

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

**VICERRECTORADO**

**CENTRO DE ESTUDIOS DE  
POSGRADO E INVESTIGACION**

**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA**



**“PROPUESTA TÉCNICA ECONÓMICA PARA EL CAMBIO  
DE COMPRESOR EN LA ESTACIÓN DE COMPRESIÓN  
COLPA TRAMO POBLACIÓN COLPA Y MINEROS DE LA  
CIUDAD DE SANTA CRUZ”  
TRABAJO EN OPCIÓN A DIPLOMADO EN ALMACENAMIENTO  
DISTRIBUCIÓN Y TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS, VERSIÓN III**

**MIGUEL ANGEL ARENAS CASTRO**

**sucré – 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.



Miguel Ángel Arenas Castro

Sucre, mayo de 2024

## **DEDICATORIA**

La presente monografía va dedicada con todo mi amor y cariño para toda mi familia, en especial para mis padres que son el pilar fundamental de mi educación, que me apoyaron de principio a fin en este camino de formación profesional, y expresar mi agradecimiento a todos los que siempre me brindaron su apoyo, que fue fundamental para crecer y expandir mis pensamientos hacia logros más grandes y también quisiera expresar mi dedicación para mis abuelitas que me motivaron a no rendirme ante cualquier circunstancia y que un día me hice la promesa de culminar con éxito mi carrera universitaria. ¡Gracias por ser parte de mi vida en esta etapa muy importante!

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a Dios y mi familia quienes fueron el motor fundamental y la gran motivación, expresado en cariño y esfuerzo de mis padres y el apoyo moral de mis hermanas, también quiero expresar mi agradecimiento a todas las personas que en algún momento me dieron su apoyo con palabras de aliento y pensamiento positivo, agradecer a mis amigos con quienes pude compartir muchos momentos gratos en esta etapa muy bonita de mi vida, también agradecer al plantel docente de la prestigiosa Universidad San Francisco Xavier de Chuquisaca, por compartir todos los conocimientos y sabiduría y por expresarnos las palabras motivadoras que nos ayudaron a expandir más nuestro pensamiento y conocimiento.

De todo corazón y con mucha humildad agradezco a todas las personas que formaron esta parte importante de mi vida, rescatando siempre todo lo positivo para seguir consiguiendo más logros y afrontar mi vida profesional con la educación y conocimiento adquirido todos estos años. ¡Gracias por ser parte fundamental e importante en este capítulo importante de vida!

## **RESUMEN**

El objetivo del presente estudio es el de proponer la modificación del compresor en la Estación de Compresión Colpa en el tramo Colpa y la población Mineros de la ciudad de Santa Cruz que solucionara los problemas ante las caídas de presión que se deben a factores como ser los cambios climáticos o ampliaciones previstas de gasoducto que ocasionan pérdidas de energía. El presente trabajo tiene un enfoque cuantitativo porque recolecta y analiza datos numéricos, también es de carácter descriptivo por que describen los datos y deben tener un impacto en las personas que le rodea, también es de enfoque no experimental ya que se observan fenómenos o acontecimientos tal y como se dan en su contexto natural, para después analizarlos. Como técnicas de estudio se utilizó la observación, revisiones bibliográficas formulario de encuestas donde se recopilo datos y algunas imágenes de la Estación de Compresión Colpa. Con el presente estudio técnico económico de investigación se logró llegar al resultado en base a estudios de consumo de demanda de gas proyectado al año 2044 de resultado 39MMPCD y cálculos de potencia del compresor de resultado 3237 HP, luego se realizó la selección de un compresor nuevo de la marca Cooper Bessemer M-Line con la potencia requerida que abastece las cantidades de caudales de consumo calculados. Una vez realizados todos los procesos se realizó la estimación del costo del compresor que es de 700.000USD con lo cual daremos solución al consumo de la demanda de gas natural requerido por estas zonas de Santa cruz.

## INDICE DE CONTENIDO

### **CAPITULO I: INTRODUCCION**

1.1 ANTECEDENTES .....	1
1.1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.1.2 FORMULACION DEL PROBLEMA.....	3
1.2 OBJETIVOS.....	3
1.2.1 Objetivo general .....	3
1.2.2 Objetivos específicos .....	3
1.3 JUSTIFICACIÓN .....	3
1.3.1 Justificación técnica .....	3
1.3.2 Justificación económica.....	3
1.3.3 Justificación social.....	4
1.4 METODOLOGIA.....	4
1.4.1 Técnicas e instrumentos .....	4

### **CAPITULO II: DESARROLLO**

2.1 MARCO TEORICO (CONCEPTUAL Y CONTEXTUAL) .....	6
2.1.1 Marco conceptual .....	6
2.1.1.1 El gas natural.....	6
2.1.1.2 Industrias que utilizan gas natural .....	7
2.1.1.3 Transporte de gas natural.....	8
2.1.1.4 Estación de compresión.....	10
2.1.1.5 Equipos que forman parte de una instalación de compresión de gas natural .....	10
2.1.1.6 Estaciones de compresión en Bolivia .....	12
2.1.1.7 Ventajas de los servicios de compresión de gas natural .....	14
2.1.1.8 Compresores .....	15
2.1.1.9 Compresores de gas natural.....	16
2.1.1.10 Tipos de compresores de gas natural .....	17

2.1.1.11 Diferencia entre compresores de aire y compresores de gas natural .....	20
2.1.1.12 Tamaños de compresores de gas natural .....	21
2.1.2 MARCO NORMATIVO .....	21
2.1.2.1 Dirección de ductos y transporte .....	22
2.1.3 MARCO CONTEXTUAL.....	23
2.1.3.1 Ubicación de la estación de compresión (ciudad, población, y coordenadas) .....	23
2.1.3.2 Fuentes de trabajo .....	25
2.1.3.3 Características técnicas respecto a la presión y temperatura .....	26
2.1.3.4 Características técnicas de la estación de compresión colpa.....	27
2.2 INFORMACION DE DATOS OBTENIDOS.....	29
2.2.1 Cumplimiento de objetivos. ....	29
2.3 ANÁLISIS Y DISCUSIONES.....	47
<b>CAPITULOIII: CONCLUSIONES</b>	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	48
REFERNCICAS BIBLIOGRAFICAS .....	48
ANEXOS	

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Diagrama de pez.....	2
Figura 2.1 Distribución del gas natural por gasoducto .....	6
Figura 2.3 Reguladores hospital de Lajastambo-Sucre .....	8
Figura 2.4 Transporte de gas natural por gasoductos.....	9
Figura 2.5 Estación de compresión Carrasco.....	10
Figura 2.6 Filtro de separación de gas natural .....	11
Figura 2.7 Compresor de gas natural .....	11
Figura 2.8 Sistema de refrigeración .....	12
Figura 2.9 Estación de compresión Saipuru .....	14
Figura 2.10 Compresor de aire comprimido .....	16
Figura 2.11 Compresor de gas natural .....	17
Figura 2.12 Mapa conceptual compresores de gas natural .....	18
Figura 2.13 Compresor centrifugo .....	18
Figura 2.14 Compresor de desplazamiento positivo .....	19
Figura 2.15 Compresor reciprocatante .....	19
Figura 2.16 Compresor tornillo.....	20
Figura 2.17 ANH realizando la medición de potenciales del oleoducto .....	22
Figura 2.18 Gráfico torta estadística de producción de gas natural por departamento.....	23
Figura 2.19 Producción de gas natural Santa Cruz.....	24
Figura 2.20 Inspección línea lateral gasoducto Colpa – Caranda .....	24
Figura 2.21 Ubicación estación de compresión Colpa .....	25
Figura 2.22 Instalación interna de gas domiciliario- acometida de red secundaria .....	26
Figura 2.23 Registro de presiones mes de marzo.....	26
Figura 2.24 Registro de presiones mes de julio .....	27
Figura 2.25 Estación de compresión Colpa descripción de presiones .....	28
Figura 2.26 Datos técnicos en la estación de compresión Colpa .....	28
Figura 2.27 Datos estadísticos de habitantes en el Municipio San Pedro.....	30
Figura 2.28 Datos estadísticos de número de viviendas del Municipio San Pedro .....	30
Figura 2.29 Datos de tasa de crecimiento intercensal .....	31
Figura 2.30 Grafica generada en Excel de consumo de demanda de gas natural del Municipio San Pedro .....	36
Figura 2.31 Datos estadísticos de habitantes de la población Sagrado Corazón .....	37
Figura 2.32 Datos estadísticos de número de viviendas de la Población Sagrado Corazón ..	38

Figura 2.34 Grafica para la selección del compresor a partir de la potencia.....	45
Figura 2.35 Grafica de catálogo para la selección del compresor marca Cooper Bessemer M-Line.....	46
Figura 2.36 Costo de referencia en USD de un compresor de gas natural .....	47

## INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Datos Municipio de San Pedro de Santa Cruz .....	29
Tabla 2.2 Datos de Porcentajes Mínimos de Cobertura y Simultaneidad de Aparatos según YPFB.....	32
Tabla 2.3 Datos Generales en Bolivia de Potencias de Equipos.....	32
Tabla 2.4 Datos de potencias de equipos y resultados de Consumo de los equipos .....	33
Tabla 2.5 Resultados de Consumo del Municipio de San Pedro Proyectados hasta el Año 2024 .....	34
Tabla 2.6 Datos de la Población Sagrado Corazón del Municipio de San pedro de Santa Cruz .....	37
Tabla 2.7 Resultados del Consumo de Gas en la Población de Sagrado Corazón del Municipio de San Pedro Proyectados hasta el Año 2024.....	39
Tabla 2.8 Datos de entrada para la Estación de Compresión Proyectada .....	42
Tabla 2.9 Capacidad Molar del Gas Natural.....	42
Tabla 2.10 Tabla para el Cálculo de la Constante K .....	43

## **INDICE DE ANEXOS**

Anexo 1 Compresores una tecnología esencial y compresión en todo el proceso de gas natural.

Anexo 2 Configuración y función del compresor

Anexo 3 Diseño de los compresores para la estación de compresión durante el transporte del gas.

Anexo 4 Composiciones del Gas Natural

Anexo 5 Estudio del Consumo de demanda Población Mineros de la ciudad de Santa Cruz

Anexo 6 Grafica generada en Excel de Consumo de Gas Natural de la Población Sagrado Corazón

Anexo 7 Q Proyectados en MMPCD para abastecer el Municipio de San Pedro y la Población Sagrado Corazón

## CAPITULO I: INTRODUCCION

### 1.1 ANTECEDENTES.

Se tiene como registro de proyectos similares al presente trabajo de las universidades Cesar Vallejo de Piura y Universidad Nacional Autónoma de México con los siguientes títulos “Propuesta basada en el estudio de métodos de trabajo para mejorar el proceso de reparación de válvulas de compresores reciprocatantes de una empresa de servicio de compresión de gas, Talara – 2020” del sr. Carlos Alberto Palacios Mejía del año 2020 Piura Perú. (Palacios, 2020)

Y el “Proyecto Eléctrico para una estación de compresión de Gas Natural” de los señores Juan De la Cruz Torres Ponce y Víctor Manuel Laguna Valencia del año 1982 de México DF. (Torres & Laguna, 1982)

Estos trabajos consisten en estudios de métodos de trabajo para reparación e implementaciones eléctricas en la estación de compresión.

La tesis "Diseño de una estación de compresión para gas natural" de Jorge Chávez Díaz, publicada en 1962 por la Universidad Nacional de Ingeniería, aborda diversos aspectos cruciales para el diseño de esta infraestructura. Incluye el cálculo del coeficiente adiabático de compresión, la selección y diseño de compresores, así como el diseño de cámaras de expansión y la tubería principal. (Chávez, 1962)

El proyecto "Análisis de las tecnologías de accionamiento en la compresión del gas natural y su aplicación a una estación de compresión" de Elena López de Silanes Enciso, dirigido por Enrique Querol Aragón y Reyes Aymerich López, realizado en la E.T.S.I. de Minas y Energía (UPM) en julio de 2014, se centra en el análisis técnico y económico de las técnicas de compresión de gas natural, así como en el diseño de una estación de compresión en Irún, Guipúzcoa. El proyecto aborda el funcionamiento y los sistemas necesarios de la estación, incluyendo los aspectos mecánicos, de instrumentación y control, obra civil y sistemas auxiliares. (Lopez, 2014)

#### 1.1.1 Planteamiento del problema.

En cuanto a los problemas suscitados actualmente dentro el tema de estudio, se tiene la falta de capacitación y que también no se pudo optar por el instrumento adecuado en cuanto al aspecto relacionado al hombre.

En cuanto a la maquina se tiene una baja eficiencia del compresor y así mismo pérdidas de energía que afectan bastante en el transporte de gas y también un problema a considerar es la falta de mantenimiento preventivo.

