

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA,**

**INFORMATICA Y MECÁNICA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**TESIS**

**DISEÑO E INSTALACIÓN DE UN SISTEMA GLP DE 12 000 GALONES DE CAPACIDAD, BAJO LOS ESTÁNDARES DE CALIDAD DE LA UNIDAD MINERA ANGLOAMERICAN QUELLAVECO EN LA CIUDAD DE MOQUEGUA**

**PRESENTADO POR:**

**Bach. ERBER TINTAYA MARCAVILLACA**

**PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECÁNICO**

**ASESOR**

**Ing. Roosbel Dennis Mamani Castillo**

**CUSCO – PERÚ**

**2024**

# INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, Asesor del trabajo de investigación/tesis titulada: DISEÑO E INSTALACIÓN DE UN SISTEMA RLP DE 12000 GALONES DE CAPACIDAD, BAJO LOS ESTÁNDARES DE CALIDAD DE LA UNIDAD MINERA AMERICANA (QUELLAVECO) EN LA CIUDAD DE MOQUEGUA

presentado por: ERDER TINTAYA MARCAVILLACA con DNI Nro.: 47356199 presentado por: ..... con DNI Nro.: ..... para optar el título profesional/grado académico de INGENIERO MECÁNICO

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 02 veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 9 %.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

| Porcentaje     | Evaluación y Acciones   | Marque con una (X)                  |
|----------------|---|-------------------------------------|
| Del 1 al 10%   | No se considera plagio.   | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Del 11 al 30 % | Devolver al usuario para las correcciones.  | <input type="checkbox"/>            |
| Mayor a 31%    | El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley. | <input type="checkbox"/>            |

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto la primera página del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 05 de FEBRERO de 2024.....

Firma

Post firma Roosbel Dennis Mamani Castillo

Nro. de DNI 24002331

ORCID del Asesor 0000-0002-8998-184X

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: oid: 27259:324428967

NOMBRE DEL TRABAJO

**TESIS-DISEÑO E INSTALACION DE UN SISTEMA GLP DE 12000 GLNS.docx**

AUTOR

**ERBER TINTAYA MARCAVILLACA**

RECUENTO DE PALABRAS

**42317 Words**

RECUENTO DE CARACTERES

**223604 Characters**

RECUENTO DE PÁGINAS

**234 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**12.2MB**

FECHA DE ENTREGA

**Feb 5, 2024 7:53 AM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Feb 5, 2024 7:56 AM GMT-5****● 9% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 8% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 4% Base de datos de trabajos entregados
- 2% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

**● Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Fuentes excluidas manualmente
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 20 palabras)
- Bloques de texto excluidos manualmente



## **PRESENTACIÓN**

Señor Decano de la Facultad de Ingeniería Eléctrica, Electrónica, Informática y Mecánica:

Estimados Docentes y Miembros del Jurado:

De acuerdo con lo establecido en el Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad, les presento la tesis titulada: “Diseño e Instalación de un Sistema de Gas Licuado de Petróleo (GLP) de 12,000 galones de capacidad, siguiendo los estándares de calidad de la U.M. Anglo American Quellaveco en la ciudad de Moquegua”. Este trabajo se ha desarrollado considerando las condiciones atmosféricas específicas del lugar, cumpliendo con normativas nacionales e internacionales y manteniendo los altos estándares de calidad de la U.M

**Erber Tintaya Marcavillaca**



## **DEDICATORIA**

*A Dios por su amor y su bondad que no tiene fin, por darme la oportunidad de tener esta vida y por darme la fuerza necesaria para seguir adelante.*

*A mi padre Eusebio Tintaya y a mi madre Gerarda Marcavillaca, el ejemplo y la pareja perfecta, mi motivo, mi anhelo y mi inspiración en la vida. No son las palabras, sino el ejemplo*

*A mis hermanos Raúl, Yaqueli, Charmeli y Lisbeth, por esa unión de siempre, por la amistad, la confianza y por siempre estar conmigo sin importar las circunstancias.*

*A mis sobrinos, sobrinas y familia en general, por ser parte de mi vida.*

## **AGRADECIMIENTO**

*A mis docentes de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, mi reconocimiento y gratitud por la experiencia y el conocimiento compartido. A mi escuela profesional de Ingeniería Mecánica, por ser el motivo de muchos sueños y anhelos en mi vida*

*A mi asesor, el Ing. Roosbel Mamani, por su constante apoyo moral, académico, por compartir sus experiencias y por su motivación en mi desarrollo profesional. Al Ing. Mario Castro y Arturo Macedo, por su permanente guía en la elaboración de mi trabajo.*

*A mis amigos, gracias por estos maravillosos años juntos en la universidad. Las experiencias que compartimos están grabadas en la memoria y en nuestros corazones.*

***Erber Tintaya Marcavillaca***



## RESUMEN

El gas licuado de petróleo (GLP) es la fuente principal de energía en industrias, negocios y hogares. Su combustión completa no contamina el medio ambiente. Además, al usarlo en los hogares, contribuye a la preservación del medio ambiente al evitar la tala de árboles para la producción de leña y carbón

Hoy en día, el gas licuado de petróleo (GLP), que proviene de refineras y, en algunos casos, se importa a través de la asociación de envasadoras de GLP del país, se transporta en camiones tanque a las plantas envasadoras. Allí, se lleva a cabo el envasado en cilindros de GLP en diversas presentaciones, para luego ser distribuido a los hogares en todo el país. No obstante, es importante destacar que no todas las instalaciones cumplen con las normas de seguridad establecidas por el Ministerio de Energía y Minas, y el Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (OSINERGMIN). Esto representa un riesgo tanto para los trabajadores como para los vecinos, especialmente porque el GLP es un producto altamente inflamable

Es por este motivo que la presente tesis describe los diferentes aspectos a ser tomados en cuenta en el diseño e instalación de un sistema de Gas Licuado de Petróleo (GLP), este un proyecto de gran importancia y alcance que busca proporcionar una solución eficiente y segura para el suministro de energía. El diseño e instalación de este sistema de GLP representa un paso fundamental en la mejora de la infraestructura y la sostenibilidad energética de la U.M, al tiempo que contribuye a la reducción de costos operativos y la minimización al impacto ambiental.

**Palabras claves:** Sistema GLP, Sistema de Almacenamiento, Sistema de Distribución, Estándares de calidad, Diseño e Instalación.



## ABSTRACT

Liquefied petroleum gas (LPG) is the main source of energy in industries, businesses and homes. Its complete combustion does not pollute the environment. In addition, when used in homes, it contributes to the preservation of the environment by avoiding the felling of trees for the production of firewood and charcoal.

Today, liquefied petroleum gas (LPG), which comes from refineries and, in some cases, is imported through the country's LPG bottling association, is transported by tanker trucks to bottling plants. There, LPG is packaged in cylinders in various presentations, and then distributed to homes throughout the country. However, it is important to highlight that not all facilities comply with the safety standards established by the Ministry of Energy and Mines, and the Supervisory Body for Investment in Energy and Mining (OSINERGMIN). This represents a risk to both workers and neighbors, especially since LPG is a highly flammable product.

It is for this reason that this thesis describes the different aspects to be taken into account in the design and installation of a Liquefied Petroleum Gas (LPG) system, this is a project of great importance and scope that seeks to provide an efficient and safe solution for power supply. The design and installation of this LPG system represents a fundamental step in improving the infrastructure and energy sustainability of the U.M, while contributing to the reduction of operating costs and the minimization of environmental impact.



## INTRODUCCION

El desarrollo del trabajo de tesis tiene por objetivo el diseño e instalación de un sistema GLP de 12000 galones de capacidad, bajos los estándares de calidad de la UM Anglo American Quellaveco.

El sistema tiene una capacidad de almacenamiento de 12000 galones, los cuales suministran GLP a 25 puntos de consumo mediante redes de tuberías con presiones de trabajo de alta, media y baja presión con un sistema de regulación de dos etapas entregando presión y caudal constante según las especificaciones técnicas de los equipo de consumo. La instalación cuenta con sistema vaporización forzada y vaporización natural, los cuales son diseñados bajo los estándares de normativas nacionales e internacionales, con un diseño único para las condiciones atmosféricas del lugar.

**En el capítulo I**, Generalidades; se describe y plantea el problema, objetivos, hipótesis, Justificación, alcances, limitaciones y sistema de variables.

**En el capítulo II**, Marco teórico; se desarrolla los conceptos generales para el diseño e instalación del sistema GLP, conceptos generales del mercado y cadena de comercialización del GLP, por último se describe el sistema GLP y los elementos que le conforman.

**En el capítulo III**, En este capítulo se realizó una metodología para dimensionamiento del sistema de almacenamiento, aplicando los conceptos descritos en el capítulo II. En este sistema se realizó dos métodos de cálculo, analítico y experimental, de los cuales se consideró el valor más conservador, teniendo como datos de partida las potencias de consumo, los cuales fueron proporcionados por la unidad minera Anglo American Quellaveco y tomando como valores reales las condiciones atmosféricas del lugar como la presión y temperatura.

**En el capítulo IV**, En este capítulo se dimensionó el sistema de distribución para la línea alta, media y baja presión, teniendo como datos de partida los parámetros de diseño; presión, caudal, longitud de la tubería y las propiedades químicas del GLP. Para el dimensionamiento



del sistema de distribución se realizó tres métodos de cálculo en base a la Norma NFPA 54 y NTP 321.121, de los resultados obtenidos se optó por el más conservador para dar confiabilidad al diseño. Se detallaron las especificaciones técnicas donde se describen detalles sobre parámetros de construcción y parámetros de operación.

**En este capítulo V**, se desarrolló el proceso de Instalación del sistema GLP, para lo cual se siguió un procedimiento de trabajo cumpliendo los estándares de calidad de la UM Anglo American Quellaveco. Se desarrolló las pruebas de hermeticidad y firma de actas de conformidad según los lineamientos de la UM.

**En este capítulo VI**, se detallan los costos directos de construcción del sistema GLP que incluyen el metrado de materiales en sistema de almacenamiento, distribución, regulación, vaporización forzada y metrado de servicios por terceros. Asimismo, se detallan los costos de operación y de mantenimiento del sistema GLP en un periodo de un año por ser una instalación de carácter crítico en seguridad y cumplir los lineamientos especificados en la NTP 321.123.



## Índice General

|  |    |
|--|----|
| PRESENTACIÓN .....   | 2  |
| RESUMEN .....  | 4  |
| ABSTRACT .....   | 5  |
| INTRODUCCION.....  | 6  |
| CAPITULO I.....  | 14 |
| 1. ASPECTOS GENERALES .....  | 14 |
| 1.1    Ámbito geográfico.....  | 14 |
| 1.2    Condiciones meteorológicas .....  | 14 |
| 1.3    El problema .....   | 15 |
| 1.4    Objetivos de la investigación .....                                       | 17 |
| 1.5    Justificación de la tesis .....   | 18 |
| 1.6    Alcances y limitaciones.....  | 19 |
| 1.7    Sistema de Hipótesis .....  | 19 |
| 1.8    Variables del Estudio .....   | 19 |
| CAPITULO II.....   | 21 |
| MARCO TEÓRICO .....  | 21 |
| 2. Antecedentes de estudio .....   | 21 |
| 2.1    Antecedentes internacionales .....  | 21 |
| 2.2    Antecedentes nacionales .....   | 22 |
| 2.3    Transferencia de calor .....  | 23 |
| 2.4    Primera ley de la termodinámica.....                                      | 24 |
| 2.5    Mecanismos de transferencia de calor .....                                | 24 |
| 2.6    Resistencia térmica.....  | 27 |
| 2.7    Configuración grafica de transferencia de calor en superficie plana ..... | 29 |
| 2.8    Configuración de transferencia de calor en cilindro y esfera .....        | 29 |
| 2.9    Propiedades de los fluidos gaseosos.....                                  | 30 |
| 2.10    Condiciones normales y estándar de presión y temperatura .....           | 32 |
| 2.11    Caída de presión.....  | 33 |
| 2.12    Descripción del gas licuado de petróleo (GLP) .....                      | 35 |



|  |   |     |
|--|---|-----|
| 2.13   | Sistema de GLP .....  | 47  |
| 2.14   | Teoría para diseño de sistema GLP .....   | 65  |
| CAPITULO III .....                                   |   | 75  |
| 3.   | DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE ALMACENAMIENTO .....                            | 75  |
| 3.1  | Metodología de diseño para dimensionamiento del sistema de almacenamiento<br>75 |     |
| 3.2  | Calculo de los parámetros de diseño .....                                       | 76  |
| 3.3  | Análisis y Modelado de la Vaporización Natural en Tanques de GLP .....          | 84  |
| 3.4  | Calculo de la vaporización natural para tanque de 1000 galones .....            | 89  |
| 3.5  | Dimensionamiento del sistema de almacenamiento .....                            | 96  |
| 3.6  | Diseño del sistema de vaporización forzada .....                                | 103 |
| 3.7  | Ubicación de los tanques de GLP .....   | 107 |
| CAPITULO IV .....                                    |   | 115 |
| DISEÑO DE SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN Y REGULACIÓN ..... |   | 115 |
| 4.   | INTRODUCCIÓN .....  | 115 |
| 4.1  | Sistema de distribución .....   | 115 |
| 4.2  | Determinación de las pérdidas de carga y diámetro de la tubería .....           | 117 |
| 4.3  | Selección de reguladores .....  | 145 |
| 4.4  | Especificaciones técnicas de materiales .....                                   | 151 |
| CAPITULO V .....                                     |   | 163 |
| INSTALACIÓN DE SISTEMA GLP .....                     |   | 163 |
| 5.   | INTRODUCCIÓN .....  | 163 |
| 5.1  | Lineamientos para una instalación segura de un sistema GLP .....                | 163 |
| 5.2  | Secuencia de actividad para la construcción del sistema GLP .....               | 167 |
| 5.3  | Prueba de hermeticidad .....  | 192 |
| 5.4  | Control de calidad .....  | 199 |
| 5.5  | Implementación de sistema de seguridad .....                                    | 199 |
| CAPÍTULO VI .....                                    |   | 203 |
| ANÁLISIS ECONÓMICO .....                             |   | 203 |
| 6.   | COSTOS Y PRESUPUESTOS .....   | 203 |



