

**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 DISEÑO DE LA RED DE SUMINISTRO DE GAS INDUSTRIAL  
PARA LA NUEVA PLANTA DE ENVASES DE VIDRIO BOLIVIA - ENVIBOL EN  
EL MUNICIPIO DE ZUDAÑEZ – BOLIVIA**

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

**ANÍBAL VÍCTOR RENÉ GARCÍA VELASCO**

**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.

Aníbal Víctor René García Velasco

Sucre, 07 de diciembre de 2023

## **DEDICATORIA**

La presente monografía va dedicada a Dios, por entregarme cada día la bendición, la vida, la salud y la fortaleza para luchar y cumplir con este objetivo de vida.

A mis padres María Eugenia y Víctor René (Q.E.P.D.), quienes, con su inmenso amor, comprensión, paciencia y apoyo incondicional, supieron guiarme por el buen camino hacia la superación, que, con sus regaños, enderezaron el camino para ayudar a culminar con esta etapa de mi vida, sembrando las virtudes que se necesitan para vivir con anhelo y felicidad.

A mis hermanas Noelia y Camila que me impulsaron y apoyaron durante este largo camino.

A mi esposa Valeria y mis hijas Valentina y Sofía, que fueron el impulso durante toda mi carrera y el pilar para la culminación de la misma, que, con su apoyo constante, amor incondicional, han sido fuente de sabiduría, calma y consejo en todo momento, haciendo el camino más claro.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios porque ha sido quien me ha guiado por el camino del bien, dándome la sabiduría, salud y la capacidad intelectual para culminar una etapa más de vida y así poder servir a la sociedad con la sapiencia para el progreso del lugar donde me encuentre, el de mi familia y desarrollo personal.

A mi amada madre, quien me dio la vida y me inculcó los buenos valores de vida, los deseos de superación y ser quien soy, por motivarme e impulsarme y que, con sus palabras de aliento, pueda cumplir con mis expectativas de vida.

A mi padre Q.E.P.D. quien me enseñó que, con trabajo, ganas, sacrificio, constancia y sobre todo estudio, se consigue lo que uno se propone y que en esta vida nadie regala nada.

A mis hermanas por darme el aliento y el impulso para seguir adelante.

A mi esposa y compañera de vida, quien me acompaña y vivió desde el primer día todo el esfuerzo y sacrificio entregado, y quien me dio la fuerza en los momentos más difíciles para levantarme y continuar con la mirada hacia el frente.

A mis hijas Valentina y Sofía, quienes fueron el motor para no rendirme y llegar a ser un ejemplo para ellas.

A toda mi familia, que, con sus oraciones, consejos y palabras, me acompañan en todos mis sueños y metas.

A la Universidad San Francisco Xavier de Chuquisaca, Facultad de Tecnología y docentes, por las enseñanzas impartidas en aulas, las cuales son las bases para la realización de la presente monografía.

A los profesionales involucrados en la elaboración de la presente monografía, quienes, con su experiencia, conocimiento e información proporcionada, supieron aconsejar y guiarme para la conclusión de la misma.

## **RESUMEN**

La presente monografía, contiene el diseño de una instalación de gas industrial mediante un sistema de distribución por tuberías para la nueva planta de Envases de Vidrio de Bolivia - ENVIBOL en la población de Zudáñez, destinada al abastecimiento de gas licuado de petróleo (GLP) para la fabricación de envases de vidrio hueco.

El marco teórico establece una recopilación de conceptos teóricos como ser: planos isométricos, planos de planta, memoria de cálculo, componentes que comprende una instalación industrial y las normas y parámetros que se deben cumplir, describirá la situación de ENVIBOL y los requerimientos referidos a la demanda de los equipos a gas a instalar en el futuro para la ampliación de su nueva planta y cumplir con los objetivos de manera que el lector pueda conocer la temática a tratar.

La elaboración de la monografía, surge ante la necesidad futura de la planta ENVIBOL para contar con un sistema de distribución de gas mediante tuberías para los equipos que así lo requieran, como ser: para el horno de fusión, alimentadores, distribuidores, horno de pre calentamiento de moldes y archas de recocido.

En el diseño, se realizó el dimensionamiento y selección de diámetros, respetando los parámetros de diseño para la velocidad, pérdida de carga y relación caudal y diámetro mediante la ecuación cuadrática de Renouard para presiones mayores a 50 mbar y menores a 4 bar.

Tras los resultados obtenidos, posterior al diseño, se pudo verificar el cumplimiento a los parámetros de diseño, para la posterior elaboración de los planos isométricos y de planta, finalmente se hizo la cuantificación de tuberías requeridas para su implementación y montaje, seleccionando tuberías en acero negro con diferentes diámetros para satisfacer la demanda de los equipos.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

|                                           |            |
|-------------------------------------------|------------|
| <b>DEDICATORIA .....</b>                  | <b>i</b>   |
| <b>AGRADECIMIENTOS .....</b>              | <b>ii</b>  |
| <b>RESUMEN .....</b>                      | <b>iii</b> |
| <b>ÍNDICE DE CONTENIDO .....</b>          | <b>iv</b>  |
| <b>CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN .....</b>     | <b>1</b>   |
| 1.1 ANTECEDENTES. ....                    | 1          |
| 1.1.1 Planteamiento del problema. ....    | 2          |
| 1.2 OBJETIVOS. ....                       | 2          |
| 1.2.1 Objetivo general. ....              | 2          |
| 1.2.2 Objetivos específicos. ....         | 2          |
| 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. .... | 5          |
| <b>CAPÍTULO II: DESARROLLO.....</b>       | <b>6</b>   |
| 2.1 MARCO TEÓRICO. ....                   | 6          |

|           |                                                 |    |
|-----------|-------------------------------------------------|----|
| 2.1.1     | Marco Conceptual.....                           | 6  |
| 2.1.1.1.  | Accesorios. ....                                | 6  |
| 2.1.1.2.  | Alta presión. ....                              | 6  |
| 2.1.1.3.  | Archas de recocido. ....                        | 7  |
| 2.1.1.4.  | Cañería de distribución interna. ....           | 7  |
| 2.1.1.5.  | Caudal de diseño. ....                          | 8  |
| 2.1.1.6.  | Condiciones estándar. ....                      | 8  |
| 2.1.1.7.  | Condiciones normales. ....                      | 9  |
| 2.1.1.8.  | Consumo.....                                    | 9  |
| 2.1.1.9.  | Densidad.....                                   | 9  |
| 2.1.1.10. | Diámetro estándar.....                          | 9  |
| 2.1.1.11. | Diámetro nominal.....                           | 9  |
| 2.1.1.12. | Ecuación de Renouard media y alta presión. .... | 9  |
| 2.1.1.13. | Gas Licuado de Petróleo (GLP). ....             | 11 |
| 2.1.1.14. | Corrosión.....                                  | 11 |
| 2.1.1.15. | Ventajas del GLP. ....                          | 12 |
| 2.1.1.16. | Gas Natural (GN). ....                          | 12 |
| 2.1.1.17. | Gases de combustión.....                        | 12 |
| 2.1.1.18. | Estación GLP.....                               | 13 |
| 2.1.1.19. | Horno de fusión de vidrio.....                  | 14 |

|           |                                         |    |
|-----------|-----------------------------------------|----|
| 2.1.1.20. | Máquinas de formación.....              | 15 |
| 2.1.1.21. | Memoria de cálculo.....                 | 16 |
| 2.1.1.22. | Metro cúbico estándar. ....             | 16 |
| 2.1.1.23. | Metro cúbico normal. ....               | 16 |
| 2.1.1.24. | Pérdida de carga. ....                  | 16 |
| 2.1.1.25. | Plano isométrico.....                   | 16 |
| 2.1.1.26. | Plano de planta. ....                   | 16 |
| 2.1.1.27. | Poder calorífico inferior (P.C.I.)..... | 17 |
| 2.1.1.28. | Poder calorífico superior (P.C.S.)..... | 17 |
| 2.1.1.29. | Potencia. ....                          | 17 |
| 2.1.1.30. | Potencia absorbida.....                 | 17 |
| 2.1.1.31. | Potencia útil.....                      | 17 |
| 2.1.1.32. | Presión.....                            | 17 |
| 2.1.1.33. | Presión absoluta.....                   | 17 |
| 2.1.1.34. | Presión atmosférica. ....               | 17 |
| 2.1.1.35. | Presión de diseño.....                  | 18 |
| 2.1.1.36. | Presión manométrica. ....               | 18 |
| 2.1.1.37. | Puente de regulación primario.....      | 18 |
| 2.1.1.38. | Régimen de presión.....                 | 19 |
| 2.1.1.39. | Puente de regulación secundario. ....   | 19 |



|           |                                                       |    |
|-----------|-------------------------------------------------------|----|
| 2.1.1.40. | Regulador de presión.....                             | 20 |
| 2.1.1.41. | Regulador de presión de primera etapa. ....           | 20 |
| 2.1.1.42. | Regulador de presión de segunda etapa. ....           | 20 |
| 2.1.1.43. | Tubería empotrada.....                                | 20 |
| 2.1.1.44. | Tubería enterrada.....                                | 20 |
| 2.1.1.45. | Tubería vista. ....                                   | 20 |
| 2.1.1.46. | Vaporizadores. ....                                   | 20 |
| 2.1.2.    | Marco contextual. ....                                | 21 |
| 2.1.2.1.  | Ubicación Geográfica.....                             | 21 |
| 2.1.2.2.  | Situación Actual de la planta ENVIBOL. ....           | 22 |
| 2.1.2.3.  | Plano base de la planta. ....                         | 24 |
| 2.1.2.4.  | Software de apoyo: AutoCAD y Excel. ....              | 24 |
| 2.1.2.5.  | Costo actual de GLP. ....                             | 25 |
| 2.1.2.6.  | Alcance.....                                          | 26 |
| 2.2       | INFORMACIÓN Y DATOS OBTENIDOS. ....                   | 26 |
| 2.2.1.    | Variables de diseño.....                              | 26 |
| 2.2.2.    | Diseño de la Red Industrial. ....                     | 29 |
| 2.2.3.    | Criterios de Diseño de la Red Industrial.....         | 30 |
| 2.2.4.    | Elaboración de los planos isométrico y de planta..... | 32 |
| 2.2.4.1.  | Planos isométricos:.....                              | 32 |

|                                         |                                     |           |
|-----------------------------------------|-------------------------------------|-----------|
| 2.2.4.2.                                | Planos de planta:.....              | 34        |
| 2.2.5.                                  | Dimensionamiento de Diámetros. .... | 35        |
| 2.2.6.                                  | Algoritmo de Cálculo. ....          | 36        |
| 2.3                                     | ANÁLISIS Y DISCUSIÓN. ....          | 37        |
| <b>CAPÍTULO III: CONCLUSIONES .....</b> |                                     | <b>38</b> |
| <b>REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.....</b>    |                                     | <b>39</b> |
| <b>ANEXOS .....</b>                     |                                     | <b>41</b> |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1.</b> Accesorios de acero negro .....                      | 6  |
| <b>Figura 2.</b> Archa de recocido .....                              | 7  |
| <b>Figura 3.</b> Instalación industrial de tuberías .....             | 8  |
| <b>Figura 4.</b> Vista General de Estación GLP .....                  | 13 |
| <b>Figura 5.</b> Vista Interior del horno de fusión .....             | 14 |
| <b>Figura 6.</b> Máquinas de formación línea 1 .....                  | 15 |
| <b>Figura 7.</b> Puente de Regulación Primario .....                  | 18 |
| <b>Figura 8.</b> Puente de Regulación Secundario .....                | 19 |
| <b>Figura 9.</b> Batería de vaporizadores .....                       | 21 |
| <b>Figura 10.</b> Ubicación geográfica planta ENVIBOL .....           | 22 |
| <b>Figura 11.</b> Pesaje de cisterna ingreso a ENVIBOL .....          | 23 |
| <b>Figura 12.</b> Plano base en planta - disposición de equipos ..... | 24 |
| <b>Figura 13.</b> Sentido de trazo de tuberías .....                  | 32 |
| <b>Figura 14.</b> Plano Isométrico de diseño .....                    | 33 |
| <b>Figura 15.</b> Plano de planta General .....                       | 34 |
| <b>Figura 16.</b> Esquema general de diseño .....                     | 35 |
| <b>Figura 17.</b> Algoritmo de cálculo .....                          | 36 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabla 1.</b> <i>Composición GLP en Bolivia</i> .....                       | 11 |
| <b>Tabla 2.</b> <i>Composición del Gas Natural en Bolivia</i> .....           | 12 |
| <b>Tabla 3.</b> <i>Importe de GLP por suministro y transporte</i> .....       | 25 |
| <b>Tabla 4.</b> <i>Datos de equipos</i> .....                                 | 27 |
| <b>Tabla 5.</b> <i>Información adicional de la población de Zudáñez</i> ..... | 28 |
| <b>Tabla 6.</b> <i>Características de Tubería de Acero Negro</i> .....        | 29 |
| <b>Tabla 7.</b> <i>Resultados de diseño</i> .....                             | 31 |
| <b>Tabla 8.</b> <i>Diámetros y longitudes adoptadas en el diseño</i> .....    | 35 |

## **CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN**

### **1.1 ANTECEDENTES.**

El presente proyecto, tiene como propósito, realizar el diseño de la red de gas industrial para la nueva planta de ENVIBOL, para asegurar el adecuado funcionamiento del horno de fusión, archas de recocido, máquinas de formación y horno de precalentamiento de moldes.

El 15 de Abril de 2015, el ex Presidente del País, Evo Morales Ayma, aprobó el Decreto Supremo N° 2329, el cual indica la creación de la Empresa Pública Productiva ENVIBOL, con la construcción y puesta en marcha de la Fábrica de vidrio de Zudáñez, en dicho decreto, se garantizó una inversión total de hasta Bs.396.478.923, 00.- (Trescientos noventa y seis millones cuatrocientos setenta y ocho mil novecientos veintitrés 00/100 Bolivianos) financiado por el Fondo para la Revolución Industrial Productiva (FINPRO). (Bolivia, LexiVox , 2003).

Mediante Decreto Supremo N° 4801, el presidente del País, Luis Arce Catacora, autoriza la ampliación de la Planta de Envases de Vidrio de Bolivia en Zudáñez – Chuquisaca. (Bolivia, Derechoteca, 2023).

Posterior el cierre de la empresa VIDRIOLUX, el 08 de junio de 2020 (Tiempos, 2020), la cual producía envases de vidrio en su planta productiva ubicada en la ciudad de Cochabamba, la demanda de envases hueco de vidrio registró un incremento de dicho producto. Tal situación, favoreció positivamente a la empresa ENVIBOL, siendo éste un factor muy importante para que se tome la decisión por parte del Gobierno Central, para incrementar la capacidad productiva de la factoría ubicada en el municipio de Zudáñez.

Cabe recalcar que la industria vidriera, es una factoría que no puede apagar su horno de fusión por falta de combustible hasta que éste cumpla con su ciclo de funcionamiento, de tal forma, que se debe dar seguridad en cuanto a los caudales y presiones requeridas, para que el activo más caro de la planta no se dañe y esto repercuta en el cambio de todos los ladrillos refractarios que lo componen internamente y su debida instrumentación tampoco se vea afectada.

### **2.1.1. Planteamiento del problema.**

Actualmente, la planta ENVIBOL cuenta con una estación de GLP que consta de 4 tanques de 100 m<sup>3</sup>, una línea de recepción de GLP en fase líquida conectada a los 4 tanques, un sistema de compresión de GLP fase vapor para las maniobras de recepción y carga de GLP, una unidad de bombeo para la impulsión del GLP fase líquida, una línea de retorno desde la unidad de bombeo a fase líquida, una batería de 4 vaporizadores desde los cuales el GLP en fase líquida pasa a estado vapor para luego ser estabilizado en un puente de regulación y control a una presión constante de 30 psi y finalmente una red de distribución de GLP desde el puente de regulación primario hasta los puntos de consumo,

Dicha estación de GLP y el sistema de distribución mediante tuberías, satisface la demanda del combustible a los equipos industriales instalados actualmente.