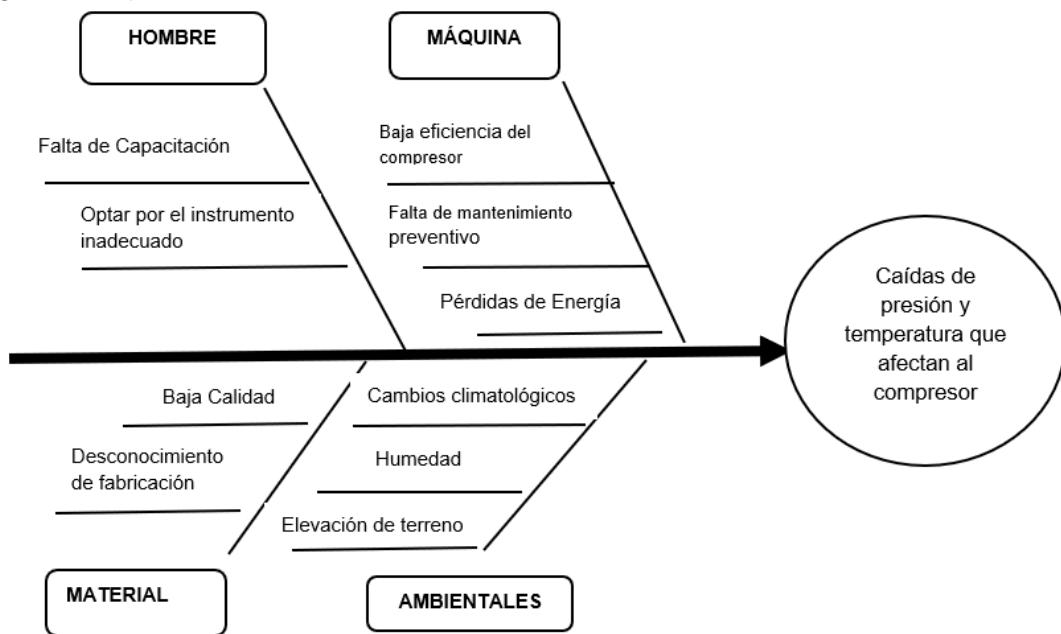
Los materiales de baja calidad y el desconocimiento de fabricación del compresor llegan a ser un factor negativo que posteriormente afectan en la vida útil del equipo ya que el compresor es el componente principal para poder transportar el gas.

En cuanto a aspectos ambientales los cambios climatológicos, humedad y elevación del terreno que influyen mucho en el problema ocasionando las caídas de presión y temperatura que afectan al compresor.

Todos los puntos anteriormente mencionados llegan a afectar directamente al compresor en la estación de compresión con las caídas de presión y temperatura.

**Figura 1.1**

*Diagrama de pez*



**Fuente:** Recopilado de (*Imagen propia, 2024*)

### **1.1.2 Formulación del problema.**

¿De qué manera podemos solucionar los problemas de presión y temperatura de la estación de compresión Colpa tramo población Colpa y población Mineros de la ciudad de Santa Cruz?

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 Objetivo general**

Investigación técnica económica para modificar el compresor en la estación de Compresión Colpa tramo población colpa y mineros de la ciudad de Santa Cruz.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- Evaluar el estado actual del compresor en la estación de compresión Colpa, identificando problemas técnicos, de rendimiento y de eficiencia que requieren ser abordados.
- Realizar un análisis detallado de las necesidades de compresión de gas en la estación, considerando la demanda de gas, los caudales requeridos y las condiciones de operación.
- Desarrollar una propuesta técnica para el cambio del compresor en la estación de compresión Colpa, especificando el tipo de compresor adecuado, su capacidad, características técnicas.
- Estimar los costos asociados con la adquisición del compresor, y bajo qué parámetros se obtuvo.

## **1.3 JUSTIFICACIÓN.**

### **1.3.1 Justificación técnica.**

Se está realizando el presente trabajo de propuesta técnica para el cambio de compresor en la estación de compresión colpa para dar solución al problema de pérdidas de presión, realizando los cálculos de Balance de energía, cálculos de potencia del compresor, cálculo de transporte en cuanto a caídas de presión para realizar la selección adecuada del compresor en la estación de compresión Colpa.

### **1.3.2 Justificación económica.**

En el trabajo de investigación de la propuesta del cambio del compresor en la estación de compresión Colpa, justifica el problema económico al realizar una adecuada selección del

compresor llegando a tener ahorros y beneficios a la empresa que la opera siendo así el beneficio de manera económica que sirven para futuros proyectos y evitando gastos de mantenimiento.

### **1.3.3 Justificación social.**

La justificación social de este trabajo de propuesta del cambio del compresor en la estación Colpa es el abastecimiento de gas beneficiando a la población con este combustible de manera puntual y sin parar la operación, generando trabajos directos e indirectos en cualquier etapa.

## **1.4 METODOLOGIA**

El paradigma de investigación del tema “Propuesta técnica económica para el cambio de compresor en la estación de compresión colpa tramo población colpa y mineros de la ciudad de santa cruz” es positivista ya que proviene de una experiencia de los sentidos, de lo observable de lo absolutamente objetivo.

El tipo de enfoque del tema de investigación también es de carácter cuantitativo, ya que utiliza herramientas de análisis matemático y estadístico, recolectando y analizando así datos numéricos.

El enfoque de investigación de este tema también es descriptivo porque nos ofrece una forma de presentar los fenómenos de forma natural y nos centramos en retratar los detalles de contextos específicos ayudando a los lectores a obtener una comprensión más clara de este tema.

El diseño de investigación es de carácter no experimental, transversal porque se recoge y analiza datos en un momento determinado y el estudio con este método ofrece resultados más descriptivos que experimentales.

Esta investigación también es una investigación documental ya que nos apoyamos en fuentes de carácter documental, de cualquier especie. Como subtipos de esta investigación encontramos la investigación bibliográfica, archivística

Y también el enfoque de investigación de este tema es de carácter explicativa porque tiene relación causal; no sólo persigue describir o acercarse a un problema, sino que intenta encontrar las causas del mismo.

### **1.4.1 Técnicas e instrumentos**

Las técnicas que utilizamos en este tema de investigación para proponer el cambio de compresor en la estación de compresión Colpa es mediante la observación y entrevista de tal manera que se recolecta datos para la elaboración de nuestro tema y como instrumentos utilizamos registros fotográficos que son un ejercicio de observación, el cual narra nuestro

tema a través de sucesión de imágenes , otro instrumento que utilizamos es la ficha documental que nos sirven para registrar y resumir los datos extraídos de fuentes bibliográficas o no bibliográficas, también en este tema utilizaremos algunos catálogos del compresor que es una herramienta que permite la presentación detallada del equipo, también utilizaremos como instrumento el cuestionario de entrevista que implica un formulario que consiste en una serie de preguntas de opción múltiple o preguntas abiertas, escritas o impresas, con lo cual recaudaremos la información necesaria.

## CAPITULO II: DESARROLLO

### 2.1 MARCO TEORICO (CONCEPTUAL Y CONTEXTUAL)

#### 2.1.1 Marco conceptual

##### 2.1.1.1 El gas natural

El gas natural es una mezcla de gases entre los que se encuentra en mayor proporción el metano. La proporción en la que se encuentra este compuesto es del 75% al 95% del volumen total de la mezcla. El resto de los componentes son etano, propano, butano, nitrógeno, dióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno, helio y argón.

El desarrollo del empleo del gas natural se ha realizado con posterioridad al uso del petróleo. El gas natural que aparecía en casi todos los yacimientos petrolíferos se quemaba como un residuo más. A pesar de su enorme poder calorífico no se podía aprovechar, por los grandes problemas que planteaban su almacenamiento y transporte y se utilizaba como combustible doméstico e industrial ya que tiene un gran poder calorífico, su combustión es regulable y produce escasa contaminación. Incluso la producción de CO<sub>2</sub> es poco mayor de la mitad de la producida por los restantes combustibles fósiles y también se lo utiliza como materia prima en la industria petroquímica para la obtención de amoníaco, metanol, etileno, butadieno y propileno. (Foro Nuclear, 2015,Pag1)

**Figura 2.1**

*Distribución del gas natural por gasoducto*



**Fuente:** Recopilado de (Perú Energía,2022)

### **2.1.1.2 Industrias que utilizan gas natural**

El gas natural tiene muchos fines industriales, desde proporcionar una fuente de energía para accionar maquinaria hasta ser un ingrediente principal en la fabricación de productos como plásticos, fertilizantes, anticongelantes y tejidos. Sin embargo, la mayor parte del gas natural lo consumen unas pocas industrias. (Quincy Compressor, 2021,Pag1)

Entre ellas tenemos las siguientes industrias: Papel y pasta de papel

- Metales
- Productos químicos
- Refino de petróleo
- Piedra, arcilla y vidrio
- Plásticos
- Procesado de alimentos
- Hospitales

En estas industrias, el gas natural sirve para muchos fines, como la calefacción, la refrigeración y la cocina, al igual que en los usos residenciales y comerciales. También se utiliza para tratar e incinerar residuos, precalentar metales como el acero y el hierro, secar y deshumidificar, fundir vidrio y alimentar calderas industriales. El gas natural también puede separarse en otros gases y sustancias químicas para su uso en la industria. El butano, el etano y el propano proceden del gas natural y pueden utilizarse para diversos fines. Además, el gas natural se utiliza como sistema desecante gaseoso en el que el gas natural sirve como producto deshumidificador para industrias que fabrican productos farmacéuticos, plásticos e incluso caramelos. El gas natural controla el nivel de humedad del aire y protege la integridad de los productos. (Quincy Compressor, 2021,Pag1)

Los servicios de compresión de gas natural son importantes para muchos usos industriales, entre ellos:

- Elevador de gas
- Reinyección de gas para mantener la presión
- Recogida de gas
- Operaciones de procesamiento de gas
- Sistemas de transmisión y distribución

Control del volumen de gas para el transporte y el almacenamiento (Quincy Compressor, 2021,Pag1)

**Figura 2.3**

*Reguladores hospital de Lajastambo-Sucre*



**Fuente:** Recopilado de (Imagen propia,2023)

#### **2.1.1.3 Transporte de gas natural**

El transporte del gas natural se realiza mediante gasoductos o barcos metaneros, según la distancia entre los puntos de extracción y de consumo. Los gasoductos son conductos de centenares de kilómetros de longitud que conectan al yacimiento y el lugar de destinación. Estos conductos pueden ser terrestres o marinos. Algunos gasoductos marinos conectan continentes como, por ejemplo, los que unen África y Europa cruzando el estrecho de Messina –desde Algeria a Italia–, el estrecho de Sicilia, –entre Túnez y Sicilia, y el de Gibraltar, –entre Marruecos y España. Cuando no existe esta red de gasoductos, el transporte se realiza en barcos con el gas natural en estado líquido.

Cuando el gas circula por los gasoductos, lo hacen a una presión muy elevada –de entre 36 y 70 atmósferas–, y es impulsado centenares de kilómetros por medio de estaciones que lo comprimen y lo reenvían a la red. Las tuberías son de acero y tienen un diámetro de más de 1 metro. Las soldaduras que unen las tuberías se someten a un control riguroso mediante radiografías de las piezas para evitar que pueda haber fugas de gas y peligro de explosión. Estas tuberías, cuando tienen que ser enterradas o han de cruzar cursos de agua, se protegen con recubrimientos especiales para resistir la presión interior y exterior y con protección eléctrica para evitar la corrosión –química, electroquímica, biológica, etc.– y el riesgo ambiental y para las personas que pueden comportar la emisión de metano a la atmósfera. En las zonas pobladas se realizan reconocimientos aéreos y los recorridos sobre las trazas para impedir que las actividades agrícolas o urbanísticas amenacen la integridad física de los conductos.

(Junta de Castilla y León, 2020,Pag 1)

**Figura 2.4**

*Transporte de gas natural por gasoductos*



**Fuente:** Recopilado de (el periódico de la energía,2017)

#### **2.1.1.4 Estación de compresión**

Las estaciones de compresores son uno de los componentes más importantes del sistema de transmisión de gas natural. Estas instalaciones aumentan la presión para desplazar el gas a lo largo de las tuberías. El gas natural se puede desplazar desde tuberías más grandes, conocidas como tuberías de transmisión, hasta tuberías más pequeñas y de menor presión que transportan el gas natural por todo nuestro territorio de servicio y, a menudo, directamente hasta clientes comerciales o industriales, incluidos los clientes de generación eléctrica. El gas natural luego se desplaza hacia tuberías aún más pequeñas y de menor presión para suministrarlo en hogares y empresas en todo el territorio de servicio. (Socalgas, 2022,Pag1)

**Figura 2.5**

*Estación de compresión Carrasco*



**Fuente:** Recopilado de (YPFB,2024)

#### **2.1.1.5 Equipos que forman parte de una instalación de compresión de gas natural**

##### **➤ Filtro de separación**

Para la operación de los turbocompresores y para eliminar las impurezas con las que llegue el gas de entrada a la estación, éste circulará a través de unidades de separación por filtros, las cuales capturarán la fase líquida filtrada y la almacenarán en contenedores, permitiendo el

flujo de la fase gaseosa hacia el sistema de compresión. Dicho sistema tiene una alta eficiencia de filtración alcanzando niveles de hasta 5 µm (micras) o menos. Por lo anterior, los separadores de filtro serán diseñados con una derivación completa del flujo, así como con bloqueo y purgado dobles. Asimismo, todos los activadores de las válvulas deberán ser de operación eléctrica. (Scribd, 2023,Pag6)

**Figura 2.6**

*Filtro de separación de gas natural*



**Fuente:** Recopilado de (BROTHER FILTRATION,2024)

➤ **Compresores**

Máquina de fluido que está construida para aumentar la presión y desplazar cierto tipo de fluidos llamados compresibles, tales como gases y vapores. Cada compresor tiene un tanque de almacenamiento para el suministro de aceite de lubricación, los cuales bombean el lubricante a través de bombas de transferencia. En condiciones normales. (Scribd, 2023,Pag7)

