en la identificación y abordamiento de las emisiones equivalentes dentro del bloque 16. Teniendo como referencia la investigación realizada a las operaciones, desde una línea base del año 2011 hasta el 2021, en dicha estación anualmente se establecieron acciones que marcan un compromiso con el desarrollo sostenible. Este proyecto tiene como objetivo evaluar las operaciones en el bloque 16, determinando las áreas contaminantes del campo y sus emisiones equivalentes, para la generación de una propuesta de soluciones operativas en las facilidades.

Se obtuvieron las emisiones equivalentes por año, sus acciones influyentes, categorizadas en seguridad, medio ambiente y cambio climático, mostrando así los impactos que tienen cada operación y sus metas. Adicionalmente, se identificó las operaciones más recurrentes, las cuales estaban inmersas con la eficiencia energética y aprovechamiento del gas asociado. Fue allí, donde se centró el estudio para proponer la solución operativa y continuar con la mitigación de gases.

Mediante la Turbina Flex GT333s se logró reducir el consumo de combustible en la generación eléctrica en base a gas con el 23,86%, y así mismo, las emisiones de CO_2 disminuyeron en 4 264,7301 kg por día.

Finalmente, la implementación de este estudio permite identificar las áreas y operaciones más contaminantes del bloque, y darle una solución operativa a la problemática, el análisis es totalmente elaborado con datos reales de campo.

Palabras claves: emisiones equivalentes, bloque 16, soluciones operativas, reducción.

ABSTRACT

This project is focused on identifying and addressing the equivalent emissions within Block 16. Based on the research conducted on the operations, from a baseline of 2011 to 2021, actions were established annually in this station that show a commitment to sustainable development. This project aims to evaluate the operations in block 16, determining the polluting areas of the field and their equivalent emissions, for the generation of a proposal for operational solutions in the facilities.

Equivalent emissions per year, and their influential actions, categorized in safety, environment, and climate change, were obtained, thus showing the impacts of each operation and its goals. Additionally, the most recurrent operations were identified, which were involved in energy efficiency and the use of associated gas. It was there, that the study was focused to propose the operational solution and continue with the mitigation of gases.

By means of the GT333s Flex Turbine, fuel consumption in gas-based electricity generation was reduced by 23.86%, and CO₂ emissions were reduced by 4,264.7301 kg per day.

Finally, the implementation of this study allows identifying the most polluting areas and operations of the block, and providing an operational solution to the problem, the analysis is fully elaborated with real field data.

Keywords: equivalent emissions, block 16, operational solutions, reduction.

ÍNDICE GENERAL

EVALUADORES	V
RESUMEN	VI
ABSTRACT	VII
ABREVIATURAS	XIII
SIMBOLOGÍA.....	XIV
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XV
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	XVI
ÍNDICE DE TABLAS	XVII
CAPÍTULO 1	1
1. Introducción.....	1
1.1. Descripción del problema	6
1.2. Justificación del problema	6
1.3. Objetivos	7
1.3.1. Objetivo general.....	7
1.3.2. Objetivos específicos.....	8
1.4. Marco teórico	8
1.4.1. Operaciones de producción de petróleo	8
1.4.1.1. Medición multifásica VX spectra	9
1.4.1.2. Bombas multifásicas.....	9
1.4.2. Proceso de separación de fluidos	10

1.4.2.1.	Tanques de almacenamiento	11
1.4.2.2.	Scrubber	13
1.5.	<i>Emisiones CO2 en las operaciones de producción de petróleo</i>	15
1.5.1.	Captura de CO2	15
1.5.2.	Medición de CO2	17
1.5.3.	Fuentes de emisión directa de CO2 en una estación de producción	18
1.5.4.	Fuentes de emisión indirecta de CO2 en una estación de producción.....	18
1.5.5.	Gases de efecto invernadero en el sector petrolero	20
1.6.	Normativa ISO 14064: Gases de efecto invernadero	20
1.7.	<i>Métodos de evaluación cualitativa y cuantitativa de impactos ambientales</i>	24
1.7.1.	<i>Métodos de evaluación cualitativa</i>	25
1.7.2.	<i>Métodos de evaluación cuantitativas</i>	25
1.8.	<i>Casos de estudio</i>	26
1.8.1.	<i>Estudio en el yacimiento no convencional de Vaca Muerta (shale oil)</i>	26
1.8.1.1.	Metodología del trabajo.....	27
1.8.2.	<i>Propuesta de aplicación de bombeo multifásico en los sistemas de transferencia desde las macollas del área de extrapesado, hasta las estaciones de flujo, distrito morichal</i>	29
1.8.2.1.	Metodología de trabajo.....	29
1.8.3.	Campo Sacha invierte para reducir consumo de diésel y emisiones de gas	30
1.8.3.1.	Recisión de mecheros en el campo Sacha	31
CAPÍTULO 2		33
2.	Metodología	33

2.1. Descripción general	33
2.2. Descripción del campo objetivo para el estudio.....	34
2.2.1. Facilidades de la estación Norte	35
2.2.2. Facilidades de la estación Sur	36
2.3. Recopilación de informes de inventarios de CO2	37
2.4. Delimitación de estrategias operativas implementadas por la empresa REPSOL ECUADOR para la reducción de la huella carbono.	39
2.5. Delimitación de Indicadores específicos que contribuyen con el desarrollo sostenible mediante las estrategias operativas estudiadas	41
2.6. Propuestas operativas en las facilidades para continuar con la mitigación de las emisiones de CO2	42
2.6.1. Indicadores de consumo en las facilidades de producción del norte (NPF)	43
2.6.2. Equipos para la nueva ejecución de cambio en generadores.....	44
2.6.3. Análisis de requerimientos básicos considerando criterios de eficiencia energética a gas	45
2.6.4. Propuesta de la línea base dentro del campo	47
2.6.5 Cálculo de la energía del gas asociado y eficiencia del motor.....	49
2.6.6 Análisis comparativo mediante el cálculo de los gases de efecto invernadero del nuevo motor con la propuesta de la línea base	50
2.7. Procedimientos con planes preventivos para la mitigación de contaminación	51
CAPÍTULO 3	53
3. Resultados	53

3.1. Emisiones equivalentes por año en el bloque 16	53
3.2. Estrategias operativas implementadas para la reducción de la huella carbono	54
3.3. Indicadores específicos que contribuyen con el desarrollo sostenible mediante las estrategias operativas.....	58
3.4. Selección de motor candidato a cambio	67
3.5. Comparación de rendimiento de la propuesta línea base con la nueva propuesta	69
3.6. Cálculo para determinar el rendimiento de las propuestas	69
3.7. Cálculo de la nueva potencia de gas requerida para la nueva propuesta	70
3.8. Determinación de la energía del gas con la nueva propuesta	71
3.9. Cálculo de consumo de combustible mediante la energía y poder calorífico del gas asociado	
71	
3.10. Comparación del consumo combustible de ambas propuestas	72
3.11. Cálculo de las emisiones CO2 equivalentes por cada propuesta	73
1. Masa de la cantidad de flujo en combustión	74
2. Factor de emisiones por combustibles	75
3. Valores calóricos netos	75
4. Cálculo de las emisiones de CO2 equivalentes	76
Emisiones del motor de la nueva propuesta	76
Emisiones del motor del motor Waukesha L7042GSI VHP	76
3.12. Emisiones del motor de la propuesta línea base	76
3.10. Planes preventivos para la mitigación de contaminación dentro del bloque 16	78
Capítulo 4.....	80

4. Conclusiones y recomendaciones.....	80
4.1. Conclusiones	80
4.2. Recomendaciones	84
Referencias	86
Anexos	92

ABREVIATURAS

API American Petroleum Institute

EPA Environmental Protection Agency

CO_2 Dióxido de carbono

GEI Gas de Efecto Invernadero

ISO International Organization for Standardization

NPF North Production Facilities

SPF South Production Facilities

IPCC Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático

VCN Valor Calórico Neto

EOR Recuperación Mejorada de Petróleo

SIMBOLOGÍA

m^3 Metro cúbico

Gg Gigagramo

Kg Kilogramo

Kw Kilowatt

m Masa

V Volumen

°C Grados Celsius

Tj Terajulios

ft^3 Pies cúbicos

E_{gas} Energía del gas combustible

LHV Poder calorífico inferior del gas

V_{gas} Volumen de entrada de gas

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1: Emisiones de GEI por contaminante en Estados Unidos	2
Ilustración 2: Emisiones de GEI por sector en Estados Unidos	3
Ilustración 3: Emisiones de CO2 según la fuente de energía en Estados Unidos.....	4
Ilustración 4: Separador de producción y bomba multifásica	10
Ilustración 5: Separador trifásico horizontal	11
Ilustración 6: Tanque de techo fijo	12
Ilustración 7: Tanque de techo flotante	13
Ilustración 8: Funcionamiento de Scrubber.....	14
Ilustración 9: Equipos y proceso que producen emisiones en una estación de producción.....	19
Ilustración 10: Datos de un proyecto GEI	23
Ilustración 11: Requisitos para la validación y verificación del Proyecto.....	24
Ilustración 12: Medición de producción de petróleo mediante Vx y separador convencional ..	28
Ilustración 13: Caída de presión en red de tuberías	30
Ilustración 14: Thermal Oxidizer en campo Sacha	32
Ilustración 15: Esquema de la metodología planteada en este estudio	34
Ilustración 16: Estación de producción del bloque 16 operado por REPSOL ECUADOR.....	35
Ilustración 17: Tratamiento de gas asociado para generación eléctrica	48
Ilustración 18: Emisiones de CO2 equivalentes por año	53
Ilustración 19: Gráfico comparativo de combustible	73
Ilustración 20: Gráfico comparativo de emisiones equivalentes de ambas propuestas	78
Ilustración 21: Especificaciones del motor WAUKESHA L7042GSI	92
Ilustración 22: Especificaciones de la turbina Flex GT333S.....	93

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Cálculo de emisiones de gases efecto invernadero.....	17
Ecuación 2: Energía del gas asociado.....	49
Ecuación 3: Potencia del gas requerido	50
Ecuación 4: Eficiencia de motor.....	50
Ecuación 5: Masa de combustible	51

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Histórico de Emisiones equivalentes en operaciones del bloque 16 realizado por Repsol	38
Tabla 2: Esquema para elaboración del plan acción por año	40
Tabla 3: Esquema para delimitación de indicadores específicos que contribuyen con el desarrollo sostenible mediante las estrategias operativas estudiadas.....	42
Tabla 4: Indicadores de mejora del proyecto 2018 plan de Sostenibilidad realizado por la empresa REPSOL ECUADOR	44
Tabla 5: Análisis del cumplimiento de requisitos básicos	46
Tabla 6: Balance térmico de motor Waukesha VHP L704GSI	47
Tabla 7: Acciones anuales realizadas por la empresa REPSOL ECUADOR para la mitigación del cambio climático	55
Tabla 8: Plan de sostenibilidad, tipo de acción, descripción, indicador, valor en el año 2018 ...	58
Tabla 9: Plan de sostenibilidad, tipo de acción, descripción, indicador, valor en el año 2019 ...	61
Tabla 10: Plan de sostenibilidad, tipo de acción, descripción, indicador, valor en el año 2020 .	63
Tabla 11: Plan de sostenibilidad, tipo de acción, descripción, indicador, valor en el año 2021 .	65
Tabla 12: Motores seleccionados del bloque 16 para su cambio	68
Tabla 13: Cuadro comparativo de rendimiento de las propuestas.....	69
Tabla 14: Cuadro comparativo de potencia de gas y consumo de combustible por cada una de las propuesta.....	72
Tabla 15: Factor de emisiones por combustible del CO2.....	75
Tabla 16: Valores calóricos netos por combustibles.....	75
Tabla 17: Calculo de las emisiones GEI por día de ambas propuestas	77

CAPÍTULO 1

1. Introducción

A lo largo del tiempo la producción del petróleo y gas han sido un motor esencial para el desarrollo económico y social a nivel mundial (BBVA, 2023). No obstante, se presentan conflictos sociales y ambientales por las consecuencias de las operaciones hidrocarburíferas, debido a la exploración y explotación petrolera en zonas biodiversas ha ocasionado el levantamiento de las comunidades y agrupaciones ambientalistas, tomando medidas de protección contra estas actividades por la contaminación que se produce dentro de sus áreas. Es necesario implementar operaciones sostenibles en la industria petrolera que permita conciliar la producción de hidrocarburos con la protección del medio ambiente y el bienestar de las comunidades.

Según datos de la organización de las naciones unidas (ONU) la contaminación del ambiente atrae directa e indirectamente con 3,2 millones de muertes prematuras a causa de problemas respiratorios, cardiovasculares. (Naciones Unidas , 2022).

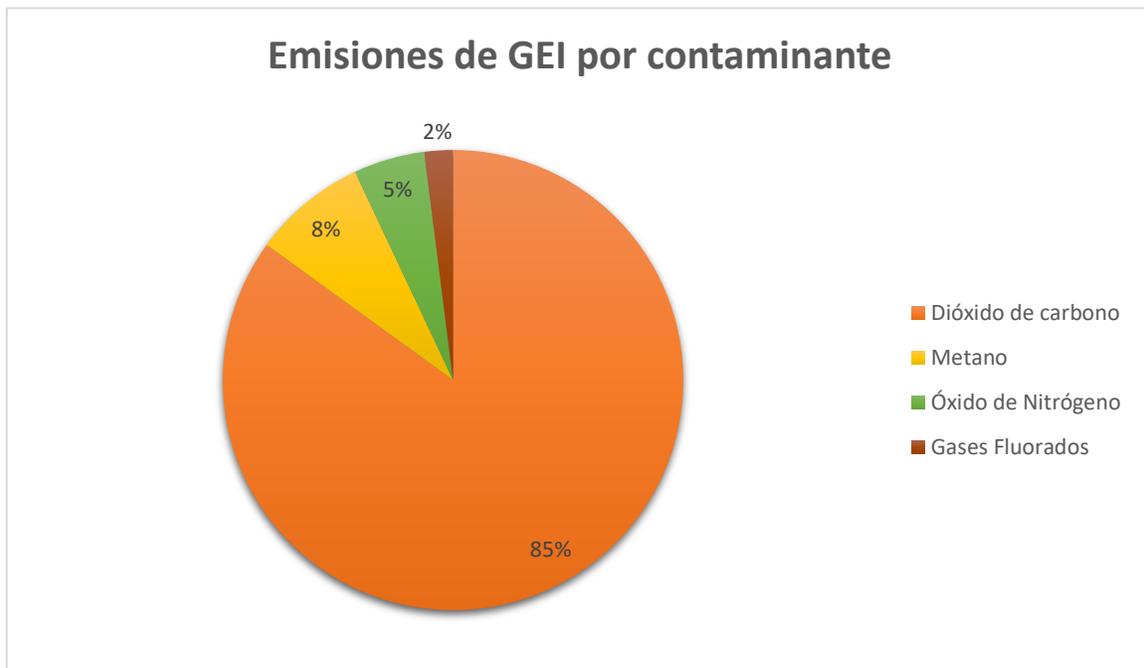
El dióxido de carbono es el principal gas de efecto invernadero producido por las actividades del ser humano, no obstante, los 4 gases más destacados en la atmosfera son:

- Dióxido de carbono CO_2
- Metano CH_4
- Óxido de nitrógeno N_2O
- Gases fluorados

En la Ilustración 1 observamos la distribución de los gases de efecto invernadero, dando a conocer la concentración de los 4 gases más importantes que se encuentran en la atmosfera.

Ilustración 1: Emisiones de GEI por contaminante en Estados Unidos

Fuente: Información recopilada de EPA (2023).

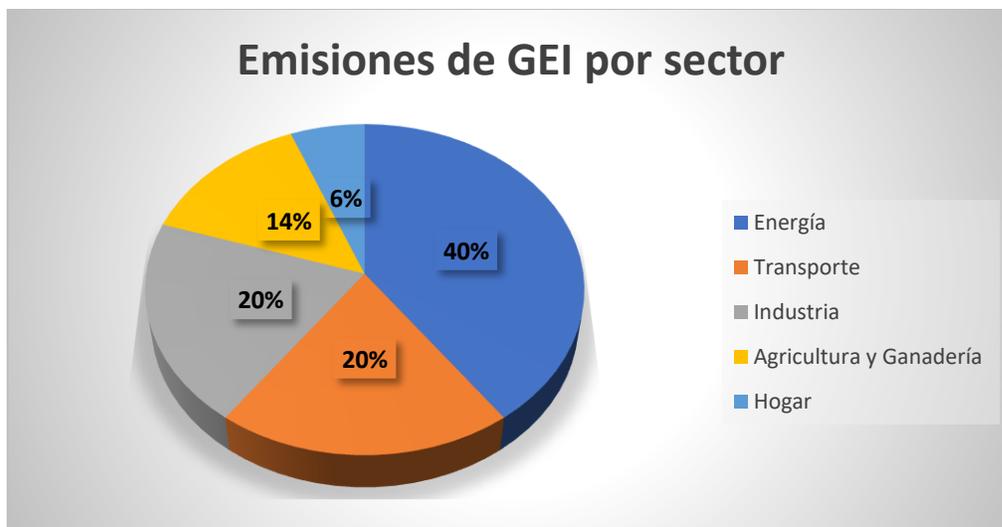


La mayor concentración encontrada en la atmosfera es el dióxido de carbono. Estos valores en la actualidad han aumentado significativamente por las actividades humanas, industriales. En el 2022 la concentración promedio de CO_2 en la atmósfera fue de 419 partes por millón, a diferencia del año 1960 donde era de 317 partes por millón (Orús, 2023).

Es una problemática muy amplia que debe ser identificada correspondiendo a nuestro sector de trabajo. En la Ilustración 2 observamos las emisiones que se realizan por cada uno de los sectores productores en la industria.