De tal forma, que con la ampliación de la nueva nave industrial, que incrementará la producción de vidrio fundido desde 97 Ton/día a 172 Ton/día, la actual estación de GLP no podrá dar abasto y desde gerencia de planta y el área de planificación, se tiene previsto, la implementación de una nueva estación de GLP, puente de regulación y un sistema de redes de suministro de gas para cumplir con la demanda del energético para una potencia prevista a instalar de 10.731 KW o su equivalente 9.227.122 Kcal/hr con el montaje de un horno de fusión, máquinas de formación, archas de recocido y horno de calentamiento de moldes.

## **1.2 OBJETIVOS.**

### **2.1.2. Objetivo general.**

Proponer el diseño de la red de suministro de gas industrial para la nueva planta de envases de vidrio Bolivia - ENVIBOL en el municipio de Zudáñez – Bolivia.

### **2.1.3. Objetivos específicos.**

- Describir la situación actual de la planta de Envases de Vidrio de Bolivia – ENVIBOL.
- Reunir información de los parámetros de diseño involucradas en el dimensionamiento de tuberías.

- Dimensionar el sistema de tuberías para la distribución de gas desde el puente de regulación hasta los consumidores finales a través de la ecuación cuadrática de Renouard.
- Elaborar la memoria de cálculo correspondiente al dimensionamiento de las tuberías.
- Elaboración de planos isométricos y planta, según especificación y ubicación de los puntos requeridos que necesiten el energético para su funcionamiento.

### **1.3 JUSTIFICACIÓN.**

#### **2.1.4. Justificación Práctica.**

Al tratarse de que en la nueva planta se tendrán equipos que requieren de un energético para su funcionamiento, la propuesta de diseño de la red de suministro de gas industrial, servirá de base al área de planificación de planta, permitiendo conocer los posibles trayectos y diámetros adoptados en toda la instalación industrial y así poder evaluar la implementación total o parcial de la presente monografía, ya que actualmente no se cuenta con un trazado ni diseño proyectado.

Por otra parte, el actual proyecto, puede servir como guía, para la elaboración del documento base de contratación y los términos de referencia, para que cuando llegue el momento de realizar la convocatoria para la adjudicación del servicio, se cuente con una base sobre la cual se pueda dar inicio a los trabajos de licitación.

Dimensionar el nuevo sistema de distribución mediante tuberías de gas para transportar el energético desde el PRM hasta el consumidor final, pasando a través de todos los puntos de regulación.

Asegurar los caudales y presiones entregados desde la estación de GLP, con el correcto dimensionamiento de tuberías mediante el uso de la ecuación cuadrática de Renouard.

La ampliación de la Fábrica de vidrio en Chuquisaca generará efectos positivos en cuanto se refiere al ahorro de divisas, ya que se procede a un proceso de sustitución de importaciones de vidrio por parte del consumidor.

Se procederá a satisfacer la demanda insatisfecha de envases de vidrio en el mercado interno y externo, e indirectamente se contribuirá al desarrollo de la competitividad de otros sectores,

como productores de vinos y singanis, ya que utilizaran un producto nacional de calidad y a un precio accesible por debajo del precio de importación.

Por otra parte, se incrementará la explotación de yacimientos de arena que actualmente no vienen siendo aprovechados y se dotara de oportunidades de empleo a habitantes de la región de Chuquisaca Norte.

Al proceder a reciclar envases de vidrio se ahorra en energía dentro del proceso de producción de envases de vidrio.

#### **2.1.5. Justificación Teórica.**

Para el desarrollo de la presente monografía, se implementó los conocimientos adquiridos en los módulos de Fundamentos de Transporte y Almacenamiento de Hidrocarburos, Ingeniería de Ductos de Transporte de Almacenamiento de Hidrocarburos, Tanques de Almacenamiento, Elaboración y Evaluación de Proyectos, Comercialización de Hidrocarburos, Ingeniería del Gas Natural, Legislación de Hidrocarburos, Metodología de la Investigación, Dibujo Técnico, entre otras, para poder dar cumplimiento con los objetivos planteados en el actual proyecto.

### **1.4 METODOLOGÍA.**

La presente monografía, se fundamentará en una investigación propositiva con un enfoque cuantitativo (Sampieri, 2006).

#### **2.1.6. Técnicas de investigación.**

La información requerida para la elaboración de la presente monografía, fue proporcionada por encargados del área de planificación de la nueva planta ENVIBOL, haciendo la solicitud mediante correo electrónico para poder trabajar en el diseño en base a los caudales requeridos por los equipos y planos de planta proyectados. Asimismo, se realizó una visita guiada a planta, para ver el estado actual de construcción y de avance que se tiene y de alguna manera poder identificar en campo, la ubicación posible de los equipos que serán adquiridos por la empresa para luego ser instalados.

Por otra parte, se recurre a la página de la Agencia Nacional de Hidrocarburos, para dar cumplimiento a normativa vigente a través de su ANEXO VI. (Bolivia, Reglamento de Diseño,



Construcción, Operación de Redes de Gas Natural en instalaciones Internas. ANEXO 6: Instalaciones de categoría Industrial de Gas Natural, 2014)

#### **2.1.7. Instrumentos de investigación.**

Toda la información recopilada para el desarrollo de la presente monografía (datos de caudales, presiones y planos de planta) se encuentra recabada en el proyecto ejecutado de la primera planta, asimismo en las especificaciones técnicas de instalaciones de redes de GLP/GN, aire comprimido y vacío de ENVIBOL.

Por otra parte, se cuenta con certificados de calidad de GLP entregados por YPFB y certificados de conformidad por parte de Total Srl.

## CAPÍTULO II: DESARROLLO

### 2.1 MARCO TEÓRICO.

#### 2.1.8. Marco Conceptual.

##### 2.1.8.1. Accesorios.

Los accesorios para unión a utilizar están en función del material de la tubería que selecciona, los más comunes son de cobre, latón y bronce para tuberías de cobre.

**Figura 1.** *Accesorios de acero negro*



**Fuente:** Extraído de Google (2023)

Los accesorios más típicos son: Codos 45°, codos 90°, tees, reducciones, uniones de manguito, acoples, bridas.

##### 2.1.8.2. Alta presión.

Se considera alta presión a todo suministro de gas natural que se encuentre por encima o supere los 4 bar. (4.078 kg/cm<sup>2</sup>).

### **2.1.8.3.Archas de recocido.**

Es un equipo en forma de túnel, cuya función es aliviar las tensiones internas del vidrio, asegurando la solidez de los envases de vidrio, es decir que se aplica un tratamiento, enfriando dichos envases con una curva de temperatura.

**Figura 2.** *Archa de recocido*



**Fuente:** Extraído de ANTONINI SRL (2023)

El recocido, se asocia comúnmente en la fabricación de caer, pero también se usa comúnmente en varios metales, vidrio y otros materiales para que sean menos frágiles y más manejables, cambiando con la curva de temperatura, sus propiedades de dureza y resistencia.

### **2.1.8.4.Cañería de distribución interna.**

Conjunto de tramos de tubería posteriores a la brida o junta dieléctrica de salida del puente de regulación y medición primaria. Este conjunto de tuberías, debe cumplir con normas básicas, como la ASTM A-53.

La distribución de tuberías a lo largo de su trazado, puede ser vista, empotrada y enterrada.

**Figura 3.** *Instalación industrial de tuberías*



**Fuente:** Extraído de ENVIBOL (2022)

Dependiendo de la presión de operación, no se podrá tener tramos empotrados, sobre todo en instalaciones industriales, donde las presiones de operación, son elevadas.

#### **2.1.8.5.Caudal de diseño.**

Es el valor de consumo para el cual la instalación se proyectó. Debe coincidir con el caudal máximo futuro previsto.

#### **2.1.8.6.Condiciones estándar.**

Condiciones bajo las cuales se mide el gas natural correspondiente a la presión absoluta de 1.013253 bar (14.696 Psi) y 15.56°C de temperatura (60°F).

La relación entre volumen en condiciones estándar y normales está dada por la siguiente expresión:

$$V_n = 0.9461V_s \quad \text{Ecuación 1}$$

$V_n$ : Volumen en condiciones normales.

$V_s$ : Volumen en condiciones estándar.

#### **2.1.8.7. Condiciones normales.**

Condiciones bajo las cuales se mide el gas natural correspondiente a la presión absoluta de 1.013253 bar (14.696 Psi) y 0°C de temperatura (32°F).

#### **2.1.8.8. Consumo.**

Es el caudal de gas utilizado por un artefacto, generalmente se lo expresa en función de la energía (KW) o en función del volumen (m<sup>3</sup>/hora).

#### **2.1.8.9. Densidad.**

Es la relación entre masa por unidad de volumen. Relación entre la densidad absoluta de un Gas y la del aire en las mismas condiciones de presión y temperatura.

#### **2.1.8.10. Diámetro estándar.**

Diámetros establecidos como usuales en el comercio, de acuerdo a las presiones de trabajo.

#### **2.1.8.11. Diámetro nominal.**

Número que agrupa una cierta cantidad de diámetros estándar.

#### **2.1.8.12. Ecuación de Renouard media y alta presión.**

Para la verificación de la caída de presión de un tramo, se utilizará la fórmula de Renouard para instalaciones con presión de trabajo mayores a 50 mbar.

$$P_1^2 - P_2^2 = 48,6 d_r L_e \frac{Q^{1,82}}{D^{4,82}} \quad \text{Ecuación 2}$$

$$L_e = 1,2 L \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

**P<sub>1</sub> – P<sub>2</sub>** : Caída de presión del tramo 1 – 2 (mbar)

**Q** : Caudal (m<sup>3</sup>/h)

**$d_r$**  : Densidad relativa corregida del gas natural.

**$L_e$**  : Longitud equivalente (m)

**$L$**  : Longitud real (m)

**$D$**  : Diámetro interno (mm)

La ecuación de Renouard, viene acompañada por otras variables que deben ser analizadas, éstas son las siguientes:

La velocidad del gas, se calcula mediante la siguiente ecuación y dicha velocidad debe ser menor a 20m/s:

$$v = 365,3 \frac{Q}{D^2 P'} \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

**$v$**  : Velocidad del gas (m/s)

$$P' = \frac{2P_1^3 - P_2^3}{3P_1^2 - P_2^2} \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

**$P'$**  : Promedio cúbico de la presión absoluta (bar)

$$\frac{Q}{D} < 150 \quad \text{Ecuación 6}$$

Por otra parte, se debe también verificar, que la relación entre el caudal y el diámetro seleccionado, sea menor a 150.

**$Q/D$**  : Relación caudal /diámetro (adimensional)

#### 2.1.8.13. Gas Licuado de Petróleo (GLP).

El GLP es el acrónimo de los Gases Licuados de Petróleo butano y propano comerciales. Son hidrocarburos combustibles que, en estado normal, se encuentran en estado gaseoso, se obtienen a partir del refinado del petróleo por destilación fraccionada, del mismo modo que se obtienen otros derivados del petróleo como la gasolina. Los GLP son almacenados en botellones y depósitos en estado líquido al someterlos a presión.

Los GLP más comunes son el propano y el butano comerciales. Son básicamente butano y propano y sus mezclas, como vemos de forma resumida en la siguiente tabla:

**Tabla 1.** *Composición GLP en Bolivia*

| Compuesto                          | Porcentaje     |
|------------------------------------|----------------|
| CH <sub>4</sub>                    | 0.0000         |
| C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>      | 0.7957         |
| C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>      | 66.3910        |
| i-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>   | 13.3228        |
| n – C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> | 17.9886        |
| i-C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>   | 1.4077         |
| n – C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> | 0.0942         |
| C <sub>6</sub> <sup>+</sup>        | 0.000          |
| <b>TOTAL</b>                       | <b>100.00%</b> |

**Fuente:** Extraído de Certificado de calidad de GLP YPFB

En el tabal anterior, se resume la composición del GLP que llega a la planta ENVIBOL en las cisternas que llegan diariamente para abastecer el consumo de los equipos instalados.

#### 2.1.8.14. Corrosión.

Los GLP no corroe al acero, ni al cobre o sus aleaciones y no disuelven los cauchos sintéticos por lo que estos materiales pueden ser usados para construir las instalaciones. Por el contrario, disuelven las grasas y al caucho natural.

#### 2.1.8.15. Ventajas del GLP.

Algunas ventajas que se pueden mencionar sobre el uso del GLP, (Caaspa, 2018)son las siguientes:

- Son eficientes energéticamente.
- Son versátiles.
- Son limpios.
- Provocan un menor impacto ambiental.
- Son inodoros e incoloros.

#### 2.1.8.16. Gas Natural (GN).

Mezcla de hidrocarburos con predominio de metano y contenido menores de componentes como etano, propano, butano, nitrógeno, dióxido de carbono, agua, mercaptanos y trazas de hidrocarburos más pesados.

La composición del Gas Natural en Bolivia, es la siguiente:

**Tabla 2.** *Composición del Gas Natural en Bolivia*

| <b>Compuesto</b>   | <b>Mezcla (%Vol.)</b> | <b>Mezcla (%Vol.)<br/>Carrasco</b> |
|--------------------|-----------------------|------------------------------------|
| Metano             | 88.36                 | 84.25                              |
| Etano              | 7.17                  | 6.89                               |
| Propano            | 1.57                  | 2.74                               |
| Butanos            | 0.19                  | 1.13                               |
| Más pesados        | 0.63                  | 0.68                               |
| Dióxido de carbono | 1.14                  | 3.99                               |
| <b>TOTAL</b>       | <b>100.00%</b>        | <b>100.00%</b>                     |

**Fuente:** Extraído de Google (Escalera, 2004)

En la tabla anterior, se muestra la composición de Gas Natural en base al análisis cromatográfico realizado del campo Carrasco y un segundo análisis como la mezcla de varios campos.



#### **2.1.8.17. Gases de combustión.**

Son aquellos gases que se generan por el proceso de combustión entre el comburente y combustible, los cuales son expulsados a la atmósfera en forma de calor.

#### **2.1.8.18. Estación GLP.**

Es aquella área, destinada como ubicación final de todo el sistema GLP, el cual puede constar de tanques de almacenamiento, líneas de distribución de la fase líquida y fase gaseosa, vaporizadores, compresores, entre otros.

**Figura 4.** *Vista General de Estación GLP*



**Fuente:** Extraído de ENVIBOL (2023)

La estación de GLP de la planta ENVIBOL, está provista de 4 tanques de 100m<sup>3</sup> cada uno, los cuales son cargados de forma diaria, mediante cisternas que son despachadas desde la planta Q' hora Q' hora de la ciudad de Sucre hasta la población de Zudáñez.

La estación de GLP, también cuenta con 4 vaporizadores, los cuales aseguran el cambio de fase del GLP líquido a su fase gaseosa.

#### 2.1.8.19. Horno de fusión de vidrio.

Es un reactor en el que transcurre a altas temperaturas y transforma la materia prima, para convertirla en vidrio fundido homogéneo de propiedades uniformes. (Navarro, 2003)

**Figura 5.** *Vista Interior del horno de fusión*



**Fuente:** Extraído de ENVIBOL (2018)

El horno actual de fusión de vidrio de la planta ENVIBOL, tiene una capacidad de fundir materia prima por 130 toneladas por día, su operación es controlada desde la cabina de operación, donde se ajustan los diferentes parámetros de presión de gas, aire, caudal, temperatura, ayuda eléctrica entre otros. Por otra parte, el horno cuenta con cuatro quemadores en la parte posterior, dos a cada lado del horno, los cuales van alternando su funcionamiento, cuando se realiza el cambio de quemador, la cual es de forma automática, se denomina inversión. (**Anexo 1.** Ubicación de quemadores).



#### 2.1.8.20. Máquinas de formación.

Son aquellas máquinas, que constan de diferentes equipos como ser pistones, moldes, pre moldes, motores, válvulas, sistemas eléctricos y electrónicos, entre otros y que reciben el vidrio fundido para dar forma a los envases finales.

