

**UNIVERSIDAD MAYOR REAL Y PONTIFICIA DE
SAN FRANCISCO XAVIER DE CHUQUISACA
VICERRECTORADO
CENTRO DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**



**ANALISIS TECNICO DE LA IMPLEMENTACION DE UNA RED PRIMARIA DE
GAS NATURAL PARA ABASTECER AL MUNICIPIO DE BATALLAS EN EL
DEPARTAMENTO DE LA PAZ**

**TRABAJO EN OPCION A DIPLOMADO EN TRANSPORTE ALMACENAMIENTO
Y DISTRIBUCION DE HIDROCARBUROS**

LOURDES SANDRA SERRANO

Sucre – Bolivia

2023

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.

Lourdes Sandra Serrano

Sucre, 07 de diciembre de 2023

DEDICATORIA

Esta presente monografía va dedicada a mi mamá Martina Serrano quien es padre y madre a la vez, siendo una de mis mayores motivaciones para seguir adelante, siempre está a mi lado brindándome su inquebrantable apoyo y sacrificio guiándome por el camino del bien, estoy tan agradecida por todo lo que hiciste por mí y ayudarme en mi etapa de formación profesional. Te quiero mamá.

A mis hermanos Sergio y Rene Segovia por su apoyo en todo momento y fuerza para seguir adelante en todo momento.

A mis mejores amigas Gabriela Amador y Yhojara Cardozo por el apoyo y motivación.

A la familia Zambrana por todo su apoyo.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar a Dios quien con su inmensa bondad ,misericordia y amor me cuido ,protegió y guio en cada uno de mis pasos ,por velar por mi día y noche en la enfermedad, por darme las fuerzas necesarias cuando más lo necesitaba, por consolar a mi corazón cuando más lo necesitaba, por motivarme a ser cada día una mejor persona, por dar luz a mi vida en mis días más oscuros, por mostrarme el camino correcto también por escuchar y atender cada una de mis oraciones y por todo lo que tengo y tendré .

Agradecer a mi familia, madre y hermanos por brindarme todo el apoyo incondicional en todo momento y ayudarme a cumplir una meta más en la vida.

A la Universidad Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca, a la Facultad de Ciencias y Tecnología, a los docentes de Ingeniería de Petróleo y Gas Natural por todas las enseñanzas para nuestra formación profesional en aulas.

Agradecer a mis amigos de carrera por su apoyo y amistad incondicional y compartir momentos inolvidables.

RESUMEN

El área de la monografía es de analizar técnicamente la implementación de una red primaria de gas natural para su transporte al municipio de Batallas del departamento de La Paz. Se abordan conceptos esenciales y generales para el diseño de esta línea de gas, incluyendo la selección de tubería y la planificación de obras civiles y mecánicas, dicho procedimiento como tal está detallado en la monografía que es básicamente un procedimiento similar para cada red primaria de gas que se implementa en el país con la diferencia de algunos datos de distancia, altura del trayecto de la red de gas y el diseño de la tubería.

El objetivo es proporcionar a este municipio un servicio básico crucial para sus habitantes en calidad de vida y también económicamente debido a que el uso de gas por redes llega a tener un costo menor al uso de gas por garrafa que actualmente usa la población en el municipio de Batallas, además que el uso de gas mediante una red de gas puede ser utilizado no solo para cocinar, sino también para calefacción, duchas e incluso en un futuro para energía eléctrica para edificaciones de gran tamaño.

El aspecto teórico abarca el análisis del gas natural como fuente de energía y se adentra en el diseño de la red primaria al igual que el caudal requerido que se usará para abastecer al municipio de Batallas logrando realizar los cálculos de diámetro de tuberías que se utilizarán a lo largo del tramo de la red primaria en el municipio de Batallas. Se describen aspectos físicos como construcción de zanjas, rellenos y detalles mecánicos como protecciones. Se abordan posibles eventos en la obra y se registra para un control de calidad riguroso, al igual que algunas alternativas de abastecimiento de gas natural al municipio de Batallas. Finalmente se examina el aspecto económico para obtener un valor estimado de la implementación de la red primaria basado en una sólida fundamentación teórica y práctica al igual que la estimación de la viabilidad a largo plazo de la implementación del proyecto.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTOS.....	ii
RESUMEN.....	iii
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
1 CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 ANTECEDENTES	1
1.1.1 Planteamiento Del Problema	2
1.2 OBJETIVOS	3
1.2.1 Objetivo General.....	3
1.2.2 Objetivos Específicos	3
1.3 JUSTIFICACIÓN	3
1.3.1 Justificación Práctica	3
1.3.2 Justificación Teórica.....	4
1.4 METODOLOGÍA	4
1.4.1 Técnicas De Investigación.....	4
1.4.2 Instrumentos De Investigación	4

2	CAPÍTULO II: DESARROLLO.....	5
2.1	MARCO TEÓRICO (CONCEPTUAL Y CONTEXTUAL).....	5
2.1.1	Marco Conceptual.....	5
2.1.1.1	Gas natural.....	5
2.1.1.2	Composición del gas natural.....	6
2.1.1.3	Propiedades del gas natural	6
2.1.1.3.1	Gravedad específica del gas	6
2.1.1.3.2	La densidad.....	6
2.1.1.3.3	La presión	7
2.1.1.3.4	Presión de rocío	7
2.1.1.3.5	Viscosidad del gas	7
2.1.1.3.6	Factor de compresibilidad del gas	8
2.1.1.4	Método de Gopal	8
2.1.1.5	Método de Lee-González-Eakin.....	9
2.1.1.6	Caudal.....	9
2.1.1.6.1	Ecuación de Weymouth.....	10
2.1.2	MARCO CONTEXTUAL.....	11
2.1.2.1	Diagnóstico del abastecimiento de gas natural en el municipio de Batallas del departamento de La Paz.....	11
2.1.2.1.1	Parámetros de operación de red primaria	12

2.1.2.1.2	Factores de diseño F y la clase de localidades.....	13
2.1.2.1.3	Presión y temperatura en condiciones normales y máximas de operación.....	14
2.1.2.1.4	Cargas sobre el gasoducto durante su operación.....	14
2.1.2.1.5	Transporte del gas natural.....	15
2.1.2.1.6	Especificación de la tubería según API 5L.....	17
2.1.2.2	Especificaciones técnicas obras civiles	18
2.1.2.3	Especificaciones técnicas obras mecánicas	22
2.1.2.3.1	Pruebas.....	24
2.1.2.4	Alternativas de suministro de gas natural al municipio de Batallas	25
2.1.2.4.1	Suministro mediante GNC.....	27
2.1.2.4.2	Contenedores portátiles intercambiables de GNC.....	28
2.1.2.4.3	Racks de Cilindros.....	29
2.1.2.4.4	Módulos	30
2.1.2.4.5	Contenedores portátiles fijos de GNC	31
2.1.2.4.6	Suministro de GNC mediante Skids con unidades de compresión	32
2.1.2.4.7	Carga a partir de una ESR	33
2.1.2.4.8	Carga a partir de una planta de compresión	34
2.1.3	Información y datos obtenidos	35
2.1.3.1	Análisis de la implementación de una red primaria de gas natural para abastecer el municipio de Batallas	35

2.1.3.2	Descripción de la zona.....	36
2.1.3.3	Diseño de la red primaria.....	40
2.1.3.4	Clase de trazado.....	40
2.1.4	Estimación de costos	42
2.2	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN.....	44
3	CAPÍTULO III: CONCLUSIONES.....	46
4	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47
ANEXOS.....		46

INDICE DE FIGURAS

Figura 1:	<i>Ecuaciones de acuerdo a Ppr.....</i>	8
Figura 2:	<i>Panorama general del municipio de Batallas.....</i>	11
Figura 3:	<i>Esquema sobre la producción, transporte, almacenaje y regasificación de gnl...24</i>	
Figura 4:	<i>Típico rack de transporte y almacenaje de GNC.....</i>	26
Figura 5:	<i>Típico módulo de transporte y almacenaje de GNC.....</i>	27
Figura 6:	<i>Contenedor portátil fijo de GNC – Acero.....</i>	28
Figura 7:	<i>Típico Skids de GNC que viene Incorporado la Unidad de Compresión.....</i>	29
Figura 8:	<i>Esquema de suministro de GNC a partir de una ESR.....</i>	30
Figura 9:	<i>Esquema de suministro de GNC a partir de una Planta de Compresión.....</i>	30

Figura 10:	<i>Ubicación del municipio de Batallas</i>	32
Figura 11:	<i>Municipio de Batallas</i>	33
Figura 12:	<i>Ruta de red primaria</i>	33
Figura 13:	<i>Plano de elevación de la ruta (menor a 30 metros)</i>	34

INDICE DE TABLAS

Tabla 1:	<i>Factores de diseño</i>	13
Tabla 2:	<i>Consumo doméstico</i>	38
Tabla 3:	<i>Consumo comercial</i>	39
Tabla 4:	<i>Calculo de diámetro</i>	40
Tabla 5:	<i>Calculo de espesor</i>	41
Tabla 6:	<i>Calculo de velocidad</i>	41
Tabla 7:	<i>Estimación de costos</i>	42
Tabla 8:	<i>Detalle de costos en base a precio de mercado</i>	43

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

El municipio de Batallas se halla ubicado en la provincia de Los Andes del departamento de La Paz a 50 kilómetros de la ciudad de La Paz y se halla a 3.985 metros sobre el nivel del mar. Actualmente es abastecido por gas comprimido comúnmente conocido como garrafas el abastecimiento sale en cisternas desde la planta de YPFB de Senkata ubicada en la ciudad de El Alto hasta el municipio de Batallas. Según datos del último censo del año 2012, la población ha experimentado un constante crecimiento lo que ha aumentado la demanda en diferentes servicios de uso comercial, educativo y doméstico.

Existen proyectos no concretados de redes virtuales para el abastecimiento del municipio de Batallas, dicho proyecto fue propuesto por Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos (YPFB) por lo que la implementación de una red primaria en el municipio de Batallas sería el primer paso para abastecer constantemente a toda la población de gas natural y en un futuro incluso podría alimentar fábricas y edificaciones grandes, utilizando el gas natural no solo para fines domésticos sino también transformarlo en energía eléctrica consecuentemente se reducirían los costos de transporte de gas como se hace actualmente con camiones e incluso más adelante se podría proyectar en la reducción de costos en energía eléctrica.

Entre las recopilaciones de investigaciones realizadas en relación con el tema o problema de investigación se encontró que el año 2015 YPFB corporación propuso el proyecto de “Estudio de ingeniería conceptual ampliación del sistema de gas virtual” en este proyecto se describe la ampliación de redes de gas en diferentes localidades del país, entre ellas Batallas, donde señala una proyección de demanda de gas natural que necesita dicha región, número de viviendas, vías de acceso para poder realizar el transporte de material para la puesta de la red primaria, servicios básicos y el costo de alternativas de suministro. Dichos datos son de relevancia importante para la presente investigación.

También se propuso un proyecto de diseño de redes secundarias en la localidad de Laja por la Universidad Mayor de San Andrés (UMSA) en el que describe el diseño de redes secundarias de gas compuesta por tuberías, acometidas, válvulas, accesorios y cámaras de válvulas, aguas abajo de la brida de salida de la Estación Distrital de Regulación en la localidad de Laja en la provincia de Los Andes, la cual cuenta con un terreno similar a la localidad de Batallas, por lo que representa cierta relevancia en la investigación presente.

1.1.1 Planteamiento Del Problema

El municipio de Batallas del departamento de La Paz cuenta con 79 localidades presentando un significativo crecimiento de la población a medida que pasan los años, así mismo la creciente demanda que hay del gas natural.

El municipio actualmente enfrenta desafíos significativos en el suministro de energía, con una infraestructura limitada de distribución de gas natural para solucionar el problema el 2015 se propuso implementar un sistema de gas virtual por YPFB corporación ya que sería más rentable económicamente a comparación de una red primaria el cual no se llegó a ejecutar dejando a la población sin ninguna solución a sus problemas de demanda de gas natural.

Actualmente gran parte de la población depende de fuentes energéticas menos eficientes y más costosas, lo que limita el potencial del desarrollo económico local, afectando la competitividad de empresas y la creación de nuevos empleos.