Ilustración 2: Emisiones de GEI por sector en Estados Unidos

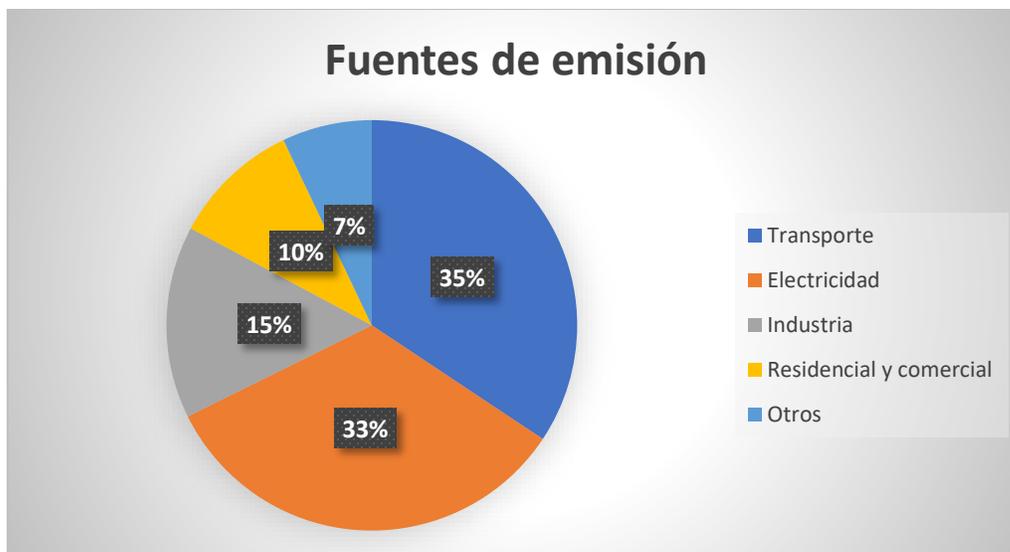
Fuente: Información recopilada de EPA (2023).



Tal y como vemos en la Ilustración 2, se registra el 40% para el sector de energía, siendo así el mayor generador de emisiones, seguidos por procesos industriales y transporte con el 20% respectivamente. Este indicador aún más sustenta la necesidad por realizar cambios dentro de la industria de energía. No obstante, esta industria se divide en muchas fuentes emitidas, las cuales se pueden observar en la ilustración 3:

Ilustración 3: Emisiones de CO₂ según la fuente de energía en Estados Unidos

Fuente: Información recopilada de EPA (2023).



En Estados Unidos, el sector del transporte es una de las fuentes más altas de emisiones de CO₂ con un 35% el cual consta con la emisión debida a los combustibles fósiles. Seguidamente, se encuentra el sector de la electricidad con 33%, este fragmento alto es provocado porque para la generación de electricidad se necesitan los combustibles fósiles para poner a funcionar los motores de las plantas eléctricas. De acuerdo con estos datos relevantes y evidenciados en los sectores productores del mundo, podemos considerar los puntos altos de contaminación se da por la combustión de los combustibles fósiles. En la Ilustración 3 vemos que los sectores que más contribuyen con estos porcentajes son los de transporte, electricidad, industria. Muchos de los procesos industriales emiten el CO₂ mediante la combustión.

La industria del petróleo es una de las principales fuentes de emisiones contribuyendo directamente al cambio climático. Por tal motivo, la industria debe direccionar la mayoría de sus operaciones a ámbitos sostenibles, para los ingenieros actualmente es

un desafío alinear los procesos con controles ambientales en los próximos se pretende años reducir la huella de carbono, y a su vez, la transición energética incrementemente.

Es así, como el sector petrolero debe identificar donde se producen las mayores emisiones de CO_2 en sus operaciones para así implementar medidas que contrarresten la huella de carbono en la industria y proponer que hacer para reducir GEI en otros sectores industriales.

En este estudio se presentará resultados de las investigaciones sobre las emisiones de CO_2 en los procesos de una estación de producción.

Una vez identificado los problemas en campo, se estima evaluar el punto más alto contaminante en una estación de producción. Por lo tanto, se procederá a la evaluación de los factores que influyen, plantearemos nuevas estrategias operativas, cuantificaremos el nuevo diseño y se realizará las comparaciones operativas del anterior sistema con el nuevo planteamiento elaborado en este estudio. Es importante conocer nuestro ámbito de estudio, sus equipos, facilidades, operaciones y enfocar el estudio, teniendo los detalles operativos. En esta evaluación podremos dictaminar sobre el estado de los equipos, sugerir cambios, reparaciones, presenciar fugas o plantear cambios en el diseño de la estructura de la estación de producción.

Con la información obtenida se visualiza profundamente cada una de las operaciones de la estación, impactos climáticos, aspectos positivos y negativos de la producción. El aprovechamiento de cada barril de petróleo puesto a producción es una contribución real para el país. No obstante, cada pozo sin perforar es un aporte positivo para el calentamiento global el estudio pretende detectar donde se establece dentro del campo el mayor impacto de las emisiones de CO_2 , pudiendo así convertir los procesos

hidrocarburíferos sostenibles para alargar el tiempo de la industria mediante la determinación de cambios, alternaciones de equipos o estructuras, evitando así la contaminación que es producida por los múltiples procesos que son dados colateralmente más no provocados directamente.

1.1. Descripción del problema

En la actualidad los procesos hidrocarburíferos están destinados a producir petróleo sosteniblemente; sin sustancias adjuntas al hidrocarburo y realizar actividades que no afectan el entorno con emisiones, fugas o derrames.

Uno de los grandes desafíos de la industria, es la descarbonización. Muchos expertos comentan la baja rentabilidad que tienen estos procesos de transición energética debido a lo costoso que pueden llegar a ser, es una prioridad para el sector hidrocarburífero convertir y perdurar en el modelo económico de la transformación ecológica. (Ferluga, 2019)

En la industria existen muchos eventos posibles y reales que generan un impacto negativo hacia el ambiente. La combustión de hidrocarburos exhibe emisiones de gases, dióxido de carbono, monóxido de carbono, incrementan el efecto invernadero, contaminando el suelo y agua. (Rosso, 2021)

Los equipos usados están involucrados directamente en estas emisiones, muchos incidentes son dados por las emisiones fugitivas que se presentan en cada uno de ellos. Por tal motivo, en este estudio se evaluará conjuntamente la estación de producción y cada uno de los equipos; dando el respectivo diagnóstico y solución inmediata.

1.2. Justificación del problema

Debido a los actuales conflictos dados en el país por las operaciones petroleras en ambientes ecológicos, se han formado múltiples coyunturas ambientales contra

económicos. Por otra parte, se tiene parámetros energéticos que pretenden tornar la industria a una producción limpia, sin emisiones de dióxido de carbono. La problemática representa grandes desafíos a la industria, para la continuidad de las actividades es necesario ser sustentable y trabajar sin precedentes. Es importante darle un enfoque divergente a este tema, debido a que se necesita tener un análisis completo, cada acción e inacción tiene un alto valor.

Este estudio está destinado a diagnosticar los puntos más altos de contaminación en procesos de la estación de producción, obteniendo la estimación de emisiones de CO_2 . También se implementará técnicas para mejorar los criterios operativos, reparación de unidades, instalación de nuevos equipos.

El aporte del estudio estará en la reducción de la contaminación ambiental dentro de las estaciones de producción petrolero. A su vez contribuyendo con al aumento de la operatividad de los equipos de producción, determinado dificultades operacionales, se realizará una corrección de acciones y se optimizará el sistema, aportando directamente beneficios a la producción. Se pretende prolongar la vida de operacional de la industria, haciendo más sostenible sus actividades, mejorando los resultados de producción y en mayor parte reducir las emisiones presentes en cada estación.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Evaluar las operaciones en el bloque 16, determinando las áreas contaminantes y sus emisiones equivalentes, para la generación de una propuesta de soluciones operativas en las facilidades.

1.3.2. Objetivos específicos

- Identificar las emisiones de GEI en una estación de producción, áreas y operaciones de contaminación.
- Proponer estrategias operativas en las facilidades de producción, mediante la revisión de inventarios de emisiones de CO_2 y planes de sostenibilidad del bloque 16 y Tivacuno, para la reducción de emisiones de CO_2 en el procesamiento de fluidos producidos.
- Calcular las emisiones de CO_2 de la nueva propuesta, verificando la reducción de emisiones mediante la comparación con la línea base
- Establecer procedimientos con planes preventivos para la mitigación de contaminación.

1.4. Marco teórico

1.4.1. Operaciones de producción de petróleo

En la industria hidrocarburífera es importante contar con la capacidad de adquirir nuevas técnicas para poder ser sustentables en las operaciones aplicando nuevas técnicas operativas o ajustar procesos ya implementados con correctivos buscando su eficiencia máxima. Tener una operatividad autónoma en el sector de petróleo y gas pueden ahorrar 300.000 toneladas de emisiones de CO_2 . (RIGZONE, 2022) Las operaciones autónomas dan paso la unión de la tecnología con la producción, implementando sistemas y procesos automatizado en la estación de producción petrolera.

Los procesos en pozo de producción están destinados a extraer el hidrocarburo desde un yacimiento hasta el pozo, posteriormente, a superficie, en el cual se someten a

procesos de separación, tratamiento, almacenamiento, medición y transportan para su utilización. (PDVSA, 2004)

Una vez implementado la comunicación yacimiento con pozo en primera instancia es necesario evaluar el desempeño por caudal de nuestra producción, mediante sistemas automatizados, uno de los equipos a desempeñar tan importante acción es medición multifásica VX spectra.

1.4.1.1. Medición multifásica VX spectra

En el trayecto reservorio-pozo las condiciones de presión y temperatura se alteran en diferentes tramos de este desplazamiento. Su funcionalidad es registrar los monitoreos constantes de producción en yacimientos, la producción de pozos posee características de alta variabilidad en caudales y ratios de flujo (Romero, y otros, 2015). Esta evaluación es realizada a un fluido multifásico el cual contiene, hidrocarburo, liquido, gas natural, agua, otros fluidos. Este moderno proceso desafía a procesos tradicionales de fases separadas. Una vez obtenidos los datos de cada pozo se requiere enviar los fluidos hacia facilidades de tratamiento centrales, el equipo tecnológico que efectúa esta acción son las bombas multifásicas haciendo posible el traslado de la producción petrolera a múltiples puntos de operación.

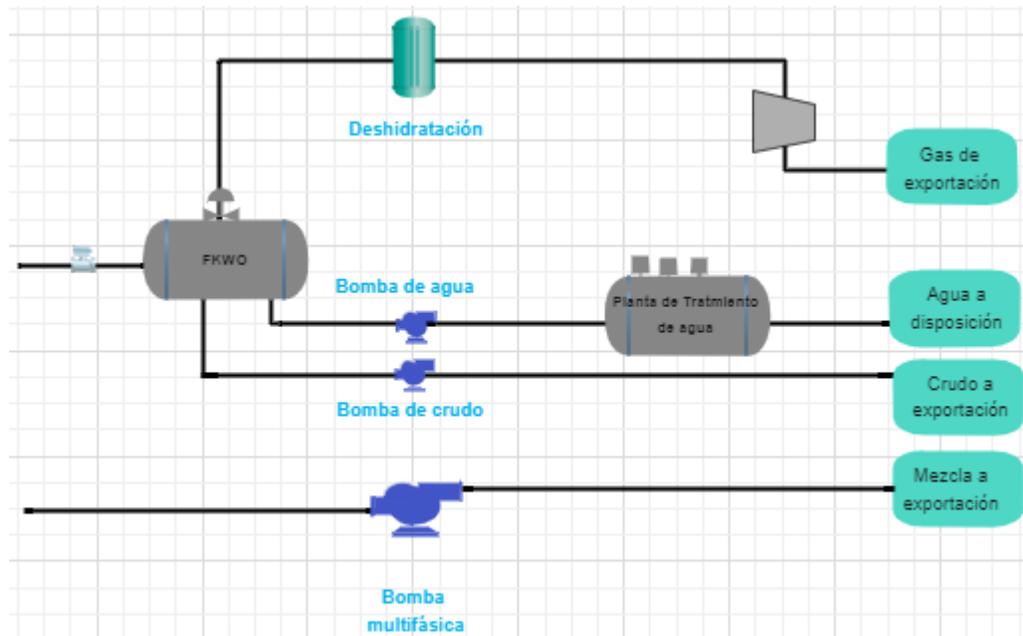
1.4.1.2. Bombas multifásicas

Los fluidos solicitan de un desplazamiento de un punto de trabajo hacia otro para conectar la producción, las bombas multifásicas están encargadas de trasladar petróleo, gas, agua y sedimentos en conjunto, contribuyen con el incremento a la producción reduciendo directamente la presión en la cabeza de pozo, aportando unilateralidad. Su

operación da paso adjuntar cualidades a la optimización de las facilidades de producción, como la reducción de equipos en la estación de producción. (Bornemann, 2008)

Ilustración 4: *Separador de producción y bomba multifásica*

Fuente: Información obtenida por el informe de Mares (2019).



La óptima transferencia de los fluidos es importante en la cadena de producción, las bombas multifásicas ofrecen la transportación en el sistema para el respectivo tratamiento de separación de fluidos en la estación central.

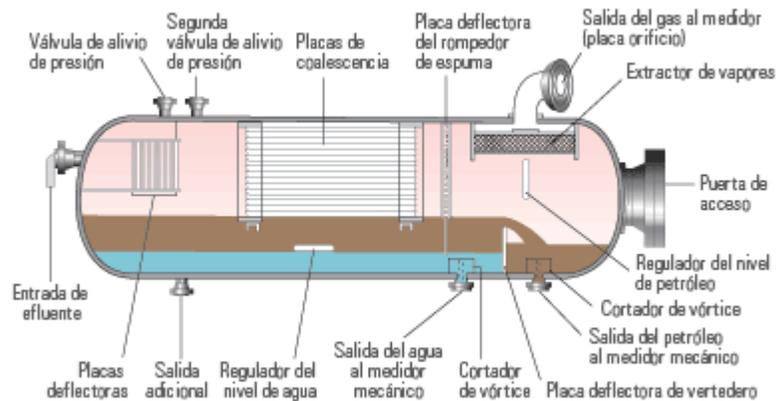
1.4.2. Proceso de separación de fluidos

Para tener el producto final apto para el consumidor es necesario cumplir con ciertos márgenes de calidad que corresponden a cada país. Con el objetivo de cumplir dichos márgenes se realiza un pre-tratamiento al fluido proveniente del pozo, dando paso a la separación de compuestos inorgánicos como dióxido de carbono, metano, agua. (Natalia Prieto Jiménez, 2018)

Mediante un recipiente cilíndrico horizontal o vertical es separado el efluente del pozo en tres diferentes fluidos petróleo, gas, y agua, adicionalmente, mide el caudal de cada uno de ellos. La operatividad de este equipo dependerá de presión implantada, tiempo de residencia de los fluidos y el tipo de flujo del fluido.

Ilustración 5: *Separador trifásico horizontal*

Fuente: Información obtenida por la empresa Schlumberger (2023).



La fuerza gravitacional interfiere en este equipo, el fluido con mayor masa de densidad tenderá al fondo del recipiente, por el contrario, el más liviano se elevará hacia la parte superior. Es así como ocurre la separación de los fluidos para dar paso a su depósito respectivamente en los tanques de almacenamientos para su posterior procesamiento.

1.4.2.1. Tanques de almacenamiento

La acumulación de la producción se sitúa en estos depósitos, el diseño debe estar alineados a las normativas y regulaciones predispuestas por el estado brindando seguridad y garantizando una producción sustentable. En el proceso de selección de tipo y tamaño,

estará determinado por el consumo, condiciones ambientales, fluido almacenar, localización. (PETROBLOGGER, 2023)

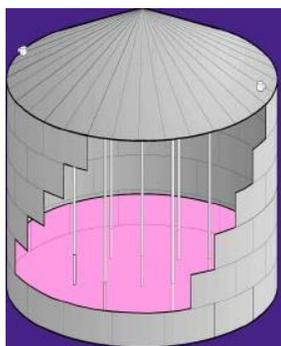
Es importante seleccionar el tanque necesario para la estación de producción, tenemos los siguientes:

- Tanques atmosféricos con techos fijos: Los tanques pueden tener techo o columnas autoportantes, la superficie del techo puede ser de cúpula o cónica. El tanque opera con el espacio de vapor cambiando a medida que cambia el nivel del líquido.

Tiene rejillas de ventilación en el techo para dejar salir el humo, y el interior se mantiene a una presión cercana a la atmosférica, pero dificulta la respiración. Los tanques de techo fijo se utilizan para almacenar líquidos que no requieren tanques de techo flotante.

Ilustración 6: *Tanque de techo fijo*

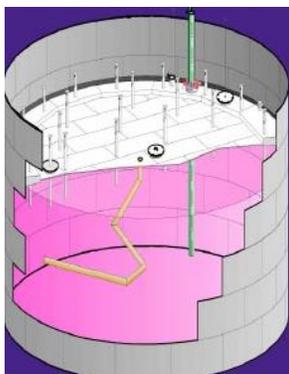
Fuente: Información obtenida por el informe Estrucplan (2011).



- Tanques atmosféricos de techo flotante: Estos tanques son muy utilizados porque reducen las pérdidas por vaciado y llenado, esto se logra al remover o mantener un espacio de vapor constante por encima del nivel del líquido. Las paredes y el techo son de acero, su estructura es muy similar a la de techo fijo. El diseño garantizará que el techo del tanque no se dañe en caso de desbordamiento.

Ilustración 7: *Tanque de techo flotante*

Fuente: Información obtenida por el informe Estrucplan (2011).



Los tanques de almacenamiento se construyen en base a la necesidad de operación. Las nuevas tecnologías pretenden minimizar el impacto ambiental debido a la evaporación del petróleo, para mejorar el aire de ambiente de la estación producción se tiene una unidad que influye en el incremento de la cadena de producción de gas.

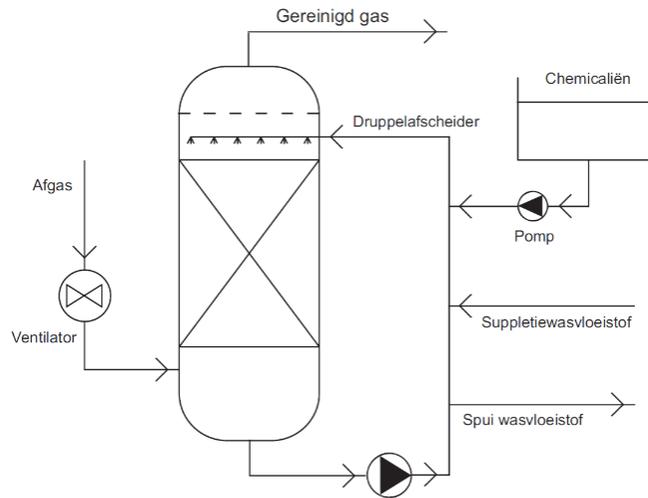
1.4.2.2. **Scrubber**

Es uno de los equipos modernos de este siglo que ha ayudado a la industria en líneas de producción de gas a gran escala, mediante la separación de residuos líquidos, impurezas, gases contaminantes y agua.