|  |  |     |
|--|--|-----|
| 6.1  | Cotos directos de construcción del sistema GLP .....           | 203 |
| 6.2  | Resumen de cotos directos .....                                | 203 |
| 6.3  | Costo de materiales para la construcción del sistema GLP ..... | 204 |
| 6.4  | Costo de mano de obra .....                                    | 210 |
| 6.5  | Costos de operación y mantenimiento .....                      | 211 |
| CONCLUSIONES .....   |  | 213 |
| RECOMENDACIONES .....  |  | 216 |
| BIBLIOGRAFÍA .....   |  | 217 |
| APÉNDICE .....   |  | 218 |
| APENDICE 1: Propiedades del propano saturado .....                     |  | 218 |
| APENDICE 2: Propiedades del aire a gran altitud .....                  |  | 219 |
| APENDICE 3: Emisividad de las superficies metálicas .....              |  | 220 |
| APENDICE 4: Tabla para dimensionamiento de tubería entre R1 y R2 ..... |  | 221 |
| APENDICE 5: Dimensionamiento de tubería de baja presión .....          |  | 222 |
| APENDICE 6: Lista de planos .....                                      |  | 223 |
| ANEXOS .....   |  | 224 |
| ANEXO 1: Herramientas de gestión según D.S-024-2016 (ANEXO N°4) .....  |  | 224 |
| ANEXO 2: Herramientas de gestión según D.S-024-2016 (ANEXO N°5) .....  |  | 225 |
| ANEXO 3: Herramientas de gestión según (D.S-024-2016 ANEXO N°11) ..... |  | 226 |
| ANEXO 4: Herramientas de gestión según (D.S-024-2016 ANEXO N°7) .....  |  | 227 |
| ANEXO 5: Formato de registro de capacitación .....                     |  | 229 |
| ANEXO 6: Herramientas de gestión según (D.S-024-2016 ANEXO N°18) ..... |  | 230 |
| ANEXO N°7: certificado de calidad de accesorios FN 300 .....           |  | 231 |



## Índice de Figuras

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 1:</b> Vista área campamento Salveani .....  | 14 |
| <b>Figura 2:</b> Variación de la temperatura UM Anglo American Quellaveco .....                  | 15 |
| <b>Figura 3:</b> Mecanismo de Transferecia de calor. ....  | 23 |
| Fuente ((Cengel Y. A., 2015) .....   | 23 |
| <b>Figura 4:</b> Velocidad de transferencia de energía. Fuente .....                             | 24 |
| <b>Figura 5:</b> Conducción de Calor Atraves de una pared Plana. ....                            | 25 |
| <b>Figura 6:</b> Transferencia de calor de una superficie caliente hacia el aire.....            | 26 |
| <b>Figura 7:</b> La radiación de un cuerpo .....   | 27 |
| <b>Figura 8:</b> Resistencias térmicas para la transferencia de calor a través de una pared .... | 29 |
| <b>Figura 9:</b> Diagrama de transferencia de calor en geometría cilíndrica .....                | 30 |
| <b>Figura 10:</b> Representación gráfica de medición de presión (Pm) .....                       | 32 |
| <b>Figura 11:</b> Caída de presión en tubería .....  | 33 |
| <b>Figura 12:</b> Vista de la sección de tubería con válvula.....                                | 34 |
| <b>Figura 13:</b> Configuración de moléculas de propano y butano .....                           | 36 |
| <b>Figura 14:</b> Ilustración grafica de una instalación de sistema GLP .....                    | 48 |
| <b>Figura 15:</b> Grafica de la instalación de una línea de transferencia desplazada.....        | 49 |
| <b>Figura 16:</b> Vista de un tanque ASME con sus respectivos accesorios.....                    | 50 |
| <b>Figura 17:</b> Vista de un tanque ASME monticulado .....                                      | 51 |
| <b>Figura 18:</b> Vista de un tanque estacionario en techo.....                                  | 51 |
| <b>Figura 19:</b> Vista de la válvula de seguridad del tanque .....                              | 52 |
| <b>Figura 21:</b> Vista de la válvula Check lock modelo: 7580U .....                             | 53 |
| <b>Figura 22:</b> Válvula de exceso de flujo .....   | 54 |
| <b>Figura 23:</b> Vista de la válvula indicador de nivel de líquido tipo (boya).....             | 54 |
| <b>Figura 24:</b> Vista de la válvula de llenado modelo: L759, L6579 .....                       | 55 |
| <b>Figura 25:</b> Elementos de un vaporizador de fuego directo .....                             | 56 |
| <b>Figura 26:</b> Diagrama de instalación de vaporizadores de fuego directo .....                | 57 |
| <b>Figura 27:</b> Esquema de regulacion por etapas Fuente: (NTP.321.120, 2008) .....             | 65 |



|   |     |
|---|-----|
| <b>Figura 28:</b> Variación de la presión para butano y propano comercial .....             | 66  |
| <b>Figura 29:</b> Análisis de energía en volumen de control.....                            | 67  |
| <b>Figura 30:</b> configuración geométrica del tanque .....                                 | 69  |
| <b>Figura 31:</b> Metodología de diseño de sistema de almacenamiento .....                  | 75  |
| <b>Figura 32:</b> Vista de la lectura de la presión del tanque .....                        | 77  |
| <b>Figura 32:</b> Curva de saturación de propano, butano y GLP 60/40 .....                  | 79  |
| <b>Figura 33:</b> Geometría analizada para la transferencia de calor. ....                  | 85  |
| <b>Figura 34:</b> Diagrama de transferencia de calor en la parte cilíndrica .....           | 85  |
| <b>Figura 36:</b> diagrama de transferencia de calor para geometría esférica .....          | 87  |
| <b>Figura 37:</b> Especificaciones técnicas de Vaporizadores Algas RH .....                 | 104 |
| <b>Figura 38:</b> especificaciones técnicas de vaporizador de fuego directo Ransome .....   | 105 |
| <b>Figura 40:</b> Distancia de separación entre tanques, edificios importantes .....        | 109 |
| <b>Figura 41:</b> Distancias de separación entre válvulas de alivio de presión de Tanques.. | 109 |
| <b>Figura 42:</b> Separación mínima entre vaporizadores a fuego directo y exposiciones ...  | 109 |
| <b>Figura 43:</b> Mínima distancia de separación entre tanques y quemador vaporizador ...   | 110 |
| <b>Figura 44:</b> Diagrama de distribución de zona de tanques .....                         | 111 |
| <b>Figura 45:</b> Clasificación de Área Eléctrica .....                                     | 113 |
| <b>Figura 46:</b> Distancias de seguridad zona de tanques.....                              | 114 |
| <b>Figura 47:</b> Diagrama de distribución; línea de media y baja presión.....              | 118 |
| <b>Figura 48:</b> Diagrama de distribución de la línea de media presión.....                | 119 |
| <b>Figura 48:</b> Línea de baja presión, comprende tramos X1-X, Y-Y1 .....                  | 122 |
| <b>Figura 50:</b> línea de baja presión, comprende tramos X1-X, Y-Y1 .....                  | 123 |
| <b>Figura 51:</b> Línea de baja presión, comprende tramos T-T1 .....                        | 123 |
| <b>Figura 52:</b> Línea de baja presión, comprende tramos M-M1, N-N1.....                   | 124 |
| <b>Figura 53:</b> Línea de baja presión comprende el tramo R-R1 .....                       | 125 |
| <b>Figura 54:</b> Línea de baja presión comprende el tramo G-G1 .....                       | 125 |
| <b>Figura 55:</b> Línea de baja presión comprende el tramo G-G1 .....                       | 126 |
| <b>Figura 56:</b> Diagrama de distribución de la línea de líquido .....                     | 143 |



|  |     |
|--|-----|
| <b>Figura 58:</b> Selección de regulador de segunda etapa .....              | 147 |
| <b>Figura 59:</b> Curva de desempeño de regulador LV4403B3 .....             | 148 |
| <b>Figura 60:</b> Selección de regulador de segunda etapa .....              | 148 |
| <b>Figura 61:</b> Curva de desempeño de regulador LV5503B4 Y LV55003B6 ..... | 149 |
| <b>Figura 62:</b> Selección de regulador de segunda etapa .....              | 150 |
| <b>Figura 63:</b> Curva de desempeño de regulador LV5503B8 .....             | 150 |

## CAPITULO I

### 1. ASPECTOS GENERALES

#### 1.1 Ámbito geográfico

La presente tesis tecnológica se desarrolla en las instalaciones de la U.M ANGLO AMERICAN QUELLAVECO, localizado en la región de Moquegua al sur de Perú. En la actualidad ANGLO AMERICAN QUELLAVECO es uno de los yacimientos de cobre más grandes del mundo que actualmente se encuentra en proceso de explotación.

**Tabla 1:** Ubicación geográfica del proyecto de investigación.

| Características                   | Departamento | provincia      | distrito | Coordenadas geográficas              | Altitud promedio (msnm) |
|-----------------------------------|--------------|----------------|----------|--------------------------------------|-------------------------|
| Ubicación geográfica del proyecto | Moquegua     | Mariscal Nieto | Torata   | 17°06'15"S<br>70°37'12"O<br>UTM CB23 | 3400msnm                |

*Nota: las coordenadas geográficas se expresan en longitud y latitud*

**Figura 1:** Vista área campamento Salveani



*Fuente: Google Earth – Google (2022)*

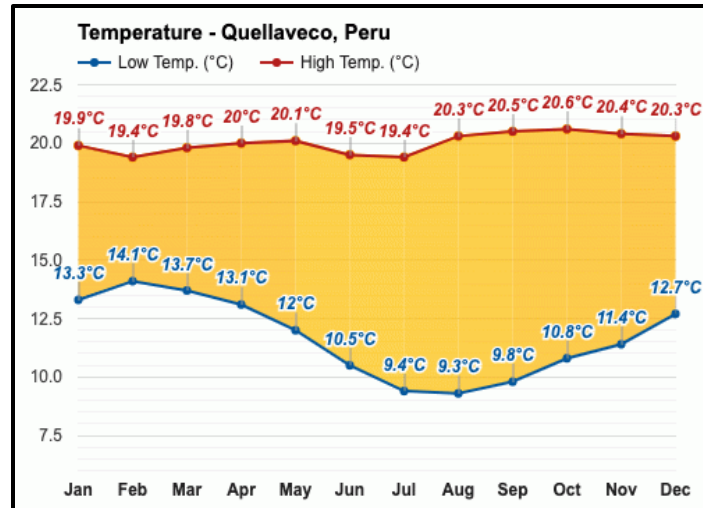
#### 1.2 Condiciones meteorológicas

- Presión atmosférica: 66.64 kPa
- Temperatura mínima: 5C°
- Temperatura máxima: 21C°
- Velocidad del viento: 8km/h



- Humedad relativa: 30%
- Precipitación anual: 169mm

**Figura 2:** Variación de la temperatura UM Anglo American Quellaveco



## 1.3 El problema

### 1.3.1 Planteamiento del Problema

La U.M Anglo American Quellaveco es uno de los proyectos más grandes a nivel internacional el cual está en proceso de construcción y tiene la necesidad de implementar sus instalaciones con sistemas electromecánicos, para satisfacer las necesidades básicas de más de 4000 trabajadores.

Para cumplir con la logística del personal a cargo de la construcción, se necesita dotar a los campamentos de servicios de alimentación, agua caliente y calefacción. Actualmente la instalación cuenta con un sistema de GLP provistos con balones de 45 kg que abastecen a los equipos de consumo (hornos, cocinas, termas etc.) y una parte de los equipos utilizan energía eléctrica.

Ante el incremento del personal, costo de energía eléctrica, funcionamiento deficiente de equipos de consumo y aumento en la demanda de GLP, surge la necesidad de construir un sistema de GLP de mayor capacidad cumpliendo las normas de diseño y los estándares de calidad de la unidad minera.



Por otro lado, los costos de operación y transporte en el suministro no tienen una buena organización, es decir no cuenta con una central de almacenamiento GLP. Las normas de calidad en la minería son más observadas que en otras actividades, puesto que la minería siempre ha sido un tema de debate de cuestionamientos sobre el aprovechamiento de los recursos y las condiciones laborales a las que son sometidos los trabajadores. Es por ello que los organismos internacionales sobre el control de calidad dictan normas y recomendaciones que tiene que ser adecuadas y acondicionadas con el mayor profesionalismo.