**Figura 2.7**

*Compresor de gas natural*



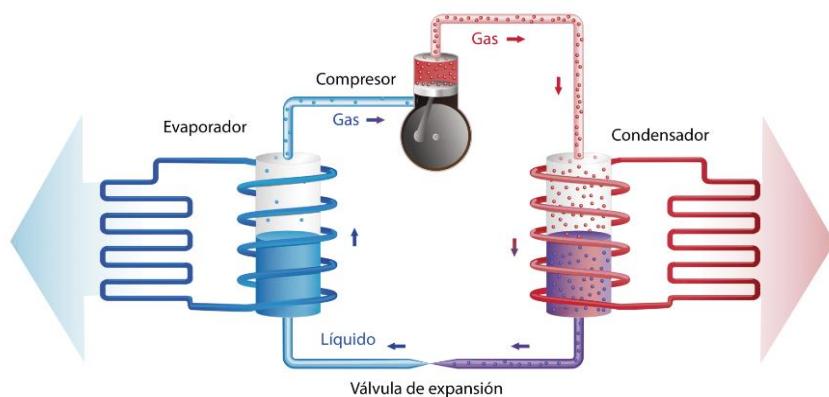
**Fuente:** Recopilado de (Direct INDUSTRY,2024)

## ➤ Sistemas de enfriamiento de gases

La compresión del gas natural hace que aumente su temperatura. Las empresas intermedias a menudo pasan el gas a través de sistemas de enfriamiento de gas que reducen la temperatura del gas para evitar daños en los gasoductos. (Kimray, 2023,Pag1)

**Figura 2.8**

*Sistema de refrigeración*



**Fuente:** Recopilado de (FreeO,2020)

### 2.1.1.6 Estaciones de compresión en Bolivia

#### ➤ Sistema de Transporte de Gas Mercado Interno Norte

##### **Gasoductos**

- Gasoducto Carrasco-Yapacaní (GCY)
- Gasoducto Carrasco-Cochabamba (GCC)

##### **Estaciones**

- ❖ Estación de Medición Colpa
- ❖ Estación de Medición Flexibilización Rio Grande
- ❖ Estación de Medición Lazo Sur
- ❖ Estación de Compresión Carrasco

#### ➤ Sistema de Transporte de Gas Mercado Interno Occidente

### **Gasoducto**

- ❖ Gasoducto Al Altiplano (GAA)

### **Estaciones**

- ❖ Estación de Compresión Samaipata
- ❖ Estación de Compresión Oconi
- ❖ Estación de Compresión Chilijchi
- ❖ Estación de Compresión Huayñacota
- ❖ Estación de Medición Cochabamba
- ❖ Estación de Compresión Totoroco
- ❖ Estación de Medición Oruro
- ❖ Estación de Compresión Sica Totoreco
- ❖ Estación de Medición Senkata

### **➤ Sistema de Transporte de Gas Mercado Interno Sur**

### **Gasoductos**

- ❖ Gasoducto Taquiperenda-Cochabamba (GTC)
- ❖ Gasoducto Tarabuco-Sucre (GTS)
- ❖ Gasoducto Sucre-Potosí (GSP)

### **Estaciones**

- ❖ Estación Compresión y Bombeo Cerrillos
- ❖ Estación de Compresión Torrepampa
- ❖ Estación de Compresión Tapirani
- ❖ Estación de Compresión Qhora Qhora
- ❖ Estación de Medición Karachipampa

### **Gasoductos**

- ❖ Gasoducto Villa Montes-Tarija (GVT)
- ❖ Derivada Tarija-El Puente (DGTP)
- ❖ Derivada Tarija-La Tablada (DGTT)

### **Estaciones**

- ❖ Estación de Compresión San Antonio
- ❖ Estación de Medición Tarija
- ❖ Estación de Compresión San Lorenzo
- **Sistema de Transporte de Gas Mercado Exportación**

### **Gasoductos**

- ❖ Gasoducto Santa Cruz-Yacuiba (GSCY)
- ❖ Gasoducto Integración Juana Azurduy (GIJA)

### **Estaciones**

- ❖ Estación de Compresión Saipurú
- ❖ Estación de Compresión Taquiperenda
- ❖ Estación de Compresión Caigua
- ❖ Estación de Compresión Campo Grande
- ❖ Estación de Medición Yacuiba. (YPFB transporte, 2024, Pag 1)

**Figura 2.9**

*Estación de compresión Saipuru*



**Fuente:** Recopilado de (YPFB,2024)

#### **2.1.1.7 Ventajas de los servicios de compresión de gas natural**

- Los servicios de compresión de gas natural son necesarios para extraer y transportar de forma segura y eficaz el gas natural hasta el consumidor final, a veces a través de

distancias muy largas. Los principales beneficios de los servicios de compresión de gas natural incluyen. (Quincy Compressor, 2021,Pag1)

- **Distribución de gas:** Una vez que se ha explotado una reserva de gas natural, la compresión ayuda a que el gas fluya hacia arriba desde los pozos y hacia el almacenamiento o una red de distribución. Además, la compresión utilizada durante el transporte de gas natural se considera a menudo una línea de vida para el sistema de distribución. (Quincy Compressor, 2021,Pag1)
- **Separación y filtración:** Un componente esencial de los servicios de compresión es la separación y filtración del gas natural. Esto es necesario para eliminar cualquier impureza y mantener la alta calidad del gas natural. Los filtros de los compresores de gas natural se utilizan en múltiples puntos a lo largo del gasoducto de gas natural. A medida que el gas viaja, puede acumular condensación, que debe filtrarse para mantener la pureza del gas natural. (Quincy Compressor, 2021,Pag1)
- **Mantiene una presión constante:** Cuando los gasoductos de gas natural se extienden a lo largo de grandes distancias, las diferentes elevaciones del terreno pueden provocar diferencias en la presión atmosférica. Los servicios de compresión utilizados en todo el gasoducto garantizan que el gas natural mantenga una presión constante y segura durante su recorrido. Además, estos servicios proporcionan el dimensionamiento correcto de las tuberías para mantener la presión adecuada mientras se transportan grandes cantidades de gas natural. (Quincy Compressor, 2021,Pag1)

#### 2.1.1.8 Compresores

Los compresores son máquinas que tienen por finalidad aportar una energía a los fluidos compresibles (gases y vapores) sobre los que operan, para hacerlos fluir aumentando al mismo tiempo su presión. En esta última característica precisamente, se distinguen de los soplantes y ventiladores que manejan grandes cantidades de fluidos compresibles sin modificar sensiblemente su presión, con funciones similares a las bombas de fluidos incompresibles. (Gómez, 2016,Pag2)

Un compresor admite gas o vapor a una presión  $p_1$  dada, descargándolo a una presión  $p_2$  superior. La energía necesaria para efectuar este trabajo la proporciona un motor eléctrico o una turbina de vapor. Puede decirse también que es un instrumento mecánico que reduce el volumen ocupado por un gas a través de cierta presión ejercida sobre él. Se obtiene esta presión mediante un trabajo mecánico aportado que reciben los elementos que componen el compresor, para así dar cumplimiento a su funcionamiento. (Gómez, 2016,Pag2)

**Figura 2.10**

*Compresor de aire comprimido*



**Fuente:** Recopilado de (SOLAIRE, 2021)

#### **2.1.1.9 Compresores de gas natural**

Los compresores de gas natural son máquinas que comprimen el gas natural aumentando la presión y disminuyendo el volumen del gas. Hay varios tipos diferentes de compresores de gas natural, y vienen en diferentes tamaños y están diseñados para diversas industrias y propósitos. Los compresores de gas natural difieren de los compresores de aire de gas natural, que son máquinas que comprimen aire, pero utilizan gas natural como fuente de combustible. Estos compresores también tienen muchos usos comerciales e industriales. Esta guía abarca todo lo que debe saber sobre los compresores de gas natural y los compresores de aire de gas natural. (Quincy Compressor, 2021, Pag1)

**Figura 2.11**

*Compresor de gas natural*



**Fuente:** Recopilado de (KAISHAN, 2024)

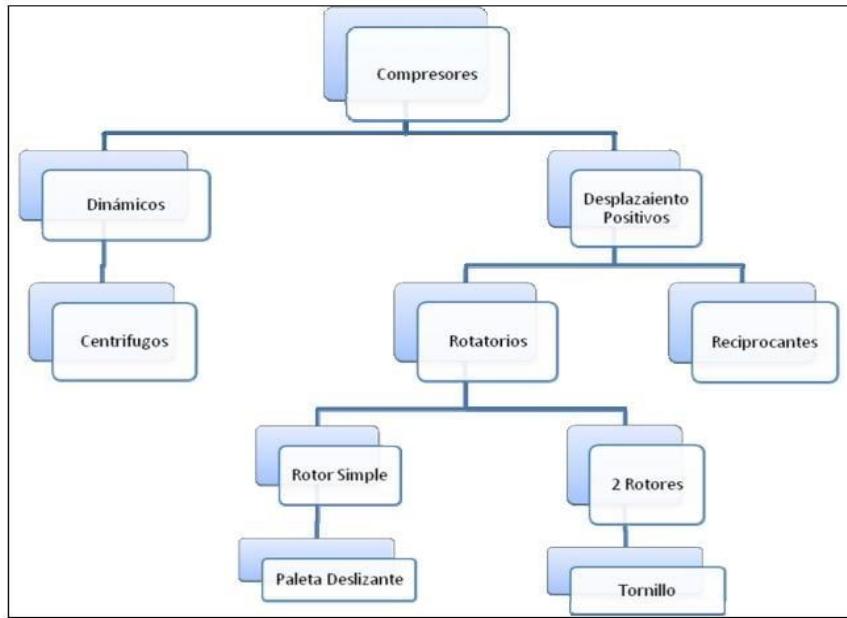
#### **2.1.1.10 Tipos de compresores de gas natural**

Se dividen de acuerdo a su principio de operación en dos grandes grupos:

- a) Compresores Dinámicos o de flujo continuo
- b) Compresores de desplazamiento Positivo o de flujo intermitente

**Figura 2.12**

*Mapa conceptual compresores de gas natural*



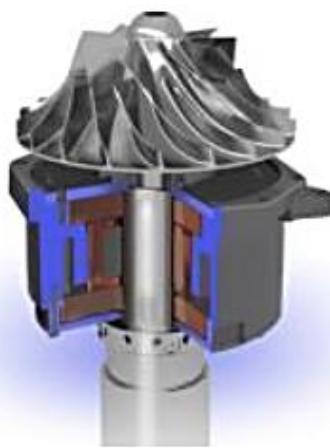
**Fuente:** Recopilado de (*Tipos de compresores*, 2014)

➤ **Compresores Centrífugos**

En un compresor centrífugo se produce la presión al aumentar la velocidad del gas que pasa por el impulsor y luego al recuperarla en forma controlada para producir el flujo y presión deseada. Estos compresores suelen ser unitarios, salvo que el flujo sea muy grande o que las necesidades del proceso exijan otra cosa. (Dueñas, 2014, Pag2)

**Figura 2.13**

*Compresor centrífugo*



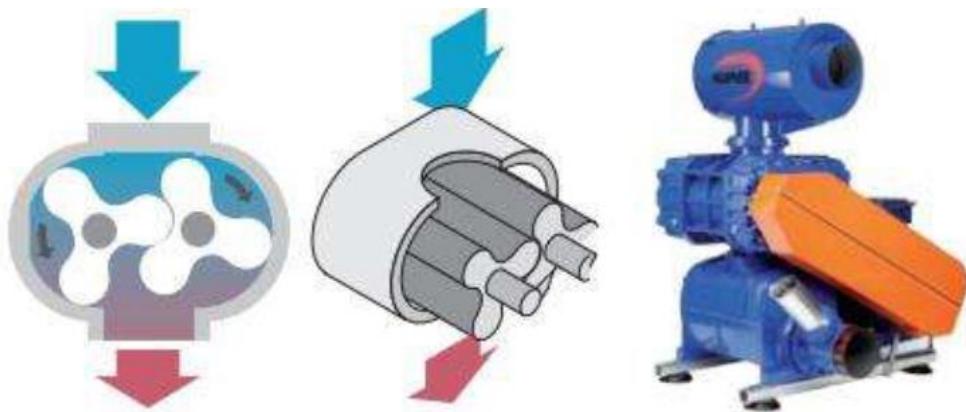
**Fuente:** Recopilado de (*Los diferentes tipos de compresores*, 2024)

### ➤ Compresores de Desplazamiento Positivo

Son de capacidad constante y tienen descarga de presiones variables. La capacidad se cambia por la velocidad o con el descargador de la válvula de succión. Además, solo hay una pequeña variación en el flujo en una amplia gama de presiones. (Dueñas, 2014,Pag2)

**Figura 2.14**

*Compresor de desplazamiento positivo*



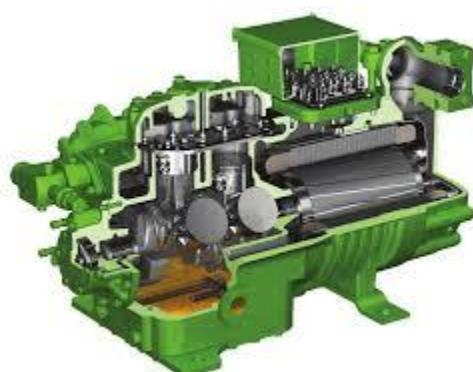
**Fuente:** Recopilado de (Los diferentes tipos de compresores,2024)

### ➤ Compresores Recíprocantes

Los compresores Recíprocantes funcionan con el principio adiabático mediante el cual se introduce el gas en el cilindro por las válvulas de entrada, se retiene y comprime el cilindro y sale por las válvulas de descarga, en contra de la presión de descarga. Estos compresores rara vez se emplean como unidades individuales, salvo que el proceso requiera funcionamiento intermitente. (Dueñas, 2014,Pag2)

**Figura 2.15**

*Compresor reciprocante*



**Fuente:** Recopilado de (Air Cooled Condensing Units with Bitzer Compressors, 2018)

### ➤ Compresores de Tornillo

Lo que esencialmente constituye el compresor de tornillo, es un par de rotores que tienen lóbulos helicoidales de engranaje constante. Los rotores van montados en un cárter de hierro fundido provisto de una admisión para gas en un extremo y una salida en el otro. Según giran los rotores, los espacios que hay entre los lóbulos 89 van siendo ofrecidos al orificio de admisión y el incremento de volumen experimentado provoca un descenso de presión, con lo que dichos espacios empiezan a llenarse de gas. Al mismo tiempo se inyecta aceite sometido a presión neumática en el gas entrante; no hay bomba de aceite. (Dueñas, 2014,Pag2)

**Figura 2.16**

*Compresor tornillo*



**Fuente:** Recopilado de (Los diferentes tipos de compresores,2024)

#### 2.1.1.11 Diferencia entre compresores de aire y compresores de gas natural

En primer lugar, es importante entender la diferencia entre compresores de aire alimentados por gas natural y compresores de gas natural. Se trata de dos tipos diferentes de maquinaria que se utilizan para fines muy distintos.

