

**UNIVERSIDAD MAYOR, REAL Y PONTIFICIA DE
SAN FRANCISCO XAVIER DE CHUQUISACA**

VICERRECTORADO

**CENTRO DE ESTUDIOS DE
POSGRADO E INVESTIGACIÓN
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**



**ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE LOS GASES (CH₄ Y CO₂),
EN LA ESTACIÓN DE COMPRESIÓN Y BOMBEO
TORREPAMPA – TARVITA**

**TRABAJO EN OPCIÓN A DIPLOMADO EN TRANSPORTE,
ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DE HIDROCARBUROS,
VERISION III**

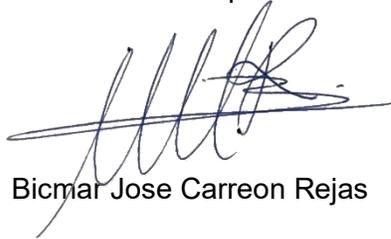
BICMAR JOSE CARREON REJAS

**Sucre - Bolivia
2024**

CESIÓN DE DERECHOS

Al presentar este trabajo como requisito previo a la obtención del Diplomado en Transporte, Almacenamiento y Distribución de Hidrocarburos de la Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca, autorizo al Centro de Estudios de Posgrado e Investigación o a la Biblioteca de la Universidad, para que se haga de este trabajo un documento disponible para su lectura, según normas de la Universidad.

También cedo a la Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca, los derechos de publicación de este trabajo o parte de él, manteniendo mis derechos de autor hasta un periodo de 30 meses posterior a su aprobación.



Bicmar Jose Carreon Rejas

Sucre, mayo de 2024

DEDICATORIA

La presente monografía va dedicada a mi madre Mary Luz Rejas, a mi padre Jose Carreon, a mi tía Gimena Rejas †, hermanos, Cristian, Yubinca, Kevin, Andres, sobrinos, tíos y novia, por acompañarme en cada paso que doy en la búsqueda de ser mejor persona.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por protegerme durante todo mi camino y darme fuerzas para superar obstáculos y dificultades a lo largo de toda mi vida.

A mis padres, por su demostración de padres ejemplares me han enseñado a no desfallecer ni rendirme ante nada y siempre perseverar a través de sus sabios consejos.

A mi tía Gimena Rejas †, que siempre será mi segunda madre, a pesar de haberla perdido, siempre estuvo a mi lado cuidándome y guiándome desde el cielo.

A mis hermanos, que con sus consejos me ha ayudado a afrontar los retos que se me han presentado a lo largo de mi vida, consejos valiosos, y siempre estar a mi lado.

A mi novia, que durante estos años de carrera ha sabido apoyarme para continuar y nunca renunciar, gracias por su amor incondicional y por su ayuda en todo momento.

A mi familia en general, porque me han brindado su apoyo incondicional y por compartir conmigo buenos y malos momentos.

A los Ingenieros Nicomedes Saavedra, Nestor Mendez, por su valiosa guía y asesoramiento a la realización de esta monografía.

Gracias a la Universidad Mayor Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca, a la Facultad de Ciencia y Tecnología, por haber permitido formarme en ella como profesional.

RESUMEN

El objetivo de esta monografía es estimar las emisiones de metano y dióxido de carbono en la estación de compresión y bombeo Torrempampa, para lograr este propósito se realizó una investigación con un enfoque cualitativo, un alcance tipo deductivo y no experimental, se utilizó este tipo de método de investigación para el manejo a adecuado de la información que se tiene y la obtención de la misma. Donde se llegó a resultados muy sorprendentes, teniendo un dominio muy significativo de la emisión de dióxido de carbono en relación al metano, con una emisión de 6.902.343,65 Kg/año esto significa un 97% de las emisiones totales, dejando al metano solo con una emisión de 237.644,10 Kg/año. La emisión solo del metano por fugas causa una pérdida económica de 268.175.97 bolivianos anuales. Al terminar la presente monografía podemos llegar a la conclusión, que la emisión de estos dos gases no solo son causantes del calentamiento global, sino también generan pérdidas económicas muy significativas para la empresa encargada del transporte del gas natural en Bolivia (Y.P.F.B.), la solución más rápida y económicamente rentable es el constante mantenimiento y cambio de los componentes en mal estado de la estación de compresión y bombeo Torrempampa.

Palabras claves: Emisiones, Estimación, Dióxido de carbono, Metano, Estación de compresión y bombeo.

ÍNDICE

CAPITULO I: INTRODUCCION

1.1. ANTECEDENTES.....	1
1.1.1. Planteamiento del problema	2
1.1.2. Formulación del problema	3
1.2. OBJETOS	3
1.2.1. Objetivo general.....	3
1.2.2. Objetivo específico.....	3
1.3. JUSTIFICACIÓN	4
1.3.1. Justificación Técnica.....	4
1.3.2. Justificación Económica	4
1.3.3. Justificación Social.....	5
1.3.4. Justificación Ambiental	5
1.4. METODOLOGÍA.....	5
1.4.1. Enfoque de investigación.....	5
1.4.2. Método de investigación	6
1.4.3. Método deductivo.....	6
1.4.4. Método bibliográfico.....	6
1.4.5. Técnicas e instrumentos.....	7

CAPITULO II: DESARROLLO

2.1. MARCO TEÓRICO.....	8
2.1.1. Gases de efecto invernadero	8
2.1.2. Cálculo de emisiones de metano (CH ₄) de los compresores.	20
2.1.3. Marco contextual.....	22
2.2. INFORMACIÓN Y DATOS OBTENIDOS.....	30
2.2.1. Cálculo del consumo de combustible en los compresores de gas natural.....	32
2.2.2. Cálculo del CO ₂ en los compresores de gas natural.....	33
2.2.3. Cálculo de CH ₄ en los gases de combustión de cada uno de los compresores	34
2.2.4. Cálculo de metano (CH ₄) en el sistema de venteo del compresor	35
2.2.5. Emisiones de CH ₄ por accesorios, válvulas y otros componentes de la estación de compresión	36
2.2.6. Estimación de costos para reducir las emisiones	37
2.2.7. Estimación de costos totales para la reducción de emisiones de metano y dióxido de carbono en la estación de compresión y bombeo Torrempampa.....	40

2.3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN.....	41
CAPITULO III: CONCLUSIONES	
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45
ANEXOS	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1	División y Sub División de los Gases de Efecto Invernadero	9
Figura 2.2	Clasificación de Compresores de Gas Natural.....	12
Figura 2.3	Compresores de Efecto Simple y Doble Efecto	13
Figura 2.4	Compresor Rotativo Tipo Tornillo.....	14
Figura 2.5	Compresor Rotativo de Lóbulos	15
Figura 2.6	Compresor Rotativo de Anillo Líquido.....	15
Figura 2.7	Compresor Rotativo de Paletas Deslizantes.....	16
Figura 2.8	Compresor Centrífugo.....	17
Figura 2.9	Compresor Axial.....	18
Figura 2.10	Macro - Localización Estación Torrempampa	22
Figura 2.11	Micro - Localización Estación Torrempampa.....	23
Figura 2.12	Estación de Compresión Torrempampa.....	24
Figura 2.13	Compresor N.º 1 de la Estación Torrempampa	26
Figura 2.14	Chimeneas de los 3 Compresores	26
Figura 2.15	Sistema de Tuberías y Válvulas de la Estación.....	27
Figura 2.16	Prueba de Ultrasonido a la Válvula de Ingreso	28
Figura 2.17	Adquisición Repuestos para Compresores AJAX	29
Figura 2.18	Ultrasonido Compresor N.º 2	29
Figura 2.19	Diagrama de Bloques.....	31
Figura 2.20	Anillo de Tapa Equilibrada.....	38
Figura 2.21	Sistema de Empaquetadura de Bajas Emisiones y Monitorización.....	39
Figura 2.22	Emisiones de CH ₄ y CO ₂ en la Estación Torrempampa.....	42
Figura 2.23	Emisiones de CH ₄ en la Estación de Compresión Torrempampa	43
Figura 2.24	Costos para la Reducción de Emisiones en la Estación Torrempampa	43

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1 Especificaciones Básicas del Compresor AJAX-DPC 600	24
Tabla 2-2 Especificaciones del cilindro del Compresor AJAX-DPC 600	25
Tabla 2-3 Especificaciones del Tanque de Combustible del Compresor AJAX-DPC 600.....	25
Tabla 2-4 Especificaciones del Sistema de Escape del Compresor AJAX-DPC 600.....	25
Tabla 2-5 Datos e Información de los Compresores	32
Tabla 2-6 Tabulación de Consumo de Combustible.....	33
Tabla 2-7 Tabulación de Emisiones de CO ₂ en Compresores	34
Tabla 2-8 Tabulaciones de Emisiones CH ₄ en Compresores	35
Tabla 2-9 Emisiones de CH ₄ por Venteo en el Compresor	36
Tabla 2-10 Emisiones de CH ₄ de Cada uno de los Accesorios	37
Tabla 2-11 Tabla de Costos por Accesorios	40
Tabla 2-12 Costos Totales para la Reducción de Emisiones de Metano y Dióxido de Carbono en la Estación Torrempampa.....	41

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A Entrevista al Ingeniero JOSE LUIS ARCIENEGA

ANEXO B Ficha Técnica del Compresor AJAX DPC-600

ANEXO C Emisiones Escondidas por Fugas en Accesorios EPA

ANEXO D Especificaciones de los Anillos de Tapa Equilibrada

ANEXO E Especificaciones del Sistema de Empaquetadura de Bajas Emisiones

ANEXO F Costos Promedios de Reparación y Reemplazo de Accesorios

CAPITULO I: INTRODUCCION

La estimación de las emisiones de gases, como el metano (CH₄) y el dióxido de carbono (CO₂), en estaciones de compresión y bombeo de gas natural, representa un aspecto crítico en la gestión ambiental y operativa de estas infraestructuras. Estas instalaciones desempeñan un papel vital en el transporte eficiente del gas natural a través de la red de gasoductos, pero también pueden ser fuentes significativas de emisiones de gases de efecto invernadero. Por lo tanto, la medición y estimación de estas emisiones son fundamentales para evaluar el impacto ambiental de las operaciones y para cumplir con las regulaciones ambientales aplicables.

1.1. ANTECEDENTES

El calentamiento global a lleva a muchos países a buscar la forma de calcular las emisiones de gases de efecto invernadero, por lo cual conoceremos alguno de estos estudios.

(R. Litto, RE Hayes, B. Liu), en un estudio que realizaron en colaboración con el departamento de Ingeniería Química y de Materiales de Universidad de Alberta, Edmonton, Alta., de Canadá en el año 2007 a la cual lo titularon “**Capturando emisiones fugitivas de metano de edificios compresores de gas natural**” nos indican que las emisiones fugitivas de metano representan aproximadamente el 50% de las emisiones de gases de efecto invernadero en toda la cadena hidrocarburífera (Litto et al., 2007).

En estados unidos en el año 2015 (Subramanian, L. Williams, Se et al.,) midieron las emisiones en 45 estaciones compresoras en el sector de transmisión y almacenamiento (T&S) del sistema de gas natural, incluidos 25 sitios obligados a informar según el programa de informes de gases de efecto invernadero (GHGRP) de la EPA. A esta investigación la titularon “**Emisiones de metano de estaciones compresoras de gas natural en el sector de transmisión y almacenamiento: mediciones y comparaciones con el protocolo del programa de informes de gases de efecto invernadero de la EPA**”. El resultado fue sorprendente ya que el 50% de las emisiones del metano proviene del venteo que se realiza en los compresores de gas, el resto se divide en los gases de combustión y fugas de aparatos (Subramanian et al., 2015).

En un estudio realizado por Derek Johnson en el año 2014 al cual le título “**Potencial reducción de emisiones fugitivas de metano en el compresor estaciones e instalaciones**

de almacenamiento accionadas por motores de gas natural”. Este grupo de investigación realizó auditorías de fugas y pérdidas en cinco estaciones compresoras e instalaciones de almacenamiento de gas natural. Llegaron a la conclusión que los motores no están perfectamente sellados dándolos a entender que todo los equipos tienen fugas de metano CH₄ (Johnson & Covington, 2014).

En el continente sudamericano también se realizó este tipo de investigación, siendo más específicos en Colombia los investigadores Oscar, Julián y Henry en el año 2013 realizaron un artículo al cual lo titularon **“Estimación de emisiones de GEI (CO₂ y CH₄) generadas durante el transporte de gas natural en Colombia, aplicando metodología IPCC”**. En este artículo se presenta la estimación de emisiones de gases de efecto invernadero CO₂ y CH₄ generadas durante las actividades de transporte de gas natural en Colombia se determinó las fuentes potenciales de emisiones para la red de transporte de gas natural de ese país y se presentan algunas mejoras que se pueden implementar para disminuir estas emisiones (Castro et al., 2013).

En Bolivia no se realizó un estudio tan específico como en los demás países que se trate sobre el transporte de hidrocarburos, pero si un equipo de investigadores en el Alto realizó una investigación a la cual la llamo **“Emisión de gases de efecto invernadero (GEI) como indicador de eficiencia energética en la industria petroquímica”**, en el cual realizan cálculos para la obtención de CH₄ en los gases de combustión de máquinas que trabajan con gas natural. Llegaron a la conclusión que si se optimiza más la eficiencia de los motores es mejor la quema de los gases de combustión, llegando a liberar menos gases de efecto invernadero (Marion Rosy Gareca Quispe, 2020).

1.1.1. Planteamiento del problema

Los gases de efecto invernadero desempeñan un papel crucial en el cambio climático global. Entre ellos, el dióxido de carbono (CO₂) y el metano (CH₄) son los más significativos, por lo cual muchos científicos se enfocaron en calcular o cuantificar la cantidad de gases de efecto invernadero (GEI) que desprende el transporte de hidrocarburos.

A nivel global estas emisiones de metano y dióxido de carbono afectan directamente al medio ambiente, la salud humana y la eficiencia del transporte de hidrocarburos. Los niveles atmosféricos de dióxido de carbono son los más altos jamás registrados y no paran de crecer debido a la liberación humana de estos gases al quemar combustibles fósiles. El dióxido de carbono y metano son los principales gases de efecto invernadero, responsables de

aproximadamente tres cuartas partes de las emisiones. Además, el metano, aunque presente en menor cantidad, es aún más dañino para la atmósfera terrestre y contribuye significativamente al calentamiento global.

En Sudamérica el impacto de las emisiones de metano y dióxido de carbono en las estaciones de compresión de gas natural son más elevadas, esto se debe las pocas inversiones que los gobernantes realizan en el transporte del gas natural, manteniendo gaseoductos y estaciones de compresión muy antiguos, los cuales sufren de muchas fugas y venteos al medio ambiente sin cumplir normativas internacionales.