Los sistemas GLP que se usan en la industria como ingenieros encargados tenemos la misión de optimizar costos de instalación, operación y mantenimiento de los equipos en las redes de suministro de energía en todo el complejo minero. Los sistemas de GLP constan básicamente de un sistema de almacenamiento, tuberías de distribución, válvulas reguladoras y puntos de conexión al equipo de consumo. En cada componente del sistema se tiene que hacer una selección de acuerdo a la demanda energética establecida, de ahí el dilema que se presenta al momento de tomar una decisión en la selección de las capacidades tanto de los tanques como de las redes de tuberías e incluso en algunos casos el uso de reguladores.

Por lo general, cuando una empresa elabora un expediente técnico casi nunca hace una comparación de costos los diferentes opciones y configuraciones que pueda tener la instalación, es decir el número y tamaño de los tanques, el número de tuberías matrices y la cantidad de reguladores que se pueden usar. La mayoría de los proyectistas se basan fundamentalmente en la experiencia adquirida a través de los años.

### ***1.3.2 Formulación del problema***

#### ***1.3.2.1 Problema Principal***

- a) ¿Cómo mejorar las necesidades básicas (alimentación, agua, caliente y calefacción) ante el incremento en la logística de personal a cargo de la



construcción y aumento en la demanda energética en base a GLP en todo el complejo minero Anglo American Quellaveco - Moquegua?

### **1.3.2.2 Problemas específicos.**

- a) ¿Cómo determinar la ubicación y dimensionar la capacidad del sistema de almacenamiento para cumplir la demanda de los equipos de consumo, será suficiente o habrá la necesidad de implementar un sistema de vaporización forzada?
- b) ¿Cómo realizar un dimensionamiento óptimo del sistema de distribución, regulación y selección accesorias de conexión, cumpliendo los estándares de calidad y las normativas nacionales e internacionales?
- c) ¿Cuál es la mejor manera de planificar las distintas etapas de construcción del sistema de Gas Licuado de Petróleo (GLP), garantizando que se cumplan los estándares de calidad establecidos por la Unidad Minera
- d) ¿Cómo determinar el costo final de la instalación del sistema GLP?

## **1.4 Objetivos de la investigación**

### **1.4.1 Objetivo General**

- a) Diseñar e instalar un sistema GLP de 12000 galones de capacidad, cumpliendo los estándares de calidad de la U.M ANGLO AMERICAN QUELLAVECO en la ciudad de Moquegua.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- a) Determinar una metodología de diseño óptimo, para dimensionar la capacidad del sistema de almacenamiento, con un análisis a detalle del comportamiento del GLP, teniendo como datos de partida las condiciones atmosféricas críticas del lugar y cumplir eficientemente la demanda de los equipos de consumo.
- b) Realizar el dimensionamiento del sistema de distribución, regulación y selección de accesorios, bajo el lineamiento de normas nacionales e internacionales.



- c) Desarrollar un plan de implementación estratégico de actividades para la instalación del sistema GLP de acuerdo a las especificaciones técnicas establecidas y cumpliendo los estándares de calidad de la UM.
- d) Realizar un análisis de precios unitarios y comparar costos

### 1.5 Justificación de la tesis

Con la presente tesis se busca solucionar los inconvenientes encontrados en las instalaciones existentes con un diseño que se adapte a las condiciones atmosféricas del lugar.

Es por esta razón que optamos por el diseño adecuado de un sistema de GLP para satisfacer la demanda de energía que se necesita, también por la facilidad que tiene este sistema para la instalación, almacenamiento y suministro.

Con los años de experiencia en proyectos de instalación de sistemas de GLP constatamos que no hay un adecuado diseño e instalación en sistemas GLP. En este proyecto se aplicará una metodología de diseño y construcción, cumpliendo los estándares de calidad de la UM. En lo personal aplicaré toda la experiencia técnica y los conocimientos adquiridos como estudiante en la facultad de Ing. Mecánica, para hacer un correcto diseño en el sistema de almacenamiento, ubicación, regulación y distribución, cumpliendo los estándares de calidad de la UM y normativas nacionales e internacionales.

Actualmente la UM cuenta con un suministro de GLP con balones de 45 kg instalados provisionalmente que no cumplen los estándares de calidad de la UM e incumplen las especificaciones técnicas de la NTP 321.123, ya que tienen almacenados más de 120 galones, lo cual es un incumplimiento a los lineamientos de osinergmin

Ante el incremento de la demanda de consumo y la reubicación de los campamentos actuales, se da la necesidad de instalar un sistema de mayor capacidad cumpliendo los estándares de calidad de la UM.



## 1.6 Alcances y limitaciones

### 1.6.1 Alcances

En esta tesis se pretende abarcar el diseño, instalación y desarrollo de todas las técnicas necesarias, que servirán para la elaboración de posibles expedientes técnicos de sistemas de GLP cumpliendo los estándares de calidad de la unidad minera y sobre todo el análisis económico que es la parte esencial en desarrollo de todo proyecto de construcción.

El diseño incluye las consideraciones para la selección de tanque de GLP, ubicación de los tanques de GLP, dimensionamiento de redes de gas dentro de las normas vigentes, implementación de controles de ingeniería para el funcionamiento seguro del sistema. Construcción y análisis económico.

### 1.6.2 Limitaciones

En este trabajo de tesis no se incluye:

- el diseño de tanques de almacenamiento y vaporizadores.
- diseño de obra Civil y estructural, que es requerido para el montaje de tanques de gas y otros equipos.

## 1.7 Sistema de Hipótesis

### 1.7.1 Hipótesis General

- a) El diseño e instalación adecuada de un sistema de GLP de 12000 galones, permitirá cumplir con la demanda de GLP y los estándares de calidad de la unidad minera.

## 1.8 Variables del Estudio

### 1.8.1 Variable Dependiente

Diseño de un sistema de GLP

### 1.8.2 Variable Independiente

- a) Ubicación de sistema de almacenamiento.



- b) Dimensionamiento red de distribución.
- c) Condiciones atmosféricas del lugar
- d) Presión, caudal, diámetro, potencia



## CAPITULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2. Antecedentes de estudio

##### 2.1 Antecedentes internacionales

- a) REDISEÑO DE LA INSTALACIÓN CENTRALIZADA DE GAS LICUADO DE PETRÓLEO(GLP) DE LA EMPRESA TEXTIL SAN PEDRO SEGÚN LAS NORMAS NTE INEN 2260, E IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PARA CUMPLIMIENTO DEL REGISTRO OFICIAL 13 Y 435. Tesis que se encuentra en la escuela politécnica nacional – Ecuador, publicado el año 2016, desarrollado por Arroyo Panchi Bryan David y Tufino León Wilmer Javier, el objetivo de la presente tesis fue realizar un estudio a detalle para el rediseño de una instalación centralizada de (GLP) para una fábrica textil, bajo los estándares de las normas nacionales e internacionales.
  - b) DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS CENTRALIZADOS DE GAS LICUADO DE PETRÓLEO EN EDIFICACIONES DE USO RESIDENCIAL, COMERCIAL O INDUSTRIAL. Tesis que se encuentra en la escuela politécnica de nacional – ecuador, publicado el año 2012, desarrollado por Christian Ricardo Tomas, el objetivo de la presente tesis fue realizar un estudio de diseño de sistemas centralizados de GLP. Par esto, se identifican los normas técnicas y reglamentos que regulan la implementación de este tipo de instalaciones, lo cual permitió los criterio de diseño y los tipos de tuberías y accesorios que se utilizan en los sistemas centralizados de GLP, también se determinaron las variables y parámetros para dimensionar la capacidad del tanque de almacenamiento de GLP y para dimensionar el diámetro óptimo de las líneas de media y baja presión.
- Antecedentes Nacionales



- c) DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN CENTRALIZADA DE GAS LICUADO DE PETRÓLEO PARA ABASTECIMIENTO DE LA HOSTERÍA - SPA MIRAMELINDO EN LA CIUDAD DE BAÑOS DE AGUA SANTA. Tesis que se encuentra en la Universidad Nacional de Ambato– Ecuador, publicado el año 2018, desarrollado por Christian Ricardo Tomas, el objetivo de la presente tesis fue realizar una instalación de GLP centralizada para la “Hostería SPA Miramelindo, en la ciudad de Baños de agua Santa.” Como objetivos secundarios, Estimar el consumo para los equipos que utilizan GLP, Dimensionar la capacidad del tanque estacionario de almacenamiento de GLP, Trazar las trayectorias de las tuberías adecuadas dentro del establecimiento, Dimensionar las tuberías de conducción del GLP, Realizar una simulación utilizando recursos informáticos para verificar con los cálculos teóricos.

## **2.2 Antecedentes nacionales**

- a) DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TANQUES Y REDES DE DISTRIBUCIÓN DE GAS LICUADO DE PETRÓLEO (GLP) PARA UN CENTRO COMERCIAL. Tesis que se encuentra en la universidad nacional de ingeniería– Perú, publicado el año 2013, desarrollado por Rigoberto Michel Torres Arbieta. La presente tesis desarrollada tiene los siguientes objetivos: realizar el diseño y plan de implementación de un sistema de tanques y redes de distribución de GLP para un centro comercial, que cumpla con la normativa vigente para el sector y que opere eficientemente en la entrega del GLP a los consumidores finales.
- b) EL GAS LICUADO DE PETRÓLEO Y SU APLICACIÓN EN UN PROYECTO DE VIVIENDA MULTIFAMILIAR. Tesis que se encuentra en la universidad nacional de ingeniería Lima – Perú, publicado el año 2004, desarrollado por José Franklin Beteta Fernández, la presente tesis desarrollada tiene los siguientes objetivos presentar un enfoque global de las aplicaciones del GLP a granel

haciendo hincapié en su uso como alternativa energética en el segmento correspondiente a viviendas multifamiliares, frente a la electricidad u otros combustibles líquidos o gaseosos como el GLP envasado. Recopilar información técnica y combinarla con la experiencia de campo en lo, referente a criterios de diseño de redes para GLP. Con medidores de consumo en agrupamientos multifamiliares. Evaluar económicamente la factibilidad del proyecto mostrando las ventajas que Brinda un sistema centralizado de almacenamiento con redes para GLP. Y medidores, tanto para el constructor, usuario y empresa proveedora del gas. Brindar un aporte en el desarrollo de las redes para GLP como alternativa para mejorar la calidad de vida, aportando una energía económica, versátil, segura y ecológica a los hogares, reemplazando paulatinamente hasta donde sea posible, con la conclusión siguiente:

### 2.3 Transferencia de calor

Se denomina transferencia térmica o transmisión de calor al fenómeno físico que consiste en el traspaso de energía calórica de un medio a otro. Esto ocurre cuando dos sistemas que se encuentran a distintas temperaturas, se ponen en contacto, permitiendo el flujo de la energía del punto de mayor temperatura al de menor, hasta alcanzar un equilibrio térmico, en el que se igualan las temperaturas. (concepto, s.f., pág. 260)

*Figura 3: Mecanismo de Transferencia de calor.*



*Fuente ( (Cengel Y. A., 2015)*

## 2.4 Primera ley de la termodinámica

Según (Cengel, 2010, pág. 11): La primera ley de la termodinámica, también conocida como principio de conservación de la energía, expresa que en el curso de un proceso, la energía no se puede crear ni destruir; sólo pueden cambiar las formas. Por lo tanto, toda pequeña cantidad de energía debe tomarse en cuenta en el curso de un proceso. El principio de conservación de la energía (o balance de energía) para cualquier sistema que pasa por cualquier proceso se puede expresar como sigue: El cambio neto (aumento o disminución) en la energía total de un sistema en el curso de un proceso es igual a la diferencia entre la energía total que entra y la energía total que sale en el desarrollo de ese proceso.

**Figura 4:** Velocidad de transferencia de energía. Fuente



Fuente (Cengel Y. A., 2010)

$$E_{ent} = E_{sal} \quad (1)$$

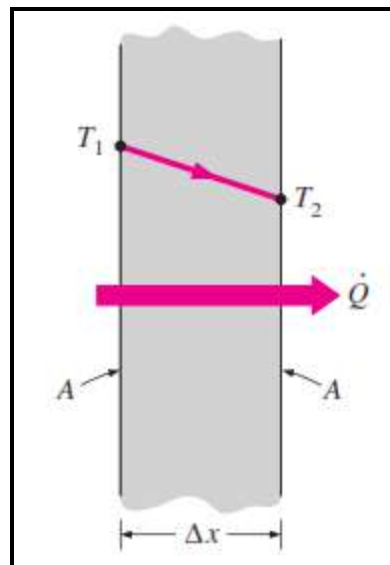
## 2.5 Mecanismos de transferencia de calor

El calor se puede transferir en tres modos diferentes: conducción, convección y radiación. Todos los modos de transferencia de calor requieren la existencia de una diferencia de temperatura y todos ellos ocurren del medio que posee la temperatura más elevada hacia uno de temperatura más baja. (Cengel, 2010, pág. 17)

### 2.5.1 Mecanismo de transferencia por conducción

La conducción es la transferencia de energía de las partículas más energética de una sustancia hacia las adyacentes menos energéticas, como resultado de interacciones entre esas partículas. La conducción puede tener lugar en los sólidos, líquidos o gases. En los gases y líquidos la conducción se debe a las colisiones y a la difusión de las moléculas durante su movimiento aleatorio. En los sólidos se debe a la combinación de las vibraciones de las moléculas en una retícula y al transporte de energía por parte de los electrones libres. (Cengel Y. A., 2010, pág. 235).

