

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

VICERRECTORADO

**CENTRO DE ESTUDIOS DE
POSGRADO E INVESTIGACIÓN**

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA



**PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE UNA ESTACIÓN
SATELITAL DE REGASIFICACIÓN PARA ABASTECER GAS
NATURAL A LA LOCALIDAD DE POCOATA DEL
DEPARTAMENTO DE POTOSI**

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

JHONNY EDGAR COÑACA IBAÑEZ

SUCRE – BOLIVIA

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.

Jhonny Edgar Coñaca Ibañez

Sucre, diciembre de 2023

DEDICATORIA

Este Trabajo está dedicado a:

A Dios, ya que gracias a él eh logrado concluir esta primera etapa tan importante de mi vida, quizá fue un proceso lento, con bastante adversidad, pero la fe en él me mantuvo con firmeza.

A mi:

Madre y ángel Avelina Ibañez Paicho, que hasta su último suspiro, me demostró su infinito amor. “Mi principal pilar para seguir de pie”. Le mando esta dedicatoria hasta el cielo: “A su amor incondicional le debo este primer logro”.

A San Maurito, por permitirme llegar a él y conocerlo, por siempre escucharme, por reconfortarme y sobre todo por cuidar de mí en todo momento. Y por reincorporarme siempre al trabajo cotidiano.

AGRADECIMIENTOS

A: Mi familia materna, a cada miembro, por acompañarme y haberme brindado ese apoyo en el peor momento de mi vida, por remar junto a mí en la peor tormenta. Por sus consejos, por inculcarme excelentes valores.

A: mi padrino Carlos Ibañez, por ser padre, amigo, consejero. Gracias querido papá por tu amor y cariño incondicional por tus enseñanzas de superación.

A: mi segunda madre Nora Ibañez por todo su apoyo, y por tomar el papel de madre que su hermana le encomendó. Por ser la persona que nunca dejo de confiar en mí.

A: mi hermana Jazmin, por tus consejos y tomar en los momentos más difíciles el papel de hermana mayor.

RESUMEN EJECUTIVO

La localidad de Pocoata, se encuentra en un crecimiento continuo, ante tal situación la demanda de G.L.P que actualmente ronda por las 1800 garrafas por mes aproximadamente, en ciertos periodos del año se ve insuficiente, siendo un abastecimiento parcial y no total, viéndose perjudicadas familias, comercios y pequeños emprendimientos. Su ubicación alejada de los sistemas convencionales de distribución de gas natural y su geografía accidentada, limitan a dicha población a abastecerse de gas solo por garrafrones, que son ofertados a un precio elevado por las empresas cantonales, que no tienen ninguna restricción o seguimiento en cuanto al precio de venta.

Estas y otras razones que se desarrollan en el presente trabajo, dan lugar a buscar una alternativa de solución, como es el presente trabajo, que tiene el fin de elaborar una propuesta de implementación de una Estación Satelital de Regasificación para abastecer de gas natural a la localidad de Pocoata, del departamento de Potosí.

La propuesta de implementación de la ESR, está sujeta a la identificación de la población, actual número de usuarios y proyectados a 10 años como mínimo, vías de acceso, análisis de otras alternativas de suministro (sea GNL, GNC, o sistema convencional), disponibilidad de GNL en el país, estimación de la demanda de gas natural en la población pocoateña, volumen mínimo requerido en m³ de GNL, días y horas de viaje, determinación de autonomía total y la selección de la configuración de ESR más adecuada.

La implementación de la ESR, identifico como candidata a la población de Pocoata, con 2.895 usuarios proyectados para el consumo doméstico de 27.466 m³/día, relacionándolo con un 20 y 30% de demanda al sector comercial e industrial respectivamente, y estimando un consumo de 3,75 TPD del parque automotor, igualmente proyectado a 10 años, hasta 2033.

Posteriormente se estimó un volumen de autonomía de 137 m³. Por tanto, se asume un volumen de 160 m³ de GNL y según las configuraciones preestablecidas por en la ingeniería conceptual de Gas Virtual, por parte de la Gerencia Nacional de Redes de Gas y Ductos – Dirección de Gas Virtual, (YPFB-GNRGD-DGV), se concluyó en la selección de la configuración B2-1000, que dispone de dos tanques de almacenamiento de 80 m³, vaporizadores ambientales y forzados, tanque criogénico y un sistema de odorización, con líneas de baja y alta presión, que serán direccionadas a una red secundaria y primaria.

La ruta del trayecto de la cisterna criogénica establece una distancia de 691 km y un tiempo 14 h y 2 min, desde la Planta de Licuefacción de Río Grande a la población de Pocoata, atravesando por Aquile, Sucre, Ravelo, Ocuri, entre otras. Esta determinación de la selección de la ruta, identifico otras rutas alternas en caso de inconvenientes, igualmente asfaltadas y siendo transitables todo el año.

Se hizo el análisis referencial de otras alternativas de suministro, como es GNC, y gasoducto convencional, tomando como referencia los resultados del estudio técnico – económico de la población de Atocha que según la **Figura 25**, concluyendo que la ESR es la mejor alternativa de suministro de gas natural, y refiriendo en la **Tabla 18**, un monto de inversión de la ESR de 2.678.882 de dólares y un aproximado de 6,4 millones de dólares contemplando las otras áreas complementarias, con datos referenciales.

INDICE DE CONTENIDO

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN	1
1.1. ANTECEDENTES	1
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.3. JUSTIFICACIÓN	4
1.3.1. Justificación Técnica.....	4
1.3.2. Justificación económica y social	4
1.4. METODOLOGÍA	5
1.4.1. Métodos.....	5
1.4.1.1. Método bibliográfico.....	5
1.4.1.2. Método descriptivo.....	5
1.4.1.3. Método cuantitativo.....	5
1.4.2. Técnicas e instrumentos	6
1.4.2.1. Observación	6
1.4.2.2. Entrevista y encuesta	6
1.5. OBJETIVOS	6
1.5.1. Objetivo General.....	6
1.5.2. Objetivos Específicos	6
CAPITULO II: DESARROLLO	7
2.1. MARCO TEÓRICO	7
2.1.1. Implementación de una Estación Satelital de Regasificación (ESR).....	7
2.1.1.1. Metodología para la selección de las poblaciones.....	7
2.1.1.2. Criterios para definir una Estación Satelital de Regasificación	8
a) Demanda de consumo de gas natural en las poblaciones.....	8
b) Según el tipo de regasificación	10
2.1.1.3. Dimensionamiento preliminar de la Estación Satelital de Regasificación (ESR)	11
2.1.2. Localización la estación satelital de regasificación	12
2.1.2.1. Microlocalización	12
2.1.3. Gas Natural licuado (GNL).....	13
2.1.3.1. Características del GNL.....	13
2.1.3.2. Pretratamiento del gas natural.....	14
2.1.3.3. Proceso de licuefacción	15
2.1.3.4. Almacenamiento del GNL.....	15
2.1.3.5. Transporte del GNL	17

2.1.4.	Estación satelital de regasificación (ESR)	18
2.1.4.1.	Instalaciones de una Estación Satelital de Regasificación.....	20
2.1.5.	Marco Normativo	24
2.1.5.1.	Decreto Supremo N° 2159, 23 de octubre de 2014	24
2.1.5.2.	Estudio de ingeniería conceptual de ampliación del sistema de gas virtual (2019), por Gerencia Nacional de Redes de Gas y Ductos - Dirección de gas virtual.	25
2.2.	MARCO CONTEXTUAL.....	25
2.2.1.	Ubicación.....	25
2.2.2.	Vías de acceso y colindancia de la localidad.	26
2.2.2.1.	Municipios que limitan con Pocoata.....	26
2.2.3.	Consideraciones de la localidad	26
2.2.3.1.	Población y viviendas	26
2.2.3.2.	Suministro de servicios básicos.....	27
2.2.3.3.	Economía	29
2.2.3.4.	Prospectos de futuras implementaciones industriales	29
2.2.4.	Diagnostico.....	30
2.3.	INFORMACIÓN Y DATOS OBTENIDOS	30
2.3.1.	Metodología de identificación y selección de la población	31
2.3.1.1.	Número de viviendas	31
2.3.1.2.	Localización.....	31
2.3.1.3.	Vías de acceso	33
2.3.1.4.	Servicios básicos.....	33
2.3.2.	Proyección de la demanda de gas natural y capacidad	34
2.3.2.1.	Tasa de crecimiento intercensal y proyección	34
2.3.2.2.	Estimación de la capacidad	35
2.3.3.	Configuración y dimensionamiento de la Capacidad de la ESR	36
2.3.4.	Selección de la configuración adecuada a la ESR.....	38
2.3.4.1.	Consideración adicional para la selección de la configuración	39
2.3.4.2.	Sobre la selección y el proceso	39
2.3.5.	Ubicación de la Estación Satelital de Regasificación.....	43
2.3.5.1.	Ubicación se la Estación Satelital de Regasificación	43
2.3.5.2.	Mapa de la ruta de la cisterna.....	44
2.3.6.	Estimación de la inversión tipo B2-1000 para la implementación de la ESR	46
2.4.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN.....	47
2.5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	48
2.5.1.	Conclusiones	48
2.5.2.	Recomendaciones.....	49

3. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51
ANEXOS	54

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Cadena de las etapas más importantes del GNL	14
Figura 2. Proceso de Pretratamiento	14
Figura 3. Tanque de almacenamiento de GNL	16
Figura 4. Estructura del tanque de almacenamiento	16
Figura 5. Cisterna criogénica de transporte de GNL	17
Figura 6. Transporte de GNL en Bolivia por medio de cisternas criogénicas	18
Figura 7. Estación Satelital de Regasificación	19
Figura 8. Descripción proceso estación de regasificación	19
Figura 9. Estación de descarga de GNL	20
Figura 10. Almacenamiento de GNL en ESR	21
Figura 11. Vaporizador a ambiente con chorro de agua de mar	22
Figura 12. Vaporizador forzado mixto	22
Figura 13. Intercambiador de calor para recalentar el gas natural	23
Figura 14. Sistema de odorización en ESR	24
Figura 15. Ubicación de la localidad de Pocoata	25
Figura 16. Límite geográfico y colindancia de la localidad de Pocoata	26
Figura 17. Distribuidora cantonal de distribución de G.L.P	29
Figura 18. Distancia: Gasoducto Sucre - Potosí (GSP) a Pocoata.	31
Figura 19. Distancia: Gasoducto al Altiplano (GAA) a Pocoata	32
Figura 20. Identificación de inundación mediante datos ópticos Sentinel	33
Figura 21. Configuración de ESR B2 - 1000	42
Figura 22. Layout ESR tipo B2-1000	43
Figura 23. Ubicación Satelital de la ESR	44
Figura 24. Trayecto de la cisterna Planta GNL - Pocoata	45
Figura 25. Análisis Económico entre las Alternativas de Distribución de GN	46
Figura 26. Factura de compra de G.L.P, Distrital Comercial Chuquisaca	57

INDICE DE TABLA

Tabla 1: Porcentajes mínimos de cobertura y simultaneidad de aparatos	9
Tabla 2. Resumen de viviendas	27
Tabla 3. Número de viviendas a 2023	27
Tabla 4. Disponibilidad de energía eléctrica	27
Tabla 5. Fuentes de energía para cocinas de la localidad	28
Tabla 6. Suministro y servicio de agua	28
Tabla 7. Resumen del número de viviendas de la población de Pocoata	31
Tabla 8. Principales características de la vía de acceso	33
Tabla 9. Servicios por red de tubería	34
Tabla 10. Proyección de población y vivienda	34
Tabla 11. Consumo Categoría Comercial	35
Tabla 12. Datos de tiempos de viaje de las cisternas de GNL desde la planta de Río Grande	37
Tabla 13. Resumen de cálculos para la selección de la ESR	37
Tabla 14. Resumen del dimensionamiento de la ESR	39
Tabla 15. Coordenadas de ubicación la ESR	44
Tabla 16. Opciones de Ruta Planta GNL - Pocoata	44
Tabla 17. Tabla comparativa y referencial para el suministro por el sistema convencional	45
Tabla 18. Inversión para la implementación de la ESR	47
Tabla 19. Detalles de costos totales de inversión	47
Tabla 20. Resumen de costos Red Primaria	56
Tabla 21. Resumen de costos de EDR y línea de enfriamiento	56
Tabla 22. Resumen de costos Red Secundaria	56
Tabla 23. Cuadro comparativo del precio de G.L.P en la población de Pocoata y poblaciones aledañas	58
Tabla 24. Reporte Nacional de inundaciones por Lluvias	61

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

Hablar del gas natural en la actualidad, es referirse a una de las principales fuentes de energía de más rápido crecimiento, que al pasar de los años fue empleándose en el sector doméstico, comercial e industrial. Así también, Sabatella (2018) menciona:

En los últimos 45 años se observa una persistente transición energética hacia el gas natural en Sudamérica. Según, datos de la “Organización Latinoamericana de la Energía (OLADE)”, su participación en la matriz energética primaria entre 1970 y 2015 escaló del 9% al 27%, ocupando el segundo lugar, detrás del petróleo, cuya participación declino del 63% al 36% en el mismo período. (pág. 86)

Sin embargo, el transporte por gasoducto para zonas aisladas o de difícil acceso, “quedaba limitado a unas pocas locaciones, en las que el yacimiento de gas estaba cerca del centro de consumo” (López Anadón, 2012, pág. 84). Como también su continua demanda en crecimiento y la falta de concreción de iniciativas multilaterales condujeron a una proliferación de terminales de gas natural licuado (GNL). Tal como lo afirma, Markus (2016):

La tecnología del GNL ha hecho posible el transporte del gas natural en forma líquida por vía marítima desde finales de la década de 1950, donde en base a las tecnologías desarrolladas por Estados Unidos, se construye en Argelia la primera planta de licuefacción de gas natural con carga base, pero no fue hasta el siglo XXI que los costos de transporte de GNL se redujeron a niveles que lo hicieron competitivo con respecto al transporte por gadosucto [sic]. (Citado en Sabatella, 2018, pág. 89)

A partir de ello, se desarrollaron investigaciones enfocados al GNL, buscando conocer más sus procesos, inclusive otros buscando optimizar y aprovechar la misma energía generada, como señal la revista científica *Energy Conversion and Management* en el capítulo “Regasification of liquefied natural gas in satellite terminals: Techno-economic potential of cold recovery for boosting the efficiency of refrigerated facilities”, que indica:

En las plantas de regasificación, el aprovechamiento de la energía térmica fría como subproducto de la regasificación permite recuperar parcialmente la energía consumida en la

etapa de licuefacción. Pero donde este tipo de configuración está sujeta a ciertos tipos de obstáculos. (Atienza *et al.*, 2021, págs.1 - 15).

Otra investigación doctoral, “La nueva geopolítica de la energía en la región sudamericana. Tendencias, actores y conflictos en la industria del gas”, por Del Valle (2016) señala lo siguiente, refiriéndose a la situación del GNL en Sudamérica:

La búsqueda de solución al problema de abastecimiento del gas natural en zonas alejadas o marginales, hace que la implementación de terminales de regasificación de GNL no solo sea una respuesta una alternativa. Pero GNL, tanto a escala global, como regional y nacional, requiere una serie de procesos dentro de la cadena de valor que incluye: licuefacción (transformación del gas del estado gaseoso al líquido), transporte (mediante barcos metaneros), regasificación (transformación del gas de líquido a gaseoso) y distribución (mediante gasoductos o camiones cisterna), de allí su mayor costo respecto al gas natural procedente de gasoductos (pág. 95)

Consecuentemente, en el país de Chile se hizo una nueva investigación magistral, “Plantas Satélites de Regasificación” por Carvajal Ayala (2018), inclinando su investigación a forma de plan de negocio en dicho país estratégicamente segmentada:

Con un análisis tipo segmentación geográfica, donde clientes captados sean exclusivamente de minería metálica y no metálica de la zona norte de Chile, fundamentándose en la reducción de emisiones de gases en la minería, generando un impacto en la reducción de la huella de carbono y siendo ejemplo para la industria. Todo esto mediante la búsqueda de proveedores que transporte el GNL a ESR en camiones cisterna, concretando así el gasoducto virtual.

En Bolivia se han desarrollado investigaciones de grado relacionados a propuestas con diseño y otras en implementación de normas ISO, así, por ejemplo, el proyecto de grado “Diseño de un sistema de Gestión de Seguridad y Salud Ocupacional bajo la norma ISO 45001: 2018 en la Estación Satelital de Regasificación de Huanuni”, identificando la problemática de altos índices de accidentalidad y riesgos y peligros existentes, todo esto sujeto al uso de normas de los años 1990 y 2003 (Hazop y matrices de riesgos). (Gutierrez Cordero, 2023)

De la misma manera, se desarrollaron proyectos de grado en la Universidad Mayor, Real y Pontificia de Chuquisaca, referidos al diseño e implementación y estudio de mercado. Como, por ejemplo, el proyecto de grado, “Estudio técnico económico para el suministro de gas

natural para la población de Challapata-Oruro por el sistema gas virtual”, por Arroyo Mamani (2016), que refiere a la locación objetiva, diseño y evaluación de la capacidad de la ESR de acuerdo a un estudio de mercado preliminar.