En Bolivia se hace poco énfasis en el impacto que generan los gases de efecto invernadero, el mismo gobierno no realiza estudios o cuantificaciones de estas emisiones que realiza el país, quedando en una incertidumbre y sin buscar una solución para poder luchar en contra del calentamiento global que es uno de los problemas más importantes a nivel mundial.

Bolivia es uno de los países que su la mayor parte de su encomia está basada en la venta de gas natural, pero la inversión que realiza en el transporte de este hidrocarburo es muy baja, dando lugar a perdidas del combustible y por lo tanto pérdidas económicas para el país, en esta monografía nos enfocaremos a una estación de compresión y bombeo, para poder estimar las emisiones de gas metano CH₄ y dióxido de carbono CO₂ que genera esta estación y poder dar algunas posibles soluciones.

1.1.2. Formulación del problema

¿Cómo estimar las emisiones de los gases (CH₄ y CO₂), en la estación de compresión y bombeo torre pampa - Tarvita?

1.2. OBJETOS

1.2.1. Objetivo general

Estimar las emisiones de los gases (CH₄ y CO₂), en la estación de compresión y bombeo torrepampa - Tarvita.

1.2.2. Objetivo específico

- Caracterizar la estación de compresión y bombeo Torrepampa - Tarvita.

- Recopilar datos operativos y de consumo de combustible de los compresores, incluyendo el tipo, cantidad de combustible utilizado, horas de operación y potencia instalada.
- Determinar las emisiones de metano CH₄ y dióxido de carbono CO₂ en la estación de compresión y bombeo Torre pampa – Tarvita, utilizando el método IPCC.
- Estimación de costos para reducir las emisiones de metano CH₄ y dióxido de carbono CO₂ en la estación de compresión y bombeo Torre pampa - Tarvita.

1.3. JUSTIFICACIÓN

La investigación y estimación que realizaremos sobre los gases, como ser metano (CH₄) y el dióxido de carbono (CO₂), en la estación de compresión y bombeo Torre pampa - tarvira es crucial importancia por lo cual mencionaremos a continuación desde que puntos de vista fue tomada la investigación.

1.3.1. Justificación Técnica

Investigar y cuantificar los (GEI) nos permite comprender los mecanismos detrás del calentamiento global y el cambio climático. Analizar cómo estos gases interactúan con la atmósfera, los océanos y la biosfera es fundamental para desarrollar estrategias de mitigación, desde una perspectiva técnica, es vital establecer sistemas de monitoreo y medición precisos para rastrear las emisiones de (GEI) en diversas fuentes del transporte de gas natural, como por ejemplo las estaciones de compresión y bombeo Torre pampa - Tarvita.

1.3.2. Justificación Económica

Estimar los gases de efecto invernadero nos permite evaluar los costos económicos asociados con su liberación. Esto incluye pérdidas en la agricultura, la salud pública y la infraestructura debido al cambio climático. Las estaciones de compresión y bombeo de gas natural desempeñan un papel crucial en la cadena de suministro de energía, comprender cómo las emisiones de (GEI) afectan la eficiencia y la rentabilidad de estas mismas estaciones al tener pérdidas del mismo gas natural por fugas o venteo del mismo, la implementación de soluciones para reducir las emisiones de metano y dióxido de carbono puede generar ahorros significativos para las empresas del sector de hidrocarburos al reducir los costos asociados con multas por incumplimiento de regulaciones, pérdida de recursos y daños a la reputación. Además, la adopción de tecnologías limpias puede abrir nuevas oportunidades de inversión y empleo en el sector de energías renovables y tecnologías limpias.

1.3.3. Justificación Social

Los gases de efecto invernadero tienen un impacto en la salud de las personas que evitan cerca de estas estaciones de compresión y bombeo, el metano CH₄ y el dióxido de carbono CO₂ pueden afectar la calidad del aire y aumentar los riesgos de enfermedades respiratorias y cardiovasculares. Las poblaciones más vulnerables, como los habitantes de áreas urbanas densamente pobladas o comunidades rurales, enfrentan desafíos adicionales debido a estas emisiones.

La reducción de las emisiones de los gases como el metano CH₄ y el dióxido CO₂ beneficia directamente a las comunidades locales al mejorar la calidad del aire y reducir los riesgos para la salud asociados con la contaminación atmosférica. Además, las medidas de mitigación pueden contribuir a la creación de empleo en sectores como la energía renovable y la eficiencia energética, promoviendo el desarrollo socioeconómico y la equidad.

1.3.4. Justificación Ambiental

El metano, aunque presente en menor cantidad, tiene un potencial de calentamiento mucho mayor que el CO₂ a corto plazo. Reducir estas emisiones es crucial para limitar el aumento de la temperatura global, las emisiones de GEI afectan los ecosistemas terrestres y acuáticos. Investigar cómo estas emisiones impactan la biodiversidad, los ciclos naturales y los recursos hídricos es esencial para la conservación ambiental.

La mitigación de las emisiones de metano CH₄ y dióxido de carbono CO₂ ayuda a reducir el calentamiento global y sus impactos asociados, como el aumento de las temperaturas, eventos climáticos extremos y la pérdida de biodiversidad. Al preservar los ecosistemas naturales y los recursos naturales, se protege el patrimonio ambiental para las generaciones futuras y se promueve la resiliencia frente al cambio climático.

1.4. METODOLOGÍA

1.4.1. Enfoque de investigación

1.4.1.1. Enfoque cualitativo

La investigación se realizará de desde un enfoque cualitativo, tomando este enfoque nos permitiremos abarcar una información amplia y profunda, al tener este tipo de datos nos garantiza tener resultados más eficientes y así poder tener un control adecuado de nuestro tema.

En cuanto al alcance, la investigación se llevará a cabo de tipo descriptivo, porque se tomará en cuenta datos del manual de operaciones de consumo de gas natural de cada uno de los compresores que trabajan en la estación de compresión y bombeo Torre pampa.

El diseño de la investigación que se empleara es no experimental, porque la investigación utilizara documentación e información en un solo momento y se cuenta con dos variables, dependiente e independiente, en este caso la variable dependiente sería la estimación de gases de efecto invernadero y la variable independiente sería la emisión de estos gases.

1.4.2. Método de investigación

1.4.2.1. Método descriptivo

El método descriptivo se utilizará para analizar las características y comportamientos de las emisiones de los gases metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂) en la estación de compresión y bombeo Torrepampa – Tarvita. Esto incluirá la recopilación de datos a través de fichas técnicas de los compresores.

El propósito de este método es proporcionar una descripción detallada y precisa de las emisiones de CH₄ y CO₂ en la estación de compresión y bombeo. Los resultados de este estudio descriptivo permitirán una mejor comprensión de la magnitud de las emisiones de gases de efecto invernadero en la estación.

1.4.3. Método deductivo

El objetivo de este estudio es estimar las emisiones de los gases metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂) en la estación de compresión y bombeo Torrepampa – Tarvita. Para ello, se realizarán cálculos y análisis de los niveles de estos gases en la estación.

La finalidad de esta estimación es entender el impacto ambiental de la estación de compresión y bombeo en términos de emisiones de gases como el metano CH₄ y el dióxido CO₂. Los resultados obtenidos podrán ser utilizados para desarrollar estrategias de mitigación.

1.4.4. Método bibliográfico

El método bibliográfico se utilizará para recopilar y analizar la literatura científica existente sobre la estimación de emisiones de los gases metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂) en estaciones de compresión y bombeo. Esto incluirá la revisión de estudios previos, artículos de revistas científicas, y cualquier otro material relevante.

El propósito de este método es obtener una comprensión profunda de las metodologías existentes para estimar las emisiones de CH₄ y CO₂, identificar las mejores prácticas y las limitaciones de los enfoques actuales, y aplicar estos hallazgos al contexto de la estación de compresión y bombeo Torre pampa - Tarvita. Los resultados de esta revisión bibliográfica informarán el diseño del estudio y ayudarán a garantizar que la estimación de las emisiones sea lo más precisa y útil posible.

1.4.5. Técnicas e instrumentos

Las técnicas son fundamentales para obtener datos precisos y confiables que permitan formular políticas y estrategias efectivas para la estimación de gases de efecto invernadero como ser el metano y el dióxido carbono, para lograr esto se realizara una exhaustiva revisión teórica y práctica de anteriores investigaciones, así nos podremos nutrir no solo de información, sino también de algunas limitantes que se tiene en la investigación.

Los instrumentos que se necesitaran para la investigación será artículos científicos, revistas, manuales operativos, tesis de grado, monografías, gráficas, hojas Exel, etc.

CAPITULO II: DESARROLLO

2.1. MARCO TEÓRICO

2.1.1. Gases de efecto invernadero

En el siglo XIX, el matemático francés Joseph Fourier introdujo el concepto efecto invernadero al tiempo de decir que la tierra sería mucho más fría si esta no tuviera una atmosfera, mucho después en el año 1896 el científico sueco Svante Arrhenius fue el primero en relacionar la palabra efecto invernadero a los gases emitidos por la quema de combustible fósiles. Casi un siglo después el estadounidense James E. Hansen declaro ante el congreso que el efecto invernadero se detectó y este combinado el clima de ahora. Hoy en día la palabra cambio climático siempre está unido a los gases de efecto invernadero, dando a entender que la abundancia de estos gases está causando un calentamiento global (CHRISTINA NUNEZ, 2023).

En un informe técnico sobre los gases de efecto invernadero y cambio climático realizado por la IDEAM se define que los gases de efecto invernadero como componentes gaseosos de la atmósfera, tanto naturales como antropógenos (emitidos por la actividad humana), que absorben y emiten radiación en determinadas longitudes de onda del espectro de radiación infrarroja emitido por la superficie de la Tierra, la atmósfera y las nubes (Marion Rosy Gareca Quispe, 2020).

Las emisiones de GEI se informan en términos de emisiones de dióxido de carbono equivalentes en masa, calculadas sobre la base de un potencial de calentamiento para un ciclo de vida de 100 años. Utilizando este método, el metano tiene un potencial de calentamiento global 23 veces mayor que el CO₂, es decir, 1 tonelada de metano equivale a 23 toneladas de dióxido de carbono. La combustión de metano ofrece así la posibilidad de una reducción neta del potencial de GEI del 88%. Hay motivaciones adicionales para abordar el problema del metano. La concentración atmosférica de metano ha aumentado aproximadamente un 0,6% anual (Steele et al., 1992) y se ha más que duplicado en los últimos dos siglos (Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC), 1995). Por el contrario, la concentración atmosférica de dióxido de carbono aumenta aproximadamente un 0,4% al año (Litto et al., 2007).

2.1.1.1. División y sub división de los gases de efecto invernadero

a) Gases de efecto invernadero directos

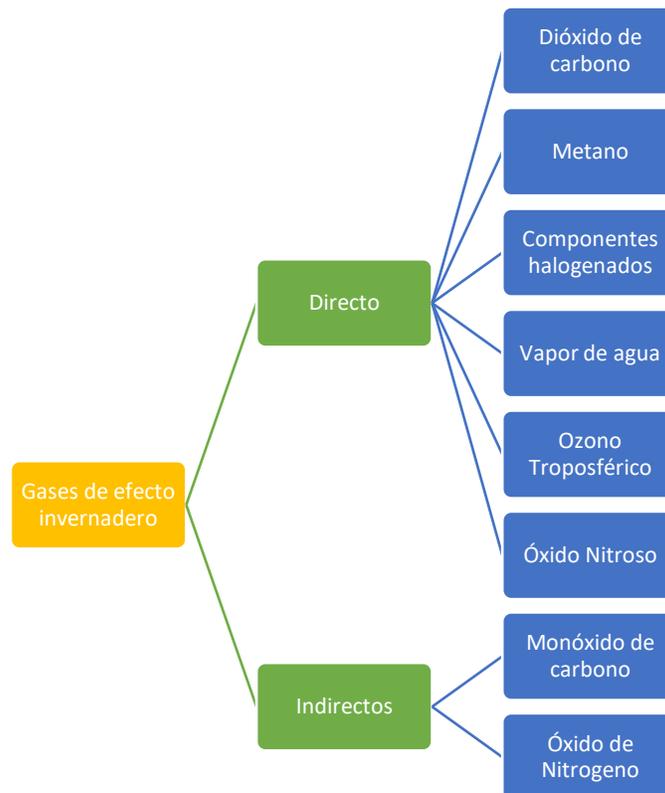
Son gases que contribuyen al efecto invernadero tal como son emitidos a la atmósfera. En este grupo se encuentran: el dióxido de carbono, el metano, el óxido nitroso y los compuestos halogenados.

b) Gases de efecto invernadero indirectos

Son precursores de ozono troposférico, además de contaminantes del aire ambiente de carácter local y en la atmósfera se transforman a gases de efecto invernadero directo. En este grupo se encuentran: los óxidos de nitrógeno, los compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano y el monóxido de carbono.

Figura 2.1

División y Sub División de los Gases de Efecto Invernadero



En la presente nomografía solo nos basaremos en los dos principales gases de efecto invernadero que son el metano (CH₄) y el dióxido de carbono (CO₂), a continuación, describiremos cada uno de ellos.

✓ **Metano**

El metano es un fuerte gas de efecto invernadero y juega un papel importante en la determinación de la capacidad de oxidación de la troposfera. La carga atmosférica de metano a finales de la década de los 90 era de 4800 x10¹² gramos, más de dos veces la cantidad presente durante la era preindustrial. Esta duplicación en la carga atmosférica del metano ha contribuido en aproximadamente un 20% del forzamiento radiactivo directo debido a emisiones antropogénicas de los gases de efecto invernadero directos (Ballesteros & Aristizabal, 2007).

Entre las fuentes importantes de metano están: la descomposición de material orgánico en sistemas biológicos y el obtenido con la producción y distribución de gas natural, petróleo y la exploración de carbón mineral.

La contribución de metano en la atmósfera por la combustión de combustibles se da generalmente durante una combustión incompleta de los hidrocarburos. Las emisiones fugitivas de metano relacionadas con gas y petróleo aproximadamente contabilizan cerca 30 a 60 Tg por año de las emisiones globales de metano. Fuentes de emisiones relacionadas son: pérdidas durante la operación normal del proceso de la combustión (producción, transporte, almacenamiento y refinación), así como las asociadas al venteo y quemado, escapes crónicos o descargas desde procesos de venteo, durante el mantenimiento y alteraciones de los sistemas y accidentes (Ballesteros & Aristizabal, 2007).