El recipiente vertical de gasolina y silicona con bomba e indicador de gas incluidos es el purificador de los procesos operativos controlando así el impacto ambiental de gases, reduciendo la contaminación y cumplir con las regulaciones gubernamentales en la estación de producción. (Japa, 2020)

Ilustración 8: Funcionamiento de Scrubber

Fuente: Información obtenida por el informe de Treatmen (2020).



Su funcionalidad experimenta una corriente de gas por una ajustada línea con un líquido de lavado. Con este contacto se permite transferir los componentes gaseosos a líquidos.

Se pueden utilizar varios tipos de purificadores, a saber:

- Scrubber con filtro húmedo: Se utilizan más comúnmente en la industria y utilizan agua y productos químicos para separar las impurezas del gas.
- Scrubber de lavado en seco: Se utiliza para eliminar las impurezas sólidas de la producción de gas.
- BioScubbers: Utilizan componentes microbianos para separar y eliminar las impurezas durante la generación de gas.
- Venturi Scrubbers: Se utiliza para eliminar las impurezas sólidas de la producción de gas.

- Quenchers: Finalmente, tenemos un método de enfriamiento que solidifica en las corrientes de gas y elimina las impurezas.

1.5. Emisiones CO_2 en las operaciones de producción de petróleo

En este estudio es importante identificar cada uno de los sucesos y unidades que producen CO_2 , es necesario diagnosticar los casos de estudios. El funcionamiento operacional de cada uno de los procesos, su finalidad, importancia dentro la estación de producción, las operaciones otorgan sin duda alguna muchos beneficios al producto final, no obstante, ocurren perjuicios indirectos que contribuyen con el cambio climático.

El sector de producción de petróleo y gas en sus operaciones onshore emitió 94,8 millones de toneladas métricas de gases de combustión, así mismo, las operaciones offshore emitieron 6,2 millones de toneladas métricas en el 2013. (IEA, 2020)

Para cuantificar las labores y consecuencias de las operaciones se requiere contar con un sistema de medición apropiado para proceder a la captura y mitigación de emisiones.

1.5.1. Captura de CO_2

Un procedimiento nuevo en desarrollo en el sector hidrocarburífero con proyecto sustentables a corto y largo plazo. Esta técnica se utiliza para reducir emisiones de gases efecto invernadero, en primera instancia debe separarse de otros gases de combustión o tratados. Luego se comprime purificándose para facilitar su transporte y almacenamiento.

Los métodos de la captura de CO_2 se pueden clasificar en:

- Método de postcombustión: Este método se utiliza para capturar CO_2 después de quemar combustibles fósiles. El CO_2 se separa de los gases de escape mediante

tecnologías de separación como la adsorción de aminas o la adsorción de carbón activado. (Queijo Fraga, 2017)

- Método de pre-combustión: Este método se utiliza para capturar CO_2 antes de quemar combustibles fósiles. El combustible se gasifica para producir una mezcla de gas de síntesis, que se separa en CO_2 e hidrógeno gaseoso. El gas hidrógeno se utiliza como combustible, mientras el CO_2 se captura y almacena. (Queijo Fraga, 2017)
- Oxycombustión: Este método se utiliza para capturar CO_2 cuando se queman combustibles fósiles. Se utiliza oxígeno puro en lugar de aire de combustión, lo que da como resultado una corriente de escape concentrada. El CO_2 se separa de los gases de escape mediante tecnologías de separación como la absorción de aminas. (Jijón Ruales, Secuestro de CO_2 en formaciones petroleras: una alternativa para combatir el cambio climático, 2022)
- Recuperación mejorada de petróleo con captura de dióxido de carbono (EOR): Esta técnica consiste en inyectar dióxido de carbono en los campos petroleros, este procedimiento aporta directamente al incremento de la producción en pozos con baja energía en el fondo del yacimiento. (Jijón Ruales, Secuestro de CO_2 en formaciones petroleras: una alternativa para combatir el cambio climático, 2022)

Evaluar las técnicas para la captura es esencial para continuar con el desarrollo sostenible y la innovación de nuevas tecnologías. Aun así, es importante poseer en las instalaciones la capacidad de cuantificar mediante las técnicas mencionadas.

1.5.2. Medición de CO₂

Un monitoreo constante en las emisiones GEI ayudara a identificar los múltiples de alta contaminación, procesos fallidos y equipos obsoletos. Por tal razón, se tiene algunos métodos que son usados en la industria:

- Medición directa: Se utiliza para medir la concentración de CO₂ en el gas de escape o en la corriente de gas de proceso, se pueden utilizar varias tecnologías, como sensores infrarrojos, sensores de conductividad térmica y cromatografía de gases. (Vaisala, 2023)
- Medición indirecta: El control es realiza en función de los parámetros de consumo de combustible y producción de petróleo. Es el método más frecuente usado en la estación de producción. (Garthwaite, 2018)

Una de las fórmulas para obtener las emisiones GEI mediante cálculos matemáticos en base a data de consumo y producción:

Ecuación 1: Cálculo de emisiones de gases efecto invernadero

$$Emisiones_{GEI} = Consumo\ de\ combustible_{combustible} \times Factor\ de\ emisión_{GEI,combustible}$$

Donde:

$$Emisiones_{GEI} = Emisiones\ de\ un\ gas\ de\ efecto\ invernadero\ [KgGEI]$$

$$Consumo\ de\ combustible = Cantidad\ de\ combustible\ consumido [T]$$

$$Factor\ de\ emisión = factor\ de\ emisión\ por\ defecto\ de\ gas\ (kg\ \frac{gas}{T})$$

Las emisiones de CO_2 de las instalaciones de producción de petróleo pueden provenir de una diversidad de fuentes, como la combustión de combustibles fósiles en equipos y maquinaria, las emisiones de la producción y el procesamiento, la conversión de petróleo y las emisiones en el transporte y distribución de hidrocarburos.

Los gases en el ambiente de la estación de producción es consecuencia de las operaciones, requiere un análisis cada uno de los procesos y equipos que contribuyen con el cambio climático. Las emisiones fugitivas en equipos son más frecuentes en los procesos de producción debido a la madurez de los campos.

1.5.3. Fuentes de emisión directa de CO_2 en una estación de producción

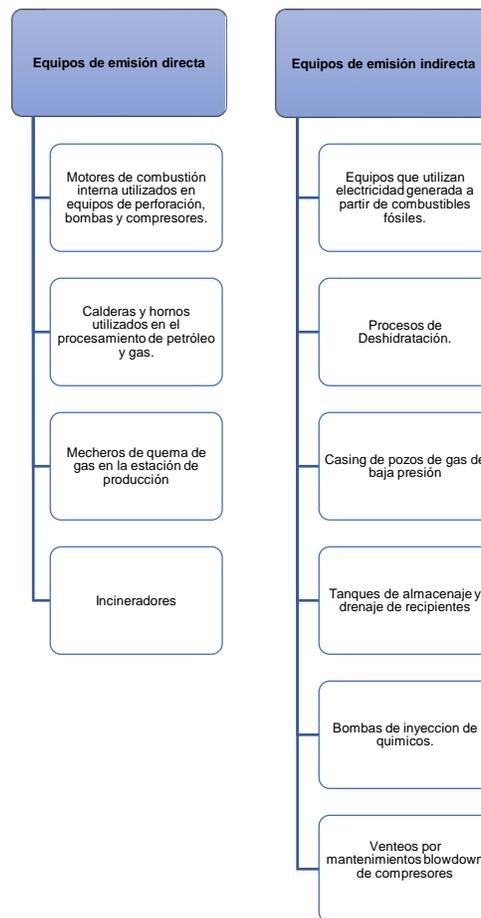
Están determinada por ser una fuente importante de emisiones GEI, estos son dados por la liberación de combustibles gaseosos a la atmósfera. A partir de las de los procesos de evaporación, incineración, generación de energía, motores de combustión.

1.5.4. Fuentes de emisión indirecta de CO_2 en una estación de producción

Es establecida por los procesos instituidos dentro de la estación de producción, equipos y operación que por el funcionamiento emiten emisiones sin fines de generación de energía o expulsión de desechos. En la Ilustración 9 podemos observar el listado de los equipos de emisiones directas e indirectas que se encuentran en una estación de producción de petróleo.

Ilustración 9: Equipos y proceso que producen emisiones en una estación de producción

Fuente: Elaboración propia.



Los procesos de producción como los que ayudan con la generación de energía, eliminación de gases, están denominados como emisiones directas. Por otra parte, en los tratamientos surgen emisiones indirectas que la finalidad de estos procesos es el funcionamiento óptimo de la estación, estas son consideradas como; emisiones indirectas de CO_2 . Así mismo se cuenta con emisiones fugitivas las que están dadas por las pérdidas

de gas a través de conexiones; bridas, válvulas, mallas, sellos de compresores, venteos, su clasificación no es apartada de los procesos indirectos, se establecen en la sección indirecta de CO_2 . (Alvarez , 2017)

Es necesario identificar cada uno de los factores de las emisiones provenientes de procesos provenientes, por tal motivo se quiere conocer sobre los tipos de gases más comunes que son aflorados en cada uno de los procesos

1.5.5. Gases de efecto invernadero en el sector petrolero

Las operaciones dentro de las estaciones de producción proporcionan emisiones de una manera indeliberada, provocando afectaciones en el medio ambiente. Los gases de efecto invernadero más importantes en el sector petrolero, son los siguientes:

- Dióxido de carbono: Es el mayor compuesto de gas incoloro encontrado en el ambiente de la estación, es producto por equipos y procesos de manera directa e indirecta.
- Metano: Es el segundo gas después del dióxido de carbono en mayor parte dentro del sector petrolero, su afloramiento se evidencia en la quema de mecheros y por emisiones fugitivas. (Environmental Defense Fund , 2015)

1.6. Normativa ISO 14064: Gases de efecto invernadero

Es una norma internacional que pertenece al grupo de las normas ISO 14000 de gestiones ambientales. Una herramienta muy importante para entidades que desean incursionar en actividades donde deberán ser regulados, siguiendo así, la estructura establecida por esta norma para los controles de calidad de las múltiples organizaciones.

La serie de normas ISO 1400 busca proporcionar una guía de desarrollo en los que comprende la administración del medio ambiente y la implementación de algunas estrategias para el análisis ambiental, tales como la clasificación y avalúo del ciclo de vida.

En esta serie de normas se encuentra ISO 10464 la tiene como finalidad otorgar la credibilidad de los reportes de Gases de Efecto Invernadero (GEI), aplicando los criterios ambientales de la norma: contabilización, verificación, prácticas internacionales en la gestión. La normativa consta de 3 partes:

- ISO 1464-1: Especificación para la cuantificación, seguimiento y presentación de las emisiones y absorciones de una organización.
- ISO 1464-2: Especificación para la cuantificación, seguimiento y presentación de la reducción de emisiones y el aumento de absorciones debidas a un proyecto.
- ISO 1464-3: Especificación con directrices para la validación y verificación.

Las dos primeras partes se encargan de realizar la etapa inicial del proceso donde ser realizaran los informes de inventarios. No obstante, la tercera parte está encargada de la verificación y validación de los procesos. A continuación, se profundizará en cada uno de ellos:

1.6.1. ISO 14064-1: Especificación para la cuantificación, seguimiento y presentación de las emisiones y absorciones de una organización

Al realizar el análisis ambiental tenemos muchos eventos que pueden provocar las emisiones, por tal motivo, se deben someter a una clasificación de emisiones; directas, indirectas por energía y otras emisiones indirectas. Posteriormente, realizar un seguimiento detalladamente, es así, como se podrá realizar un informe, organizando cada una de las

actividades, documentar los límites operativos. (Fronti De García, 2006) La normativa esta encargada al desarrollo del inventario de GEI de una organización por fuentes, tiene 4 componentes importantes dentro del inventario:

- Año base de contabilización.
- Emisiones y absorciones de GEI.
- Actividades que contribuyen con la reducción de emisiones o planes de absorción.
- Valoración y reducción de la incertidumbre.

1.6.2. ISO 14064-2: Especificación para la cuantificación, seguimiento y presentación de la reducción de emisiones y el aumento de absorciones debidas a un Proyecto

En esta parte de la normativa se mantiene un enfoque de cuantificación de las emisiones de los proyectos, realizando el respectivo informe técnico. El cumplimiento de los requerimientos depende de esta etapa, la descripción detallada será importante presentar de la siguiente manera como se lo muestra:

Ilustración 10: Datos de un proyecto GEI

Fuente: Información obtenida por el informe de Fronti De García (2006).

Contenido para la presentación del proyecto GEI

- Título del proyecto, propósito y objetivo.
- Tipo de proyecto y ubicación.
- Condiciones previas a la iniciación del proyecto.
- Un descripción de la forma en que el proyecto logrará las reducciones de emisiones o los aumentos de remociones GEI.
- Tecnologías del proyecto, productos, servicios.
- Probables reducciones de de emisiones o los aumentos de remociones GEI.
- Identificación de los riesgos que pueden afectar significativamente las reducciones de de emisiones o los aumentos de remociones GEI.
- Funciones y responsabilidades de todos los involucrados.
- Un resumen de la evaluación del impacto ambiental cuando la legislación o reglamentación aplicables exige dicha evaluación.

1.6.3. ISO 14064-3: Especificación con directrices para la validación y verificación

En esta parte se desarrollará la verificación del proyecto, asegurando que los requisitos son válidos y las declaraciones de las organizaciones tiene un cumplimiento eficaz. En la siguiente ilustración se detallará más la norma del proceso de validación y verificación.

Ilustración 11: *Requisitos para la validación y verificación del Proyecto*

Fuente: Información obtenida por el informe de Fronti De García (2006).

Requisitos para la validación y verificación

- Competencia de los validadores.
- Objetivos, ámbito, alcance, criterios y nivel de confianza.
- Proceso de validación y verificación: análisis de riesgos y plan de muestreo.
- Auditoría de los datos e información de GEI y sus controles.
- Auditoría contra los criterios de validación y verificación.
- Evaluación de la declaración de GEI.
- Informe de validación y verificación.
- Registros de validación y verificación.

En esta parte se garantiza el compromiso por parte de la organización con tener procedimientos con directrices ambientales cumpliendo con las normativas, aportando al proyecto una alta sostenibilidad.

La certificación de la normativa ISO 14064 proporciona a la organización diversas características, comprometiéndose con el cambio climático de una manera eficiente y cumpliendo las normativas establecidas por los entes regulatorios.

1.7. *Métodos de evaluación cualitativa y cuantitativa de impactos ambientales*

Para precisar la valoración del estudio que se realizara en esta investigación es esencial realizar planteamientos para medir y evaluar los efectos ambientales que tienen las operaciones.

1.7.1. Métodos de evaluación cualitativa

Los métodos cualitativos se basan en la descripción y evaluación subjetiva de los efectos de las operaciones. El método necesita de la recopilación de datos, juicios, y características físicas para poder implementar los siguientes técnicos:

1. Lista de verificación: Se utiliza para identificar y enumerar los impactos ambientales potenciales y evaluar su importancia en función de criterios cualitativos predefinidos (Melo Sandra, 2021).
2. Matriz Harc: Una vez identificado los incidentes o equipos que ocasionan cambios climáticos se categoriza cualitativamente evaluando la probabilidad y la gravedad de los riesgos del proyecto (Asana, 2022).
- Mapeo de proceso: Conjunto de actividades donde muestras las distintas etapas de un procedimiento; inicio, desarrollo, final. En este muestreo se presentan equipamientos, materias primas, insumos e información que agrupan el funcionamiento de un sector productor.

Al diseñar se tiene una conexión directa con cada uno de los procesos, teniendo una idea garantizada de su funcionalidad. (Sydle, 2022)

1.7.2. Métodos de evaluación cuantitativas

Basado en la cuantificación numérica de los efectos de las actividades petroleras, este método sirve para estimar y pronosticar eventos ambientales, dentro de las más comunes:

1. Investigación de campo: Es la adquisición de información a través de la recopilación de datos o la observación directa de personas o sujetos en su entorno natural. Es

decir, verifica a partir de datos procesados. Una de las herramientas utilizadas en el trabajo de campo es la entrevista con personajes directos, mediciones a instrumentos, evaluación e inspección. (Novoa Hoyos & Acevedo Garzón, 2013)

2. Modelos matemáticos: Mediante el uso de las estimaciones con ecuaciones los comportamientos de los sistemas, evidenciar los funcionamientos de los equipos, teniendo un mayor control y demostrar cuantitativamente los impactos ambientales. (Innocente, 2019)

1.8. Casos de estudio

Las principales oportunidades para contribuir con la mitigación de CO_2 son las detecciones de los puntos más altos de contaminación, sus causas, consecuencias, para poder evaluar mediante el mapeo y la medición es trascendental contar estudios tangibles que permitan solucionar conflictos reales de la industria, soluciones a corto y largo plazo. Tenemos los siguientes casos de estudios para analizar a fondo las soluciones operativas a los impactos ambientales:

1.8.1. Estudio en el yacimiento no convencional de Vaca Muerta (shale oil)

El estudio aporta con el análisis mediante la evaluación de métodos cuantitativos y cualitativos del caudalímetro multifásico espectro Vx de Schlumberger para supervisar los comportamientos de la producción de campo. La tendencia de los yacimientos no convencionales es una variabilidad de caudales y ratios de flujo.