Los compresores de aire son dispositivos que convierten la potencia o el combustible en energía potencial en forma de aire comprimido. Estas máquinas pueden funcionar con electricidad, gas natural, gasolina, gasóleo u otras fuentes de combustible. Los compresores

de aire se utilizan para muchas aplicaciones, como el llenado de depósitos de aire y neumáticos, la alimentación de herramientas neumáticas, etc.

Por otro lado, los compresores de gas natural son máquinas que comprimen el propio gas natural. El gas se comprime mecánicamente, por etapas, a diferentes cantidades de presurización para alcanzar el nivel deseado para su suministro. El gas natural comprimido se utiliza en diversas industrias con distintos fines. (Quincy Compressor, 2021,Pag1)

#### **2.1.1.12 Tamaños de compresores de gas natural**

Los compresores de gas natural están disponibles en varios tamaños para adaptarse a diferentes trabajos industriales. Los compresores más pequeños, de una sola etapa, se utilizan para volúmenes y presiones más bajos de gas natural y pueden emplearse para recoger vapores y gases fugitivos. Los compresores de tamaño medio suelen encontrarse en las bocas de pozo y los sistemas de recogida, así como en muchos otros usos industriales. Los compresores de gas natural de mayor tamaño utilizan varias etapas y suelen emplearse en estaciones de compresión a lo largo de un gasoducto que transporta grandes cantidades de gas natural. (Quincy Compressor, 2021,Pag1)

#### **2.1.2 MARCO NORMATIVO**

##### **❖ Decreto Supremo N.<sup>º</sup> 2159, 23 de octubre de 2014**

Los Parágrafos relacionados al área de transporte de hidrocarburos son los siguientes:

- Que el Parágrafo I del Artículo 351 de la Constitución Política del Estado, determina que el Estado, asumirá el control y la dirección sobre la exploración, explotación, industrialización, transporte y comercialización de los recursos naturales estratégicos a través de entidades públicas, cooperativas o comunitarias, las que podrán a su vez contratar empresas privadas y constituir empresas mixtas. (Morales,2014,Pag1)
- Que los incisos a) y f) del Artículo 11 de la Ley N.<sup>º</sup> 3058, señalan los objetivos generales de la Política Nacional de Hidrocarburos, entre otros: Utilizar los hidrocarburos como factor de desarrollo nacional e integral de forma sostenible y sustentable en todas las actividades económicas y servicios, tanto públicos como privados; garantizar y fomentar el aprovechamiento racional de los hidrocarburos, abasteciendo con prioridad a las necesidades internas del país. (Morales,2014,Pag1)
- Que para la distribución de Gas Natural a puntos alejados de los ductos, la licuefacción, transporte y suministro del Gas Natural Licuado son procesos con un desarrollo

tecnológico dinámico; constituyéndose a corto plazo, en una opción técnicamente viable para la masificación del uso del gas natural dentro del Estado Plurinacional de Bolivia y, en especial, se constituiría en la primera opción para el abastecimiento de Gas Natural en zonas alejadas de los ductos tendidos dentro de nuestro territorio.(Morales,2014,Pag2)

➤ **En consejo de ministros,**

**decreta:**

**Artículo Único.** - Se aprueba el Reglamento Técnico para el Diseño, Construcción, Operación, Mantenimiento y Abandono de Plantas de Gas Natural Licuado - GNL y Estaciones de Regasificación, en sus cuatro (4) Capítulos, y cincuenta y siete (57) Artículos; que en Anexo forma parte integrante e indivisible del presente Decreto Supremo. (Morales,2014,Pag2)

#### **2.1.2.1 Dirección de ductos y transporte**

La Dirección de Ductos y Transporte es la encargada de controlar fiscalizar a las empresas reguladas por la ANH en el área de transporte de hidrocarburos por ductos, construcción de estaciones de compresión, etc. (ANH, 2014,Pag1)

Entre las funciones que cumple la DDT contemplan las Auditorias Regulatorias con carácter técnico, los presupuestos ejecutados de las empresas reguladas, asimismo forma parte del Comité de Producción Demanda (PRODE), que realiza la programación mensual de transportes de hidrocarburos regulados, además de atender las carteras de proyectos de empresas operadoras. (ANH, 2014,Pag1)

#### **Figura 2.17**

*ANH realizando la medición de potenciales del oleoducto*



**Fuente:** Recopilado de (ANH,2019)

## 2.1.3 MARCO CONTEXTUAL

### 2.1.3.1 Ubicación de la estación de compresión (ciudad, población, y coordenadas)

#### ➤ Ciudad de ubicación y características del lugar

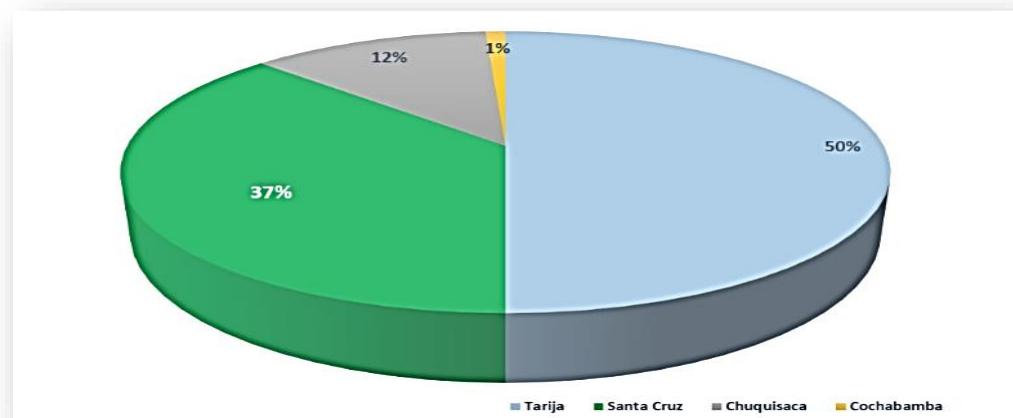
La estación de compresión Colpa está ubicado en la ciudad de Santa cruz que es una de las más importantes en la historia de Bolivia siendo así que produce el 37% del gas natural de Bolivia.

El campo Incahuasi que entro en producción el año 2016 permito a Santa cruz elevar su producción de gas, paso de 5 millones de metros cúbicos diarios a 13 millones de metros cúbicos diarios donde su producción total es del 37%, detrás de la ciudad de Tarija que se posiciona en el primer lugar de cuatro departamentos con el 50%, el tercer lugar es para la ciudad de Chuquisaca con el 12% y último lugar Cochabamba con 1%.

Otro campo que aporta con la producción de gas natural del departamento es Yapacaní que estaría produciendo el 4% de la producción nación.

**Figura 2.18**

*Gráfico torta estadística de producción de gas natural por departamento*



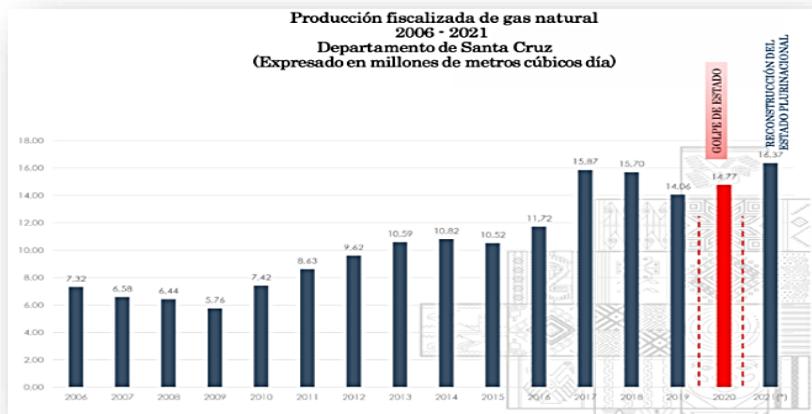
**Fuente:** Recopilado de (RADAR ENERGÉTICO ,2023)

En el año 2021 Santa cruz supero registros históricos, la producción gas natural se elevó a 16,37 millones de metros cúbicos día (MMmcd), cifras que superan todos los antecedentes históricos

El departamento de Santa cruz superó el antecedente de mayor producción gas natural en 2017, cuando fue de 15,87 MMmcd

**Figura 2.19**

*Producción de gas natural Santa Cruz*



**Fuente:** Recopilado de (Ministerio de Hidrocarburos y Energías)

- **Población donde está ubicado la estación de compresión y características del lugar**

La estación de compresión está ubicada más propiamente en la población Colpa de la ciudad de Santa Cruz, acá se encuentra el Gasoducto Colpa – Caranda y la Derivada Gasoducto Colpa – Mineros, estos gasoductos son operados por YPFB Transportes S.A y tienen 32,8 kilómetros de la Línea Lateral Gasoducto Colpa – Caranda y de los 63,9 kilómetros de la Derivada Gasoducto Colpa – Mineros, este segundo gaseoducto mencionado, Gasoducto Colpa – Mineros tiene una capacidad de transporte de 16 MMpcd el cual abastece de gas natural alrededor de 56 Industrias, entre ellas está el Ingenio Azucarero UNAGRO, asimismo, garantiza el suministro de gas natural al norte cruceño.

**Figura 2.20**

*Inspección línea lateral gasoducto Colpa – Caranda*



**Fuente:** Recopilado de (ANH,2018)

➤ **Ubicación de la estación de compresión colpa**

La Estación Colpa se encuentra ubicado en el gaseoducto actualmente entre los GYC (Gasoducto Yapacaní – Colpa) y procedencia del campo Colpa-Caranda. está ubicada en el municipio de Colpa Bélgica, provincia Sara del departamento de Santa Cruz, con coordenadas UTM siguientes: 471208 E y 8062399 S.

**Figura 2.21**

*Ubicación estación de compresión Colpa*



**Fuente:** Recopilado de (YPFB TRANSPORTE,2023)

#### **2.1.3.2 Fuentes de trabajo**

El gas natural en nuestro país se utiliza como combustible doméstico e industrial porque tiene un gran poder calorífico de combustión regulable y produce escasa contaminación.

Por lo tanto, el cumplir con la demanda interna de gas beneficia con fuentes de trabajo ya sea en la construcción de redes de gas sean estas red primaria, red secundaria e instalaciones internas y también a las industrias que producen energía eléctrica, producción de plásticos, para la generación de vapor, fertilizantes, cocción de productos metálicos, secado industrial, tratamientos térmicos, temple y recocido de metales, producción de petroquímicos, sistemas de calefacción, hornos de fusión, etc.

**Figura 2.22**

*Instalación interna de gas domiciliario- acometida de red secundaria*



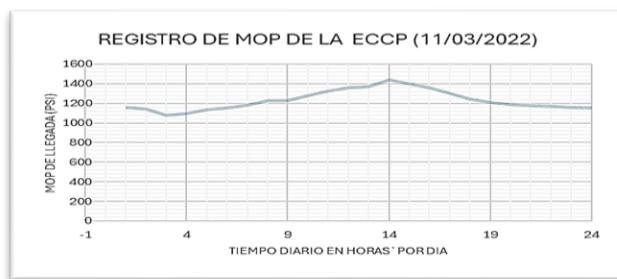
**Fuente:** Recopilado de (YPFB,2022)

#### **2.1.3.3 Características técnicas respecto a la presión y temperatura**

Respecto a la gráfica se puede ver que en las fechas de estación de verano, las presiones varían entre 1400 psi y generando una caída de presión de hasta 1150 Psi en la MOP de llegada al destino lo cual demuestra que una caída de presión, ocasiona un bajo rendimiento en el sistema de transporte de gas y así mismo ocasionando problemas de pérdidas de energía en la estación de compresión motivo por el cual en este caso es necesario su readecuación y así minimizar dicho problema de la elevada caída de presión.