✓ **Dióxido de carbono**

El dióxido de carbono es uno de los gases más comunes e importantes en el sistema atmósfera-océano-Tierra, es el más importante de los gases de efecto invernadero asociado a actividades humanas y el segundo gas más importante en el calentamiento global después del vapor de agua. Este gas tiene fuentes antropogénicas y naturales. Dentro del ciclo natural del carbono, el CO₂ juega un rol principal en un gran número de procesos biológicos. En relación a las actividades humanas el CO₂ se emite principalmente, por el consumo de combustibles fósiles (carbón, petróleo y sus derivados y gas natural) y leña para generar energía, por la tala y quema de bosques (según la FAO, el 26% de la superficie terrestre se

destina al pastoreo, y la producción de forrajes requiere de cerca de una tercera parte del total de la superficie agrícola (Castro et al., 2013).

2.1.1.2. Estación de compresión y bombeo

La estación de compresores de gas natural desempeña un papel fundamental en la industria del transporte gas. Las empresas construyen estas estaciones a lo largo de gasoductos naturales y las utilizan para comprimir gas de modo que se pueda seguir fluyendo aguas abajo hasta su destino final, que puede ser una instalación de procesamiento, un tanque de almacenamiento o empresas minoristas o servicios públicos (*Descripción General del Equipo de una Estación de Compresión de Gas Natural | Kimray, 2024*).

a) Componentes de una estación de compresión y bombeo

1) Compresor

Un compresor es un motor grande que usa desplazamiento positivo para comprimir gas. Una estación de compresión y bombeo puede tener uno o varios compresores en el sitio, esto depende al caudal de gas a comprimir (*Descripción General del Equipo de una Estación de Compresión de Gas Natural | Kimray, 2024*).

2) Depuradores y filtros

Las estaciones de compresores también utilizan depuradores y filtros para eliminar el agua y algunas impurezas pueden existir en el gas natural.

3) Sistema de enfriamiento de gas

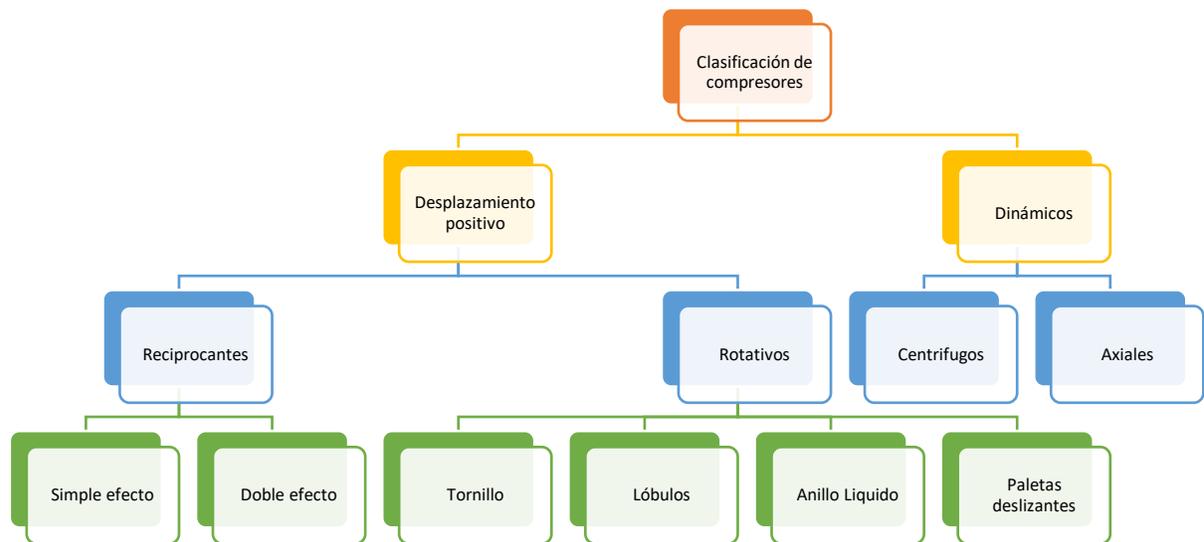
La compresión del gas natural hace que aumente su temperatura, este aumento de temperatura causar daños en las tuberías, por lo cual se instala un sistema de enfriamiento después del compresor, para poder reducir la temperatura del gas (*Descripción General del Equipo de una Estación de Compresión de Gas Natural | Kimray, 2024*).

b) Clasificación de compresores de gas natural

Los compresores se clasifican en dos grandes grupos los cuales son: de desplazamiento positivo y los dinámicos, los mismos se sub clasifican a continuación veremos cada uno de ellos en la figura 2.2.

Figura 2.2

Clasificación de Compresores de Gas Natural



Fuente: Extraído del proyecto de grado (Ildegar Puert, 2010).

1) Compresores de desplazamiento positivo

Los compresores de desplazamiento positivo son dispositivos utilizados para aumentar la presión de un gas mediante la reducción de su volumen, cuyo principio de funcionamiento se basa en la disminución de dicho volumen de aire en la cámara de compresión donde se encuentra confinado, produciéndose el incremento de la presión interna hasta llegar al valor de diseño previsto. En ese momento, el aire es liberado al sistema (Ildegar Puert, 2010).

➤ **Compresores reciprocantes**

Los compresores reciprocantes son máquinas de desplazamiento positivo los cuales operan mediante una reducción positiva de un cierto volumen de gas atrapado dentro del cilindro mediante un movimiento recíprocante del pistón. La reducción en volumen origina un alza en la presión hasta que la misma alcanza la presión de descarga, lo cual ocasiona el desplazamiento del fluido a través de la válvula de descarga del cilindro (Ildegar Puert, 2010).

El cilindro está provisto de válvulas las cuales operan automáticamente por diferenciales de presión, al igual que válvulas de retención, para admitir y descargar gas. La válvula de admisión abre cuando el movimiento del pistón ha reducido la presión por debajo de la presión de entrada en la línea. La válvula de descarga se cierra cuando la presión acumulada en el

cilindro deja de exceder la presión en la línea de descarga luego de completar el golpe de descarga, previniendo de esta manera el flujo en sentido reverso (Ildegar Puert, 2010).

✓ **Compresores reciprocantes de efecto simple**

Los compresores de efecto simple son aquellos en los cuales el área de trabajo se limita a una sola cara del pistón y por cada ciclo (subida y bajada del pistón) solo comprime una vez, a estos se les llama de simple efecto.

✓ **Compresores reciprocantes de doble efecto**

Los compresores de doble efecto tienen dos cámaras de compresión en un solo cilindro y por cada ciclo que hace el pistón comprime dos veces una cuando sube y la otra cuando baja.

Figura 2.3

Compresores de Efecto Simple y Doble Efecto



Fuente: extraído de (ingmecafenix, s. f.).

➤ **Compresores rotativos**

Un compresor rotativo es una máquina que comprime el aire ambiente mediante un movimiento rotatorio de ahí su nombre. Estos compresores utilizan un principio de desplazamiento positivo, lo que significa que generan un volumen fijo de aire a una presión específica.

Compresores rotativos tipo tornillo

El compresor de tornillo es un compresor de desplazamiento con pistones en una forma de tornillo como su mismo nombre lo dice. Las piezas principales del elemento de compresión de tornillo comprenden rotores machos y hembras que se mueven unos hacia otros mientras se reduce el volumen entre ello y el alojamiento. La relación de presión de un tornillo depende de la longitud y perfil de dicho tornillo y de la forma del puerto de descarga (César Gil Tolmo, 2013).

Figura 2.4

Compresor Rotativo Tipo Tornillo



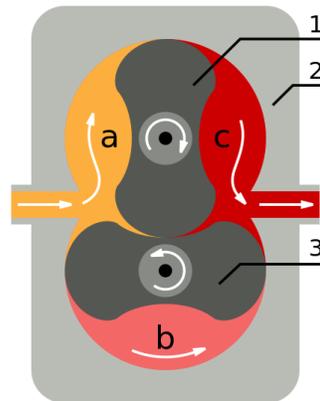
Fuente: extraído de (atlascopco, 2023).

➤ **Compresores rotativos de lóbulos**

Los compresores lobulares son unidades que constan esencialmente de dos rotores montados en una carcasa y conectados por engranajes conducidos por un cigüeñal. Los dos rotores son diseñados de tal forma que no tienen contacto uno contra, ni con la carcasa, pero los juegos deben ser lo más estrechos posibles para asegurar pequeñas pérdidas de gas cuando estén operando (César Gil Tolmo, 2013).

Figura 2.5

Compresor Rotativo de Lóbulos



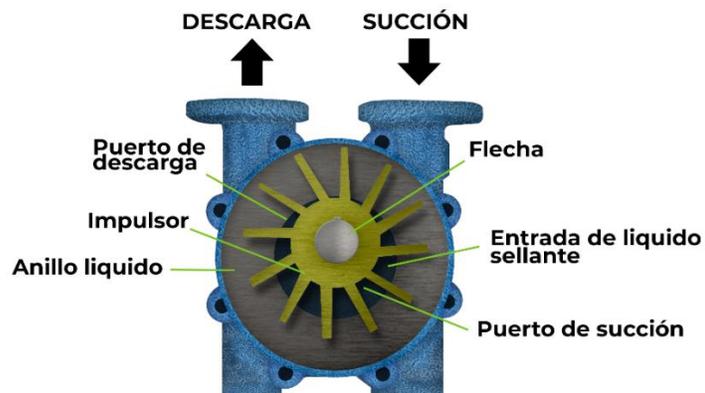
Nota: 1. Rotor 1, 2. Cuerpo de la bomba, 3. Rotor 2, a. Admisión, b. Compresión, c. Expulsión forzada. *Fuente:* La imagen fue obtenida de (atlascopco, 2023).

✓ **Compresores rotativos de anillo líquido**

Los compresores de anillo líquido utilizan la rotación de un impulsor polarizado en el cilindro para cambiar el volumen de una cavidad creciente, esta cavidad se forma entre el anillo de líquido unido a la pared interna del cilindro y el impulsor. El resultado es la compresión y entrega del gas. Las aplicaciones para estos compresores son procesos exigentes. Diseñados para comprimir gases sucios, saturados o húmedos (*Compresores de anillo líquido, 2024.*).

Figura 2.6

Compresor Rotativo de Anillo Líquido



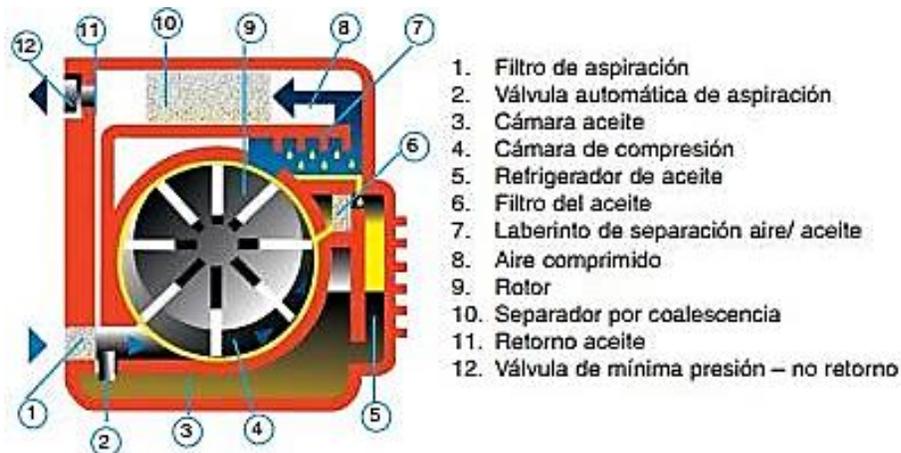
Fuente: extraído de (bombasdevacio, s.f.).

✓ Compresores rotativos de paletas deslizantes

Los compresores de paletas son dispositivos eficientes y versátiles que desempeñan un papel crucial en una amplia gama de industrias. Su funcionamiento basado en paletas rotativas ofrece una compresión confiable y continua, lo que los convierte en una opción popular para diversas aplicaciones. Los compresores de paletas consisten en un rotor con paletas que gira dentro de una carcasa. Las paletas están montadas en ranuras en el rotor y se deslizan hacia adentro y hacia afuera debido a la fuerza centrífuga y la presión diferencial. A medida que el rotor gira, las paletas se mueven hacia afuera, creando una cámara de compresión de volumen variable. Cuando el aire o el gas ingresa a la cámara de compresión, las paletas se deslizan hacia adentro, disminuyendo el volumen de la cámara y comprimiendo el aire o el gas. A medida que el rotor continúa girando, las paletas empujan el aire o el gas comprimido hacia la salida del compresor. Este proceso de compresión continua se repite, generando un flujo constante de aire o gas comprimido (César Gil Tolmo, 2013).

Figura 2.7

Compresor Rotativo de Paletas Deslizantes



Fuente: Extraído de (tebyc, s.f.).

2) Compresores dinámicos

Existen dos tipos de compresores dinámicos: centrífugos y axiales. A los compresores dinámicos también se les conoce como turbocompresores (centrífugos o axiales), dado que son turbomáquinas.

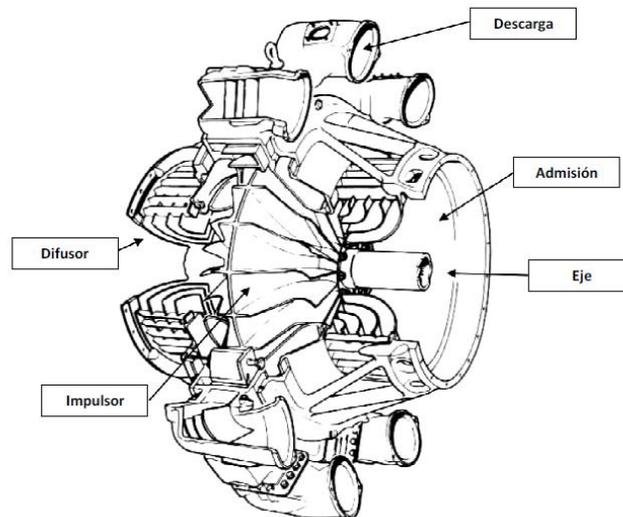
➤ **Compresores centrífugos**

Un compresor centrífugo es una máquina en la que un gas se comprime mediante la aceleración radial de un impulsor con la ayuda de una carcasa circundante. Estos compresores pueden organizarse en múltiples etapas para lograr una mejor compresión.

La fuerza centrífuga se genera cuando el aire pasa a través del impulsor giratorio, El trabajo de entrada ocurre como un aumento en la presión y la velocidad del flujo de aire a medida que pasa por el impulsor. Después de ingresar al impulsor, el flujo de aire pierde velocidad al entrar en la sección del difusor. El difusor, un componente estático, acompaña el flujo de aire cuando sale del impulsor, esta pérdida de velocidad finalmente resulta en un mayor aumento de la presión.

Figura 2.8

Compresor Centrífugo



Fuente: Extraído de una tesis de grado (César Gil Tolmo, 2013).