Con respecto a las condiciones de presión y temperatura contienen un comportamiento con frecuencia versátil en su trayectoria de producción hasta el cabezal, al

existir múltiples fluidos en el desplazamiento se dificulta la toma de medición con exactitud de la cantidad producida y sus tendencias (Romero, y otros, 2015)

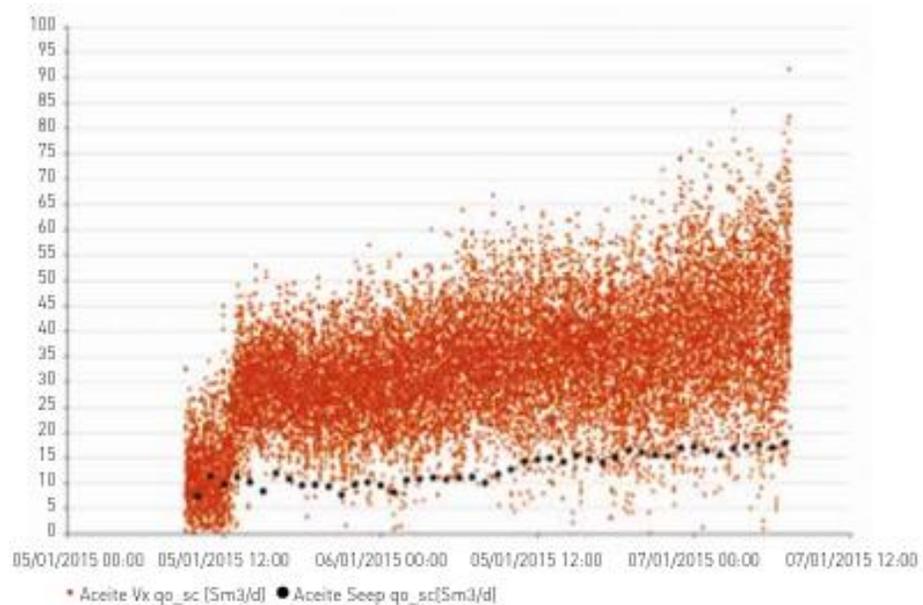
1.8.1.1. Metodología del trabajo

Se realizaron trabajos de medición durante 2 meses, realizando 59 ensayos a 20 pozos de producción.

En la repetibilidad de las mediciones en cada pozo era el objetivo para la evaluación, posteriormente, en el periodo de resultados se realizó una comparación con lecturas hechas en base a un separador de prueba convencional, registros históricos de producción.

Ilustración 12: Medición de producción de petróleo mediante Vx y separador convencional

Fuente: Información obtenida del informe de Romero y otros (2015).



El caudalímetro Vx spectra arrojó datos no divergentes, se ve un modelo y línea de tendencia en su muestreo, no obstante, difirió en gran cantidad con el método convencional. Dando así paso para la no obtención de pruebas óptimas y diagnósticos previos para un evento operativo.

La finalidad de la implementación de la medición multifásica VX spectra contribuye a sistemas de control de los fluidos, obteniendo con la frecuencia elevada de su muestreo, datos reales, y así permitiendo identificar pérdidas en válvulas, a su vez, el instrumento permite la medición del fluido sin tener que realizar despresurización como los tradicionales equipos, demostrando así su contribución con la mitigación de fugas de gases en las operaciones.

1.8.2. Propuesta de aplicación de bombeo multifásico en los sistemas de transferencia desde las macollas del área de extrapesado, hasta las estaciones de flujo, distrito morichal

En el distrito morichal tenemos un flujo extrapesado lo que sitúa múltiples desafíos para los ingenieros dentro del campo, es por esto, el cual con las nuevas tecnologías se plantea reducir estos parámetros con modernos sistemas de transferencia. A causa de la alta viscosidad en estos yacimientos la explotación se torna arduamente exigentes motivando a adquirir nuevas estrategias de producción. (Hernández, 2013)

Las bombas multifásicas son las encargadas de desplazar el caudal de pozo hasta las instalaciones de procesamiento, represente una transformación en la estación de producción omitiendo algunos equipos y procesos como; cabezales, bombas, tuberías y tanques (Hernández, 2013). En la rescisión de equipos, directamente existirá una disminución de combustibles fósiles, lo que consecuentemente conllevará a una disminución de emisiones equivalentes dentro del campo donde sea implementado la bomba multifásica.

1.8.2.1. Metodología de trabajo

En el desarrollo del trabajo de investigación se implementaron bombas multifásicas teniendo un simulador semejante a un simulador estático, sus principales variables para evaluaran fueron; presión, fracción volumétrica líquida, velocidades.

Ilustración 13: Caída de presión en red de tuberías

Fuente: Información obtenida de los resultados de la metodología de trabajo de Hernández (2013).



Se puede evidenciar como las presiones disminuyen en gran diferencia después de la etapa de las bombas multifásicas, no obstante, también podemos darnos cuenta del cambio de las geometrías de los oleoductos. Puede ser un punto de partida para un estudio subsiguiente.

1.8.3. Campo Sacha invierte para reducir consumo de diésel y emisiones de gas

Con el compromiso de EP Petroecuador con las políticas ambientales y la optimización de recursos. Se establecieron centrales de generación eléctrica en el campo Sacha, ubicando 4 generadores que utilizan gas asociado de petróleos, ahorrando 3,5 megavatios de energía, aliviando valores de \$4 millones anuales para el estado ecuatoriano (EP PETROECUADOR , 2021)

1.8.3.1. Recisión de mecheros en el campo Sacha

En las plataformas Sacha 198, Sacha 310, Sacha 410, se implementaron 3 thermal oxidizer procesa de manera eficiente el gas asociado, evitando así la contaminación de los gases. (EP PETROECUADOR , 2021)

Oxidante térmico de llama directa destruye todos los compuestos orgánicos volátiles, mediante la combustión interna dentro de la capsula evitando visualización y afloramiento de flamas. La eficiencia de estos “flares” es alrededor de un 96% de la eliminación de hidrocarburos en el gas asociado.

Aporta directamente un 15% de toda la producción petrolera del Ecuador, como tal, es una implementación que tienes grandes impactos favorables para la mitigación de gases y un aporte directo a la eficiencia energética. (EP PETROECUADOR , 2021)

Ilustración 14: *Thermal Oxidizer en campo Sacha*

Fuente: Fuente obtenida de informe de EP PETROECUADOR realizado al campo Sacha
(2021).



CAPÍTULO 2

2. Metodología

2.1. Descripción general

La transición energética exige a todas las industrias ser sostenibles, es por esto, que nacen las nuevas tecnologías dentro de la industria de petróleo y gas, para contribuir con el desarrollo de la mitigación de CO_2 dentro de las operaciones de la industria hidrocarburífera. Existen múltiples variedades de recomendaciones que están a disposición para mejorar la eficiencia en los campos petroleros, volviéndolos fiables para el funcionamiento dentro de un país.

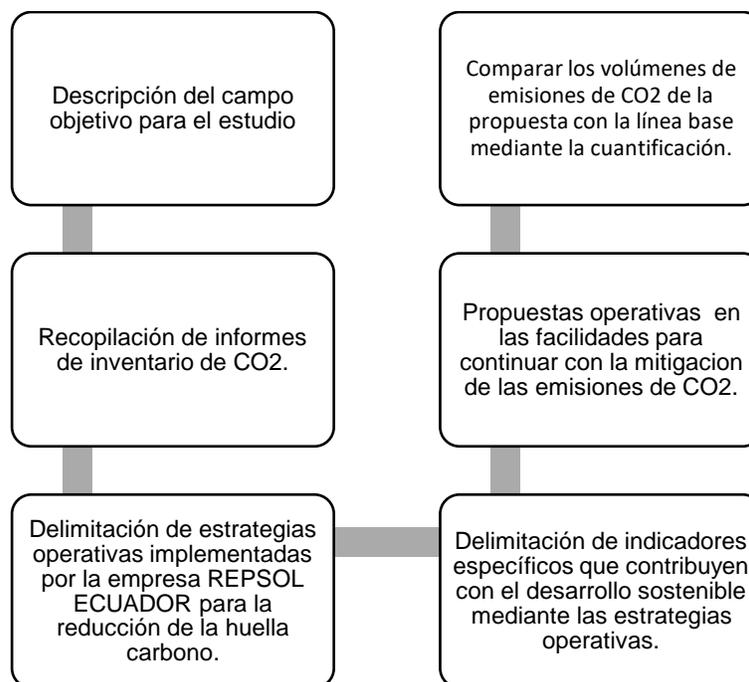
Se disponen de algunas propuestas operativas para el uso óptimo, trabajando en conjunto; la automatización y diversas estrategias operativas, alineadas con la tendencia de reducción de las emisiones de gases generadas por la industria petrolera.

Se tomó como referencia los inventarios de gases de efecto invernadero (GEI) y los planes de sostenibilidad publicados por la empresa REPSOL ECUADOR, desde el año base histórico 2011, mediante un análisis de las propuestas operativas en los ámbitos; ambiente, seguridad y cambio climático, obteniendo todos los recursos usados dentro de las estaciones de producción de bloque 16 para tener una idea real de los eventos que contribuyen con el cambio climático y realizar su respectivo análisis. En esta etapa el enfoque esta dará dado para el estudio de campo, es importante conocer cada uno de los factores que pueden influir en las operaciones, por tal motivo, se obtuvo los datos de las instalaciones de producción.

Desde el punto de vista operativo se va a determinar la operación que más influye dentro del campo con relación a los gases de efecto invernadero, para así, plantear una propuesta mejorando la línea base dentro del bloque 16. A continuación, se representa mediante un esquema la metodología a realizarse:

Ilustración 15: *Esquema de la metodología planteada en este estudio*

Fuente: Elaboración propia



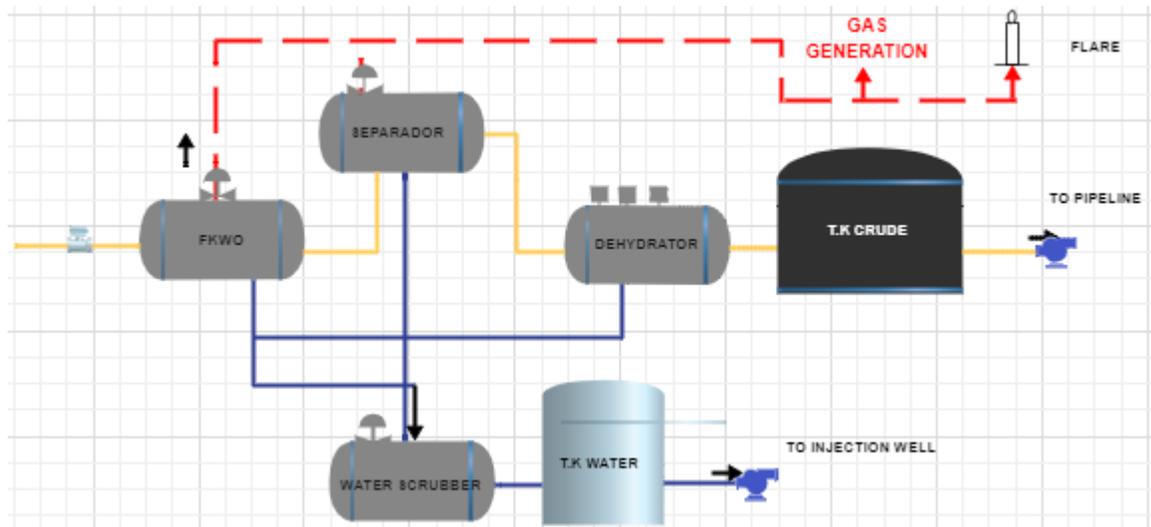
2.2. Descripción del campo objetivo para el estudio

El bloque 16 cuenta con dos instalaciones de producción, la instalación de Producción Sur (SPF) y la Instalación de Producción Norte (NPF), que procesan y separan el gas natural y el agua del crudo. El gas se utiliza para generar electricidad, el remanente se quema; el agua se trata y se inyecta al pozo reinector. (REPSOL, 2011)

En la figura 14 podemos observar cómo es el funcionamiento de las estaciones de producción comprendidas por el bloque 16.

Ilustración 16: Estación de producción del bloque 16 operado por REPSOL ECUADOR

Fuente: Diseño en base al informe de RESPSOL (2011).



En primer lugar, tenemos al receptor de los fluidos, luego, es enviado a un separador de agua libre donde en un 80% se separa el agua de los demás fluidos van a sus distintas líneas de procesamiento; tratamiento de gas, agua y petróleo. Tanto la estación NPF y SPF cuentan con esta distribución de facilidades, procesamiento de crudo, generación a gas e inyección de agua.

2.2.1. Facilidades de la estación Norte

La NPF es una planta de procesamiento de crudo que produce diariamente 1.700 bbl/d de diésel a partir de 8.500 bbl/d de crudo de 17 °API. Para el consumo propio aprovechan el diésel producido por la planta generando electricidad, a su vez, se utiliza un

sistema de bombeo de diésel para transportar crudo hasta la (SPF). La NPF cuenta con dos tanques de almacenamiento con capacidad de 7.600 bls cada uno. (REPSOL, 2011)

Para la generación eléctrica de la planta, se tienen 3 plantas, las cuales son:

- Planta de generación Waukesha: contiene 6 motores a gas; G-1172 A-F.
- Planta de generación Turbinas: contiene 2 motores; G-1170A, G-1170B.
- Planta de generación de emergencia: 6-1171.

La producción de diésel es muy importante dentro del campo se utiliza principalmente para impulsar el crudo desde pozos, el bombeo por oleoducto y la inyección de agua. Para su generación de energía cuenta con tres plantas de generación: una con seis motores a gas, otra con dos turbinas y una de emergencia con un motor a gas. La NPF es un aporte importante para abastecer de crudo a la SPF, es una planta de envío. (REPSOL, 2011)

2.2.2. Facilidades de la estación Sur

Es una planta de procesamiento que trata petróleo crudo con alto contenido de agua. La generación de electricidad se utiliza principalmente para extraer petróleo de los pozos y bombear agua. Es una de las plantas más grande de la zona este del sector petrolero. Cuenta con cuatro centrales:

- Planta de generación Waukesha: contiene 15 motores a gas G-3001 a G-3003 y G-3005 a G-3016.
- Planta de generación Wartsila: contiene 7 motores a crudo G-3170 A-G
- Planta de generación Turbinas: contiene una turbina dual LM2500
- Planta de generación de Emergencia: contiene 3 motores a diésel G-2942. G-3516, GM-KOLHER.

2.3. Recopilación de informes de inventarios de CO₂

La recopilación de datos fue íntegra, los informes de cada año fueron obtenidos por la empresa operadora del bloque, que desde el año 2011 alineó en sus operaciones planes de sostenibilidad dando origen a nuevas investigaciones para la contribución con el cambio climático y sobre todo a la cuantificación de gases de efecto invernadero dentro de sus instalaciones se podrá distinguir en la Tabla 1 en qué operación de la estación de producción se evidencian los puntos altos de contaminación y las emisiones equivalentes por fuentes.

Tabla 1: Histórico de Emisiones equivalentes en operaciones del bloque 16 realizado por Repsol

Fuente: Información recopilada de los informes de REPSOL desde el 2011 al 2018.

Año	Emisiones equivalentes por fuente (ton CO₂ eq)			(ton CO₂ eq)
	Combustión de crudo	Combustión de gas en proceso	Combustión de diésel	
2011	238.704	197.716	238.096	674.516
2012	224.346	201.897	260.483	686.726
2013	225.614	151.114	261.838	638.566
2014	No se brinda información específica por fuente			641.917
2015	No se dispone de información sobre este año			
2016	No se brinda información específica por fuente			601.639,05
2017	No se brinda información específica por fuente			576.373,40
2018	No se brinda información específica por fuente			570.048,72

Estos resultados realizados por la empresa Repsol en el año 2011 hasta el 2018 representan las emisiones dentro del bloque 16 y Tivacuno. Se puede observar los altos valores del inventario en las emisiones de combustión de crudo y combustión de diésel que tienen una oscilan muy cercana entre ellos. La variación de valores dependerá de las acciones que se realizaron anualmente para la contribución con la reducción de la huella de carbono, de igual forma, las operaciones y equipos implementados dentro de las facilidades de superficie. Las acciones son un indicador importante para nuestra y futuras investigaciones. Por lo tanto, fue importante conocer cada uno de los trabajos que se

efectuaron anualmente para el desarrollo de la mitigación de los gases de efecto invernadero.

2.4. Delimitación de estrategias operativas implementadas por la empresa REPSOL ECUADOR para la reducción de la huella carbono.

A partir del año 2011 la empresa REPSOL comprometió su responsabilidad con las normativas ISO 14064 en todas sus instalaciones de “Upstream”, teniendo alcanzado en todas las unidades de negocios que presentan, a nivel mundial. Aportando así, directamente un desarrollo integral en los procesos de las facilidades. Mediante la identificación nace las oportunidades para estandarizar metodologías en los diseños de operaciones, facilidades, eventos, gestiones de riesgos, proyecciones, garantizando el desarrollo de la línea base en cada uno de los años.

Cada año de operación se muestra distintas cuantificaciones con respecto a valores emisiones equivalentes dentro del bloque, esto indica una variación de las operaciones en temas como producción; eficiencia energética, cambios de equipos, nuevas unidades, paralización de procedimientos, optimización de procesos. Por tal motivo, es necesario para el desarrollo sostenible establecer planes de acción anuales con el fin de optimizar todos los recursos posibles, evidenciarlos en las facilidades de producción. Es preciso tener un récord histórico de las acciones hechas en cada año para analizar sus componentes más influyentes. A continuación, se observará en la tabla 2 lo que será la descripción de los procesos por año.

Tabla 2: Esquema para elaboración del plan acción por año

Fuente: Elaboración propia

Año	Acción
Año de ejecución del plan de acción	Se indica el plan de acción realizado con propósito de reducir los valores de emisiones equivalentes.

Las operaciones efectuadas están alineadas con el objetivo desarrollo sostenible de la energía, la mayoría de los planes ejecutados están inmersos a solucionar los problemas de eficiencia energética del campo. Sin duda alguna existen más operaciones y eventos contribuyentes a la reducción de emisiones de CO_2 , donde previamente habíamos identificado en Tabla 1 donde se encuentran las mayores emisiones equivalentes, es así como es muy trascendental efectuar acciones que vayan cumpliendo con las normativas del medio ambiente y eficiencia operacional. Reconocer cada uno de ellos va a ser muy importante en este estudio.

Es importante conocer cada una de las iniciativas planteadas para estar al tanto del avance que se tiene con la sostenibilidad dentro de la industria hidrocarburífera, son indicadores de los estudios realizados, el grado de importancia del dato equivale a optimizaciones significativas en cuanto a sector operativo y eficiencia energética.