También mencionar que recientemente se entregó al municipio de Batallas por parte de la Gobernación del municipio como el Gobierno del presidente Luis Arce Catacora, una escuela, tres centros de salud, viviendas sociales, sistemas de alcantarillado, camino asfaltado. Lo que significa que en un futuro la demanda será alta por parte de los habitantes y las cisternas no abastecerían en su totalidad a todo el municipio de Batallas.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo General

Realizar un análisis técnico de la implementación de una red primaria de gas natural para abastecer al municipio de Batallas en el departamento de La Paz.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Realizar un diagnóstico del abastecimiento de Gas Natural en el municipio de Batallas del departamento de La Paz.
- Determinar las alternativas de suministro de Gas Natural al municipio de Batallas.
- Analizar la implementación de una red primaria de Gas Natural para abastecer al municipio de Batallas del departamento de La Paz.
- Estimar la inversión requerida para la implementación de una red primaria en el municipio de Batallas

1.3 JUSTIFICACIÓN

1.3.1 Justificación Práctica

Con la implementación de la red primaria en el municipio de Batallas se elevará la calidad de vida tanto en viviendas como en el área industrial a futuro incrementando y mejorando el desarrollo de actividades de la población promoviendo el desarrollo económico y contribuyendo a la modernización y sostenibilidad de la infraestructura

El gas natural es una de las fuentes de energía más asequibles y confiables puede impulsar el crecimiento económico local y regional al reducir costos y mejorar la competitividad de las empresas.

1.3.2 Justificación Teórica

La teoría existente del tema de investigación será útil para la puesta en marcha de la red primaria de gas en el municipio de Batallas y con el crecimiento demográfico que presenta la zona se puede realizar la instalación de redes secundarias en base a los datos presentados en la presente monografía. También presenta la disponibilidad de una fuente de energía confiable y conveniente, como el gas natural que puede aumentar la utilidad y satisfacción de los habitantes al ofrecer servicios domésticos más seguros y económicos.

1.4 METODOLOGÍA

La presente monografía es una investigación propositiva con un enfoque cuantitativo. (Sampieri, 2014)

1.4.1 Técnicas De Investigación

Se utilizarán fuentes de investigación primarias con la experiencia de ingenieros que trabajan en el área de transportes y secundarias con artículos, libros de referencia al tema y manuales de operaciones.

Considerando que la metodología de investigación es el conjunto coherente y racional de métodos y técnicas que se aplican de manera ordenada y sistemática en la realización del estudio para determinar la inclusión de “Videos Tutoriales en la asignatura virtual de Emprendeduría”; esta metodología determina la forma en la que la investigación toma forma, recabando de manera ordenada y analítica los datos a ser logrados con el empleo de los métodos y técnicas.

1.4.2 Instrumentos De Investigación

En la presente investigación la información se procesará mediante tablas, diagramas de flujo, planillas de costos y consumo diario. Informes de YPFB corporación e informes de recepción.

CAPÍTULO II: DESARROLLO

2.1 MARCO TEÓRICO (CONCEPTUAL Y CONTEXTUAL)

2.1.1 Marco Conceptual

2.1.1.1 Gas natural

El gas natural, tal como el petróleo y el carbón, es un combustible fósil. El gas y el petróleo fueron formados hace millones de años, cuando plantas y animales principalmente microscópicos, conocidos como fitoplancton y zooplancton se depositaron en el fondo del mar y fueron enterrados por sedimentos. (Argentina, 2003)

Las capas de sedimentos fueron acumulándose, originando un incremento de la presión y temperatura, lo cual convirtió la materia orgánica en compuestos de hidrógeno y oxígeno. (Argentina, 2003)

Una vez formado el gas y el petróleo, debido a la presión en el subsuelo, éstos se filtraron a través de fracturas y/o el espacio poroso de las rocas, migrando hacia las partes superiores del subsuelo, alcanzando en algunos casos la superficie. Donde las condiciones geológicas fueron apropiadas, estos hidrocarburos quedaron atrapados, no como en un lago sino dentro de los poros de la roca, a la cual se le denomina reservorio. (Argentina, 2003)

Los reservorios de gas natural, al igual que los reservorios de petróleo, están formados por rocas porosas y permeables ubicadas en el subsuelo. Un conjunto de reservorios similares constituye un yacimiento. (Argentina, 2003)

2.1.1.2 Composición del gas natural

Uno de los principales componentes del gas natural es el metano, que usualmente constituye el 80% del mismo. Sus otros componentes son el etano, el propano, el butano y otras fracciones más pesadas como el pentano, el hexano y el heptano. (Argentina, 2003)

2.1.1.3 Propiedades del gas natural

Las propiedades más importantes del gas natural son:

2.1.1.3.1 Gravedad específica del gas

Se denota como. La gravedad específica de un Gas, se define como la relación entre su densidad y la densidad del aire. La gravedad específica del Gas es proporcional a su peso molecular, PM, cuando éste se mide a bajas presiones donde el comportamiento del Gas se aproxima a la idealidad.

Una vez se obtiene el peso molecular, la gravedad del gas se determina dividiendo su peso molecular entre 28.97 (peso molecular del aire). (Argentina, 2003)

2.1.1.3.2 La densidad

Partiendo de la ecuación de los gases ideales, puesto que la densidad se define como la masa por el volumen de unidad de la sustancia, la siguiente ecuación se puede cambiar para estimar la densidad del gas en cualquier presión y temperatura. (Argentina, 2003)

$$Densidad = \frac{Masa}{Volumen} \quad \text{Ec. 1}$$

Esta medida es una de las más importantes para entender cómo los materiales interactúan entre sí y cómo se comportan en diferentes condiciones.

2.1.1.3.3 La presión

La presión es la medida de la fuerza ejercida sobre un área específica. se refiere a la cantidad de fuerza que actúa perpendicularmente sobre una superficie. Es una medida fundamental en física y se expresa como la fuerza dividida por el área sobre la cual actúa esa fuerza. (Argentina, 2003).

$$P = \frac{F}{A} \quad \text{Ec. 2}$$

Donde:

P: Presión (Psi)

F: Fuerza (N)

A: Área (m²)

2.1.1.3.4 Presión de rocío

Es la presión a la cual sale el primer líquido condensado de la solución en un condensado de gas. Muchos yacimientos de condensados de gas están saturados en las condiciones iniciales, lo que significa que el punto de rocío es igual a la presión de yacimiento inicial.

La disolución de los condensados se denomina condensación retrógrada, debido a que ocurre en sentido contrario al comportamiento de las sustancias puras, las cuales se evaporan cuando la presión cae por debajo de la presión de saturación en condiciones isotérmicas (temperatura constante). (Metrología, 2008)

2.1.1.3.5 Viscosidad del gas

Se denota como μ_g . Es una propiedad importante para determinar la resistencia al flujo que presenta el gas durante su producción y transporte. Generalmente, la viscosidad del gas aumenta con los incrementos de presión. A presiones bajas la viscosidad del gas (al contrario que los líquidos) se incrementa con la temperatura. Sus unidades son los centipoises (cp).

La viscosidad del gas también se determina por medio de correlaciones empíricas con un margen de error inferior al 2 %. (A.Cengel, 2004)

2.1.1.3.6 Factor de compresibilidad del gas

En la realidad no existen gases ideales o perfectos; sin embargo, muchos gases cerca de la temperatura y presión atmosféricas se aproximan a la idealidad. El Gas ideal puede definirse como el Gas cuyo volumen se reduce a la mitad al duplicarse la presión, cuya presión se dobla si se duplica la temperatura manteniendo el volumen constante.

Debido a que el volumen de un Gas se reduce a menos de su mitad, si se dobla la presión se dice que el gas es supercompresible. Al valor numérico que representa una medida de la desviación del comportamiento ideal del gas se denomina factor de supercompresibilidad, o más frecuentemente factor de compresibilidad.

También se le conoce como factor de desviación del gas y se denota por la letra Z, éste valor adimensional generalmente varía entre 0.7 y 1.2. El valor de 1 representa el comportamiento ideal. Matemáticamente, Z es obtenido mediante complejas correlaciones empíricas, que arrojan resultados con exactitud. Entre las correlaciones más usadas se destaca la de Gopal (Sandoval, 2017)

2.1.1.4 Método de Gopal

Este método ajusta ecuaciones rectilíneas de diversas porciones del gráfico del factor z. Se utiliza una ecuación general de la siguiente forma:

$$Z = P_{pr} (AT_{pr} + B) + CT_{pr} + D \quad \text{Ec.3}$$

Donde:

Z: Factor de compresibilidad

P_{pr} : Presión pseudo reducida ($^{\circ}R$)

T_{pr} : Temperatura pseudo reducida ($^{\circ}R$)

A, B, C, D: Constantes ajustadas a partir de datos experimentales

El método de Gopal es una herramienta de diseño importante para ingenieros y planificadores en la industria del gas natural, ya que les permite dimensionar adecuadamente las redes de distribución para garantizar un suministro confiable y eficiente de gas a los usuarios finales. (Menon, 2005)

2.1.1.5 Método de Lee-González-Eakin

Lee, González, y Eakin (1966) presentaron una relación semi-empírica para calcular la viscosidad de gases naturales. Los autores expresaron la viscosidad del gas en términos de la temperatura del reservorio, la densidad del Gas, y el peso molecular del Gas. Su ecuación propuesta es dada por:

$$\mu_g = \frac{C \sqrt{T}}{P} \quad \text{Ec. 4}$$

Donde:

μ_g : Viscosidad del Gas (Cp)

T: Temperatura absoluta en grados Rankine (°R)

P: Presión absoluta en libras por pulgada cuadrada (psi)

C: Constante específica para cada gas

La correlación propuesta puede predecir valores de la viscosidad con una desviación estándar de 2.7% y una desviación máxima de 8.99%. (Menon, 2005)

2.1.1.6 Caudal

El caudal es el volumen por unidad de tiempo que atraviesa una sección transversal de un conducto. Se pueden relacionar el caudal (Q) con la velocidad v a través del área transversal de flujo (A) (Menon, 2005)

$$Q = A * v \quad \text{Ec. 5}$$

Donde:

Q: Caudal (m³/s)

A: Área transversal del flujo (m²)

V: Velocidad del fluido (m/s)

La relación entre el área transversal y la velocidad del fluido puede variar según las características del conducto y las condiciones de flujo. En muchos casos, la fórmula se adapta al principio de conservación de la masa, donde el caudal es constante a lo largo del conducto, por lo que la multiplicación del área transversal por la velocidad del fluido en un punto dado del conducto siempre será igual al caudal que atraviesa dicho punto.

2.1.1.6.1 Ecuación de Weymouth

El concepto de la fórmula de Weymouth, también conocida como la ecuación de Weymouth, está relacionado con la industria del petróleo y gas, específicamente en la estimación del flujo de gas a través de tuberías. Esta fórmula se utiliza para calcular el caudal de gas natural en condiciones de flujo compresible en tuberías. (Martinez, 2006)

La fórmula de Weymouth se expresa de la siguiente manera:

$$Q = 433.5 * \left(\frac{T_b}{P_b}\right) * E * \left[\frac{P_1^2 - P_2^2}{(sg) * L_m * T_{prom} * Z_{prom}}\right]^{-0.5} * d^{2.667} \quad \text{Ec. 6}$$

Donde:

Q: Caudal de gas (m³/s)

E: Coeficiente de flujo.

D: Diámetro interno de la tubería (mm)

P₁ y P₂: Caída de presión a lo largo de la tubería (Bar)

Z: factor de compresibilidad del gas.

T: Temperatura absoluta del gas ($^{\circ}$ R)

La fórmula de Weymouth es una herramienta fundamental en la industria del gas natural para estimar el flujo de gas a través de tuberías, lo que resulta crucial para el diseño, operación y mantenimiento eficientes de sistemas de transporte de gas. (Martinez, 2006).

2.1.2 MARCO CONTEXTUAL

2.1.2.1 Diagnóstico del abastecimiento de gas natural en el municipio de Batallas del departamento de La Paz

Batallas es un municipio con una rica cultura y una economía arraigada en actividades agrícolas y ganaderas. Su proximidad a la ciudad de La Paz, así como su identidad cultural única, lo convierten en un lugar de interés tanto para habitantes locales como para visitantes interesados en explorar la diversidad del altiplano boliviano. Cuenta con 17.824 habitantes los cuales son abastecidos de gas natural mediante garrafas transportado por camiones, la implementación de la red primaria en este municipio puede ser de gran beneficio a todos los habitantes y edificaciones que puedan construirse a futuro, en el sentido de que el gas puede ser utilizado para fines domésticos como en la cocina, ducha, calefacción que este último puede ser muy útil por donde se localiza el municipio (Bolivia, 2023).

Figura 1: *Panorama general del municipio de Batallas.*



Fuente: Extraído de la página del Gobierno Municipal de Batallas

Para poder mejorar la calidad de vida de cada uno de los habitantes, económicamente es accesible para la economía de la población, comparando el costo de una garrafa de gas con el gas domiciliario, el servicio de gas domiciliario tiene un costo menor y el servicio es constante y puede dar más comodidades y mejor calidad de vida en cada vivienda que hay en el lugar, otro proyecto de que se podría realizar son en edificaciones de mayor tamaño que pueden utilizar la energía del gas y transformarla en energía eléctrica, abasteciendo a edificaciones de gran tamaño y disminuyendo el gasto económico en energía eléctrica. (Bolivia, 2023)

2.1.2.1.1 Parámetros de operación de red primaria

Para seguir con el diseño de gasoductos se debe conocer:

- El caudal a transportar, características físicas y químicas del fluido.
- Clases de localidad para diseño y construcción.