**Figura 6.** *Máquinas de formación línea 1*



**Fuente:** Extraído de ENVIBOL (2018)

Las máquinas de formación de la planta ENVIBOL, una por cada línea, cuentan con 10 secciones por máquina, y cada sección con dos derivaciones, por donde cae la gota (vidrio fundido) a los pre moldes para dar forma final a los envases de vidrio. El proceso de formación de los envases puede ser soplo-soplo o prensa-soplo.

#### **2.1.8.21. Memoria de cálculo.**

Conjunto de cálculos, mediante los cuales se determina la caída presión, diámetro de tubería y/o presión de trabajo con base en las condiciones de operación de los equipos de consumo, trayecto de instalación y materiales utilizados.

#### **2.1.8.22. Metro cúbico estándar.**

Es el volumen de un fluido, medido en condiciones estándar de presión y temperatura.

#### **2.1.8.23. Metro cúbico normal.**

Es el volumen de un fluido, medido en condiciones normales de presión y temperatura.

#### **2.1.8.24. Pérdida de carga.**

Caída de presión del gas entre la entrada y salida de un tramo de cañería cuando hay circulación de un fluido.

#### **2.1.8.25. Plano isométrico.**

Es la representación gráfica de un objeto geométrico tridimensional reducido a dos dimensiones a través de una proyección paralela basada en tres ejes. De este modo, conserva sus proporciones en cada una de las tres direcciones del espacio: altura, anchura y longitud. Los planos isométricos son elaborados con un ángulo de 30°. Se debe respetar la simbología establecida. (Anexo 12. Simbología en planos Isométricos.)

#### **2.1.8.26. Plano de planta.**

Los planos de planta son dibujos a escala que muestran la relación entre habitaciones, espacios y características físicas vistos desde arriba. En ellos se pueden incluir ventilaciones, disposición de equipos y el trazado de tuberías. Se debe respetar la simbología establecida. (Anexo 12. Simbología en planos Isométricos.)

**2.1.8.27. Poder calorífico inferior (P.C.I.).**

Se denomina así al poder calorífico sin contar la parte correspondiente al calor latente del vapor de agua de la combustión, ya que no se produce cambio de fase, y se expulsa como vapor.

**2.1.8.28. Poder calorífico superior (P.C.S.).**

Se denomina así al poder calorífico cuando el vapor de agua originado en la combustión está condensado y se contabiliza, por consiguiente, es el calor desprendido en este cambio de fase.

**2.1.8.29. Potencia.**

Es la magnitud que caracteriza la rapidez con la que la energía se transforma o se transmite de un sistema a otro.

**2.1.8.30. Potencia absorbida.**

Es la potencia exigida por el aparato. Con esta potencia se realiza el cálculo de la demanda del aparato.

**2.1.8.31. Potencia útil.**

Es la potencia absorbida menos las pérdidas de calor. Es la potencia real entregada por el quemador.

**2.1.8.32. Presión.**

Es la fuerza que se ejerce por unidad de superficie expresada en bar, psi o sus múltiplos.

**2.1.8.33. Presión absoluta.**

Es la presión manométrica más la presión atmosférica.

**2.1.8.34. Presión atmosférica.**

Es la presión ejercida por el aire atmosférico en cualquier punto de la atmósfera. La presión atmosférica varía según la altura. La presión al nivel del mar es 1atm (1,0132bar).

#### **2.1.8.35. Presión de diseño.**

Es la presión máxima que puede alcanzar la instalación, valor con el que debe dimensionarse la misma y seleccionarse los materiales.

#### **2.1.8.36. Presión manométrica.**

Es la presión relativa indicada por un manómetro.

#### **2.1.8.37. Puente de regulación primario.**

Conjunto de equipos, instrumentos y accesorios conformado por válvulas, reguladores, accesorios y medidores que son utilizados para la regulación de presión y medición del consumo del usuario categoría industrial.

**Figura 7.** *Puente de Regulación Primario*



**Fuente:** Extraído de ENVIBOL (2018)

Los puentes de regulación primario, tienen la principal función, de regular la presión del gas en una primera etapa a una presión deseada, esta presión no puede ser mayor a 4 Bar, es también dónde se hace el control y medición de los volúmenes consumidos, los cuales son registrados por el ente regulador para su posterior facturación.

#### **2.1.8.38. Régimen de presión.**

El régimen de presión del sistema de distribución de gas natural en instalaciones internas, se clasifican de acuerdo al siguiente rango de presiones:

**Baja Presión (BP):** Mayor a cero hasta 50 mbar inclusive.

**Media Presión A (MPA):** Mayor a 50 mbar hasta 0,4 bar inclusive.

**Media Presión B (MPB):** Mayor a 0,4 bar hasta 4 bar inclusive.

**Alta Presión A (AP):** Mayor a 4 bar hasta 42 bar inclusive.

#### **2.1.8.39. Puente de regulación secundario.**

Conjunto de equipos, instrumentos y accesorios conformado por válvulas, reguladores, accesorios y medidores de ser necesarios, que son utilizados para la reducción de presión de segunda etapa, aguas abajo del PRM.

**Figura 8.** *Puente de Regulación Secundario*



**Fuente:** Extraído de ENVIBOL (2018)

El puente de regulación secundario, es utilizado para regular la presión de salida desde el puente de regulación primario, a una presión deseada.

#### **2.1.8.40. Regulador de presión.**

Dispositivo destinado a reducir y mantener constante la presión de salida del gas, independientemente de las variaciones de la presión de entrada y del caudal de gas.

#### **2.1.8.41. Regulador de presión de primera etapa.**

Regulador de una etapa o de doble etapa, que reduce la presión a una presión menor para la presión de entrada de un regulador de segunda etapa.

#### **2.1.8.42. Regulador de presión de segunda etapa.**

Regulador de presión que toma la presión de salida de un regulador de primera etapa y la reduce a la presión requerida por la instalación interna de acuerdo al reglamento técnico.

#### **2.1.8.43. Tubería empotrada.**

Es aquella instalada dentro de muros o tabiques, deben contar con pintura anticorrosiva y en todo su trayecto debe estar soldada. Se considera también como tubería empotrada, a aquella que es instalada en lozas que no estén en contacto directo al suelo de tierra de la edificación.

#### **2.1.8.44. Tubería enterrada.**

Es aquella colocada bajo la superficie y dentro del terreno natural. Se considera enterrada aun cuando la superficie del terreno natural dentro del cual está colocada, sea cubierta por un piso artificial. La tubería enterrada debe estar protegida con capa de pintura asfáltica, cinta anticorrosiva y soldada en todo su trayecto.

#### **2.1.8.45. Tubería vista.**

En elevación o aérea, es aquella colocada de modo tal que su recorrido se encuentra permanentemente a la vista.

#### **2.1.8.46. Vaporizadores.**

Son equipos muy parecidos a calderas, que incrementan el intercambio de calor y ayuda a la vaporización del GLP, el cual ingresa al vaporizador en estado líquido y sale en estado gaseoso.



En la planta ENVIBOL, se cuentan con 4vaporizadores, los cuales se encuentran ubicados posterior a los tanques de GLP y antes del puente de regulación primario.

**Figura 9.** Batería de vaporizadores



**Fuente:** Extraído de ENVIBOL (2018)

Son de vital importancia, ya que como se sabe, el GLP genera condensados, los cuales pasan a los vaporizadores, para luego ser despachados a línea de tuberías de distribución de gas industrial.

#### **2.1.9. Marco contextual.**

##### **2.2.1.1.Ubicación Geográfica.**

La planta de Envases de Vidrio de Bolivia, se encuentra ubicada en el municipio de Zudáñez, a una distancia aproximada de 98 km desde la ciudad de Sucre.

Este complejo productivo ocupa un área de 16 hectáreas y la planta en sí se levantó en una superficie de dos hectáreas. La planta tiene un área de acopio de materias primas, otro de procesamiento y otro de despacho de producto terminado.

**Figura 10.** *Ubicación geográfica planta ENVIBOL*



**Fuente:** Extraído de Google Earth (2023)

La nueva planta, será emplazada en el área de producto terminado, casi de forma paralela a la actual planta, el área de producto terminado, será movilizado hacia la zona de carpintería, donde ya se encuentran realizando trabajos de movilización de tierras y dar inicio con las obras civiles.

#### **2.2.1.2. Situación Actual de la planta ENVIBOL.**

Actualmente, la planta ENVIBOL, se encuentra produciendo a un 90% de su capacidad total, lo cual representa un consumo semanal de 112.500 kg de GLP, durante la semana se reciben 5 cisternas, dando cada una entre un 8 a 9% de llenado de los 400m<sup>3</sup> totales que tienen los tanques de almacenamiento. Cada tanque, tiene una capacidad de almacenaje de 100m<sup>3</sup>.

Con la capacidad de almacenamiento total de GLP que se tiene, se da abasto al requerimiento actual de la planta, pero con la ampliación y puesta en marcha de la nueva planta, el envío de cisternas semanalmente incrementaría al doble su necesidad, es decir que, actualmente se requieren 5 cisternas por semana, cuando la nueva planta entre en operación, se requerirán entre 10 a 12 cisternas por semana con ambas plantas operando al 100% de su capacidad.

**Figura 11.** *Pesaje de cisterna ingreso a ENVIBOL*



**Fuente:** Extraído de ENVIBOL (2020)

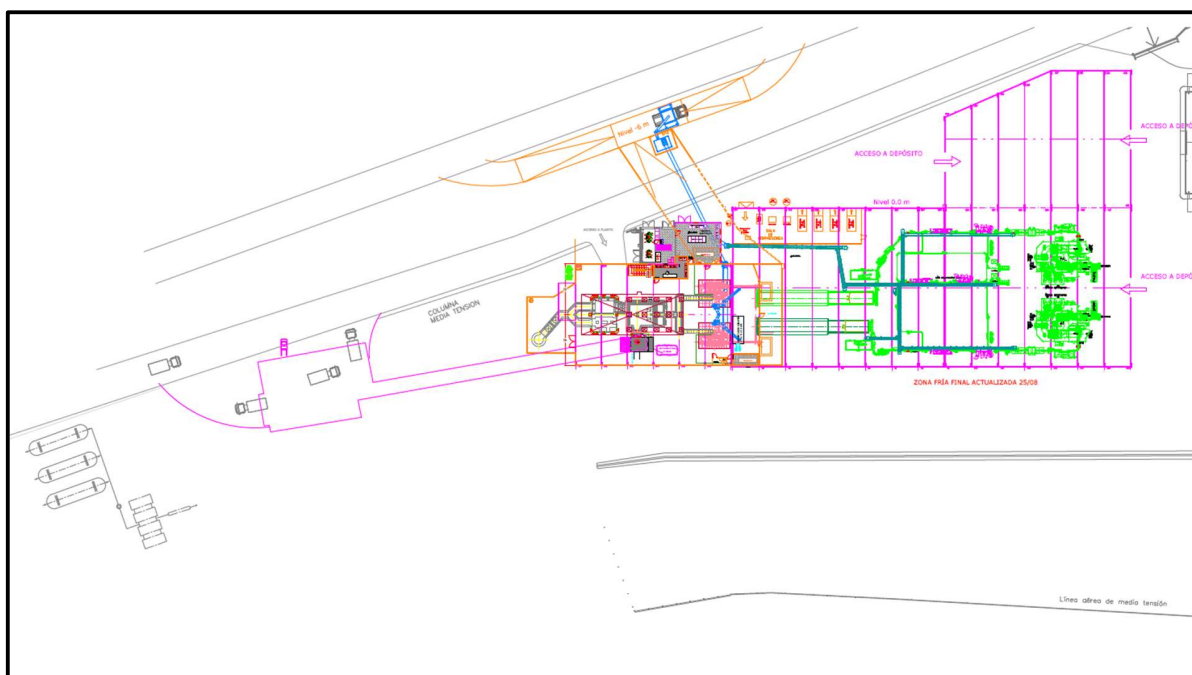
De tal forma, y tras el análisis de la unidad de planificación de la planta ENVIBOL, se tiene como opción, el montaje de una nueva estación GLP para la nueva planta y de esta forma, evitar poner en riesgo a la actual estación de GLP y tener sistemas separados e independientes para cada una de las plantas.



### 2.2.1.3.Plano base de la planta.

A continuación, se muestra el plano base con el cual se procederá a realizar el trazado tentativo de todo el sistema de tuberías a lo largo de la nueva planta, cabe recalcar que el plano mostrado, no es el ejecutado, ya que aún se encuentran en etapa de realizar la licitación correspondiente para iniciar con el movimiento de tierra y posteriores obras civiles.

**Figura 12.** *Plano base en planta - disposición de equipos*



**Fuente:** Extraído de ENVIBOL (2023)

A partir del plano base mostrado anteriormente, se puede dar inicio al trazo previsto de todo el sistema de distribución de tuberías.

### 2.2.1.4.Software de apoyo: AutoCAD y Excel.

AutoCAD, software por excelencia para la realización de planos isométricos y planos de planta, el cual nos permitirá, confeccionar el trazado de las tuberías con una vista isométrica, indicando en cada tramo, cambios de dirección, de diámetros, longitudes de tuberías, accesorios soldados, roscados, entre muchas otras más ventajas. Para la elaboración de los planos isométricos, se

tomará como punto de partida, el puente de regulación que estará ubicado a la salida de la estación de GLP.

Excel, que, mediante la confección de una planilla de cálculo, nos permitirá simular las pérdidas de carga, velocidades y relación  $Q/D < 150$  y de esta manera, seleccionar los diámetros más óptimos para su posible implementación, montaje y puesta en operación.

### 2.2.1.5. Costo actual de GLP.

El costo promedio mensual en el consumo de GLP, es aproximadamente 628.000 Bs/mes, dicho monto incluye suministro y transporte desde la planta de Q' hora Q' hora que se encuentra ubicada en la ciudad de Sucre aproximadamente a una distancia de 98km hasta la población de Zudáñez.

**Tabla 3.** Importe de GLP por suministro y transporte



Santa Cruz, 01 de junio de 2020  
YPFB/GCOM - IXCUM - UGLP 0645- SC 0317/ 2020

Señores:  
EMPRESA PÚBLICA PRODUCTIVA DE ENVASES DE BOLIVIA - ENVIBOL  
La Paz.

**Ref.- Envío de Facturas**

De nuestra consideración:  
Mediante la presente remitimos a ustedes las siguientes facturas emitidas a nombre de ENVIBOL:

| FECHA EMISION | N° FACTURA | PRODUCTO                   | IMPORTE   |
|---------------|------------|----------------------------|-----------|
| 05/05/2020    | 1.275      | SUMINISTRO DE GLP A GRANEL | 53.714,25 |
| 05/05/2020    | 1.276      | TRANSPORTE DE GLP          | 8.833,01  |
| 07/05/2020    | 1.279      | SUMINISTRO DE GLP A GRANEL | 49.110,75 |
| 07/05/2020    | 1.280      | TRANSPORTE DE GLP          | 8.079,99  |
| 18/05/2020    | 1.609      | SUMINISTRO DE GLP A GRANEL | 49.216,50 |
| 18/05/2020    | 1.610      | TRANSPORTE DE GLP          | 8.093,38  |
| 19/05/2020    | 1.611      | SUMINISTRO DE GLP A GRANEL | 45.386,50 |
| 19/05/2020    | 1.612      | TRANSPORTE DE GLP          | 7.545,78  |
| 20/05/2020    | 1.615      | SUMINISTRO DE GLP A GRANEL | 45.652,50 |
| 20/05/2020    | 1.616      | TRANSPORTE DE GLP          | 7.507,30  |
| 21/05/2020    | 1.617      | SUMINISTRO DE GLP A GRANEL | 51.563,25 |
| 21/05/2020    | 1.618      | TRANSPORTE DE GLP          | 8.479,29  |
| 23/05/2020    | 1.632      | SUMINISTRO DE GLP A GRANEL | 49.342,50 |
| 23/05/2020    | 1.633      | TRANSPORTE DE GLP          | 8.114,10  |
| 26/05/2020    | 1.670      | SUMINISTRO DE GLP A GRANEL | 48.732,75 |
| 26/05/2020    | 1.671      | TRANSPORTE DE GLP          | 8.013,83  |
| 27/05/2020    | 1.672      | SUMINISTRO DE GLP A GRANEL | 47.814,75 |
| 27/05/2020    | 1.673      | TRANSPORTE DE GLP          | 7.862,87  |
| 28/05/2020    | 1.674      | SUMINISTRO DE GLP A GRANEL | 48.732,75 |
| 28/05/2020    | 1.675      | TRANSPORTE DE GLP          | 8.013,83  |
| 31/05/2020    | 1.683      | SUMINISTRO DE GLP A GRANEL | 49.477,50 |
| 31/05/2020    | 1.684      | TRANSPORTE DE GLP          | 8.136,30  |

**Fuente:** Extraído de ENVIBOL (2020)

Cada cisterna que llega a planta, proporciona entre un 8 y 9 % de llenado del total de la estación de GLP, con una carga media de 22.150 kg.