2.5. Delimitación de Indicadores específicos que contribuyen con el desarrollo sostenible mediante las estrategias operativas estudiadas

En la planificación anual se establecen las operaciones a efectuarse en todo al año productivo entrante, planteando objetivos en busca de maximizar los impactos positivos y minimizar los negativos a lo largo de la cadena de valor. Es por esto, que están planteadas metas que buscan cumplir con las normativas ambientales y estándares internacionales.

En la siguiente Tabla 3, se presentó las iniciativas que dan respuestas a desafíos ambientales, descripción de las operaciones de réplica, indicadores, valor para el indicador y estará desarrollado por los años en el cual se demuestren en los inventarios.

Tabla 3: Esquema para delimitación de indicadores específicos que contribuyen con el desarrollo sostenible mediante las estrategias operativas estudiadas

Fuente: Elaboración propia

Tipo de acción	Descripción	Indicador	Valor
Se indica la acción de acuerdo con los tipos: ambiente, seguridad, cambio climático	Se describe la actividad realizada dando soluciones a cada tipo de acción	Se enlista el tipo de indicador	Se proporciona el valor y la unidad para el indicador correspondiente

Para tener un enfoque más desarrollado de cada una de las actividades que aportan positivamente al cambio climático y a las funciones integrales dentro de una estación de producción. Se realizó desde el año 2018 hasta el 2021, la clasificación de acciones de acuerdo con la operatividad de equipos y se adjuntó objetivos de seguridad personal, certificando así las operaciones seguras y reduciendo la tasa de riesgos laborales.

2.6. Propuestas operativas en las facilidades para continuar con la mitigación de las emisiones de CO₂

Se analizaron varios factores que influyen directamente a la reducción de las emisiones de CO₂, las gestiones operativas considerando eficiencia energética, aprovechamiento de gas, cambio de motores, son indicadores muy importantes para proponer un plan operativo para extender las labores de desarrollo sostenible. Adicionalmente, de acuerdo con la Tabla 1 existen porcentajes muy altos de emisiones en la combustión de diésel o gas. No es el más significativo para este estudio. Un estudio reciente nos expone que existe fallas en el

sistema de generación eléctrica para el campo, el equipo más tradicional dentro de las operaciones de abastecimiento eléctrico es el motor WAUKESHA.

Su sistema cuenta con algunos sistemas en estado de fallos, como el sistema de ignición, escape, combustión. Estos factores afectan directamente a la potencia que necesita el equipo, posteriormente, su funcionamiento se comienza a deteriorar hasta llegar a una detención total. (Cortez Méndez , 2017). Teniendo estos indicadores, se estableció una correlación de aspectos para proceder a implementar una solución a este cuadro de diagnóstico, no cabe duda de que, en el bloque 16 a lo largo de sus operaciones ha contado con muchas fallas en las operaciones de los motores a gas, modelo Waukesha para tener una solución inmediata y sostenible, es necesario ofrecer propuestas que están siendo desarrolladas en países de progreso hidrocarburífero.

2.6.1. Indicadores de consumo en las facilidades de producción del norte (NPF)

Mediante el análisis realizado por la ejecución de la delimitación del plan de acción de la en el campo. Se evidenció trabajos constantes en el área de la eficiencia energética y así mismos indicadores que nos permitió calcular factores influyentes para sostener la nueva propuesta

Esta implementación fue exitosa debido a que hubo una transición efectiva como podemos observar en la Tabla 4.

Tabla 4: *Indicadores de mejora del proyecto 2018 plan de Sostenibilidad realizado por la empresa REPSOL ECUADOR*

Fuente: Datos tomados de REPSOL (2018).

	Año 2018 sin plan de acción	Año 2018 con plan de acción
Consumo específico de diésel	49,42 barriles	47,89 barriles
Generación eléctrica a diésel	20 megavatios-día	18,70 megavatio-día

En la identificación verificada se encontró que los altos contaminantes se encuentran en los consumos de combustibles, entonces, se planteara las soluciones operativas tener un mejor aprovechamiento de las facilidades presentadas en el bloque y a su vez, cumplir la disminución de expendio de combustibles, consecuentemente, disminuir las emisiones de gases en las facilidades.

2.6.2. Equipos para la nueva ejecución de cambio en generadores

Debido a la problemática ambiental se ha dado origen a nuevas metodologías de trabajo en los campos petroleros, unas técnicas ya están en el entorno de producción y otras en desarrollo, correspondiente al sector hidrocarburífero.

Determinar el nivel de las tecnologías modernas para la operación dentro del campo es importante, por lo tanto, cada una de las tecnologías entraran en un análisis exhaustivo.

Las tecnologías más vigentes en el marco de la producción de petróleo utilizando el gas como fuente de energía son:

- Energy Pioneer: Diseño un separador de gas alcano (MAGS), el cual convierte el gas remanente en energía. Es una plataforma móvil que consta de 4 operaciones; compresión, deshidratación, refrigeración y separación. Mediante la captura de metano se puede usar reemplazando el combustible diésel y el resto de los compuestos puede ser transportado usado de manera comercial. (eog, 2023)
- Flex Leasing Power and Service: La compañía Otorga la turbina Flex Energy que contribuye con la transformación de gases de combustión asociados y gases naturales en energía eléctrica, actualmente tiene ya una vigencia probada de 15 años en la industria petrolera. (FLEX ENERGGY SOLUTIONS, 2023)

2.6.3. Análisis de requerimientos básicos considerando criterios de eficiencia energética a gas

Para la implementación de nuevos recursos innovadores, el prototipo debe ser ubicado en un diagnóstico definiendo a detalle las características de cada una de las nuevas propuestas, aportando el aprovechamiento del gas asociado para la generación eléctrica que nos ayudaran a resolver la problemática. Como podemos observar en la siguiente Tabla 5:

Tabla 5: Análisis del cumplimiento de requisitos básicos

Fuente: Elaboración propia

	Consumo energético	Composición del gas	Aplicación en campo		
Alternativas	Abastecimiento eléctrico mínimo 120kW	Resistencia a contaminantes	Fácil remoción de contaminantes	Tecnología aplicada	América Del Sur
Pionner Energy	1	0	1	0	1
Flex Leasing Power and Service	1	1	1	1	1

Correspondiente al análisis de los requerimientos básicos que necesita la nueva tecnología para ser implementada, se definieron estos criterios de valor; 1 siendo el valor que cumple y 0 está dado para las que no cumplen con las necesidades del requerimiento.

Con esta nueva tecnología crea una tendencia para la generación de nuevas implementaciones en las operaciones dentro de la estación de producción, como el aprovechamiento directo mediante una línea de gas, incrementar el abastecimiento de electricidad para más equipos de las facilidades de superficie, reducir equipos de tratamiento de gas debido al bajo requerimiento de procesamiento de gas para la turbina

Flex. Estos procedimientos sin duda alguna son propuestas innovadoras que ayudaran al aprovechamiento de la producción y cambio climático, dando paso para futuros estudios.

2.6.4. Propuesta de la línea base dentro del campo

A partir de la información selecta en esta metodología se utilizó las características de cada una de las dos propuestas para analizar los requerimientos básicos que deben cumplir. Es importante definir los parámetros para establecer un proceso de evaluación correcto el cual creará el prospecto del sistema a plantear.

A continuación, en la Tabla 6, se evidenciará datos del gas consumible dentro del bloque y las características de operación del motor Waukesha y el gas asociado.

Tabla 6: *Balance térmico de motor Waukesha VHP L704GSI*

Fuente: Datos tomados de Mollacana Jacome y CaizaLuisa (2019).

Características	Valor
Consumo de Combustible Gas HLV	970,0 BTU/ft ³
Volumen de entrada de gas	268,57 (mcsf)
Potencia de gas	3184,15 kW
Potencia eléctrica	800 kW
Densidad del gas	1,146 kg/m ³

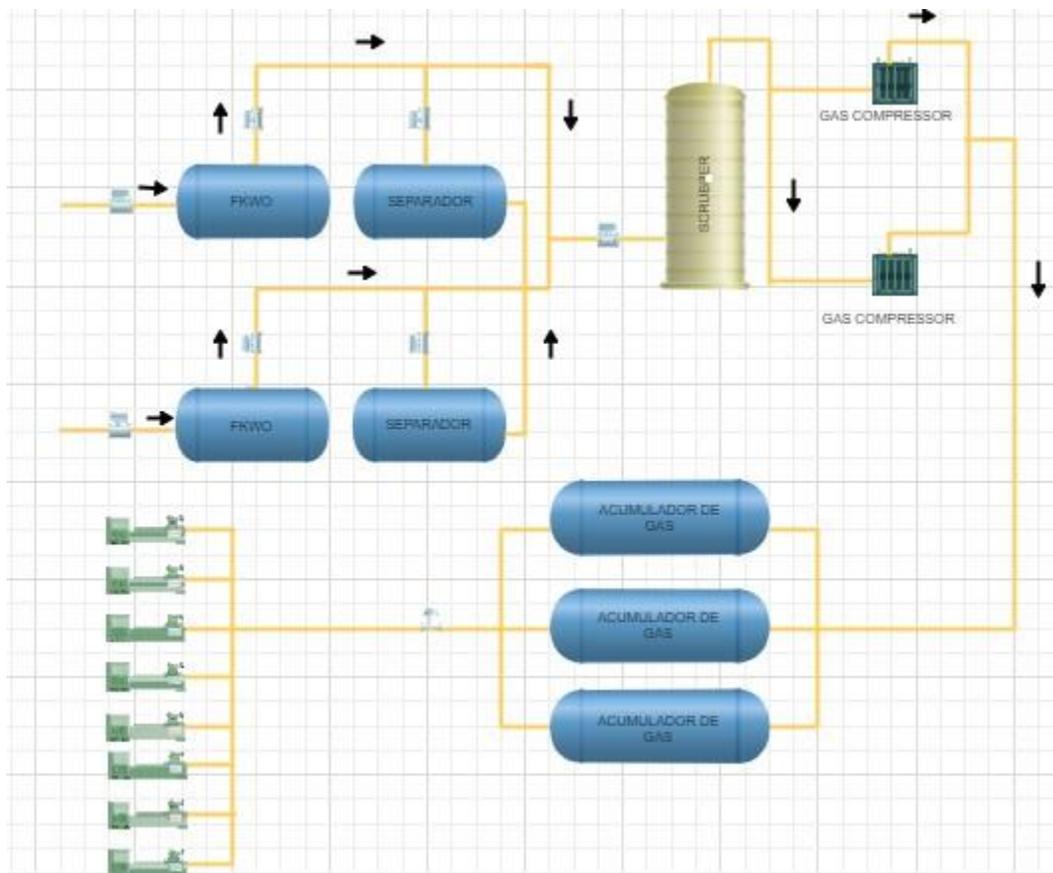
El balance térmico del motor Waukesha y los datos del gas consumible nos permitirán realizar cálculos de rendimiento para la nueva propuesta y a su vez, efectuar la comparación respectiva de la propuesta línea base con la nueva propuesta. Estos factores fueron obtenidos mediante la cromatografía de gases realizada al gas en la entrada del motor, con

la ayuda de un sensor avanzado, este hecho se cometió en las instalaciones de la estación NPF.

Adicionalmente, es importante presenciar cómo funciona las facilidades para la generación eléctrica de los motores Waukesha.

Ilustración 17: *Tratamiento de gas asociado para generación eléctrica*

Fuente: Información recopilada en REPSOL (2012).



El gas proviene del separador libre de agua que está ubicado en la etapa inicial de la central de procesamiento, la línea de proceso aterriza en los separadores de producción, su funcionamiento realiza la separación de fluidos enviándolo por sus respectivos trenes. Luego el gas es enviado al scrubber donde se condensarán los gases contaminantes

mediante un lavado del gas. Una vez efectuado el tratamiento es enviado el fluido a dos compresores para adquirir un sistema de lanzamiento, incrementado su presión y enviado a los acumuladores. Finalmente es depositado en los acumuladores de gas el cual cuenta con muchas funciones importantes para el desenlace del proceso como; almacenar el gas, estabilizador del flujo.

Utilizaremos las características del motor y especificaciones de su entorno para hallar la eficiencia de la energía del gas asociado y la eficiencia del nuevo motor propuesto.

2.6.5 Cálculo de la energía del gas asociado y eficiencia del motor

Con los datos de las características del motor WAUKESHA, se tiene antecedentes para proceder con las estimaciones de rendimiento. En la Tabla 10 hay el volumen de entrada de gas, el cual conjuntamente con el poder calorífico inferior del gas del nuevo motor (LHV) ayudarán a calcular la energía del gas combustible, mediante la siguiente la fórmula que se presenta a continuación:

Ecuación 2: *Energía del gas asociado*

$$E_{gas} = LHV * V_{gas}$$

Donde:

- E_{gas} : Energía del gas combustible
- LHV : Poder calorífico inferior del gas
- V_{gas} : Volumen de entrada de gas

A partir de este valor, se halló la potencia de gas asociada dentro del motor para tener una relación entre $P_{eléctrica}$ y P_{gas} , como se mostrará a continuación en la siguiente formula:

Ecuación 3: Potencia del gas requerido

$$P_{gas} = \frac{E_{gas}}{24h}$$

Por lo tanto, con la P_{gas} obtenida, se procedió a calcular la eficiencia de la nueva propuesta.

Ecuación 4: Eficiencia de motor

$$n = \frac{P_{eléctrica}}{P_{gas}}$$

Se realizó una evaluación del rendimiento de los motores de línea base con la nueva propuesta, teniendo así un análisis cuantitativo de la eficiencia de motores y variables importantes en el desempeño, consumo y potencias de las máquinas con respecto al gas asociado.

2.6.6 Análisis comparativo mediante el cálculo de los gases de efecto invernadero del nuevo motor con la propuesta de la línea base

Para garantizar que la propuesta cumple con las normativas ISO 14064 se obtuvo la cuantificación de los gases emitidos por las propuestas estudiadas. De tal forma, se alcanzó la cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero que emite cada uno de los motores mediante datos realizados con relación a la potencia, energía y volumen de gas. Es así como se evaluó si la propuesta fue eficiente en el consumo de combustible y se redujo las emisiones emitidas al exterior.

Una vez obtenido el consumo fue importante obtener la masa de la cantidad del flujo en combustión, y se la logró con la siguiente ecuación.

Ecuación 5: Masa de combustible

$$\text{Volumen}_{m^3} = \text{Masa kg} \times \text{Densidad}_{kg/m^3}$$

La estimación fue realizada para ambas propuestas, es decir, se tienen como datos iniciales el flujo de combustión del gas que necesita cada una de las propuestas para su óptimo funcionamiento y el dato de la densidad del gas asociado, el cual fue obtenido en la cromatografía. A partir de la cuantificación de estas variables, se tuvo el consumo de combustible en kilogramos, dando paso para el cálculo de las emisiones, no obstante, se observó los factores de la siguiente ecuación:

$$\text{Emisiones}_{GEI}$$

$$= \text{Consumo de combustible}_{combustible} \times \text{Factor de emisión}_{GEI,combustible}$$

Para establecer el objetivo del estudio fue importante realizar un análisis comparativo entre las emisiones de la propuesta línea base y la nueva propuesta, para cumplir con las normativas *ISO 14064-1*.

2.7. Procedimientos con planes preventivos para la mitigación de contaminación

Con respecto a lo desarrollado en las evaluaciones de los inventarios de emisiones de gases de efecto invernadero y propuesta operativa, se destacan los planes más desarrollados, para así implementar procesos para que se mantengan las propuestas mediante diseños de control y automatización.

Garantizando así el compromiso por reducir la huella de carbono y el desarrollo integral dentro del bloque 16.

CAPÍTULO 3

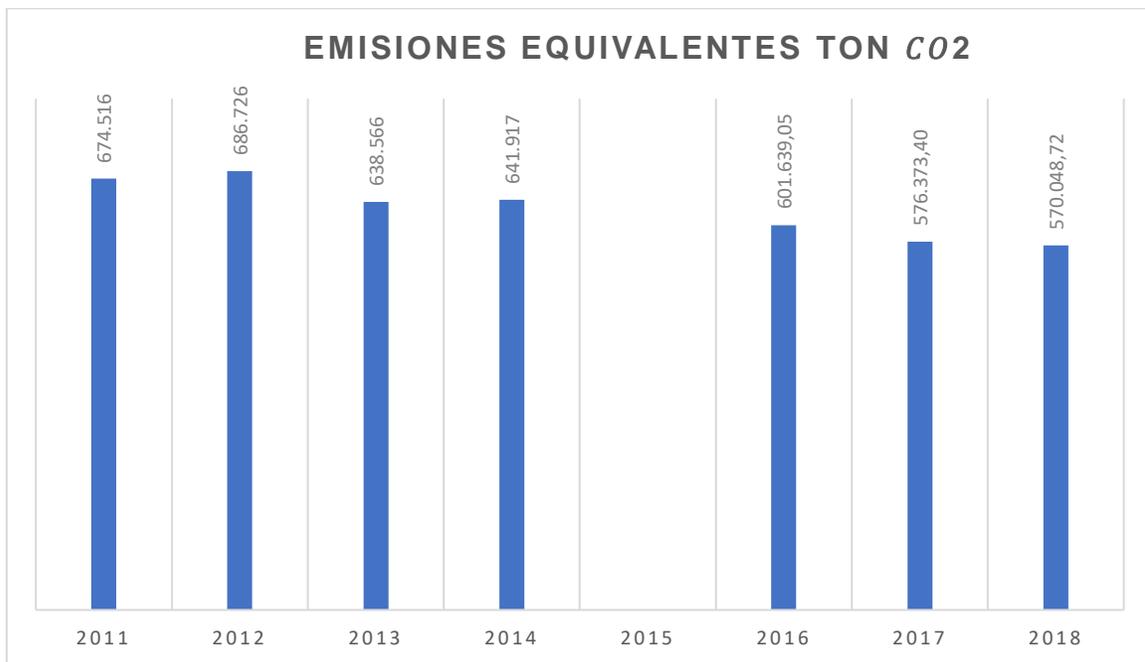
3. Resultados

Para ilustrar la aplicabilidad de la metodología definida en el capítulo anterior, el estudio ha tomado como referencia los informes de inventarios de emisiones y planes de sostenibilidad, para estimar los planes preventivos, las emisiones equivalentes para predecir los comportamientos dentro del bloque 16.

3.1. Emisiones equivalentes por año en el bloque 16

Ilustración 18: Emisiones de CO2 equivalentes por año

Fuente: Información recopilada de informes de REPSOL desde el año 2011 hasta el 2018.