La clasificación se debe determinar de acuerdo con el número de construcciones localizadas en esta área unitaria. Para propósito de esta norma, cada vivienda o sección de una construcción destinada para fines de ocupación humana o habitacional se considera como una construcción por separado. (Hidrocarburos, 2015)

a) Localidad clase 1

Corresponde a cualquier sección de una milla de longitud que tiene 10 o menos construcciones destinadas a ocupación humana: a su vez se subdividen en:

- Clase 1, División 1, donde el factor de diseño de la tubería es mayor a 0.72 y el ducto ha sido probado hidrostáticamente a 1.25 veces la máxima presión de operación.
- Clase 1, División 2, donde el factor de diseño de la tubería es igual o menor a 0.72 y el ducto ha sido probado a 1.1 veces la máxima presión admisible de operación. (Hidrocarburos, 2015)

b) Localidad clase 2

Corresponde a aquella tubería que en su área unitaria se tienen más de 10 pero menos de 46 construcciones destinadas a ocupación humana, en una sección de 1 milla. (Hidrocarburos, 2015)

Los gasoductos que cumplan con las clases 1 o 2, pero que dentro de su área unitaria se encuentren al menos un sitio de reunión o concentración pública de más de 20 personas, tales como iglesias, escuelas, salas de espectáculos, cuarteles, hospitales o áreas de recreación, se deben considerar dentro de los requerimientos de las clases de localización 3 (Hidrocarburos, 2015).

c) Localidad clase 3

Una localidad de clase 3 es cualquier sección de 1 milla que tiene 46 o más edificios destinados a la ocupación, excepto cuando prevalece una localidad de clase 4. (Hidrocarburos, 2015)

Se tiene la intención de que una localidad clase 3 refleja áreas tales como los desarrollos de viviendas suburbanas, centros de compras, áreas residenciales, áreas industriales y otras áreas pobladas que no cumplen con los requerimientos de una localidad de clase 4. (Hidrocarburos, 2015)

d) Localidad clase 4

Localidad clase 4 incluye áreas donde prevalecen los edificios de varios pisos, donde el tráfico es pesado o denso, y donde pudiera haber numerosas otras construcciones o servicios subterráneos de varios pisos quiere decir cuatro o más pisos por encima del suelo, incluye el primer piso o planta baja. La profundidad o número de los sótanos o subsuelos no se toma en cuenta. (Hidrocarburos, 2015)

2.1.2.1.2 Factores de diseño F y la clase de localidades

Los factores de diseño en la tabla, deberán usarse para la Clase de Localidad designada. Todas las excepciones a los factores de diseño a ser usadas en la fórmula de diseño. (Hidrocarburos, Diseño de redes de gas natural, 2014)

Tabla 1: *Factores de diseño.*

Clase de Localidad	Factor de Diseño F
Localidad Clase 1 , División 1	0.80
Localidad Clase 1, División 2	0.72
Localidad Clase 2	0.60
Localidad Clase 3	0.50
Localidad Clase 4	0.40

Fuente: Elaboración propia en base a la ASME.

La clase de trazado para la población de Batallas será CLASE 2, ya que en un área de 1.600 metros de longitud y 400 metros de ancho existe un número de viviendas mayores a 10 y menor a 46. (Hidrocarburos, Diseño de redes de gas natural, 2014)

2.1.2.1.3 Presión y temperatura en condiciones normales y máximas de operación

Todos los gasoductos deben diseñarse para soportar una presión de diseño la cual debe ser igual a 1.1 veces la Presión de Operación Máxima (MOP). En caso de gasoductos sumergidos, debe considerarse en el diseño el diferencial positivo máximo posible entre la presión externa y la presión interna. (Hidrocarburos, Diseño de redes de gas natural, 2014)

La presión de diseño no será menor que la presión a las condiciones más severas de presión y temperatura coincidentes, externa o internamente, que se espere en operación normal. (Hidrocarburos, Diseño de redes de gas natural, 2014)

La condición más severa de presión y temperatura coincidente, es aquella condición que resulte en el mayor espesor requerido y en la clasificación más alta de los componentes del sistema de tuberías. Se debe excluir la pérdida involuntaria de presión, externa o interna, que cause máxima diferencia de presión. (Hidrocarburos, Diseño de redes de gas natural, 2014)

La temperatura de operación será la mayor temperatura la cual pueda presentarse en la tubería bajo condiciones de operación normal. (Hidrocarburos, Diseño de redes de gas natural, 2014)

2.1.2.1.4 Cargas sobre el gasoducto durante su operación

El gasoducto durante su tendido y a lo largo de su vida útil presenta las siguientes cargas:

- Cargas vivas
- Cargas muertas
- Cargas dinámicas
- Efectos de incremento de presión por expansión del fluido
- Cargas por expansión térmica y por contracción
- Movimientos relativos de componentes conectados
- Socavación, azolve y erosión de riberas
- Interacción suelo-tubería
- Cargas en elementos que soportan tuberías (Hidrocarburos, Diseño de redes de gas natural, 2014)

2.1.2.1.5 Transporte del gas natural

El transporte de Gas es la recolección, transporte o distribución de gas por gasoducto. son todas las partes de las instalaciones físicas a través de las cuales se mueve el Gas en su Transporte, incluyendo tuberías válvulas, accesorios, bridas (incluyendo el empernado y las empaquetaduras), reguladores, recipiente a presión, amortiguadores de pulsación, válvulas de desfogue, y otros accesorios instalados en la tubería, unidades de compresión, estaciones de medición, estaciones de regulación, y conjuntos fabricados (Gustavo, 2012).

Los sistemas de tubería consisten en uno o más segmentos del Gasoducto, usualmente interconectados para conformar una red, que transportan Gas de un sistema de recolección, desde la salida de una planta de procesamiento, o un campo de almacenamiento, hacia un sistema de distribución de alta o baja presión, un cliente que compra un gran volumen, u otro campo de almacenamiento. (Gustavo, 2012)

- Línea de transporte es un segmento de gasoducto instalado en un sistema de transporte entre campos de almacenamiento.
- Campo de almacenamiento es un campo geográfico que contenga un pozo o grupo de pozos interconectados que están terminados y dedicados al almacenamiento subterráneo de grandes cantidades de gas.

- Línea de servicio de gas es la tubería instalada entre una línea principal u otra fuente de provisión o abastecimiento de Gas y un sistema de medición.

El sistema de distribución consta de:

- Sistema de distribución de baja presión es un sistema de tuberías para distribución de gas, en el cual la presión del Gas en las líneas principales y las de servicio, es substancialmente la misma que la de entrega en los implementos del cliente. En estos sistemas, no se necesita un regulador en cada línea de servicio individual.
- Sistema de Distribución de Alta Presión es un sistema de tuberías de distribución de Gas que opera a una presión mayor a la presión de servicio estándar que se entrega al cliente. En tales sistemas, se requiere un regulador de servicio para cada línea de servicio para controlar la presión entregada al cliente.

Dentro los términos de presión podemos determinar:

La Presión, a menos que se indique de otra manera, se expresa en libras por pulgada cuadrada, por encima de a presión atmosférica (es decir, presión manométrica) y se abrevia psig. Se detallará algunas de las características de las presiones manejadas en el diseño. (Gustavo, 2012)

- Presión de diseño es la máxima presión permitida, según se la determina mediante los procedimientos aplicables a los materiales y las localidades de las que se trate.
- Máxima Presión de Operación (MOP), algunas veces se hace referencia a ella como la máxima presión de operación actual o real; es la presión más alta a la cual se opera un sistema de tuberías durante un ciclo normal de operación.
- Máxima Presión Admisible de Operación (MAOP) es la presión máxima a la cual un sistema de gas puede operarse. Máxima presión admisible de prueba es la máxima presión interna del fluido permitida, para una prueba de presión, basada en el material y la localidad de que se trate.
- Presión de servicio estándar, llamada a veces la presión normal de utilización, es la presión de Gas que se mantiene en una instalación para aplicarla a los medidores de sus clientes domésticos.

- La protección contra sobre-presiones se provee mediante un dispositivo o equipo instalado para evitar la presión excesiva en un recipiente de presión, un gasoducto o un sistema de distribución, excediendo un valor predeterminado. Puede obtenerse esta protección instalando una estación de desahogo o alivio de presiones o una estación limitadora de presión.
- La prueba de retención de presión demuestra que los tubos o el sistema de tubería no tiene fugas, según se evidencia por la no caída de presión durante un período de tiempo especificado después de que la fuente de presión ha sido aislada.

Se describirá las diferentes características según las normas existentes para las tuberías.
(Gustavo, 2012)

2.1.2.1.6 Especificación de la tubería según API 5L

Según la especificación tenemos que considerar:

La esbeltez de la tubería se define como la relación entre el espesor y el diámetro nominal de la tubería. En el transporte de hidrocarburos se utilizan tuberías con esbeltez menor o igual a 0.1.
(Hidrocarburos, Anexo 2 Cosntrucción de redes de gas natural, 2015)

Figura 2: *Tuberías según especificación API 5L*



Fuente: Extraído de la página [tjajin Steel Pipe](#)

Según el código API 5L, existen dos niveles de tuberías (PSI, Producto Specificstion Level):

- PSL-1: Especificación menos exigente, con menos pruebas mecánicas de control de calidad.
- PSL-2: Mayor cantidad de pruebas de control de calidad, generalmente utilizada para redes troncales

Los grados de la tubería, seguidos por los primeros dos dígitos del Specified Minimum Yield Strength (SMYS) en Psi, son los grados estandarizados según los Niveles de especificación del fabricante de la tubería. Dichos valores se muestran en la tabla (American Petroleum Institute (API Specification 5 L), 2000) (Institute, 2004)

2.1.2.2 Especificaciones técnicas obras civiles

Las obras preliminares se dividen en:

a) Trazado y control topográfico:

Los planos topográficos para proyectos definitivos de gran magnitud están referidos a los controles terrestres de la cartografía oficial, tanto en ubicación geográfica como en elevación, El trazado deberá ser referido a las coordenadas señaladas en el plano, mostrando en las tangentes, el azimut geográfico y las coordenadas referenciales.

Para el trazado y control topográfico se va solicitar los servicios de 1 topógrafo, 1 alarife y 1 ayudante, los cuales van utilizar teodolito, una niveladora de distancia, también se realizara excavaciones de sondeo para determinar el tramo y sus características, para su trabajo para su trabajo se requiere de yeso, estacas de madera, pintura látex, clavos y herramientas menores como pala, picota, martillo, GPS, cinta métrica entre otros.

Todo ello para que el trazado y control topográfico estén en estricta sujeción a los planos, determinar el tramo y sus características para su trabajo. (Hidrocarburos, Anexo 2 Cosntruccion de redes de gas natural, 2015)

En síntesis el trazado y control topográfico para una red primaria ofrece una base sólida para la planificación, construcción y mantenimiento eficiente de la infraestructura, lo que resulta en una implementación más efectiva y de mejor rendimiento.