### 2.2.1.6. Alcance.

El presente proyecto, tendrá un alcance desde la salida del puente de regulación, hacia los diferentes consumidores finales, los cuales son: horno, canales finales, máquinas de formación, archas de recocido y horno de calentamiento de moldes.

El proyecto se limitará al dimensionamiento de tubería con la selección de diámetros, elaboración de planos isométricos, elaboración de planos de planta y memoria de cálculo con su respectivo diagrama de cargas.

## 2.2 INFORMACIÓN Y DATOS OBTENIDOS.

La nueva planta aún se encuentra en construcción, por lo cual no cuenta con el sistema de distribución de gas mediante tuberías, de tal forma que, se realizará el dimensionamiento de las mismas, y de esta manera, brindar la información necesaria en cuanto a parámetros técnicos, longitud de tuberías, trazo y tendido de red y disposición de equipos.

### 2.2.1. Variables de diseño.

Estos datos proporcionados por ENVIBOL, nos permitirán realizar el dimensionamiento del sistema de distribución de gas mediante tuberías, las variables requeridas para el diseño son las siguientes:

- Potencia absorbida de equipos que operen con gas. La potencia puede estar expresada en KW o Kcal/hr.
- Caudal de operación requerido por los equipos. El caudal puede ser determinado mediante la ecuación:

$$Q = \frac{P_{abs}}{PCI} \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde:

**$P_{abs}$**  : Potencia absorbida del equipo (KW)

**$PCI$**  : Poder calorífico inferior (KW\*hr/m<sup>3</sup>)

- Presión de operación de los equipos.
- Longitudes de trazado de tuberías, obtenidas a través del plano isométrico.
- Naturaleza del tipo de tubería a utilizar en el diseño.
- Combustible o tipo de gas, ya que, según sus propiedades químicas y físicas, el diámetro seleccionado, se puede ver afectado.

Con la ampliación de la nueva planta, se tomará en cuenta el requerimiento de la potencia proyectada a ser instalada y la presión de trabajo requerida de cada equipo, que es la siguiente:

**Tabla 4.** Datos de equipos

| <b>Equipo</b>                                   | <b>Potencia (KW)</b> | <b>Caudal (m<sup>3</sup>/h)</b> | <b>Presión (mbar)</b> |
|-------------------------------------------------|----------------------|---------------------------------|-----------------------|
| <i>Horno de Fusión</i>                          | 6.688,30             | 256,85                          | 400,00                |
| <i>Máquina de formación<br/>1</i>               | 642,00               | 24,65                           | 400,00                |
| <i>Máquina de formación<br/>2</i>               | 642,00               | 24,65                           | 400,00                |
| <i>Archa de recocido 1</i>                      | 488,50               | 18,76                           | 400,00                |
| <i>Archa de recocido 2</i>                      | 488,50               | 18,76                           | 400,00                |
| <i>Canal final 1</i>                            | 856,00               | 32,87                           | 400,00                |
| <i>Canal final 2</i>                            | 856,00               | 32,87                           | 400,00                |
| <i>Horno de<br/>calentamiento de<br/>moldes</i> | 69,80                | 2,68                            | 400,00                |
| <b>TOTAL</b>                                    | <b>10.731,10</b>     | <b>412,09</b>                   |                       |

**Fuente:** Extraído de requerimiento ENVIBOL (2023)

La fábrica de vidrio fue la primera de este tipo en el país, en lo referido a la tecnología implementada, ya que actualmente no existe una factoría con esas características que se dedique a la elaboración de envases huecos de vidrio. La planta ENVIBOL emplazada en el municipio de Zudáñez, cuenta con tecnología europea.

Las condiciones de operación, deben ser evaluadas en función al lugar donde serán emplazados todos los equipos, de tal forma, que se requiere conocer algunos datos complementarios de la población de Zudáñez, para poder determinar el factor de corrección por altura, el cual depende de las siguientes variables:

- Presión atmosférica.
- Temperatura ambiente.
- Altitud

**Tabla 5.** Información adicional de la población de Zudáñez

| Variables de diseño |                          |                 |                                 |
|---------------------|--------------------------|-----------------|---------------------------------|
| P atm (mmbar)       | T ambiente promedio (°C) | Altitud (msnm.) | Factor de corrección por altura |
| 756                 | 20                       | 2638            | 0,83                            |

**Fuente:** Extraído de (SENAMHI, 2023)

Estos datos mencionados en la tabla anterior, nos permitirán realizar los cálculos con las condiciones de presión atmosférica y temperatura ambiente de Zudáñez, los cuales deben ser incluidos y los resultados deben ser afectados según estas condiciones.

El factor de corrección será calculado a través de:

$$f_c = \sqrt{\frac{P'_H \cdot T_N}{P'_N \cdot T_H}} \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde:

$P'_H$  : Presión atmosférica en condiciones reales (mmbar).

$P'_N$  : Presión atmosférica en condiciones normales (mmbar).

$T_N$  : Temperatura en condiciones reales (K).



$T_H$  : Temperatura en condiciones normales (K).

El factor de corrección es propio de cada lugar, por lo cual debe ser siempre incluido en el dimensionamiento de tuberías y selección de equipos que operan con combustibles gaseosos, como el gas natural y en nuestro caso, con gas licuado de petróleo (GLP).

### 2.2.2. Diseño de la Red Industrial.

La red industrial de distribución de gas, será dimensionada con tubería en acero negro, que conformarán desde el puente de regulación hasta los consumidores finales.

Las tuberías que serán empleadas, deben cumplir con normas mínimas como resistencia a la corrosión, resistencia mecánica, resistencia química, tipo de soldadura a ser empleada, disponibilidad en el mercado interno para evitar gastos innecesarios en su montaje y posterior puesta en marcha y operación.

Las tuberías seleccionadas deben satisfacer los criterios de diseño, por lo cual se tiene que ser muy cuidadosa al momento de elegir el material a ser utilizado.

**Tabla 6.** *Características de Tubería de Acero Negro*

| Acabado            | Diámetro Nominal (in) | Esquema | Características                                                               | Norma    |
|--------------------|-----------------------|---------|-------------------------------------------------------------------------------|----------|
| Negro (Recubierto) | 1/2" – 6"             | 40      | Alta resistencia, resistente a la corrosión, alta tenacidad y deformabilidad. | ASTM-A53 |

**Fuente:** Extraído de (ANH Hidrocarburos, 2016)

Se muestra la tabla anterior, ya que es necesario contar con información del tipo de tubería que se utilizará en el diseño, ya que sus características físicas y químicas, son muy importantes para poder ser seleccionada.

### **2.2.3. Criterios de Diseño de la Red Industrial.**

El objetivo de realizar del diseño de una red industrial de gas, es garantizar el abastecimiento del fluido a los consumidores finales, a continuación, se detalla los criterios más relevantes para el diseño:

- El trazado de tubería, deberá ser el más directo, pudiendo realizar un trazo con tubería en elevación e incluso enterradas si las condiciones de montaje no permitan realizar una instalación en elevación. Las tuberías en su totalidad deben ser soldadas (Soldador 6G) y no se aceptarán tramos roscados.
- El diseño de la red industrial, se realizará a una presión máxima de 4 bar (MPB) y la mínima será de 400 mbar.
- La velocidad máxima permisible del gas dentro de la tubería deberá ser menor o igual a 20 m/s en tramos con presiones de operación mayores a 50 mbar.
- La relación entre el caudal y el diámetro seleccionado deberá menor a 150.
- Para los cálculos, se deberá considerar el 100% de utilización de los equipos.
- La longitud asumida para seleccionar el diámetro de tubería, debe ser afectada por un factor de seguridad, esta longitud de cálculo es denominada como, longitud equivalente (Ecuación 3).
- Considerar la composición del gas, densidad específica, poder calorífico y presión de operación. (Anexo 3. Tabla de datos para GLP).
- Considerar las condiciones del lugar donde serán emplazados los equipos, por lo cual se debe tener muy en cuenta la presión atmosférica, temperatura ambiente, altitud sobre el nivel del mar. Con estos datos, nuestros resultados deben ser afectados por un factor de corrección, el cual se denomina factor de corrección por altura, el cual varía en función a las variables mencionadas anteriormente.
- En el diseño final, tras el análisis de todos los parámetros, se debe satisfacer la demanda requerida por los equipos, asegurando tanto caudal de operación como presión.

A partir de la ecuación cuadrática de Renouard y con las variables de diseño, se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla 7.** Resultados de diseño

| TRAMO                                                                                                                          | POTENCIA (KW) | D <sub>INTERIOR</sub> (mm) | Long. (m) | Long. Equiv. (m) | Caudal (m³/h) | P <sub>1man</sub> (Bar) | P <sub>1abs</sub> (Bar) | P <sub>1</sub> <sup>2</sup> -P <sub>2</sub> <sup>2</sup> (Bar²) | P <sub>2abs</sub> (Bar) | P <sub>2man</sub> (Bar) | P <sub>promedio</sub> (Bar) | Vel. (m/s) | % P1-P2 | % P1-P2 ACUM. | ΔP (mBar) | RELACIÓN Q/D     | D <sub>NOMINAL ELEGIDO</sub> (in) |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|----------------------------|-----------|------------------|---------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------------------------------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------------|------------|---------|---------------|-----------|------------------|-----------------------------------|
| <b>TRAMO PRINCIPAL (EQUIPO MÁS ALEJADO)</b>                                                                                    |               |                            |           |                  |               |                         |                         |                                                                 |                         |                         |                             |            |         |               |           |                  |                                   |
| O-A                                                                                                                            | 10.730,80     | 114,30                     | 106,12    | 127,34           | 412,09        | 4,0000                  | 4,7560                  | 2,25E-02                                                        | 4,7536                  | 3,9976                  | 4,3878                      | 2,6261     | 0,0498% | 0,0498%       | 2,3683    | 3,6053           | 4"                                |
| A-F                                                                                                                            | 4.042,80      | 73,03                      | 14,07     | 16,88            | 155,25        | 3,9976                  | 4,7536                  | 4,38E-03                                                        | 4,7532                  | 3,9972                  | 4,3863                      | 2,4243     | 0,0097% | 0,0595%       | 0,4604    | 2,1259           | 2. 1/2"                           |
| F-H                                                                                                                            | 3.554,30      | 73,03                      | 6,23      | 7,48             | 136,49        | 3,9972                  | 4,7532                  | 1,53E-03                                                        | 4,7530                  | 3,9970                  | 4,3860                      | 2,1315     | 0,0034% | 0,0629%       | 0,1613    | 1,8690           | 2. 1/2"                           |
| H-L                                                                                                                            | 2.056,30      | 73,03                      | 8,62      | 10,34            | 78,97         | 3,9970                  | 4,7530                  | 7,84E-04                                                        | 4,7529                  | 3,9969                  | 4,3859                      | 1,2332     | 0,0017% | 0,0646%       | 0,0824    | 1,0813           | 2. 1/2"                           |
| L-Q                                                                                                                            | 558,30        | 73,03                      | 19,57     | 23,48            | 21,44         | 3,9969                  | 4,7529                  | 1,66E-04                                                        | 4,7529                  | 3,9969                  | 4,3858                      | 0,3348     | 0,0004% | 0,0650%       | 0,0174    | 0,2936           | 2. 1/2"                           |
| Q-S                                                                                                                            | 488,50        | 73,03                      | 25,89     | 31,07            | 18,76         | 3,9969                  | 4,7529                  | 1,72E-04                                                        | 4,7529                  | 3,9969                  | 4,3858                      | 0,2930     | 0,0004% | 0,0654%       | 0,0181    | 0,2569           | 2. 1/2"                           |
| CAIDA DE PRESION TOTAL AL APARATO MAS ALEJADO SEGÚN NORMATIVA ANEXO 6 ANH (10% DE LA PRESIÓN REGULADA DEL REGULADOR COLECTIVO) |               |                            |           |                  |               |                         |                         |                                                                 |                         |                         |                             |            |         | 0,3671%       | 3,1080    | <b>SI CUMPLE</b> |                                   |

**Fuente:** Elaboración propia

Como se observa en la tabla anterior, la caída de presión total al equipo más alejado, expresado en porcentaje, dio un total de 0,3671%, siendo este resultado, menor al parámetro de diseño.

Las velocidades obtenidas en cada tramo, también cumplen con los parámetros de diseño, siendo en este caso, que dicha variable sea menor a 20m/s.

Se verificó también, que la relación Q/D, es menor a 150 en cada tramo.

La tabla anterior, solo muestra el tramo principal o crítico, el cual es al aparato más alejado, el cálculo completo, se puede ver en Anexo 4. Memoria de cálculo GLP.

#### 2.2.4. Elaboración de los planos isométrico y de planta.

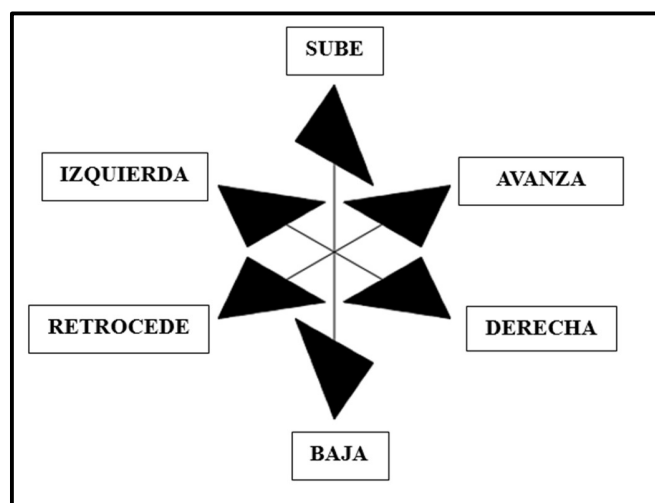
La elaboración de estos planos, nos permitirán determinar las longitudes de tubería para el posterior dimensionamiento, ya que se podrá visualizar en ellos, cambios de dirección y derivaciones, las cuales son necesarias para la realización del diseño de tuberías.

##### 2.2.4.1. Planos isométricos:

Es el diagrama de cañerías, en las cuales se representan el espacio, dirección y sentido, las líneas elaboradas en el plano isométrico, son realizadas con una inclinación de  $30^\circ$  en el que se dibujan también a escala cada uno de los accesorios, como ser válvulas, reducciones, codos, entre otros, siguiendo, la simbología impuesta por la Agencia Nacional de Hidrocarburos.