Otra investigación, es la “Simulación de una planta de gas virtual para el suministro de gas natural en la población de Sorata, que tiene como finalidad la implementación de un sistema de gas virtual en la población de Sorata”, por Suntura Jhasmany (2020), se basa en el estudio sobre los métodos de los sistemas de gas virtual, Estaciones Satelitales de Regasificación y Estaciones Satelitales de Descarga, sus configuraciones, el proceso de cada uno de ellos.

Entre las poblaciones que se beneficiaron con el servicio básico están: Achacachi, Desaguadero, Copacabana, Caranavi, Coroico, Guanay, Challapata, Huanuni, Tupiza, Uyuni, Villazón, Llallagua, Cobija, Trinidad, Santa Ana del Yacuma, San Borja, Rurrenabaque, San Ignacio de Moxos, Guayaramerín, Riberalta, Ascensión de Guarayos, San Julián, Cabezas, Roboré, San José de Chiquitos, Mora y San Ignacio de Velasco. (CADECOCRUZ, s.f., párr. 6)

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La localidad de Pocoata ubicado en la provincia de Chayanta del departamento de Potosí, actualmente se abastece de G.L.P (gas licuado de petróleo), por parte de las distribuidoras cantonales provenientes de las ciudades de Sucre, Potosí y Llallagua, pero este abastecimiento es insuficiente y se ve comprometido al pasar de los años. En los últimos 10 años su población fue en aumento, según Municipios de Bolivia (2022), en 2012 de acuerdo a resultados del censo, la densidad poblacional ascendía a 1.844 y para el año 2022 según proyección sería próximo o superior a 3.000 habitantes.

El continuo crecimiento demográfico y poblacional de Pocoata, hacen que la demanda de gas sea masiva, y siendo más crítico en épocas de lluvia, sin dejar de lado la colindancia con distintas poblaciones como lo son Jarana, Corocti, Tirina y Huancarani, entre otras, dichas poblaciones se encuentran a 5,9; 11; 14 y 5,5 km respectivamente, pues sus pobladores recurren de igual manera a Pocoata para la compra de G.L.P, comprometiendo aún más el abastecimiento de este recurso, ya que mayormente las distribuidoras cantonales no cuentan con la capacidad de abastecer a todas las poblaciones, incluyendo la localidad de Pocoata.

Prácticamente, hay meses del año donde esta localidad no cuenta con el beneficio de gas natural, y su adquisición por compra de G.L.P es mucho más costosa, a comparación de la ciudad, donde el precio oscila en 22,5 o 24 Bs, dependiendo si se la compra en tienda o por

parte de empresas distribuidoras. En cambio, en la localidad el precio mínimo es de 28 Bs por parte de las empresas distribuidoras, pudiendo variar dicho precio si se lo adquiere en tiendas, donde su precio es de 29 a 30 Bs, en caso de las demás poblaciones citadas su precio de venta en lugar oscila entre 32 a 33 Bs.

Por tanto, es necesario buscar alternativas que sean la respuesta al problema de abastecimiento de gas natural, tanto a domicilios, comercios e industrias, ya sea por gasoducto convencional o gasoducto virtual. La primera opción por la ubicación de dicha población, su geografía tan accidentada y la lejanía de la misma dificulta concretarla y la hace inviable. En esta razón, YPFB dispone otra alternativa que son las ESR, que bajo el Decreto Supremo N° 2159, 23 de octubre de 2014 (Reglamento Técnico para el Diseño, Construcción, Operación y Mantenimiento y Abandono de Plantas de Gas Natural Licuado-GNL y Estaciones Satélite de Regasificación).

El gas natural licuado (GNL) es simplemente una forma conveniente de gas natural, un líquido criogénico condensado en volumen para que su almacenamiento y envío sean económicamente viables. Así también, la estaciones regasificación responden a las necesidades de los bolivianos que viven en zonas muy alejadas.

1.3. JUSTIFICACIÓN

1.3.1. Justificación Técnica

Sujeto a conocimientos y fundamentos teóricos de la ingeniería de transporte de hidrocarburos, se evaluará la implementación de la tecnología de GNL a la localidad de Pocoata. Haciendo análisis de normativas técnicas establecidas en el país ya aplicadas, conjugando las condiciones climáticas y variaciones geográficas de la región, en presión, temperatura, distancias, tramos de viaje desde la planta de GNL Rio Grande hacia la localidad de interés, además contemplando puntos estratégicos para posibles nuevas industrias.

1.3.2. Justificación económica y social

La demanda de gas natural año tras año tiene un continuo y rápido crecimiento, ya sea en zonas urbanas, rurales. Es así que, en lugares totalmente alejados de los centros de distribución o comercialización, estas locaciones se benefician del gas natural mediante G.L.P en garrafones, donde empresas cantonales se encargan de tal distribución, pero con un costo mayor al que se tiene en ciudad, aclarando que el consumo promedio por mes en las familias

de la localidad, es de 2 garrafas y centros locales como; restaurant, hoteles, panaderías y medios de transporte vehicular tienen una demanda mucho mayor.

Esta localidad se convierte en beneficiario directo por la implementación de la ESR, diversificando su economía, y contemplando una opción de ahorro para las familias de Pocoata, en costo/beneficio, contemplando el sector doméstico, comercial e industrial.

La implementación de una ESR en concepto de gasoducto virtual, contribuirá a mejorar la calidad de vida de los pobladores de la localidad de Pocoata, quienes, en su mayoría por ahorrar unos centavos, aprovechan estaciones secas del año, para hacer uso de escombros o leñas para sus cocinas. También impulsando de entrada, sectores comerciales como restaurants, hoteles, que son de amplia demanda en los meses de febrero, junio y noviembre por sus atractivas actividades; industrias como curtiembres, panaderías y sin dejar de lado el parque automotor, ya que existe ya varios usuarios que aún tienen sus movilidades con adaptaciones caseras al uso de GLP de garrafa, arriesgando su integridad por el precio de gas que a comparación de gasolina es bastante elevado.

1.4. METODOLOGÍA

1.4.1. Métodos

1.4.1.1. Método bibliográfico

La aplicación del método consistirá en la recolección de información a partir libros, investigaciones, artículos, tanto como fuente primaria y secundaria que estén estrechamente relacionados al tema propuesto.

1.4.1.2. Método descriptivo

De esta manera conocer procedimientos que se deben realizar para el desarrollo de la propuesta de implementación de la estación satelital de regasificación, con técnicas de campo para una observación directa, con instrumentos de fichas técnicas, fotografías, normativas vigentes en el país etc.

1.4.1.3. Método cuantitativo

Por medio de encuestas que relacionen la investigación con socialización directa con pobladores de la localidad y su entorno, recopilando la información necesaria.

1.4.2. Técnicas e instrumentos

1.4.2.1. Observación

Será aplicada en una primera parte del trabajo, con el objetivo de obtener información y mediante un análisis realizar un reconocimiento inicial del lugar de aplicación. El instrumento utilizado será un registro de observación, que servirá para plasmar toda la información de interés.

1.4.2.2. Entrevista y encuesta

Técnica utilizada para la obtención de información técnica de fuentes primarias identificadas, así también opiniones mediante instrumentos de encuestas impersonales, y proyecciones audiovisuales compartidos entre pobladores de la localidad y el investigador.

1.5. OBJETIVOS

1.5.1. Objetivo General

- ✓ Elaborar una propuesta de implementación de una estación satelital de regasificación para abastecer de gas natural a la localidad de Pocoata, en el departamento de Potosí.

1.5.2. Objetivos Específicos

- ✓ Realizar un diagnóstico socioeconómico e identificación de factores climatológicos de la localidad de Pocoata que puedan incidir en la implementación de la estación satelital de regasificación.
- ✓ Determinar la capacidad de la estación satelital de regasificación para el suministro de gas natural a la localidad.
- ✓ Determinar la ubicación óptima de la estación satelital de regasificación en la localidad.
- ✓ Desarrollar la propuesta mediante un diseño conceptual, identificando, seleccionando y describiendo procesos, equipos involucrados de acuerdo a normativa técnica vigente.
- ✓ Realizar un análisis económico y referencial del proceso de implementación.

CAPITULO II: DESARROLLO

2.1. MARCO TEÓRICO

2.1.1. Implementación de una Estación Satelital de Regasificación (ESR)

2.1.1.1. Metodología para la selección de las poblaciones

La Gerencia Nacional de Redes de gas y Ductos – Dirección virtual (2015), con la finalidad de seleccionar la(s) población(es) a beneficiarse con la implementación del Sistema de Gas Virtual, previamente se define algunos criterios para la localización:

a) Número de viviendas

Se procede a la selección de poblaciones con más de 500 viviendas, la verificación del mismo se basa en el último censo realizado.

b) Localización

- Se encuentra en áreas donde el gasoducto de transporte más cercano está a una distancia mayor a 30 km.
- Se encuentra en una zona no inundable
- Se encuentran ubicadas en un lugar estratégico (fronteras, poblaciones que se encuentran en carreteras principales que requieran estaciones de servicio GNV).

c) Vías de acceso

- El acceso disponible es una carretera asfaltada, ripiada y/o de tierra.
- Las vías de acceso a la población son transitables todo el año.

d) Servicios básicos

- Cuentan con sistema de agua potable por red.
- Cuentan con servicio de alcantarillado sanitario.

e) Costos de alternativas de suministro

Es necesario estimar o tener referencia de otras alternativas de suministro para la(s) población(es) seleccionada(s), sea construcción de gasoducto, provisión de gas natural por Gas Natural Comprimido (GNC), o provisión por Gas Natural Licuado (GNL).

f) Disponibilidad de GNL

La Planta de Licuefacción de Gas Natural ubicada en la población de Río Grande es sujeta a un análisis de capacidad (210 Toneladas Métricas Día de GNL (TPD)), según la capacidad demandada por parte de la(s) población(es) seleccionadas.

2.1.1.2. Criterios para definir una Estación Satelital de Regasificación

Según la Gerencia Nacional de Redes de gas y Ductos – Dirección virtual, “Una Estación Satelital de Regasificación (ESR), se fundamenta en los siguiente dos criterios principales para definir los sistemas que lo conforman” (2015, pág. 140).

a) Demanda de consumo de gas natural en las poblaciones

Tomando en cuenta las proyecciones de la demanda de gas natural, del sector doméstico, comercial, industrial y GNV si precisa, para el dimensionamiento de los equipos.

- **Demanda de consumo de gas natural en las poblaciones**

Según el decreto supremo N° 2159, del 23 de octubre de 2014, inciso h), del artículo 18, dentro del capítulo II (Condiciones técnicas y requisitos para el diseño y construcción de plantas de GNL y estaciones de regasificación), la capacidad de almacenamiento de la Planta de GNL y de las Estaciones de Regasificación, deberá considerar un stock mínimo que garantice el abastecimiento continuo de los usuarios del Sistema de GNL. Para el cálculo de caudal de la demanda se deben considerar los siguientes aspectos. (2014, pág. 15)

El número de usuarios (N) proyectado, deberá ser en un tiempo mínimo de 10 años utilizando datos estadísticos actualizados. Por tanto, caudal total (Q_T) será la suma de los caudales correspondientes a cada una de las categorías establecidas en el reglamento vigente. El caudal total será parámetro de estimación de la posible capacidad de la ESR, con relación a la red primaria y red secundaria, respecto a caudales de categorías doméstico, comercial e industrial. (Agencia Nacional de Hidrocarburos, 2015, pág. 18)

$$Q_T = Q_S + Q_{IND} + Q_{GNV} \quad (1)$$

Una estimación para la demanda de la red secundaria se hace uso de la siguiente expresión:

$$Q_S = Q_{DOM} + Q_{COM} \quad (2)$$

- **Estimación de demanda del sector domestico**

Los usuarios domésticos son aquellos, que utilizan gas natural para la cocción, generación de agua caliente sanitaria o de calefacción, en viviendas unifamiliares y multifamiliares.

Se considera por tanto como usuario potencial, a cada una de las viviendas habitadas ubicadas en cada población, en este sentido para definir la cantidad de posibles usuarios, se asume como línea de partida los datos del número de viviendas conforme el censo de población y vivienda 2012, base sobre la cual se aplica la tasa de crecimiento intercensal. (Gerencia Nacional de Redes de gas y Ductos – Dirección virtual, 2015, pág. 18)

Para el estimar el caudal domestico proyectado se hace uso de la siguiente expresión:

$$Q_{DOM} = (A_1 * C_1 * S_1 + A_2 * C_2 * S_2) * N \quad (3)$$

Donde:

A: Porcentaje de cobertura del aparato, (%)

C: Consumo del aparato, (Sm³/h)

S: Coeficiente de simultaneidad del aparato, (adimensional)

N: Número de usuarios de categoría domestico proyectado, (adimensional)

El caudal de consumo comercial será evaluado y debidamente justificado por la Empresa Distribuidora. Los porcentajes mínimos de los coeficientes A y S se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 1: Porcentajes mínimos de cobertura y simultaneidad de aparatos

Cobertura del aparato		Coeficiente de simultaneidad	
Cocina A ₁	Calentador de agua A ₂	Cocina S ₁	Calentador de agua S ₂
1	20%	15%	30%

Fuente: Agencia Nacional de Hidrocarburos (2015, pág. 19)

- **Estimación de demando del sector comercial**

Las poblaciones identificadas se encuentran en el área rural, el desarrollo de la actividad comercial se reduce a la provisión de servicios básicos, venta de insumo agropecuarios, venta de productos alimenticios semi industriales o industriales provenientes de las ciudades más

importantes, por lo que esta actividad tiene una dinámica menor de consumo energético respecto al consumo doméstico. (Gerencia Nacional de Redes de gas y Ductos – Dirección virtual, 2015, pág. 22)

Se considera que el caudal necesario para el sector comercial es proporcional en un 20% al caudal doméstico, según un análisis realizado por la Dirección de Operación y Mantenimiento (DOM – GNRGD), en poblaciones similares, estableciendo que el consumo comercial representa el 20% del consumo doméstico.

$$Q_{COM} = Q_{DOM} * 0,20 \quad (4)$$

- **Estimación de demanda del sector industrial**

Se considera como valor para el consumo industrial, un 30% del valor del consumo horario doméstico, en el mismo análisis realizado por la DOM.

$$Q_{IND} = Q_{DOM} * 0,30 \quad (5)$$

- **Estimación de demanda de gas natural vehicular (GNV)**

“La demanda de gas natural vehicular está relacionada con la decisión comercial de YPFB de implementar Estaciones de Servicio abastecedoras de gas natural al parque vehicular de las poblaciones que cuentan con el servicio” (Gerencia Nacional de Redes de gas y Ductos – Dirección virtual, 2015, pág. 25).

Para el caso de proyección de gas natural vehicular, se considera la totalidad de poblaciones seleccionadas que cuenten con una estación de GNV, considerando su consumo y tomando en cuenta un promedio de sus consumos.

b) Según el tipo de regasificación

En función a las condiciones climatológicas, la población o locación a beneficiarse de la implementación de la ESR, considera dos alternativas de regasificación:

- Regasificación ambiental (Regasificadores ambientales)
- Regasificación mixta, ambiental – forzada (regasificador ambiental - intercambiador de calor).

“De acuerdo a las condiciones climatológicas de la localidad donde se instale una Estación de Regasificación, se debe considerar en el diseño la utilización de vaporizadores ambientales y/o vaporizadores forzados” (Decreto supremo 2157, 2014, Art. 20).

En aquellas poblaciones cuyo análisis de temperatura ambiente no permita el funcionamiento eficiente de Regasificadores ambientales, se contará con un sistema de regasificación forzada que trabajará de manera combinada con un regasificador ambiental (Gerencia Nacional de Redes de gas y Ductos – Dirección virtual, 2015, pág. 70)

2.1.1.3. Dimensionamiento preliminar de la Estación Satelital de Regasificación (ESR)

Es necesario definir algún dimensionamiento básico o promedio. Por esta razón, para la determinación se considera el siguiente criterio, valido en GNL y GNC.

a) Volumen mínimo requerido

La capacidad de almacenaje ya sea para GNL, debe garantizar mínimamente el valor mayor del consumo de 3 días de autonomía, el equivalente en consumo a 2,5 veces el tiempo de viaje desde la Planta de GNL hasta la ESR. A continuación, se presentan las ecuaciones empleadas para la estimación del volumen mínimo requerido para cada población.

$$V_m = D_d * 3 \text{ días} \quad (6)$$

Donde:

V_m: Volumen mínimo requerido (Sm³)

D_d: Demanda diaria (Sm³/día)

3 días: Autonomía requerido para cada población

La ecuación para estimar el volumen mínimo requerido para garantizar el equivalente en consumo a 2,5 veces el tiempo de viaje de ida desde el origen hacia cada población.

$$V_m = D_d * 2,5 * T_v \quad (7)$$

Donde:

V_m: Volumen mínimo requerido (Sm³)

D_d: Demanda diaria (Sm³/día)

2,5 días: Es un factor de seguridad, para el tiempo de ida

Siguiendo los anteriores criterios y haciendo uso de dichas ecuaciones, se estima el volumen mínimo requerido en función a la demanda proyecta, a 10 años.