Figura 3: *Desarrollo de obras civiles*



Fuente: Extraído de la página del periódico Opinión

- Las obras civiles se dividen en:

a) Desbroce de vía:

Para esta operación se debe usar una tractor oruga, a cargo del operador de la tractor oruga y el ayudante para el desbroce manual del terreno, así mismo se usarán herramientas menores como palas, picotas, rastrillos, entre otros. (Hidrocarburos, Anexo 2 Cosntruccion de redes de gas natural, 2015)

b) Movilización e instalación de señalización preventiva:

Se debe realizar la instalación de letreros preventivos de seguridad cada 200 mts a lo largo de todo el trayecto del ducto, con motivo de dar seguridad y prevención de posibles accidentes ante

el paso de personas y vehículos. La instalación de estos precintos de seguridad estará a cargo de un albañil y un ayudante de albañil. El traslado del material y del personal encargado de la instalación de la señalización a los distintos puntos del ducto estará a cargo de un chofer de una camioneta 4x4 de capacidad 1-ton. Para realizar dicha operación se utilizará materiales como ser letrero preventivo de seguridad, arena, grava, cemento, y otras herramientas menores como palas, picotas, martillos, escaleras entre otros. (Hidrocarburos, Anexo 2 Cosntruccion de redes de gas natural, 2015)

c) Excavación de zanja

Para la excavación de zanja se necesitará el trabajo de una retroexcavadora operada por un operador calificado, ayudante de operador de retroexcavadora y un peón que se encargaran de la excavación manual de zanja, así como el correcto alineado de la misma. La zanja a realizar debe tener una profundidad de 1 m y un ancho de 2 m. Para esta operación es pueden usar herramientas menores como pala, picota, carretillas, entre otros. (Hidrocarburos, Anexo 2 Cosntruccion de redes de gas natural, 2015)

d) Demolición y retiro de piedra:

La piedra que sea impedimento para la construcción del ducto deberá ser retirada del trayecto con ayuda de una perforadora neumática operada por un especialista y su ayudante, en caso de que las piedras tengan dimensiones muy grandes deberán ser demolidas con dinamita, colocadas en puntos clave. Los escombros y material demolido deberán ser retirados con ayuda de una retroexcavadora operada por el operador capacitado y su ayudante. (Hidrocarburos, Anexo 2 Cosntruccion de redes de gas natural, 2015)

Se pueden aplicar herramientas menores como picotas, palas, encendedores, martillos, entre otros. (Hidrocarburos, Anexo 2 Cosntruccion de redes de gas natural, 2015)

e) Relleno con material cernido:

Para el relleno de la zanja con material cernido se debe hacer uso de malla milimétrica para cernir la tierra, el material cernido debe ser introducido a la zanja con ayuda de una

retroexcavadora que es operada por su respectivo especialista, teniendo la ayuda de un ayudante del operador de retroexcavadora y un peón que se encargaran de que el material cernido se asiente correctamente. (Hidrocarburos, Diseño de redes de gas natural, 2014)

Se puede hacer uso de herramientas menores como palas, carretillas, picotas, entre otros.

f) Relleno con material común:

Para rellenar la zanja con material común (tierra del lugar) se debe contar con una retroexcavadora operada por su especialista, al mismo tiempo que el ayudante de la retroexcavadora deberá colaborar con el relleno manual de la zanja. El peón deberá colocar la cinta de seguridad a lo largo del tramo a una profundidad de 30 cm, colocando 1 metro de cinta de seguridad por cada metro cubico de material común. El rollo de cinta tiene 305 metros de largo por 7cm de ancho. Se puede recurrir al uso de herramientas menores como palas, picotas, carretillas, entre otros. (Hidrocarburos, Diseño de redes de gas natural, 2014)

g) Compactado de vía:

Una vez que se ha relleno la vía zanjada con material cernido y común, se debe proceder a compactar el terreno. Para ello se debe hacer uso de un compactador de rodillo operado por un operador especializado y el ayudante que se encargara de ultimar detalles de manera manual a la hora de compactar la vía. (Hidrocarburos, Anexo 2 Cosntruccion de redes de gas natural, 2015)

Se puede hacer uso de herramientas menores como ser palas, picotas, carretillas, entre otros.

h) Limpieza de derecho de vía y retiro de escombros:

Una vez que se ha concluido con los trabajos en la vía se debe proceder a la limpieza de los escombros que quedan sobrando de las anteriores operaciones. (Hidrocarburos, Anexo 2 Cosntruccion de redes de gas natural, 2015)

Para dicha operación se debe contar con una retroexcavadora operada por el operador calificado y su ayudante, una volqueta de desechos operada por el chofer calificado. El peón se encargará

de la limpieza manual de la vía, así como el retiro de escombros de manera manual. (Hidrocarburos, Anexo 2 Construcción de redes de gas natural, 2015)

Se pueden hacer uso herramientas menores como palas, picotas, carretillas, entre otros.

i) Monitoreo ambiental:

La construcción del ducto, deberá cumplir con todos los requerimientos medio ambientales, sociales, salud y de seguridad. Para ello se deberá realizar un monitoreo de todo el trayecto del ducto a cargo de un especialista que verifique el cumplimiento de dichos requerimientos. (Hidrocarburos, Anexo 3 Operación y mantenimiento de redes de gas, 2016)

2.1.2.3 Especificaciones técnicas obras mecánicas

Las obras mecánicas se dividen en:

- a) **Provisión y transporte de tubería y otros materiales:** Para transportar la tubería se deberá hacer uso de un camión de 3 toneladas, operado por su respectivo chofer y ayudante para la manipulación de las tuberías. Se solicitará la provisión de tuberías de Acero Negro API 5L PSL1 de 12m+-1m. Diámetro de 2 pulgadas. (Hidrocarburos, Anexo 2 Construcción de redes de gas natural, 2015)
- b) **Distribución y tendido de tubería:** Para colocar la tubería en la zanja se cuenta con un camión pluma operado por su respectivo operador, con sus respectivas eslingas para poder maniobrar la tubería y colocarla en la zanja, con asistencia de 3 ayudantes que trabajaran para un correcto alineado, bajado y posicionamiento de la tubería. (Hidrocarburos, Anexo 2 Construcción de redes de gas natural, 2015)
- c) **Doblado de tubería:** El trayecto del ducto no sigue una tendencia lineal, en muchos tramos el ducto presenta varios cambios bruscos de ángulo, para lo cual se debe hacer uso de una dobla tubos, accionado por un obrero especialista y 3 ayudantes que se encargaran de un correcto alineado y doblado efectivo. (Hidrocarburos, Anexo 2 Construcción de redes de gas natural, 2015)
- d) **Alineado y soldado de tubería:** Una vez que la tubería se encuentra posicionada correctamente en la zanja se requiere del respectivo soldado de cada pieza para su unión.

Para ello se necesita de un alineador para conseguir un alineado de tubería de 360 grados, moto soldador, arenador, amoladora, termo porta electrodos grinox, además de los respectivos electrodos para realizar la soldadura correctamente. La soldadura de la tubería va estar a cargo de un soldador calificado y su respectivo ayudante que ayudara en el alineado de las piezas. Se pueden hacer uso de herramientas menores como prensas, cinceles, martillos, entre otros. (Hidrocarburos, Anexo 2 Cosntruccion de redes de gas natural, 2015)

- e) **Inspección radiográfica de puntos soldados:** Una vez realizada la soldadura, se debe verificar la correcta unión y garantía de la soldadura, para ello se emplea un método no destructivo como es la radiografía. (Hidrocarburos, Anexo 2 Cosntruccion de redes de gas natural, 2015)

Para ello se solicita el servicio de un radiólogo calificado, que hará uso de un equipo RADIOFLEX 229 F-4, plasmando los resultados en una pieza de papel fotográfico especial. Se cuenta con un ayudante para poder realizar dicha operación. (Hidrocarburos, Anexo 2 Cosntruccion de redes de gas natural, 2015)

- f) **Programa de manto:** Una vez que la tubería ha sido soldada y se ha hecho la prueba de radiografía, se debe proceder al manto. Para ello se usa poliepoxy primer adhesivo, manto tricapa, combustible (GLP en garrafa). Con ayuda de un arenador se debe pulir la parte soldada de la tubería hasta dejarla con un color brillante, se debe aplicar el primer aplicándole calor emitido por un soplete con combustible GLP, encima del primer se coloca el manto y con la ayuda de un rodillo se sacan las burbujas de aire generadas durante el proceso.

El manto estará a cargo de un especialista y su ayudante. Una vez en frio, se debe realizar una prueba de resistencia al manto. Se pueden hacer uso de herramientas menores como esponja, dinamómetro, alicates, entre otros. (Hidrocarburos, Anexo 2 Cosntruccion de redes de gas natural, 2015)

- g) **Protección catódica:** Para dar protección contra la corrosión de la tubería se debe aplicar la protección catódica, cuya instalación va depender del nivel freático y estudio del suelo por el que el ducto vaya recorrer. En este caso se va colocar la protección catódica con ánodo de sacrificio. mediante una soldadura cupro-aluminotermica a cargo

de un soldador calificado usando un equipo de soldadura cadwell. (Hidrocarburos, Anexo 2 Cosntruccion de redes de gas natural, 2015)

- h) Colocado de válvula API 6:** Las válvulas tipo compuerta se colocarán cada 300 m a lo largo de nuestro ducto, las cuales deben ser bridadas. Para dicha operación se debe contar con un especialista y ayudante que deberán instalar las mismas y ajustar las bridas propias de la válvula con herramientas menores como llaves, torquímetros, entre otros. (Hidrocarburos, Anexo 2 Cosntruccion de redes de gas natural, 2015)
- i) Holy detector:** De la misma manera se debe verificar la integridad mecánica de la tubería, para ello se debe realizar la prueba del holy detector. Esta prueba consiste en usar un equipo que pase alrededor de la tubería, muy parecido a un detector de metales. Ante el contacto del equipo (holy detector) con metal, se detecta un daño al recubrimiento de la tubería. (Hidrocarburos, Anexo 2 Cosntruccion de redes de gas natural, 2015)
Para dicho procedimiento se necesita del servicio del operador calificado del holy detector.

2.1.2.3.1 Pruebas

Una vez que se ha construido la red primaria queda verificar su integridad, para ello se debe realizar la prueba hidráulica utilizando 3 chanchos de limpieza, 3 chanchos de secado, 1 brida ciega, 1 registrador de prueba de presión Barton, 1 registrador de temperatura Barton, cisterna de 20000LT, 1 bomba de agua. (Prueba hidráulica). (Hidrocarburos, Anexo 2 Cosntruccion de redes de gas natural, 2015)

Figura 4: *Prueba Hidráulica de tuberías*



Fuente: Extraído de la página de Aristegui maquinaria

Dicho procedimiento requiere de los servicios de especialista, ayudante y chofer de la cisterna encargado del traslado del agua. Se debe llenar el ducto con la ayuda de la bomba y la cisterna, mandando los chanchos y verificar la hermeticidad (prueba hidrostática). (Hidrocarburos, Anexo 2 Cosntruccion de redes de gas natural, 2015)

2.1.2.4 Alternativas de suministro de gas natural al municipio de Batallas

Las alternativas de abastecimiento que podrían beneficiar al municipio de Batallas son escasas, el proyecto presentado por Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos (YPFB) de abastecer de gas natural comprimido por redes virtuales no llego a hacerse realidad por los equipos y medios que se necesitan para poder realizar este proceso, representa un costo elevado y al mismo tiempo por la calidad de caminos y carreteras que tiene el municipio de Batallas el ingreso y la distribución de gas por este medio se complica más y representa un proceso que se hace más largo al realizar la mejora de carreteras y la obtención de los medios para comprimir el gas al igual que realizar su transporte en las unidades móviles correspondientes. La distribución por garrafas y en camión es la variante que se pudo adaptar hasta la actualidad haciendo llegar este tipo de energía al municipio para uso doméstico. Una red primaria en el municipio provee de más posibilidades y variantes de uso del gas natural para mejorar la calidad de vida para los habitantes del municipio como ya se mencionó anteriormente. (Y.P.F.B., 2015)

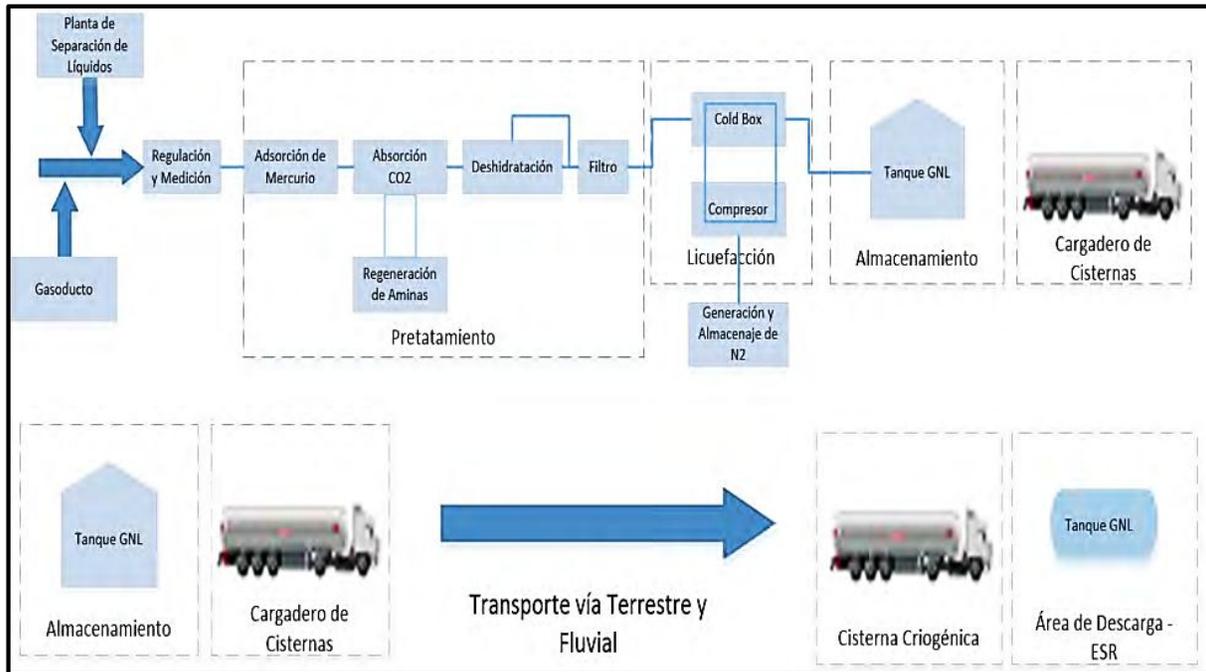
La ruta que se puede observar en la Figura 3 nos ayuda a determinar con mayor facilidad el diseño de la red primaria, de acuerdo a distancia y elevación que sirven como datos para el cálculo de velocidad, espesor y diámetro de la tubería que se utilizara. (Y.P.F.B., 2015)

Los datos, información y estimación de costos se muestran con detalle en el siguiente punto.