Para elaborar un plano isométrico y poder interpretarlo, se debe considerar los cambios de dirección de flujo, según la siguiente representación:

**Figura 13.** *Sentido de trazo de tuberías*

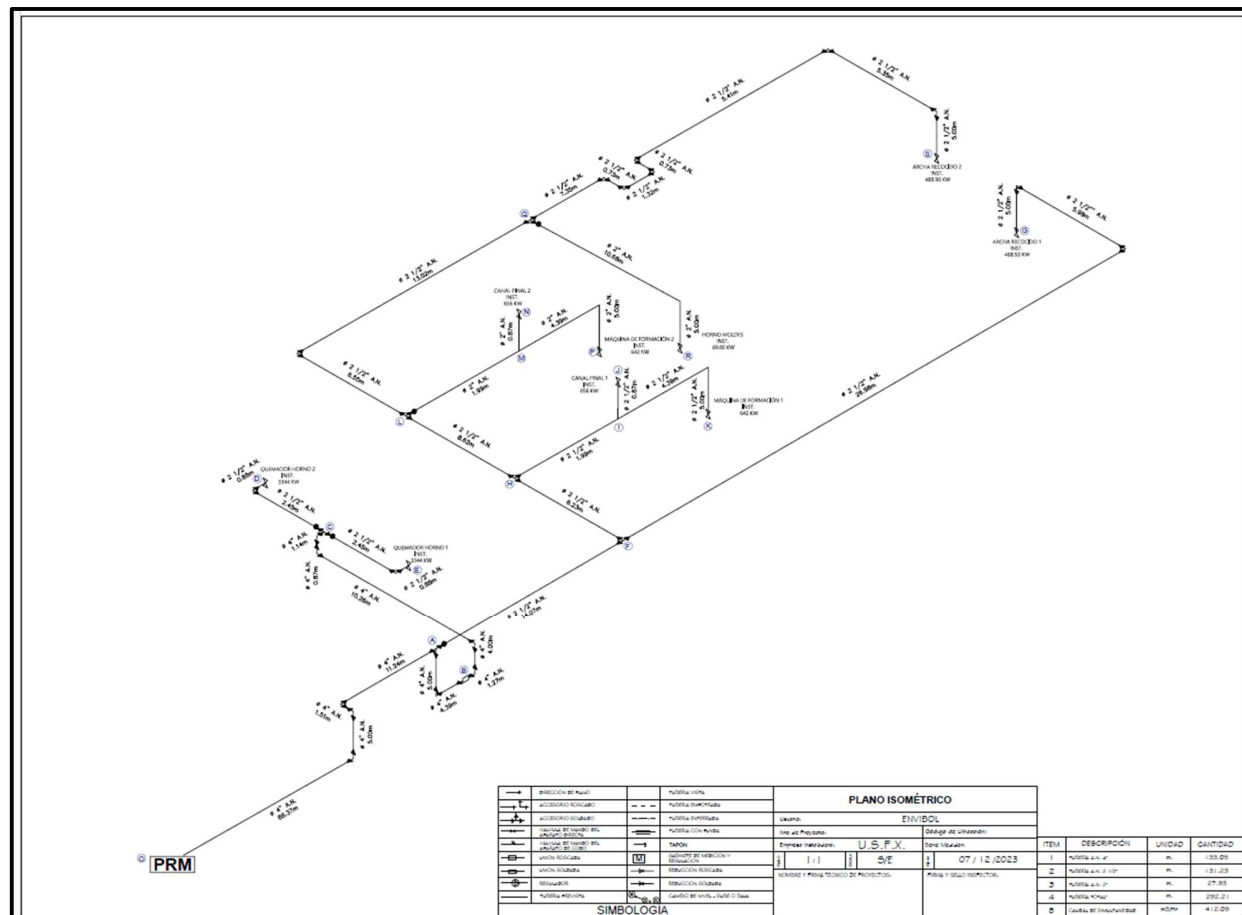


**Fuente:** Elaboración propia

El dibujo isométrico debe ser elaborado desde un punto fijo siguiendo la dirección de flujo, este punto fijo de partida debe ser respetado y se debe considerar que en todo momento estamos de frente a dicho punto, en el caso de la presente monografía, el punto de fijo y de partida, será la salida del puente de regulación.

A continuación, se muestra el plano isométrico elaborado para la presente monografía:

**Figura 14.** *Plano Isométrico de diseño*

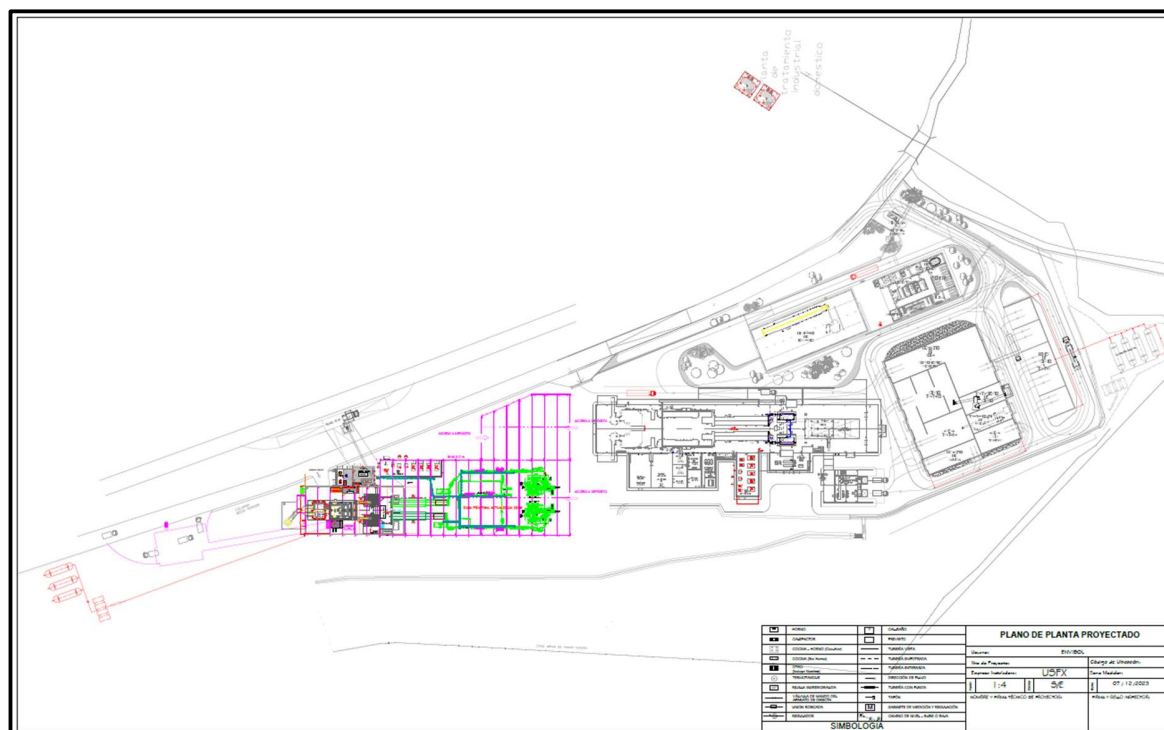


**Fuente:** Elaboración propia

#### 2.2.4.2. Planos de planta:

Proporcionar la información del trazado de tuberías, ubicación de los equipos, cambios de dirección, el plano final, será elaborado a partir del plano base de planta. Los planos a más detalle, se pueden observar en Anexo 7. Plano de planta salida de PRM, Anexo 8. Plano de planta - Ubicación quemadores horno, Anexo 9. Plano de planta - Ubicación equipos.

**Figura 15.** *Plano de planta General*



**Fuente:** Elaboración propia

2.2.5. Dimensionamiento de Diámetros.

Los diámetros fueron dimensionados a través de la ecuación cuadrática de Renouard, respetando los criterios de diseño de la Red Industrial mencionados anteriormente con la ayuda de una hoja de cálculo en Excel, a continuación, se muestra un resumen de los diámetros adoptados y sus longitudes.

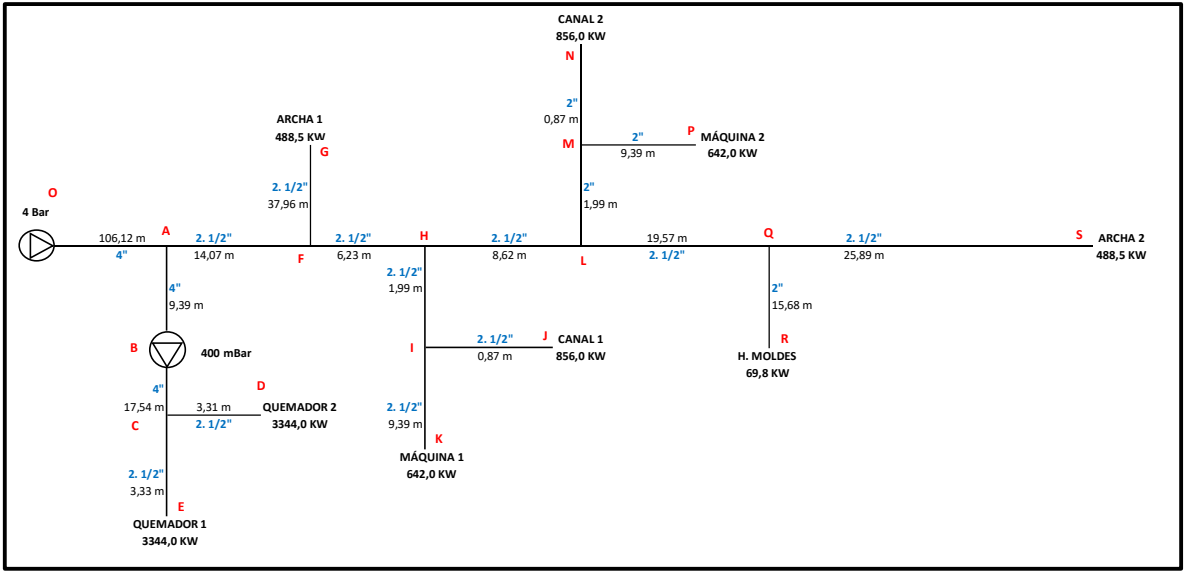
Tabla 8. Diámetros y longitudes adoptadas en el diseño

|              | 4"     | 2 ½"   | 2"    | TOTAL  |
|--------------|--------|--------|-------|--------|
| LONGITUD (m) | 133,05 | 131,23 | 27,93 | 292,21 |

Fuente: Elaboración propia

Para la selección del diámetro óptimo, se recurre a una tabla con diámetros nominales, diámetros exteriores y espesores de pared. Se debe recordar, que el diseño, se realiza con los diámetros internos en mm según el tipo de material seleccionado. (Anexo 2. Tuberías de Acero Negro ASTM A53).

Figura 16. Esquema general de diseño



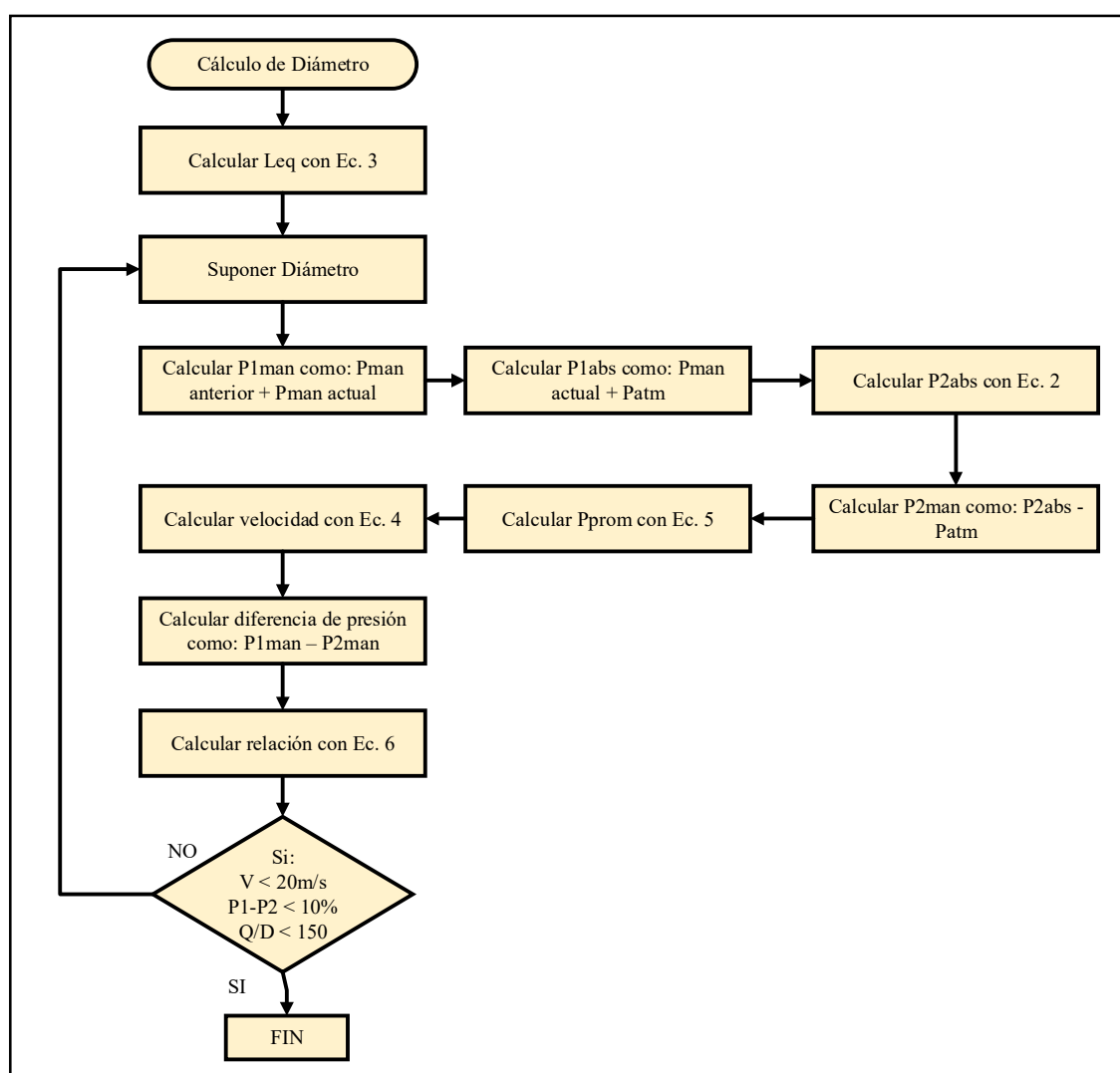
Fuente: Elaboración propia

En base al diseño anterior, se pudo realizar los cálculos necesarios con la ecuación de Renouard Cuadrática, en el mismo esquema, se observa que se tienen los datos de los nodos de derivación, longitud de nodo a nodo y caudal requerido desde un punto inicial de partida hasta el siguiente.

### 2.2.6. Algoritmo de Cálculo.

A continuación, se muestra el algoritmo de cálculo, para determinar los diámetros de tubería mediante la ecuación cuadrática de Renouard:

**Figura 17.** *Algoritmo de cálculo*



**Fuente:** Elaboración propia



## **2.3 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN.**

Realizada la simulación a partir de las longitudes y caudales de los equipos, se analizaron las caídas de presión y velocidades de flujo en la tubería, entregando resultados favorables en cuanto al dimensionamiento de la red industrial de gas y selección de diámetros, cumpliendo con los parámetros de diseño.

Si bien los resultados obtenidos, fueron determinados con las propiedades del GLP, se hizo la simulación considerando propiedades físicas del gas natural y como conclusión, los diámetros obtenidos con este energético, serían también los adecuados para que todo el sistema de tuberías pueda abastecer a los equipos en su totalidad y cumpliendo con la demanda de caudal y presión. ( Anexo 6. Memoria de Cálculo GN).

Se puede observar que los diámetros nominales seleccionados en el diseño deberán ser: 4", 2 1/2" y 2" en Tubería de Acero negro ASTM-A53.

A partir del caudal de simultaneidad calculado, se puede determinar los componentes y elementos del puente de regulación primario y puente de regulación secundario. Para realizar la selección de los componentes de los PRM's, se debe tener la consideración de que combustible se utilizará para abastecer los equipos, ya que como se sabe, el GLP genera condensado, que, a mediano plazo, puede llegar a dañar la instrumentación y equipos de medición de los puentes de regulación.

Se realiza la comparación de la utilización de ambos combustibles, ya que se tiene un posible proyecto, en un periodo a mediano plazo, en el cual la población de Zudáñez, goce del beneficio del gas natural, es por tal motivo que se tomó como base de cálculo, el gas natural y el gas licuado de petróleo.