➤ **Compresor axial**

Un compresor axial es un tipo especial de turbo maquinaria cuya función es aumentar la presión del flujo de aire o gas de forma continua y en dirección axial, es decir, paralela al eje de rotación. El gas entra axialmente o paralelo al eje del rotor y también descarga en la misma dirección (axialmente). El proceso de compresión se logra mediante la aceleración y desaceleración controlada del flujo de aire o gas a medida que pasa por los álabes del rotor y estator (cesar, 2023).

Figura 2.9

Compresor Axial

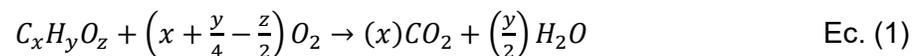


Fuente: Extraído de una tesis de grado (César Gil Tolmo, 2013).

2.1.1.3. Procedimiento de cálculo de las emisiones de metano CH_4 y dióxido de carbono CO_2 en compresores de gas.

Para el cálculo del metano y dióxido de carbono en equipos estacionarios, estos cálculos pueden aplicarse a cualquiera fuente de combustión basada en combustibles fósiles. La combustión de hidrocarburos se puede representar mediante la siguiente reacción general, asumiendo una combustión completa:

Ecuación General de Combustión Completa



Donde:

x: coeficiente estequiométrico de carbono.

Y: coeficiente estequiométrico de hidrogeno.

z: coeficiente estequiométrico oxígeno.

La combustión es el proceso donde se produce CO_2 mediante la oxidación de los hidrocarburos, en este proceso casi todo el carbono se convierte en CO_2 , mientras que el metano CH_4 puede resultar de un proceso incompleto de combustión.

a) Cálculo de emisiones de dióxido de carbono (CO₂) de los compresores.

Los factores de emisión publicados de CO₂ proporcionados en términos de toneladas por cantidad de combustible consumido o toneladas por consumo de energía de un combustible determinado, son suficientes para estimar las emisiones de CO₂, ya que las emisiones de CO₂ no varían según la tecnología de combustión.

1) Propiedades del consumo de combustible

Independientemente del tipo de combustible (gas o líquido), se necesitará el poder calorífico y el contenido de carbono del combustible. Si el combustible que se quema es líquido, también será necesaria la densidad del combustible. Es importante utilizar la misma base de valor calorífico (es decir, HHV o LHV) tanto para la eficiencia térmica como para las propiedades del combustible.

El uso de combustible se calcula con la siguiente ecuación:

Cálculo de combustible

$$FC = ER * LF * OT * ETT * \frac{1}{HV} \quad \text{Ec. (2)}$$

Donde:

FC: combustible anual consumido (volumen/año)

ER: clasificación de equipo (hp, kW, J)

LF: factor de carga del equipo (fracción)

OT: tiempo anual de operación (hr/año)

ETT: eficiencia térmica del equipo (BTU entrada/ hp-hr salida, BTU entrada/kW-hr salida, J entrada/J salida)

HV: Poder Calorífico Superior o Bruto (energía/volumen)

Alternativamente, algunos factores de emisión son reportados sobre la base de la entrada de energía. La entrada de energía se calcula usando la ecuación siguiente.

Cálculo de la Entrada de Energía

$$E_{in} = ER * LF * OT * ETT \quad \text{Ec. (3)}$$

Donde:

E ingreso: Energía de ingreso (Btu, J).

ER: Clasificación de equipo (hp, kW, J).

LF: Factor de carga del equipo (fracción).

OT: Tiempo anual de operación (hr/año).

ETT: Eficiencia térmica del equipo (BTUentrada/ hp-hr salida, BTU entrada/kW-hr salida, Jentrada/Jsalida).

Una vez calculado el consumo de combustible con la ecuación 2 para cada compresor y conociendo el peso molecular del gas que se quema, se puede estimar las emisiones generadas por los compresores. A partir de la siguiente ecuación:

Cálculo de CO2

$$E_{CO_2} = FC * \frac{1}{\text{Volumen molar}} * M_{gas} * \frac{44}{12} \quad \text{Ec. (4)}$$

Donde:

ECO2: Emisiones de CO2 (kg/año).

FC: Combustible consumido a condiciones estándar (m3/año).

Volumen molar a condiciones estándar 51,7 °C y 1 atm. = 23.685 (m3/Kmol).

Mgas: Peso molecular del gas.

2.1.2. Cálculo de emisiones de metano (CH₄) de los compresores.

Para las emisiones de CH₄ en los gases de combustión, la práctica general de la industria asume un 0,5% de CH₄ residual no quemado que permanece en el gas para combustiones de equipos nuevos muy bien diseñadas y operados. Para los equipos antiguos, donde existe una mayor variabilidad operativa, las emisiones de CH₄ pueden basarse en un valor supuesto del 2% sin combustión (Marion Rosy Gareca Quispe, 2020).

Ecuación General para las Emisiones de CH4

$$E_{CH_4} = V * CH_4 \text{ Fracción molar} * \% \text{residual de CH}_4 * \frac{1}{\text{Conversión volumen molar}} * M_{CH_4} \quad \text{Ec. (5)}$$

Donde:

E_{CH₄}: Emisiones de CH₄ (Kg).

V: Volumen del encendido (m³)

% residual CH₄: Fracción no combustionada de corriente flameada (=0,5%o 2%).

Volumen molar: Conversión de volumen molar a masa (23,685 m3/kmol).

M_{CH₄}: CH₄ peso molecular. (kg/kmol)

Para el cálculo de las emisiones de venteo en compresores utilizaremos la siguiente ecuación que nos proporciona la EPA.

$$E_{ven.} = (V_{Tanq.} + N_{cil.} * V_{Cil.Pis}) * \frac{1}{Volumen\ molar} * M_{gas} \quad \text{Ec. (6)}$$

E_{ven} = Emisión de venteo (Kg).

V_{Tanq} = Volumen de tanque (m^3).

$V_{Cil.Pis}$ = Volumen del cilindro del pistón (m^3).

M_{gas} = 17,816 Kg/Kmol

N_{cil} = número de cilindros del motor

2.1.2.1. Normas

1) ISO 14064

La norma ISO 14064 da respuesta al incremento de la preocupación por los efectos que produce el cambio climático, así como a buscar posibles soluciones para disminuir las emisiones de gases efecto invernadero a la atmósfera.

En 1997 ya era palpable la preocupación por el cambio climático, firmándose el Protocolo de Kioto. Este convenio surge de la preocupación generada por el aumento de la temperatura del planeta y por el aumento de las emisiones de gases efecto invernadero a la atmósfera.

La norma ISO-14064 "Gases de Efecto Invernadero" es una iniciativa que limita la emisión de gases efecto invernadero en las empresas, buscando herramientas que permitan realizar la cuantificación, el seguimiento, los informes y la verificación de las emisiones realizadas por las organizaciones.

En la segunda parte de esta norma se especifican los principios y los requisitos necesarios para orientar a la organización en la cuantificación, seguimiento y como realizar los informes donde expresen las actividades que pretende realizar para disminuir las emisiones de gases efecto invernadero. Además, incluye todos los requisitos necesarios para planificar un proyecto de gases de efecto invernadero, donde se exprese cuáles son las fuentes y los sumideros de dichos gases.

2) NB 62009: 2005

Esta norma especifica los procedimientos y equipos que permitirán, muestreos representativos para la determinación de las concentraciones de gases de combustión en emisiones de chimeneas de calderos, generadores, turbinas y calentadores que funcionen gracias a la

combustión de hidrocarburos o biomasa. La aplicación está limitada a la determinación de oxígeno (O₂), dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO₂), monóxido de nitrógeno (NO) y dióxido de nitrógeno (NO₂).

2.1.3. Marco contextual

2.1.3.1. Ubicación de la estación de compresión y bombeo

La estación de compresión y bombeo Torrepampa se encuentra ubicada en el departamento de Chuquisaca, provincia Azurduy, municipio de Tarvita, comunidad Torre Pampa. La misma pertenece al gasoducto Taquiperenda - Cochabamba (GTC).

Coordenadas de la estación de compresión y bombeo Torrepampa:

- ✓ Latitud: -19,583647°
- ✓ Longitud: -64,516840°
- ✓ Elevación sobre el nivel del mar: 4243 msnm

Figura 2.10

Macro - Localización Estación Torrepampa



Fuente: (Google Earth, 2023)

Figura 2.11

Micro - Localización Estación Torrepampa



Fuente: (Google Earth, 2023)

2.1.3.2. Descripción del lugar donde se encuentra la estación Torrepampa

La estación de Torrepampa se encuentra en un municipio agricultor, al decir esto nos basamos que su principal ingreso económico es la agricultura. Como podemos observar en la figura 2.11, esta estación está rodeada por cultivos y casas familiares aledañas, a 2 km se encuentra el pueblo de San Pedro que cuenta con unos 900 habitantes entre niños, adulto y ancianos. Al tener una estimación de los gases de efecto invernadero que genera la estación se podrá ver las causas que genera ya sea en los cultivos como en la salud dos los habitantes de esta zona.

2.1.3.3. Descripción de la Estación de Compresión

La estación de compresión y bombeo Torrepampa inicio sus operaciones en el año 1982 para realizar la compresión y bombeo del tramo Taquiperenda - Cochabamba (GTC), esta estación recibe producto de la estación Cerrillos y despacha a la estación de control Tarabuco. Su capacidad de entrega es de 21 MMPCD lo cual necesita de una potencia de 1800 HP, para cubrir sesta potencia se instaló 3 compresores de la marca AJAX.

Figura 2.12

Estación de Compresión Torre pampa



Fuente: Elaboración propia

2.1.3.4. Compresores de la estación Torre pampa

La estación de Torre pampa consta de 3 compresores de gas natural de la marca AJAX – DPC 600 cada uno de ellos puede comprimir hasta 12 MMPCD en el siguiente cuadro mostraremos sus especificaciones.

Tabla 2-1

Especificaciones Básicas del Compresor AJAX-DPC 600

ESPECIFICACIONES BÁSICAS	
Numero de cilindros impulsores	3
Diámetro y carrera	15 pulg x 16 pulg
Cilindrada, pulg.	3 x 2827
Velocidad, rpm nominales	400
Potencia, CV homologadas	600
BMEP, lbs/pulg ²	70
Rotación del cigüeñal, al mirar hacia el volante	A la derecha

Fuente: Extraído del manual de manejo y mantenimiento compresores de motor integrado

DPC – 600

Tabla 2-2

Especificaciones del cilindro del Compresor AJAX-DPC 600

CILINDROS DEL COMPRESOR	
Numero de cilindros del compresor	Dos
Carrera, pulgs	11 pulgs
Velocidad del pistón, pie por minuto a la velocidad homologada	733
Carga tolerada en el vástago, lbs	40000
Numero de tapas del compresor	1, 2 o 3

Fuente: Extraído del manual de manejo y mantenimiento compresores de motor integrado

DPC – 600

Tabla 2-3

Especificaciones del Tanque de Combustible del Compresor AJAX-DPC 600

TANQUE DE COMBUSTIBLE	
Volumen del tanque, sistema de inyección, pie ³	10 1/2
Tamaño de la tubería	2 pulg.
Nº de muelle	W-191
Presión exigida en el tanque, lbs/pulg. ²	5 a 12

Fuente: Extraído del manual de manejo y mantenimiento compresores de motor integrado

DPC – 600

Tabla 2-4

Especificaciones del Sistema de Escape del Compresor AJAX-DPC 600

SISTEMA DEL ESCAPE	
Tamaño de la tubería del escape, pulg.	10
Numero de tuberías del escape	3
Computador de temperatura del escape, parada total	850 °F

Fuente: Extraído del manual de manejo y mantenimiento compresores de motor integrado

DPC – 600

Figura 2.13

Compresor N.º 1 de la Estacion Torrepampa



2.1.3.5. Chimeneas de los compresores

El estudio se basará más que todo en la combustión interna de estos compresores por lo tanto las chimeneas son de vital importancia, por estas chimeneas se realiza la expulsión de los gases de combustión como ser el CO_2 y lo que no se logra quemar del CH_4 , en la figura 2.14 podemos ver las 3 chimeneas de los 3 compresores.

Figura 2.14

Chimeneas de los 3 Compresores



2.1.3.6. Sistema de tuberías y válvulas

Los sistemas de tuberías se especificaron en conformidad con el código ASME B31.8 principalmente y ASME B31.3. El diseño de tuberías contempla las conexiones requeridas y ampliaciones futuras. El diseño se refiere a las líneas: de succión, descarga, venteo, alivio, drenajes, gas combustible, gas de arranque, gas de instrumentos y otros.

Entre los tipos de válvulas instaladas en la estación tenemos válvula bola totalmente soldadas, válvula de bola de tres cuerpos, válvula de retención, válvulas globo, también se cuentan con actuadores.

Figura 2.15

Sistema de Tuberías y Válvulas de la Estación



2.1.3.7. Diagnostico

Los problemas que se tiene en la estación de compresión y bombeo, son muchos en la emisión de gases como ser el dióxido de carbono CO₂ y metano CH₄.

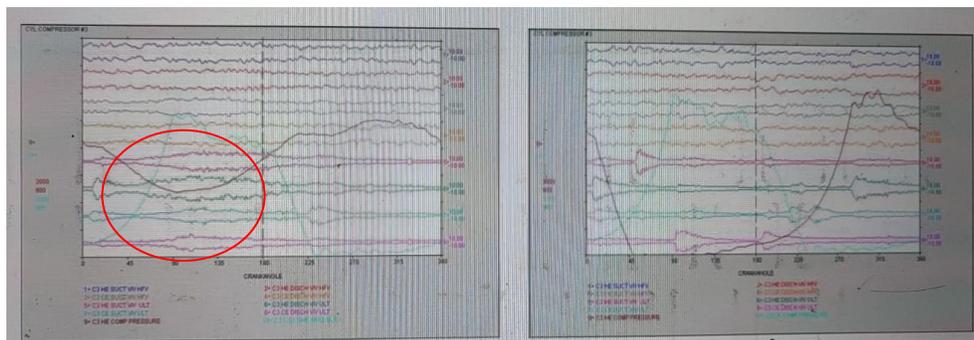
a) Válvulas y sistemas de venteo

La mayoría de las válvulas cumplen con normativas vigente, pese a cumplir con estas normas, las válvulas tienen que realizarse mantenimientos cada 3 meses según las EPA, al realizar estos mantenimientos se le da un valor a cada una de estas válvulas y poder tener un diagnóstico, si se lo mantienen a la misma o se le da de baja. En la estación de compresión podemos observar válvulas que tienen un uso de más de 15 años en algunos casos esto no es aceptable según la EPA, una válvula solo tiene una vida útil de máximo de 12 años.