**Figura 2.23**

*Registro de presiones mes de marzo*



**Fuente:** Recopilado de (YPFB,2022)

Mientras que en temporadas de frío como se puede ver, la caída de presión se reduce por los efectos de temperatura los cuales descienden en esa temporada ya que se puede ver que la presión en los horarios nocturnos desciende y ocasiona que se implique mayor fuente de energía en el calentador de gas para la estación de compresión y así mismo conlleva a

mayores gastos económicos motivo por el cual puede verse una posible readecuación para un mejor transporte.

Cabe mencionar que están previstas ampliaciones a otras poblaciones y nuevo tendido de Gasoductos que también implicaría perdida de energía y caídas de presión por lo cual llevará a realizar una modificación rápida en la estación de compresión para restablecer la energía de las presiones y seguir con el abastecimiento de la demanda interna.

**Figura 2.24**

*Registro de presiones mes de julio*



**Fuente:** Recopilado de (YPFB,2022)

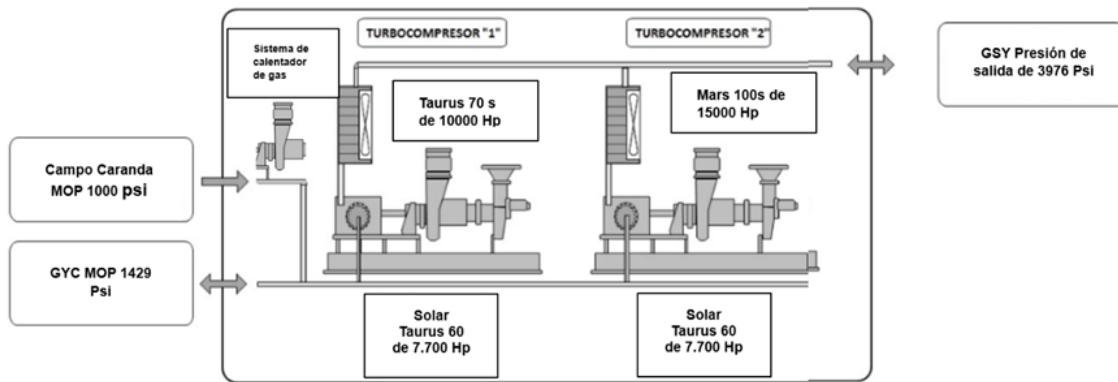
#### **2.1.3.4 Características técnicas de la estación de compresión colpa**

La estación de compresión de Colpa cuenta con los siguientes componentes:

Cuenta con dos turbos compresores Solar modelo Taurus 60, con compresor Mitsubishi. un turbo compresor Mars 100s, con compresor Solar C452. un turbo compresor Taurus 70s, con compresor Solar C404. También cuenta con grupos electrógenos CAT 3516 a Gas Natural, sistema de calentador de gas, compresores de aire a tornillo, equipos de secado de aire para la instrumentación, marca LG. Sistema de tuberías y válvulas. Sistema Load Shearing (compartimiento de carga entre unidades). Sistema de control por PLC de planta (SCP-ESD). Control de sistema SCADA para el monitoreo y control de la operación.

**Figura 2.25**

*Estación de compresión Colpa descripción de presiones*



**Fuente:** Recopilado de (YPFB TRANSPORTE, 2020)

**Figura 2.26**

*Datos técnicos en la estación de compresión Colpa*

Datos técnicos de la estación de compresión actual	
Procedencia del gas	<ul style="list-style-type: none"><li>• GYC MOP 1429 Psi con 12" de diámetro 14,2 MMPCD</li><li>• Campo Colpa-Caranda: Diámetro 24" MOP 1000 psi 32,3</li></ul>
Gravedad específica del gas	0,67
Presión de descarga	3976 Psi
Capacidad promedio actual de operación	36,5 MMPCD

**Fuente:** Recopilado de (YPFB TRANSPORTE, 2020)

## **2.2 INFORMACION DE DATOS OBTENIDOS**

### **2.2.1 Cumplimiento de objetivos.**

Para cumplir con los objetivos específicos planteados, se seguirá una secuencia de pasos claramente definida

#### **❖ Paso 1 Determinar la demanda de gas natural y caudal requerido.**

La necesidad de compresión de gas es muy importante para llegar a la zona final establecida, ya que permite mantener la energía de transporte, subsanando las caídas de presión.

Se realizó la investigación donde está previsto una ampliación de gasoducto en el tramo Población Mineros hasta el Municipio de San Pedro, Población Sagrado Corazón de la ciudad de Santa Cruz y donde ya se considera considerablemente pérdidas de energía por las caídas de presión en la estación de compresión considerando los cambios ambientales, la humedad y elevación del terreno, se denota considerablemente la importancia en la compresión de gas para cumplir con la demanda interna de este sector.

Se realizó un estudio del consumo de gas en el Municipio de San Pedro y población Sagrado Corazón con una proyección hasta el año 2044.

**Tabla 2.1**

*Datos Municipio de San Pedro de Santa Cruz*

<b>Datos extraídos del INE</b>	
<b>Municipio</b>	San Pedro
<b>N.º habitantes</b>	19103
<b>N.º hogares</b>	3915
<b>Tasa anual de crecimiento</b>	0,023
<b>Tamaño Prom. Hogar</b>	5

*Nota.* \*Se recopilo información estadística de la página del Instituto Nacional de Estadística (INE) del municipio de San Pedro de la Ciudad de Santa Cruz.

**Figura 2.27**

Datos estadísticos de habitantes en el Municipio San Pedro.

**Ficha Resumen Censo Población y Vivienda 2012**

DEPARTAMENTO	: SANTA CRUZ		
PROVINCIA	: OBISPO SANTISTEVAN		
MUNICIPIO	: SAN PEDRO		
POBLACIÓN EMPADRONADA POR SEXO, SEGÚN GRUPOS DE EDAD			
Grupos de edad	Total	Hombres	Mujeres
Total	19.103	10.976	8.127
0-3	1.687	863	824
4-5	859	434	425
6-19	5.988	3.198	2.790
20-39	6.590	4.037	2.553
40-59	2.971	1.846	1.125
60-más	1.008	598	410

LUGAR DONDE ACUDE LA POBLACIÓN CUANDO TIENE PROBLEMAS DE SALUD			
Salud	Total	Hombres	Mujeres
Caja de Salud (CNS, COSSMIL, u otras)	1.978	1.230	748
Seguro de salud privado	1.025	674	351
Establecimientos de salud público	16.439	9.271	7.168
Establecimientos de salud privado	3.212	1.833	1.379
Médico tradicional	3.558	2.064	1.494
Salvadoreños	7.020	4.500	2.421

**Fuente:** Recopilado de (INE, 2012)

**Figura 2.28**

Datos estadísticos de número de viviendas del Municipio San Pedro

VIVIENDA	
Viviendas	Total
Total	3.915
Número de viviendas particulares	3.682
Número de viviendas colectivas	233
Viviendas ocupadas con personas presentes	3.477
Disponibilidad de energía eléctrica	
Total	3.477
Tiene	3.088
No tiene	389
Combustible o energía más utilizado para cocinar	
Total	3.477
Gas en garrafa	2.858
Gas domiciliario (por cañería)	0
Leña	537
Otros (electricidad, energía solar, guano, bosta o taquia y otro)	10
No cocina	72
Procedencia del agua que utilizan en la vivienda	
Total	3.477
Cañería de red	3.008
Pileta pública	219
Carro repartidor (aguatero)	2
Pozo o noria	234
Lluvia, río, vertiente, acequia	6
Otro (lago, laguna, curichi)	8

Desague del servicio sanitario	
	Total
Total	3.183
Al alcantarillado	37
A una cámara séptica	1.181
A un pozo ciego	1.956
A la calle	6
A la quebrada, río	2
A un lago, laguna, curichi	1

Eliminación de la basura	
	Total
Total	3.477
La depositan en basurero público o contenedor	40
Servicio público de recolección (carro basurero)	45
La botan a un terreno baldío o en la calle	108
La botan al río	21
La queman	3.085
La entierran	151
Otra forma	27

Tecnologías de información y comunicación	
	Total
Radio	2.464
Televisor	2.483
Computadora	507
Servicio de Internet	193
Servicio de Telefonía fija o celular	2.404

FUENTE: Instituto Nacional de Estadística

**Fuente:** Recopilado de (INE, 2012)

**Figura 2.29**

*Datos de tasa de crecimiento intercensal*

DEPARTAMENTO, PROVINCIA Y MUNICIPIO	TOTAL	CENSO 2001		TOTAL	CENSO 2012		TASA ANUAL DE CRECIMIENTO INTERCENSAL 2001-2012 (%)
		Hombre	Mujer		Hombre	Mujer	
Obispo Santiesteban	142.786	73.872	68.914	181.169	93.153	88.016	2,1
Montero	80.341	39.857	40.484	109.518	54.441	55.077	2,8
Gral. Saavedra	16.592	8.975	7.617	14.180	7.382	6.798	-1,4
Mineros	19.846	10.571	9.275	23.251	11.952	11.299	1,4
Fernández Alonso	11.363	6.285	5.078	15.117	8.413	6.704	2,5
San Pedro	14.644	8.184	6.460	19.103	10.965	8.138	2,4

**Fuente:** Recopilado de (INE, 2012)

Ecuación para el cálculo del tamaño promedio de hogar según el INE.

$$\text{Tamaño Promedio de Hogar} = \frac{\text{Nº De Habitantes}}{\text{Nº De Hogares}} \quad \text{Ec.1}$$

Remplazamos los datos del Municipio de San pedro en la ecuación N° 1

$$\text{Tamaño Promedio de Hogar} = \frac{19103}{3915} = 4.87$$

Ecuación de Población Proyectada según el INE

$$P_{\text{proyectada}} = P_{\text{inicial}} * (1 + \infty)^t \quad \text{Ec.2}$$

$$P_{\text{proyectada}} 2013 = 19103 * (1 + 0.024)^{2013-2012} = 19561$$

Remplazamos los datos de Población, Tasa anual de crecimiento y diferencia de años en la ecuación N°2

Ecuación para determinar el número de hogares proyectados según el INE.

$$N^{\circ}\text{Hogares proyectada} = N^{\circ}\text{Hogares inicial} * (1 + \infty)^t \quad \text{EC.3}$$

$$N^{\circ}\text{Hogares proyectada} = 3915 * (1 + 0.024)^{2013-2012} = 4009$$

Remplazamos los datos de número de viviendas, Tasa anual de crecimiento y diferencia de años en la ecuación N°3

Ecuación para determinar el Consumo de gas Natural para el consumo doméstico extraído de Anexo 1 Diseño de Redes de Gas Natural.

$$Q_{Dom} = (A_1 * C_1 * S_1 + A_2 * C_2 * S_2) * N \quad \text{Ec.4}$$

$$Q_{Dom} = (1 * 0.9715 * 0.15 + 0.2 * 1.2879 * 0.3) = 0.2230m^3/h$$

Se remplazo los datos de la tabla 2 y tabla 4 en la ecuación N°4

### Tabla 2.2

*Datos de Porcentajes Mínimos de Cobertura y Simultaneidad de Aparatos según YPFB*

Porcentajes mínimos de cobertura y simultaneidad de aparatos			
Cobertura del aparato	Coeficiente de simultaneidad		
Cocina A1	Calentador de agua A2	Cocina S1	Calentador de agua S2
A establecer por la Empresa distribuidora	20%	15%	30%

Nota. \* Estos datos están establecidos en la tabla 11 del anexo N°1

Ecuación general para determinar el consumo a partir de la potencia del equipo.

$$C = \frac{P}{PCS} \quad \text{Ec.5}$$

C= CONSUMO(m3(S)/H)

P= POTENCIA DEL EQUIPO(Kw/h)

PCS= PODER CALORIFICO SUPERIOR (10.87 Kw/m3(S))

### Tabla 2.3

*Datos Generales en Bolivia de Potencias de Equipos.*

EQUIPO	POTENCIA DEL EQUIPO(KW/H)
COCINA	10,56
CALENTADOR DE AGUA	14

Nota. \*Se toma estos 2 equipos porque son los más utilizados generalmente en Bolivia.

**Tabla 2.4***Datos de potencias de equipos y resultados de Consumo de los equipos*

Equipo	Pot, Equipo	Consumo	
Cocina	10,56	0,9715	m3/h
Calentador de agua	14	1,2879	m3/h

Nota. \* Se remplazaron los datos en la ecuación N°5 y se determinó el consumo de cada equipo.

Ecuación para proyectar el consumo doméstico en un programa Excel hasta el año 2024

$$Q_{doméstico\ proyectado} = N^{\circ} \text{ de Hogares} * Consumo\ Doméstico \quad \text{Ec.6}$$

$$Q_{doméstico\ proyectado} = 3915 * 0.2230 = 873$$

Ecuación para proyectar el consumo comercial en un programa Excel hasta el año 2024

$$Q_{comercial\ proyectado} = Q_{doméstico\ proyectado} * 10\% \quad \text{Ec.7}$$

$$Q_{comercial\ proyectado} = 894 * 0.1 = 89$$

Y para determinar el caudal de demanda sumamos el consumo de gas doméstico más el consumo de gas comercial y en la tabla número 5 podemos observar que el Caudal de demanda para el año 2044 es de 2051 m3/h

Con todas las ecuaciones de forma progresiva se realizó la resolución en una hoja Excel, donde determinaremos el Consumo de Gas Natural del Consumo doméstico y comercial en el Municipio de San Pedro de la ciudad de Santa Cruz.