Para la minimizar los impactos ambientales y riesgos de trabajadores, es fundamental implementar planes preventivos y medidas a desarrollarse en las operaciones

hidrocarburíferas. Este estudio, mostrara cada uno de los planes que se han realizado para disminuir impactos negativos asociados con las operaciones petroleras dentro del bloque 16. Su enfoque estará en las acciones realizadas para la disminución de las emisiones de gases, gestiones de riesgos, mejora del medio ambiente, prevención del cambio climático.

3.2. Estrategias operativas implementadas para la reducción de la huella carbono

Por lo consiguiente se presentará las acciones que han aportado con la mitigación de los gases de efecto invernadero por cada año, desde el 2011

Tabla 7: *Acciones anuales realizadas por la empresa REPSOL ECUADOR para la mitigación del cambio climático*

Fuente Información recopilada de los informes de REPSOL desde el 2011 al 2018.

Año	Acción
2011	Modificaciones del sistema de recuperación de gas del Northern Production Facility (NPF) en la unidad de topping.
2012	La Unidad de Negocio de Ecuador no presenta ninguna acción dirigida enmarcada dentro de los trabajos de desarrollo del Inventario de CO ₂ para 2012
2013	Recuperación del gas asociado producido en la Plataforma Tivacuno para uso en la generación de electricidad en NPF
2014	<ul style="list-style-type: none">• Mejoramientos en generación eléctrica.• Implantación de mejoras en quemadores en el horno de la planta Topping.• Cambios de los motores de las bombas, mejorando consumo y emisiones.

2015	La Unidad de Negocio de Ecuador no presenta ninguna acción dirigida enmarcada dentro de los trabajos de desarrollo del Inventario de CO_2 para 2015
2016	La Unidad de Negocio de Ecuador no presenta ninguna acción dirigida enmarcada dentro de los trabajos de desarrollo del Inventario de CO_2 para 2016
2017	La Unidad de Negocio de Ecuador no presenta ninguna acción dirigida enmarcada dentro de los trabajos de desarrollo del Inventario de CO_2 para 2017
2018	<ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="1163 865 1969 971">• El proyecto de eficiencia energética de suspensión de la recirculación de agua. <li data-bbox="1192 1011 1944 1193">• Fomentar la utilización del gas para la generación eléctrica en las facilidades de producción del norte (NPF).

2019	Disminuir el consumo energético en los sistemas de bombeo electro-sumergible mediante la continua optimización de diseños y selección de aplicaciones.
2020	Disminución del consumo energético en los sistemas de bombeo electro-sumergible mediante la continua optimización
2021	Disminuir el consumo energético en los sistemas de bombeo electro sumergible mediante la continua optimización de diseños y selección de aplicaciones

Las intervenciones ejecutadas en las operaciones están inmersas en las facilidades de producción de las estaciones del bloque 16. En los cuatros años iniciales se efectuaron acciones relacionadas con la recuperación del gas y eficiencia energética. Para el tercer año de operaciones podemos ver en la gráfica de emisiones anuales, un descenso de 48,16 $tonCO_2$ en emisiones, lo que corresponde a óptimas decisiones la implementación, estudio y desarrollo de estas acciones. Posteriormente se continuo con la tendencia de la utilización de gas para la generación eléctrica, así mismo se le implemento nuevas tecnologías para tener controles automatizados para prevenir daños en los equipos e identificar más eficientemente las fallas.

3.3. Indicadores específicos que contribuyen con el desarrollo sostenible mediante las estrategias operativas

Así mismo se mostrará los conductores estratégicos de las acciones operativas que se presentan dentro del bloque 16, garantizando así aspectos ambientales, seguridad de trabajadores, y cambio climático; con una descripción detallada de la acción, que contendrá un propósito específico y un hecho. Se estableció las labores por año desde el 2018, como podemos ver a continuación:

Tabla 8: *Plan de sostenibilidad, tipo de acción, descripción, indicador, valor en el año 2018*

Fuente Información recopilada de los informes de REPSOL (2018).

Tipo de acción	Descripción	Indicador	Valor
Seguridad	Sesiones formativas sobre la seguridad en la logística de las personas y contratistas que ingresan y salen al / del Bloque 16 y 67 (Tivacuno).	Registrar la formación de 50 personas.	Capacitación a 1.500 conductores
Seguridad	Auditorias cruzadas a la implementación de los	2 auditorías cruzadas, una por semestre.	En julio se realizó la 1era auditoria, posteriormente, se

	estándares de desempeño de los elementos críticos de seguridad.		tomaron correctivos para la 2da ejecución
Medio Ambiente	Revegetación de las áreas Facilidades de Producción del Sur (SPF) y la plataforma de Wati.	Alcanzar con el 80% del prendimiento	Se alcanza un prendimiento del 97%.
Medio Ambiente	Restauración de la zona de Amo A en el Bloque 16.	Alcanzar con el 80% del prendimiento	Se alcanza un prendimiento del 94,35%.
Cambio Climático	Cierre de la recirculación de 80.000 barriles de agua de inyección por día.	Ahorro energético de 2,5 megavatios-día	Ahorro energético de 3,9 megavatios-día en generación eléctrica
Cambio Climático	Gas usado en quemadores de las calderas enviado a generación eléctricas.	Incrementar la generación eléctrica a gas en las	Superado el objetivo de incremento del 5% respecto de 2017 (donde la

		facilidades del norte (NPF) en un 5% respecto al 2017.	generación eléctrica fue de 3,6 megavatios-día.
Cambio Climático	Mejorar la estrategia operativa de las turbinas de las facilidades de producción del norte	Reducir el consumo específico de 49,42 a 48,42 barriles de diésel por cada megavatio-día.	Consumo específico de diésel 47,89 barriles de diésel por cada megavatio-día.
Cambio Climático	Reemplazar bombas electrosumergibles en pozos productores de petróleo para mejora de su eficiencia energética	Incrementar el indicador de barriles de fluido por potencia consumida en un 20%	Alcanzando 19% de incremento en el indicador con respecto a la línea base

Para el año 2019 se realizaron las siguientes acciones, representadas en la siguiente Tabla 9:

Tabla 9: *Plan de sostenibilidad, tipo de acción, descripción, indicador, valor en el año 2019*

Fuente: Información recopilada de los informes de REPSOL (2019).

Tipo de acción	Descripción	Indicador	Valor
Seguridad	Auditoria cruzada a la implementación de los estándares de desempeño de los elementos críticos de seguridad.	Una auditoría cruzada en el primer semestre del año.	Superado el objetivo inicialmente planteado reformulando todo el proceso.
Seguridad	Análisis para identificar aquellas barreras de seguridad de procesos basadas en personas	Matriz completa de análisis entregada hasta fin de año	Identificado las tareas y procesos críticos para la seguridad y el ambiente basadas en la persona dentro

			del proceso de Hazard Management
Medio Ambiente	Plan de restauración de Amo A para el 2019.	Alcanzar el 100%	Cumplido al 100% la reforestación de las áreas afectadas conforme el plan de restauración
Medio Ambiente	Ahorro del consumo de agua dulce en el proceso de lavado del crudo	Reducir el consumo de agua dulce en 40 barriles al día	Reducción de 300 BPD en 2018 a 250 BPD en 2019
Cambio Climático	Disminuir el consumo energético en los sistemas de bombeo electro-sumergible mediante la continua optimización de diseños	Disminuir en 750 barriles de diésel el consumo del parque electro-sumergible para el año 2019	El consumo energético realizadas pozo a pozo representan una disminución de uso de diésel de 6,521 bbl

Para el año 2020 se realizaron las siguientes acciones, representadas en la siguiente Tabla 10:

Tabla 10: Plan de sostenibilidad, tipo de acción, descripción, indicador, valor en el año 2020

Fuente: Información recopilada de informes de REPSOL y elaboración propia.

Tipo de acción	Descripción	Indicador	Valor
Seguridad	Inspecciones cruzadas a cargo de los coordinadores de todas las áreas y médicos laborales se les asigna la responsabilidad de implementar una lista de verificación de seguridad	Alcanzar el 100% del plan de inspecciones antes del 31 de diciembre de 2020.	Elaborado el plan de inspecciones cruzadas con sus respectivas listas de verificación para cada locación del Bloque 16 y del Bloque 67
Seguridad	Evaluar los riesgos y mitigarlos previo a posibles cambios en las instalaciones	Implementar el procedimiento antes del 30 de noviembre de 2020.	Evaluación y mitigación de los riesgos en los cambios y mantenimientos dentro de las instalaciones de los Bloques
Medio Ambiente	Reducción de riesgos para evitar fugas o derrames que	Alcanzar el 100% del plan de minimización de riesgos	Terminado el análisis de riesgo para los 15 escenarios

	alcancen el ambiente en los activos operados	antes del 31 de diciembre de 2020.	de posibles derrames con el método CEL (consequences, exposure and likelihood)
Cambio Climático	Acción Reducir las emisiones de CO2 a través de la disminución del consumo energético en los sistemas de bombeo electro-sumergible	Disminuir en 750 bbl de diésel el consumo del parque electro-sumergible para el año 2020	Ahorro de 3.424 bbls de diésel y reducción de 1.458t CO ₂
Cambio Climático	Conectar la planta ubicada en la ciudad de Shushufindi al sistema nacional eléctrico (energía hidráulica) por medio de la Corporación Nacional de Electricidad de Ecuador	Reducir 3000 toneladas de CO ₂ considerando como línea base el año 2019	Implementado la iniciativa de interconexión al sistema nacional eléctrico, lo que ha significado una reducción en el tiempo de operación de las turbinas a diésel. Reducción de 4.864t CO ₂

Para el año 2021 se realizaron las siguientes acciones, representadas en la siguiente Tabla 11:

Tabla 11: Plan de sostenibilidad, tipo de acción, descripción, indicador, valor en el año 2021

Fuente: Información recopilada de informes de REPSOL y elaboración propia.

Tipo de acción	Descripción	Indicador	Valor
Seguridad	Inspecciones cruzadas a cargo de los coordinadores de todas las áreas y médicos laborales se les asigna la responsabilidad de implementar una lista de verificación de seguridad	Alcanzar el 100% del plan de inspecciones antes del 31 de diciembre de 2020.	Elaborado el plan de inspecciones cruzadas con sus respectivas listas de verificación para cada locación del Bloque 16 y del Bloque 67
Seguridad	Evaluar los riesgos y mitigarlos previo a posibles cambios en las instalaciones	Implementar el procedimiento antes del 30 de noviembre de 2020.	Evaluación y mitigación de los riesgos en los cambios y mantenimientos dentro de las instalaciones de los Bloques
Medio Ambiente	Reducción de riesgos para evitar fugas o derrames que	Alcanzar el 100% del plan de minimización de riesgos	Terminado el análisis de riesgo para los 15 escenarios

	alcancen el ambiente en los activos operados	antes del 31 de diciembre de 2020.	de posibles derrames con el método CEL (consequences, exposure and likelihood)
Cambio Climático	Acción Reducir las emisiones de CO2 a través de la disminución del consumo energético en los sistemas de bombeo electro-sumergible	Disminuir en 750 bbl de diésel el consumo del parque electro-sumergible para el año 2020	Ahorro de 3.424 bbls de diésel y reducción de 1.458t CO ₂
Cambio Climático	Conectar la planta ubicada en la ciudad de Shushufindi al sistema nacional eléctrico (energía hidráulica) por medio de la Corporación Nacional de Electricidad de Ecuador	Reducir 3000 toneladas de CO ₂ considerando como línea base el año 2019	Implementado la iniciativa de interconexión al sistema nacional eléctrico, lo que ha significado una reducción en el tiempo de operación de las turbinas a diésel. Reducción de 4.864t CO ₂

En cada uno de los años se desarrolló planes de manejos ambientales el cual nos permite tener un control y monitoreo constante de los eventos que ocurren en el entorno del campo. La capacitación del personal es proporcionar mediante el conocimiento practicas seguras y responsables, promoviendo la cultura de seguridad dentro del bloque. Por otra parte, se tuvo abastecimiento de tecnología en los planes inmersos en las facilidades de producción, así es como se mantuvo la producción constante y se realizaron cambios en los equipos.

Los indicadores son los que marcan la proyección de la acción, los valores representan todas las acciones que fueron satisfactorias. A su vez evidenciamos planes repetitivos los cuales nos pueden decir que su acción es eficiente o que mediante la acción iterativa va evolucionando. Es así, como el estudio se enfocará en la eficiencia energética mediante la implementación de mejoras en la recuperación del gas con la disminución de combustible, promoviendo así un menor consumo y mitigación de los gases de efecto invernaderos.

3.4. Selección de motor candidato a cambio

Desde el año 2011 se realizaron inventarios de gases de efecto invernadero, por lo cual, se tiene datos importantes sobre las emisiones de CO_2 . En el año 2013 se tienen los valores de emisiones por crudo, emisiones por diésel y gas en proceso; sus valores son $225.614 tCO_2$, $151.114 tCO_2$, $261.838 tCO_2$ respectivamente, con un total de $638.566 tCO_2$.

En este estudio es importante conocer los equipos que generan los altos contaminantes en el bloque 16. Por motivos de costos y producción este proyecto se enfocará en los motores a gas, para la generación eléctrica.

Por lo consiguiente, entre las dos estaciones del bloque 16, North Production Facilities (NPF) y South Production Facilities (SPF) se tienen 6 plantas de generación, 3 respectivamente para cada una. Debido a los reportes se tiene una problemática dentro del campo, el cual sus motores a gas sufren constantemente dificultades en su sistema de combustión produciendo interrupciones eléctricas y deteniendo la producción del campo. Por tal motivo, para este estudio se ha planteado realizar cambio al motor que se adquirió su balance térmico, donde estimaremos mediante análisis de campo existente, mostrado en la Tabla 6, del motor WAUKESHA VHP L704GSI.

Tabla 12: *Motor seleccionado del bloque 16 para su cambio*

Fuente: Elaboración propia

Motor seleccionado	Estación	Serie
Planta de generación		
Waukesha	NPF	VHP L704GSI

3.5. Comparación de rendimiento de la propuesta línea base con la nueva propuesta

Consiguientemente se ha realizado un cuadro comparativo de las características que influyen directamente con el funcionamiento, combustión, salidas de escape y emisiones de la propuesta línea base con la nueva propuesta.

Tabla 13: Cuadro comparativo de rendimiento de las propuestas

Fuente: Elaboración propia en base a información de informe de rendimiento del motor Waukesha L7042GSI VHP y Turbina Flex GT333S.

Motores seleccionados	Consumo de combustible(kW)	Emisiones		Temperatura de escape (C)	Calor máximo disponible kW
		NOx (g/bhp-h)	CO (g/bhp-h)		
Waukesha L7042GSI VHP	3304	13,00	9,00	376	962
Turbina Flex GT333S	1025	9,32	9,32	264	556

3.6. Cálculo para determinar el rendimiento de las propuestas

Mediante los datos obtenidos de la Tabla 5, se ejecutará el cálculo de la eficiencia requerida del motor de la propuesta actual para funcionar con el gas combustible implementado.

$$n = \frac{P_{el\acute{e}ctrica}}{P_{gas}}$$

$$n = \frac{800 \text{ kW}}{3184,15 \text{ kW}}$$

$$n = 0,2512$$

La relación del rendimiento expresa a la cantidad de trabajo que necesita la máquina para entrar en producción y así producir la electricidad esperada.

3.7. Cálculo de la nueva potencia de gas requerida para la nueva propuesta

Con la ecuación de rendimiento de motor, procederemos a calcular la nueva potencia de gas que va a requerir aprovechar la nueva propuesta, la cual cuenta con un 33% de rendimiento.

$$n = \frac{P_{el\acute{e}ctrica}}{P_{gas}}$$

$$P_{gas} = \frac{P_{el\acute{e}ctrica}}{n}$$

$$P_{gas} = \frac{800 \text{ kW}}{0,33}$$

$$P_{gas} = 2424,24 \text{ kW}$$

Con la potencia eléctrica de $800kW$ que necesitan los equipos para ser abastecidos, se relaciono con el rendimiento de la turbina flex GT333S para conocer cual ser la nueva potencia que necesitara nuestro nuevo equipo para abastecer la potencia eléctrica requerida y funcionar eficientemente. La potencia del gas requerida se redujo en $759,91 kW$ con la nueva propuesta.

3.8. Determinación de la energía del gas con la nueva propuesta

$$E_{gas} = P * t$$

$$E_{gas} = 2424,24kW * 24h$$

$$E_{gas} = 58181,81kWh$$

3.9. Cálculo de consumo de combustible mediante la energía y poder calorífico del gas asociado

$$E_{gas} = LHV * V_{gas}$$

$$V_{gas} = \frac{E_{gas}}{LHV}$$

$$V_{gas} = \frac{58181,81kWh}{970,9 \frac{BTU}{ft^3} * 0,00029307107 \frac{kWh}{BTU}}$$

$$V_{gas} = 204474,8215 ft^3$$

Mediante la energía del gas asociado usado para el funcionamiento de la turbina flex GT333S, se calculó la cantidad de combustible que necesita el equipo para trabajar.

3.10. Comparación del consumo combustible de ambas propuestas

Si se compara las emisiones equivalentes del motor Waukesha L7042GSI VHP con respecto a la nueva propuesta Turbina Flex GT333S, se tiene como resultado que antes se consumía 268570 ft^3 y ahora se consumen $204474,8215 \text{ ft}^3$ logrando una diferencia de $64095,1785 \text{ ft}^3$. Es decir, que con este nuevo sistema implementado hay una reducción de consumo de gas por el mejor rendimiento del motor.