En la figura 2.16 veremos una prueba de ultrasonido que se realizó a la válvula de ingreso al compresor y se detectó fugas en la misma.

Figura 2.16

Prueba de Ultrasonido a la Válvula de Ingreso



Nota: A lado izquierdo podemos ver la prueba de ultrasonido a la válvula de ingreso y al compresor y al lado derecho es como se debería de comportar si la válvula no tiene fallas,

2.1.3.8. Compresores

Los compresores AJAX PDC – 600 están en funcionamiento desde que se inició las operaciones en el año 1982, son 42 años de servicio, esto nos dan a entender que el mantenimiento de estos equipos es con más frecuencia, por este motivo YPFB transporte a mediados del año 2023 realizó una adquisición de repuestos los cuales no llegaron a la estación todavía.

Figura 2.17

Adquisición Repuestos para Compresores AJAX

MATRIZ DE EVALUACIÓN TÉCNICA
Adquisición Repuestos para compresores AJAX

MARCA: AJAX
MODELOS: DPC-360-600-800
SERIES: DPC-360 (S/N 83806), DPC-600 (S/N 79177), DPC-800 (S/N 83726)

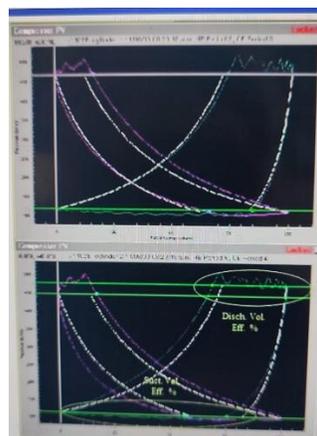
REQ. REQUERIMIENTO					OFERTA	
1. Cotización de items de la marca AJAX y número de parte según requerimiento.					CUMPLE / NO CUMPLE	
2. Cotización de el mayor al 85% de items del listado.					CUMPLE / NO CUMPLE	
Nº	DESCRIPCIÓN	NUMERO DE PARTE	MODELO COMPRESOR	CANTIDAD	UM	
1	AIR FILTER	ZBA-18116-30-3	DPC-360	10	UN	CUMPLE / NO CUMPLE
2	BUSHING & PLUNGER ASSY	ZCAE-2097-21-3	DPC-360-600-800	20	UN	CUMPLE / NO CUMPLE
3	CABLE - SPARK PLUG B COIL	ZBA-11422-2-13	DPC-360-600-800	20	UN	CUMPLE / NO CUMPLE
4	GASKET - OIL INLET TO BED	ZCA-74-6	DPC-360-600-800	10	UN	CUMPLE / NO CUMPLE
5	GASKET - VALVE COVER	ZBA-18777-2-13	DPC-360-600	12	UN	CUMPLE / NO CUMPLE
6	GASKET - VALVE BEAT	ZBA-18777-4-6	DPC-360	18	UN	CUMPLE / NO CUMPLE
7	GASKET - WIRE RE-VALVE PORT	ZBA-18777-3-6	DPC-600-800	60	UN	CUMPLE / NO CUMPLE
8	GRISE VALVE	ZC-2891-6	DPC-360-600-800	20	UN	CUMPLE / NO CUMPLE
9	MECHANICAL SEAL	ZBA-11531-4-1	DPC-360-600-800	6	UN	CUMPLE / NO CUMPLE
10	RING SET POWER PISTON 10"	ZA-4711-6	DPC-360-600-800	3	KIT	CUMPLE / NO CUMPLE
11	PISTON RING ODM 4 1/2" x 11"	BM-1009	DPC-360	24	UN	CUMPLE / NO CUMPLE
12	PISTON RING ODM 5 3/4" x 11"	BM-1635	DPC-600	24	UN	CUMPLE / NO CUMPLE
13	RING PACKING COMPRESSOR PISTON ROD	ZBA-18014-K	DPC-360-600-800	14	UN	CUMPLE / NO CUMPLE
14	RING PACKING POWER END OIL WIPER STUFFING BOX	ZBA-11024-1	DPC-360-600-800	2	KIT	CUMPLE / NO CUMPLE
15	SEAL KIT STEAM	BM-1614	DPC-360-600-800	6	KIT	CUMPLE / NO CUMPLE
16	SPRING	ZBA-1485	DPC-360-600-800	220	UN	CUMPLE / NO CUMPLE
17	STANDARD TAPER PIN	ZBA-11024-02-1	DPC-360-600-800	140	UN	CUMPLE / NO CUMPLE
18	VALVE - STEEL	ZA-2094-6	DPC-360-600-800	150	UN	CUMPLE / NO CUMPLE
19	STUFFING BOX	ZNA-0214	DPC-360-600-800	1	UN	CUMPLE / NO CUMPLE
20	SEI - COV	K-6307	DPC-600	1	UN	CUMPLE / NO CUMPLE
21	TACOMETRO DIGITAL	DTHD-3201(ZAB0D.DTHD-3201)	DPC-360-600-800	4	UN	CUMPLE / NO CUMPLE
22	CRANKSHAFT MAIN THRUST BEARINGS	ZC-7213A-1	DPC-600-800	1	UN	CUMPLE / NO CUMPLE
23	BEARING PIN	ZA-1223-2	DPC-360	2	UN	CUMPLE / NO CUMPLE
24	VALVE	ZBA-11050	DPC-360-600-800	4	UN	CUMPLE / NO CUMPLE
25	VALVE RELAY	BM-11679-0	DPC-360-600-800	3	UN	CUMPLE / NO CUMPLE
26	GEAR RING	ZC-7258	DPC-360-600	1	UN	CUMPLE / NO CUMPLE
27	GEAR RING	ZC-7258-2	DPC-360	3	UN	CUMPLE / NO CUMPLE
28	POWER VALVE ASSEMBLY	MO-3	DPC-360-600	1	UN	CUMPLE / NO CUMPLE
29	SEAPTER	BM-11112-6	DPC-360	12	UN	CUMPLE / NO CUMPLE
30	BEARING DIV	A-4812-1	DPC-360	8	UN	CUMPLE / NO CUMPLE

Fuente: (YPFB Transporte S.A.)

En la figura 2.18 podemos ver la prueba de ultrasonido que se realizó al compresor N° 2 a principios del año 2023. Esta prueba de ultra sonido se le realizo por motivos de perdida de eficiencia en la compresión del gas en un 4,5 %, como podemos ver en la figura no solo es una fuga de gas sino también es la mala combustión, al tener una mala combustión y no quemar todo el gas se incrementa la emisión de gas metano que es 5 veces más dañino que el dióxido de carbono.

Figura 2.18

Ultrasonido Compresor N.º 2



Nota: Prueba de ultrasonido al compresor.

2.1.3.9. Análisis del diagnóstico

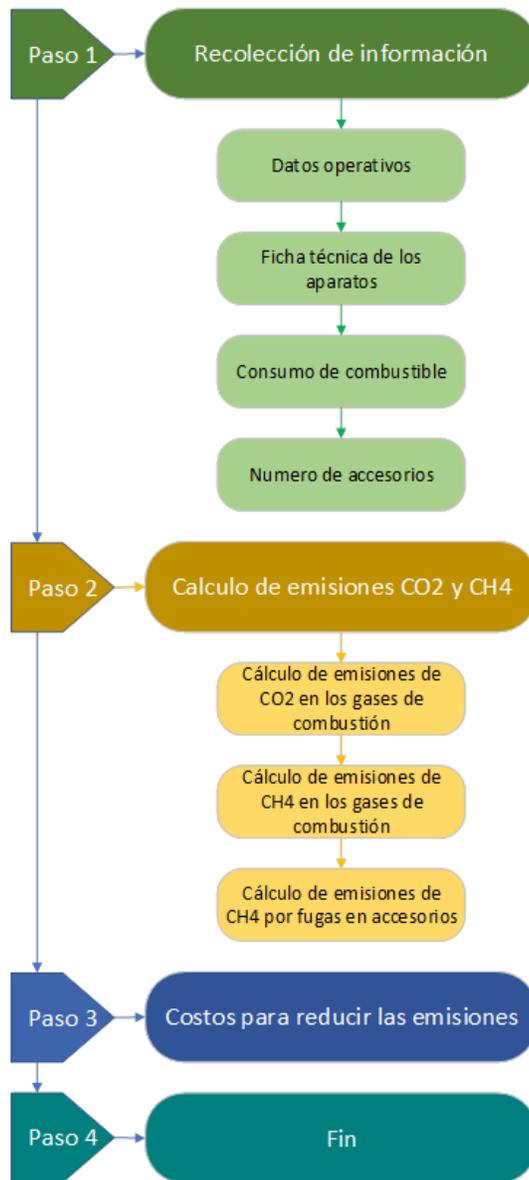
Haciendo un diagnóstico de las emisiones de metano y dióxido de carbono en la estación de compresión y bombeo Torrepanpa, podemos observar que las fuentes que emiten más estos dos gases son los compresores y las válvulas, con estas observaciones nos centraremos en estos dos tipos de aparatos. En los compresores se vio fallas en la hermeticidad, esto se debe a que los sellos no son lo suficientemente herméticos, puede ser por la antigüedad que tienen o la falta de mantenimiento, en los motores de combustión interna a gas natural se encuentra algunas fallas, como la emisión excesiva de gas metano, esto nos da a entender que hay mala combustión interna, por lo cual muestra una eficiencia muy baja para este tipo de motores. Por su parte en las válvulas, también se encuentran fugas de metano, esto se debe a la poca mantención que se les realiza y la excesiva vida útil que se les da a las mismas.

2.2. INFORMACIÓN Y DATOS OBTENIDOS

Para poder cumplir cada uno de los objetivos de esta monografía, realizaremos un diagrama de bloques, el cual nos ayudará a tener un manejo adecuado de la información y los cálculos a realizar, al seguir este paso a paso se entenderá de mejor manera cada resultado obtenido y como se llegó a este.

Figura 2.19

Diagrama de Bloques



Mediante una investigación previa a realizar la presente monografía se realizó una visita a la estación de compresión y bombeo Torrepampa, donde se recopiló datos operativos, los cuales nos ayudarán a realizar cálculos para la estimación de emisiones de metano y dióxido de carbono en dicha estación.

Las horas de operación es de vital importancia, las mismas nos ayudarán al cálculo de las emisiones de gases, para poder realizar estos cálculos necesitamos datos específicos de las horas de operación de cada uno de los compresores de la estación, estos datos fueron

obtenidos mediante algunos reportes (ver anexo A) que pudimos recabar en la estación de compresión. En la tabla 2-5 podremos ver las horas de operación que corresponden al año 2023 de cada uno de los compresores, asimismo algunas especificaciones que se obtuvieron de la ficha técnica. Ver anexo B.

Tabla 2-5

Datos e Información de los Compresores

NOMBRE	POTENCIA (Hp)	EFICIENCIA TÉRMICA (BTU/Hp-Hr)	HORAS DE OPERACIÓN (Hr)	FACTOR DE CARGA (%)
Compresor 1	600	7.800	8.707	75
Compresor 2	600	7.800	8.724	75
Compresor 3	600	7.800	8.604	75

Nota: Las horas de operación son datos del año 2023.

2.2.1. Cálculo del consumo de combustible en los compresores de gas natural

El cálculo del consumo de combustible es de vital importancia para poder calcular las emisiones del dióxido de carbono, para lo cual utilizaremos la Ec. (2), para esto necesitamos datos del poder calorífico superior del gas natural, en Bolivia esta normado por el Decreto Supremo N° 27505, 19 de mayo de 2004, el cual nos menciona que es de 36.515,4255 BTU/m³, teniendo todos los datos podemos calcular el consumo de combustible de cada uno de los compresores para el año 2023.

Como se menciona anteriormente con la ecuación 2 podremos calcular el consumo de combustible de cada uno de los compresores que el resultado nos dará en m³/año, para esto tomaremos de la tabla 2-5, ER que se refiere a la potencia del compresor en Hp, LF= al factor de carga en %, OT= horas de operación en Hr/Año, ETT= eficiencia térmica en BTU/(Hp-Hr), y HV= poder calorífico superior que antes mencionamos que esta normalizado por el Decreto Supremo N° 27505.

Compresor 1

$$FC = ER * LF * OT * ETT * \frac{1}{HV} \quad \text{Ec. (2)}$$

$$FC = 600 \text{ Hp} * 0,75 * 8707 \frac{\text{Hr}}{\text{Año}} * 7800 \frac{\text{BTU}}{\text{Hp} - \text{Hr}} * \frac{1}{36.515,4255 \frac{\text{BTU}}{\text{m}^3}} = 836.949,58 \frac{\text{m}^3}{\text{Año}}$$

✓ Compresor 2

$$FC = 600 \text{ Hp} * 0,75 * 8724 \frac{\text{Hr}}{\text{Año}} * 7800 \frac{\text{BTU}}{\text{Hp} - \text{Hr}} * \frac{1}{36.515,4255 \frac{\text{BTU}}{\text{m}^3}} = 838.583,68 \frac{\text{m}^3}{\text{Año}}$$

✓ Compresor 3

$$FC = 600 \text{ Hp} * 0,75 * 8604 \frac{\text{Hr}}{\text{Año}} * 7800 \frac{\text{BTU}}{\text{Hp} - \text{Hr}} * \frac{1}{36.515,4255 \frac{\text{BTU}}{\text{m}^3}} = 827.048,83 \frac{\text{m}^3}{\text{Año}}$$

Tabla 2-6

Tabulación de Consumo de Combustible

NOMBRE	CONSUMO DE COMBUSTIBLE (m³/AÑO)
Compresor 1	836.949,58
Compresor 2	838.583,68
Compresor 3	827.048,83

2.2.2. Cálculo del CO₂ en los compresores de gas natural

Para poder realizar el cálculo del CO₂ es de vital importancia tener el consumo de combustible, como tenemos ya el cálculo de consumo de combustible otro dato importante a tener en cuenta es el volumen molar a condiciones estándar, el valor de este es de 23,685 m³/Kmol, el peso molecular del gas en la estación es de 17,816 kg/kmol estos datos se obtuvieron de una cromatografía que se realizó al gaseoducto de Taquiperenda Cochabamba, en una anterior investigación (VICTORIA HEREDIA, 2023).