El Plan de Inversiones 2009-2015 de YPF B Corporación establece la necesidad de expandir la distribución del gas natural a todo el país, incluidas poblaciones de área rural que se encuentran alejadas de los centros de distribución energética existentes, para esto ha definido la implementación del Sistema de Gas Virtual que consta de un paquete de proyectos de inversión destinados a cumplir con la estrategia señalada. Durante la gestión 2010, la GNRGD realizó el “Estudio de Ingeniería Conceptual Sistema Virtual de Distribución de Gas Natural Licuado”, mismo que definió las bases para llevar a cabo el Proyecto GNL en todo el país. Durante la gestión 2011, YPF B contrató la realización del Estudio de la Ingeniería Básica Extendida del proyecto GNL, adjudicando a la empresa Mira Tecnología, que efectuó el diseño y la ingeniería de la Planta de Licuefacción, las 27 Estaciones Satelitales de Regasificación, las Cisternas de GNL y los Vaporizadores Móviles. (Y.P.F.B., 2015)

Figura 5: *Esquema sobre la producción, transporte, almacenaje y regasificación*

de gnl



Fuente: Extraído de un sistema de GNRGD-DGV, YPFB

Se le ha encomendado a la Gerencia Nacional de Redes de Gas y Ductos (GNRGD) la implementación del Sistema de Gas Virtual en las diferentes poblaciones del país, para lo que se ha creado la Dirección de Gas Virtual (DGV), misma que tiene como función la administración y operación de las Estaciones Satelitales de Regasificación (ESR). Al realizar la evaluación de la capacidad instalada de la Planta de GNL, y contrastar la misma con el consumo proyectado en las poblaciones seleccionadas para la primera etapa de implementación del proyecto GNL, se evidenció la necesidad de aprovechar la capacidad remanente de la planta, para cumplir con este propósito por intermedio del presente documento, se efectuará un análisis para identificar las poblaciones que potencialmente pueden formar parte del Sistema de Gas Virtual, la tecnología a emplearse y aquellos aspectos relacionados con este propósito. (Y.P.F.B., 2015)

2.1.2.4.1 Suministro mediante GNC

Esta alternativa se basa en la producción GNC en una Planta de Compresión o bien en una ESR, el cual es transportado en contenedores portátiles de GNC12 clasificadas según la tecnología y

su capacidad de almacenaje, estos contenedores son transportados por Camiones o Tracto Camiones hasta Estaciones Satelitales de Descarga (ESD), donde se descomprimirá el GNC y empleará el mismo para el consumo de los diferentes segmentos de usuarios existentes. La cadena de distribución de GNC se compone en tres procesos importantes:

- Compresión, consiste en reducir el volumen del gas natural aproximadamente 250 veces o menos en una planta de compresión o bien en una ESR, posteriormente el GNC es almacenado en contenedores portátiles e GNC a una presión de hasta 250 bar según la tecnología utilizada.
- Transporte, se realiza en contenedores portátiles de GNC especialmente diseñados para contener GNC a altas presiones, los mismos son dispuestos en diferentes tecnologías (Racks de Cilindros, Módulos, Skids, entre otros), estos contenedores portátiles son desplazados en camiones o tracto camiones hasta las poblaciones donde se tiene instalada una ESD.
- Descarga, consiste en la descarga de GNC desde los contenedores portátiles que son transportados por las unidades de transporte hasta los contenedores portátiles de GNC que son instalados en la ESD para su posterior almacenamiento y distribución.
- Descompresión, este proceso se da lugar en la ESD que consiste en llevar el GN a condiciones adecuadas de distribución, para ello se reduce la presión a condiciones requeridas para su introducción a las redes de distribución. (Y.P.F.B., 2015)

2.1.2.4.2 Contenedores portátiles intercambiables de GNC

Para el transporte de GNC, se tiene una variedad de tecnologías y modelos que brindan diferentes características en cuanto a la capacidad de almacenaje, presión de trabajo, peso, material, y otros. Por lo dicho anteriormente, a continuación, se citan las tecnologías y modelos más importantes encontrados en el mercado, para su posterior evaluación e implementación en el proyecto. (Y.P.F.B., 2015)

Figura 6: *Contenedores de GNC*



Fuente: Extraído de la página de La Fuente Jurídica

Estos contenedores portátiles intercambiables de GNC son parte integral de la infraestructura para vehículos y aplicaciones que utilizan gas natural como combustible alternativo. Permiten un suministro seguro y conveniente de gas para una variedad de usos en diferentes contextos, desde vehículos hasta aplicaciones industriales y residenciales. (Y.P.F.B., 2015)

2.1.2.4.3 Racks de Cilindros

Estos contenedores portátiles intercambiables de GNC, utilizan cilindros horizontales o verticales con capacidad de almacenaje de 615 Sm³, donde se almacena gas natural hasta una presión de 250 bar, los mismos son empaquetados en racks (conjunto de cilindros de GNC que cuentan con armazón metálico) para su transporte. Cabe destacar que esta tecnología no requiere de un transporte especialmente diseñado para estos contenedores, debido a su tamaño y peso que son relativamente pequeños. (Y.P.F.B., 2015)

Figura 7: Típico rack de transporte y almacenaje de GNC.



Fuente: Extraído de un sistema de GNRGD-DGV, YPFB

Sin embargo, estos contenedores son montados y desmontados ya sea mediante grúas o remolques instalados en las unidades de transporte. (Y.P.F.B., 2015)

2.1.2.4.4 Módulos

Estos contenedores portátiles intercambiables utilizan cilindros con capacidad de almacenaje aproximado de 5.200 Sm³ hasta una presión de 250 bar, los mismos son introducidos en módulos (carcaza de protección) que van adosados a las unidades de transporte, cabe destacar que el traslado de estos módulos se realiza en la carrocería de camiones y en semirremolques llevados por tracto camiones, especialmente diseñados para este fin y patentados por la misma compañía. (Y.P.F.B., 2015)

Estos módulos suelen estar contruidos con materiales resistentes y seguros, como acero de alta resistencia, y están diseñados para soportar las presiones a las que se somete el gas cuando está comprimido. (Y.P.F.B., 2015)

Figura 8: *Típico módulo de transporte y almacenaje de GNC.*



Fuente: Extraído de un sistema de GNRGD-DGV, YPFB

Por lo general, los módulos de GNC están certificados y cumplen con normativas de seguridad específicas para garantizar su integridad durante el almacenamiento y el transporte. (Y.P.F.B., 2015)

2.1.2.4.5 Contenedores portátiles fijos de GNC

Estos contenedores portátiles fijos de GNC pueden ser fabricados principalmente en dos tipos de materiales, acero con capacidad de almacenaje de 6.988 Sm³ aproximadamente y fibra de carbono con capacidad de almacenaje de 10.000 Sm³ aproximadamente, los mismos están compuestos por cilindros horizontales que son adosados al camión o tracto camión para su transporte. (Y.P.F.B., 2015)

Su diseño y prefabricación controlada los convierten en una opción atractiva para optimizar procesos y sistemas complejos en diferentes campos industriales. (Y.P.F.B., 2015)

Figura 6: *Contenedor portátil fijo de GNC – Acero.*



Fuente: Extraído de un sistema de transporte de líquidos GNRGD-DGV, YPFB

Los skids de GNC proporcionan una forma estacionaria y fija de almacenar y suministrar gas natural comprimido, facilitando su distribución a vehículos o equipos que utilicen GNC como combustible, así como su uso en aplicaciones industriales donde se requiere este tipo de energía. (Y.P.F.B., 2015)

2.1.2.4.6 Suministro de GNC mediante Skids con unidades de compresión

Esta metodología de almacenaje y transporte de GNC, se basa en el empleo de contenedores portátiles de GNC compuestos de cilindros que son combinados con una unidad de compresión, haciendo que sea posible el trasvase de GNC sin la necesidad de montar y desmontar los contenedores. (Y.P.F.B., 2015)

Figura 9: *Típico Skids de GNC que viene Incorporado la Unidad de Compresión*



Fuente: Extraído de un sistema de transporte de líquidos GNRGD-DGV, YPFB

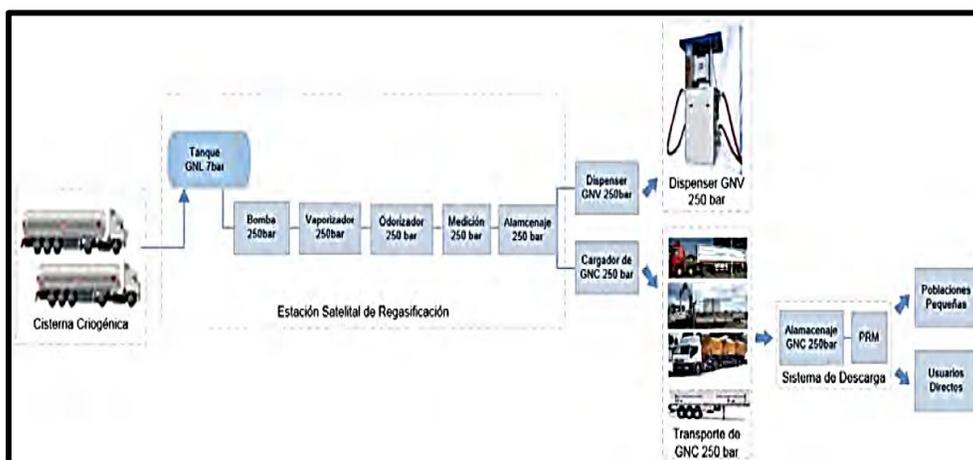
Estos skids están equipados con unidades de compresión que se encargan de aumentar la presión del gas natural, permitiendo su almacenamiento a presiones más altas que las presentes en el suministro de gas natural de red. Estas unidades de compresión son esenciales para preparar el gas para su distribución y uso posterior. (Y.P.F.B., 2015)

2.1.2.4.7 Carga a partir de una ESR

Esta alternativa consiste en la producción de GNC a partir en una ESR, mismo que luego es acopiado en contenedores portátiles de GNC. Sin embargo, para dar lugar a esta alternativa de suministro de gas natural, cabe destacar que la ESR debe contar con ciertas características en su diseño:

- La ESR debe contar con un sistema de alta presión, es decir, tener bombas de alta que eleven la presión del líquido desde la presión del tanque de almacenaje hasta 250 bar.
- El sistema de regasificación de la ESR debe tener en su configuración, un regasificador que cambie el GNL de fase líquida a gaseosa a la misma presión de 250 bar, para luego conducir el flujo hacia un puente de carga de GNC aguas abajo del regasificador.
- El puente de carga de GNC debe contener en su diseño válvulas de seguridad, suficientes para garantizar la carga y medición de GNC para su posterior transporte

Figura 10: Esquema de suministro de GNC a partir de una ESR



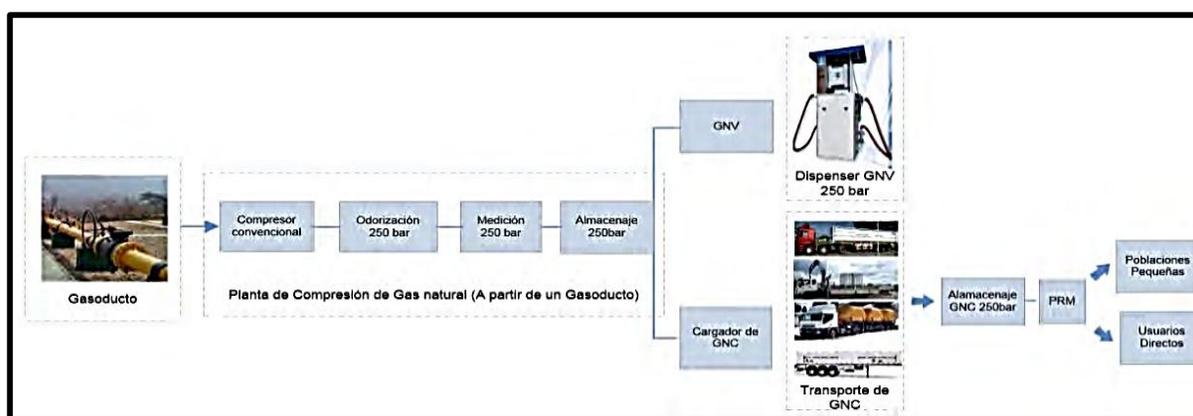
Fuente: Extraído de un sistema de transporte de líquidos de GNRGD-DGV , YPFB