**Tabla 2.5***Resultados de Consumo del Municipio de San Pedro Proyectados hasta el Año 2024*

Año	Número de Habitantes	Número de Hogares	(Consumo)Q, domestico (m <sup>3</sup> /h)	(Consumo)Q, comercial (m <sup>3</sup> /h)	Q, demanda (m <sup>3</sup> /h)
2012	19103	3915	873	87	960
2013	19561	4009	894	89	983
2014	20031	4105	915	92	1007
2015	20512	4204	937	94	1031
2016	21004	4305	960	96	1056
2017	21508	4408	983	98	1081
2018	22024	4514	1007	101	1107
2019	22553	4622	1031	103	1134
2020	23094	4733	1055	106	1161
2021	23648	4847	1081	108	1189
2022	24216	4963	1107	111	1217
2023	24797	5082	1133	113	1247
2024	25392	5204	1160	116	1277
2025	26002	5329	1188	119	1307
2026	26626	5457	1217	122	1339
2027	27265	5588	1246	125	1371
2028	27919	5722	1276	128	1404
2029	28589	5859	1307	131	1437
2030	29275	6000	1338	134	1472
2031	29978	6144	1370	137	1507
2032	30697	6291	1403	140	1543
2033	31434	6442	1437	144	1580
2034	32188	6597	1471	147	1618

2035	32961	6755	1506	151	1657
2036	33752	6917	1543	154	1697
2037	34562	7083	1580	158	1738
2038	35392	7253	1617	162	1779
2039	36241	7427	1656	166	1822
2040	37111	7606	1696	170	1866
2041	38001	7788	1737	174	1910
2042	38913	7975	1778	178	1956
2043	39847	8166	1821	182	2003
2044	40804	8362	1865	186	2051

Nota. \* Se obtuvo resultados proyectados 2024 del consumo de gas del Municipio de San Pedro de Sata Cruz.

**Figura 2.30**

Grafica generada en Excel de consumo de demanda de gas natural del Municipio San Pedro



Fuente: Recopilado de (Imagen propia, 2024)

De la misma forma se realizó el consumo de la población Sagrado Corazón.

### Tabla 2.6

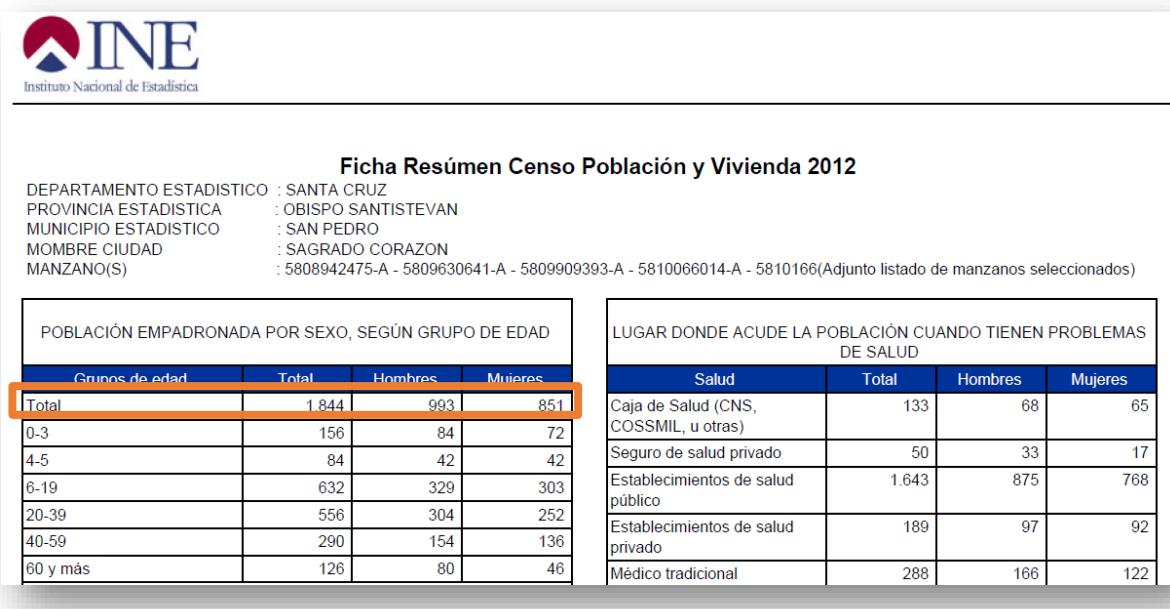
*Datos de la Población Sagrado Corazón del Municipio de San pedro de Santa Cruz*

Población	Sagrado Corazón
N.º habitantes	1844
N.º hogares	432
Tasa anual de crecimiento	0,023
Tamaño Prom. Hogar	4

Nota. \*Se recopilo información estadística de la página del INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA (INE) de la población Sagrado Corazón del municipio de San Pedro de la Ciudad de Santa Cruz.

### Figura 2.31

*Datos estadísticos de habitantes de la población Sagrado Corazón*



**Fuente:** Recopilado de (INE, 2012)

**Figura 2.32**

*Datos estadísticos de número de viviendas de la Población Sagrado Corazón*

VIVIENDA	
Viviendas	Total
Total	432
Número de viviendas particulares	426
Número de viviendas colectivas	6

**Fuente:** Recopilado de (INE, 2012)

Utilizamos los mismos datos que se encuentran en la TABLA 4 acerca de los equipos de

De igual manera realizamos la proyección hasta el año 2044 en una hoja Excel para la población Sagrado Corazón del Municipio de San Pedro de la Ciudad de Santa Cruz.

**Tabla 2.7**

*Resultados del Consumo de Gas en la Población de Sagrado Corazón del Municipio de San Pedro Proyectados hasta el Año 2024*

Año	Número de Habitantes	Número de Hogares	(Consumo)Q, doméstico (m <sup>3</sup> /h)	(Consumo)Q, comercial (m <sup>3</sup> /h)	Q, demanda (m <sup>3</sup> /h)
2012	1844	432	96	10	106
2013	1888	442	99	10	109
2014	1934	453	101	10	111
2015	1980	464	103	10	114
2016	2027	475	106	11	117
2017	2076	486	108	11	119
2018	2126	498	111	11	122
2019	2177	510	114	11	125
2020	2229	522	116	12	128
2021	2283	535	119	12	131
2022	2338	548	122	12	134
2023	2394	561	125	13	138
2024	2451	574	128	13	141
2025	2510	588	131	13	144
2026	2570	602	134	13	148
2027	2632	617	137	14	151
2028	2695	631	141	14	155
2029	2760	647	144	14	159
2030	2826	662	148	15	162
2031	2894	678	151	15	166
2032	2963	694	155	15	170
2033	3034	711	159	16	174
2034	3107	728	162	16	179

2035	3182	745	166	17	183
2036	3258	763	170	17	187
2037	3336	782	174	17	192
2038	3416	800	178	18	196
2039	3498	820	183	18	201
2040	3582	839	187	19	206
2041	3668	859	192	19	211
2042	3756	880	196	20	216
2043	3846	901	201	20	221
2044	3939	923	206	21	226

Nota. \* Se obtuvo resultados proyectados 2024 del consumo de gas en la población Sagrado Corazón del Municipio de San Pedro de Sata Cruz y su respectiva grafica generada en Excel se encuentra en Anexos.

Para la proyección de la demanda del gas estimando el consumo en la población de San Pedro se determina estimar un nuevo caudal de operación para la estación de compresión Colpa donde los compresores de la estación podrán operar con un nuevo caudal que permita su extensión del gaseoducto.

Utilizaremos una ecuación deducida sumando nuestro caudal de operación actual más el consumo de demanda proyectado para el año 2044 y multiplicando por un margen de seguridad del 15%

$$Q_{\text{proyectado}} = Q_{\text{operacion actual}} + Q_{\text{Demanda del Municipio de San Pedro}} * 1,5 \quad \text{EC.8}$$

Nuestro  $Q$  de operación actual es de 36.5 MMPCD y nuestro  $Q$  de demanda del municipio de San Pedro proyectado para el año 2044 es 2051m<sup>3</sup>/h, lo cual debemos convertir a unidades de MMPCD.

$$2051\text{m}^3/\text{h}=1.74\text{MMPCD}$$

Remplazamos nuestros datos en la ecuación N°8

$$Q_{\text{proyectado}} = 36,5 \text{ MMPCD} + 1,74\text{MMPCD} * 1,5 = 38,24\text{MMPCD}$$

En función a los cálculos de proyección realizados se tiene un caudal de 38.24 MMPCD lo cual redondeando llegaría ser 39 MMPCD y sería el valor del caudal nuevo proyectado con el cual se realizará los cálculos para la selección del compresor.

#### ❖ **Paso 2 selección del compresor adecuado.**

Realizaremos a continuación el cálculo de la potencia del compresor partiendo de todo lo que se necesite respecto a las fórmulas para el cálculo de potencia del compresor e información sobre la estación de compresión.

Se asumirá algunos nuevos datos de entrada y se trabajará con los datos recopilados y encontrados con las ecuaciones anteriores.

**Tabla 2.8***Datos de entrada para la Estación de Compresión Proyectada*

Condiciones de Entrada del Gas	
PEntrada (Psi)	1000
Tentrada (° F)	97
Qentrada (MMSCFD)	40
WContenido de H <sub>2</sub> O a la Salida (Lb/MMSCF)	7
% TEG Pobre en peso	98,7

Nota. \* Con estos datos trabajaremos para determinar la nueva potencia del compresor

Utilizaremos también una tabla de análisis cromatográfico de los componentes del gas natural.

**Tabla 2.9***Capacidad Molar del Gas Natural*

Nombre	Formula	MCP a 150 °F
Agua	H <sub>2</sub> O	6.97
Nitrógeno	N <sub>2</sub>	8.08
Dióxido de Carbono	CO <sub>2</sub>	9.27
Metano	CH <sub>4</sub>	8.97
Etano	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	13.78
Propano	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	19.58
I Butano	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	25.82
N Butano	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	26.16
I Pentano	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	32.2
N Pentano	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	32.39
Hexano	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	38.7
Heptano	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	45

Nota. \* De acuerdo al análisis cromatográfico Proporcionado por YPFB los componentes y características del gas son los que se muestran en la tabla.

A continuación, crearemos una tabla con toda la información recolectada para determinar la Mcp total donde el porcentaje molar lo encontraremos en la tabla que se encuentra en Anexos.

**Tabla 2.10**

Tabla para el Cálculo de la Constante K

Nombre	Formula	Porcentaje	Fracción Molar	MCP a 150 °F	MCP*xi
Agua	H2O	0.1183	0.001183	6.97	0.00824551
Nitrógeno	N2	0.5263	0.005263	8.08	0.04252504
Dióxido de Carbono	CO2	1.0842	0.010842	9.27	0.10050534
Metano	CH4	86.7622	0.867622	8.97	7.78256934
Etano	C2H6	6.525	0.06525	13.78	0.899145
Propano	C3H8	2.5774	0.025774	19.58	0.50465492
I Butano	C4H10	0.5091	0.005091	25.82	0.13144962
N Butano	C4H10	0.8535	0.008535	26.16	0.2232756
I Pentano	C5H12	0.3988	0.003988	32.2	0.1284136
N Pentano	C5H12	0.3865	0.003865	32.39	0.12518735
Hexano	C6H14	0.1555	0.001555	38.7	0.0601785
Heptano	C7H16	0.1033	0.001033	45	0.046485
		100.000	1.00000	10.0526348	

Nota. \* Se determinó la Mcp total que nos servirá para remplazar en la fórmula de la constante K.

Las siguientes ecuaciones se obtuvieron del trabajo de investigación de “Selección del equipo dinámico para el manejo del gas natural de los campos Coapechaca – Tajín del Yacimiento Chicontepec”.

Ecuación para determinar la constante K

$$K = \frac{MC_P}{MC_P - 1.986} \quad \text{EC.9}$$

$$K = \frac{10.053}{10.053 - 1.986} = 1.246 = 1.25$$

A continuación, se realizará el cálculo de la relación de compresión donde se tiene como datos, la presión de succión de 1000 Psi y la presión de descarga de 3976 psi de la estación de compresión.

Ecuación para de la relación de compresión.

$$Rc = \frac{P_2}{P_1} \quad \text{EC.10}$$

Santa cruz se encuentra a una altitud de 400 m, la presión atmosférica a esta elevación es de 14 Psi, las presiones absolutas de succión y descarga.

$$P_2 = 14 + 3976 = 3990 \text{ Psia}$$

$$P_1 = 14 + 1000 = 1014 \text{ Psia}$$

$$Rc = \frac{3990}{1014} = 3.93$$

Ecuación para determinar la Temperatura del gas a la descarga del compresor

$$T_2 = T_1 * Rc^{\left(\frac{K-1}{K}\right)} \quad \text{EC.11}$$

Reemplazamos nuestra temperatura de entrada en grados Rankine y los otros datos obtenidos con las ecuaciones.