2.1.2. Localización la estación satelital de regasificación

Según el Decreto Supremo N° 2159, en el artículo 16, del capítulo II, “El diseño deberá considerar un estudio de las condiciones locales, incluido el terreno donde se ubicará la Planta de GNL y/o la Estación de Regasificación” (pág. 13).

Pero mientras no se conozca la ubicación exacta de los terrenos destinados a la construcción de las ESR, se asume preliminarmente que todas las poblaciones contarán con el sistema de alta presión, que contempla bombas de alta presión de GNL y en algunos casos bypass de reducción de presión desde las bombas de alta presión hacia el tanque de almacenaje de alta presión. (Gerencia Nacional de Redes de gas y Ductos – Dirección virtual, 2015, pág. 70)

2.1.2.1. Microlocalización

La microlocalización, debe contemplar los siguientes puntos:

- La capacidad de almacenamiento para la determinación de la superficie del terreno.
- Tipo de suministro (ESR o ESD), tomando en cuenta la construcción de una Estación de Servicio de GNV y Líquidos adyacente.
- Normas para la determinación de distancias de seguridad.
- Funcionalidad del terreno con respecto al proyecto.
- Ubicación del terreno con respecto a carreteras, vías primarias y/o secundarias u otro tipo de vía.
- Distancia del terreno a la población y/o su ubicación en la mancha urbana.
- Saneado legalmente con correcta ubicación y delimitación de linderos respecto a colindancias y dotación de Servicios.
- Topografía del terreno.
- Trabajos necesarios por parte del GAM de la localidad, para su habilitación y uso inmediato del terreno y obras aledañas complementarias para su implementación.

En los terrenos donde se proyectará y construirá este tipo de Estación Satelital de Regasificación; se considerará que la superficie del terreno tiene que responder a normas de construcción y de seguridad, por lo que se propone o considerara una única superficie, pero con tres tipos de configuración en función al crecimiento de la demanda de gas natural; empleando tanques de almacenaje de GNL de 20 y 80 m³. Adicionalmente al área requerida

para ello, se debe adicionar la superficie de la Estación de Servicio adyacente. (Gerencia Nacional de Redes de gas y Ductos – Dirección virtual, 2015, pág. 128)

2.1.3. Gas Natural licuado (GNL)

El GNL es un líquido condensado, que se encuentra a condiciones de temperatura de aproximadamente -161 °C y presión atmosférica, con volumen reducido en 600 veces a través de la licuefacción. De esta manera posibilitar su envío de forma sencilla, económica y segura a distancias considerables, sin que el mismo pierda o altere sus características (López Anadón, 2012).

2.1.3.1. Características del GNL

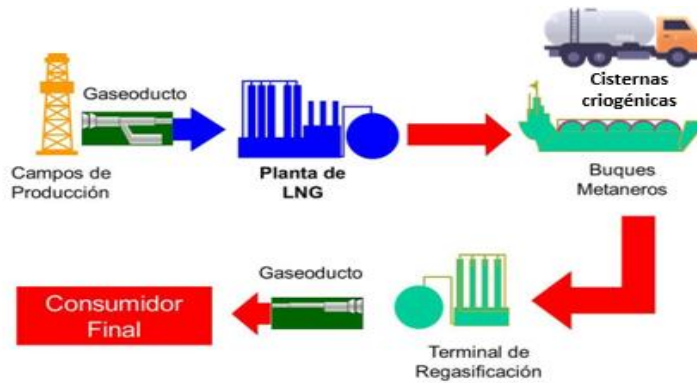
Este combustible es caracterizado por ser: Un líquido criogénico inodoro, incoloro y no corrosivo a presión atmosférica normal. Cuando el GNL se vaporiza y se utiliza como combustible de gas natural, genera muy bajas emisiones de partículas de carbono, que son significativamente menores a comparación de otros combustibles de hidrocarburos. Además, los productos de combustión del GNL casi no contiene óxidos de azufre y tiene un bajo nivel de óxidos de nitrógeno, lo que hace que el GNL sea un producto limpio como fuente de energía. (Mokhatab *et al.*, 2014, págs. 3 - 4)

Las etapas más importantes de la cadena del GNL son las siguientes:

- Exploración, para encontrar gas natural en la corteza de la tierra y su producción para llevarlo a la planta de licuefacción.
- Licuefacción, para convertir gas natural en líquido (GNL) y su almacenamiento en tanques especiales para que así pueda ser transportado por barco o cisterna.
- Transporte del GNL en embarcaciones especiales u otros contenedores especiales.
- Almacenamiento y regasificación, para convertir el GNL de fase líquida a fase gas, el cual está almacenado como líquido en tanques especiales, y posterior a la regasificación ser transportado a su destino final a través del sistema de tuberías de gas natural. (López Anadón, 2012, pág. 85)

De esta manera, se desarrolla una cadena de suministro de Gas Natural Licuado, desde la primera etapa hasta el usuario final, tal como se muestra a continuación.

Figura 1. Cadena de las etapas más importantes del GNL



Fuente: Adaptado de Santillana & Salinas (2018)

2.1.3.2. Pretratamiento del gas natural

Consiste en reducir a lo mínimo la presencia de Hg y de CO₂, mediante un sistema de absorción física y disolución y por un conjunto de tamices moleculares de sílica gel para la eliminación del contenido de humedad y algún hidrocarburo pesado (Lugones, 2021).

Figura 2. Proceso de Pretratamiento



Fuente: Agencia Nacional de Hidrocarburos (2021, 12:19)

a) Especificaciones de calidad del Gas Natural para licuefacción

Las especificaciones del gas natural en nuestro medio deben contemplar lo siguiente:

- Contenido de H₂O = 5.92 lb de H₂O/MMPCS de GN.
- Contenido de CO₂ = 50 ppm.
- Contenido de H₂S = 4 ppm.
- Contenido de Hg = 0.01 µg de Hg/m³ de GN. (Agencia Nacional de Hidrocarburos, 2021, 12:19)

2.1.3.3. Proceso de licuefacción

La planta de licuefacción se basa en un ciclo de refrigeración, el cual implica un refrigerante (en ciclo cerrado o ciclo abierto), que elimina el contenido de calor de una corriente de gas.

Según López Anadón (2012), el proceso del gas natural a fase líquida, está sujeto a un enfriamiento, hasta una temperatura de $-161\text{ }^{\circ}\text{C}$, valor de temperatura en el cual el componente principal; metano se convierte en líquido. Este proceso de licuefacción puede relacionarse a la refrigeración común, donde se comprimen los gases refrigerantes, como propano, etano/etileno, metano y nitrógeno, produciendo líquidos fríos, que posteriormente se evaporan conforme se desarrolla el intercambio de calor con la corriente de gas.

En una planta de licuefacción existen varios procedimientos de acondicionamiento del gas a tratar. Los pasos principales, comenzando con la alimentación de gas natural, incluyen la eliminación de CO_2 , la deshidratación y la eliminación de mercurio, el enfriamiento inicial, la licuefacción (incluido el fraccionamiento de hidrocarburos más pesados), el rechazo de nitrógeno y, finalmente, el almacenamiento del producto GNL. (Woodward & Pitblado, 2010, pág. 2)

De este modo, el gas natural se enfría hasta el punto en que se convierte en líquido. “Hay varias tecnologías de licuefacción usadas industrialmente: Las más usadas son la de Air Products y la de ConocoPhillips Optimized Cascade. La primera se utiliza en el 80% de los casos, mientras que la segunda en el 12%” (López Anadón, 2012, pág. 85-86).

2.1.3.4. Almacenamiento del GNL

“El GNL se almacena en tanques de doble coraza a presión atmosférica, a -161°C , donde la calota interior en contacto con el GNL está fabricada con aceros especiales con un 9% de acero de níquel concreto pretensado, para evitar problemas de roturas por bajas temperaturas; en cambio la calota exterior (concha exterior) está hecha de hormigón pretensado y acero al carbono. Entre la concha interior y la concha exterior hay un revestimiento aislante y otro revestimiento en la parte inferior de espuma de vidrio” (JAES Company, 2022, 6:50).

Figura 3. Tanque de almacenamiento de GNL

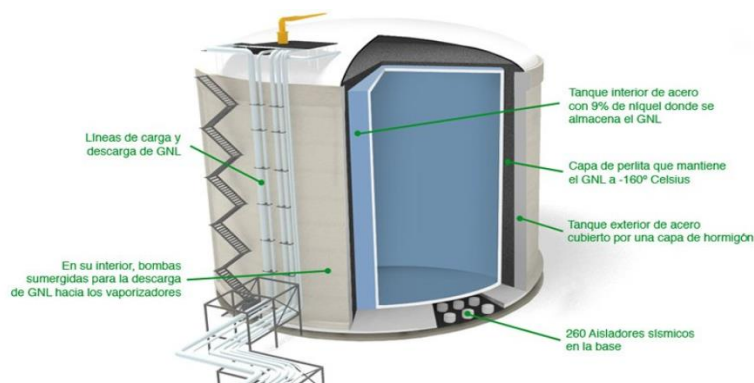


Fuente: Agencia Nacional de Hidrocarburos (2021)

El fondo de hormigón se atraviesa con una serie de tubos que contiene resistencias de calefacción para evitar la congelación del terreno. Todas las conexiones de entrada y salida del líquido y del gas al tanque se hacen a través de la cúpula como medidas de seguridad para evitar fugas de GNL por las conexiones. (López Anadón, 2012, pág. 86)

Al estar almacenado el GNL en condiciones de equilibrio, tanto las aportaciones de energía (calor entrante por las paredes) como las disminuciones de presión, dan lugar a la vaporización de un pequeño porcentaje de GNL. Este gas vaporizado (boil-off) se comprime mediante compresores criogénicos y se bombea nuevamente al tanque donde se condensa. Las dimensiones de un tanque pueden llegar a 80/90 metros de diámetro exterior y 45/50 metros de altura al centro de la cúpula. (López Anadón, 2012, pág. 86)

Figura 4. Estructura del tanque de almacenamiento



Fuente: Transporte Internacional: Exportación de Gas Natural Licuado (2014)

2.1.3.5. Transporte del GNL

El GNL para el transporte consta de un sistema especial, el cual mantiene una temperatura de -161°C . Dentro de este sistema, se encuentran 2 principales modos de transporte, que son barcos y camiones cisternas criogénicas.

a) Transporte por cisterna

En cuanto al transporte por camión, cuando los consumidores se encuentran en zonas costeras, el GNL se puede entregar por barco. Pero cuando están ubicados tierra adentro, el único método viable de transporte es mediante equipos móviles, como remolques de carretera..., contenedores criogénicos intermodales ISO o unidades pequeñas de entrega (Mokhatab *et al.*, 2014).

Figura 5. Cisterna criogénica de transporte de GNL



Fuente: Agencia Nacional de Hidrocarburos (2018)

La cisterna criogénica consta de un tanque que dispone de doble pared, una pared exterior de acero al carbono y la pared interior de acero inoxidable, para garantizar un buen aislamiento de GNL, dificultando la difusión/conducción de calor de la pared exterior a la pared interior (GNL está a temperatura criogénica entre -160°C y -165°C , con presión entre 0 y 7 bar(g)).

En nuestro medio, según la ANH en, “el párrafo II) y IV) del artículo 2 del Reglamento, señalan que el transporte terrestre de GNL podrá efectuarse en camiones, o semirremolques mediante Cisternas de GNL o Contenedores Portátiles de GNL” (2016, pág. 1).

Figura 6. Transporte de GNL en Bolivia por medio de cisternas criogénicas



Fuente: Agencia Nacional de Hidrocarburos (2016a)

El anexo 1, de información técnica de cisterna de GNL, refiere que la cisterna está conformada por una parte vehicular; que conforma ruedas, ejes, frenos, luces, etc.) y otra parte referente al tanque criogénico con equipos y valvulería de carga/descarga. Dicha cisterna vacía con un peso aproximado de 16 toneladas y de 45 toneladas.

Según Lugones (2021), para transferir el GNL del tanque de almacenamiento al muelle de carga de cisterna, se utilizan bombas criogénicas centrífugas (como islas de carga) ubicadas en el punto de custodia.

2.1.4. Estación satelital de regasificación (ESR)

La Estación Satelital de Regasificación es una instalación de almacenamiento y regasificación del Gas Natural Licuado (GNL), para suministrar gas natural a un sistema de distribución domiciliario y a una estación de servicio de GNV (Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH, 2016b, párr. 2).

“La Estación Satelital de Regasificación, está conformada por un conjunto de instalaciones; almacenamiento, regasificación, regulación, medición y odorización, con el fin de suministrar Gas Natural a consumos locales que están situados en zonas no abastecidas por la forma convencional (gasoductos), debido a largas distancias, zona geográfica dificultosa y en otros factores” (Tec-Energy, 2021, 36:57).

- Tanque de almacenaje de GNL
- Bombas de alta presión
- Bombas centrífugas

- Regasificadores ambientales de alta presión y de baja presión
- Regasificadores Forzados
 - Intercambiador de calor
 - Caldera
- Puente de Regulación y Medición (PRM)
- Puente de Medición para GNV
- Puente de Carga de GNC
- Sistema de Odorización

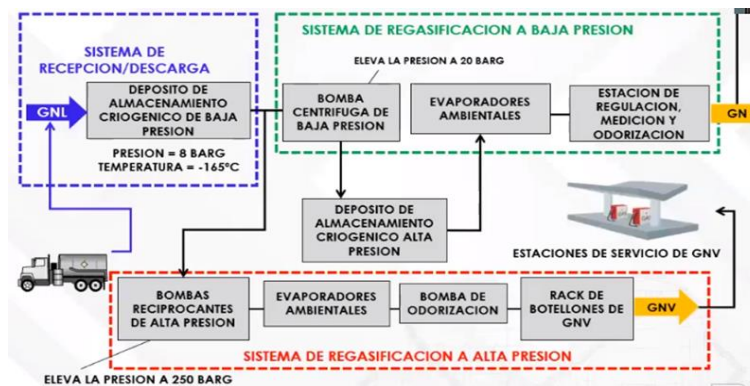
Figura 7. Estación Satelital de Regasificación



Fuente: Agencia Nacional de Hidrocarburos (2016b)

Según la **Figura 8**, la estructura de una ESR, “puede presentar dos líneas, una de línea de baja presión responsable de alimentar las líneas de redes de gas natural y otra de alta presión que se encarga de alimentar las estaciones de servicio de GNV (ANH, 2021, 25:45)”

Figura 8. Descripción proceso estación de regasificación



Fuente: Agencia Nacional de Hidrocarburos (2021, 24:30)

2.1.4.1. Instalaciones de una Estación Satelital de Regasificación

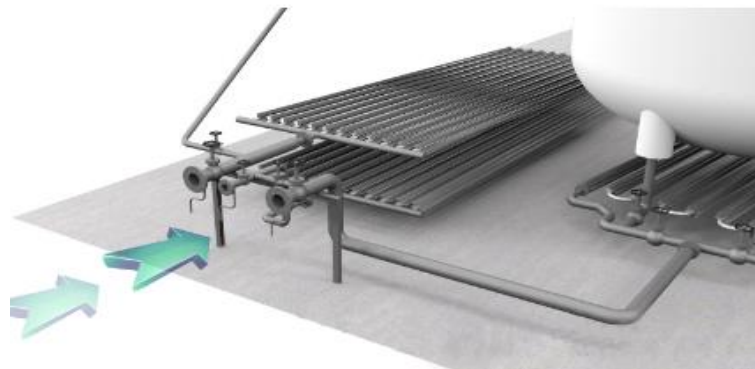
Una ESR, básicamente en instalaciones es conformada por lo siguiente:

a) **Trasvase del GNL**

La primera actividad en el proceso de regasificación de GNL, refiere al trasvase (descarga) desde la cisterna al depósito criogénico de GNL, para lo cual es recomendable el uso de una manguera flexible de 2 pulgadas, aplicando bombeo por medio de una bomba criogénica centrífuga sumergida, que es integrada en la cisterna (YPFB, 2015).

El trasvase implica la presurización de la cisterna, mediante la evaporación parcial del propio líquido de la cisterna con la vaporización atmosférica de descarga (PPR).

Figura 9. Estación de descarga de GNL



Fuente: Novagas Criogénia (2019)

b) **Almacenamiento de gas natural licuado**

El almacenamiento de GNL en la ESR, implica un depósito horizontal, de doble envoltente metálica, una interior de acero aleado y una capa exterior de acero al carbono, con un espacio intermedio relleno de perlita aislada al vacío.

El depósito interior se consiste en acero inoxidable, capaz de resistir temperaturas criogénicas. El depósito exterior, solamente tiene la función de proteger el depósito interior. Entre los dos depósitos, existe una capa de material aislante para reducir la transferencia de calor en lo más mínimo hacia el interior del depósito para evitar el calentamiento de GNL, reduciendo de esta manera la regasificación de GNL dentro del depósito llamado generación de boíl off.