Con la ecuación 4 podremos calcular la emisión de CO₂ en los gases de combustión de los compresores, donde E_{CO₂} = Emisión de CO₂ en los gases de combustión lo obtendremos en Kg/Año, FC= consumo de combustible calculado con la ecuación 2 y tabulado en la tabla 2-6 respectivamente, Volumen molar= volumen molar de la gas natural en condiciones estándar que es de 23,685 m³/Kmol, M_{gas}= peso molecular del gas natural obtenido de una cromatografía, que se especificó en el anterior párrafo en Kg/Kmol.

$$E_{CO_2} = FC * \frac{1}{\text{Volumen molar}} * M_{gas} * \frac{44}{12} \quad \text{Ec. (4)}$$

✓ Compresor 1

$$E_{CO_2} = 836.949,58 \frac{m^3}{Año} * \frac{1}{23,685 \frac{m^3}{Kmol}} * 17,816 \frac{Kg}{Kmol} * \frac{44}{12} = 2.308.381,267 \frac{Kg}{Año}$$

✓ Compresor 2

$$E_{CO_2} = 838.583,68 \frac{m^3}{Año} * \frac{1}{23,685 \frac{m^3}{Kmol}} * 17,816 \frac{Kg}{Kmol} * \frac{44}{12} = 2.312.888,259 \frac{Kg}{Año}$$

✓ Compresor 3

$$E_{CO_2} = 827.048,83 \frac{m^3}{Año} * \frac{1}{23,685 \frac{m^3}{Kmol}} * 17,816 \frac{Kg}{Kmol} * \frac{44}{12} = 2.281.074,119 \frac{Kg}{Año}$$

Tabla 2-7

Tabulación de Emisiones de CO₂ en Compresores

NOMBRE	EMISIONES DE CO₂ (Kg/AÑO)
Compresor 1	2.308.381,267
Compresor 2	2.312.888,259
Compresor 3	2.281.074,119

2.2.3. Cálculo de CH₄ en los gases de combustión de cada uno de los compresores

El cálculo para el metano (CH₄) en los gases de combustión se lo realizara mediante la ecuación número 5, para esto necesitamos algunos datos importantes como ser el volumen de llenado que es de 9,264 E-5 m³, otro de vital importancia es la velocidad nominal que es de 440 RPM, estos datos se obtuvieron de la ficha técnica de dicho compresor.

✓ Para todos los compresores

$$E_{CH_4} = V * CH_4 \text{ Fracción molar} * \%residual \text{ de } CH_4 * \frac{1}{\text{Conversión volumen molar}} * M_{CH_4} \quad \text{Ec. (5)}$$

Con la ecuación 5 se calculará E_{CH₄}= Emisiones de CH₄ en Kg, V= volumen de encendido obtenido ANEXO B la fica técnica del compresor en m³, CH₄ Fracción molar= fracción molar del metano, %residual de CH₄= fracción no combustionada que es del 2%, Volumen molar= Volumen molar del metano en m³/Kmol, M_{CH₄}= peso molecular del metano en kg/kmol.

Después de obtener estos resultados por ciclo, se tendrá que calcular las emisiones de metano en los gases de combustión para todo un año, lo cual nos lleva a realizar una multiplicación por la velocidad nominal que está en (RPM), a esto se multiplicara por las horas de operación que se tiene de cada uno de los compresores en la tabla 2-5, a esto se multiplicara por el número de cilindros que tiene cada compresor, como resultado tendremos las emisiones de metano CH₄ en los gases de combustión en un año.

Tabla 2-8

Tabulaciones de Emisiones CH₄ en Compresores

NOMBRE	EMISIONES DE CH₄ (Kg) CICLO	VELOCIDAD NOMINAL (RPM)	N.º DE CILINDROS	HORAS DE OPERACIÓN (Hr)	EMISIONES DE CH₄ (Kg/Año)
Compresor 1	1,149E-5	440	3	8.707	792,331
Compresor 2	1,149E-5	440	3	8.724	793,878
Compresor 3	1,149E-5	440	3	8.604	782,958

2.2.4. Cálculo de metano (CH₄) en el sistema de venteo del compresor

Los compresores AJAX DPC – 600 tienen un tanque de combustible al cual se le alimenta constantemente por una red, cuando se sufre de algún percance el compresor es apagado, por lo tanto, se tiene que ventear el combustible que se encuentra en el tanque y en los pistones, este proceso genera una emisión de metano (CH₄), el cual es liberado a la atmosfera.

Para este cálculo se necesitará el volumen del tanque de combustible de cada compresor, el cual obtendremos de la ficha técnica de los compresores ver (ANEXO B). El volumen de recocido del cilindro, el cual también se obtendrá de la ficha técnica. Ayudándonos con la ecuación 6 y algunos datos obtenidos anteriormente podemos calcular la emisión de CH₄ en las unidades de venteo.

$$E_{ven.} = (V_{Tanq.} + 3 * V_{Cil.Pis}) * \frac{1}{Volumen\ molar} * M_{gas} \quad \text{Ec. (6)}$$

✓ Para todos los compresores

$$E_{ven.} = (0,283\ m^3 + 3 * (9,264E - 5\ m^3)) * \frac{1}{23,685\ \frac{m^3}{Kmol}} * 17,816\ \frac{Kg}{Kmol} = 0,214\ Kg$$

Tabla 2-9*Emisiones de CH₄ por Venteo en el Compresor*

NOMBRE	EMISIONES DE CH₄ POR VENTEO (Kg)	TIEMPO INOPERABLE DE LOS COMPRESORES	EMISIÓN DE CH₄ POR VENTEO (Kg/AÑO)
Compresor 1	0,214	36	7,704
Compresor 2	0,214	27	5,778
Compresor 3	0,214	31	6,634

2.2.5. Emisiones de CH₄ por accesorios, válvulas y otros componentes de la estación de compresión

Las emisiones de CH₄ en accesorio, válvulas u otros, es muy difícil de identificar, por lo cual la Agencia de protección ambiental en sus siglas en inglés (EPA), realizo diferentes estudios en estaciones de compresión, analizando cada uno de estos elementos en diferentes situaciones, para poder cuantificar fugas.

EPA hizo una clasificación de estaciones de compresión y bombeo, mediante la cantidad de compresores, presiones a las que trabajan y el caudal que se comprime. En el anexo C tenemos una tabla la cual tomaremos como referencia para poder realizar el cálculo de la emisión de metano en la estación de compresión y bombeo Torrempampa, teniendo estos datos y realizando algunos cálculos adicionales tendremos la cantidad de CH₄ que se liberó en un año (EPA, 2003).

En la tabla 2-10 veremos un resumen de los cálculos realizados, se tomó los datos de cada componente que se muestra en el Anexo C, se multiplicó por el número de componente que se tiene en la estación de compresión, se vio que elementos actúan cuando el sistema este encendido y apagado y por último se realizó la conversión para el cálculo solo la emisión del CH₄ de estos elementos.

Tabla 2-10*Emisiones de CH4 de Cada uno de los Accesorios*

DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE	EMISIONES DE CH4 EN (Kg/AÑO)
Válvula de globo/Llave de macho	3341,93
Válvula de purga	39796,27
Unión del cilindro del compresor	379,74
Sello de empacado – funcionando	49769,31
Sello de empacado – en reposo	72841,55
Válvula del compresor	707,70
Válvula de control	408,51
Brida	325,08
Válvula de compuerta	58,50
Válvula del cargador	1319,51
Línea de extremo abierto (OEL)	9413,02
Válvula de alivio de presión (PRV)	8822,30
Regulador	34,52
Ventila de arranque de gas	2347,50
Conector – roscado	20559,81
Sello centrífugo – seco	16835,26
Sello centrífugo – mojado	10663,48
total	237623,98

2.2.6. Estimación de costos para reducir las emisiones

Tener un costo exacto para la reducción de las emisiones de metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂), en la estación de compresión y bombeo Torrempampa, es muy complicado, por cual tomaremos datos de los componentes más importante en los cuales se puede intervenir para la reducción de estas emisiones.

2.2.6.1. Estimación de costos para reducir las emisiones en los compresores

a) Anillos de tapa equilibrada

Para reducir las emisiones de en los compresores de gas realizaremos un cambio en las empaquetaduras, como ser los anillos de empaquetadura, a diferencia de los que están montados en la estación de compresión, estos están diseñados para reducir las emisiones de gases en un 70%, nos referimos a los anillos de tapa equilibrada (BCD), estos anillos rodean al vástago y forman espacios radiales, su diseño produce una distribución equilibrada de presión que mejora sustancialmente el sellado y presenta un patrón de desgaste muy predecible dándonos una vida útil muy larga, el diseño compacto produce menos calor por fricción, se instala fácilmente, requiere menos espacio, el diseño sencillo de anillo único genera muy pocas fugas el costo de este accesorio es de 404.5 Euros, se necesitara 6 por cada compresor por lo tanto se tendría que comprar 18 unidades de anillos de tapa equilibrada. Todas sus características se encuentran en el ANEXO D.

Figura 2.20

Anillo de Tapa Equilibrada



Fuente: Extraído de (Segmentos, anillos guía y anillos de empaquetaduras para compresores, pág. 13, 2023).

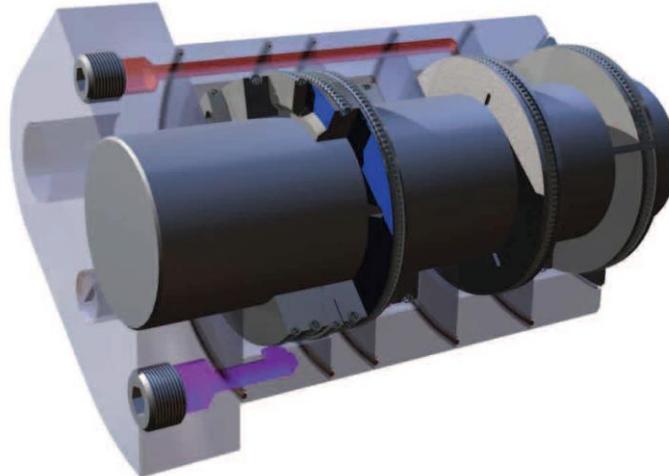
b) Sistemas de empaquetadura de bajas emisiones y monitorización

Este sistema de empaquetadura traba más cuando el compresor esta apagado, la misma inyecta gas nitrógeno antes de que llegue al cárter no dejando ingresar el gas natural a la cámara, este tipo de mecanismo nos ayudara a no ventilar el gas natural, de lo contrario solo

se ventilara el nitrógeno que es menos dañino que el metano, el costo de este aparato, con más los controladores es de 2.575,33 euros, en este caso en particular necesitaremos 3 para cada uno de los compresores. Todas sus características de este dispositivo se encuentran en el ANEXO E.

Figura 2.21

Sistema de Empaquetadura de Bajas Emisiones y Monitorización



Fuente: Extraído de (Segmentos, anillos guía y anillos de empaquetaduras para compresores, pág. 15, 2023).

2.2.6.2. Estimación de costos en accesorios

Para poder estimar estos costos, tenemos que tener en cuenta las veces por año que es necesario realizar un cambio o un mantenimiento del accesorio, lo cual nos especifica la Agencia de Protección Ambiental en sus siglas en inglés (EPA). La misma agencia de Protección Ambiental nos da unos precios estableciditos de cada uno de los accesorios y el precio de mantenimiento en estados unidos. Ver ANEXO F.

En la tabla 2-11 podremos ver cada uno de los componentes que se realizaran una modificación ya sea un remplazo, modificación u otro tipo de mantenimiento, la cantidad de componentes que se les realizara el trabajo por año, y el costo total en euros por año que se gastara.

Tabla 2-11*Tabla de Costos por Accesorios*

COMPONENTE	TIPO DE REPARACIÓN	CANTIDAD POR AÑO	COSTO PROMEDIO (DÓLARES)	
			Unidad	Total
Válvula de globo	Reemplazo	25	129,6	3.240
Válvula de purga	Reemplazo	10	648	6.480
Unión del cilindro del compresor	Apretarse	2	10,8	21,6
Válvula del compresor	Reemplazo	9	216	1.944
Válvula de control	Reemplazo	5	108	540
Brida	Reemplazo	15	324	4.860
Válvula de compuerta	Reemplazo	5	216	1.080
Válvula del cargador	Reconstrucción	4	324	1.296
Ventila de arranque de gas	Intervenir el tapón	3	777,6	2.333
Conector – roscado	Reemplazo de teflón	800	10,8	8.640
TOTAL		878	2.765	30.434

Fuente: Extraído de (Agencia de Protección Ambiental (EPA), 2022)

2.2.7. Estimación de costos totales para la reducción de emisiones de metano y dióxido de carbono en la estación de compresión y bombeo Torrepampa.

En la tabla 2-12 podremos ver el costo total que se tendrá para poder reducir las emisiones de metano y dióxido de carbono, para los compresores se realizó una multiplicación porque cada uno de los anillos cuesta 404,5 euros y para cada compresor se necesita 6, y se tomó de la tabla 2-11 el costo total de los accesorios.

Tabla 2-12

Costos Totales para la Reducción de Emisiones de Metano y Dióxido de Carbono en la Estación Torrempampa

COMPONENTE	COSTO (DÓLARES)	COSTO EN BOLIVIANOS
Compresor 1	\$5.402,52	Bs37.601,51
Compresor 2	\$5.402,52	Bs37.601,51
Compresor 3	\$5.402,52	Bs37.601,51
Accesorios	\$30.434,40	Bs211.823,42
TOTAL	\$43.186,99	Bs324.627,97

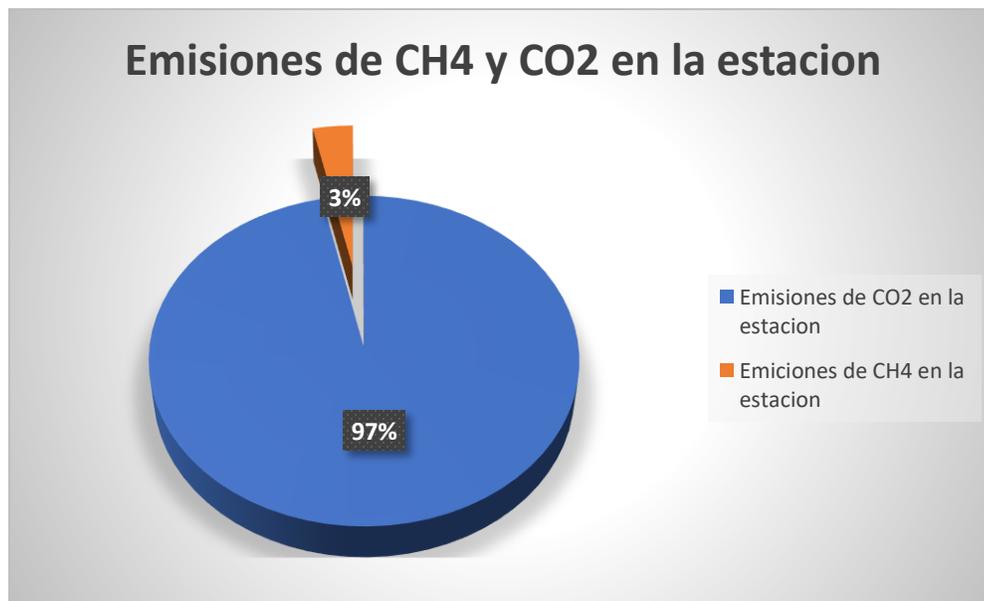
Nota: La conversión se lo realizo en fecha 03/05/2023 donde el cambio de 1 dólar = 6,96 Bs.
datos obtenidos del banco central de Bolivia (BCB)

2.3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

Realizado los cálculos podemos observar (ver la figura 2.22), que las emisiones de dióxido de carbono son más elevadas que las del metano en un 97%, esto se veía venir por motivos de la quema de combustible es muy elevada. En el marco contextual vimos que el metano es 5 veces más contaminante que el dióxido de carbono, pero ni aun así llega a emparejarse los resultados. Haciendo un énfasis en los gases de combustión podemos analizar que estos se debe a los años de funcionamiento que tienen estos compresores, si queremos bajar la contaminación de CO₂ en estos motores tendríamos que dejarlos en desuso, y cambiar por unos motores que cumplan con normas ambientales internacionales, su costo de estos motores son muy elevados, en una investigación realizada el año 2023 en este mismo programa de diplomado se planteó este cambio de compresores y se llegó a la conclusión que en más de 15 años se recuperaría la inversión, no es malo si lo vemos desde un punto de vista ambiental y en lo económico sería más rentable, puesto que las pérdidas de gas serian mucho más bajas y por lo tanto más ingresos para la empresa estatal YPFB.