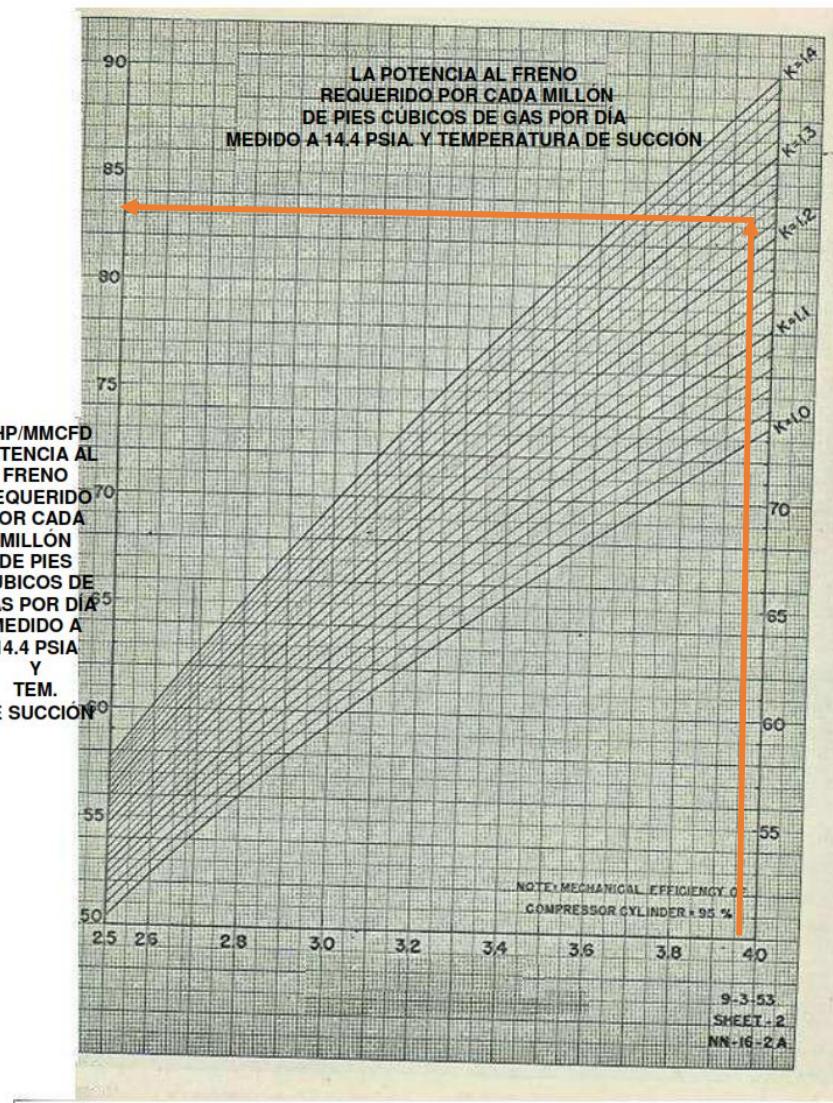
$$T_2 = 557 * 3.93^{\left(\frac{1.25-1}{1.246}\right)}$$

$$T_2 = 732.37 \text{ } ^\circ R = 272.7 \text{ } ^\circ F$$

En la siguiente gráfica, revisamos la curva respectiva y encontramos que para una relación de compresión (Rc) igual a 3.93 y Constante del gas K = 1.25 se necesitan 83 BHP por cada MMCFD comprimido.

**Figura 2.33**

Grafica para la selección del compresor a partir de la potencia.



**Fuente:** Recopilado de (Selección del equipo dinámico para el manejo del gas natural de los campos Coapechaca – Tajín del Yacimiento Chicantepec, 2004)

Al determinar la potencia al freno requerido de 83 BHP remplazamos en nuestra ecuación de la potencia

Ecuación para determinar la Potencia del Compresor

$$\text{Potencia} = \frac{\text{BHP}}{\text{MMPCD}} * \frac{Q}{1 * 10^6} \quad \text{EC.12}$$

$$\text{Potencia} = 83 \frac{\text{BHP}}{\text{MMPCD}} * \frac{39000000 \text{ PCD}}{1 * 10^6}$$

$$\text{Potencia} = 3237 \text{ BHP}$$

Según al catálogo se trabajará con una estimación de potencia de 3237 BHP.

Ecuación para determinar de la eficiencia volumétrica por el desplazamiento positivo.

$$PD * EV = \frac{BHP * 10^4}{\frac{BHP}{MMPCD} * (P_1 - 0.5)}$$

**EC.13**

$$PD * EV = \frac{3237 * 10^4}{83 * (1014 - 0.5)} = 384.805 \text{ CFM}$$

Para la selección del compresor, de realizo el estudio mediante el catálogo de Cooper Bessemer

**Figura 2.34**

Grafica de catálogo para la selección del compresor marca Cooper Bessemer M-Line

### COMPRESORES COOPER BESSEMER M-LINE

Los compresores de proceso Cooper-Bessemer M-Line se utilizan en procesos químicos y petroquímicos, producción de petróleo y gas y aplicaciones de transmisión de gas. El compresor de proceso M-Line es una unidad horizontal de velocidad lenta a media que utiliza el diseño de cilindro opuesto equilibrado. Operando entre 1,000 a 30,000 caballos de fuerza (746 a 22,371 kW), la línea M está diseñada a medida para cumplir con una amplia gama de condiciones de operación para prácticamente cualquier aplicación de gas.

Modelo	Número de lanzamientos	Cuadro HP (hp)	Carrera (pulg)	Velocidad nominal máxima (rpm)	Carga de la barra de tensión (lbf)	Carga de la barra de compresión (lbf)	Carga de varilla combinada (lbf)
FM	2-3	1,600-2,300	10.5	460	44,000	50,000	88,000
FM	4-8	3,000-4,200	10.5	600	44,000	50,000	88,000
FM	2-3	1,100-1,600	14	327	40,000	47,000	80,000
FM	4	2,300	14	360	40,000	47,000	80,000

**Fuente:** (Catalogo Compresores COOPER BESSEMER M-LINE, 2020)

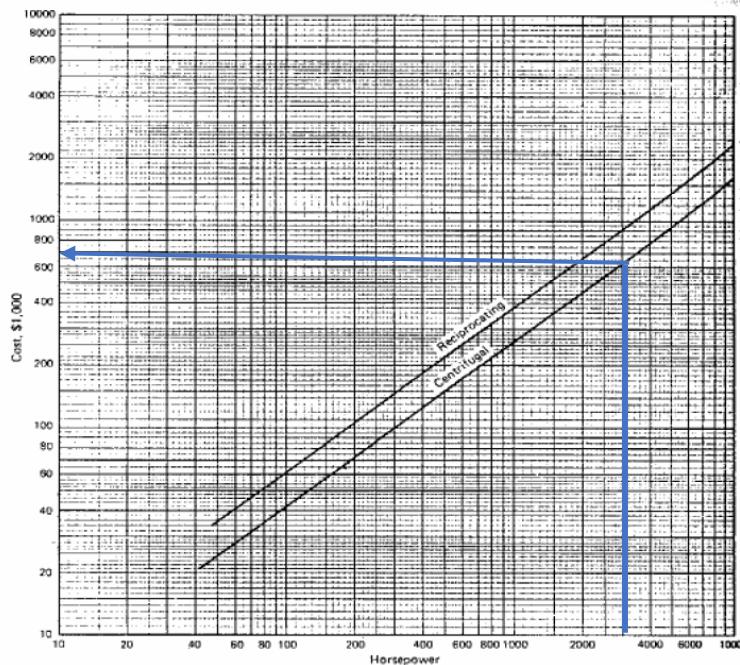
La potencia calculada para el compresor es de 3237 BHP, seleccionamos un compresor que maneje una presión superior a ese valor o se encuentre en entre esos rangos. Se opto por el modelo de compresor Cooper Bessemer FM de rango 3000-4200 HP con todas sus características correspondientes.

#### ❖ Paso 3 estimación de costos asociados para el cambio de compresor.

Para realizar el estudio económico se recopilo datos e informaciones de otros proyectos similares que realizaron la adquisición de compresores de gas natural donde se requiere el dato de la potencia del compresor en HP.

**Figura 2.35**

*Costo de referencia en USD de un compresor de gas natural*



**Fuente:** (Conceptualización y análisis técnico-económico de un sistema de compresión de gas natural, 2008)

Para una potencia de 3237HP se tiene la referencia aproximada de 700.000USD, se utilizó la figura 36 obtenida de otro proyecto denominado “Conceptualización y análisis técnico-económico de un sistema de compresión de gas natural” del autor Br.Silva para determinar su costo referencial y también se realizó una comparación con otro proyecto de grado denominado “Alternativas de diseño e Ingeniería conceptual para el suministro y transporte de gas natural industrial al sector occidental de Bolivia” donde realizan la adquisición de compresores con un monto de alrededor de 1000000USD y también el costo es variable de acuerdo a la capacidad de potencia que requiere del compresor.

### **2.3 ANÁLISIS Y DISCUSIONES**

Se realizo el estudio técnico económico para la modificación del compresor, comenzando del diagnóstico actual del compresor donde observamos problemas de caídas de presión de acuerdo a muchos factores como ser cambios de clima elevaciones de terreno y se hizo un estudio técnico de ampliaciones previstas de gasoductos, luego se realizó cálculos de potencia del compresor y consumos de demanda de gas natural en el Municipio de San Pedro y las poblaciones Sagrado Corazón y Mineros con lo cual seleccionamos nuestro compresor Cooper Bessemer M-Line de rango 3000 a 4000HP lo cual solucionara la demanda interna de gas natural sin interrupciones. Posterior a ello se hizo un análisis económico y el monto referencial para la adquisición del compresor es de 700.000USD.

## CAPITULO III: CONCLUSIONES

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Se realizó el estudio técnico económico para la estación de compresión Colpa evaluando el estado actual del compresor y se pudo identificar problemas respecto a caídas de presión, que afectan al rendimiento del compresor minimizando su eficiencia que se dan por factores climáticos, elevaciones de terreno y también se hizo un estudio de ampliaciones previstas de gasoductos que también afectan a la energía de transporte del gas natural.
- Posterior a ello y por la necesidad de compresión requerida, se hizo un análisis con cálculos de consumo de demanda proyectados hasta el año 2044 donde obtuvimos 39MMPCD y también se realizó el cálculo de la potencia del compresor donde se obtuvo el resultado de 3237HP.
- Despues se desarrolló la propuesta técnica para el cambio del compresor de acuerdo a nuestro cálculo de potencia del compresor, donde se optó por un compresor de rango de 3000 a 4000HP eligiendo la marca Cooper Bessemer M-Line la cual cumple con nuestras especificaciones técnicas.
- Finalmente se pudo estimar los costos de adquisición del compresor realizando un estudio económico teniendo un costo de referencia de 700.000USD bajo los parámetros de consumo de demanda de gas natural y la potencia que requiere el compresor.

### REFERNCIAS BIBLIOGRAFICAS

ANH. (2014). *La ANH traslada su Dirección de Ductos y Transportes de La Paz a Santa Cruz*. Obtenido de <https://www.anh.gob.bo/w2019/contenido.php?s=5&O=745>

Chávez Díaz, J. (1962). *Diseño de una estación de compresión para gas natural*[Tesis pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.14076/20744>

Dueñas Porras, K. j. (2014). *Tipos de Compresores Utilizados en Gas Natural*. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/246253860/Tipos-de-Compresores-Utilizados-en-Gas-Natural>

Foro Nuclear. (2015). *¿Qué es el gas natural y qué usos tiene?* Obtenido de <https://www.foronuclear.org/descubre-la-energia-nuclear/preguntas-y-respuestas/sobre-distintas-fuentes-de-energia/que-es-el-gas-natural-y-que-usos-tiene/>

- Gómez Caracciolo, M. (2016). *Equipos máquinas e instalaciones industriales*. Obtenido de <https://conversionenergiaunefm.wordpress.com/wp-content/uploads/2016/10/tema-4-compresores-final.pdf>
- Junta de Castilla y León. (2020). *Transporte y almacenamiento*. Obtenido de <https://energia.jcyl.es/web/es/biblioteca/transporte-almacenamiento.html>
- Kimray. (2023). *Descripción General del Equipo de una Estación de Compresión de Gas Natural*. Obtenido de <https://kimray.com/training/descripcion-general-del-equipo-de-una-estacion-de-compresion-de-gas-natural>
- Lopez, E. (2014). *Análisis de las tecnologías de accionamiento en la compresión del gas natural y su aplicación a una estación de compresión* [Tesis de grado, Escuela técnica superior de Ingenieros de minas y energía]. Obtenido de [https://oa.upm.es/40116/1/PFG\\_Elena\\_Lopez\\_de\\_Silanes\\_Enciso.pdf](https://oa.upm.es/40116/1/PFG_Elena_Lopez_de_Silanes_Enciso.pdf)
- Morales, E. (2014). *Decreto Supremo Nº 2159, 23 de octubre de 2014*. Obtenido de [https://www.anh.gob.bo/InsideFiles/Documentos/Documentos\\_Id-511-170908-0319-0.pdf](https://www.anh.gob.bo/InsideFiles/Documentos/Documentos_Id-511-170908-0319-0.pdf)
- Palacios Mejias, C. A. (2020). *“Propuesta basada en el estudio de métodos de trabajo para mejorar el proceso de reparación de válvulas de compresores reciprocatantes de una empresa de servicio de compresión de gas, Talara – 2020”* [Tesis de grado, Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio UCV. Obtenido de [https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/71822/Palacios\\_MC\\_A-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/71822/Palacios_MC_A-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Quincy Compressor. (2021). *Guía de compresores de gas natural*. Obtenido de <https://www.quincycompressor.com/es/natural-gas-compressor-guide/>
- Scribd. (2023). *Compresores y estaciones de compresión*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/488857252/UNIDAD-05-PET-0290>
- Socalgas. (2022). *Información sobre la estación de compresores*. Obtenido de [https://www.socalgas.com/sites/default/files/VenturaPF-CompressorFactSheet\\_SP\\_FINAL.pdf](https://www.socalgas.com/sites/default/files/VenturaPF-CompressorFactSheet_SP_FINAL.pdf)
- Torres Ponce, J. d., & Laguna Valencia, V. M. (1982). *Proyecto Electrico para una estación de compresión de gas natural* [Tesis de grado, Universidad Nacional Autonoma de Mexico]. Obtenido de <https://ru.dgb.unam.mx/bitstream/20.500.14330/TES01000028185/3/0028185.pdf>