Figura 10. Almacenamiento de GNL en ESR



Fuente: La Opinión (2019)

c) Regasificación del GNL

Una vez almacenado el GNL en los tanques, se puede proceder a la regasificación en plantas que vaporizan el gas licuado. Este tratamiento es muy delicado y se puede realizar con diferentes tecnologías que se distinguen según la temperatura de operación, es decir, procesos a temperatura ambiente y procesos a temperatura por encima de dicha temperatura ambiente. En función a las condiciones climatológicas de cada locación, la regasificación puede ser:

- Regasificación ambiental (Regasificadores ambientales)
- Regasificación mixta, ambiental – forzada (regasificador ambiental - intercambiador de calor).

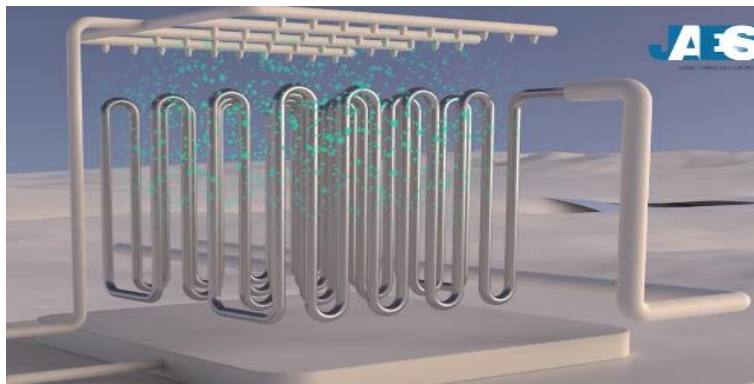
Los regasificadores ambientales consisten en tubos aleteados de aluminio, los mismos tienen la función de regasificar GNL a gas natural, gracias a su estructura y material. Sin embargo, algunas poblaciones contempladas, en ciertos días del año los regasificadores ambientales no puedan trabajar de manera eficiente, debido a las bajas temperaturas ambientales, por tanto, las ESR cuentan con un sistema de regasificación forzada para la regasificación de GNL en estas locaciones (YPFB, 2015).

Para el proceso a temperatura ambiente se utiliza un vaporizador de agua de mar, dentro de este vaporizador hay haces de tubos verticales a través de los cuales fluye GNL con un flujo que va desde abajo hacia arriba, están nichos de aleación de aluminio y recubiertos con una aleación de zinc para prevenir los fenómenos de corrosión inducidos por la sal marina. Es decir, sobre estos tubos se deja caer agua marina a temperatura ambiente y de esta manera

se permite la vaporización del GNL, esto se puede observar a continuación en la **Figura 11**. Posteriormente el agua de mar se recoge por la parte inferior para ser devuelta al fuente a una temperatura de 4 y 5°C (Company JAES, 2022).

Prestando especial atención a la contención de sustancias nocivas para el medio ambiente. Es un método muy utilizado en Europa que al no utilizar una fuente de calor para calentar el GNL, pues permite la reducción de emisiones de CO₂ a la atmosfera. Para el caso de un proceso superficie, a la temperatura ambiente, se utiliza un vaporizador de llama sumergida.

Figura 11. Vaporizador a ambiente con chorro de agua de mar



Fuente: Company JAES (2022)

Figura 12. Vaporizador forzado mixto



Fuente: Company JAES (2022)

En esta se tiene un quemador colocado en un baño de agua, la cual constituye un fluido que calentara el GNL, para la combustión del quemador se utiliza una pequeña cantidad de gas natural importado, generalmente un 1.5% que es previamente calentado. Los gases calientes producidos son conducidos a través de un sistema de distribución dentro del baño de agua

caliente, el cual es atravesado por un as de tubos que transporta el GNL y que se vaporiza dentro del propio gas. El gas vaporizado se envía a la etapa de compresión y almacenamiento en tanques de almacenamientos para luego ser inyectado a la red de transporte y distribución, como se muestra a continuación en la siguiente figura.

d) Intercambiador de calor

Figura 13. Intercambiador de calor para recalentar el gas natural



Fuente: AproVis.Dimensions (2013)

El gas vaporizado por el sistema de regasificación o vaporización ambiental sale a una temperatura de 5°C a 10°C por debajo de la temperatura ambiente. Por lo que el intercambiador de calor hace que la temperatura de emisión a la salida del vaporizador no esté por debajo de la temperatura de disparo de seguridad de baja temperatura.

e) Válvula

La válvula de corte con accionamiento neumático, situada aguas abajo del recalentador de gas natural, con cierre automático, cuando la temperatura cuando la temperatura del gas natural sea inferior a -10 °C.

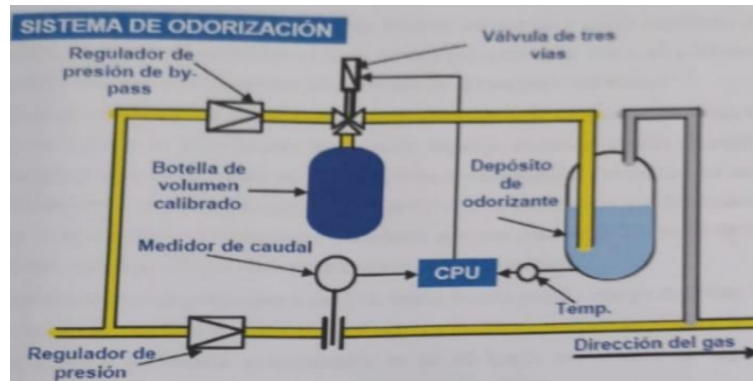
f) Bombas criogénicas

El modelo de bomba criogénica adaptada para trabajar a altas presiones que se requiere para suministrar el gas es de tipo pistón. Estas bombas situadas a pie de cada uno de los depósitos tendrían la función de transportar GNL, a través de los regasificadores para su posterior envío a consumo, ya como gas natural

g) Tanque odorizador

Para la inyección de odorante a las redes de distribución de gas natural, existen dos tipos de equipos comúnmente usados, las que se recomiendan son: El odorizador de arrastre que será empleado en la línea baja y odorizador a inyección de línea alta.

Figura 14. Sistema de odorización en ESR



Fuente: Peñas (2014)

h) Red primaria

Sistema de distribución de gas natural que opera a presiones mayores a 4 bar hasta 12 bar, compuesta por tuberías de acero, válvulas, accesorios y cámaras de válvulas, que conforman la matriz del sistema de distribución. Rabaja a alta presión (20 bar) y se usan tuberías de acero categoría industrial. (Agencia Nacional de Hidrocarburos, 2015)

i) Red secundaria

Sistema de distribución de gas natural que opera a presiones mayores a 0.4 bar hasta 4 bar, compuestas por tuberías, acometidas, válvulas, accesorios y cámaras de válvulas aguas debajo de la brida de la estación distrital de regulación, en categoría comercial y se usan tubería de polietileno (Agencia Nacional de Hidrocarburos, 2015)

2.1.5. Marco Normativo

2.1.5.1. Decreto Supremo N° 2159, 23 de octubre de 2014

Reglamento técnico para el diseño, construcción, operación, mantenimiento y abandono de plantas de gas natural licuado GNL y estaciones de regasificación.

2.1.5.2. Estudio de ingeniería conceptual de ampliación del sistema de gas virtual (2019), por Gerencia Nacional de Redes de Gas y Ductos - Dirección de gas virtual.

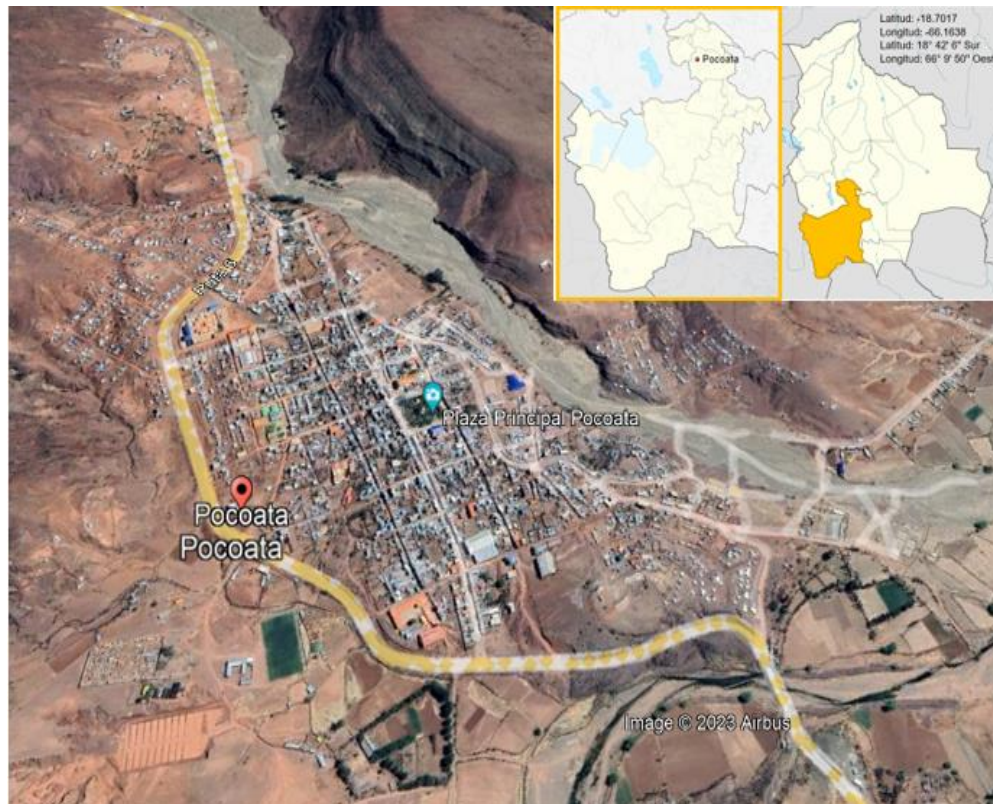
Que tiene por objetivo, determinar de manera preliminar las poblaciones beneficiadas, la tecnología a emplearse, el costo y el alcance del proyecto de Ampliación del Sistema de Gas Virtual, esto con el propósito de optimizar el uso de la capacidad disponible de producción de la Planta de GNL.

2.2. MARCO CONTEXTUAL

2.2.1. Ubicación

La propuesta de implementación de la Estación Satelital de Regasificación sugiere como locación a la localidad de Pocoata, situada en la provincia Chayanta del departamento de Potosí. Dicha locación se encuentra en una zona de transición de las tierras altas de Oruro y la Sierra de Potosí.

Figura 15. Ubicación de la localidad de Pocoata



Fuente: Guía municipal – G.A.M de Pocoata (2022, pág. 5)

2.2.2. Vías de acceso y colindancia de la localidad.

La localidad de Pocoata es una travesía a la diagonal Jaime Mendoza, ruta principal que une las ciudades capitales de Oruro y Sucre. Situándose a 129 y 159 km respectivamente de cada ciudad y a 106 km de la ciudad de Potosí.

2.2.2.1. Municipios que limitan con Pocoata

Pocoata limita al Norte con San Pedro de Buena Vista, al Sur con Ocuri, al Oeste con Chuquiuta y al Este con Colquechaca. Estas limitaciones se muestran a continuación en la siguiente **Figura. 16**.

Figura 16. Límite geográfico y colindancia de la localidad de Pocoata



Fuente: Google maps (2023)

2.2.3. Consideraciones de la localidad

La superficie de la localidad de Pocoata es de 1109 km², a una altitud de 3355 msnm, con diversos pisos ecológicos, entre valles, cabeceras de valle y puna, presentando un clima continental, con variaciones considerables entre invierno y verano, con registros de temperatura media anual entre aproximadamente 19 y 22 °C. (G.A.M de Pocoata, 2012)

La precipitación media anual es de unos 450 mm (litro de agua por metro), dicha precipitación corresponde en su mayor parte a los meses de verano y parte de primavera. Por otra parte, su temporada seca presenta una precipitación mensual máxima de 20 mm, la cual se extiende de abril a octubre.

2.2.3.1. Población y viviendas

La población pocoateña refiere a 1.844 habitantes y 960 viviendas según el censo realizado por el instituto nacional de estadística (INE, 2012), conformado por 844 hombres y 1000 mujeres. De acuerdo a proyecciones para el año 2023, la población estimada concentraría

más de 3000 habitantes detallados en la **Tabla 2**. El censo del año 2012, también contempla otros aspectos fundamentales que nos muestran un contexto resumido de la localidad, que son los servicios básicos se detalla a continuación:

Tabla 2. Resumen de viviendas

Viviendas	Total
Número de viviendas particulares	960
Número de viviendas colectivas	15
Viviendas ocupadas con personas presentes	100
Total	960

Fuente: INE (2012)

Según resultados efectuados por personal de la gobernación de POCOATA, en el mes de febrero del 2023, que realizaron un estudio poblacional regional a vistas de estimar el crecimiento poblacional y viviendas, legalmente establecidas y otras ilegales producto del continuo avasallamiento, se estimó lo siguiente.

Tabla 3. Número de viviendas a 2023

Viviendas	Total
Número de viviendas legalmente establecidas	1990
Número de viviendas ilegales	650
Total	2640

Fuente: Elaboración propia (Entrevista, 2023)

2.2.3.2. Suministro de servicios básicos

A continuación, se detalla la disponibilidad de servicios básicos de la localidad:

Tabla 4. Disponibilidad de energía eléctrica

Disponibilidad de energía eléctrica	Total
Tiene	913
No tiene	47
Total	913

Fuente: INE (2012)

Tabla 5. Fuentes de energía para cocinas de la localidad

Combustible o energía más utilizado para cocinar	Total
Gas en garrafa	850
Gas domiciliario (por cañería)	0
Leña	80
Otros (electricidad, energía, guano, bosta o taquía y otro)	40
No cocina	26
Total	960

Fuente: INE (2012)

Tabla 6. Suministro y servicio de agua

Procedencia del agua que utilizan en la vivienda	Total
Cañería de red	830
Pileta pública	830
Carro repartidor (aguatero)	12
Pozo o noria	18
Lluvia, río, vertiente, acequia	14
Otro (lago, laguna, curichi)	18
Total	960

Fuente: INE (2012)

a) Servicio de Gas natural

El servicio de gas natural en la localidad desde los resultados presentados por el censo del año 2012 por el INE, hasta la actualidad 2023, no cambiaron, debido a que el suministro de gas se realiza por G.L.P, mediante la dotación de cantonales de servicio.

Actualmente existen 3 cantonales provenientes de 3 distintas regiones:

- Ciudad de Sucre (Distribuidora Berrios),
- Ciudad de Potosí (Distribuidora Pahoya) y
- Localidad de Llallagua (Sin identificar).

b) Suministro de gas natural por G.L.P

Actualmente el suministro de gas por G.L.P es distribuido por las cantonales una vez a la semana por parte de la distribuidora Berrios con una estimación promedio de por mes de 1200

garrafas por mes, mientras que la distribuidora Pahoya provee 425 garrafas por mes. La tercera cantonal no fue identificada en cuanto al suministro de G.L.P engarrafado.

Figura 17. Distribuidora cantonal de distribución de G.L.P



Fuente: Elaboración propia (2023)

2.2.3.3. Economía

La situación económica actual de la localidad se basa en la agricultura, ganadería, caza, silvicultura e industria manufacturera: Cultivo de hortalizas, haba, durazno, manzana, tuna, maíz, entre otras, como también cría de ganado camélido; ganado vacuno, artesanía (hilados textiles).

Según el Lic. Nestor Molina, concejal municipal de Pocoata, indica y resalta la importancia de la localidad dentro del municipio, “Es zona netamente agrícola, ya que en este sector produce toda clase de hortalizas, frutas y legumbres, y esto sustentan a las otras poblaciones, como Siglo XX, Catavi, Ceneguillas, Miraflores, Uncia, Macha, Colquechaca y la Capital Potosina, inclusive se llevan dichos productos hasta la ciudad de Cochabamba” (2023, 6:30).

2.2.3.4. Prospectos de futuras implementaciones industriales

Según el encargado de obras, Ing. Carmen Reynaga, se tiene proyectado potenciales prospectos en miras de la presente gestión a cabeza del alcalde Bladimir Tumiri, de esta manera fortalecer todo el municipio en general con obras de carácter industrial para beneficio de la Población. Estos prospectos contemplan a una: Curtiembre, Tratamiento de alimento balanceado y la Industria Manufacturera.

2.2.4. Diagnostico

La localidad de Pocoata, está constituido actualmente aproximadamente por más de 3.518 habitantes y 1.973 viviendas, según proyecciones estimadas a 2023, su sociedad en su mayoría se dedicada al comercio, agricultura y ganadería. Sus actividades centrales constituyen un gran aforo de pobladores de distintas comunidades aledañas que recurren a la locación para el abastecimiento de ciertos insumos como abarrotes, bebidas, material de construcción y sobre todo gas natural licuado que es más requerido en periodos de lluvia.

Pocoata, como población consta de un centro hospitalario, de una facultad de enfermería, una terminal de buses y minibuses con servicio departamental y provincial, hoteles, centro de abasto, y 2 grandes panaderías.