Este proceso puede variar en detalles dependiendo de la estación de servicio específica, el tipo de vehículo o equipo, así como las regulaciones y sistemas de carga establecidos en cada lugar. Sin embargo, en esencia, implica el suministro controlado y seguro de gas natural comprimido desde la estación de servicio hacia el tanque de almacenamiento del vehículo que lo requiere. (Y.P.F.B., 2015)

2.1.2.4.8 Carga a partir de una planta de compresión

Por otro lado, cuando no se cuente con una ESR diseñada para elevar la presión hasta 250 o bien las ESD se encuentren muy alejadas de una ESR, se optará por tomar el flujo de gas natural desde una Planta de Compresión. (Y.P.F.B., 2015)

Figura 11: Esquema de suministro de GNC a partir de una Planta de Compresión



Fuente: Extraído de un sistema de transporte de líquidos GNRGD-DGV, YPFB

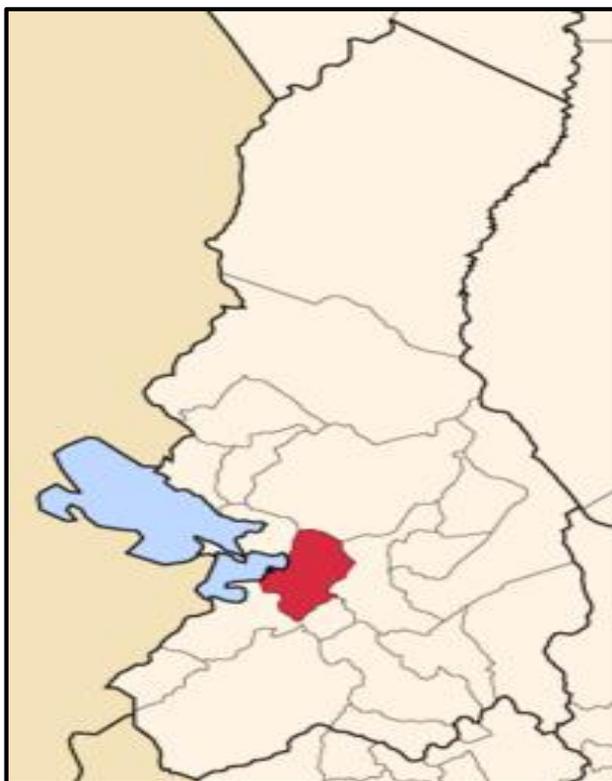
La Planta de Compresión toma el gas natural desde el gasoducto más cercano y eleva la presión del mismo desde la presión de operación del gasoducto o bien una presión regulada, hasta 250 bar para su posterior acopio en contenedores portátiles de GNC, obteniendo de esa manera GNC apto para ser transportado a poblaciones en las que resulte eficiente implementar esta alternativa suministro. El proceso de carga a partir de una planta de compresión es crucial para la distribución y el suministro de gas natural comprimido a diferentes usuarios, incluyendo vehículos, industrias y aplicaciones residenciales o comerciales que utilizan GNC como fuente de energía. (Y.P.F.B., 2015)

2.1.3 Información y datos obtenidos

2.1.3.1 Análisis de la implementación de una red primaria de gas natural para abastecer el municipio de Batallas

El desarrollo de la presente monografía se llevará a favor de la población de Batallas, dicha localidad que se halla ubicada en el departamento de La Paz.

Figura 12: *Ubicación del municipio de Batallas.*



Fuente: Extraído de Wikipedia

Es uno de los cuatro municipios de la provincia de Los Andes y se encuentra en la parte norte de esta. Limita al oeste con el lago Titicaca y el municipio de Puerto Pérez, al sur con el municipio de Pucarani, al norte con la provincia de Larecaja, y en el noroeste con la provincia de Omasuyos. (Bolivia, 2023)

2.1.3.2 Descripción de la zona

Batallas es un municipio boliviano de la tercera sección municipal de la provincia Los Andes en el departamento de La Paz. Se encuentra ubicado a 50 km de la ciudad y se halla a 3.985 metros sobre el nivel del mar. (Bolivia, 2023)

Según el censo nacional de 2012, el municipio de Batallas cuenta con una población de 17,284 habitantes. (Bolivia, 2023)

Figura 13: *Municipio de Batallas.*



Fuente: Elaboración Propia en base a datos de Google Earth

La ruta que se propone está dentro del área delimitada del municipio de Batallas de La Paz, desde esta red primaria se puede implementar redes secundarias para ampliar el abastecimiento a toda la población de forma constante. (Bolivia, 2023)

Figura 14: Ruta de red primaria.



Fuente: Elaboración Propia con datos de Google Earth

Con el dato de la ruta trazada podemos encontrar la elevación máxima que tendrá la ruta, de esta manera podemos determinar si es necesario una estación de compresión en alguna parte del tramo dependiendo también de los diámetros a utilizar de acuerdo al caudal necesario para poder abastecer al municipio de Batallas. (Bolivia, 2023)

Figura 15: Plano de elevación de la ruta (menor a 30 metros)



Fuente:Elaboración Propia con datos de Google Earth

También es beneficioso porque permite identificar puntos críticos donde podrían surgir problemas de presión o flujo, ayudando a planificar mejor el diseño y la operación de la red para garantizar un funcionamiento eficiente y seguro. (Bolivia, 2023)

Con los datos obtenidos del anexo 1 de la agencia nacional de hidrocarburos (ANH) y el número de usuarios podemos obtener el caudal domestico que se necesitara para el municipio de Batallas.

Tabla 2: *Consumo doméstico.*

Año	Nº De Habitantes	Nº De Usuarios
2023	17284	4321
2033	19667	4917

Fuente: Elaboración propia en base a datos de la agencia nacional de hidrocarburos

Llegando a tener una tasa de crecimiento del 13 %.

- Calculo del consumo doméstico con los datos obtenidos de la anterior tabla 2:

$$Q_{dom} = (A_1 * C_1 * S_1 + A_2 * C_2 * S_2) * N$$

$$Q_{dom} = (0.972 * 1 * 0.3 + 1.459 * 1 * 0.2) * 4917$$

$$Q_{dom} = 3572.51543 \text{ m}^3/\text{h}$$

A = Porcentaje de cobertura del aparato

C = Consumo del aparato

S = Coeficiente de simultaneidad del aparato

N = Número de usuarios de categoría domestico proyectado

- Realizamos el cálculo del consumo comercial total haciendo un conteo en general del tipo de actividades que existe en el municipio de Batallas. (Hidrocarburos, Diseño de redes de gas natural, 2014)

Tabla 3: Consumo comercial.

No	Tipo De Actividad	Cantidad	Consumo Pico Mensual Proyectado(M3 /H)	Consumo Total (M3/H)
1	Restaurantes	8	1.62	12.96
2	Panaderías	15	1.22	18.3
3	Unidades educativas	5	0.1	0.5
4	Centros de salud	3	9.2	27.6
TOTALES				59.36

Fuente: Elaboración propia en base a datos del último censo.

De acuerdo al último censo que se realizó en el municipio de Batallas se logró determinar el tipo de actividades que se realizan en el lugar al igual que la cantidad de cada actividad, teniendo, así como base un estimado del consumo mensual pico de cada actividad individualmente y en total que nos sirve para realizar el cálculo del consumo comercial que existe en el municipio de Batallas. (Bolivia, 2023)

El consumo total según el consumo pico mensual proyectado:

$$Q_{com} = 59.36 \text{ m}^3/\text{h}$$

- **Calculo del consumo de GNV'S :**

$$Q_{GNV} = 750 \text{ m}^3/\text{h} * 1$$

$$Q_{GNV} = 750 \text{ m}^3/\text{h}$$

De acuerdo a la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH) existen alrededor de 225 vehículos en el municipio de Batallas, los cuales poseen una capacidad promedio de 40 m³ de GNV por cada tubo lo que nos lleva a determinar aproximadamente que el consumo de m³/h es de 750 por cada estación de GNV que existe dentro del municipio de Batallas. (Hidrocarburos, Diseño de redes de gas natural, 2014)

- **Calculo del consumo total:**

$$Q_{total} = Q_{dom} + Q_{com} + Q_{GNV}$$

$$Q_{total} = 3572.51543 \text{ m}^3/\text{h} + 59.36 \text{ m}^3/\text{h} + 750 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_{total} = 4381.87543 \text{ m}^3/\text{h}$$

El caudal de consumo total es la suma de las áreas observadas como domiciliaria, comercial y GNV de acuerdo a los datos obtenidos y cálculos realizados, obteniendo el caudal por hora que se necesitara en el municipio de Batallas. (Hidrocarburos, Diseño de redes de gas natural, 2014)

2.1.3.3 Diseño de la red primaria

En esta tabla se realiza el cálculo de diámetro de la tubería con datos obtenidos de cada tramo:

Tabla 4: *Calculo de diámetro.*

Tramo	D _{int} (plg)	D _{ext} (plg)	S (Psi)	E	F	T	P (Psia)	t _{calc} (plg)	t _{nominal} (plg)	Criterio
AB	2.072	2.38	35000	1	0.5	1	907.50	0.0616	0.154	Cumple
BC	4.000	2.38	35000	1	0.5	1	723.50	0.0491	0.154	Cumple

Fuente: Elaboración propia en base a datos obtenidos.

Se debe considerar varios factores como la cantidad de gas que se espera suministrar, la presión requerida, longitud de red, la capacidad de flujo entre otros. (Hidrocarburos, Diseño de redes de gas natural, 2014)

2.1.3.4 Clase de trazado

La clase de trazado para la población de Batallas será CLASE 2, ya que en un área de 1.600 metros de longitud y 400 metros de ancho existe un número de viviendas mayores a 10 y menor a 46.

Tabla 5: *Calculo de espesor.*

Tramo	D _{int} (plg)	D _{ext} (plg)	S (Psi)	E	F	T	P (Psia)	t _{calc} (plg)	t _{anomial} (plg)	Criterio
AB	2.072	2.38	35000	1	0.5	1	907.50	0.0616	0.154	Cumple
BC	2.072	2.38	35000	1	0.5	1	723.50	0.0491	0.154	Cumple

Fuente: Elaboración propia según datos obtenidos

En este punto se realiza el cálculo de velocidad para determinar la rapidez con la que el gas fluirá a través de la tubería

Tabla 6: *Calculo de velocidad.*

Tramo	Long (m)	Long (milla)	D _{adop} (plg)	Q _{req} (m ³ /h)	Q _{req} (MPCD)	P _{atm} (psig)	P _{inic} (psig)	P _{Fin} (psia)	P ₁ (psia)	P ₂ (psia)	P _{prom} (psia)
AB	925.00	0.575	2.00	4167.75	3532.4	9.13	780.00	620.00	789.13	629.13	712.14
BC	725.00	0.450	2.00	3417.75	2896.7	9.13	620.00	470.00	629.13	479.13	557.51

P _o (psia)	T (°K)	T _o (°R)	T (°R)	V (m/s)	E	G	Z	Q _{weymouth} (MPCD)	Q _{weymouth} (m ³ /h)
14.696	278	520	501	11.34	1	0.62	0.886	3691.2	4355.05
14.696	278	520	501	11.89	1	0.62	0.911	3516.8	4149.27

Fuente: Elaboración propia según datos obtenidos

Los resultados obtenidos en las tablas 4,5 y 6 fue una elaboración propia realizada en Excel con todos los datos obtenidos, para la tabla 4 y 5 el diseño de tubería se puede observar en bibliografías de Shashi Menon y para mayor entendimiento del cálculo de diámetro al igual que el espesor, con ayuda de los anexos de la ANH se puede comprobar que los resultados obtenidos son buenos y también los esperados para el diseño de la tubería de la red primaria que se está planteando en la presente monografía, para la tabla 6 los datos iniciales con los que se cuentan son las de longitud, diámetro, caudal requerido, presión atmosférica, presión inicial y final de cada tramo y temperaturas, que con estos datos de inicio se puede llegar a llenar el resto de la tabla ya con las formulas correspondientes para el cálculo de cada casilla a llenar en la tabla de

Excel, en algunos casos solamente es la transformación de unidades para fines prácticos para realizar ciertos cálculos. (Hidrocarburos, Diseño de redes de gas natural, 2014)

Los resultados nos dan a entender que el diámetro y espesor de la tubería podrá resistir la velocidad, caudal y condiciones del gas natural que circulara por dicha red, diseño que fue realizado en base a las especificaciones geográficas que tiene el terreno del municipio de Batallas en cuanto a la altura y longitud de los tramos planteados. (Hidrocarburos, Diseño de redes de gas natural, 2014)

2.1.4 Estimación de costos

Las obras preliminares como tramites, control topográfico e instalación y movilización de faenas tiene un costo aproximado de 50.000 bs.