Tabla 14: Cuadro comparativo de potencia de gas y consumo de combustible por cada una de las propuestas

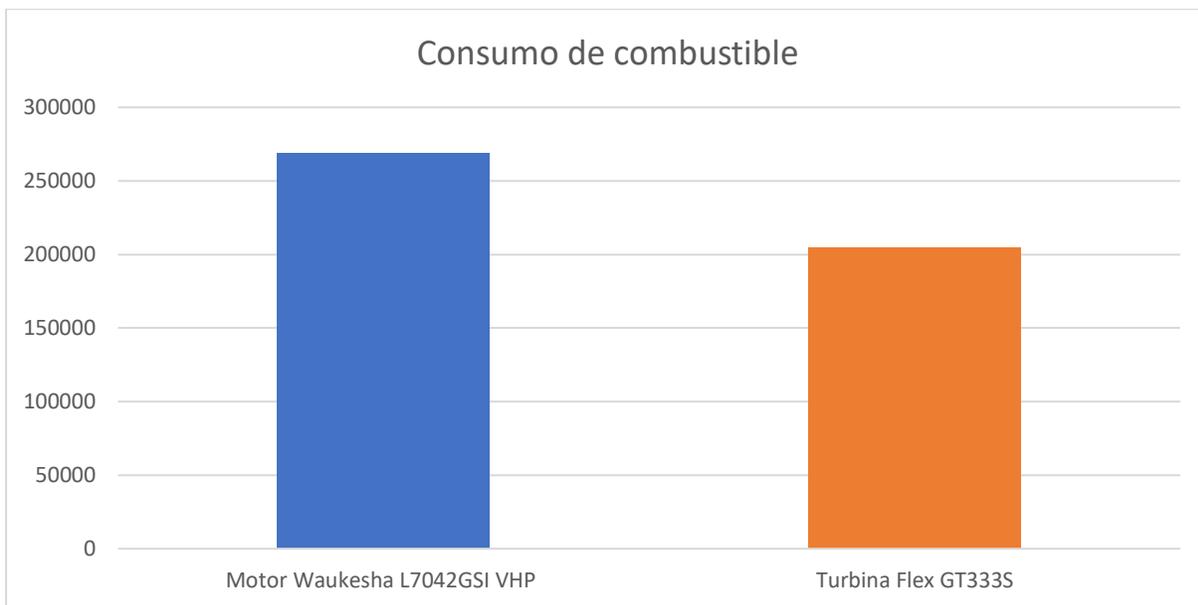
Fuente: Elaboración propia

Tipo de motor	Potencia de gas kW	Consumo de combustible ft^3
Waukesha L7042GSI VHP	3184,15	268570
Turbina Flex GT333S	2424,24	204474,8215

A continuación, podemos observar la disminución que hubo en el consumo de combustible, comparando ambas propuestas y reduciendo un gasto significativo para lo que ahora necesitara el motor, el 23,86% es el ahorro de gas asociado.

Ilustración 19: *Gráfico comparativo de combustible*

Fuente: Elaboración propia



3.11. Cálculo de las emisiones CO₂ equivalentes por cada propuesta

Para calcular las emisiones de gases de efecto invernadero, se tomó como referencia la metodología IPCC del 2006 y se aplicó el método sectorial- Nivel 1, también mediante el sensor avanzado se obtuvo el dato del consumo de combustible del motor WAUKESHA y el consumo de combustible por parte de la turbina Flex energy GT333S se la estimo mediante los cálculos previos realizados. Es importante conocer cada uno de los factores de la ecuación, tener sus valores específicos, así también como las mismas unidades de conversión.

1. Masa de la cantidad de flujo en combustión

$$Volumen_{m^3} = Masa \text{ kg} \times Densidad_{Kg/m^3}$$

Consumo del motor Turbina Flex GT333S en kg

$$Masa = \frac{5790,0726 \text{ m}^3}{1,146}$$

$$Masa = 5052,41 \text{ kg}$$

Consumo del motor Waukesha L7042GSI VHP en kg

$$Masa = \frac{7605,0429 \text{ m}^3}{1,146}$$

$$Masa = 6636,1630 \text{ kg}$$

2. Factor de emisiones por combustibles

Tabla 15: Factor de emisiones por combustible del CO₂

Fuente: Información obtenida del informe de Garg, Kazunari y Pulles (2006)

Factor de emisión Kg Gas/Tj	
Combustibles	CO ₂
Gas Natural	561000
Diésel	74100
Petróleo Crudo	73300

3. Valores calóricos netos

Tabla 16: Valores calóricos netos por combustibles

Fuente: Información obtenida del informe de Garg, Kazunari y Pulles (2006)

Valores calóricos netos por defecto [Tj/Gg]		
Gas natural	Diesel	Petróleo crudo
48,0	43,0	42,3

4. Cálculo de las emisiones de CO₂ equivalentes

Emisiones del motor de la nueva propuesta

$$Emisiones_{GEI}$$

$$= Consumo\ de\ combustible_{combustible} \times Factor\ de\ emisión_{GEI,combustible}$$

$$Emisiones_{GEI} = 5052,41 * (48,0) * (56100)$$

$$Emisiones_{GEI} = 13586.03\ kg$$

Emisiones del motor del motor Waukesha L7042GSI VHP

$$Emisiones_{GEI}$$

$$= Consumo\ de\ combustible_{combustible} \times Factor\ de\ emisión_{GEI,combustible}$$

$$Emisiones_{GEI} = 6636,1630 * (48,0) * (56100)$$

$$Emisiones_{GEI} = 17869,8597\ kg$$

3.12. Emisiones del motor de la propuesta línea base

Si comparamos las emisiones equivalentes del motor Waukesha L7042GSI VHP con respecto a la nueva propuesta Turbina Flex GT333S, se tiene como resultado que antes se emitía 17869,8597 kg/día y ahora se emiten 13605,1296kg/día logrando una diferencia de 4264,7301 kg/día. Es decir, que con este nuevo sistema implementado hay menor emisiones de CO₂ por el funcionamiento del motor.

Tabla 17: *Calculo de las emisiones GEI por día de ambas propuestas*

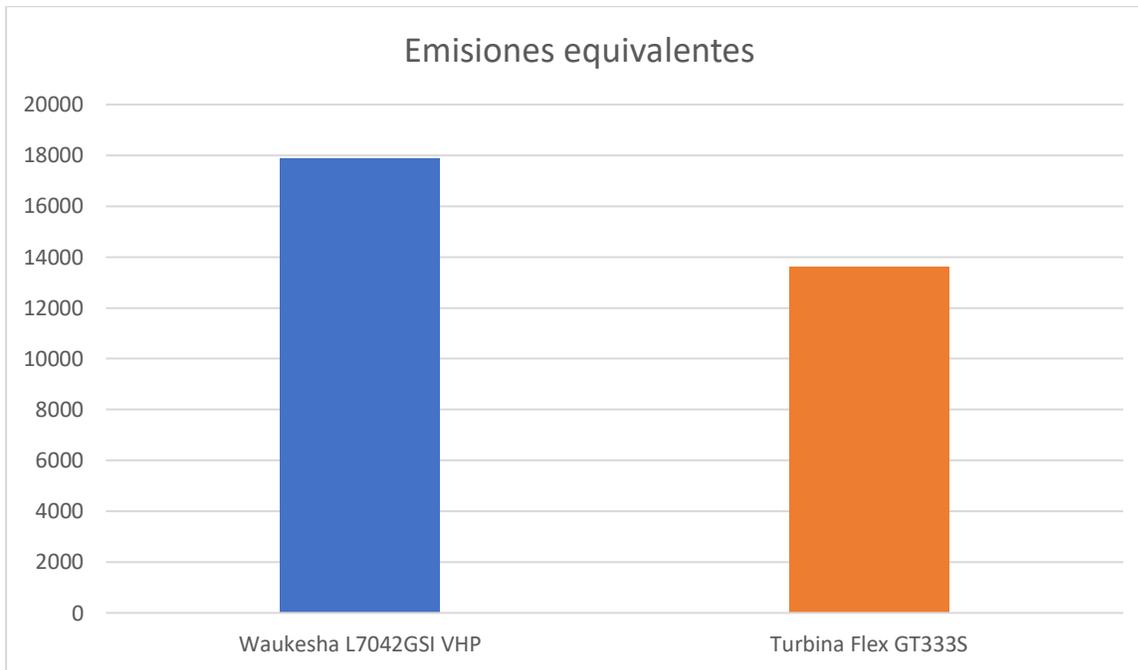
Fuente: Elaboración propia

Tipo de motor	<i>Emisiones_{GEI} kg/día</i>
Waukesha L7042GSI VHP	17869,8597
Turbina Flex GT333S	13605,1296

A continuación, podemos observar el porcentaje de disminución de los gases efecto invernaderos desde el cambio de la propuesta línea base a la nueva propuesta, su rebaja en emisiones es significativo y representa el 23,86%.

Ilustración 20: Gráfico comparativo de emisiones equivalentes de ambas propuestas

Fuente: Elaboración propia



3.10. Planes preventivos para la mitigación de contaminación dentro del bloque 16

Para el desarrollo de los planes preventivos fue necesario la evaluación de los puntos anteriores de este capítulo, la propuesta operativa implementada dentro del campo da origen a nuevos procesos que sostendrán el funcionamiento sostenible de la nueva propuesta. En tales procesos, se enfocarán los planes preventivos para así continuar con la mitigación de emisiones de CO₂.

Tabla 18: Planes preventivos para la mitigación de la contaminación de la nueva

Fuente: Elaboración propia

Planes preventivos para continuar con la mitigación de contaminación de la nueva propuesta
Mediciones semanales del rendimiento del motor.
Cada semana intervenir al gas asociado a una cromatografía en el laboratorio.
Implementar sistemas de control automatizados a la entrada y salida del motor.
Realizar un récord histórico de variables influyentes; potencia eléctrica, consumo de combustible, potencia de gas requerida, poder calorífico del gas, densidad del gas.

Los planes preventivos fueron diseñados para el aprovechamiento de las capacidades y recursos de la nueva propuesta para abordar los desafíos relacionados con las emisiones de CO₂. Se establecieron acciones objetivas para garantizar que la mitigación de emisiones fuera una parte integral y continua. Adicionalmente, se establecieron sistemas de monitoreo y seguimientos para evaluar constantemente el progreso y realizar ajustes si fuera necesario.

Capítulo 4

4. Conclusiones y recomendaciones

4.1. Conclusiones

- En la estación de producción norte y sur se identificaron las fuentes de emisiones equivalentes más importantes de este campo. Mediante el análisis anual evidenciado de la Ilustración 17 y las acciones presentadas en la Tabla 7, donde se detalló la operación implementada para la reducción de emisiones, se correlacionó datos y acciones, por lo tanto, se pudo identificar las zonas de generación eléctrica y aprovechamiento del gas como las más influyentes en la afectación por los gases efecto invernadero.
- La categorización de las emisiones equivalentes por año resulta crucial para obtener información sobre las operaciones influyentes y, de esta manera, establecer procedimientos adecuados.
- Las Tablas 8 a 11 resumen las operaciones anuales que contribuyen a la gestión ambiental, la reducción de riesgos y la disminución de la huella de carbono. En estas tablas se detallan las labores realizadas, que comienzan con la identificación activa de áreas influyentes en medio ambiente, seguridad y cambio climático. Cada año se establece un objetivo inicial denominado "indicador", y al final se evalúa el logro de la acción, conocido como "valor".

- Los resultados que se obtuvieron mediante la metodología de trabajo presentado en el capítulo 2, determinó la ruta a seguir para así cumplir con el óptimo trabajo del estudio presentado. En este caso se evaluó las operaciones, eventos, acciones que son desarrolladas en el bloque 16 desde una línea base del año 2011, las mencionadas acciones responden a las necesidades operacionales del campo y bajo estándares sostenibles.
- El equipo de la presente investigación necesitó para su respectivo dimensionamiento y análisis de cumplimiento de reducción de la huella de carbono, un previo estudio del equipo línea base y su entorno, análisis de rendimiento, potencia requerida para la generación eléctrica, cromatografía del gas asociado usado para la combustión.
- Siguiendo con la metodología de trabajo, se pudo determinar que las labores más frecuentes estaban relacionadas con la eficiencia energética y aprovechamiento del gas asociado, por lo tanto, se propuso un equipo turbina Flex GT333s el cual, considerando su rendimiento, potencia requerida de gas, consumo de combustible y emisiones de CO₂ cumplían con la reducción de la huella de carbono.
- Una vez obtenidos los datos del equipo de línea y el gas asociado, se generó el análisis de la nueva propuesta mediante una comparación entre ambos equipos, y, posteriormente, el cálculo de rendimientos, potencia de gas requerida, energía del gas, consumo de combustible, emisiones equivalentes de CO₂.

- La potencia del gas requerido para el funcionamiento del motor línea de base es de 3184,15 *kW*, con la implementación de la nueva propuesta turbina flex GT333s se ha obtenido una potencia del gas requerido de 2424,24 *kW*. Teniendo una diferencia de 759,91 *kW*, esta variable indica que necesitara menos abastecimiento nuestra nueva propuesta para generar la misma cantidad de electricidad.
- Mediante la obtención de la potencia requerida, dio paso para hallar la energía del gas asociado durante un día de funcionamiento. Con la relación de la energía del gas asociado y poder calorífico se obtiene el consumo de combustible por día que tendrá la nueva propuesta, el cual es 204474,8215 *ft*³. Posteriormente, se realizó la comparación de consumo de ambas propuestas, teniendo como resulta una diferencia de 64095,1785 *ft*³.
- Para la obtención de las emisiones de efecto invernadero, es necesario tener las variables de consumo, factor de emisión y calórico neto del fluido a calcular. Para el cálculo se usó la metodología IPPC, la cual nos dio de cantidad de emisiones que aporta al ambiente cada una de las maquinas, respectivamente fueron 17869,8597 *kg* día para la línea base y para la nueva propuesta 13605, 1296. Logrando una diferencia de 4264,7301 *kg* día cumpliendo con el objetivo de reducir la huella de carbono en una estación petrolera.
- Los planes preventivos realizados tienen como función la continuidad de las reducciones de emisiones, mediante el monitoreo y control de los procesos.

- La evaluación, la propuesta operativa y la implementación de nuevos procesos se combinaron para formar una estrategia integral y dinámica que no solo abordó los desafíos actuales en la mitigación de emisiones de CO₂ , sino que también sentó las bases para un futuro sostenible y responsable.

4.2. Recomendaciones

- Para llevar a cabo el estudio de manera efectiva, es fundamental recopilar una base de datos de emisiones equivalentes en el bloque, ya sea mediante diagnósticos de informes o pruebas de mediciones en campo.
- Es importante identificar los factores que influyen a niveles altos de contaminación mediante indicadores específicos, así se identifica áreas y operaciones de contaminación.
- Para realizar cálculos precisos con datos reales, se requiere la realización de mediciones en campo y la obtención de una cromatografía del gas asociado, lo que permitirá una representación detallada.
- Considerar la ecuación correcta para poder relacionar el rendimiento de los motores con la potencia eléctrica de abastecimiento y la potencia de gas requerida para el funcionamiento del motor.
- Se sugiere extender este estudio a un mayor número de motores en el Bloque 16 y considerar su aplicación en otros campos de producción utilizando la metodología presentada en este estudio.
- El estudio da paso para análisis futuros dentro de las facilidades de producción, evaluando a las bombas de; envío, succión, electro sumergibles. Garantizando la eficiencia energética y consumo de combustible sostenible.

- La implementación de la propuesta planteada en este estudio tiene el potencial de generar ahorros significativos en el consumo de combustibles, especialmente en los motores a crudo y diésel.

Referencias

- Alvarez , J. (2017). *EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN EL SECTOR DE GAS Y PETRÓLEO EN ARGENTINA*. Buenos Aires: UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES.
- Arango Gómez, J. E., Sierra Vargas, F. E., & Pérez Súa, S. (2014). Performance of a dual-fuel natural gas/diesel engine in oil fields. *Revistas Sena*, 14.
- Asana. (9 de Octubre de 2022). *Recursos*. Obtenido de Asana: <https://asana.com/es/resources/risk-matrix-template>
- BBVA. (2023). *Cuál es el origen, la historia y el impacto del petróleo en el medioambiente*. Sostenibilidad y Banca Responsable.
- Bornemann. (2008).
- Cortez Méndez , M. P. (2017). ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD, DISPONIBILIDAD Y MANTENIBILIDAD DE MOTORES WAUKESHA EN LA PLANTA DE GENERACIÓN GAS-DIÉSEL DE LA EMPRESA REPSOL ECUADOR. *ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO*, 121.
- Dresser Waukesha. (2010). *Specifications - Calroc*. Wuakesha: Dresser Inc. Obtenido de <https://calroc.ca/equipment/media/Waukesha-L7042GSI-Engine-Data-Sheet.pdf>
- Environmental Defense Fund . (2015). Análisis Económico de las Oportunidades de Reducción de Emisiones de Metano en la Industria Mexicana de Petróleo y Gas Natural. *ICF INTERNATIONAL* , 8.

eog. (2023). Pioneer Energy. *Insights*. Obtenido de <https://energy-oil-gas.com/news/pioneer-energy/>

EP PETROECUADOR . (2021). Campo Sacha invierte para reducir consumo de diésel y emisiones de gas. *Empresa Pública Petroecuador*.

EPA. (2023). Emisiones de dióxido de carbono. *La energía y el medio ambiente* , 1.

EPA. (2023). Emisiones de dióxido de carbono. *Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos*, 9. Obtenido de <https://espanol.epa.gov/la-energia-y-el-medioambiente/emisiones-de-dioxido-de-carbono>

EPA. (2023). Emisiones de dióxido de carbono. *EPA*.

estrucplan. (2011). *Protección Contra Descargas Atmosféricas Para Tanques De Almacenamiento De Hidrocarburos*. Buenos Aires : Seguridad Industrial.

Ferluga, G. (2019). Una industria petrolera sin CO2: ¿misión imposible? *Cumbre del Clima*.

FLEX ENERGGY SOLUTIONS. (2023). GAS TURBINES. *Power: reliable, clean, and simple*. Obtenido de <https://www.flexenergy.com/power-solutions/turbine-innovations/>

Flex Energy Solutions. (2019). *FLEX TURBINE GT333S - FlexEnergy*. FlexEnergy Inc. Obtenido de <https://www.flexenergy.com/wp-content/uploads/2020/03/FLX-SPEC-GT333S-71000067-Rev-H-1.pdf>

Fronti De García, L. (2006). NORMA ISO 14064 UNA POSIBILIDAD DE DESARROLLO SOSTENIBLE . *CAMBIO CLIMÁTICO* , 38.