Actualmente, desde el último censo, estos establecimientos, como las demás viviendas ya cuentan con casi todos los servicios básicos (agua, luz y alcantarillado) a excepción del servicio de gas natural. Dicho recurso es obtenido por la población, mediante compra de G.L.P engarrado, que en mayor parte del año es altamente demandado, en ocasiones quedando ciertas viviendas relegadas a este servicio por su alta demanda.

De la misma manera el parque automotor en estos últimos años, vio la necesidad y el aprovechamiento de este recurso, con la conversión de sus moviidades a gas, pero con adaptaciones caseras que son muy peligrosas.

Todos estos factores como la ubicación de la localidad sobre la carretera principal diagonal Jaime Mendoza, hacen que su crecimiento sea continuo, prevaleciendo aún más en comparación de las otras poblaciones de la provincia Chayanta. Por ende, viéndose la necesidad de incorporar el servicio de gas natural en dicha localidad.

2.3. INFORMACIÓN Y DATOS OBTENIDOS

Para estimar el consumo y demanda de gas natural a proyección de 10 años, consecuentemente determinar el volumen requerido y seleccionar la configuración de la Estación Satelital de Regasificación, se consideran de inicio los resultados de población y vivienda del censo 2012, como también proyecciones, a cargo del Instituto Nacional de Estadística (INE), del cual se resalta una tasa de crecimiento intercensal del 7.4 %.

2.3.1. Metodología de identificación y selección de la población

2.3.1.1. Número de viviendas

Según resultados del Censo 2012 y estimación de viviendas proyectadas a 10 años, se tiene:

Tabla 7. Resumen del número de viviendas de la población de Pocoata

Población	N° de viviendas (Año: 2012)	N° de viviendas proyectadas (Año: 2033)
Pocoata	960	2.895

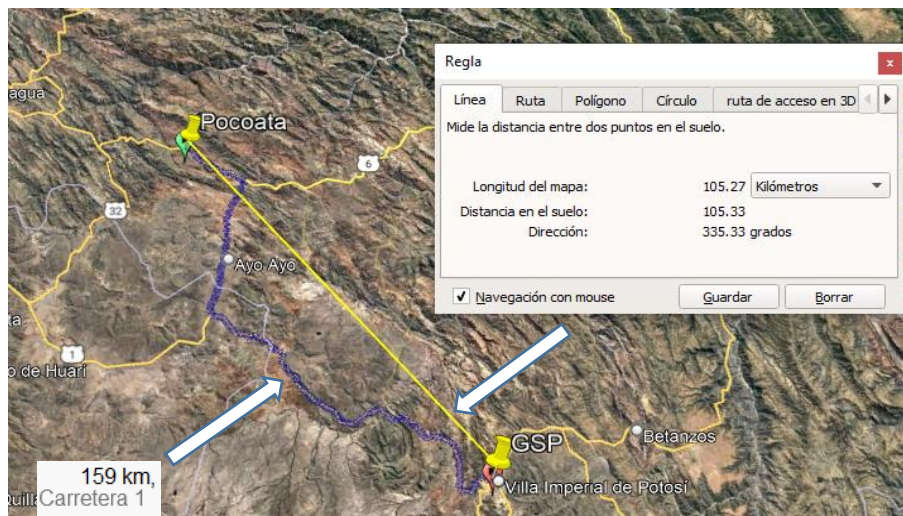
Nota: El dato de viviendas proyectadas, corresponde al punto 2.3.2. Tasa de crecimiento intercensal y proyección. Fuente: Adoptada de Ficha Resumen, Población Pocoata - INE, (2012)

2.3.1.2. Localización

Acorde al estudio de ingeniería conceptual en ampliación del sistema de gas virtual, por la Gerencia Nacional de Redes de Gas y Ductos – Dirección de Gas Virtual, la localización:

- a) **Se encuentra en áreas donde el gasoducto de transporte más cercano está a una distancia mayor a 30 km.**

Figura 18. Distancia: Gasoducto Sucre - Potosí (GSP) a Pocoata.

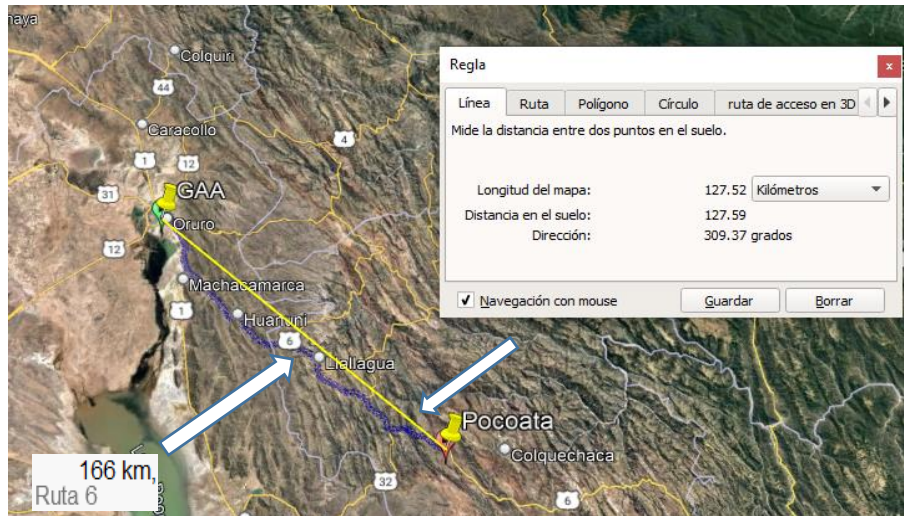


Fuente: Adaptada de Google Earth (2023)

Según la **Figura 18**, se identifica 159 km de distancia por carretera desde el Gasoducto Sucre-Potosí (GSP) hasta la población de Pocoata, y mediante una estimación lineal sugiere 105 km.

A continuación, la siguiente figura identifica una segunda alternativa de distancia desde la población de Pocoata a otro gasoducto.

Figura 19. Distancia: Gasoducto al Altiplano (GAA) a Pocoata



Fuente: Adaptada de Google Earth (2023)

La **Figura 19**, identifica 166 km de distancia por carretera desde el Gasoducto al Altiplano (GAA) hasta la población de Pocoata, y mediante una estimación lineal sugiere 127 km.

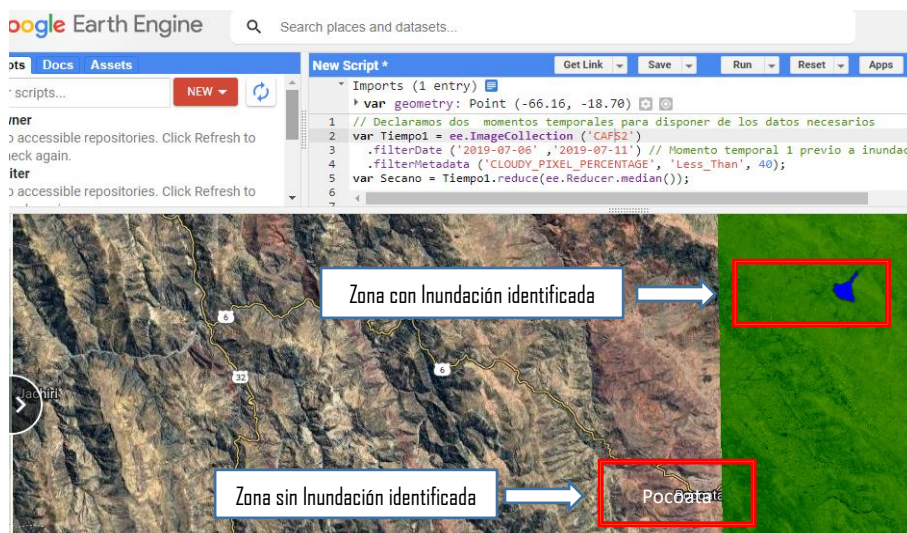
b) Se encuentra en una zona no inundable

Para este punto, se hizo uso de la herramienta de Google Earth Engine, que permite visualizar datos o imágenes, mediante capas de datos cambios producidos en función del tiempo por diversos factores, en este caso se hizo uso de scripts de hidrología en análisis de inundaciones con datos ópticos. La **Figura 20**, identifica como zona no inundable a la población de Pocoata.

Complementario a este punto, también se hizo uso de datos del Reporte Nacional de Afectación por Lluvias, que refiere a declaratoria de situación de emergencia y/o desastre, que, si bien registra lluvias fuertes como evento, no refiere ningún valor numérico de familias afectadas, damnificadas o habitantes fallecidos o desaparecidos. **Ver Anexo "F"**.



Figura 20. Identificación de inundación mediante datos ópticos Sentinel



Fuente: Adaptado de Google Earth Engine (2023)

- c) **Se encuentran ubicadas en un lugar estratégico (fronteras, poblaciones que se encuentran en carreteras principales que requieren estaciones de servicio de GNV)**

La locación se encuentra sobre la diagonal Jaime Mendoza, carretera principal que une directamente las ciudades de Sucre y Oruro. Esta carretera es altamente transitada por el transporte liviano y pesado, con viajes hasta la ciudad de La Paz.

2.3.1.3. Vías de acceso

La **Tabla 8**, detalla las principales características de la carretera principal adyacente al pueblo de Pocoata.

Tabla 8. Principales características de la vía de acceso

Carretera	Tipo de Carretera	Transitabilidad
Diagonal Jaime Mendoza	Asfaltada	Todo el año

Fuente: Elaboración propia

2.3.1.4. Servicios básicos

La **Tabla 9**, refiere a los servicios de agua y alcantarillado. Los otros servicios, fueron identificados en el marco contextual.

Tabla 9. Servicios por red de tubería

Servicio básico	Cuenta con el servicio
Sistema de red agua potable	Si
Sistema de alcantarillado	Si

Fuente: Elaboración propia

2.3.2. Proyección de la demanda de gas natural y capacidad

2.3.2.1. Tasa de crecimiento intercensal y proyección

La tasa de Crecimiento de Intercensal (TC), es la razón a la cual crece en promedio anualmente una población en vivienda o habitad, identificadas entre dos censos. Para el presente caso, se toman en cuenta, censos de los años 2001 (1029 habitantes y 436 viviendas) y 2012(1844 habitantes y 960 viviendas). Aplicando la ecuación (8).

Tabla 10. Proyección de población y vivienda

Año	Población	N° de viviendas
2012	1.844	9.60
2013	1.996	1.031
2014	2.148	1.144
2015	2.031	1.236
2016	2.453	1.328
2017	2.605	1.421
2018	2.757	1.513
2019	2.909	1.605
2020	3.061	1.697
2021	3.214	1.789
2022	3.366	1.881
2023	3.518	1.973
2024	3.670	2.065
2025	3.822	2.158
2026	3.975	2.250
2027	4.127	2.342
2028	4.279	2.434
2029	4.431	2.526
2030	4.583	2.618
2031	4.735	2.710
2032	4.888	2.802
2033	5.040	2.895

Fuente: Instituto Nacional de Estadística (2012)

La tasa de crecimiento intercensal, también puede ser estimada de la siguiente manera:

$$TC = \sqrt[n]{\frac{VIV_{2012}}{VIV_{2001}}} - 1 \quad (8)$$

Donde:

n: Es el número de periodos comprendidos entre los años 2012 y 2001.

VIV_i: Es el número de viviendas del año i (Sea 2012 o 2001, para el presente caso).

TC: Es la tasa de crecimiento intercensal.

$$TC = \sqrt[11]{\frac{960}{436}} - 1 = 0,074 * 100 = 7,4 \%$$

Los datos de vivienda de los años 2012 y 2001, fueron recabados de la página del Instituto Nacional de Estadística y los datos de proyección poblacional de la misma manera, hasta el año 2022, posterior a ello se hizo una estimación, misma anexada al presente documento.

2.3.2.2. Estimación de la capacidad

a) Consumo de demanda domestica

Aplicando conceptos del punto 2.1.1.2, a), ecuación (3):

Tabla 11. Consumo Categoría Comercial

Cobertura del aparato		Coeficiente de simultaneidad		Consumos (m ³ /h)	
Cocina A ₁	Calentador de agua A ₂	Cocina S ₁	Calentador de agua S ₂	Cocina	Agua caliente
1	20%	15%	30%	0,972	1,288

Fuente: YPFB-GNRGD-Dirección de Redes de Gas

Aplicando la ecuación (3), recordar que el número de usuarios (N) proyectado deberá ser en un tiempo mínimo de 10 años (al 2023) utilizando datos estadísticos de la **Tabla 7**.

$$Q_{DOM} = \left(1 * 0,972 \frac{m^3}{h} * 0,15 + 0,20 * 1,288 \frac{m^3}{h} * 0,30 \right) * 2.895 = 645,82 \frac{m^3}{h}$$

b) Consumo de demanda comercial

Aplicando conceptos del punto 2.1.1.2., a), ecuación (4):

$$Q_{COM} = 645,82 \frac{m^3}{h} * 0,20 = 129,16 \frac{m^3}{h}$$

c) Consumo de demanda industrial

Aplicando conceptos del punto 2.1.1.2., a), ecuación (5):

$$Q_{IND} = 645,82 \frac{m^3}{h} * 0.30 = 193,75 \frac{m^3}{h}$$

d) Consumo de demanda GNV

El parque automotor contemplaría gran parte del municipio de Pocoata, y tráficos vehiculares de las poblaciones aledañas: Macha, Huancarani, Jarana, Tirina, Esquena, Corocti y otros que corresponden al tráfico de viajeros, o visitantes en festividades.

Teniendo una demanda vehicular por día de 500 movilidades con GNV. Por tanto, la demanda de gas vehicular se estima en $175,70 \frac{m^3}{h}$ y $4216,87 \frac{m^3}{día}$; contemplando de esta manera el parque automotor proyectado.

Por tanto, la demanda total es estimada a partir de las ecuaciones (1) y (2).

$$Q_T = Q_{DOM} + Q_{COM} + Q_{IND} + Q_{GNV}$$

$$Q_T = (645,82 + 129,16 + 193,75 + 175,70) \frac{m^3}{h} = 1.144,42 \frac{m^3}{h}$$

Y por día el consumo estimado es:

$$Q_T = 1144.42 \frac{m^3}{h} * \frac{24 h}{día} = 27.466,20 \frac{m^3}{día}$$

e) Cálculo de volumen de m³ gaseoso m³ de GNL.

$$27466.20 \frac{m^3}{día} * \frac{1 m^3 GNL}{600 m^3 GN} = 45,78 \frac{m^3}{día} GNL$$

f) Cálculo de volumen mínimo requerido

Aplicando conceptos del punto 2.1.1.3., a), ecuación (6):

$$V_m = 45.78 \frac{m^3}{día} * 3 días = 137.33 m^3 = 137 m^3$$

2.3.3. Configuración y dimensionamiento de la Capacidad de la ESR

Para realizar el dimensionamiento del almacenaje de GNL, es necesario contemplar con los tiempos de viaje (ida y retorno), de la siguiente manera. Para datos de la trayectoria ir al **punto 2.3.4.2**, tomando en cuenta las siguientes consideraciones:

Complementar los demás segmentos de la tabla conforme a las siguientes consideraciones:

- El tiempo estimado para el carguío y descarguío de producto es de 2 horas para cada operación.
- Tiempo estimado de viaje a cada localidad, considerando un promedio de velocidad entre 50 y 60 kilómetros por hora.
- Horas de conducción al día por cada tracto camión (16 horas continuas).

Tabla 12. Datos de tiempos de viaje de las cisternas de GNL desde la planta de Río Grande

Población	Distancia (km)	Carga (h)	Viaje ida (h)	N° Descanso	Descanso (h)	Descarga (h)	Total ida	Total Días
Pocoata	691	2	14,02	1	2	2	20,02	1,25

Fuente: Elaboración propia

La **Tabla. 9**, es elaborada según la **Tabla. 12**, que hace un análisis de la ruta más óptima, para el trayecto de las cisternas criogénicas.

A continuación, se muestra un resumen para el dimensionamiento de la ESR.

Tabla 13. Resumen de cálculos para la selección de la ESR

Caudal máximo (m ³ /h)	Demanda GNL 2033 TPD	Autonomía MIN. de consumo – 3 días TN	Tiempo de viaje de ida (días)	Autonomía mínima Alcance 2,5 viajes TN	Tamaño mínimo del tanque GNL TN	Volumen total requerido de GNL m ³	Volumen total asumido m ³	Autonomía total días (días)
1144,42	18,20	54,6	1,25	56,88	77,6	137	160	3,10

Fuente: Elaboración propia

El cálculo de la demanda proyecta al año 2033 se desarrolla de la siguiente manera:

$$27466,20 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} * \frac{1\text{m}^3\text{GNL}}{600\text{m}^3} * \frac{1 \text{ Ton}}{2.232 \text{ m}^3 \text{ GNL}} = 18.20 \text{ TPD}$$

La autonomía mínima de consumo a 3 días, corresponde a la aplicación de la ecuación (6),

$$V_m = 18,20 \frac{\text{Tn}}{\text{día}} * 3 \text{ días} = 54,6 \text{ Toneladas métricas de gas}$$

Para el cálculo de autonomía de alcance de viajes, hacer uso de la ecuación (7),

$$V_m = 18.20 \frac{Tn}{día} * 2,5 * 1,25 \text{ días} = 56,88 \text{ Toneladas métricas de gas}$$

Para el caso del tamaño mínimo del tanque GNL, se considera la capacidad de la cisterna Twislock de 23 Tn:

$$\text{Tamaño mínimo tanque GNL} = 54.6 + 23 = 77.6 \text{ Tn}$$

El volumen mínimo requerido es de 137 m³ de GNL, según la estimación de configuraciones existentes, el volumen mínimo es 80 m³ de capacidad por tanque de almacenaje en una ESR, por tanto, se estima al inmediato superior de 137 m³, en este caso 160 m³.