**Figura 5:** Conducción de Calor Atraves de una pared Plana.



Fuente (Cengel Y. A., 2010)

La ecuación de que gobierna este fenómeno es la **ley de Fourier de la conducción de calor** donde indica que la razón de la conducción de calor a través de una capa plana es proporcional a la diferencia de temperatura a través de ésta y al área de transferencia de calor, pero es inversamente proporcional al espesor de esa capa.

$$\dot{Q}_{cond} = -k A \frac{dT}{dx} \quad (2)$$

Donde:

*k*: coeficiente de transferencia de calor por conducción

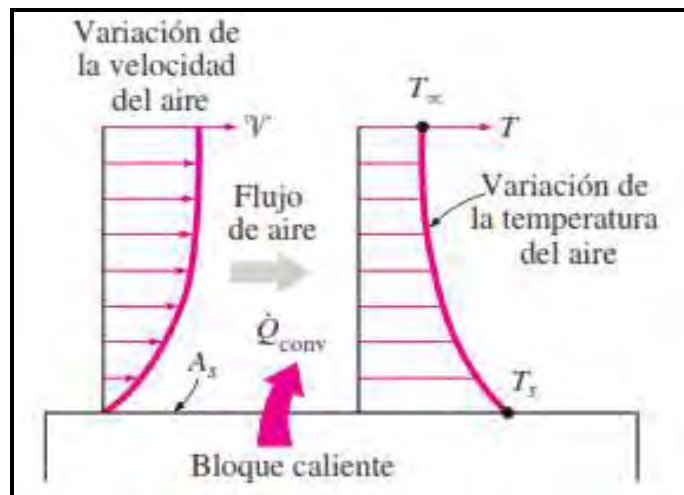
$A$ : area de la seccion transferencia de calor

$Q_{cond}$ : transferencia de calor por conduccion

### 2.5.2 Mecanismo de transferencia por convección

La convección es el modo de transferencia de energía entre una superficie sólida y el líquido o gas adyacentes que están en movimiento y comprende los efectos combinados de la conducción y el movimiento de fluidos. Entre más rápido es el movimiento de un fluido, mayor es la transferencia de calor por convección. (Cengel Y. A., 2010)

**Figura 6:** Transferencia de calor de una superficie caliente hacia el aire.



Fuente:(Cengel Y. A., 2010)

La convección es un fenómeno complejo y está gobernado por la ley de Newton del enfriamiento, lo cual indica que la rapidez de la transferencia de calor por convección es proporcional a la diferencia de temperatura y está dado por la siguiente ecuación.

$$Q_{conv} = hA_s(T_s - T_{\infty}) \quad (3)$$

Donde:

$h$ : coeficiente de transferencia de calor por conveccion

$A_s$ : area de transferencia de calor

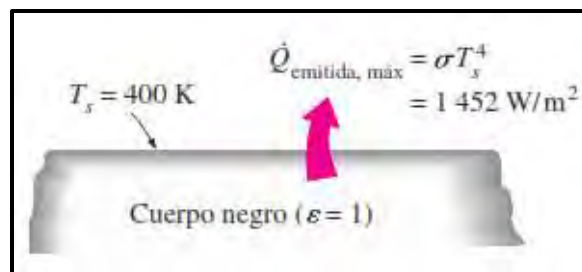
$T_s$ : temperatura de la superficie

$T_{\infty}$ : temperatura del fluido suficientemente alejado de la superficie

### 2.5.3 Mecanismo de transferencia por radiación

La radiación es la energía emitida por la materia en forma de ondas electromagnéticas (fotones) como resultado de los cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas. A diferencia de la conducción y la convección, la transferencia de calor por radiación no requiere la presencia de un medio intervector. De hecho, la transferencia de calor por radiación es la más rápida (a la velocidad de la luz) y no sufre atenuación en un vacío. (Cengel, 2010, pág. 18)

**Figura 7:** La radiación de un cuerpo



Fuente: (Cengel Y. A., 2010)

La razón máxima de la radiación que se puede emitir desde una superficie a una temperatura termodinámica  $T_s$  (en K o R) es expresada por la ley de Stefan-Boltzman, tal como se indica en la siguiente ecuación.

$$\dot{Q}_{\text{emitida}} = \varepsilon \sigma A_s T_s^4 \quad (4)$$

Donde:

$\rho$ : constante de Estefan – Boltzman  $5.67 \times 10^{-8} \text{ w/m}^2$

$E$ : Emisividad de la superficie.  $E = 0.9$

## 2.6 Resistencia térmica

La resistencia térmica de un material representa la capacidad del material de oponerse al flujo de temperatura. En el caso de materiales homogéneos es la razón entre el espesor y la conductividad térmica del material.



### 2.6.1 Resistencia térmica por conducción

De la ecuación general de Fourier se puede expresar que la conducción de calor por una superficie plana es directamente proporcional al gradiente de temperatura, e inversamente proporción a la resistencia térmica que la pared ofrece.

$$Q_{cond} = \frac{T_1 - T_2}{R_{pared}} \quad (5)$$

$$R_{pared} = \frac{L}{KA} \quad (6)$$

Donde:

$K$ : coeficiente de transferencia de calor por conducción

$L$ : longitud de la pared

$T_1 - T_2$ : gradiente de temperatura entre ambas superficies

$R_{pared}$ : resistencia termica por conducción

### 2.6.2 Resistencia térmica por convección

La transferencia de calor por convección de una superficie sólida de área  $A_s$  y temperatura  $T_s$  hacia un fluido cuya temperatura en un punto suficientemente lejos de la superficie es  $T_\infty$ , con un coeficiente de transferencia de calor por convección  $h$ . La ley de Newton del enfriamiento para la razón de transferencia de calor por convección, se puede acomodar de la siguiente manera:

$$Q_{conv} = \frac{T_1 - T_2}{R_{pared}} \quad (7)$$

$$R_{conv} = \frac{1}{hA_s} \quad (8)$$

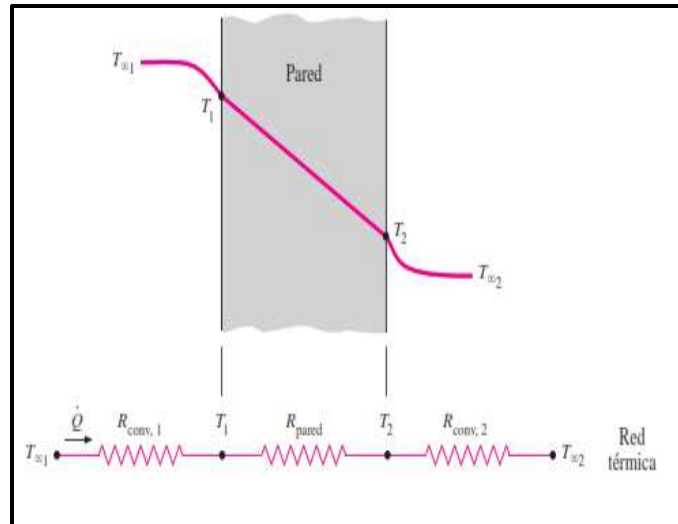
Donde:

$R_{conv}$ : Resistencia termica por conveccion

## 2.7 Configuración grafica de transferencia de calor en superficie plana

En la siguiente figura se observa el mecanismo de transferencia en una superficie plana, sujeta a convección en ambos lados, y la analogía eléctrica

**Figura 8:** Resistencias térmicas para la transferencia de calor a través de una pared

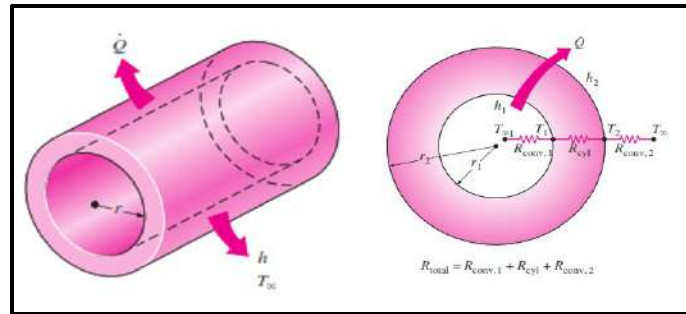


Fuente: (Cengel Y. A., 2010)

$$\dot{Q} = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{conv.1} + R_{pared} + R_{conv.2}} \quad (9)$$

## 2.8 Configuración de transferencia de calor en cilindro y esfera

Considere la conducción estacionaria de calor a través de un tubo de agua caliente. El calor se pierde en forma continua hacia el exterior a través de la pared del tubo e, intuitivamente, se siente que la transferencia de calor a través de éste se efectúa en la dirección normal a su superficie y no se tiene alguna transferencia significativa en otras direcciones. La pared del tubo, cuyo espesor es más bien pequeño, separa dos fluidos a temperaturas diferentes y, en consecuencia, el gradiente de temperatura en la dirección radial es relativamente grande. Además, si las temperaturas de los fluidos, dentro y fuera del tubo, permanecen constantes, entonces la transferencia de calor a través de ese tubo es estacionaria. Por tanto, la transferencia de calor a través del tubo se puede considerar estacionaria y unidimensional.

**Figura 9:** Diagrama de transferencia de calor en geometría cilíndrica

Fuente: (Cengel Y. A., 2010)

### 2.8.1 Resistencia térmica por conducción en cilindro y esferas

De las ecuaciones generales anteriormente descritas, se deduce las siguientes expresiones para el cálculo de la resistencia térmica en geometría cilíndrica y esférica.

$$\dot{Q} = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{Total}} \quad (10)$$

$$R_{cil} = \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi Lk} \quad (11)$$

$$R_{esf} = \frac{r_2 - r_1}{4\pi r_2 r_1 k} \quad (12)$$

$$R_{Total.esfera} = \frac{1}{(4\pi r_1^2)h_1} + \frac{r_2 - r_1}{4r_2 r_1 k} + \frac{1}{(4\pi r_2^2)h_2} \quad (13)$$

$$R_{Total.cilindro} = \frac{1}{(2\pi r_1^2)h_1} + \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi Lk} + \frac{1}{(2\pi r_2^2)h_2} \quad (14)$$

Donde:

$r_2$ : radio exterior

$r_1$  = radio interior

## 2.9 Propiedades de los fluidos gaseosos

Cualquier característica de un sistema se conoce como propiedad. Algunas propiedades conocidas son la presión P, la temperatura T, el volumen V, y la masa m. Todos los gases comparten propiedades físicas comunes. Como los líquidos, los gases se mueven libremente para llenar un contenedor en el que están, pero mientras que el



líquido tiene un volumen definido, gases no tiene volumen ni forma definidas, los gases son totalmente compresibles, facilitando su almacenamiento y transporte.

### 2.9.1 Presión atmosférica

Según, (Sedo, 2007, pág. 25) La presión de un fluido viene dada por la ecuación siguiente:

$$P = H_{fluido} * \gamma_{fluido} \quad (15)$$

Donde:

$H_{fluido}$ : *Altura de columna de fluido*

$\gamma_{fluido}$ : *Peso específico del fluido*

### 2.9.2 Presión absoluta y relativa

Se define como presión absoluta a la suma de la presión relativa ( $P_r$ ) o manométrica, obtenida a través de aparatos de medida denominados manómetros, más la presión atmosférica, y puede expresarse mediante la ecuación:

$$P_{absoluto} = P_r + P_{atmosferica} \quad (16)$$

### 2.9.3 Presión media

La presión media de un gas en el interior de una tubería se puede obtener de una forma aproximada aplicando la siguiente ecuación:

$$P_m = \frac{2}{3} \cdot \frac{P_i^3 - P_j^3}{P_i^2 - P_j^2} \quad (17)$$

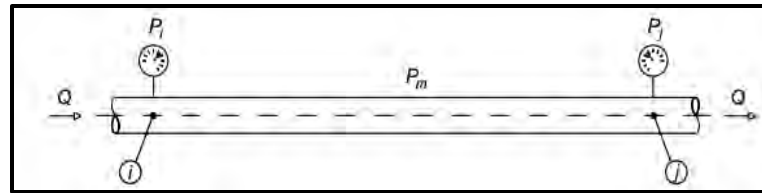
Donde:

$P_m$ : *presión media absoluta del gas en el tramo (i – j)(pa)*

$P_i$ : *presión absoluta del gas en el punto inicial(pa)*

$P_j$ : *presión absoluta del gas en el punto final(pa)*

**Figura 10:** Representación gráfica de medición de presión ( $P_m$ )



**Fuente:** (*Diseño y Cálculo de Instalaciones de Gases Combustibles*, 2010)

## 2.10 Condiciones normales y estándar de presión y temperatura

### 2.10.1 Condiciones normales

Se designa que un gas se encuentra en condiciones normales de presión y temperatura cuando el fluido se encuentra a una temperatura de  $0^{\circ}\text{C}$  y presión atmosférica normal.

$$\text{Presión: } P_0 = 101.324,2691 \text{ Pa}$$

$$\text{Temperatura: } T_0 = (273,15 + 0^{\circ}\text{C}) \text{ K} = 283,15 \text{ K}$$

### 2.10.2 Condiciones estándar

Se designa que un gas se encuentra en condiciones estándar cuando el fluido se encuentra a la temperatura de  $15^{\circ}\text{C}$  y presión atmosférica normal. (Sedo, 2010, pág. 44)

$$\text{Presión: } P_S = P_0 = 101.324,2691 \text{ Pa}$$

$$\text{Temperatura: } T_S = (273,15 + 15^{\circ}\text{C}) \text{ K} = 288,15 \text{ K}$$