### **CAPÍTULO III: CONCLUSIONES**

- A partir de la descripción actual de la planta, se concluye que el requerimiento de contar con un sistema de distribución de gas para la nueva planta, es una necesidad futura.
- Se logró recabar toda la información necesaria, potencias de equipos, ubicación de equipos, presión de operación de equipos, longitudes y trazado, a partir de documentación generada y compartida por ENVIBOL. Con respecto a los datos de la población de Zudáñez, estos fueron obtenidos desde la página web del SENAMHI. Las propiedades y análisis cromatográfico del GLP, fueron recabadas de la página web de YPFB Logística y de certificados de calidad de las unidades de cisternas entregadas en planta a ENVIBOL.
- A partir de los datos recabados, se logró realizar el dimensionamiento de las tuberías de gas a través de la ecuación cuadrática de Renouard, basándonos en la normativa vigente y regulada por la ANH. Una vez obtenidos los resultados, se evaluó si los diámetros calculados, satisfacen las condiciones de diseño, llegando a la conclusión, que las variables y relaciones calculadas, se encuentran dentro los parámetros, de tal forma, que, con los diámetros calculados, se podrá cumplir con la demanda de caudal y presión.
- A través de la memoria de cálculo, se puede observar: las diferentes pérdidas de presión en la totalidad de los tramos donde se encuentran los nodos de derivación; la pérdida de carga total del sistema al equipo más alejado y que no supera el 10% del acumulado; las velocidades de flujo de gas están dentro del máximo permisible ( $< 20\text{m/s}$ ) y la relación  $Q/D$  es menor a 150.
- Se concluyó con la elaboración de los planos isométrico y de planta; En el primero, se detalla longitudes, diámetros y material de tubería; En el segundo se puede ver el trazado seleccionado, derivaciones y ubicación de los equipos.

## REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

ANH Hidrocarburos, A. N. (2016). *ANH*. La Paz: ANH.

BDF. (10 de Diciembre de 2023). *BDF*. Obtenido de BDF:  
<https://www.bdfindustriessgroup.com/melting/equipment-melting-furnace/>

Bolivia, G. O. (5 de Marzo de 2003). *LexiVox* . Obtenido de LexiVox :  
<https://www.lexivox.org/norms/BO-DS-N2329.html>

Bolivia, G. O. (2014). *Reglamento de Diseño, Cnstrucción, Operación de Redes de Gas Natural en instalaciones Internas ANEXO 5: Instalaciones de categorías Doméstica y Comercial de Gas Natural*. Bolivia: La Gaceta Oficial de Bolivia.

Bolivia, G. O. (2014). *Reglamento de Diseño, Construcción, Operación de Redes de Gas Natural en instalaciones Internas. ANEXO 6: Instalaciones de categoría Industrial de Gas Natural*. Bolivia: Gaceta Oficial de Bolivia.

Bolivia, G. O. (28 de Septiembre de 2023). *Derechoteca*. Obtenido de Derechoteca:  
<https://www.derechoteca.com/gacetabolivia/decreto-supremo-no-4801-del-28-de-septiembre-de-2022>

Caaspa, C. J. (2018). *DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN CENTRALIZADA DE GAS LICUADO DE LA HOSTERÍA - SPA MIRAMELINDO EN LA CIUDAD DE BAÑOS DE AGUA SANTA*. Ambato.

Escalera, S. J. (4 de Diciembre de 2004). *Acerca de nosotros: scielo*. Obtenido de scielo Web site:  
[http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1683-07892004000100008](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1683-07892004000100008)

GARCIA, Y. E. (2018). *GUIA TECNICA PARA EL DISEÑO DE UNA RED DE GAS NATURAL PARA USO INDUSTRIAL, APLICANDO LA NORMA TECNICA COLOMBIANA*. BUCARAMANGA.

Gas, T. S. (2018). *Proyecto Industrial de Gas Licuado de Petróleo*. Zudañez.

INFOCAL. (2015). *Apuntes del Curso de Técnico de Proyectos I*. Sucre: INFOCAL.

INFOCAL. (2016). *Apuntes del curso de Técnico de Proyectos II*. Sucre: INFOCAL.

Navarro, J. M. (2003). *El Vidrio*. Madrid: Textos Universitarios.

Sampieri, D. R. (2006). *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN*. México: McGraw-Hill.

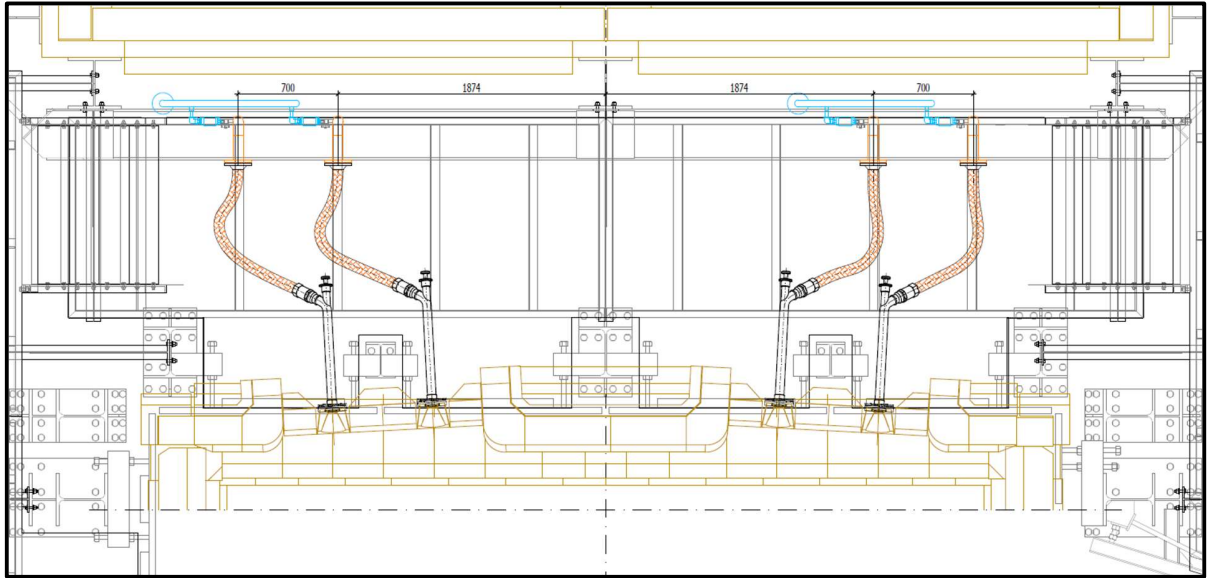
SENAMHI. (8 de Diciembre de 2023). *Senamhi*. Obtenido de Senamhi:  
<https://senamhi.gob.bo/index.php/inicio>

Tiempos, L. (10 de Septiembre de 2020). *Los Tiempos*. Obtenido de Los Tiempos:  
<https://www.lostiempos.com/mostrador/mostrador/20200911/vidrio-lux-cerro-su-planta-produccion-envases-vidrio-bolivia>

Velasco, M. (2015). *Apuntes del Curso de Diplomado en Tecnologías del Gas Natural*. La Paz: Facultad de Ingeniería.

## ANEXOS

### Anexo 1. Ubicación de quemadores



**Fuente:** Extraído de ENVIBOL (2021)

### Anexo 2. Tuberías de Acero Negro ASTM A53

| NOMINAL | DIÁMETRO EXTERIOR |        | ESPESOR DE PARED |      | PESO  |
|---------|-------------------|--------|------------------|------|-------|
| Pulg    | Pulg              | mm     | Pulg             | mm   | Kg/mt |
| 1/8     | 0.405             | 10.29  | 0.068            | 1.73 | 0.37  |
| 1/4     | 0.540             | 12.72  | 0.088            | 2.23 | 0.63  |
| 3/8     | 0.675             | 17.14  | 0.091            | 2.31 | 0.85  |
| 1/2     | 0.840             | 21.34  | 0.109            | 2.77 | 1.27  |
| 3/4     | 1.050             | 25.67  | 0.113            | 2.87 | 1.68  |
| 1       | 1.315             | 33.40  | 0.133            | 3.38 | 2.50  |
| 1 1/4   | 1.660             | 42.16  | 0.140            | 3.56 | 3.39  |
| 1 1/2   | 1.900             | 48.26  | 0.145            | 3.68 | 4.16  |
| 2       | 2.375             | 60.32  | 0.154            | 3.91 | 5.48  |
| 2 1/2   | 2.875             | 73.03  | 0.203            | 5.16 | 8.68  |
| 3       | 3.500             | 88.90  | 0.216            | 5.49 | 11.34 |
| 4       | 4.500             | 114.30 | 0.237            | 6.02 | 16.07 |
| 6       | 6.625             | 168.27 | 0.188            | 4.77 | 19.27 |
| 6       | 6.625             | 168.27 | 0.280            | 7.11 | 28.26 |

**Fuente:** Extraído de Aceros Tereo (2023)

### Anexo 3. Tabla de datos para GLP

| DATOS ADICIONALES                  |               |           |
|------------------------------------|---------------|-----------|
| DATOS GENERALES                    | 4000 mBar     | 400 mBar  |
| Gravedad Especifica del gas (S)    | 0,5266        |           |
| Patm normal                        | 1,0130 bar    |           |
| Patm local <b>ZUDÁÑEZ</b>          | 0,7560 bar    |           |
| P1 man                             | 4,00 bar      | 0,400 bar |
| Poder Calorífico Inferior (P.C.I.) | 26,04 Kw*h/m3 |           |
| ΔP al equipo más alejado           | 400 mbar      | 40,0 mbar |
| Caudal de Simulataneidad           | 412,09 m3/h   |           |

Fuente: Elaboración propia

### Anexo 4. Memoria de cálculo GLP

| TRAMO                                                                                                                          | POTENCIA (KW) | D <sub>INTERIOR</sub> (mm) | Long. (m) | Long. Equiv. (m) | Caudal (m³/h) | P <sub>1man</sub> (Bar) | P <sub>1abs</sub> (Bar) | P <sub>1</sub> <sup>2</sup> -P <sub>2</sub> <sup>2</sup> (Bar²) | P <sub>2abs</sub> (Bar) | P <sub>2man</sub> (Bar) | P <sub>promedio</sub> (Bar) | Vel. (m/s) | % P1-P2 | % P1-P2 ACUM. | ΔP (mBar) | RELACIÓN Q/D | D <sub>NOMINAL</sub> ELEGIDO (in) |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|----------------------------|-----------|------------------|---------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------------------------------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------------|------------|---------|---------------|-----------|--------------|-----------------------------------|
| TRAMO PRINCIPAL (EQUIPO MÁS ALEJADO)                                                                                           |               |                            |           |                  |               |                         |                         |                                                                 |                         |                         |                             |            |         |               |           |              |                                   |
| O-A                                                                                                                            | 10.730,80     | 114,30                     | 106,12    | 127,34           | 412,09        | 4,0000                  | 4,7560                  | 2,25E-02                                                        | 4,7536                  | 3,9976                  | 4,3878                      | 2,6261     | 0,0498% | 0,0498%       | 2,3683    | 3,6053       | 4"                                |
| A-F                                                                                                                            | 4.042,80      | 73,03                      | 14,07     | 16,88            | 155,25        | 3,9976                  | 4,7536                  | 4,38E-03                                                        | 4,7532                  | 3,9972                  | 4,3863                      | 2,4243     | 0,0097% | 0,0595%       | 0,4604    | 2,1259       | 2. 1/2"                           |
| F-H                                                                                                                            | 3.554,30      | 73,03                      | 6,23      | 7,48             | 136,49        | 3,9972                  | 4,7532                  | 1,53E-03                                                        | 4,7530                  | 3,9970                  | 4,3860                      | 2,1315     | 0,0034% | 0,0629%       | 0,1613    | 1,8690       | 2. 1/2"                           |
| H-L                                                                                                                            | 2.056,30      | 73,03                      | 8,62      | 10,34            | 78,97         | 3,9970                  | 4,7530                  | 7,84E-04                                                        | 4,7529                  | 3,9969                  | 4,3859                      | 1,2332     | 0,0017% | 0,0646%       | 0,0824    | 1,0813       | 2. 1/2"                           |
| L-Q                                                                                                                            | 558,30        | 73,03                      | 19,57     | 23,48            | 21,44         | 3,9969                  | 4,7529                  | 1,66E-04                                                        | 4,7529                  | 3,9969                  | 4,3858                      | 0,3348     | 0,0004% | 0,0650%       | 0,0174    | 0,2936       | 2. 1/2"                           |
| Q-S                                                                                                                            | 488,50        | 73,03                      | 25,89     | 31,07            | 18,76         | 3,9969                  | 4,7529                  | 1,72E-04                                                        | 4,7529                  | 3,9969                  | 4,3858                      | 0,2930     | 0,0004% | 0,0654%       | 0,0181    | 0,2569       | 2. 1/2"                           |
| CAIDA DE PRESION TOTAL AL APARATO MAS ALEJADO SEGÚN NORMATIVA ANEXO 6 ANH (10% DE LA PRESIÓN REGULADA DEL REGULADOR COLECTIVO) |               |                            |           |                  |               |                         |                         |                                                                 |                         |                         |                             |            |         | 0,3671%       | 3,1080    | SI CUMPLE    |                                   |
| TRAMOS SECUNDARIOS                                                                                                             |               |                            |           |                  |               |                         |                         |                                                                 |                         |                         |                             |            |         |               |           |              |                                   |
| A-B                                                                                                                            | 6.688,00      | 114,30                     | 9,39      | 11,27            | 256,84        | 3,9976                  | 4,7536                  | 8,43E-04                                                        | 4,7535                  | 3,9975                  | 4,3865                      | 1,6372     | 0,0019% | 0,0517%       | 0,0887    | 2,2470       | 4"                                |
| B-C                                                                                                                            | 6.688,00      | 114,30                     | 17,54     | 21,05            | 256,84        | 0,4000                  | 1,1560                  | 1,57E-03                                                        | 1,1553                  | 0,3993                  | 0,8390                      | 8,5594     | 0,0589% | 0,1106%       | 0,6812    | 2,2470       | 4"                                |
| C-D                                                                                                                            | 3.344,00      | 73,03                      | 3,31      | 3,97             | 128,42        | 0,3993                  | 1,1553                  | 7,29E-04                                                        | 1,1550                  | 0,3990                  | 0,8385                      | 10,4899    | 0,0273% | 0,1379%       | 0,3156    | 1,7584       | 2. 1/2"                           |
| C-E                                                                                                                            | 3.344,00      | 73,03                      | 3,33      | 4,00             | 128,42        | 0,3990                  | 1,1550                  | 7,33E-04                                                        | 1,1547                  | 0,3987                  | 0,8382                      | 10,4935    | 0,0275% | 0,1381%       | 0,3175    | 1,7584       | 2. 1/2"                           |
| F-G                                                                                                                            | 488,50        | 73,03                      | 37,96     | 45,55            | 18,76         | 3,9972                  | 4,7532                  | 2,52E-04                                                        | 4,7531                  | 3,9971                  | 4,3860                      | 0,2930     | 0,0006% | 0,0600%       | 0,0265    | 0,2569       | 2. 1/2"                           |
| H-I                                                                                                                            | 1.498,00      | 73,03                      | 1,99      | 2,39             | 57,53         | 3,9970                  | 4,7530                  | 1,02E-04                                                        | 4,7530                  | 3,9970                  | 4,3859                      | 0,8984     | 0,0002% | 0,0631%       | 0,0107    | 0,7877       | 2. 1/2"                           |
| I-J                                                                                                                            | 856,00        | 73,03                      | 0,87      | 1,04             | 32,87         | 3,9970                  | 4,7530                  | 1,60E-05                                                        | 4,7530                  | 3,9970                  | 4,3859                      | 0,5134     | 0,0000% | 0,0631%       | 0,0017    | 0,4501       | 2. 1/2"                           |
| I-K                                                                                                                            | 642,00        | 73,03                      | 9,39      | 11,27            | 24,65         | 3,9970                  | 4,7530                  | 1,03E-04                                                        | 4,7530                  | 3,9970                  | 4,3859                      | 0,3850     | 0,0002% | 0,0633%       | 0,0108    | 0,3376       | 2. 1/2"                           |
| L-M                                                                                                                            | 1.498,00      | 60,32                      | 1,99      | 2,39             | 57,53         | 3,9969                  | 4,7529                  | 2,55E-04                                                        | 4,7529                  | 3,9969                  | 4,3858                      | 1,3169     | 0,0006% | 0,0652%       | 0,0269    | 0,9537       | 2"                                |
| M-N                                                                                                                            | 856,00        | 60,32                      | 0,87      | 1,04             | 32,87         | 3,9969                  | 4,7529                  | 4,03E-05                                                        | 4,7529                  | 3,9969                  | 4,3858                      | 0,7525     | 0,0001% | 0,0653%       | 0,0042    | 0,5450       | 2"                                |
| M-P                                                                                                                            | 642,00        | 60,32                      | 9,39      | 11,27            | 24,65         | 3,9969                  | 4,7529                  | 2,58E-04                                                        | 4,7529                  | 3,9969                  | 4,3858                      | 0,5644     | 0,0006% | 0,0657%       | 0,0271    | 0,4087       | 2"                                |
| Q-R                                                                                                                            | 69,80         | 60,32                      | 15,68     | 18,82            | 2,68          | 3,9969                  | 4,7529                  | 7,59E-06                                                        | 4,7529                  | 3,9969                  | 4,3858                      | 0,0614     | 0,0000% | 0,0650%       | 0,0008    | 0,0444       | 2"                                |