Figura 2.22

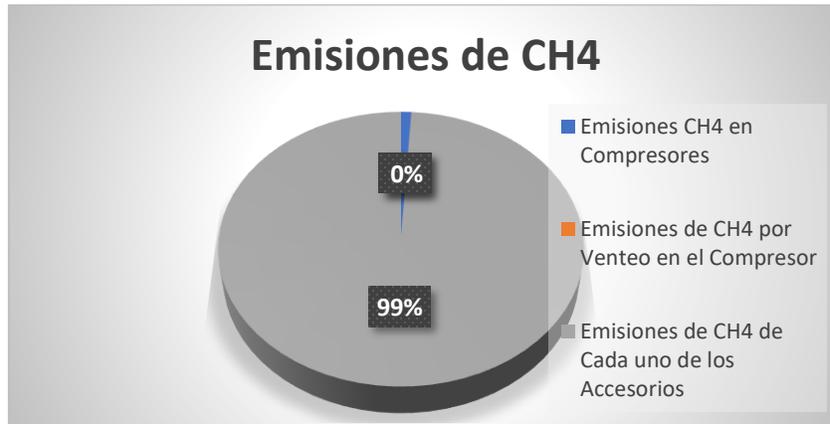
Emisiones de CH₄ y CO₂ en la Estación Torrempampa



Enfocándonos en el metano (CH₄) podríamos decir que las fugas en accesorios son las que dominan en su totalidad con un 99% (ver figura 2.23), del total de emisiones calculadas, esto es más normal porque se tiene una cantidad elevada de estos accesorios en toda la estación, hablando de fugas por venteo y en el quemado de combustible, sabemos que las emisiones de metano son más elevadas en la quema de combustibles, esto podemos asegurar por el tiempo de uso que tienen cada uno de estos compresores, en la presente monografía solo se tomó un 2%, por motivos de biografías, donde nos especifican que a motores con más de 10 años de uso se toma este dato, pero no se tiene datos de motores con más de 20 años de funcionamiento, dándonos a entender que las emisiones de metano se elevan considerablemente y estos motores que al final terminan como desechos. No se puede realizar esto por motivos de costos, ya que este tipo de compresores son muy difíciles de comprar por la inversión que se necesita.

Figura 2.23

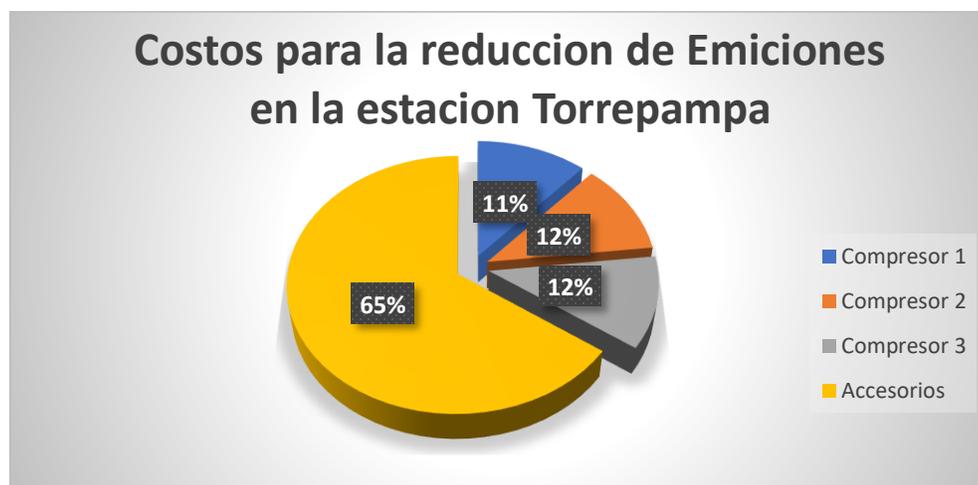
Emisiones de CH4 en la Estación de Compresión Torreopampa



Realizando un análisis de costos podemos ver que el remplazo y mantenimiento de los accesorios nos costara más, en un 65% (ver la figura 2.24), esto se puede reducir haciendo mantenimientos más constantes, para esto tenemos que realizar detección de fugas constantemente, esto nos ayudara a bajar costos de mantenimiento y remplazo de los accesorios, según la EPA una estación con las características de la estación de compresión y bombeo Torreopampa, tiene una pérdida de 29.413 Mcf/año si lo multiplicamos por el valor del gas natural 1,31 dólares por Mcf, este dato fue tomado en fecha 02 de mayo de 2024 de la Agencia nacional de hidrocarburos (ANH), realizando este cálculo tendríamos una pérdida de 38.531,03 dólares, al realizar este cálculo podemos ver que es muy elevada la pérdida económica que sufre la empresa estatal YPFB.

Figura 2.24

Costos para la Reducción de Emisiones en la Estación Torreopampa



CAPITULO III: CONCLUSIONES

Durante la caracterización de la estación de compresión y bombeo Torrepampa, ubicada en el departamento de Chuquisaca, provincia Azurduy, municipio de Tarvita, se concluyó que forma parte del sistema de transporte de gas del mercado interno sur, específicamente del gaseoducto Taquiperenda-Cochabamba (GTC). Esta estación opera con 3 compresores AJAX DPC-600, en funcionamiento desde 1982, los cuales suministran gas natural a Tarabuco y luego a la ciudad de Sucre para su distribución.

Durante la recopilación de información, se enfrentaron desafíos como la limitación de tiempo y la confidencialidad de datos manejados por la empresa responsable de la estación. Se observó que los compresores presentan múltiples fallas debido a su antigüedad, lo que ocasionalmente resulta en el apagado del motor. Para abordar este problema, se calcularon las horas de operación de cada compresor en 2023. El compresor 2 registró el mayor tiempo de operación con 8,724 horas, mientras que el compresor 3 estuvo mayor tiempo en reparación, con solo 8,604 horas trabajadas. Estos datos fueron fundamentales para determinar el consumo de combustible de cada compresor, siendo el compresor 2 el mayor consumidor con 838,583.68 m³/año y el compresor 3 el menor con 827,048.83 m³/año.

Se identificó que el dióxido de carbono representa el 97% de las emisiones totales, lo que indica una combustión ineficiente del combustible. Se sugiere realizar un mantenimiento y reemplazo de piezas para reducir estas emisiones, aunque la alternativa de reemplazar los compresores implica una inversión considerable. Por otro lado, las emisiones de metano se concentran en los accesorios de la estación, lo que podría solucionarse con mantenimiento regular.

La estimación de costos para reducir las emisiones de dióxido de carbono es complicada debido a la información limitada disponible. Sin embargo, se realizó un análisis para los anillos de sellado, que podrían mejorar la combustión y reducir las emisiones de ambos gases. Se estima un costo de Bs211,823.42 por año para reducir las fugas de metano, lo que sería beneficioso tanto ambiental como económicamente para la empresa estatal YPFB Transporte. El costo total para reducir las emisiones de dióxido de carbono y metano asciende a Bs324,627.97 por año.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Ballesteros, H. O. B., & Aristizabal, G. E. L. (2007). *Gases de efecto invernadero y el cambio climático*.
2. Castro, O. L. A., Jaramillo, J. E., & Blanco, H. A. (2013). ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE GEI (CO₂ Y CH₄) GENERADAS DURANTE EL TRANSPORTE DE GAS NATURAL EN COLOMBIA, APLICANDO METODOLOGÍA IPCC. *Revista fuentes*, 11.
3. cesar. (2023). Compresores Axiales: Funcionamiento, Beneficios y Aplicaciones. *Compresores de Aire Industriales*. <https://compresordeaireindustrial.com/compresores-axiales-funcionamiento-beneficios-y-aplicaciones/>
4. César Gil Tolmo. (2013). *SELECCIÓN Y DISEÑO DE COMPRESORES CENTRÍFUGOS*.
5. CHRISTINA NUNEZ. (2023, febrero 28). *¿Qué son los gases de efecto invernadero y cuáles son sus efectos?* National Geographic. <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/gases-efecto-invernadero-que-son-hacen>
6. *Compresores de anillo líquido*. (s. f.). nash. Recuperado 9 de abril de 2024, de <https://www.nashpumps.com/es-es/liquid-ring-compressors>
7. *Descripción General del Equipo de una Estación de Compresión de Gas Natural* | Kimray. (2024). <https://kimray.com/training/descripcion-general-del-equipo-de-una-estacion-de-compresion-de-gas-natural>
8. EPA. (2003). *INSPECCIÓN Y MANTENIMIENTO CONTROLADOS DE LAS ESTACIONES DE COMPRESORES*.
9. Ildegar Puert. (2010). *ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LOS COMPRESORES RECIPROCANTES DE GAS NATURAL INGERSOLL-RAND SVG-412 EN EL CAMPO SAN JOAQUÍN, EDO. ANZOÁTEGUI*.
10. Johnson, D., & Covington, A. (2014). Potential Reduction of Fugitive Methane Emissions at Compressor Stations and Storage Facilities Powered by Natural Gas Engines. *Volume 6A: Energy*, V06AT07A038. <https://doi.org/10.1115/IMECE2014-38582>

11. Litto, R., Hayes, R. E., & Liu, B. (2007). Capturing fugitive methane emissions from natural gas compressor buildings. *Journal of Environmental Management*, 84(3), 347-361.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2006.06.007>
12. Marion Rosy Gareca Quispe, J. C. M. (2020). *Emisión de gases de efecto invernadero (GEI) como indicador de eficiencia energética en la industria petroquímica*.
13. Subramanian, R., Williams, L. L., Vaughn, T. L., Zimmerle, D., Roscioli, J. R., Herndon, S. C., Yacovitch, T. I., Floerchinger, C., Tkacik, D. S., Mitchell, A. L., Sullivan, M. R., Dallmann, T. R., & Robinson, A. L. (2015). Methane Emissions from Natural Gas Compressor Stations in the Transmission and Storage Sector: Measurements and Comparisons with the EPA Greenhouse Gas Reporting Program Protocol. *Environmental Science & Technology*, 49(5), 3252-3261.
<https://doi.org/10.1021/es5060258>

ANEXO A

Entrevista al Ingeniero JOSE LUIS ARCIENEGA

Entrevista al ingeniero **JOSE LUIS ARCIENEGA MENDIETA**

Pregunta 1 ¿Qué tiempo llega trabajando en este lugar?

Respuesta. – llevo trabajando en la estación de compresión Torrepampa 20 años.

Pregunta 2 ¿Qué recuerde usted alguna vez hubo alguna fuga de gas o una falla muy grave en algún compresor?

Respuesta. - si no recuerdo mal en al año 2008 o 2009 hubo una fuga de gas, una de las válvulas de globo fallo, luego que recuerde no hubo fallas tan graves.

Pregunta 3 ¿Se realiza constantemente una prueba de hermeticidad a los compresores y válvulas?

Respuesta. - Si se los realiza a los compresores cada 6 meses y a las válvulas no es tan seguido, pero se los realiza, más que todo a las más grandes.

Pregunta 4 ¿Qué método se utiliza para realizar la prueba de hermeticidad?

Respuesta. - Se le realiza pruebas de ultrasonido, esta prueba no necesita la detención de los compresores, por lo tanto, es la más adecuada para saber si existe alguna fuga de gas.

Pregunta 5 ¿Existe alguna fuga en los sellos de los compresores?

Respuesta. - Como te dije si existe, es imposible que sea totalmente hermético, más que todo por los años que tienen estos. Cuando se para los motores de los compresores se hace el venteo de la cámara de combustible, ahí se genera más la emisión de metano.

Pregunta 6 ¿Se paraliza algún momento los compresores?

Respuesta. - Claro que sí, más que todo cuando se realizan mantenimientos o lagunas fallas, pero más que todo para mantenimientos preventivos.

Pregunta 7 ¿Cada que tiempo se apaga los compresores?

Respuesta. - No te podría decir exactamente cada que tiempo ya que esto depende más de alguna falla o mantenimiento, como te mostré un reporte rápido, ahí se detalla el tiempo y que se realiza, al final de año se contabiliza las horas de operación de cada uno de los compresores. Esta información es confidencial por lo que no te puedo dar un dato exacto, pero si aproximaciones.

Pregunta 8 ¿me podría proporcionar los datos aproximados de la cantidad de horas que no estuvieron en funcionamiento cada uno de los compresores?

Respuesta. - Como te dije solo te puedo dar aproximaciones, el compresor 1 alrededor de dos días y un par de horas (53 horas), el compresor 2 no tuvo muchas interrupciones un día y medio maso menos (36 horas) y por último el compresor 3 si tubo bastantes problemas a principios de año 2023, unos 6 días y medio maso menos porque se tuvo problemas en un cilindro. (156 horas)

Pregunta 8 ¿Usted cree que estos gases que se liberan en la estación están afectando en algo al ecosistema?

Respuesta. - Como cualquier gas de efecto invernadero, son muy dañinos y están causando el calentamiento global, en la comunidad no se vio mucho este efecto, pero algunos comunarios comenta que cambio mucho el clima, por ejemplo, disminuyeron las lluvias y que cuando llueve es muy destructivo.