### 2.10.3 Densidad de los gases combustibles

**Densidad relativa de un gas:** La densidad relativa de un gas  $\rho_r$ , es el cociente entre la densidad absoluta del gas y la densidad absoluta del aire en condiciones normales. Su valor es adimensional. (Sedo, 2010, pág. 50)

$$\rho_r = \frac{\rho_{\text{gas}}}{\rho_{\text{aire}}} \quad (18)$$

### 2.10.4 Poder calorífico superior de los gases

Se designa como poder calorífico absoluto o superior de un combustible a la cantidad de calorías desprendidas por la combustión de 1 kilogramo o 1 metro cúbico

de combustible (según el caso) totalmente seco, contando además con el calor desprendido por la condensación del agua formada por la combustión del hidrógeno si existe. El poder calorífico superior de un gas en condiciones de servicio de presión y temperatura puede obtenerse mediante la siguiente ecuación: (Sedo, 2010, pág. 55).

$$PCS = PCS_0 \cdot \frac{P}{P_0} \cdot \frac{T_0}{T} \quad (19)$$

### 2.10.5 Número de Reynolds

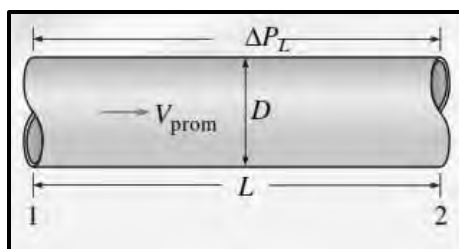
La transición de flujo laminar a turbulento depende de la geometría, la rugosidad de la superficie, la velocidad del flujo, la temperatura de la superficie y el tipo de fluido, entre otros factores. Después de experimentos exhaustivos en los años de 1880, Osborne Reynolds descubrió que el régimen de flujo depende principalmente de la razón de fuerzas inerciales a fuerzas viscosas en el fluido. Esta razón se llama número de Reynolds y se expresa para flujo interno en una tubería circular como. (Cengel Y. A., 2015, pág. 324)

$$R_e = \frac{V_{prom} \cdot D}{\nu} = \frac{\rho \cdot V_{prom} \cdot D}{\mu} \quad (20)$$

### 2.11 Caída de presión

En la práctica, es conveniente expresar la pérdida de presión para todos los tipos de flujos internos totalmente desarrollados (flujos laminar o turbulento, tuberías circulares o no circulares, superficies lisas o rugosas, tuberías horizontales o inclinadas). Como se indica en la siguiente figura. (Cengel Y. A., 2015, pág. 329)

*Figura 11: Caída de presión en tubería*



Fuente(Cengel Y. A., 2015)

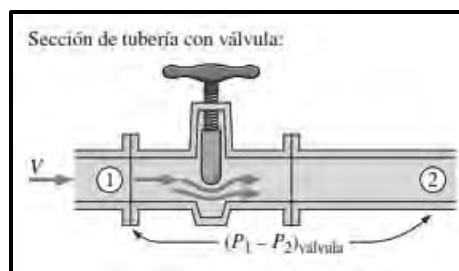
$$\Delta P_L = f \cdot \frac{L}{D} \frac{\rho V^2}{2} \quad (21)$$

$$h_L = f \cdot \frac{L}{D} \frac{\rho V^2}{2g} \quad (22)$$

### 2.11.1 Pérdidas menores

El fluido en un sistema de tubería típico pasa a través de varias uniones, válvulas, flexiones, codos, ramificaciones en forma de letra T (conexiones en T), entradas, salidas, ensanchamientos y contracciones además de los tubos. Dichos componentes (accesorios) interrumpen el suave flujo del fluido y provocan pérdidas adicionales debido al fenómeno de separación y mezcla del flujo que producen.

**Figura 12:** Vista de la sección de tubería con válvula



Fuente (Cengel Y. A., 2015)

### 2.11.2 Coeficiente de pérdida $K_L$

El flujo a través de válvulas y uniones es muy complejo, y por lo general no es lógico un análisis teórico. En consecuencia, usualmente los fabricantes de los accesorios determinan las pérdidas menores de manera experimental.

$$K_L = \frac{h_L}{V^2/(2g)} \quad (23)$$

### 2.11.3 Longitud equivalente $L_{equiv.}$

La pérdida de carga que provoca el accesorio equivale a la pérdida de carga causada por un tramo de la tubería cuya longitud es ( $L_{equiv.}$ ) Por lo tanto, la aportación de un accesorio a la pérdida de carga se puede explicar simplemente con añadir ( $L_{equiv.}$ ) a la longitud de tubería total.



$$h_L = K_L \frac{V^2}{(2g)} = f \frac{L_{equiv.} V^2}{D \cdot 2g} \quad (24)$$

$$L_{equiv.} = K_L \frac{D}{f} = \quad (25)$$

#### 2.11.4 Pérdida de carga total en sistema de tuberías

Cuando ya estén disponibles todos los coeficientes de pérdida, la pérdida de Carga total en un sistema de tubería se determina con la siguiente ecuación:

$$h_{total} = f \cdot \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} + K_L \frac{V^2}{(2g)} \quad (26)$$

Donde (i) representa cada tramo de tubería con diámetro constante y (j) representa Cada accesorio que provoca una pérdida menor. Si todo el sistema de tubería por Analizar tiene un diámetro constante, la ecuación se reduce de la siguiente manera.

$$h_{total} = \left( f \cdot \frac{L}{D} + \sum K_L \right) \frac{V^2}{(2g)} \quad (27)$$

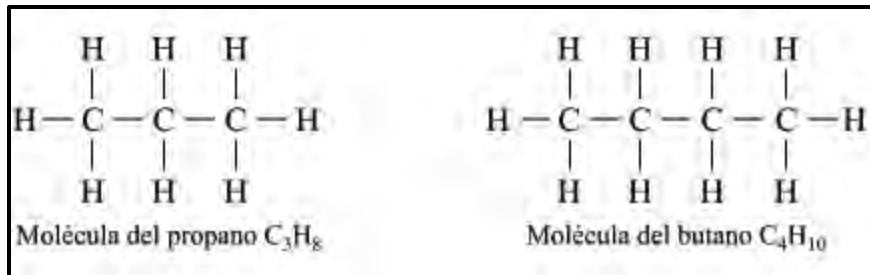
#### 2.12 Descripción del gas licuado de petróleo (GLP)

Los gases licuados del petróleo o GLP tuvieron su origen en los Estados Unidos entre 1900 y 1912, cuando se descubrió que la gasolina no refinada extraída del petróleo se evaporaba fácilmente debido a la presencia de hidrocarburos. No fue hasta alrededor de 1930 que comenzaron a comercializarse en los Estados Unidos, y su primer transporte a granel se realizó en depósitos en vagones de ferrocarril y plantas de llenado de botellas comerciales en todo el país. En Europa, la primera botella comercial de GLP se vendió en Francia alrededor de 1934. (Sedo, 2010, pág. 29).

El gas licuado de petróleo (GLP). Es una mezcla de hidrocarburos que a condiciones normales de presión y temperatura (0°C y 1Atm), se encuentran en estado gaseoso, pero que a temperatura normal y moderada presión son licuables y se pueden almacenar en recipientes cerrados. Esta condición de Licuefacción favorece también su

transporte y manipuleo, ya que su volumen se reduce en 250 veces. El GLP, está compuesto usualmente por una mezcla de Propano, Butanos (Iso-butano, n-butano) y butilenos. (Lopez Sopeña, 2001)

**Figura 13:** Configuración de moléculas de propano y butano



Fuente(Mabarak, 1996)

### 2.12.1 Composición de los tipos de GLP comercial

En el territorio nacional encontramos tres tipos de gases licuados de petróleo comerciales, que dependen de la utilización o aplicación de los mismos, así la mezcla del propano y butano se realiza en tres clases de proporciones:

#### 2.12.1.1 Gas licuado de petróleo propanado.-

Es un combustible que se compone de propano y propileno según su fuente de origen y posee elevada volatilidad. Su uso es recomendable cuando las temperaturas ambientales son bajas. En este tipo de GLP el propano se encuentra en mayor proporción que el butano, llegando a tener el 98 %. (NTP.321.120, 2008)

#### 2.12.1.2 Gas Licuado de Petróleo Butanado.

Es un combustible que se compone de butano, isobutano y butileno según su fuente de origen y posee baja volatilidad. Su uso es recomendable cuando las temperaturas ambientales son altas. El butano se encuentra en mayor proporción que el propano, con un 98 %. (NTP.321.120, 2008)

#### 2.12.1.3 Gas Licuado de Petróleo Comercial.-

Es un combustible conformado por la mezcla de propano comercial y butano comercial, cuya volatilidad está en función de su composición. Su uso es recomendable



cuando las temperaturas ambientales son intermedias. La proporción entre el propano y butano es casi similar, siendo utilizada, la mezcla de 60 % de propano y 40 % de butano, mezcla que es empleada en Perú (NTP.321.120, 2008).

### **2.12.2 Propiedades del gas licuado de petróleo**

Los gases licuados de petróleo tienen propiedades de las cuales podemos deducir ventajas y procedimientos de seguridad que se deben tener en cuenta para su buen aprovechamiento.

#### **2.12.2.1 Es incoloro.**

Tanto en su estado líquido y gaseoso, solo se le puede ver cuando el gas es liberado en forma muy rápida al medio ambiente, porque en ese momento se produce una transformación o cambio de estado de líquido a gas o vapor. (Lopez Sopeña, 2001)

#### **2.12.2.2 Es inoloro.**

Porque el GLP no tiene olor, para su comercialización se exige que sea mezclado con una sustancia ODORIZANTE, como pueden ser algunos sulfuros y/o mercaptanos, que por su costo e intensidad del olor deben ser dosificados en aproximadamente 1Kg. por cada 80000 litros de GLP, esta sustancia permite que en caso de fugas de gas este sea fácilmente detectado; ya que se vaporiza muy fácilmente y es de fácil combustión. (Lopez Sopeña, 2001)

### **2.12.3 Es más pesado que el Aire.**

En su fase vapor es más pesado que el aire, en aproximadamente dos veces por tal razón cuando existe una fuga o es liberado por cualquier circunstancia al medio ambiente, este tiende a buscar las partes o áreas cercanas más bajas donde si no existe movimiento de aire permanecerá inmóvil, con una gran probabilidad de ser el causante de una deflagración. (Lopez Sopeña, 2001)



### **2.12.3.1 *Es más liviano que el Agua.***

En su fase líquida es más liviana que el agua, en aproximadamente la mitad de su peso cuando existe derrame de gas líquido y este se inunda en un nivel bajo de la superficie y/o redes de conductos que contienen agua u otro fluido, el GLP en estado líquido permanecerá por encima del nivel superior, moviéndose conjuntamente con el flujo de agua y al mismo tiempo también estará vaporizándose, de tal forma que existe la posibilidad de que si las condiciones se dan, se producirá una deflagración en el mismo lugar del derrame o en otro sitio cercano o alejado de donde se derramo el GLP. (Lopez Sopena, 2001)

### **2.12.3.2 *Posee un poder Disolvente.***

Los gases licuados de petróleo, en estado líquido son disolventes del caucho natural, grasas, aceites, pinturas, etc. en estado gaseoso disuelve parcialmente estas sustancias, el caucho sintético resiste perfectamente su acción por lo que cuando se seleccionan los materiales que estarán en contacto directo con el gas, tendrá que tenerse bien presente esta propiedad (para empaquetaduras, selladoras, etc.)

### **2.12.3.3 *No es toxico***

Los gases licuados de petróleo no son tóxicos, la acción fisiológica sobre el organismo producida por una posible inhalación, se traduce en una ligera acción anestésica, pero si puede asfixiar cuando la persona se encuentra expuesta en un lugar cerrado que contenga una atmósfera bien concentrada de gas licuado de petróleo en la cual prácticamente no exista oxígeno, en cualquiera de los casos el paciente tiene que ser alejado para brindarle el auxilio adecuado.

## **2.12.4 *Diferencias entre el Butano y Propano***

Según (Lopez Sopena, 2001): Es importante conocer el comportamiento de cada uno de los componentes del GLP a temperaturas iguales, para tener una adecuada mezcla dependiendo de la altitud. La temperatura de ebullición del butano es a  $-0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$



y del propano es a  $-42\text{ }^{\circ}\text{C}$ , es por esta razón que en las zonas frías se tiene que agregar a la mezcla una mayor proporción de propano, para poder encontrar una vaporización natural adecuada del combustible a la temperatura ambiente, caso contrario se quedara el butano en el recipiente y se consumirá solo el propano, butanando el recipiente este procedimiento se realiza a la inversa en zonas cálidas.

### 2.12.5 Características físicas y químicas del GLP

El GLP es una mezcla de hidrocarburos volátiles conformados principalmente por propano, propileno, butano, iso-butano, butileno, obtenidos de los líquidos del gas natural o de gases de refinería, los cuales pueden ser almacenados y manipulados como líquidos por aplicación de una presión moderada a temperatura ambiente y/o descenso de temperatura.