El cálculo de autonomía total es el producto del volumen asumido * 0.46, sobre el consumo diario a la proyección del 2026.

$$\text{Autonomía total días} = \frac{160 * 0.46}{\frac{1510.6 * 24}{600 * 2.233}} = 3.10 \text{ días}$$

2.3.4. Selección de la configuración adecuada a la ESR

La configuración de las ESR tiene la siguiente nomenclatura, según la ingeniería conceptual por la Gerencia Nacional de Redes de Gas y Ductos - Dirección de gas virtual:

- a) A1-1-1000
- b) A2-1-1000
- c) B1-2000
- d) B1-1000
- e) B2-1000
- f) C1-1000

Donde:

A1, A2, B1, B2, C1: Configuración según la clasificación de los ESR, 1000,2000: Capacidad mínima de Puente, Regulación y Medición en Sm³/h

- **Configuración A1-1-1000:** 1 Tanque de 80 m³ a 7 bar y 1 tanque de 20 m³ a 20 bar, con dos regasificadores ambientales de 1.000 Sm³/h.
- **Configuración A2-1-1000:** 1 Tanque de 80 m³ a 7 bar y 1 tanque de 20 m³ a 20 bar, con un regasificador ambiental de 1.000 Sm³/h y un regasificador forzado de 1.000 Sm³/h.

- **Configuración B1-1000:** 1 Tanque de 80 m³ a 7 bar y 1 tanque de 80 m³ a 20 bar, con dos regasificadores ambientales de 1.000 Sm³/h.
- **Configuración B1-2000:** 1 Tanque de 80 m³ a 7 bar y 1 tanque de 80 m³ a 20 bar, con dos regasificadores ambientales de 2.000 Sm³/h.
- **Configuración B2-1000:** 1 tanque de 80 m³ a 7 bar y 1 tanque de 80 m³ a 20 bar, con un regasificador ambiental de 1.000 Sm³/h y un regasificador forzado de 1.000 Sm³/h.
- **Configuración C1-1000:** 2 tanques de 80 m³ a 7 bar y 1 tanque de 80 m³ a 20 bar, con dos regasificadores ambientales de 2.000 Sm³/h.

2.3.4.1. Consideración adicional para la selección de la configuración

Los regasificadores forzados, por la altitud de la población, ya que su ubicación geográfica, influye en la temperatura; presentando más temperaturas bajas durante el año, pues su altitud es próxima a los 3500 msnm.

Pocoata estima una temperatura promedio comprendida entre 19 y 22 °C, y una altitud de 3.355 msnm, hace que, durante gran parte de los años, presente climas fríos, es en este sentido que el regasificador a considerar es ambiental y forzado.

A continuación, en la siguiente tabla se presenta el resumen del dimensionamiento de la ESR, según la configuración seleccionada.

Tabla 14. Resumen del dimensionamiento de la ESR

Conf	GNL			Regasificador forzado	Regasificador ambiental		Bombas para GNL (Sm ³ /h)				PRM (20 bar) incluye odorización (Sm ³ /h)	
	80 m ³ 7 bar	80 m ³ 20 bar	20 m ³ 20 bar		1000 m ³ /h a 20 bar	1000 m ³ /h 20 bar	750 m ³ /h 250 bar	1000	2000	By-Pass AB/BP	AB/BP 1500	1000
✓	1	1	-	1	1	2	1	-	1	2	2	-

Fuente: Elaboración propia en base a YPFB -GNRGD-DGV. (2015, pág. 75-76)

2.3.4.2. Sobre la selección y el proceso

- **Tanque de Almacenaje de GNL de 80 m³ de 20 bar**

Estos tanques son aptos para trabajar hasta una presión de operación de 20 bar, con una capacidad para almacenar 80 m³ y responden a las exigencias de las normas internacionales vigentes.

Cada tanque cuenta con una válvula de seguridad por sobre presión, cuya apertura se producirá a una presión no superior al 20% por encima de normal de trabajo. Los tanques tendrán doble depósito, uno interior y otro exterior, existiendo entre ambas una capa consistente en perlita aislado en vacío o pueden ser otra tecnología que garantice la misma o mayor eficiencia de aislamiento térmico. El depósito interior será de acero inoxidable y será capaz de resistir temperaturas criogénicas (hasta $-194\text{ }^{\circ}\text{C}$). El depósito exterior solamente tendrá la función de proteger el depósito interior y el mismo será de acero al carbono, existiendo entre ambos unas cuñas de soporte para mantener una distancia uniforme entre ambos depósitos.

- **Tanque de 80 m3 de 7 bar**

El funcionamiento de estos tanques es exactamente igual al de los descritos anteriormente, con la principal diferencia de que estos tanques trabajan a una presión de operación de 7 bar.

- **Bomba Criogénicas de Pistón Alta Presión**

El objetivo principal de una bomba criogénica de alta presión de pistón, es conseguir que el GNL adquiera una presión necesaria para la distribución a 250 bar y que pase por los regasificadores.

Para el proceso se requiere dos bombas criogénicas con las mismas características configuradas de forma paralela pero cuyo trabajo será intercalado, es decir una está en stand by y otra está en servicio.

- **Regasificadores Ambientales Baja Presión**

Estos regasificadores trabajarán a una presión de 20 bar, el agente calentador es el aire a temperatura ambiental y el fluido a calentarse es el GNL. Debido a que la temperatura de operación del GNL está por debajo de $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$, existe la tendencia de que los regasificadores se congelen, en realidad a que se forme escarcha (humedad ambiental congelada) alrededor de los tubos aleteados, por lo tanto, se recomienda que la ESR tenga dos regasificadores que estén trabajando en forma secuencial. Es decir, cuando la temperatura del gas natural aguas abajo del regasificador en uso llegue a $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, automáticamente se pondrá en funcionamiento el otro regasificador, pasando el primero al denominado proceso de regeneración del regasificador ambiental.

- **Regasificadores Ambientales Alta Presión**

El funcionamiento de estos regasificadores es exactamente igual al de los descritos anteriormente, con la principal diferencia de que estos regasificadores trabajan a una presión de operación de 250 bar.

- **Tanque de Odorizador**

Se contará con un sistema de odorización, el tanque a ser empleado deberá contar con la capacidad necesaria para brindar el suministro constante de odorizador a la red de distribución, de modo que la recarga sea realizada en periodos mayores a un mes, el sistema de odorizador contiene productos a base de butil mercaptano de 80% y metil-etil sulfuro de 20%. Otorgando un olor característico al gas natural.

- **Intercambiador de Calor y Caldera**

El sistema de regasificación forzada deberá ser analizado en su conjunto en la IBE, de modo que se determine tanto para la línea de baja como para la línea de alta presión, el sistema de intercambio de calor óptimo que aplique a los caudales de trabajo, condiciones de temperatura ambiente y que garantice el menor consumo de energía posible, velando siempre por el mayor ahorro en cuanto a gasto por el energético empleado.

- **Puente de Regulación y Medición, y Odorización**

Una vez regasificado el gas natural a una temperatura entre -10°C y temperatura ambiente, el gas debe ser regulado a la presión requerida para su distribución a consumo (20 bar).

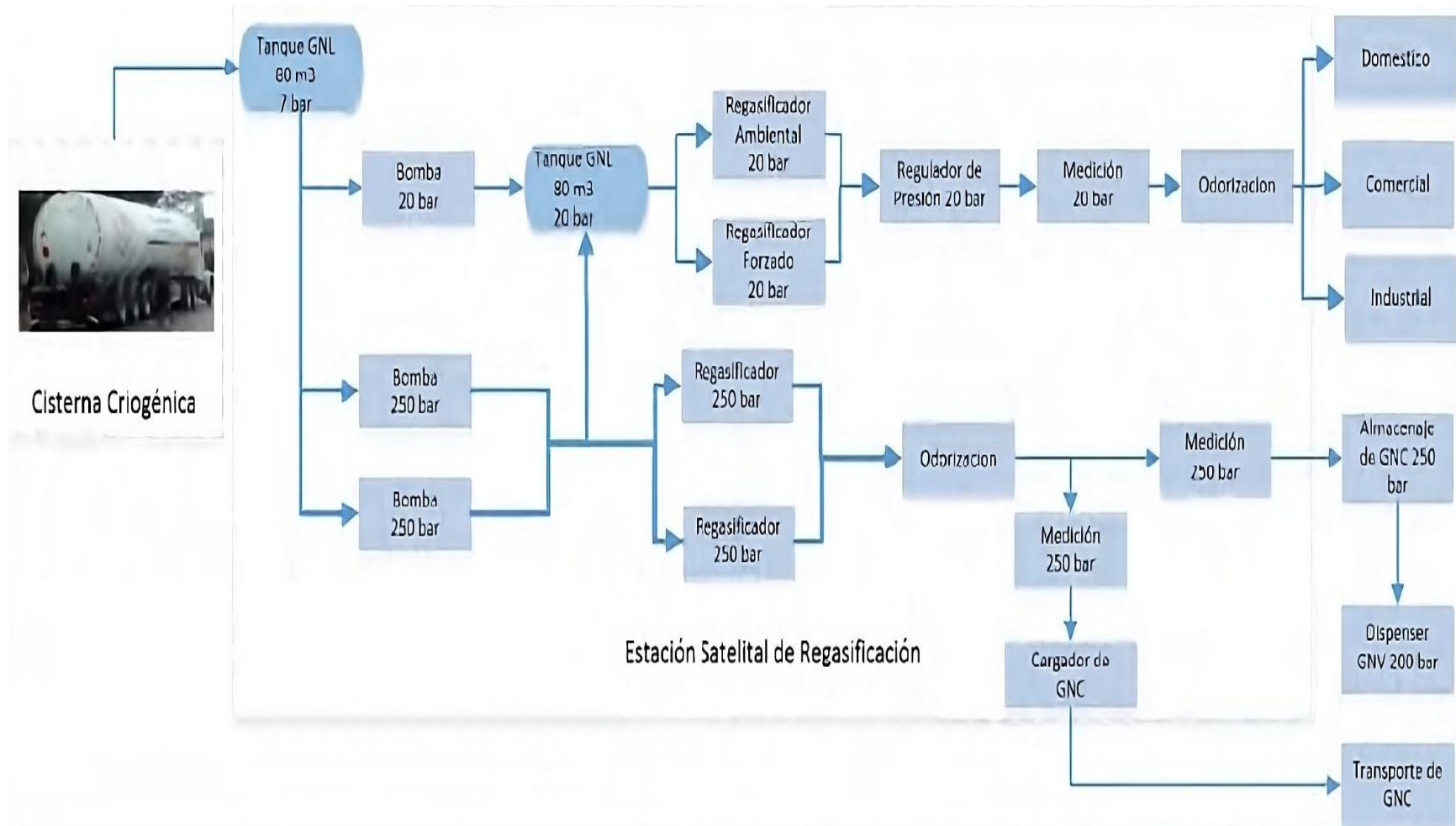
Se dispondrá de una doble línea de regulación para conseguir la redundancia en el proceso. Los reguladores ajustarán a 20 bar. Cada línea de regulación dispone de sus correspondientes válvulas de seccionamiento, seguridad y venteo.

- **Puente de Carga**

Después de pasar el proceso de regasificación y odorización a 250 bar, aguas abajo se preverá una conexión en T, que derivará el flujo en dos direcciones, la primera hacia los racks de botellones de la EESS de GNV y la segunda hacia el puente de carga de GNC.

El esquema, sobre la selección de la configuración se presenta en la siguiente Figura 18:

Figura 21. Configuración de ESR B2 - 1000

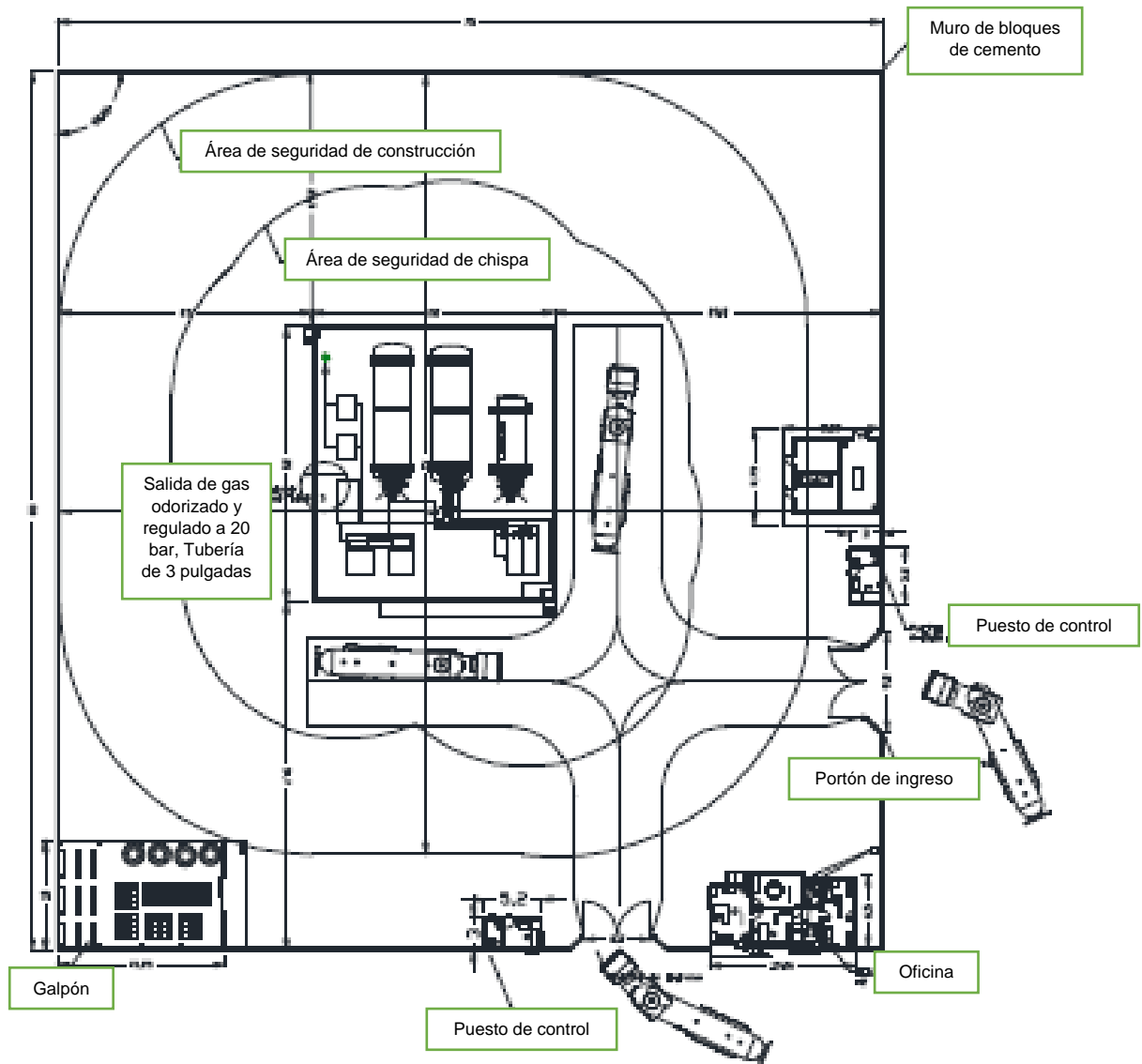


Fuente: YPFB -GNRGD-DGV. (2015, pág. 78)

Según el tipo de suministro por GNL o GNC, se debe tomar en cuenta para el caso de una ESR, se requiere un terreno de al menos 6000 m², el grafico a continuación según la ingeniería conceptual de YPFB-GNRGD-DGV, es la siguiente para la configuración seleccionada.

Figura 22. Layout ESR tipo B2-1000

A = 6.000,00 m²



Fuente: YPFB -GNRGD-DGV. (2015, pág. 132)

2.3.5. Ubicación de la Estación Satelital de Regasificación.

2.3.5.1. Ubicación se la Estación Satelital de Regasificación

La **Tabla 15**, y la **Figura 23**, proyectan la ubicación específica de la ESR.

Tabla 15. Coordenadas de ubicación la ESR

Estación Satelital de Regasificación			Coordenadas		
Código ESR	Tipo	Nombre de Población	Latitud	Longitud	Elevación (msnm)
ESR 34	B2	Pocoata	18°42'17,00"S	66°9'42,23"O	3370

Fuente: Elaboración propia

Figura 23. Ubicación Satelital de la ESR



Fuente: Elaboración propia (2023)

2.3.5.2. Mapa de la ruta de la cisterna

Para este punto se hará un análisis de posibles alternativas, para el transporte de GNL en camión cisterna, desde la Planta de Licuefacción de Río Grande, ubicado en el municipio de Cabezas del departamento de Santa Cruz, hasta la localidad de Pocoata ubicado en la provincia Chayanta del departamento de Potosí.