YPFB transporte. (2024). *Sistemas de Transporte de Gas.* Obtenido de <https://www.ypftransporte.com.bo/nuestras-operaciones/sistemas-de-transporte-de-gas/>

## **ANEXOS**

### **Anexo 1**

*Compresores una tecnología esencial y compresión en todo el proceso de gas natural.*

Desde la extracción de gas natural hasta la transmisión por tubería, los compresores son una tecnología esencial empleada en todas las cadenas de producción y distribución para aumentar la presión del gas natural al reducir su volumen. Las estaciones de compresión de gas natural están presentes en muchos puntos del proceso de refinación y distribución y desempeñan funciones importantes en muchas aplicaciones. La compresión de gas natural satisface diferentes necesidades en diferentes puntos del proceso de refinamiento y distribución. En la cabeza del pozo, la compresión permite que un pozo de baja presión produzca mayores volúmenes de gas natural; en algunos casos, la producción del pozo puede depender totalmente de la compresión del gas. En las plantas de procesamiento de gas natural, los gases de productos intermedios y finales se comprimen para facilitar las operaciones de recolección y procesamiento. En el transporte por tuberías de gas natural purificado, las estaciones descompresión aseguran el movimiento del gas desde el sitio de producción hasta el consumidor. A medida que el gas se mueve a través de la tubería, naturalmente perderá presión debido a la distancia y la fricción. La compresión del gas natural garantiza que el gas pueda continuar moviéndose sin problemas a través de la tubería y fluya hacia el cliente. Los compresores también pueden usarse en asociación con instalaciones de almacenamiento de gas natural subterráneas o subterráneas. (Compresores en la industria de gas natural, Ismael caballero 2020)

### **Anexo 2**

*Configuración y función del compresor*

El gas natural en ruta a un compresor primero fluye a través de los depuradores y filtros para extraer impurezas y partículas. Después de esto, el gas se comprime en un proceso que introduce presión en la tubería. Este proceso genera calor, que debe ser disipado del gas antes de que salga de las instalaciones del compresor. Algunas estaciones de compresores son alimentadas por una porción del gas natural que fluye a través de ellas, mientras que otras funcionan con energía eléctrica.

### Anexo 3

Diseño de los compresores para la estación de compresión durante el transporte del gas.

Para determinar el diseño de los compresores durante el transporte de gas natural se debe definir la cantidad de tramos, es decir la cantidad de estaciones de compresión se establecerán de acuerdo a que tan variantes son sus propiedades del compuesto durante su transporte.

Ejemplo de un diseño de compresión en el transporte de gas.



Fuente: (Compresores en la industria de gas natural,2020)

### Anexo 4

Composiciones del Gas Natural

Se tiene en la siguiente Tabla de las composiciones del gas natural que se utiliza en Bolivia y la cual nos sirve para el cálculo de la potencia del compresor.

Composición del Gas Natural en fracción molar

Componente	Fracción molar (Yi)
H2O	0,1183
N2	0,5263
CO2	1,0842
C1	86,7622
C2	6,5250
C3	2,5774
iC4	0,5091
nC4	0,8535
iC5	0,3988
nC5	0,3865
nC6	0,1555

C7	0,1033
<b>Total</b>	<b>100,00</b>

Nota. Fuente: Adquirido de (CNIH)

## Anexo 5

### *Estudio del Consumo de demanda Población Mineros de la ciudad de Santa Cruz*

Se realizo los cálculos con las mismas ecuaciones utilizadas anteriormente para determinar el consumo de demanda con una proyección hasta el año 2044 para la población de Mineros.

### Tasa de crecimiento de la Población Mineros de la ciudad de santa Cruz

Obispo Santiestevan	142.786	73.872	68.914	181.169	93.153	88.016	2,1
Montero	80.341	39.857	40.484	109.518	54.441	55.077	2,8
Gral. Saavedra	16.592	8.975	7.617	14.180	7.382	6.798	-1,4
Mineros	19.846	10.571	9.275	23.251	11.952	11.299	1,4
Fernández Alonso	11.363	6.285	5.078	15.117	8.413	6.704	2,5

**Fuente:** Recopilado de (INE, 2012)

También se tiene los datos de números de habitantes y número de viviendas.

### Número de habitantes de la población Mineros de la ciudad de Santa cruz

DEPARTAMENTO : SANTA CRUZ  
PROVINCIA : OBISPO SANTISTEVAN  
MUNICIPIO : MINEROS

POBLACIÓN EMPADRONADA POR SEXO, SEGÚN GRUPOS DE EDAD			
Grupos de edad	Total	Hombres	Mujeres
Total	23.251	11.967	11.284
0-3	2.395	1.211	1.184
4-5	1.146	585	561
6-19	7.603	3.842	3.761
20-39	7.311	3.774	3.537
40-59	3.362	1.804	1.558
60-más	1.434	751	683

**Fuente:** Recopilado de (INE, 2012)

Número de viviendas de la población Mineros de la ciudad de Santa cruz

VIVIENDA	
Viviendas	Total
Total	5.800
Número de viviendas particulares	5.713
Número de viviendas colectivas	87
Viviendas ocupadas con personas presentes	5.327

**Fuente:** Recopilado de (INE, 2012)

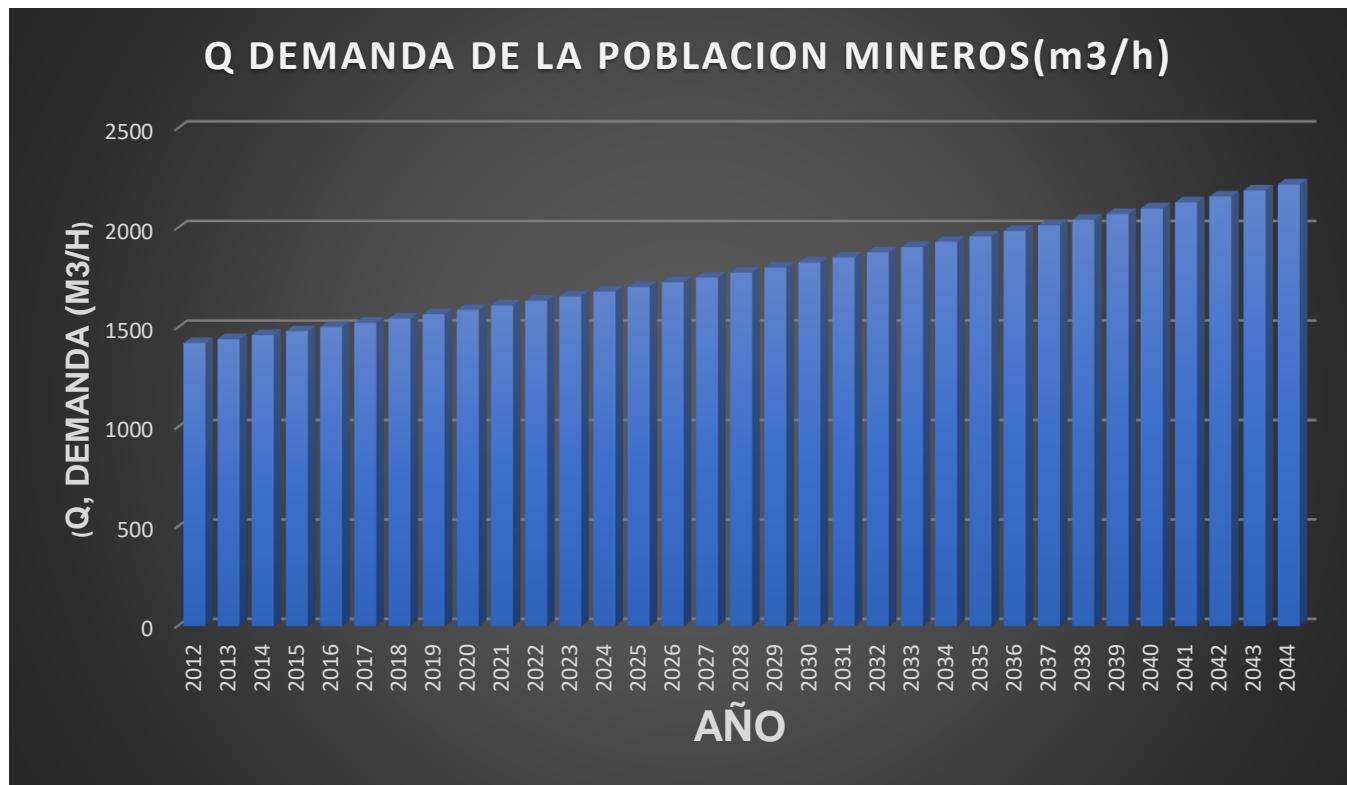
En una hoja Excel realizamos nuestros cálculos de Consumo de demanda de la población Mineros aplicando las ecuaciones utilizadas anteriormente.

Año	Número de Habitantes	Número de Hogares	(Consumo)Q, domestico (m3/h)	(Consumo)Q, comercial (m3/h)	Q, demanda (m3/h)
2012	23251	5800	1293	129	1423
2013	23577	5881	1312	131	1443
2014	23907	5964	1330	133	1463
2015	24241	6047	1348	135	1483
2016	24581	6132	1367	137	1504
2017	24925	6218	1387	139	1525
2018	25274	6305	1406	141	1547
2019	25628	6393	1426	143	1568
2020	25986	6482	1446	145	1590
2021	26350	6573	1466	147	1612
2022	26719	6665	1486	149	1635
2023	27093	6758	1507	151	1658
2024	27472	6853	1528	153	1681
2025	27857	6949	1550	155	1705
2026	28247	7046	1571	157	1728
2027	28643	7145	1593	159	1753

2028	29043	7245	1616	162	1777
2029	29450	7346	1638	164	1802
2030	29862	7449	1661	166	1827
2031	30280	7554	1684	168	1853
2032	30704	7659	1708	171	1879
2033	31134	7766	1732	173	1905
2034	31570	7875	1756	176	1932
2035	32012	7985	1781	178	1959
2036	32460	8097	1806	181	1986
2037	32915	8211	1831	183	2014
2038	33376	8326	1857	186	2042
2039	33843	8442	1883	188	2071
2040	34317	8560	1909	191	2100
2041	34797	8680	1936	194	2129
2042	35284	8802	1963	196	2159
2043	35778	8925	1990	199	2189
2044	36279	9050	2018	202	2220

Nota. Fuente: Propia diseñada en Excel

Y también se realiza la gráfica proyectada hasta el año 2044 de la población Mineros



**Fuente:** Recopilado de (INE, 2012)

## Anexo 6

Grafica generada en Excel de Consumo de Gas Natural de la Población Sagrado Corazón



Fuente: Recopilado de (Imagen propia, 2024)

**Anexo 7**

*Q Proyectados en MMPCD para abastecer el Municipio de San Pedro y la Población Sagrado Corazón*

Año	Q, Demanda Municipio de San Pedro (MMPCD)	Q, Demanda Población Sagrado Corazón (MMPCD)
2012	0,813942783	0,089814376
2013	0,83347741	0,091880107
2014	0,853480867	0,093993349
2015	0,873964408	0,096155196
2016	0,894939554	0,098366766
2017	0,916418103	0,100629201
2018	0,938412138	0,102943673
2019	0,960934029	0,105311377
2020	0,983996446	0,107733539
2021	1,007612361	0,11021141

2022	1,031795057	0,112746273
2023	1,056558139	0,115339437
2024	1,081915534	0,117992244
2025	1,107881507	0,120706066
2026	1,134470663	0,123482305
2027	1,161697959	0,126322398
2028	1,18957871	0,129227814
2029	1,218128599	0,132200053
2030	1,247363685	0,135240655
2031	1,277300414	0,13835119
2032	1,307955624	0,141533267
2033	1,339346559	0,144788532
2034	1,371490876	0,148118668
2035	1,404406657	0,151525398
2036	1,438112417	0,155010482
2037	1,472627115	0,158575723
2038	1,507970166	0,162222965

2039	1,544161449	0,165954093
2040	1,581221324	0,169771037
2041	1,619170636	0,173675771
2042	1,658030731	0,177670313
2043	1,697823469	0,181756731
<b>2044</b>	<b>1,738571232</b>	<b>0,185937135</b>

Nota. Fuente: Imagen propia generada en una página Excel.