**Tabla 2:** Proporción en volumen del GLP comercial.

| PROPORCIÓN EN VOLUMEN |                   |                  |               |
|-----------------------|-------------------|------------------|---------------|
| Proporción            | Propano comercial | Butano comercial | GLP comercial |
| Propano C3            | Mini. 98%         | Mini. 2%         | Max. 60%      |
| Butano C4             | Max.2%            | Max. 98%         | Mini. 40%     |
| Total                 | 100%              | 100%             | 100%          |

*Fuente ( Lopez Sopena, 2001)*

**Tabla 3:** Propiedades físico químicas del GLP.

| PROPIEDADES   | PROPANO   | BUTANO    |
|---|-----------|-----------|
|   | COMERCIAL | COMERCIAL |
| Gravedad específica a $15.56\text{ }^{\circ}\text{C}$                                     | 0.504     | 0.582     |
| Punto de ebullición inicial a $1\text{ atm}$ , ( $^{\circ}\text{C}$ )                     | -42       | -1        |
| Peso por metro cubico de líquido, ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )                              | 504       | 582       |
| Calor específico de líquido a $15.56\text{ }^{\circ}\text{C}$ , ( $\text{kJ}/\text{kg}$ ) | 1.464     | 1.276     |
| Peso por metro cubico de vapor, ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )                                | 1.5       | 2.01      |
| Temperatura de ignición en el aire, ( $^{\circ}\text{C}$ )                                | 493-549   | 482-538   |
| Límite de inflamabilidad inferior, (%)  | 2.15      | 1.55      |
| Límite de inflamabilidad superior, (%)  | 9.6       | 8.6       |
| Calor latente de vaporización, ( $\text{kJ}/\text{kg}$ )                                  | 428       | 388       |
| Poder calorífico, ( $\text{kJ}/\text{m}^3$ )  | 92430     | 121280    |

*Fuente (NFPA 54, 1996)*



### **2.12.6 Mercado internacional del GLP**

Según la asociación mundial del GLP por sus siglas (WLPGA) A nivel mundial la producción se encontraba aproximadamente en 330 millones de toneladas, en el año 2019 y con un consumo aproximado de 318 millones de toneladas, siendo sus principales usos los de calefacción y cocción de alimentos. Los mercados internacionales se encuentran agregados en siete grandes regiones, siendo Asia y Oceanía, Norteamérica y Europa las principales; Latinoamérica es la cuarta región en importancia y se estima que representa el 12% del consumo mundial. (Gasnova, s.f, pág. 21).

El mercado regional más grande, compuesto por Asia y Oceanía, tiene a China como su principal consumidor; el consumo en este país asciende aproximadamente al 9% del GLP adquirido a nivel mundial. El segundo mayor consumidor en esta región es Japón con el 7% del consumo mundial. Otros países importantes de esta región son Malasia, Tailandia y Australia, país en el cual el GLP es utilizado principalmente como combustible automotriz.

El segundo mercado más importante se encuentra conformado por Estados Unidos y Canadá. Este mercado regional era, hasta hace algunos años, el mercado más grande; sin embargo, fue desplazado por Asia y Oceanía, debido a la gran expansión que han experimentado los países en esta región, especialmente China, y al hecho que en los últimos años la economía norteamericana ha sufrido una importante crisis, la cual ha impactado en el consumo del GLP.

### **2.12.7 Cadena de comercialización de GLP**

La cadena de comercialización del GLP está conformada por todos los agentes que realizan las actividades que se requieren para que el GLP llegue a los consumidores finales; estas actividades son importar, producir, almacenar, envasar, transportar y expender dicho producto. Los agentes pertenecientes a esta cadena son los siguientes:

- Productores



- Importadores
- Plantas de Abastecimiento
- Plantas Envasadoras
- EE.SS. con Gasocentros
- Gasocentros
- Locales de Venta de GLP
- Distribuidor de GLP a Granel
- Distribuidor de GLP en cilindros
- Transportista de GLP a Granel
- Transportista de GLP en cilindros

Asimismo, existen otros dos tipos de agentes que pertenecen a la cadena de comercialización de GLP, y que se caracterizan por hacer uso del GLP para su consumo exclusivo como combustible. Estos agentes son los siguientes:

- Consumidores Directos de GLP
- Redes de Distribución de GLP

#### **2.12.7.1 Productores**

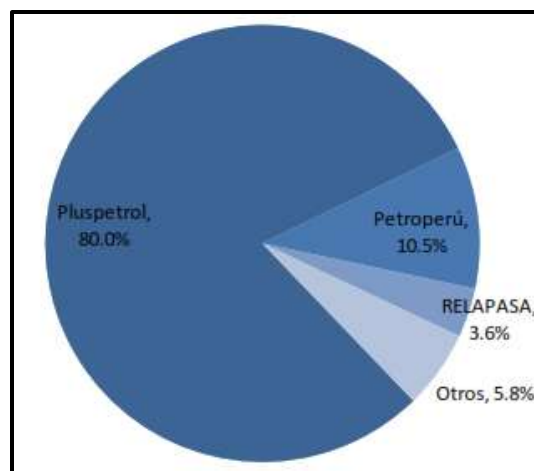
Son empresas cuya actividad consiste en procesar hidrocarburos con el objeto de producir propano, butano o mezclas de los mismos; en ese tipo de instalaciones se incluyen a las **refinerías y a las plantas de fraccionamiento**. En las refinerías el GLP se obtiene del procesamiento del petróleo crudo y en las plantas de fraccionamiento se le obtiene del procesamiento del gas natural.

Actualmente, el principal productor del GLP en el Perú es el Consorcio Camisea, el cual cuenta con una planta de fraccionamiento en Pisco, en la que se procesan los líquidos asociados al gas natural provenientes de la provincia de La Convención en la región Cusco; el segundo productor más importante es Petróleos del Perú S.A. (Petroperú), el cual produce GLP en la refinería de Talara.

El tercer productor de GLP es la empresa Repsol-YPF que opera la refinería La Pampilla (RELAPASA) en Lima y cuenta un importante número de plantas envasadoras y locales de venta verticalmente integrados, lo que le permite ser un actor importante a lo largo de toda la cadena de distribución de GLP a nivel nacional. Otro productor importante, que se encuentra ubicado y abastece el mercado del oriente peruano es la empresa Aguaytía Energy del Perú.

Finalmente, ubicados en el departamento de Piura se encuentran Plantas de Procesamiento de Gas Natural de Verdún y Pariñas de la empresa Graña y Montero Petrolera y las Plantas Criogénicas demGas Natural de las empresas Procesadora de Gas Pariñas y Savia Perú.

**Grafica 1:** Distribución gráfica de empresas productoras de GLP en el Perú



Fuente:(osinergmin)

### 2.12.7.2 Importadores

Son las empresas cuya principal actividad es la de comprar GLP en el mercado Internacional, para venderlo en el mercado interno. La importación usualmente se realiza a través de terminales marítimos asociados a plantas de abastecimiento. Los principales importadores se encuentran verticalmente integrados a plantas envasadoras, y estos a su vez a locales de venta, para llevar a cabo sus actividades de comercialización minorista. Sin embargo, estos importadores pueden abastecer a plantas envasadoras y distribuidores que no pertenezcan a su grupo económico.



En la actualidad, debido al importante crecimiento de la producción nacional de GLP, estos agentes se abastecen de dicho combustible de los productores nacionales. Los principales importadores de GLP en el Perú son Llama Gas, Lima Gas, Repsol YPF Comercial del Perú y Zeta Gas Andino.

#### **2.12.7.3 Plantas de abastecimiento**

Los productores e importadores de GLP realizan sus actividades comerciales a través de las denominadas Plantas de Abastecimiento, o "Plantas de Venta de GLP"; éstas son instalaciones en las cuales el GLP a granel puede ser objeto de las operaciones de recepción, almacenamiento y trasvase, para su posterior distribución. Cabe señalar que en estas plantas no se realiza el envasado del GLP en cilindros

#### **2.12.7.4 Plantas embazadoras**

Las Plantas Envasadoras son establecimientos en los que una Empresa Envasadora almacena GLP con la finalidad de envasarlo en cilindros o trasegarlo a camiones tanque. Cabe resaltar que estos agentes entregan en condición de uso a sus clientes, los cilindros rotulados en kilogramos.

En la tabla N°4, se da cuenta de la cantidad de plantas envasadoras registradas por región, ordenadas por su capacidad de almacenamiento total. Como puede observarse en el Perú hay 95 plantas envasadoras de GLP; Lima y Callao cuentan con la mayor cantidad en conjunto, otras regiones con un importante número de Plantas Envasadoras son Arequipa, Junín, La Libertad y Lambayeque.

**Tabla 4: Empresas envasadoras de GLP por zona**

| Empresa                       | Zona    | Volumen (Bls)  | Participación |
|-------------------------------|---------|----------------|---------------|
| Consorcio Camisea             | Ica     | 288,764        | 39%           |
| Zeta Gas Andino               | Lima    | 142,857        | 19%           |
| Repsol YPF Comercial del Perú | Lima    | 125,486        | 17%           |
| Petróleos del Perú            | Piura   | 55,086         | 7%            |
| Vopak - Serlipsa              | Lima    | 55,000         | 7%            |
| Procesadora de Gas Pariñas    | Piura   | 25,429         | 3%            |
| Refinería La Pampilla         | Lima    | 23,380         | 3%            |
| Aguaytia Energy del Perú      | Ucayali | 18,571         | 3%            |
| Graña y Montero Petrolera     | Piura   | 4,253          | 1%            |
| <b>TOTAL</b>                  |         | <b>738,825</b> | <b>100%</b>   |

*Fuente (osinergmin)*

### 2.12.7.5 Gasocentros

Son instalaciones en las que se desarrolla la actividad de expendio de GLP para uso Automotor y cuentan con todas las medidas necesarias para un despacho seguro; Pueden dedicarse exclusivamente a la comercialización de GLP, sin embargo, lo usual es que comercialicen además combustibles líquidos. En la tabla N°5, se muestra la cantidad de Gasocentros registrados por región.

**Tabla 5: Lista de Gasocentros a nivel nacional**

| REGIÓN       | NÚMERO    | VOLUMEN (BLS) |
|--------------|-----------|---------------|
| LIMA         | 32        | 10,637        |
| CALLAO       | 6         | 5,595         |
| AREQUIPA     | 9         | 4,762         |
| LA LIBERTAD  | 7         | 3,760         |
| LAMBAYEQUE   | 6         | 3,548         |
| JUNIN        | 9         | 2,912         |
| PIURA        | 4         | 2,905         |
| LORETO       | 1         | 1,905         |
| ICA          | 4         | 1,667         |
| PUNO         | 2         | 1,667         |
| ANCASH       | 2         | 952           |
| AYACUCHO     | 2         | 814           |
| CUSCO        | 2         | 762           |
| UCAYALI      | 2         | 740           |
| CAJAMARCA    | 2         | 476           |
| SAN MARTIN   | 2         | 429           |
| HUANUCO      | 2         | 357           |
| APURIMAC     | 1         | 286           |
| <b>TOTAL</b> | <b>95</b> | <b>44,174</b> |

*Fuente (osinergmin)*



#### **2.12.7.6 Distribuidor de GLP a granel**

Los distribuidores de GLP a granel son agentes de la cadena de comercialización de GLP que utilizan los denominados "Camiones Tanque" o "Camiones Cisterna" para realizar el abastecimiento de GLP usualmente a consumidores finales. Los agentes que pueden ser autorizados para realizar esta actividad son los operadores de Plantas de Abastecimiento, Plantas Envasadoras y propietarios u operadores de Camiones Tanque o de Camiones Cisterna; sus principales clientes son los consumidores directos y las redes de distribución de GLP.

#### **2.12.7.7 Distribuidor de GLP en cilindros**

Los distribuidores de GLP en cilindros son las personas naturales o jurídicas. Debidamente autorizadas que se dedican a la comercialización de GLP en cilindros, para lo cual cuentan con depósitos, áreas y/o vehículos exclusivos; asimismo pueden expender directamente al público y en forma conjunta cilindros pertenecientes a diversas Empresas Envasadoras.

Los usuarios que hayan recibido cilindros rotulados en kilogramos o en libras de una determinada Empresa Envasadora, tienen derecho a canjearlos con los de otras Empresas Envasadoras.

#### **2.12.7.8 Locales de venta de GLP**

Son instalaciones en las cuales los cilindros de GLP son objeto de recepción, almacenamiento y venta al público. Los locales de venta pueden vender los cilindros envasados por diferentes empresas, asimismo, deben recibir a cambio los cilindros que son intercambiados por los consumidores finales sin importar a qué empresa envasadora le correspondan.

Los locales de venta de GLP pueden ser operados por personas naturales o jurídicas independientes, o estar asociados a empresas envasadoras, las cuales en algunos casos están a su vez asociadas a importadores o productores; por ello se



observan diferentes niveles de integración vertical en este mercado. No obstante, en líneas generales, este tipo de negocio requiere de inversiones relativamente menores respecto a las necesarias para desempeñar otro tipo de actividades en la cadena de comercialización de GLP.

#### **2.12.7.9 Consumidores directos de GLP**

Los consumidores directos y las redes de distribución de GLP son una categoría especial de consumidores finales, pues debido a la cantidad de GLP que pueden almacenar, se encuentran obligados a estar debidamente registrados y a cumplir con lo establecido en los reglamentos de seguridad correspondientes; cuentan con instalaciones en las cuales el GLP es objeto de recepción y almacenamiento para su propio consumo en tanques estacionarios; estos agentes pueden adquirir el producto en el país o importarlo, sin embargo se encuentran prohibidos de venderlo.