Las obras civiles en general tienen un costo aproximado de 400.000 bs

Las obras mecánicas en general tienen un costo aproximado de 700.000 bs

Tabla 7: *Estimación de costos.*

Obras	Precio En Bs.
Obras preliminares	50.000
Obras Civiles	400.000
Obras mecánicas	700.000
Total	1.150.000

Fuente: Elaboración propia en base a datos de YPFB transporte.

Los datos estimados están basados en diferentes diseños de redes primarias que ya se realizaron con anterioridad, una de ellas es la red primaria que existe actualmente en Laja que fue puesta en marcha aproximadamente hace 8 años, dependiendo de la distancia y tiempo estimado de construcción de la red primaria se pudo estimar el costo aproximado del tramo planteado en el municipio de Batallas. (Iglesias, 2003)

De estas obras se desglosan a continuación algunos aspectos que son de importancia relevante para la elaboración de la red primaria para el municipio de Batallas, los siguientes datos fueron estimados con precio de mercado actual con los que se pueden llegar a obtener dichos materiales y servicios:

Tabla 8: *Detalle de costos en base a precio de mercado*

Detalle	Cantidad	Precio Unitario	Jornal	Precio Total
Tuberías	140 unidades	500 bs.	-	70.000 bs.
Electrodos	100 kg.	25 bs.	-	2.500 bs.
Zanja	10 días	500 bs.	-	5.000 bs.
Revestimiento de tubería	1	10.000 bs.	-	10.000 bs.
Holyday	1	7.000 bs.	-	7.000 bs.
Radiografía	1	21.000 bs.	-	21.000 bs.
Mano de obra	20 p. x 30 días		150	90.000 bs.
Prueba hidrostática	1	35.000 bs	-	35.000 bs.
Señalización enterrada	1	2.000 bs.	-	2.000 bs.
Cinta	5	350 bs.	-	750 bs.
Disco galleta	150 unidades	15 bs.	-	2.250 bs.
Disco chascoso	50 unidades	45 bs.	-	2.250 bs.

Fuente: Elaboración propia en base a datos del mercado actual.

- La distancia de esta red primaria es de 1650 metros, cada tubería tiene una longitud de 12 metros por lo que se necesitaran 140 tubos, el costo por tubo es de 500 bs. aproximadamente por lo que el costo de tuberías es de 70.000 bs.
- La cantidad de electrodos a utilizar es alrededor de 100 kg. El precio por cada kilogramo es de 25 bs. Por lo que el costo de electrodos es de 2.500 bs
- Aproximadamente la zanja se realizará en 10 días estimando un gasto de 500 bs. Por día incluida la reposición por lo que el costo total de la zanja es de 5.000 bs.
- El revestimiento de tubería para este tramo es aproximadamente 10.000 bs
- Holyday aproximadamente tiene un costo de 7.000 bs
- La radiografía tiene un costo aproximado de 21.000 bs

- Estimando que se necesitaran 20 personas para realizar el trabajo con un pago de 150 bs. el jornal durante aproximadamente 30 días el costo de mano de obra es de 90.000 bs.
- La prueba hidrostática tiene un costo aproximado de 35.000 bs.
- La señalización enterrada tiene un costo aproximado de 2.000 bs.
- El costo de la cinta para este tramo es de 350 bs por cada cinta de 300 metros, se emplearán 5 cintas por lo que el costo total es de 1750 bs.
- Se utilizarán 150 discos galleta con un costo de 15 bs cada una aproximadamente por lo que el costo total es de 2.250 bs.
- Se utilizarán 50 discos chascosos aproximadamente con un costo de 45 bs. cada disco aproximadamente por lo que el costo total es de 2.250 bs.

Siendo este un proyecto para la población el financiamiento con el que se cuenta para poder realizar la red primaria en el municipio de Batallas proviene del Estado. Tomando en cuenta la cantidad de personas teniendo como promedio un total de 4 personas por familia con un pago mínimo de 9 bolivianos por cada familia al mes, la inversión del proyecto podrá ser recuperada alrededor de 30 meses más el costo de mantenimiento que se debe realizar en la red primaria. (Chávez, 2013)

2.2 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

De acuerdo a los antecedentes presentados y los resultados se pudo observar que la implementación de una red virtual en el Municipio de Batallas no es posible debido a la falta de inversión al municipio y también la deficiencia tecnológica por la que pasa el país para implementar este método de abastecimiento de energía, el principal aporte que se puede obtener de esta red primaria es la mejora de calidad de vida y reducción de costos en cuanto a energía en el municipio de Batallas.

Los resultados obtenidos son muy cercanos a los esperados, con este inicio de red primaria se pueden realizar redes secundarias para los domicilios y edificaciones grandes que podrían existir en un futuro, las limitaciones que se presentaron en este trabajo fueron en cierto modo la obtención de datos debido a que el municipio se encuentra alejado de la ciudad de La Paz y en algunos sitios web e instituciones como YPFB o la ANH no cuentan con cierto tipo de

información que podría servir de mucha ayuda para poder analizar de mejor manera la implementación de esta red primaria en el municipio de Batallas.

De todas maneras existen diferentes formas para poder encontrar datos necesarios para el diseño como la altura del tramo trazado y la distancia que se recorrerá con diferentes aplicaciones que nos ofrece la tecnología actual que con un poco de tiempo y paciencia se puede entender cómo utilizar estas herramientas para la obtención de algunos datos requeridos. Es también posible que otro investigador replique el estudio realizado en esta ocasión ya que el estudio de esta área también abre espacios para otro tipo de investigaciones como la implementación de redes secundarias o incluso la ampliación de esta red primaria hacia otro municipio, aportando así datos reales obtenidos para cualquier campo de estudio relacionado.

CAPÍTULO III: CONCLUSIONES

- El abastecimiento de gas natural en el municipio de Batallas del departamento de La Paz hasta el día de hoy no es eficiente al 100% debido a la limitación del transporte para poder cumplir con todos los habitantes de dicho municipio e incluso el poder ingresar a ciertos lugares alejados del municipio es difícil por el estado de las carreteras que existen para el transporte de gas natural.
- Se pudo determinar con respecto a la tecnología y costo de uso para la población del municipio de Batallas que la mejor alternativa para el abastecimiento de gas natural es el de la red primaria debido al costo que este implica a diferencia de la red virtual propuesta por YPFB que presenta mayor tecnología, mantenimiento, mejora de rutas de transporte de gas natural comprimido y obtención de equipos necesarios para el transporte del mismo.
- Con la implementación de una red primaria se puede concluir que los beneficios no solo en el ámbito doméstico sino también en la eficiencia de distribución de dicha energía se pueden aprovechar a futuro para mejorar la calidad de vida para todo el municipio de Batallas utilizándolo en cada hogar de forma continua para la cocina, ducha y/o calefacción, así mismo transformar dicha energía en energía eléctrica en un futuro para edificaciones más grandes.
- Con la inversión estimada para la red primaria tomando en cuenta que la población es de 17.824 habitantes en el municipio de Batallas la inversión realizada se debe tomar en cuenta el tiempo de recuperación de inversión y tomando en cuenta el mantenimiento de la red, también se pueden reducir costos del consumo y uso del gas natural, una garrafa hoy en día cuesta alrededor de 25 bs. que solo se podría utilizar para la cocina y una calefacción limitada, por lo que podría durar alrededor de 1 mes en promedio, el costo del gas domiciliario es de 12 bs aproximadamente que puede ser usado para calefacción sin ser tan limitado como la garrafa, puede calentar el agua en el hogar y también se puede utilizar en la cocina, con esa diferencia de precios el costo y uso para la población es más accesible.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- A.Cengel, Y. (2004). *Mecanica de Fluidos*. Colombia: Tirant.
- Argentina, S. d.-R. (2003). *Concepto sobre Hidrocarburos*. Buenos Aires: Instituto Argentino del petroleo y el gas.
- Bolivia, M. d. (10 de Agosto de 2023). *Municipio.com.bo*. Obtenido de <https://www.municipio.com.bo/municipio-batallas.html>
- Chávez, A. H. (2013). *CONSTRUCCIÓN RED PRIMARIA Y SECUNDARIA GAS NATURAL COMUNIDADES RURALES*. Sucre: S/N.
- Gustavo, V. P. (2012). *Recoleccion, transporte y distribucion del gas natural y el crudo*. Santa Cruz: U Virtual centro de excelencia.
- Hidrocarburos, A.N.H. (2014). *Diseño de redes de gas natural*. La Paz: Editorial del Estado.
- Hidrocarburos, A.N.H. (2015). *Anexo 2 Cosntruccion de redes de gas natural*. La Paz: Editorial del Estado.
- Hidrocarburos, A.N.H. (2016). *Anexo 3 Operación y mantenimiento de redes de gas*. La Paz: Editorial del Estado.
- Iglesias, E. P. (2003). *Petróleo y gas natural : industria, mercados y precios*. Buenos Aires: Akal.
- Institute, A. P. (2004). *Specifiction for pipe line*. USA: American Petroleum Institute.
- Martinez, M. (2006). *Calculo de tuberias de redes de gas*. Venezuela: Marcias Martinez.
- Menon, S. (2005). *Gas Pipeline Hydraulics*. Reino Unido: Trafford.

Metrología, S. d. (2008). Calculo de la presion de rocío. En E. Martinez, *Metrología* (pág. 5).
Queretaro: Centro Nacional de Metrologia.

Sandoval, J. L. (2017). *Expotacion de gas y optimizacion de produccion*. Santa Cruz: S/N.

Y.P.F.B. (2015). *Gerencia nacional de redes de gas y ductos*. La Paz: Y.P.F.B.

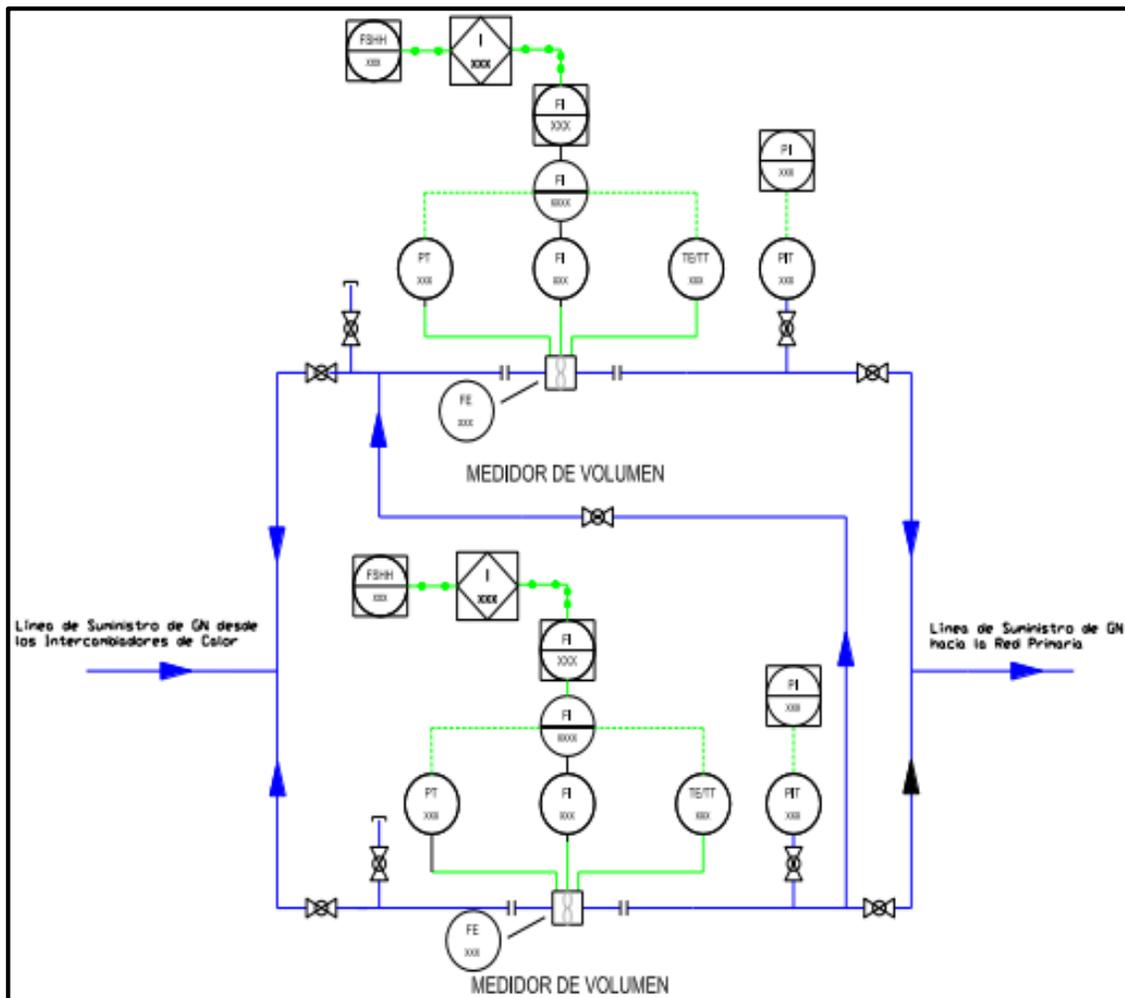
ANEXOS

Anexo 1. Grupos de interés del proyecto de implementación de red de gas.