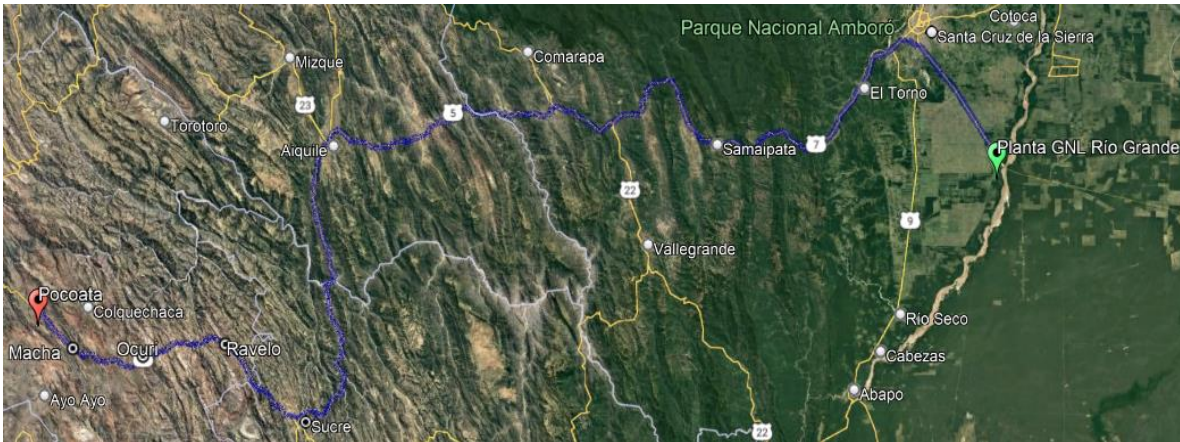
Tabla 16. Opciones de Ruta Planta GNL - Pocoata

Rutas Opcionales	Distancia (km)	Tiempo de viaje (hrs)
Río Grande - Santa Cruz - Sucre - Pocoata	691	14 h y 2 min
Río Grande - Santa Cruz - Potosí - Pocoata	842	16 h y 21 min
Río Grande - Santa Cruz - Cochabamba - Oruro - Llallagua - Pocoata	904	18 h y 21 min

Fuente: Elaboración propia

Por tanto, la ruta más rápida en base a transitabilidad y seguridad es la primera opción, cuyo recorrido consiste: La Planta de licuefacción, la Guardia, el Torno, Samaipata, Mairana, Aiquile, Surima, Sucre, Ravelo, Ocuri, Macha y finalmente Pocoata.

Figura 24. Trayecto de la cisterna Planta GNL - Pocoata



Fuente: Google earth

Las otras dos opciones, no dejan de ser una alternativa para el transporte de GNL, ante cualquier inconveniente por la ruta seleccionada. Ambas rutas están en base a la transitabilidad y seguridad.

d) Suministros alternativos para suministro de gas natural

Para comparar los costos de alternativas de suministros se tomará como referencia la población potosina de “Atocha”, que prospecta similitud en cuanto al número de usuarios y consumo de gas demandado. A continuación, se muestra una tabla comparativa:

Tabla 17. Tabla comparativa y referencial para el suministro por el sistema convencional

Población	N° Usuarios proyectados	Diferencia poblacional (%)	Demanda Q (m³/h)	Gasoducto más próximo	Distancia al gasoducto (km)
Pocoata	2.895	4,25	1144,42	GSP	159
Atocha	2.772		1018,12	DGTP	166

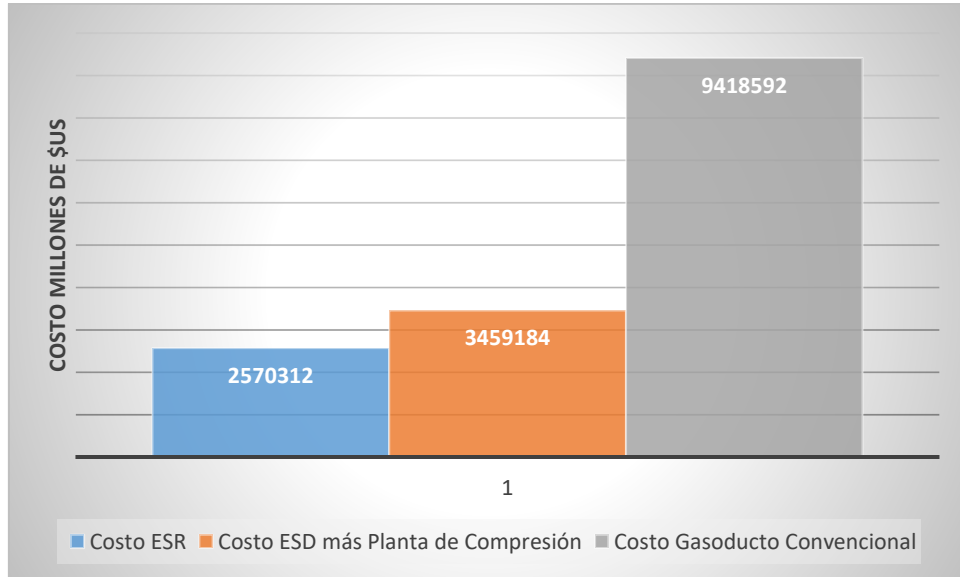
Fuente: Elaboración propia en base a YPFB-GNRGD-DGV (2015)

Los cálculos de la población Atocha siguen la misma secuencia del **punto 2.3.2.2**, del inciso **a)** hasta **f)**. De esta forma el diámetro de tubería a la población de Pocoata será similar al estimado hacia la población de Atocha, con 4 in, mediante la ecuación de Weymouth.

Para el caso de una Estación Satelital de Descarga, se debe tomar en cuenta la infraestructura de una planta de compresión y, por tanto, se desvincula un análisis comparativo similar al anterior, pero se toma en cuenta el costo de posible suministro de implementación en la

población de Atocha. El análisis de estos 3 sistemas de distribución se compara mediante la siguiente figura, que estable posibles costos referenciales:

Figura 25. Análisis Económico entre las Alternativas de Distribución de GN



Fuente: Adaptada de YPFB-GNRGD-DGV (2015, pág. 57)

En este sentido, el sistema de distribución más conveniente es mediante la implementación de una ESR, con una inversión aproximada de 2.570.312 millones de dólares.

g) Disponibilidad de GNL

La capacidad de la planta de Río Grande es de 210 Toneladas métricas/día y el consumo histórico de la ESR de la localidad de Pocoata a proyección del año 2033 es de 18,20 TPD.

Ver anexo. A1

2.3.6. Estimación de la inversión tipo B2-1000 para la implementación de la ESR

Para presupuestar la inversión necesaria, para la construcción de la ESR, es necesario tomar en cuenta el dimensionamiento realizado anteriormente en función a la: Demanda de gas natural y capacidades de almacenaje, principalmente. A continuación, se presenta montos referenciales de inversión necesarios para la implementación en función al dimensionamiento propuesto.

Tabla 18. Inversión para la implementación de la ESR

Población	Volumen de almacenamiento m³ GNL	Inversión en equipos y materiales ESR (\$US)	Inversión en obras civiles, montaje, instalación y PEM ESR	Total inversión en la implementación de la ESR \$US
Pocoata	160	1 452 028, 83	1 226 853	2.678.882

Fuente: Adaptada de YPFB-GNRGD-DGV

A continuación, se presenta un detalle resumido de los costos totales de inversión.

Tabla 19. Detalles de costos totales de inversión

Item	Costo total (Bs)	Costo total (\$US)
ESR	18.671.807,54	2.678.882
Red Primaria	1.305.554,50	187.579,66
EDR y línea de enfriamiento	457.431,20	65.628,58
Red Secundaria	24.485.152,59	3.512.930,00

Fuente: Adaptada de YPFB-GNRGD-DGV

El costo de instalación en total, contemplando los otros items se aproxima a un total de 6,4 Millones de dólares. Este costo puede ser relacionado por la capacidad a la ESR de Villa Busch camino a Porvenir con un costo de 7,7 millones de dólares, con 1.304 instalaciones de gas domiciliario, y demás servicios comercial e industrial y GNV. Dicha instalación con una capacidad de 1500 m³/h, con similitud a la propuesta del presente trabajo.

2.4. ANALISIS Y DISCUSIÓN

- ✓ Según el artículo “Regasification of liquefied natural gas in satellite terminals: Techno-economic potential of cold recovery for boosting the efficiency of refrigerated facilities”, indica que existen miles de instalaciones de regasificación satélite donde se podría recuperar la energía térmica fría del GNL y utilizarla para refrigeración en almacenes adyacentes, contribuyendo así a la sostenibilidad de sus sistemas de refrigeración. Y según análisis de la presente implementación el rendimiento puede

ser optimizado al coincidir carga máxima de refrigeración, con la máxima energía térmica fría disponible en la regasificación. Optimizando el ahorro anual de electricidad entre un 9% y un 20%, a comparación del sistema de refrigeración convencional con torres de enfriamiento húmedas y sin recuperación de frío de gas natural licuado.

- ✓ Según la monografía “Simulación de una planta de gas virtual para el suministro de gas natural en la población de Sorata”, que tiene como finalidad la implementación de un sistema de gas virtual en la población, indica que existe una diferencia en el diseño y la capacidad del tipo de ESR B1 y B2, pero la única diferencia entre ambas es la capacidad del Puente de Regulación y Medición, que disponen de 1000 m³ estándar/h y 2000 m³ estándar/ h respectivamente.
- ✓ Si bien en el presente estudio no se abordó el área de gestión de seguridad y salud ocupacional (SYSO), se debe aclarar que es necesario la abordar en cuanto a la construcción y el tendido de redes de gas, mediante la implementación de una ESR.

2.5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

2.5.1. Conclusiones

CONCLUSIONES	
Objetivos específicos	Conclusión
Realizar un diagnóstico socioeconómico e identificación de factores climatológicos de la localidad de Pocoata que puedan incidir en la implementación de la estación satelital de regasificación.	Según el diagnóstico realizado, la localidad de Pocoata es abastecida de G.L.P, presenta comercios de panadería, hotelería, restaurant, también emprendimientos de sombrerería, alimentos balanceados, curtación de pieles de animales, cuenta con un hospital, facultad de enfermería, Geográficamente por su altitud, presenta un clima continental, con variaciones considerables entre meses de invierno y verano, con registros de temperatura media anual entre aproximadamente 19 y 22 °C, conllevando a la implementación de regasificadores ambiental y forzado.
Determinar la capacidad de la estación satelital de regasificación para el	Se estimó un total de 2.895 usuarios proyectados a 10 años con un consumo doméstico de 27.466 m ³ /día, relacionándolo con un 5493,2 y 8239,8 m ³ /día de demanda

suministro de gas natural a la localidad.	al sector comercial e industrial respectivamente, y estimando un consumo de 3,75 TPD del parque automotor. Posteriormente se estimó un volumen de autonomía de 137 m ³ , asumiendo un volumen de 160 m ³ de GNL de almacenamiento compartido entre 2 tanques de 80 m ³ .
Determinar la ubicación optima de la estación satelital de regasificación en la localidad.	Se determinó la ubicación en la población de Pocoata, señalando su localización mediante una ubicación satelital con latitud 18°42'17,00"S y longitud 66°9'42,23"O y elevación de 3370 msnm
Desarrollar la propuesta mediante un diseño conceptual, identificando, seleccionando y describiendo procesos, equipos involucrados de acuerdo a normativa técnica vigente.	La implementación conforma una línea de alta presión y baja presión, tanto para la red de distribución de gas domiciliario y otra a una estación de servicio de GNV. Además, la ESR contará con 2 tanques de 80 m ³ GNL, un PRM de 1000 m ³ /h y un sistema de odorización.
Realizar un análisis económico y referencial del proceso de implementación	El costo de instalación en total, contemplando los otros items se aproxima a un total de 6,4 Millones de dólares, costo puede ser relacionado por la capacidad a la ESR de Villa Busch camino a Porvenir con un costo de 7,7 millones, La inversión específica de la ESR es de 2.678.882 dólares, para su implementación.

2.5.2. Recomendaciones

- ✓ Esta propuesta de implementación, recomienda tomar en cuenta ampliaciones en una segunda fase para las demás localidades aledañas a Pocoata, priorizando nuevas alternativas en cuanto a la localización de la estación.
- ✓ Si bien no se hizo acápite en el tema medioambiental, se puede añadir que, durante la construcción de una ESR, se identifican impactos ambientales de ruido, de carga o llenado, descompresión de la estación, emisiones de gases hacia la atmosfera, inclusive explosiones por derrames o fugas, ante un accionamiento de chispa.

- ✓ La presente propuesta permite identificar de manera “preliminar” el resultado económico referencial, que tendría la construcción de la ESR, dado que, para mayor precisión en el ajuste económico, es necesario contemplar una Ingeniería de proyecto completa.

3. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Woodward, J. L., & Pitblado, R. M. (2010). *LNG Risk Based Safety: Modeling and Consequence Analysis*. John Wiley & Sons. doi:10.1002/9780470590232
- (ANH), A. N. (Dirección). (2021). *Licuefacción de Gas Natural* [Película]. Obtenido de <https://www.facebook.com/ANHBolivia/videos/1099027600588740>
- Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH). (11 de Julio de 2016). *La ANH asiste a la inauguración de Estación Satelital de Regasificación en Desaguadero*. Obtenido de www.anh.gob.bo:
<https://www.anh.gob.bo/w2019/contenido.php?s=5&O=998#:~:text=La%20Estaci%C3%B3n%20Satelital%20de%20Regasificaci%C3%B3n%20es%20una%20instalaci%C3%B3n%20de%20almacenamiento,estaci%C3%B3n%20de%20servicio%20de%20GNV>
- Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH). (15 de Febrero de 2016). *Planta de GNL entra en operación para proveer de gas a 27 ciudades*. Obtenido de www.anh.gob.bo:
<https://www.anh.gob.bo/w2019/contenido.php?s=5&O=927>
- ANH. (2016). *Resolución administrativa RAR-ANH-ULGR N° 0064/2016*. Agencia Nacional de Hidrocarburos. Obtenido de <https://www.anh.gob.bo/InsideFiles/Actividad/Dj/RA-2016/RAR-ANH-ULGR-0064-2016.pdf>
- Atienza Márquez, A., Carles Bruno, J., & Coronas, A. (15 de Noviembre de 2021). Regasification of liquefied natural gas in satellite terminals: Techno-economic potential of cold recovery for boosting the efficiency of refrigerated facilities. *Energy Conversion and Management*, 248, 1-15. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2021.114783>
- CADECOCRUZ. (s.f.). *CADECOCRUZ.org.bo*. Obtenido de YPFB construye cinco nuevas estaciones de regasificación en cuatro departamentos:
[https://cadecocruz.org.bo/index.php?op=200&gr=1&nw=3547#:~:text=Las%20Estaciones%20Satelitales%20de%20Regasificaci%C3%B3n,gas%20natural%20vehicular%20\(GNV\).&text=La%20segunda%20fase%20del%20denominado,Pando%2C%20Beni%20y%20Santa%20Cruz](https://cadecocruz.org.bo/index.php?op=200&gr=1&nw=3547#:~:text=Las%20Estaciones%20Satelitales%20de%20Regasificaci%C3%B3n,gas%20natural%20vehicular%20(GNV).&text=La%20segunda%20fase%20del%20denominado,Pando%2C%20Beni%20y%20Santa%20Cruz)
- Carvajal Ayala, F. (2018). *Plantas Satélites de Regasificación*. Universidad de Chile, Postgrado Economía y Negocios. Obtenido de <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/167793/Carvajal%20Ayala%20Francisco.pdf?sequence=2>
- Company, J. (Dirección). (2022). *¿Cómo se transporta y cómo funciona un regasificador de gas natural líquido? GNL - Vaporizadores* [Película]. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=tk27bEZ7qZI>
- Del Valle Guerrero, A. L. (2016). *La nueva geopolítica de la energía en la región sudamericana: Tendencias, actores y conflictos de la industria del gas*. Universidad Nacional del Sur. Obtenido de <https://repositoriodigital.uns.edu.ar/bitstream/handle/123456789/2944/Tesis%20Docto>

ral%20Guerrero.pdf;jsessionid=E959C76EB4EB8711FDEB4BBDE9AAE03A?sequence=1

- Escalera, S. J. (2002). *Industrialización del Gas Natural Boliviano: Ventajas para Bolivia*. Universidad Mayor de San Simón. Obtenido de http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1683-07892004000100008
- Escalera, S. J. (2004). Industrialización del Gas Natural Boliviano. *Acta Nova*, 2(4), 518-532. doi:http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1683-07892004000100008
- Escobar, J. J., Reol, N., Castells, C., Marti, X., Larruy, Y., & Chiva, P. (2002). *El gas natural: el recorrido de la energía*.
- GIIGNL. (2018). *Internacional group of liquefied natural gas importers*. Recuperado el 6 de Octubre de 2023, de The LNG Industry Annual Reports: <https://giignl.org/all-news/>
- GNL Global. (24 de Julio de 2023). *Wood Mackenzie: Qatar y EE. UU. lideran la carrera como principales exportadores de GNL*. Obtenido de GNL Global.com: <https://gnlglobal.com/wood-mackenzie-qatar-y-ee-uu-lideran-la-carrera-como-principales-exportadores-de-gnl/>
- Gutierrez Cordero, G. (2023). *Diseño de un sistema de Gestión de Seguridad y Salud Ocupacional bajo la norma ISO 45001: 2018 en la Estación Satelital de Regasificación de Huanuni*. Universidad Mayor de San Andrés. Obtenido de <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/31236/PG-8363.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Llardén, A. (2017). *www.antiollarden.es*. Obtenido de www.antiollarden.es: <https://www.antiollarden.es/articulo/el-gas-natural-la-energia-que-nos-acompana-desde-hace-siglos/>
- López Anadón, E. (2012). *El gas natural licuado (GNL)*. Obtenido de Petrotecnia: <https://www.petrotecnia.com.ar/junio12/sinpublicidad/GNL.pdf>
- Mokhatab, S., Valappil, J. V., Mak, J. Y., & Wood, D. A. (2014). *Handbook of Liquefied Natural Gas*. doi:<https://doi.org/10.1016/C2011-0-07476-8>
- Opinión. (16 de Febrero de 2016). *Opinión.com*. Obtenido de Comienza a operar primera planta de GNL del país: <https://www.opinion.com.bo/articulo/el-pais/comienza-operar-primera-planta-gnl-pa-iacute-s/20160215200100543291.html>
- Orozco Carbajal, J. (2011). *Transporte de Hidrocarburos por Ductos*. Asociación de Ingenieros Petroleros de México, A. C.
- Osinermin. (s.f.). *Operación de Plantas de Procesamiento de Gas Natural*. Recuperado el 14 de Octubre de 2023, de Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería: http://gasnatural.osinerg.gob.pe/contenidos/uploads/GFGN/Operacion_Plantas_Procesamiento_de_Gas_Natural.pdf
- PEMEX. (s.f.). *Hoja de datos de seguridad para sustancias químicas: Gas natural*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/591095832/Gas-Natural>