Fuente: Elaboración propia

## Anexo 5. Tabla de datos para GN

| DATOS ADICIONALES                  |              |           |
|------------------------------------|--------------|-----------|
| DATOS GENERALES                    | 4000 mBar    | 400 mBar  |
| Gravedad Específica del gas (S)    | 0,6200       |           |
| Patm normal                        | 1,0130 bar   |           |
| Patm local <u>ZUDAÑEZ</u>          | 0,7560 bar   |           |
| P1 man                             | 4,00 bar     | 0,400 bar |
| Poder Calorífico Inferior (P.C.I.) | 9,72 Kw*h/m3 |           |
| ΔP al equipo más alejado           | 400 mbar     | 40,0 mbar |
| Caudal de Simulataneidad           | 1103,99 m3/h |           |

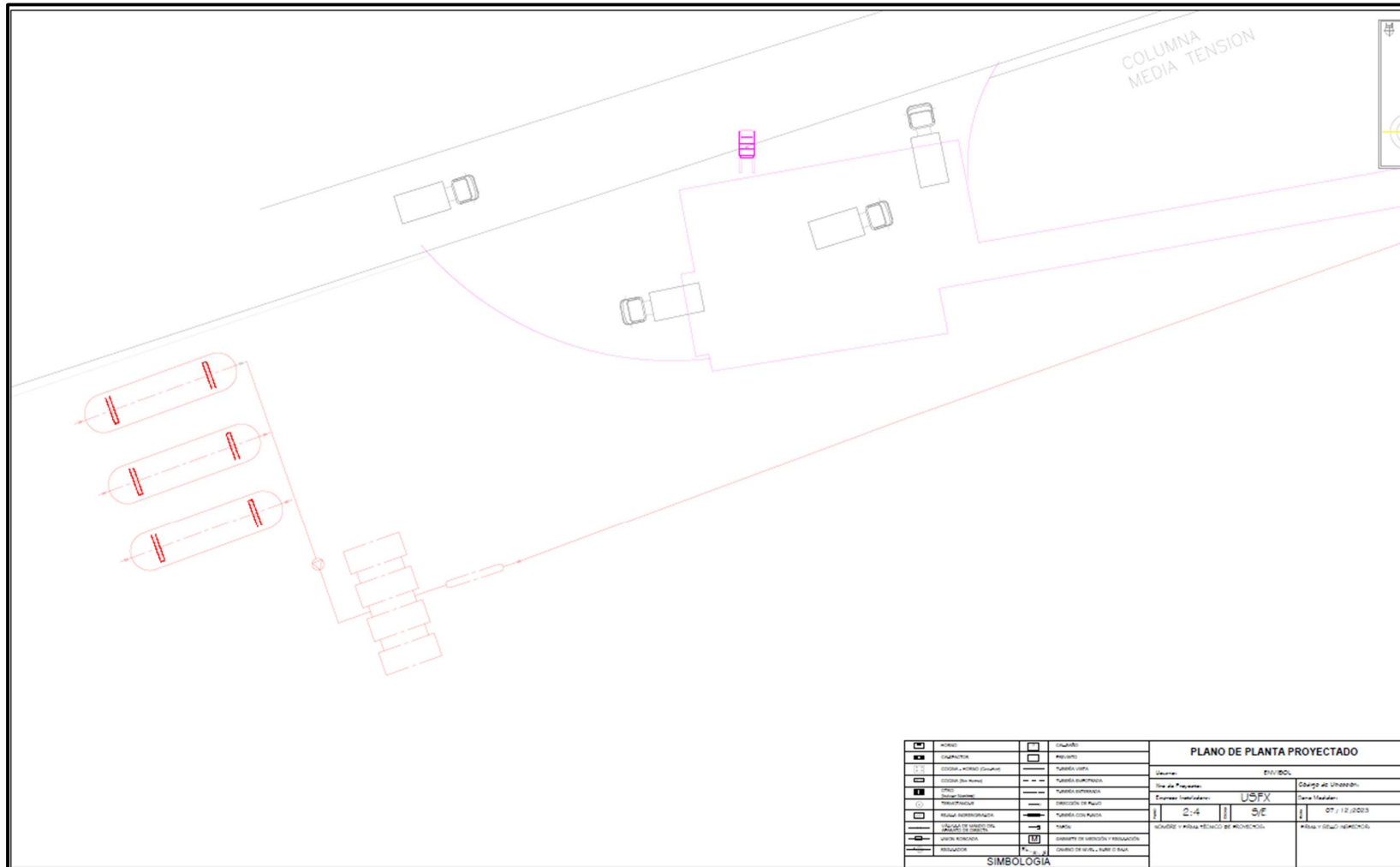
Fuente: Elaboración propia

## Anexo 6. Memoria de Cálculo GN

| TRAMO                                                                                                                          | POTENCIA (KW) | D <sub>INTERIOR</sub> (mm) | Long. (m) | Long. Equiv. (m) | Caudal (m³/h) | P <sub>1man</sub> (Bar) | P <sub>1abr</sub> (Bar) | P <sup>2</sup> <sub>1-P2</sub> (Bar²) | P <sub>2abr</sub> (Bar) | P <sub>2man</sub> (Bar) | P <sub>promedio</sub> (Bar) | Vel. (m/s) | % P1-P2 | % P1-P2 ACUM. | ΔP (mBar) | RELACIÓN Q/D | D <sub>NOMINAL</sub> ELEGIDO (in) |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|----------------------------|-----------|------------------|---------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------------|------------|---------|---------------|-----------|--------------|-----------------------------------|
| <b>TRAMO PRINCIPAL (EQUIPO MÁS ALEJADO)</b>                                                                                    |               |                            |           |                  |               |                         |                         |                                       |                         |                         |                             |            |         |               |           |              |                                   |
| O-A                                                                                                                            | 10.730,80     | 114,30                     | 106,12    | 127,34           | 1.103,99      | 4,0000                  | 4,7560                  | 1,59E-01                              | 4,7392                  | 3,9832                  | 4,3810                      | 7,0461     | 0,353%  | 0,353%        | 16,7848   | 9,6587       | 4"                                |
| A-F                                                                                                                            | 4.042,80      | 73,03                      | 14,07     | 16,88            | 415,93        | 3,9832                  | 4,7392                  | 3,10E-02                              | 4,7359                  | 3,9799                  | 4,3706                      | 6,5181     | 0,069%  | 0,422%        | 3,2693    | 5,6953       | 2. 1/2"                           |
| F-H                                                                                                                            | 3.554,30      | 73,03                      | 6,23      | 7,48             | 365,67        | 3,9799                  | 4,7359                  | 1,09E-02                              | 4,7348                  | 3,9788                  | 4,3683                      | 5,7335     | 0,024%  | 0,446%        | 1,1457    | 5,0071       | 2. 1/2"                           |
| H-L                                                                                                                            | 2.056,30      | 73,03                      | 8,62      | 10,34            | 211,55        | 3,9788                  | 4,7348                  | 5,55E-03                              | 4,7342                  | 3,9782                  | 4,3675                      | 3,3177     | 0,012%  | 0,458%        | 0,5856    | 2,8968       | 2. 1/2"                           |
| L-Q                                                                                                                            | 558,30        | 73,03                      | 19,57     | 23,48            | 57,44         | 3,9782                  | 4,7342                  | 1,17E-03                              | 4,7341                  | 3,9781                  | 4,3671                      | 0,9009     | 0,003%  | 0,461%        | 0,1239    | 0,7865       | 2. 1/2"                           |
| Q-S                                                                                                                            | 488,50        | 73,03                      | 25,89     | 31,07            | 50,26         | 3,9781                  | 4,7341                  | 1,22E-03                              | 4,7340                  | 3,9780                  | 4,3670                      | 0,7883     | 0,003%  | 0,464%        | 0,1286    | 0,6882       | 2. 1/2"                           |
| CAIDA DE PRESION TOTAL AL APARATO MAS ALEJADO SEGÚN NORMATIVA ANEXO 5 ANH (10% DE LA PRESIÓN REGULADA DEL REGULADOR COLECTIVO) |               |                            |           |                  |               |                         |                         |                                       |                         |                         |                             |            |         |               | 2,604%    | 22,038       | SI CUMPLE                         |
| <b>TRAMOS SECUNDARIOS</b>                                                                                                      |               |                            |           |                  |               |                         |                         |                                       |                         |                         |                             |            |         |               |           |              |                                   |
| A-B                                                                                                                            | 6.688,00      | 114,30                     | 9,39      | 11,27            | 688,07        | 3,9832                  | 4,7392                  | 5,96E-03                              | 4,7386                  | 3,9826                  | 4,3718                      | 4,4007     | 0,013%  | 0,37%         | 0,6293    | 6,0198       | 4"                                |
| B-C                                                                                                                            | 6.688,00      | 114,30                     | 17,54     | 21,05            | 688,07        | 0,4000                  | 1,1560                  | 1,11E-02                              | 1,1512                  | 0,3952                  | 0,8378                      | 22,9645    | 0,418%  | 0,78%         | 4,8291    | 6,0198       | 4"                                |
| C-D                                                                                                                            | 3.344,00      | 73,03                      | 3,31      | 3,97             | 344,03        | 0,3952                  | 1,1512                  | 5,16E-03                              | 1,1489                  | 0,3929                  | 0,8341                      | 28,2505    | 0,195%  | 0,98%         | 2,2430    | 4,7108       | 2. 1/2"                           |
| C-E                                                                                                                            | 3.344,00      | 73,03                      | 3,33      | 4,00             | 344,03        | 0,3929                  | 1,1489                  | 5,19E-03                              | 1,1467                  | 0,3907                  | 0,8320                      | 28,3207    | 0,197%  | 0,98%         | 2,2610    | 4,7108       | 2. 1/2"                           |
| F-G                                                                                                                            | 488,50        | 73,03                      | 37,96     | 45,55            | 50,26         | 3,9799                  | 4,7359                  | 1,79E-03                              | 4,7358                  | 3,9798                  | 4,3688                      | 0,7879     | 0,004%  | 0,43%         | 0,1885    | 0,6882       | 2. 1/2"                           |
| H-I                                                                                                                            | 1.498,00      | 73,03                      | 1,99      | 2,39             | 154,12        | 3,9788                  | 4,7348                  | 7,19E-04                              | 4,7347                  | 3,9787                  | 4,3677                      | 2,4168     | 0,002%  | 0,45%         | 0,0760    | 2,1103       | 2. 1/2"                           |
| I-J                                                                                                                            | 856,00        | 73,03                      | 0,87      | 1,04             | 88,07         | 3,9787                  | 4,7347                  | 1,14E-04                              | 4,7347                  | 3,9787                  | 4,3677                      | 1,3810     | 0,000%  | 0,45%         | 0,0120    | 1,2059       | 2. 1/2"                           |
| I-K                                                                                                                            | 642,00        | 73,03                      | 9,39      | 11,27            | 66,05         | 3,9787                  | 4,7347                  | 7,26E-04                              | 4,7346                  | 3,9786                  | 4,3676                      | 1,0358     | 0,002%  | 0,45%         | 0,0767    | 0,9044       | 2. 1/2"                           |
| L-M                                                                                                                            | 1.498,00      | 60,32                      | 1,99      | 2,39             | 154,12        | 3,9782                  | 4,7342                  | 1,81E-03                              | 4,7340                  | 3,9780                  | 4,3671                      | 3,5431     | 0,004%  | 0,46%         | 0,1909    | 2,5550       | 2"                                |
| M-N                                                                                                                            | 856,00        | 60,32                      | 0,87      | 1,04             | 88,07         | 3,9780                  | 4,7340                  | 2,85E-04                              | 4,7340                  | 3,9780                  | 4,3669                      | 2,0247     | 0,001%  | 0,46%         | 0,0301    | 1,4600       | 2"                                |
| M-P                                                                                                                            | 642,00        | 60,32                      | 9,39      | 11,27            | 66,05         | 3,9780                  | 4,7340                  | 1,82E-03                              | 4,7338                  | 3,9778                  | 4,3669                      | 1,5185     | 0,004%  | 0,47%         | 0,1927    | 1,0950       | 2"                                |
| Q-R                                                                                                                            | 69,80         | 60,32                      | 15,68     | 18,82            | 7,18          | 3,9781                  | 4,7341                  | 5,37E-05                              | 4,7341                  | 3,9781                  | 4,3670                      | 0,1651     | 0,000%  | 0,46%         | 0,0057    | 0,1190       | 2"                                |

Fuente: Elaboración propia

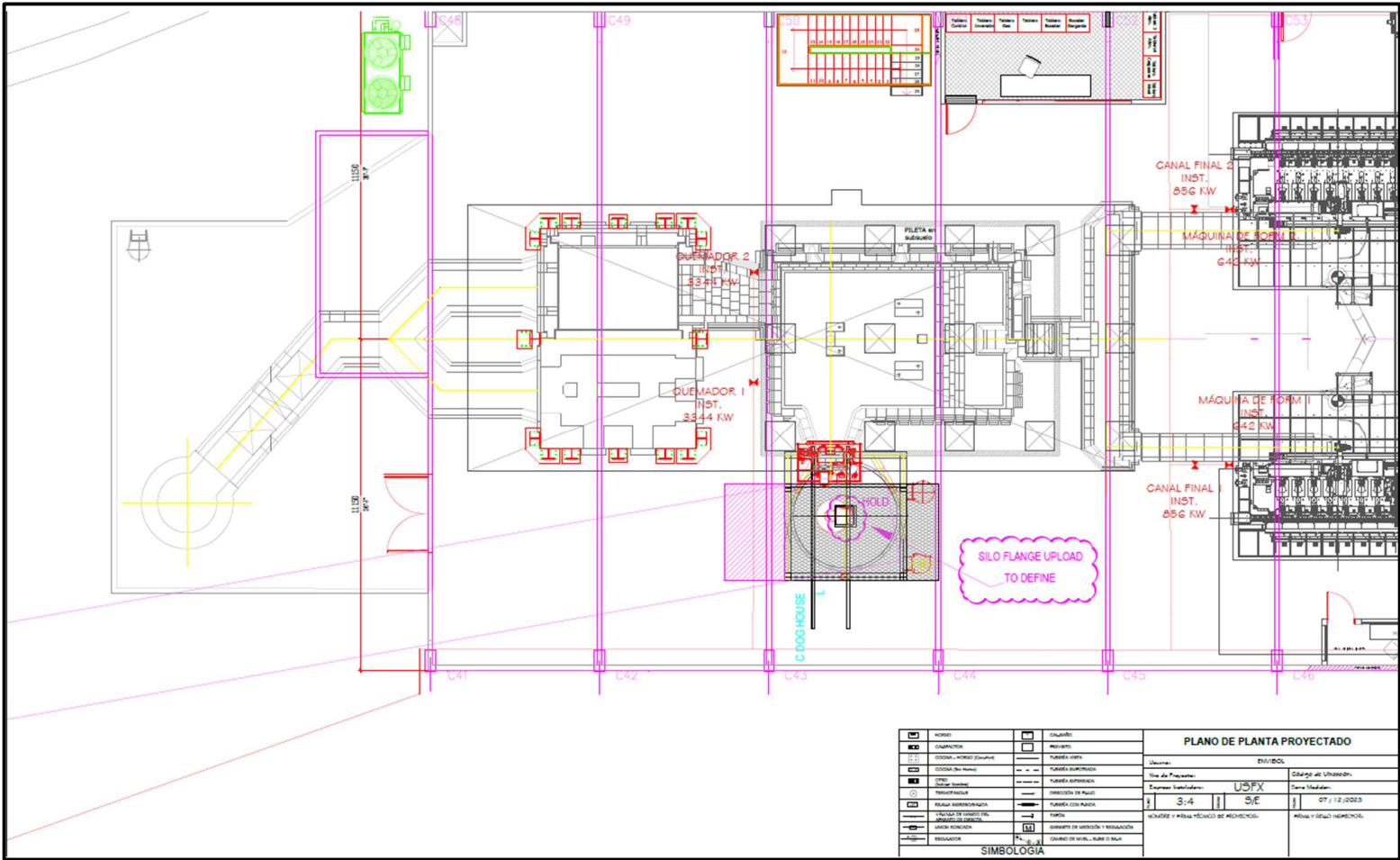
## Anexo 7. Plano de planta salida de PRM