En el caso de las redes de distribución, sus características son similares a las de los consumidores directos, sin embargo, cuentan además con redes internas para distribuir el producto a los usuarios finales.

#### **2.12.8 Aspectos legales y normativa**

Para cumplir con los estándares de calidad de la UM. Es necesario tomar en consideración todos los aspectos legales y normativas locales e internacionales, para la instalación y puesta en marcha del sistema GLP, es por ello que se expondrán las principales leyes y normas vigentes hasta la fecha.

##### **2.12.8.1 Disposiciones legales**

Actualmente la institución encargada de la supervisión, fiscalización y regulación de hidrocarburos, es el organismo supervisor de la inversión en energía y minería (OSINERMIN) encargado de controlar, regular y fiscalizar las actividades técnicas operacionales en las diferentes fases de la industria hidrocarburería con el fin de



garantizar el aprovechamiento óptimo de los recursos hidrocarburíferos cumpliendo con las medidas de seguridad.

#### **2.12.8.2      *Decretos supremos***

Es decreto supremo es una resolución escrita de carácter normativo expedida por el titular del poder ejecutivo, en uso de sus facultades legislativas. Este documento es empleado para transmitir instrucciones y decisiones y así mismo tienen el carácter de obligatorias para los subordinados, sin tener las características de reglamento.

- Reglamento de comercialización de GLP, aprobado por el Decreto supremo N°01-94. El presente Reglamento, comprende las actividades de Comercialización de Gas Licuado de Petróleo (GLP) en sus fases de producción, comercio exterior, almacenamiento, envasado, transporte y venta al público.
- Reglamento de seguridad para instalaciones y transporte de Gas licuado de petróleo aprobado por el decreto supremo N°027-94
- Ley Orgánica que norma las actividades de Hidrocarburos en el territorio nacional ,Ley 261221

#### **2.12.8.3      *Normas técnicas peruanas aplicables***

- NTP 321.123
- NTP 321.121
- NTP 321.120

#### **2.12.8.4      *Normas técnicas internacionales***

- NFPA 58
- NFPA 54
- UNE 60.621

### **2.13 Sistema de GLP**

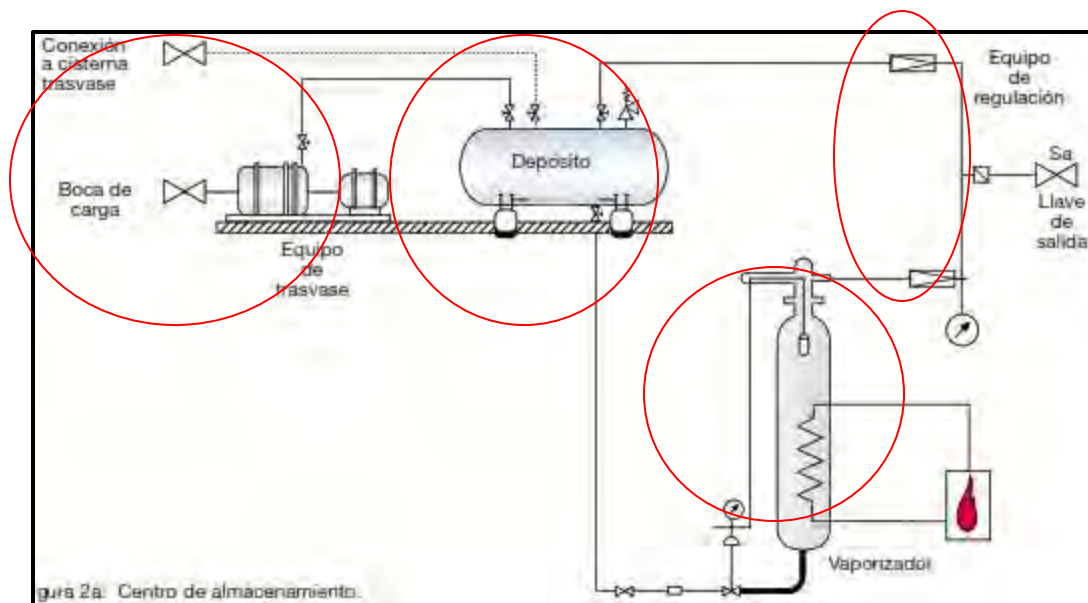
Una definición correcta según la NTP. Conjunto que consiste en uno o más recipientes, con un medio para llevar GLP desde un recipiente hacia los dispositivos

surtidores o de consumo, que incorpora componentes para controlar la cantidad, el flujo, la presión o el estado físico (líquido o vapor) del GLP. (NTP 321.123, 2018, pág. 27).

Los elementos de un sistema GLP están considerados desde el punto de transferencia hasta la última conexión de un equipo de consumo y se clasifica de la siguiente manera.

- Sistema de transferencia o línea de llenado
- Sistema de almacenamiento – tanque de GLP
- Sistema de distribución
- Sistema de regulación
- Sistema de vaporización forzado

**Figura 14:** Ilustración gráfica de una instalación de sistema GLP



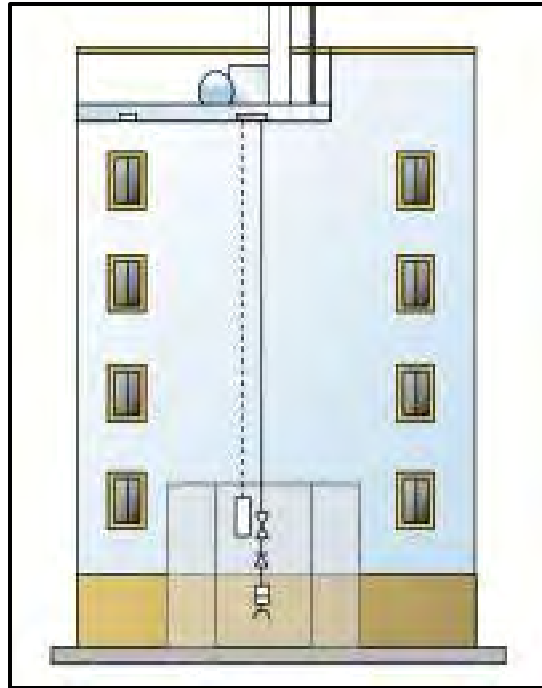
*Fuente: (Lopez Sopena, 2001)*

### 2.13.1 Sistema de transferencia o línea de llenado

Este sistema es el encargado del suministro de GLP líquido a los depósitos de almacenamiento con conexión de tuberías SCHEDULE 80 fabricados bajos las normas ASTM A-53, A-106, API 5L y accesorios de acero 3000, fabricados bajo las normas ASME B1.20.1. Este sistema está conformado por dos tuberías instaladas en forma paralela. **Una línea de retorno de vapor** que interconecta la unidad de despacho y el

tanque estacionario, y que tiene por objeto la compensación de presiones entre ambas unidades de almacenamiento. La otra la **línea de carga de GLP al tanque estacionario (línea de llenado)** que interconecta la unidad de despacho y el tanque estacionario, tiene por objeto el suministro de GLP líquido.

**Figura 15:** Grafica de la instalación de una línea de transferencia desplazada



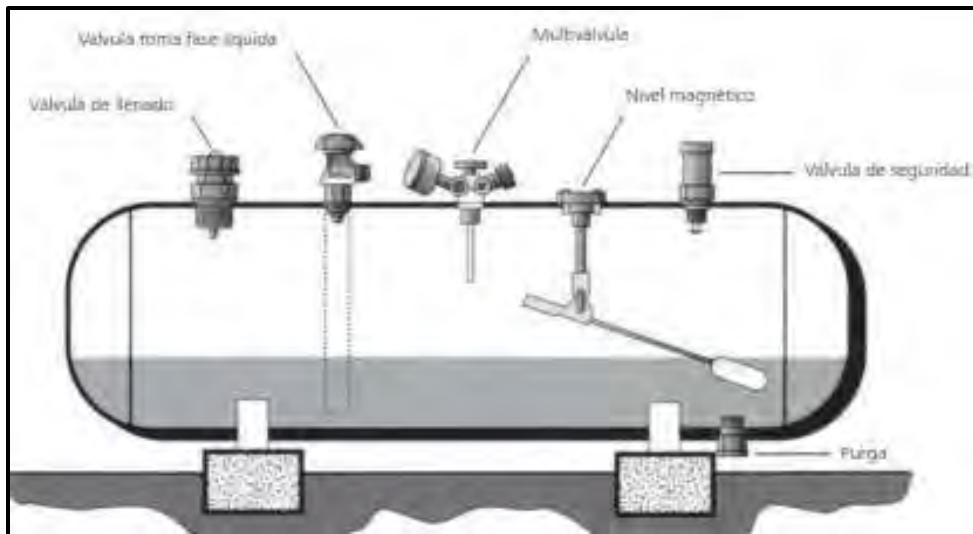
*Fuente: (Lopez Sopena, 2001)*

## 2.13.2 Sistema de almacenamiento

### 2.13.2.1 Tanque de GLP

Es un recipiente de almacenamiento de GLP fabricado de Acuerdo a NTP o código ASME Sección VIII (ASME BPVC VIII), estos recipientes podemos encontrar en el mercado de diferentes dimensiones, los más comerciales y más usados en el Perú son de 120 a 1000galones de capacidad de agua, pero también hay de mayor dimensión, la selección dependerá de la demanda consumo que tenga el sistema.

**Figura 16:** Vista de un tanque ASME con sus respectivos accesorios



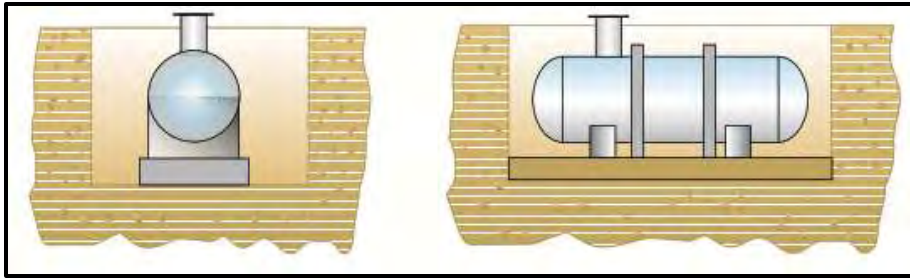
**\*Tanque estacionario superficial o aéreo:** Es un Tanque estacionario cuya superficie inferior está a nivel o encima del suelo, sobre el cual está instalado. Este tipo de instalaciones tiene una ventaja con respecto a los enterrados

- Mayor tasa de vaporización
- Mejor conservación de la superficie exterior del tanque
- Facilidad para trabajos de mantenimiento

**\*Tanque estacionario enterrado:** Es un Tanque cuya superficie superior se encuentra situada por debajo del nivel del terreno. Cuando el nivel superior del tanque enterrado se encuentra por encima del nivel del terreno se considera monticulado o semi soterrado.

La instalación dependerá de las distancias de seguridad del área de influencia, este tipo de instalaciones tiene una ligera ventaja con respecto a los tanques superficiales, según la NTP 321.123, la distancia de seguridad del límite de propiedad se reduce considerablemente, lo cual es una ventaja ya que pueden ser adecuados en áreas pequeñas.

**Figura 17:** Vista de un tanque ASME monticulado



**\*Tanque estacionario en techo:** Tanque estacionario cuya superficie inferior y bases respectivas se encuentran sobre la superficie de un techo debidamente acondicionado para soportar su peso lleno de agua. (NTP 321.123, 2018)

**Figura 18:** Vista de un tanque estacionario en techo



### 2.13.2.2 *Accesorios de los tanques estacionarios*

Son dispositivos instalados en las aperturas de los tanques estacionarios para los fines de seguridad, control u operación. (NTP 321.123, 2018, pág. 21) Para que un depósito pueda operar debe poseer los accesorios necesarios, tal como se indica en las especificaciones de la NTP 321.123.

- a) Válvula de seguridad
- b) Indicador de nivel, de medida continua y lectura directa (magnético y nalga rotativa)
- c) Multiválvulas

- d) Válvula de exceso de flujo
- e) Válvula de llenado

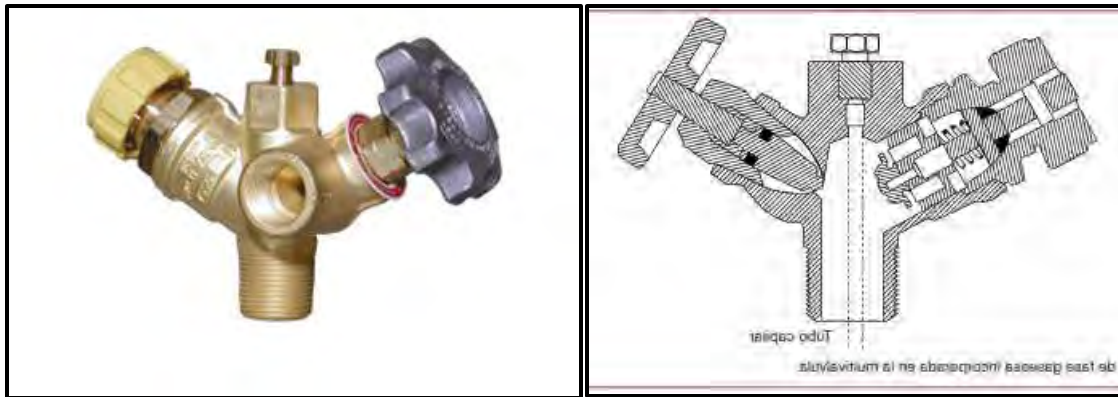
**\*Válvula de seguridad.-** Accesorio del tanque estacionario, cuya función es aliviar la presión interna del fluido por una sobrepresión, y están fabricados de acuerdo a las especificaciones de la NFPA58, NTP 321.123 y UL132. Existen varios motivos por el cual resulta necesaria la instalación de una válvula de alivio en los tanques estacionarios de GLP, entre las principales están; el aumento de la temperatura, el sobrellenado del depósito (mayor al 85%) y existir aire o gas inerte en la zona de fase de vapor, que al elevar su temperatura y no producirse la correspondiente condensación, origina un aumento de presión excediendo la presión de calibrado inicial del dispositivo.