INFORME RAPIDO DE MANTENIMIENTO

Localizacion *Estacion Toirepumpo.*
Código *1970224A2*
Especificaciones *Compresor AJAX D2*
Encargado *[Redacted]*
Fecha *24/09/2023*

ITEN	DESCRIPCIÓN	TIPO	HORA DE INICIO	HORA DE CONCLUSION	TOTAL HORAS	DESARROLLO
<i>1066</i>	<i>Cambio de Aceite primario y secundario</i>	<i>Mantenimiento preventivo.</i>	<i>9:45 Am.</i>	<i>12:35 Pm</i>	<i>2:50 hr</i>	<i>Puro de máquina, vaciado de Aceite Secundario, vaciado de Aceite primario, Limpieza con aire a presión, llenado de Aceite primario y Secundario</i>

Nota: *Montar 40.6-4580 y Paquet 4625. retirando de partículas con mano para la colocación de un tornillo nuevo en la parte montada.*

[Signature]
[Redacted]

ANEXO B

Ficha Técnica del Compresor AJAX DPC-600

SECCION 2

FICHA TÉCNICA

ESPECIFICACIONES BASICAS

Numero de cilindros impulsores	3
Diámetro y carrera	15 pulg x 16 pulg
Cilindrada, Pulgs ³	3 x 2827
Velocidad, rpm nominales	400
Potencia, CV Homologados	600
(Presión efectiva media al freno)	
BMEP, lbs/pulg ²	70 1
Rotación del cigüeñal, al mirar hacia el volante	A la derecha

CILINDROS DEL COMPRESOR

Número de cilindros del compresor	Dos
Diámetro del cilindro	(según utilización)
Carrera, pulgs	11 pulgs
Velocidad del pistón, pie por minuto a la velocidad homologada	733
Carga tolerada en el vástago, lbs	40 000
Número de tapas del compresor	1, 2 o 3
Cilindros del compresor numerados segun sigue	
Costado del volante	Nº 1
Costado del enfriador	Nº 2

LUBRICACION

Capacidad del carter	Aproximadamente 58 galones
Capacidad de la caja reguladora	1 galón
Lubricación del cilindro impulsor, pintas espacio por cilindro y día según velocidad nominal y carga	8 máximo

TANQUE DEL COMBUSTIBLE

Volumen del tanque, sistema de inyección, pies ³	10 1/2
Tamaño de la tubería, del tanque al grupo	2 pulgs
Regulador, tamaño y modelo Fisher nº	2 pulgs - 630
Nº de muelle	W-191
Presión máxima en la admisión del regulador, lbs/pulg ²	260
Tamaño del orificio del regulador	1/2 pulg
Presión exigida en el tanque, lbs/pulg ²	5 a 12

SISTEMA DE ADMISION DEL AIRE

Caudal del aire, pies cubicos por minuto	3000
Caída de presión, pulgs de agua	1

SISTEMA DE ESCAPE

Tamaño de la tubería del escape, pulgs	10
Número de tuberías del escape	3
Longitud de cada tubería del escape, pies	6400 + RPM
Commutador de temperatura del escape, parada total	850 ^o F

SILENCIADORES*

Conexiones de la admisión, tres (3)	10 pulgs 150 #
Conexiones de la salida, uno (1)	18 pulgs 150 #
Silenciador de peso total, libras por minuto	160
Contrapresión máxima, pulgs de agua	5
Temperatura de proyecto	800 ^o F
Zonas críticas, silenciado máximo	Vanec 151-18A-M
Zonas residenciales	Vanec 141-18A-M
Zonas residenciales	Carson 90-108

* La lista de silenciadores abarca solamente los modelos que han sido probados en la practica en un compresor Ajax PDC-600 y no elimina silenciadores de otro números de modelos o fabricantes que puedan ofrecer prestaciones semejantes

ANEXO C

Emisiones Escondidas por Fugas en Accesorios EPA

Cuadro 4: Factores promedio de emisiones escondidas para las fugas de un equipo de compresores de las estaciones de compresión. Presión 1200 – 1500 Psi, Caudal de 20 – 25 MMPCD				
COMPONENTES BAJO PRESIÓN DE LA TUBERÍA PRINCIPAL ¹				
Descripción del componente	COMPRESOR ENCENDIDO		COMPRESOR APAGADO	
	Factor de emisiones de gas natural ² (Mcf/año/componente)	Número total de componentes medidos	Factor de emisiones de gas natural ² (Mcf/año/componente)	Número total de componentes medidos
Válvula de globo/Llave de macho	0.64 (± 1.04)	189	5.33 (± 3.71)	2,406
Válvula de purga			207.5 (± 171.4)	57
Unión del cilindro del compresor	9.9 (± 11.1)	148	---	---
Sello de empacado – funcionando	865 (± 247)	178		
Sello de empacado – en reposo	1,266 (± 552)	42	---	---
Válvula del compresor	4.1 (± 3.8)	2,324		
Válvula de control		---	4.26 (± 7.13)	33
Brida	0.81 (± 0.89)	864	0.32 (± 0.21)	2,727
Válvula de compuerta		---	0.61 (± 0.43)	1,476
Válvula del cargador	17.2 (± 5.6)	940		
Línea de extremo abierto (OEL)		---	81.8 (± 79.6)	168
Válvula de alivio de presión (PRV)			57.5 (± 63.2)	117
Regulador	---	---	0.2 (± 0.2)	171
Ventila de arranque de gas			40.8 (± 43.3)	5
Conector – roscado	0.74 (± 0.46)	1,625	0.6 (± 0.3)	10,338
Sello centrífugo – seco			62.7 (± 66.3)	14
Sello centrífugo – mojado	---	---	278	2
Válvula de la unidad ³			3,566	12

Descripción del componente	COMPRESOR ENCENDIDO		COMPRESOR APAGADO		Emisiones de CH4 en Kg/año
	Factor de emisiones de gas natural (Mcf/año/componente)	Número total de componentes medidos	Factor de emisiones de gas natural (Mcf/año/componente)	Número total de componentes medidos	
Válvula de globo/Llave de macho	0,64 (± 1,04)	25	5,33 (± 3.71)	25	3341,93
Válvula de purga			207,5 (± 171.4)	10	39796,27
Unión del cilindro del compresor	9,9 (± 11,1)	2	---	---	379,74
Sello de empacado – funcionando	865 (± 247)	3			49769,31
Sello de empacado – en reposo	1266 (± 552)	3	---	---	72841,55
Válvula del compresor	4,1 (± 3,8)	9			707,70
Válvula de control		---	4,26 (± 7.13)	5	408,51
Brida	0,81 (± 0,89)	15	0,32 (± 0.21)	15	325,08
Válvula de compuerta		---	0,61 (± 0.43)	5	58,50
Válvula del cargador	17,2 (± 5,6)	4			1319,51
Línea de extremo abierto (OEL)		---	81,8 (± 79.6)	6	9413,02
Válvula de alivio de presión (PRV)			57,5 (± 63.2)	8	8822,30
Regulador	---	---	0,2 (± 0.2)	9	34,52
Ventila de arranque de gas			40,8 (± 43.3)	3	2347,50
Conector – roscado	0,74 (± 0,46)	800	0,6 (± 0.3)	800	20559,81
Sello centrífugo – seco			62,7 (± 66.3)	14	16835,26
Sello centrífugo – mojado	---	---	2	2	10663,48
total					237623,98

ANEXO D

Especificaciones de los Anillos de Tapa Equilibrada

More efficiency, less fugitive emissions

Piston rod packing is the primary source of emissions generated from reciprocating compressors. The rings inside the packing seal the gas around the moving piston rod, preventing it from escaping the cylinder. Conventional packing rings work in pairs, each ring covering the gaps in the adjacent ring. However, this still leaves microscopic escape paths between the rings, where the gas can leak.

Our Emissions Elimination Packing Ring (BCD) seals the piston rod to prevent gas leaks during the compressor operation. With up to 70% leakage reduction, fugitive emissions can be reduced drastically. Combining two rings into one eliminates the disadvantages and reliability issues associated with conventional two-ring designs. The main segments seal the piston rod and form a gap to compensate for wear. BCD extends your maintenance intervals and eliminates downtime due to premature wear. Therefore, the design saves both: material and safeguard the environment.



1

The cap elements ensure sealing in both radial and axial directions

2

The main segments provide the major contribution to sealing against the rod, and also compensate for wear



By replacing conventional rings with BCD, we were able to extend the maintenance intervals, and above all greatly reduce fugitive emissions which will bring us one step closer to our goal of protecting the environment.

Functional principle and design advantages

The Emissions Elimination Packing Ring uses a pressure equalization groove to reduce contact pressure. The main segments seal the piston rod and form a gap to compensate for wear. The cap segments seals in axial and radial directions which ensures pressure equalization and guarantees high efficiency over the entire service life. The narrow design reduces friction which leads to lower heat generation and wear. In addition, the seal is shorter than conventional pressure packings.

Technical data

Piston rod diameter:	20 mm (0.78 inches) to 140 mm (5.51 inches)
----------------------	---

Pressure range:	3-250 bar
-----------------	-----------

Fields of application (extract):

Process gas:	Refining, petrochemical industry, chemical industry
--------------	---

Oil and gas:	Gas lift and re-injection, gas storage, LNG terminal, gas gathering, gas transportation, CNG
--------------	--

Industrial gases:	Syngas (hydrogen, carbon oxide), air separation (oxygen, nitrogen), specific gases (argon, helium,...)
-------------------	--

Food industry:	PET bottle blowing, industrial air
----------------	------------------------------------

Power generation:	Cogeneration, combined heat and power plant, biogas
-------------------	---

Dosts and instalación

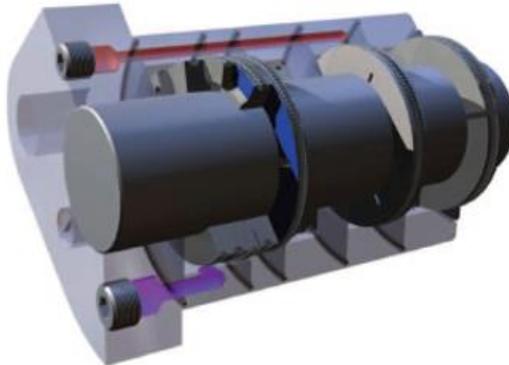
Piston rod diameter:	20 mm (0.78 inches) to 140 mm (5.51 inches)
----------------------	---

Price:	402.5 €
--------	---------

ANEXO E

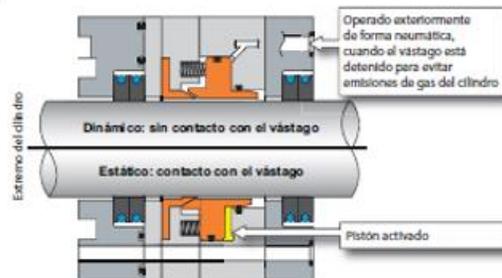
Especificaciones del Sistema de Empaquetadura de Bajas Emisiones

Sistemas de empaquetadura de bajas emisiones y monitorización



Sellos estáticos de gas

- no sellan durante el movimiento alternativo
- se activan cuando el compresor se detiene

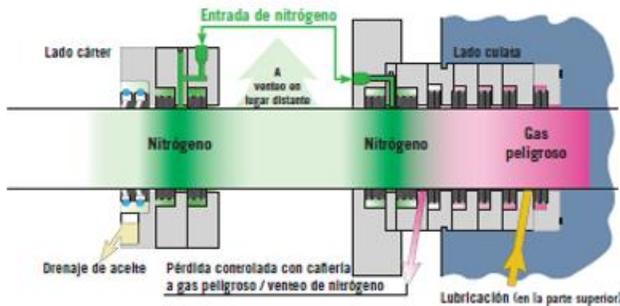


Nuestra empaquetadura de presión con purga usa anillos SLP, DSLP o BCD para un máximo cierre. El gas inerte inyectado en la empaquetadura impulsa el gas de proceso a la línea de antorcha, evitando que entre en el cárter o vaya a la atmósfera.

- anillos SLP, DSLP y BCD para un máximo cierre
- el gas inerte purgado en la empaquetadura impulsa el gas de proceso hacia la ventilación
- los sistemas de monitorización hacen el control automático de la inyección
- hay opciones disponibles de alarma y monitorización remotos
- Intrínsecamente seguro
- cumple con las normas sobre emisiones API 618 y NACE
- control de flujo opcional para descargadores de válvulas, empaquetaduras Intermedias y rascadores
- sello estático opcional para controlar las pérdidas durante la parada

Sistemas de monitorización

- control de purga automático
- alarma y monitorización remotos
- Intrínsecamente seguro
- cumple con las normas sobre emisiones API618 y NACE
- control de flujo opcional para descargadores de válvulas, empaquetaduras Intermedias y rascadores
- Precio: 2.575,43 €



ANEXO F

Costos Promedios de Reparación y Reemplazo de Accesorios

Cuadro 5: Costo promedio de reparación y plazo de recuperación de la inversión en las fugas de equipo de las estaciones de compresores		
Descripción del componente	Tipo de reparación	Costo promedio
Válvulas de globo – 1"	Reemplazo	\$ 120
Tapón macho en la válvula	Añadir cinta de teflón & apretar	\$ 15
Purga del compresor	Reemplazo	\$ 600
Purga del compresor	Reconstrucción	\$ 200
Tapa de la válvula del compresor	Reemplazo del empaque	\$ 60
Brida – 30"	Cambio de empaque	\$ 1,250
Brida – 6"	Cambio de empaque	\$ 300
Válvula de combustible	Reemplazo	\$ 200
Válvula de compuerta	Reempacado de teflón	\$ 40
Puerto de grasa	Reemplazo	\$ 80
Extremo de la cabeza del compresor	Quitar y cambiar los empaques	\$ 450
Brida de la válvula de cargado	Reemplazo del empaque	\$ 80
Vástago de la válvula de cargado	Reconstrucción	\$ 300
Válvula de aguja	Reemplazo	\$ 100
Línea de extremo abierto en la válvula	Grasa	\$ 45
Puerta receptora del lingote	Apretarse	\$ 120
Accesorio roscado de tubería	Añadir cinta de teflón y apretar	\$ 30
Válvulas con tapón	Grasa	\$ 40
Válvula de alivio de presión – 1"	Reemplazo	\$ 1,000
Brida PRV	Apretarse	\$ 40
Empacado de varilla	Cambiar los anillos de empackado sin sacar las varillas	\$ 750
Empacado de varilla	Quitar la caja de empackado y las varillas para cambiar los anillos, volver a empackar la caja	\$ 2,600
Empacado de varilla	Quitar la caja de empackado y las varillas para cambiar los anillos, volver a empackar la caja & colocar la varilla	\$ 5,600
Purga de la estación	Invertir el tapón	\$ 720
Tubería	Apretarse	\$ 10
Unión	Apretarse	\$ 10
Válvula de la unidad	Limpiar e inyectar sellador	\$ 70
Válvula de la unidad – 10"	Reemplazo	\$2,960