**Fuente:** Elaboración propia

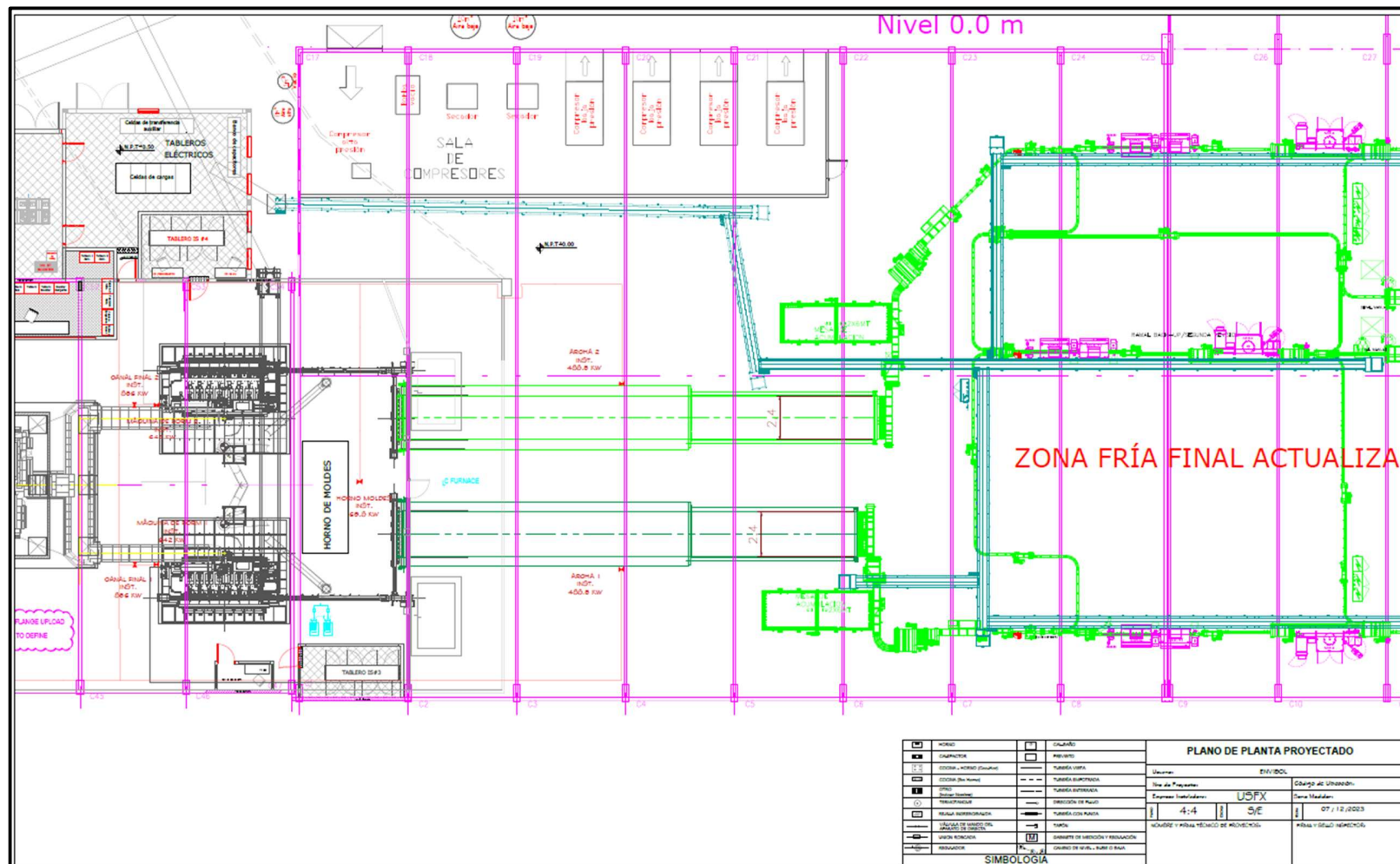


Anexo 8. Plano de planta - Ubicación quemadores horno



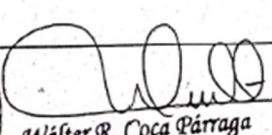
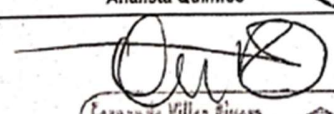
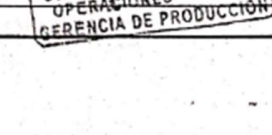
Fuente: Elaboración propia

## Anexo 9. Plano de planta - Ubicación equipos



**Fuente:** Elaboración propia

# Anexo 10. Cromatografía GLP

|                                                                                                                           |                                |                                                                                                                                                                                                                                                             |                               |                                    |                                    |                                                                                                                                                                            |                                    |                  |         |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|------------------|---------|
|  <p>La fuerza que transforma Bolivia</p> |                                | GIND - Gerencia de Industrialización                                                                                                                                                                                                                        |                               | Código:<br>RG-03-B-PP-2-GIND/DOP-1 |                                    |                                                                                                                                                                            |                                    |                  |         |
|                                                                                                                           |                                | CERTIFICADO DE CALIDAD DE GLP                                                                                                                                                                                                                               |                               |                                    |                                    |                                                                                                                                                                            |                                    |                  |         |
| Planta: PSL-CV<br>Fecha de Muestreo: 07/10/2019<br>Bullet/Esfera N°.: V-607A                                              |                                | N° de Certificado: 98/2019<br>Hora: 9:00 AM<br>Nro. Lote: 29                                                                                                                                                                                                |                               |                                    |                                    |                                                                                                                                                                            |                                    |                  |         |
| COMPOSICIÓN (% Vol. Liq)                                                                                                  |                                |                                                                                                                                                                                                                                                             |                               |                                    |                                    |                                                                                                                                                                            |                                    |                  |         |
| CROMATOGRAFIA                                                                                                             | CH <sub>4</sub>                | C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>                                                                                                                                                                                                                               | C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> | i - C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> | n - C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> | i - C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>                                                                                                                                         | n - C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> | C <sub>6</sub> + | TOTAL   |
| GLP                                                                                                                       | 0.0000                         | 0.7957                                                                                                                                                                                                                                                      | 66.3910                       | 13.3228                            | 17.9886                            | 1.4077                                                                                                                                                                     | 0.0942                             | 0.0000           | 100.00% |
| N°.                                                                                                                       | PRUEBA                         | METODO ASTM                                                                                                                                                                                                                                                 | ESPECIFICACION                |                                    | UNIDAD                             | RESULTADO                                                                                                                                                                  |                                    |                  |         |
|                                                                                                                           |                                |                                                                                                                                                                                                                                                             | MINIMO                        | MAXIMO                             |                                    |                                                                                                                                                                            |                                    |                  |         |
| 1                                                                                                                         | Grav. Especifica a 60 °F       | ASTM D - 2598                                                                                                                                                                                                                                               | 0.52                          | 0.57                               | -                                  | 0.5266                                                                                                                                                                     |                                    |                  |         |
| 2                                                                                                                         | Tensión de Vapor a 100 °F      | ASTM D - 2598                                                                                                                                                                                                                                               | 80                            | 170                                | PSIg.                              | 140.97                                                                                                                                                                     |                                    |                  |         |
| 3                                                                                                                         | Residuo Volátil 95% Volumen    | ASTM D - 1837                                                                                                                                                                                                                                               |                               | 2.2 (36)                           | *C(°F)                             | -2.8                                                                                                                                                                       |                                    |                  |         |
| 4                                                                                                                         | Pentano y mas pesados          | ASTM D - 2163                                                                                                                                                                                                                                               |                               | 2                                  | %Vol                               | 1.5018                                                                                                                                                                     |                                    |                  |         |
| 5                                                                                                                         | Residuo por evaporación 100 ml | ASTM D - 2158                                                                                                                                                                                                                                               |                               | 0.05                               | ml                                 | 0.00                                                                                                                                                                       |                                    |                  |         |
| 6                                                                                                                         | Corrosión lámina de cobre      | ASTM D - 1838                                                                                                                                                                                                                                               |                               | 1                                  | -                                  | 1                                                                                                                                                                          |                                    |                  |         |
| 7                                                                                                                         | Azufre total                   | ASTM D - 2784                                                                                                                                                                                                                                               |                               | 200                                | ppm/P                              | 1.2324                                                                                                                                                                     |                                    |                  |         |
| 8                                                                                                                         | Humedad                        | ASTM D - 2713                                                                                                                                                                                                                                               | Cumple                        |                                    | -                                  | Cumple                                                                                                                                                                     |                                    |                  |         |
| 9                                                                                                                         | Poder calorífico superior      | ASTM D - 3588                                                                                                                                                                                                                                               | Informar                      |                                    | BTU/m3                             | 2737.08                                                                                                                                                                    |                                    |                  |         |
|                                                                                                                           |                                |                                                                                                                                                                                                                                                             |                               |                                    | BTU/lb                             | 21543.82                                                                                                                                                                   |                                    |                  |         |
| 10                                                                                                                        | Contenido de etano             | ASTM D - 2163                                                                                                                                                                                                                                               |                               | 3                                  | % Vol.                             | 0.7957                                                                                                                                                                     |                                    |                  |         |
| COMPOSICION:                                                                                                              |                                | % C <sub>3</sub>                                                                                                                                                                                                                                            | % C <sub>4</sub>              |                                    |                                    |                                                                                                                                                                            |                                    |                  |         |
|                                                                                                                           |                                | 63.6451                                                                                                                                                                                                                                                     | 34.0446                       |                                    |                                    |                                                                                                                                                                            |                                    |                  |         |
| OBSERVACIONES:                                                                                                            |                                |   <p>Walter R. Coca Parraga<br/>ENC. DE PLANTA GLP CHORA CHORA<br/>D.C.C.H YPFB.</p> |                               |                                    |                                    |                                                                                                                                                                            |                                    |                  |         |
|                                                                                                                           |                                | Analista Químico                                                                                                                                                                                                                                            |                               | Supervisor de Operaciones          |                                    |                                                                                                                                                                            |                                    |                  |         |
| Firma:                                                                                                                    |                                |  <p>Fernando Vilca Rivera<br/>LABORATORISTA<br/>DE PLANTA<br/>GERENCIA DE PRODUCCIÓN</p>                                                                                 |                               | Firma:                             |                                    |  <p>Alejandro Mendoza<br/>SUPERVISOR DE<br/>OPERACIONES<br/>GERENCIA DE PRODUCCIÓN</p> |                                    |                  |         |
| Nombre:                                                                                                                   |                                |                                                                                                                                                                          |                               | Nombre:                            |                                    |                                                                                        |                                    |                  |         |

Fuente: Extraído de ENVIBOL (2019)

Anexo 11. Cromatografía GN


**TOTAL**  
 EXPLORATION & PRODUCTION

**Planilla Diaria de Cromatografía**

Fecha 24/06/2017

| No.              | Componente         | Symbolo          | Gas de Salida               |
|------------------|--------------------|------------------|-----------------------------|
| Pozos            |                    |                  | ICSX-1-Aquio<br>1001,ICSX-2 |
| Hora             |                    |                  | 10:20                       |
| Presión (Bar)    |                    |                  | 72.16                       |
| Temperatura (°C) |                    |                  | -                           |
|                  |                    |                  | (%) mol                     |
| 1                | Nitrógeno          | N <sub>2</sub>   | 0.8762                      |
| 2                | Dióxido de Carbono | CO <sub>2</sub>  | 0.9835                      |
| 3                | Oxígeno            | O <sub>2</sub>   | 0.0000                      |
| 4                | Metano             | C <sub>1</sub>   | 90.7075                     |
| 5                | Etano              | C <sub>2</sub>   | 4.7017                      |
| 6                | Propano            | C <sub>3</sub>   | 1.6912                      |
| 7                | Iso-Butano         | i-C <sub>4</sub> | 0.2712                      |
| 8                | n-Butano           | n-C <sub>4</sub> | 0.4264                      |
| 9                | Iso-Pentano        | i-C <sub>5</sub> | 0.1364                      |
| 10               | n-Pentano          | n-C <sub>5</sub> | 0.0979                      |
| 11               | Hexanos            | C <sub>6</sub>   | 0.0740                      |
| 12               | Heptanos           | C <sub>7</sub>   | 0.0254                      |
| 13               | Octanos            | C <sub>8</sub>   | 0.0081                      |
| 14               | Nonanos            | C <sub>9</sub>   | 0.0004                      |
| 15               | Decano             | C <sub>10</sub>  | 0.0000                      |
| 16               | Undecano +         | C <sub>11</sub>  | 0.0000                      |
|                  |                    |                  | 100.000                     |

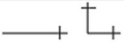
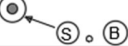
  

|    |                                 |  |            |
|----|---------------------------------|--|------------|
| 16 | Gravedad específica             |  | 0.62332    |
| 17 | Poder calorífico en base seca   |  | 1082.69591 |
| 18 | Poder calorífico en base húmeda |  | 1064.17642 |
| 19 | Dew Point                       |  | 26.23      |

Fuente: Extraído de TOTAL (2017)



**Anexo 12.** Simbología en planos Isométricos.

|                                                                                   |                                      |                                                                                   |                                   |
|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|
|  | DIRECCION DE FLUJO                   |  | TUBERIA VISTA                     |
|  | ACCESORIO ROSCADO                    |  | TUBERIA EMPOTRADA                 |
|  | ACCESORIO SOLDADO                    |  | TUBERIA ENTERRADA                 |
|  | VALVULA DE MANDO DEL APARATO DIRECTA |  | TUBERIA CON FUNDA                 |
|  | VALVULA DE MANDO DEL APARATO DE CODO |  | <b>TAPÓN</b>                      |
|  | UNION ROSCADA                        |  | GABINETE DE MEDICION Y REGULACION |
|  | UNION SOLDADA                        |  | REDUCCION ROSCADA                 |
|  | REGULADOR                            |  | REDUCCION SOLDADA                 |
|  | TUBERIA PREVISTA                     |  | CAMBIO DE NIVEL - SUBE O BAJA     |
| <b>SIMBOLOGÍA</b>                                                                 |                                      |                                                                                   |                                   |

**Fuente:** Elaboración propia