GRUPO DE INTERÉS	RESULTADO DEL PROYECTO QUE LES INTERESA	GRADO DE INTERÉS	ACTITUD ANTE EL PROYECTO
EXTERNO			
Vecinos de la población	Instalación de gas natural en su domicilio	Alto	Buena
Comerciantes	Instalación de gas natural en su local comercial	Alto	Buena
Organizaciones sociales	Instalación de gas natural en su zona.	Alto	Buena
Empresas contratistas de la obra	Ejecutar la obra en el menor tiempo posible y al menor costo	Alto	Buena
Alcaldías	Mejora de servicios en la población	Medio	Buena
Gobernación	Mejora de servicios en la población	Medio	Buena
ONG's existentes en la zona	Contar con gas natural en su local	Bajo	Indiferente
Iglesias	Contar con gas natural en su local	Bajo	Indiferente
Centro de salud	Contar con gas natural en su local	Alto	Buena
Escuelas o centros educativos	Contar con gas natural en su local	Alto	Buena
Proveedores de equipos y herramientas	Vender la mayor cantidad de insumos y equipos posibles	Medio	Buena
Representantes políticos de la región	Mejorar su influencia en la población	Medio	Variable
Poblaciones vecinas donde no se instalará gas virtual	Ampliar el alcance del proyecto	Alto	Presión, posible conflicto

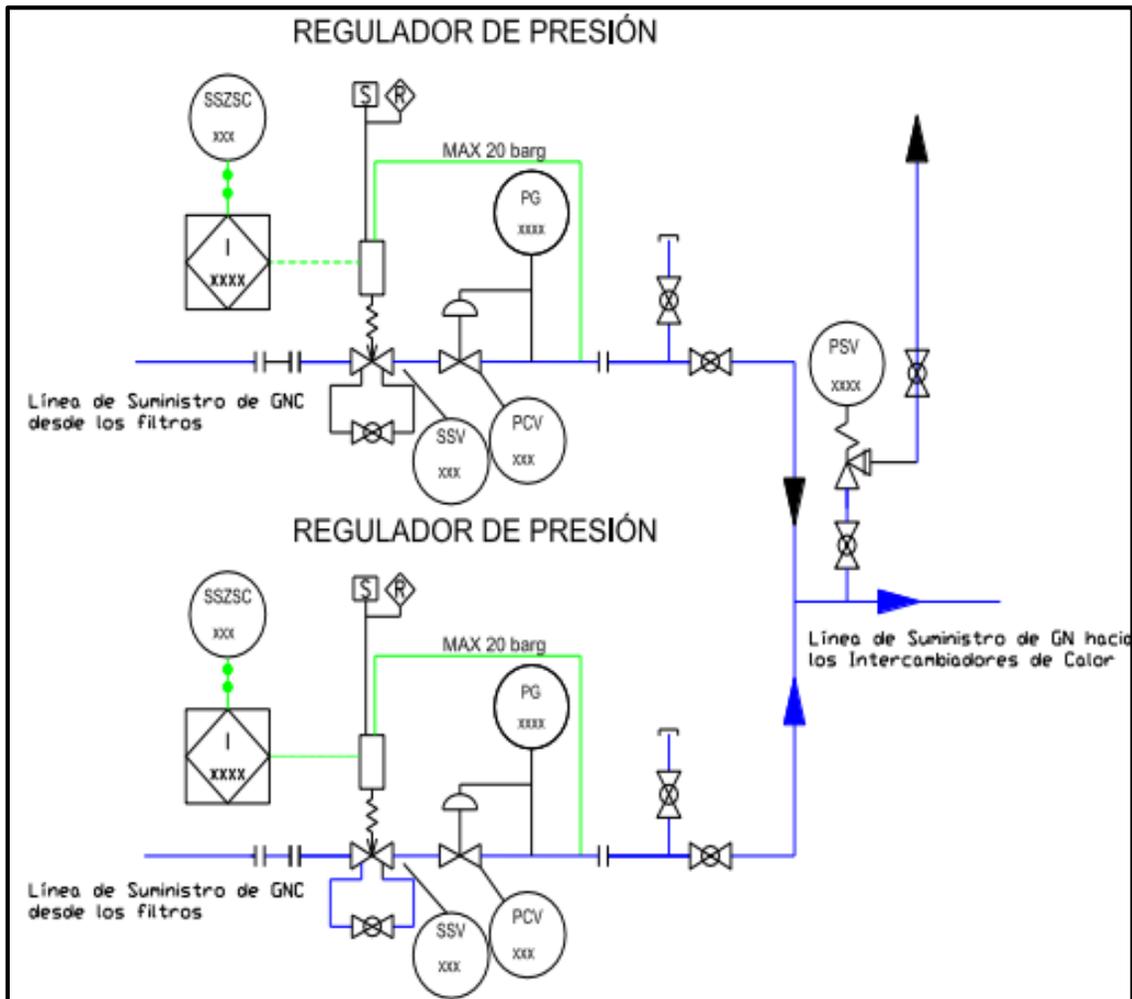
Fuente: Extraído de YPFB-GNRGD-DGV

Anexo 2. Proceso de medición de gas natural.



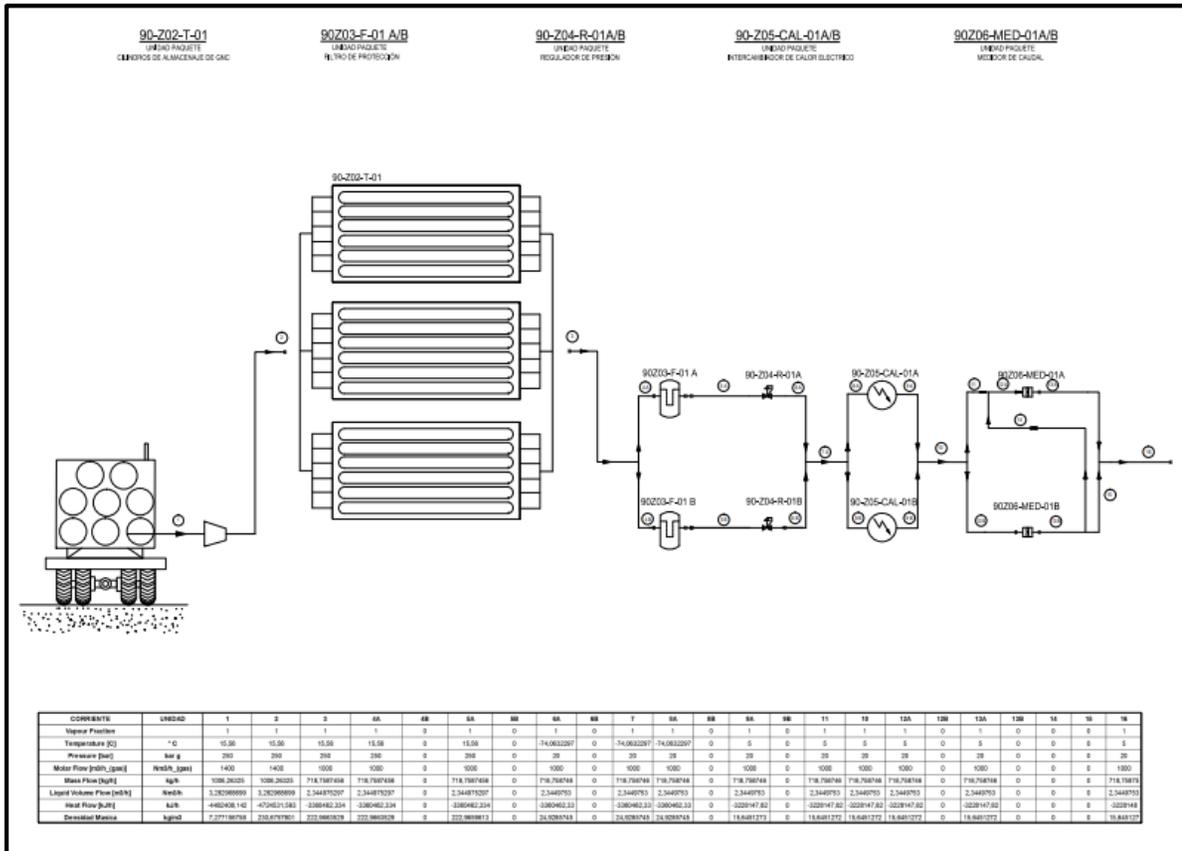
Fuente: Extraído de YPFB-GNRGD-DGV

Anexo 3. Proceso de regulación de GNC



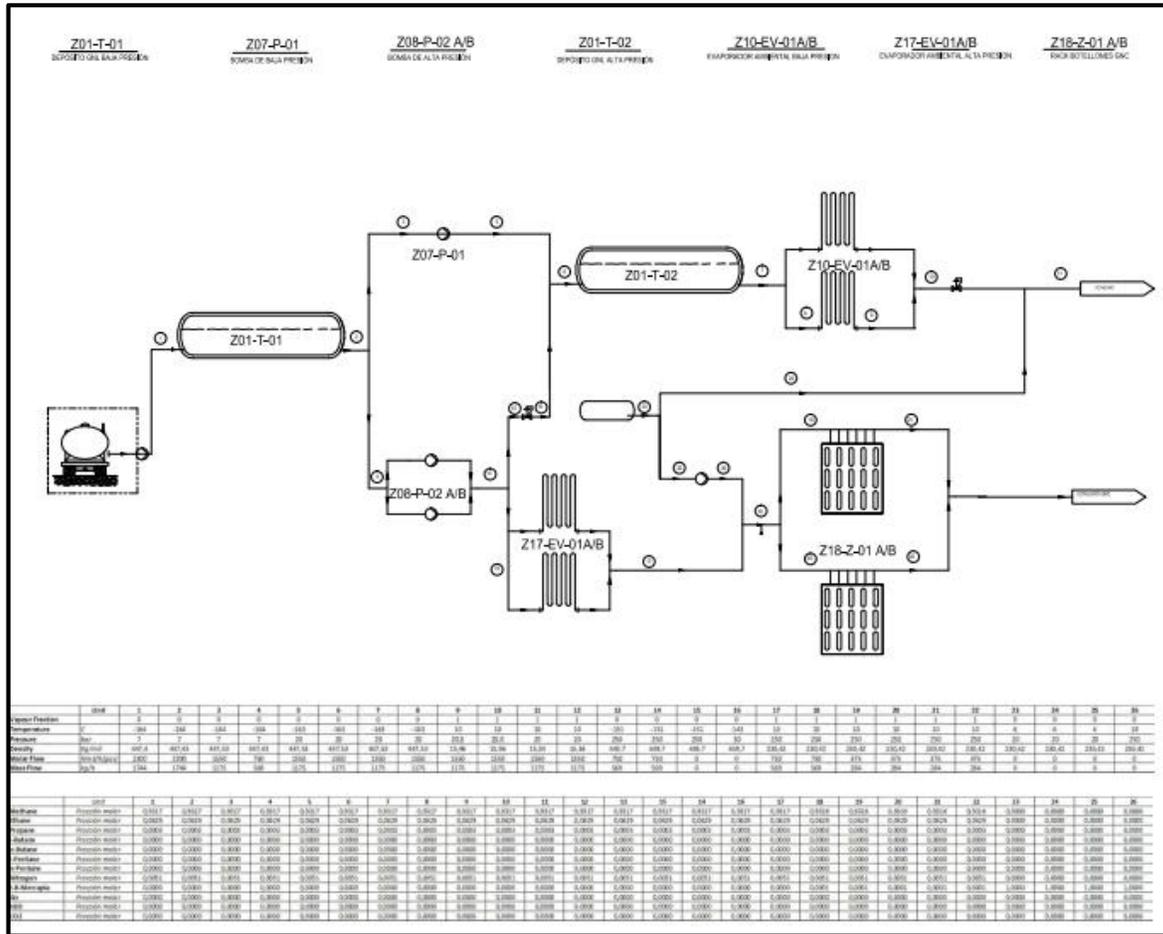
Fuente: Extraído de YPFB-GNRGD-DGV

Anexo 4. Diagrama de flujo de proceso ESD



Fuente: Extraído de YPFB-GNRGD-DGV

Anexo 5. Diagrama de flujo de proceso ESR



Fuente: Extraído de YPFB-GNRGD-DGV