- Garg, A., Kazunari, K., & Pulles, T. (2006). *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero*. Obtenido de https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/2_Volume2/V2_1_Ch1_Introduction.pdf
- Garthwaite, J. (2018). *Stanford study finds stark differences in the carbon-intensity of global oil fields*. California : Stanford University.
- GONZÁLEZ, A. N. (2020). Matriz probabilidad-impacto y crisis del covid. *EL BLOG SALMÓN*.
- GROUP, R. (2017). Facilidades de Produccion- Transporte, Diseño de equipos y tratamiento . *Ingeniería y Dirección de Proyectos* .
- Hernández, J. (2013). Propuesta de aplicación de bombeo multifásico en los sistemas de transferencia desde las macollas del área de extrapesado, hasta las estaciones de flujo, Distrito Morichal. *Universidad Central de Venezuela*, 185.
- IEA. (2020). The Oil and Gas Industry. *World Energy*, 165. Obtenido de https://iea.blob.core.windows.net/assets/4315f4ed-5cb2-4264-b0ee-2054fd34c118/The_Oil_and_Gas_Industry_in_Energy_Transitions.pdf
- Innocente, M. (2019). *Modelado matemático aplicado a la ingeniería*. Corrientes : CONICET IMIT.
- Japa, M. J. (2020). Estacion de Produccion. *Escuela Politécnica Nacional*, 8.
- Jijón Ruales, S. P. (2022). Secuestro de CO2 en formaciones petroleras: una alternativa para combatir el cambio climático. *Escuela Politecnica Nacional*, 57.
- Jijón Ruales, S. P. (s.f.). Secuestro de CO2 en formaciones petroleras: una alternativa para combatir el cambio climático. *Escuela Politecnica Nacional* .

Mares, A. E. (2019). Bombeo Multifásico en la Industria Petrolera.

Melo Sandra. (2021). *¿Para qué sirve una lista de verificación y cómo usarlas de forma efectiva?*

DataScope. Obtenido de <https://datascope.io/es/blog/que-es-y-para-que-sirve-una-lista-de-verificacion/>

Melo, S. (s.f.). *¿Para qué sirve una lista de verificación y cómo usarlas de forma efectiva?*

DataScope.

Ministerio de industria, e. y. (2016). FACTORES DE EMISIÓN DE CO₂ y COEFICIENTES DE PASO A ENERGÍA PRIMARIA.

Ministerio de industria, e. y. (s.f.). FACTORES DE EMISIÓN DE CO₂ y COEFICIENTES DE PASO A ENERGÍA PRIMARIA.

Mollocana Jacome , G., & CaizaLuisa Casa, G. (2019). *ALTERNATIVAS PARA EL APROVECHAMIENTO ENERGETICO EN LOS MOTORES WAUKESHA A GAS DEL CPF BLOQUE 15 PETROAMAZONAS Y ANALISIS EXERGETICO CORRESPONDIENTE.* Quito: Escuela Politecnica Nacional.

Mundial, G. B. (2023). Emisiones de CO₂ (kt). *Centro de Análisis de Información sobre Dióxido de Carbono, División de Ciencias Ambientales del Laboratorio Nacional de Oak Ridge (Tennessee, Estados Unidos).*

Naciones Unidas . (2022). El 99% de la población mundial respira aire contaminado. *Salud*, 2.

Natalia Prieto Jiménez, G. G.-G. (2018). Revisión del proceso de separación de fases del gas natural a alta presión en la industria Oil&Gas. *Ingeniería y tecnología.*

Novoa Hoyos, A., & Acevedo Garzón, E. (2013). Factores sectoriales clave para la estructura de capital en actividades de servicios petroleros en Colombia. *SUMA DE NEGOCIOS*, 8.

Orús, A. (31 de Mayo de 2023). *Statista*. Obtenido de <https://es.statista.com/estadisticas/1269928/concentracion-atmosferica-global-de-dioxido-de-carbono/>

PDVSA. (2004). *Producción*. Venezuela.

PETROBLOGGER. (2023). TIPOS DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE HIDROCARBUROS. *BLOG SOBRE LA INDUSTRIA DEL PETRÓLEO Y GAS NATURAL*.

PetroWiki. (2022). Emissions from oil and gas production operations. *SPE International*.

Queijo Fraga, A. (2017). SISTEMAS DE CAPTURA DE CO₂. *Escuela Técnica De Superior De Náutica y Máquinas*, 120.

REPSOL. (2011). Informe de Gases de Efecto Invernadero. *Inventario de emisiones de CO₂ 2011*, 14. Obtenido de https://www.repsol.com/imagenes/global/es/Bloque_16_Ecuador_tcm13-51990.pdf

REPSOL. (2012). INVENTARIO DE EMISIONES CO₂ 2012. *Informe CO₂ Bloque 16 y Área Tivacuno 2012: UN Ecuador de la Dirección General de E&P* de, 11.

REPSOL. (2018). Plan de Sostenibilidad e informe de Cierre Ecuador. *REPSOL Ecuador*.

RIGZONE. (2022). Las operaciones autónomas en el sector de petróleo y gas pueden ahorrar 300.000 toneladas de emisiones de CO₂. *WORLD ENERGY TRADE*, 1.

RODRIGUEZ, N. (2010). MODELO PARA EL CONTROL DE PROYECTOS DE AUTOMATIZACIÓN EN LA INDUSTRIA PETROLERA. *academia* , 22.

Romero, M., Ramírez Martínez, J., Orte, E., Sánchez, M. A., Sorroche, N., & De lima, L. (2015). EVALUACIÓN DE TECNOLOGÍA DE MEDICIÓN MULTIFÁSICA VX SPECTRA. *Oil Production* , 3. Obtenido de <http://oilproduction.net/produccion/procesos-de-produccion/medicion-control/item/3672-evolucion-de-la-tecnologia-de-medicion-multifasica-vx-spectra>

Rosso, K. B. (2021). El transporte no sostenible contiene sus consecuencias . *moviliblog*.

Schlumberger. (2023). Separador. *Energy glossary* .

Sydle. (1 de Julio de 2022). *¿Cómo mapear los procesos AS IS, TO BE y TO DO?* Obtenido de Sydle: <https://www.sydle.com/es/blog/mapear-procesos-as-is-to-be-to-do-60a81ebd22559e108ed7f51e#:~:text=El%20mapeo%20de%20procesos%20organizativos,pensar%20en%20formas%20de%20mejorarlas>.

treatmen, P. a. (2020). Hoe werkt een gaswasser? *AXON*.

Vaisala. (2023). Carbon Dioxide Measurments .

Anexos

Ilustración 21: Especificaciones del motor WAUKESHA L7042GSI

Fuente: (Dresser Waukesha, 2010)

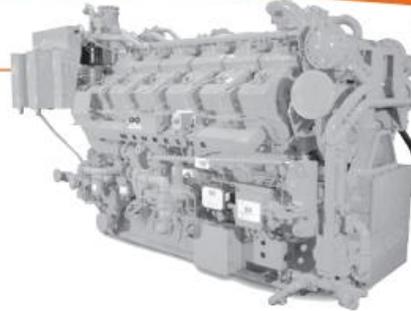


L7042GSI

VHP® Series Gas Engine Extender Series®
987 - 1480 BHP (736 - 1104 kWb)

Specifications

- Cylinders:** V12
- Piston Displacement:** 7040 cu. in. (115 L)
- Bore & Stroke:** 9.375" x 8.5" (238 x 216 mm)
- Compression Ratio:** 8:1
- Jacket Water System Capacity:** 100 gal. (379 L)
- Lube Oil Capacity:** 190 gal. (719 L)
- Starting System:** 125 - 150 psi air/gas 24V electric
- Dry Weight:** 21,000 lb. (9525 kg)



POWER RATINGS: L7042GSI VHP Series Gas Engines

Model	C.R.	Bore & Stroke in. (mm)	Displ. cu. in. (litres)	Brake Horsepower (kWb Output) 130°F (54°C) I.C. Water Temperature							
				1200 RPM		1000 RPM		900 RPM		800 RPM	
				C	I	C	I	C	I	C	I
L7042GSI	8:1	9.375" x 8.5" (238 x 216)	7040 (115)	1480	1834	1233	1528	1110	1376	987	1223
				(1104)	(1368)	(920)	(1139)	(828)	(1026)	(736)	(912)

	1200 rpm		1000 rpm	
	C	I	C	I
Power bhp (kWb)	1480 (1104)	1834 (1368)	1233 (919)	1528 (1139)
BSFC (LHV) Btu/bhp-hr (kJ/kWh)	7696 (10774)	7457 (10550)	7458 (10553)	7225 (10222)
Fuel Consumption Btu/hr x 1000 (kW)	11390 (3304)	13677 (4009)	9196 (2694)	11040 (3234)
Emissions				
NOx g/bhp-hr (mg/nm ³ @ 5% O ₂)	13.00 (4815)	13.00 (4815)	13.00 (4815)	13.00 (4815)
CO g/bhp-hr (mg/nm ³ @ 5% O ₂)	9.00 (3333)	9.00 (3333)	9.00 (3333)	9.00 (3333)
THC g/bhp-hr (mg/nm ³ @ 5% O ₂)	2.00 (741)	2.00 (741)	2.00 (741)	2.00 (741)
NMHC g/bhp-hr (mg/nm ³ @ 5% O ₂)	0.30 (111)	0.30 (111)	0.30 (111)	0.30 (111)
Heat Balance				
Heat to Jacket Water Btu/hr x 1000 (kW)	3526 (1033)	4125 (1209)	2908 (852)	3380 (991)
Heat to Lube Oil Btu/hr x 1000 (kW)	352 (103)	382 (112)	310 (91)	338 (99)
Heat to Intercooler Btu/hr x 1000 (kW)	228 (67)	403 (118)	118 (35)	212 (62)
Heat to Radiation Btu/hr x 1000 (kW)	662 (194)	681 (200)	584 (171)	611 (179)
Total Exhaust Heat Btu/hr x 1000 (kW)	3281 (962)	3705 (1086)	2482 (728)	2880 (844)
In take/ Exhaust System				
Induction Air Flow scfm (Nm ³ /hr)	3699 (5685)	3800 (6110)	3029 (4656)	3045 (4896)
Exhaust Flow lb/hr (kg/hr)	16050 (7281)	17200 (7802)	13145 (5963)	13825 (6271)
Exhaust Temperature °F (°C)	710 (376)	719 (382)	669 (354)	683 (362)

Ilustración 22: Especificaciones de la turbina Flex GT333S

Fuente: (Flex Energy Solutions, 2019)

**333 kW
CONTINUOUS
ELECTRICAL POWER
WITH OPTIONAL
INTEGRATED HEAT
RECOVERY**

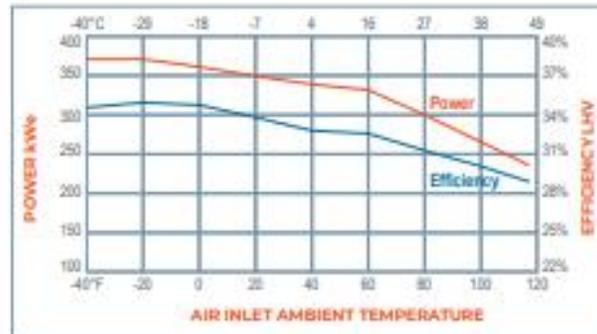


KEY FEATURES

- Fuel Flexibility: Seamless transition between Natural Gas & LPG
- California Air Resources Board (CARB) 2007 Certification
- Maximum total efficiency over 85%
- Synchronous generator ideal for managing site loads
- Grid-parallel, Grid-isolated, or Dual-mode operation
- Configurable with factory fitted heat recovery module, third party WHRUs or double effect absorption chillers
- Widest fuel tolerance of any small capacity gas turbine
- Only 8 hours of annual maintenance required

ELECTRICAL PERFORMANCE*

CHARACTERISTIC	SPECIFICATION
Electrical efficiency	33% LHV without gas booster
Electrical power	333 kW



* At ISO Conditions (59°F [15°C], sea level, 60% RH); high pressure natural gas
 Electrical efficiency tolerance: ± 1 -2.5 pts
 Electrical power tolerance: ± 20 kW
 Elevation derate of approximately 3.5% per 1000 ft (305 m)
 There is a 3 kW power reduction when utilizing waste heat recovery (wogen)

Rugged Gas Turbine

- Back-to-back rotating components
- Proven oil-lubricated bearings
- H₂S tolerance up to 6500 ppmv

Synchronous Generator

- Same technology utilizes use to power the grid
- High load starting capability up to 125 hp DOL

Patented Recuperator

- Critical to high system efficiency
- Compact rugged design

Combined Heat and Power

- Controllable output level
- Integral heat recovery unit contained within turbine enclosure

Nominal Heat Rate (HHV)
 11,552 Btu/kWh (12.2 MJ/kWh)
 w/o gas booster
 11,909 Btu/kWh (12.6 MJ/kWh)
 w/ gas booster

Nominal Heat Rate (LHV)
 10,502 Btu/kWh (11.1 MJ/kWh)
 w/o gas booster
 10,827 Btu/kWh (11.4 MJ/kWh)
 w/ gas booster

Voltage
 480 VAC / 400 VAC

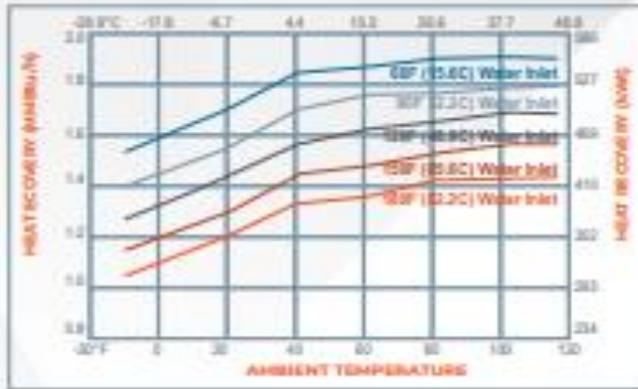
Frequency
 60 Hz / 50 Hz

Type of Service
 3 phase, wye, 4 wire

Grid-isolated Regulation
 $\pm 0.50\%$ nominal voltage
 (Steady State)
 ± 0.30 Hz nominal frequency

Transient Handling
 $\pm 10\%$ nominal voltage max
 (Linear Loads)
 (Recovery within 5 sec)
 ± 5 Hz frequency max

GT3335 GAS TURBINE CYCLE



Note: Heat Recovery Unit (HRU) at 200 gpm (757 lpm) water flow, sea level, ± 12%

PHYSICAL SPECIFICATIONS

DIMENSIONS	WIDTH	LENGTH	HEIGHT	WEIGHT (each)
Indoor Unit	76.0 in 193.0 cm	104.1 in 416.5 cm	86.6 in 227.6 cm	14,500 lb 6,577 kg
Outdoor Unit	76.0 in 193.0 cm	165.0 in 419.1 cm	155.8 in 395.2 cm	14,500 lb 6,577 kg

SOUND LEVELS

CHARACTERISTIC	SPECIFICATION
Standard	62 dBA @ 10m
Low sound option (not available on all models)	57 dBA @ 10m

GENERATOR BRAKING RESISTOR

CHARACTERISTIC	SPECIFICATION
Dimensions (LxWxH)	43x33x31 (110x160x78 cm)
Weight	595 lb (270 kg)

EMISSIONS AT 100% LOAD*

CHARACTERISTIC	SPECIFICATION
NO _x	<5 ppmv @ 15% O ₂
CO	<5 ppmv @ 15% O ₂
VOC	<5 ppmv @ 15% O ₂

* Pipeline natural gas only at ISO conditions

AMBIENT TEMPERATURE LIMIT

CHARACTERISTIC	SPECIFICATION
Standard	-30° to 115°F (-33° to 46°C)
Cold Weather Option*	-30° to 115°F (-33° to 46°C)

*Some configurations may require additional cold weather options

HEAT RECOVERY*

CHARACTERISTIC	SPECIFICATION
Exhaust temp (w/o HRU)	507°F (264°C)
Engine air flow	5.0 bbl (2.3 kg/s) 3950 acfm (9400 Nm ³ /h)
Max available heat (direct exhaust)	1.9 MMBtu/h (556 kW)
Max water flow	225 gpm (852 lpm)
Max inlet water pressure	125 psig (862 kPa)
Max outlet water temp.	205°F (96°C)

* At ISO Conditions (50°F (10°C), sea level, 50% RH)
Available heat based on exhaust recovery down to 50°F (10°C)

FUEL REQUIREMENTS*

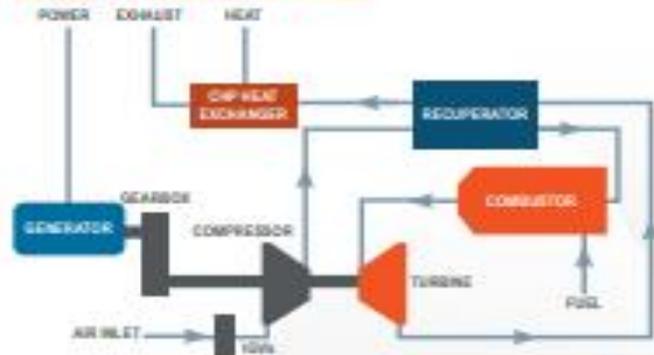
CHARACTERISTIC	SPECIFICATION
Fuel Consumption (LHV)	3.5 MMBtu/h (1025 kW)
Inlet pressure	-with gas booster: 4" (100 mm) WC to 1 psig (6.9 kPa) -without gas booster: 70 to 140 psig (483 to 965 kPa)
Min temperature**	35°F (2°C)
Max temp.	-with gas booster: 115°F (46°C) -without gas booster: 175°F (79°C)
333SW Model	325 to 600 Wt Btu/l [†] low calorific value gas, level 1 12.1 to 22.3 Wt MJ/m ³
333ST Model	500 to 970 Wt Btu/l [†] low calorific value gas, level 2 18.8 to 36.1 Wt MJ/m ³
333SM Model	800 to 1950 Wt Btu/l [†] medium / high calorific value gas 29.8 to 70.7 Wt MJ/m ³

* Fuel consumption based at ISO conditions

** Or 18°F (10°C) dewpoint suppression, whichever is greater

† Wt - British Inlet Lower heating value (LHV)

GT3335 GAS TURBINE CYCLE



©2019 FuelEnergy Inc. and/or its affiliates ("FuelEnergy"). This document comprises a general overview of the products or services described herein. It is solely for informational purposes, does not represent a warranty of the information contained herein and is not to be construed as an offer to sell or solicitations to buy. Contact FuelEnergy for detailed product, design, and engineering information suitable to your specific application. FuelEnergy reserves the right to modify its products and related product information at any time without prior notice.