- Sabatella, I. (2 de Noviembre de 2018). ¿GNL vs gasoductos? Tensiones en el proceso sudamericano de integración gasífera. *Políticas hidrocarburíferas en América Latina*, XXV(51), 85-106. Obtenido de <http://www.scielo.org.ar/pdf/ciclos/v29n51/v29n51a04.pdf>
- Santillana, J., & Salinas, J. (2018). *Primeros Grifos de GNL en el Perú*. Obtenido de Educación en Ingeniería Química: <https://www.ssecoconsulting.com/primeros-grifos-de-gnl-en-el-peru-el-antildeo-2018.html>
- Tec-Energy (Dirección). (2021). *Plantas Satélite de Regasificación del GNL* [Película]. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=Qj2hZfA9doA>
- Transporte Internacional: Exportación de Gas Natural Licuado*. (30 de Octubre de 2014). Obtenido de [Cargapeligrosatransport.blogspot: https://cargapeligrosatransport.blogspot.com/2014/10/unitarizacion.html](https://cargapeligrosatransport.blogspot.com/2014/10/unitarizacion.html)
- YPFB. (2015). *Estudio de ingeniería conceptual: Ampliación del sistema de Gas Virtual*. Obtenido de <https://contrataciones.ypfb.gob.bo/comun/downloadFile/107100000008280>

ANEXOS

ANEXO “A”

Proyección histórica de consumo de Gas Natural en la localidad Pocoata (2024 – 2033)

Proyecciones de Consumo de Gas Natural por Gestiones (2024 - 2033)											
n°	Año	Usuarios	Doméstico Q (m3/h)	Comercial Q (m3/h)	Industrial Q (m3/h)	GNV Q (m3/h)	Total Q (m3/h)	Total Q (m3/día)	En Vol. GNL Q (m3/día)	En Vol. GNL Q (m3/año)	En Vol. GNL Q (TPD)
0	2023	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	2024	2065.00	460.66	92.13	138.20	85.52	776.51	18636.25	31.06	11337.05	12.58
2	2025	2158.00	481.41	96.28	144.42	95.54	817.65	19623.60	32.71	11937.69	13.24
3	2026	2250.00	501.93	100.39	150.58	105.56	858.46	20602.92	34.34	12533.44	13.90
4	2027	2342.00	522.45	104.49	156.74	115.58	899.26	21582.24	35.97	13129.20	14.56
5	2028	2434.00	542.98	108.60	162.89	125.60	940.07	22561.56	37.60	13724.95	15.22
6	2029	2526.00	563.50	112.70	169.05	135.62	980.87	23540.88	39.23	14320.70	15.88
7	2030	2618.00	584.02	116.80	175.21	145.64	1021.68	24520.20	40.87	14916.46	16.55
8	2031	2710.00	604.55	120.91	181.36	155.66	1062.48	25499.52	42.50	15512.21	17.21
9	2032	2802.00	625.07	125.01	187.52	165.68	1103.29	26478.85	44.13	16107.96	17.87
10	2033	2895.00	645.82	129.16	193.74	175.70	1144.42	27466.20	45.78	16708.60	18.20
Total		24800.00	5532.38	1106.48	1659.72	1306.10	9604.68	230512.22	384.19	140228.27	155.21

Fuente: Elaboración propia

Notas.

- La tabulación de la tabla sigue la misma secuencia de pasos del en el **punto 2.1.1.1.**, en adelante.
- La abreviatura TPD, corresponde a Toneladas métricas por día.

ANEXO “B”

Resumen de costos: Red Primaria, EDR y línea de enfriamiento y Red secundaria

Tabla 20. Resumen de costos Red Primaria

Área específica	Precio (Bs)	Precio (\$U\$)
Materiales	328.074,50	47.137,14
Obras mecánicas	489.140,31	70.278,78
Obras civiles	296.990,10	42.670,99
Obras complementarias	105.939,51	15.221,19
Imprevistos (7%)*	85.410,11	12.271,57
Total	1.305.554,50	187.579,66

Fuente: Adaptada de (Arroyo, 2015), (Ovando, 2020)

Tabla 21. Resumen de costos de EDR y línea de enfriamiento

Área específica	Precio (Bs)	Precio (\$U\$)
Materiales	381.818,3	548.858,94
Obras mecánicas	14.794,14	2.125,59
Obras civiles	60.590,13	8.705,48
Imprevistos (7%)*	32.004,17	4.598,30
Total	457.202,50	65.595,77

Fuente: Adaptada de (Arroyo, 2015), (Ovando, 2020)

Tabla 22. Resumen de costos Red Secundaria

Área específica	Precio (Bs)	Precio (\$U\$)
Materiales	1.989.421,55	285.426,33
Obras mecánicas	234.728,14	33.676,92
Obras civiles	8.379.456,21	1.202.217,53
Acometidas e l. internas	1.736.481,69	248.136,54
Materiales del sistema de Regulación y Medición	12.145.065,00	1.742.477,04
Total	24.485.152,59	3.512.934,38

Fuente: Adaptada de (Arroyo, 2015), (Ovando, 2020)

ANEXO “C”

Comparativa de estimación de precios de G.L.P.

Figura 26. Factura de compra de G.L.P, Distrital Comercial Chuquisaca



SOMOS ENERGÍA
YACIMIENTOS PETROLIFEROS FISCALES BOLIVIANOS
SUCURSAL 23

AVENIDA LAS AMERICAS NRO. SIN ZONA/BARRIO: PETROLERO

Teléfono: 6454800
CHUQUISACA - SUCRE

NIT:
FACTURA N°:
CÓDIGO DE AUTORIZACIÓN:

FACTURA
(Con Derecho a Crédito Fiscal)

Fecha:
Nombre/Razón Social:
Ciudad: CHQ
Condición de Pago:

NIT/C/CEX:
Código de Cliente:
Nombre Propietario:
Periodo Entrega:

Complemento :

Código Servicio	Cantidad	Unidad de Medida	Descripción	Precio Unitario	Descuento	Subtotal
E-0004	4.270.00	KILOGRAMO	GLP	1.7983	0.00	7.679.741
E-0005	1.00	PIEZAS	REPOSICION FORMULARIO	3.00	0.00	3.00
Total Bs						7.681.74
Importe Base Crédito Fiscal						7.681.74

Son: SIETE MIL SEISCIENTOS OCHENTA Y UN 74/100 BOLIVIANOS

Fuente: Elaboración propia

Según la **Figura 27**, el precio de adquisición de gas por parte de las empresas cantonales a través de la Distrital Comercial Chuquisaca es de 17,98 Bs; o próximo a 18,20 Bs. Dicho precio de venta de distribución en la localidad de Pocoata y comunidades aledañas es de 28 a 33 Bs, actualmente. Este incremento excesivo para algunas familias es crucial, debido a que su consumo en ciertos meses está sujeta a 2 garrafones.

La figura descrita corresponde a un estimado de 427 garrafas, que fueron comercializadas en la población pocoateña, en el lapso de una semana.

A continuación, la **Tabla 17**, resalta el consumo y demanda actual de algunos sectores comerciales y sectores emprendedores que se benefician por el gas natural.

ANEXO “D”

Tabla 23. Cuadro comparativo del precio de G.L.P en la población de Pocoata y poblaciones aledañas

Costo de compra y venta de GLP, Localidad de Pocoata							
Identificación	Propietari@	Consumo semanal de gas natural	Costo Unit. (Bs)	Costo por adquisición (Bs)	Costo mensual (Bs)	Diferencia Costo Sucre -22.5 Bs	Diferencia Costo Distrital Sucre
Restaurant	Yolanda Villarpando	6	28	168	672	27.12	60
Panadería	Pedro Martínez	21	27	567	2268	94.5	189
Sombrerería artesanal	Felipe Gonzales	3	27	87	348	13.5	27
Tienda	Martina Nogales	30	27	810	3240	135	270
Costo de compra y venta de GLP, Localidad de Jarana							
Identificación	Propietari@	Consumo semanal de gas natural	Costo Unit. (Bs)	Costo por adquisición (Bs)	Costo mensual (Bs)	Diferencia Costo Sucre -22.5 Bs	Diferencia Costo Distrital Sucre
Chicharronería	Fidel Coca	8	30	240	960	60	96
Artesanía	S/Id.	7	30	210	840	52.5	84
Costo de compra y venta de GLP, Localidad de Huancarani							
Identificación	Propietari@	Consumo semanal de gas natural	Costo Unit. (Bs)	Costo por adquisición (Bs)	Costo mensual (Bs)	Diferencia Costo Sucre -22.5 Bs	Diferencia Costo Distrital Sucre
Pastelería	Luz Pacheco	4	32	128	512	38	56
Vivienda	Antonia Ischu	1	32	32	64	19	28

Fuente: Elaboración propia en base a encuestas realizadas (corresponde al 22 de octubre de 2023)

ANEXO "E"

ENCUESTA A LOS POBLADORES DE LA POBLACIÓN DE POCOATA

** Nota 1. Si la encuesta aplica a un domicilio particular, tomar en cuenta la pregunta N° 1, caso contrario empezar por la pregunta 2.*

1. ¿Cuántas familias viven en esta vivienda?

1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	Más <input type="checkbox"/>
----------------------------	----------------------------	------------------------------

2. ¿Cuántas garrafas de G.L.P por semana/mes consume?

1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	Más <input type="checkbox"/> Especificar
----------------------------	----------------------------	--

4. ¿Hace uso de otro recurso, que no sea G.L.P?

Leña <input type="checkbox"/>	Paja <input type="checkbox"/>	Otro <input type="checkbox"/>
-------------------------------	-------------------------------	-------------------------------

5. ¿Usted adquiere el G.L.P, por parte la distribuidora o tienda?

Distribuidora <input type="checkbox"/>	Tienda <input type="checkbox"/>
--	---------------------------------

6. ¿Con que precio en Bs, usted adquiere el G.L.P?

Entre 25 y 30 Bs <input type="checkbox"/>	Entre 30 y 35 Bs <input type="checkbox"/>	Especificar
---	---	-------------------

7. ¿Usted tiene conocimiento, del gas natural domiciliario?

Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>
-----------------------------	-----------------------------

8. ¿Conoce de sus beneficios y ventajas de este servicio?

Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>
-----------------------------	-----------------------------

9. ¿Conociendo los beneficios y ventajas, a usted le gustaría contar con este servicio?

Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>
-----------------------------	-----------------------------

10. ¿A qué consumo destinaria el servicio de gas natural domiciliario?

Domestico <input type="checkbox"/>	Comercio <input type="checkbox"/>	Otro <input type="checkbox"/> Especificar
------------------------------------	-----------------------------------	---

** Nota 2. Sobre la pregunta 8, se compartió información audiovisual y detalles de costo y beneficio sobre el servicio de gas natural domiciliario. Esta información se obtuvo de autorías de la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH).*

ANEXO “F”

Los análisis de inundaciones utilizando datos radar en Google Earth Engine, pueden ser la vía más interesante para identificar la presencia de masas de agua y zonas inundables por medio de datos SAR, haciendo uso de Script de hidrología. En informática, un script, secuencia de comandos es un término informal que se usa para designar un lenguaje de programación que se utiliza para manipular, personalizar y automatizar las instalaciones de un sistema existente.

Script de Hidrología aplicado

```
// Declaramos dos momentos temporales para disponer de los datos necesarios
var Tiempo1 = ee.ImageCollection ('COPERNICUS/S2')
  .filterDate ('2019-07-06' , '2019-07-11') // Momento temporal 1 previo a
  inundacion
  .filterMetadata ('CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE', 'Less_Than', 40);
var Secano = Tiempo1.reduce(ee.Reducer.median());

var Tiempo2 = ee.ImageCollection ('COPERNICUS/S2')
  .filterDate ('2019-09-13' , '2019-09-14') // Momento temporal 2 en
  inundacion
  .filterMetadata ('CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE', 'Less_Than', 40);
var Inundacion = Tiempo2.reduce(ee.Reducer.median());

// Analizamos los valores de humedad a partir de las bandas 8 y 11
var Humedad2 = Inundacion.normalizedDifference (['B8_median',
'B11_median']);
var Humedad1 = Secano.normalizedDifference (['B8_median', 'B11_median']);

// Simbolizamos los valores de humedad en el momento de la inundacion
Map.addLayer(Humedad2, {min: -1, max: 0.7, palette: ['#0000ff', 'F1B555',
'99B718', '66A000', '3E8601',
'056201', '023B01', '011D01', 'blue']}, 'Inundacion');

// Simbolizamos los valores de humedad previos a la inundacion y vinculamos
vistas comparativas
var MapasVinculados = ui.Map();
MapasVinculados.addLayer(Humedad1, {min: -1, max: 0.6, palette: ['#0000ff',
'F1B555', '99B718', '66A000', '3E8601',
'056201', '023B01', '011D01', 'blue']}, 'Pre-Inundacion');

var SWIPE = ui.Map.Linker([ui.root.widgets().get(0), MapasVinculados]);

// Integramos el efecto swipe creando una cortinilla horizontal o vertical
var SWIPE2 = ui.SplitPanel({
  firstPanel: SWIPE.get(0),
  secondPanel: SWIPE.get(1),
  orientation: 'horizontal', //'horizontal' o 'vertical'
  wipe: true,
  style: {stretch: 'both'}});
ui.root.widgets().reset([SWIPE2]);
```

// Mostramos los mapas vinculados con efecto swipe, centrando den zona AOI y asignando zoom
 MapasVinculados.setCenter(-0.89, 37.73, 12);

Fuente: (Gisand, 2019)

Tabla 24. Reporte Nacional de inundaciones por Lluvias

Dpto	Municipio	Nº Com.	Evento	Fam. Dam.	Total Fam	Has. Afec.	Has. Perd.	Gan. Afec.	Gan. Perd.	Viv. Afec.	Viv. Destr.	Falles.	Desap.	Evac.
	SAN IGNACIO DE VELASCO	1	LLUVIAS FUERTES	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SAAVEDRA	1	LLUVIAS FUERTES	600	600	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	CABEZAS	2	LLUVIAS FUERTES	400	400	12000	0	0	0	0	0	0	0	0
SUB TOTAL	19	336		7073	11279	26602	92223,4	150	0	13	0	0	0	0
COCHABAMBA	VACAS	1	LLUVIAS FUERTES	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	CHIMORE	70	INUNDACION RIADA	3250	9050	0	6286,39	0	0	0	0	0	0	0
	SHINAHOTA	27	INUNDACION RIADA	385	1322	820	0	0	0	5	2	0	0	0
	TARATA	7	GRANIZADA											
SUB TOTAL	4	105		3635	10372	820	6286,39	0	0	5	2	0	0	0
POTOSI	POCOATA	1	LLUVIAS FUERTES	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: (Viceministerio de Defensa Civil - VIDECI, 2023, pág. 2)