**Figura 19:** Vista de la válvula de seguridad del tanque



**\*Multiválvulas.-** Es un dispositivo que está conectado a la parte superior del tanque, directamente en la zona de fase vapor, cuya función es extraer GLP vapor para abastecer a los equipos de consumo. La toma de fase gaseosa se realiza mediante una llave de corte tipo asiento de accionamiento manual, esta llave ha de disponer de una válvula de exceso de caudal situada aguas arriba de la llave y suele ser interna para evitar deterioro y manipulación no deseada. Normalmente, la llave de toma de fase gaseosas y válvula de exceso de caudal se encuentra incorporada en la multiválvulas, donde se conectan, el indicador de punto alto de llenado y el manómetro.

*Figura 20: Vista de la válvula de seguridad del tanque*



**\*Válvulas de exceso de flujo check – lock .-**Es un accesorio del tanque estacionario cuya función es, el retiro de GLP líquido, que normalmente permanece en posición cerrada hasta que la active una boquilla o adaptador de la tubería, según lo recomiende el fabricante, y que es utilizada con una válvula de cierre anexada al accionado. Aunque la función principal de los depósitos es el suministro de fase gaseosa, deben disponer también de un sistema que permita la salida de la fase líquida, Por ejemplo para el vaciado o cuando es necesario la utilización de un vaporizador. (Catalogo REGO, 2019, pág. 73)

*Figura 21: Vista de la válvula Check lock modelo: 7580U*



**\*Válvula de drenaje o válvula de exceso de líquido comandada.-** Es un accesorio del tanque estacionario, utilizada para retirar o realizar transferencias de productos, así como cualquier impureza y agua acumulada. Este dispositivo también sirve para retirar GLP líquido cuando se tiene sistemas con vaporización forzada.



**Figura 22:** *Válvula de exceso de flujo*



**\*Nivel de flotador.-**Este indicador consta básicamente de un flotador tipo (boya), un contrapeso en el mismo eje y un sistema de lectura exterior. La posición del flotador, siguiendo el nivel del líquido, se transmite a una aguja situada sobre un dial en donde se marca el grado de llenado en cada momento, en tanto por ciento de volumen. El flotador se mantiene sobre la superficie del líquido equilibrado por el contrapeso. El giro del eje basculante se transmite mediante un piñón corona, al eje vertical y de este al cabezal donde se conecta el dial con escala de porcentaje, lo que hace que este último sea desmontable sin tener que vaciar el depósito previamente, de ahí el nombre del dial magnético.

**Figura 23:** *Vista de la válvula indicador de nivel de líquido tipo (boya)*



**\*Válvula de llenado.-**Dispositivo que va conectado al depósito, también llamado válvula de transvase, tiene como misión hacer posible la conexión de la manguera del equipo del camión cisterna de donde se transvasa GLP en fase líquida y evitar que el gas pueda retroceder o salir del depósito. Consiste en un dispositivo de llenado con doble



cierre, una de los cuales debe de ser de retención y estará situado siempre en el interior del depósito, y el otro podrá ser manual, mediante señal eléctrica, o también, de retención. Cuando se realiza el llenado del depósito, una vez acoplada a la manguera de transvase del camión cisterna, la presión del gas impulsado por el equipo de bombeo vence la fuerza de los resortes y de la contrapresión del gas contenido en el depósito, que mantiene cerrado los discos de cierre, por lo que estos, una vez abiertos, permitirá el paso del GLP en fase líquida al interior del depósito. Finalizada la operación de transvase, se produce el cierre de las válvulas de retención, debido a la presión de los resortes y a la fuerza ejercida por el gas.

**Figura 24:** Vista de la válvula de llenado modelo: L759, L6579



### 2.13.3 Sistema de Vaporización forzado

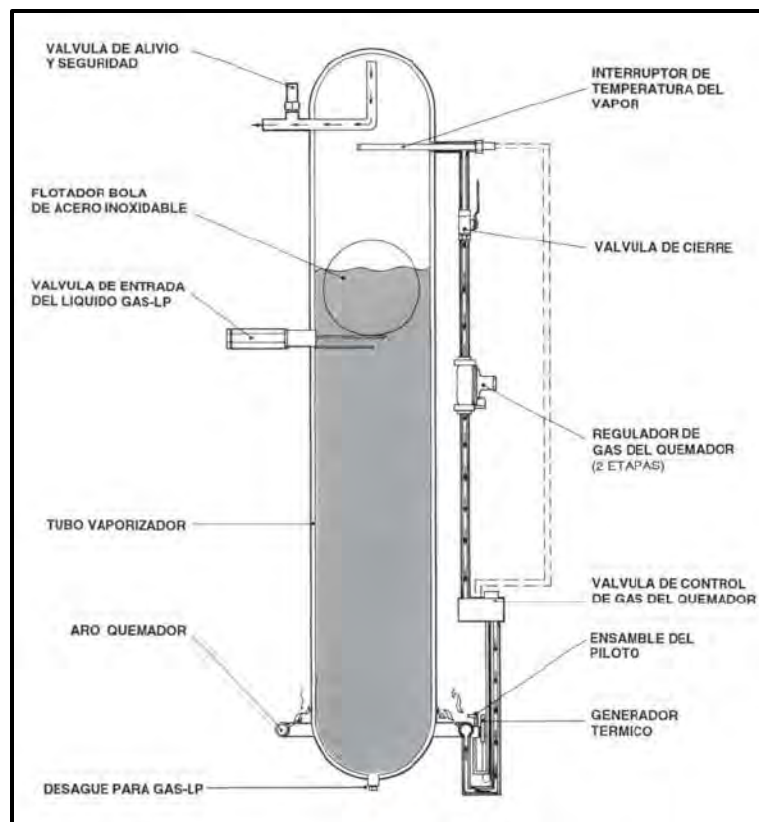
El elemento principal de este sistema es el vaporizador, quien es el encargado transformar GLP líquido a gas, mediante la acción directa de fuego. Este equipo es controlado en forma automática mediante un sensor de temperatura y válvulas de control a la entrada y salida.

La parte de seguridad es controlada con una válvula de alivio el cual se activa por una sobrepresión, dicha válvula está calibrado en 250PSI.

### 2.13.3.1 Vaporizador de fuego directo

Recipiente a presión encargado de transformar Gas LP en estado líquido, mediante la aplicación directo de calor, donde el calentamiento continuo induce la vaporización, al tiempo que consume pequeñas cantidades del vapor generado y asegurando un continuo suministro de vapor para su uso. En la siguiente figura se puede apreciar el elemento principal.

**Figura 25:** Elementos de un vaporizador de fuego directo



Fuente: (manual de vaporizadores Ransome)

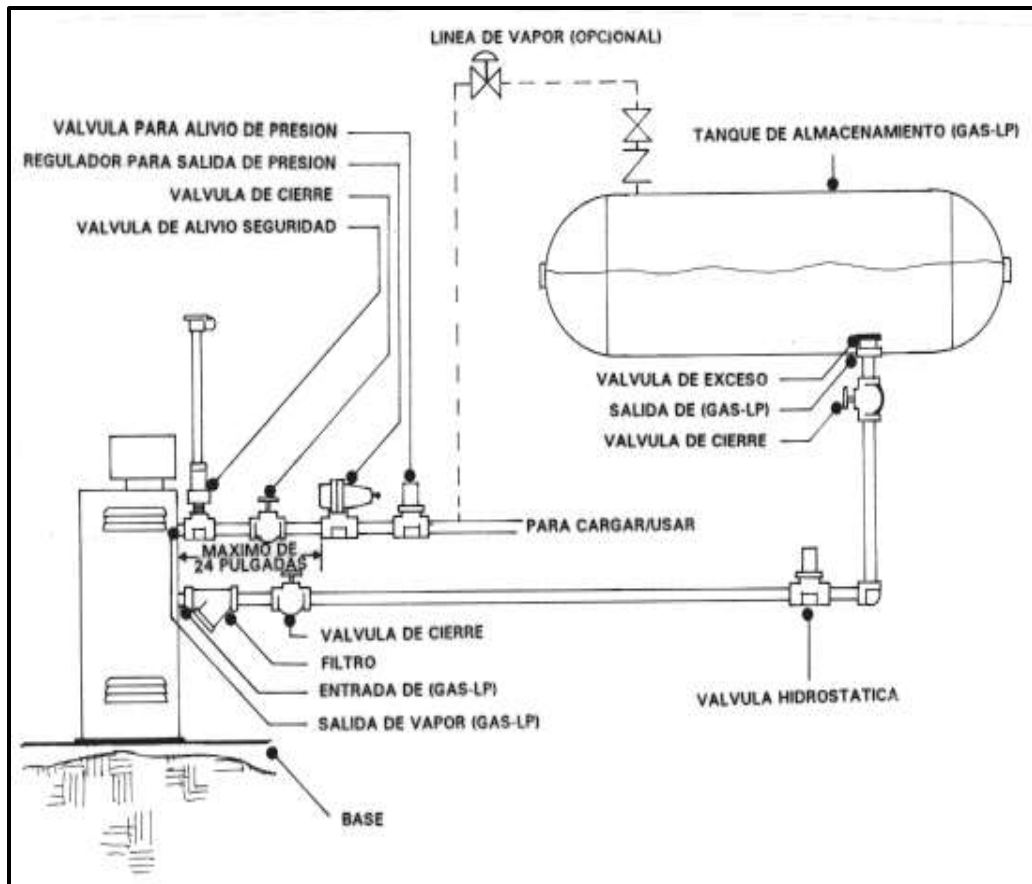
**Tabla 6:** Elementos principales de un vaporizador de fuego directo y función

| ELEMENTO                          | FUNCION  |
|-----------------------------------|--|
| 1. Tubo Vaporizador               | Proporciona un recipiente para convertir gas LP a vapor.   |
| 2. Interruptor De Temperatura     | Detecta la temperatura del vapor y provee control eléctrico a la Válvula de control de gas del quemador. |
| 3. Válvula De Cierre Del Quemador | Proporciona un cierre manual al vapor de gas del sistema del Quemador.                                   |
| 4. Regulador De Gas Del Quemador  | Provee regulación de presión de dos etapas para el quemador Principal.                                   |

|                           |  |
|---------------------------|--|
| Válvula De Control De Gas | Provee control (Encendido/Apagado) en la fluidez del vapor al Quemador principal cuando el interruptor de temperatura del vaporizador requiera calor, más un cierre 100% total de gas al piloto en cuanto se apague la llama del piloto. |
| Ensamble Del Piloto       | Piloto Provee una llama fija para encender el quemador principal.  |

Fuente: (manual de vaporizadores Ransome)

Figura 26: Diagrama de instalación de vaporizadores de fuego directo



Fuente: (manual de vaporizadores Ransome)



#### 2.13.4 Sistema de distribución

El sistema de distribución es el encargado de llevar el GLP de los depósitos de almacenamiento hasta los puntos de consumo. Según las especificaciones técnicas de la NFPA58, NFPA54, NTP 321.123 y NTP 321.121 las tuberías destinadas a formar parte del sistema de distribución deben cumplir con lo siguiente:

- Deben tener una resistencia mecánica capaz de soportar cargas estáticas, dinámicas y condiciones externas del medio ambiente
- Las tuberías deben ser perfectamente señalizados tanto en instalaciones aéreas y enterradas, cumpliendo las especificaciones técnicas de las normas mencionados.

##### 2.13.4.1 Clasificación de la línea de distribución

Una instalación industrial de GLP esta interconectado con tuberías que trabajan a diferentes presiones desde la salida de los contenedores hasta llegar a los equipos de consumo, los cuales se detallara de la siguiente manera.

- a) Línea de carga de GLP al tanque estacionario(alta presión)
- b) Línea de retorno de vapor(alta presión)
- c) Línea de GLP vapor(baja presión)
- d) Línea de GLP vapor (media presión)
- e) Línea de GLP vapor natural(alta presión)
- f) Línea de GLP vapor forzado(alta presión)
- g) Línea de GLP líquido (alta presión)

**a).-Línea de caga de GLP al tanque estacionario.** Es la tubería que interconecta la unidad de despacho y el tanque estacionario, tiene por objeto el suministro de GLP líquido.

**b).-Línea de retorno de vapor.** Es la tubería que interconecta la unidad de despacho y el tanque estacionario, y que tiene por objeto la compensación de presiones entre ambas



unidades de almacenamiento. El GLP contenido se encuentra a altas presiones y en estado gaseoso. (NTP 321.123, 2018, pág. 27)

**C.-Línea de GLP vapor (baja presión).**Es la tubería comprendida desde la salida del regulador de segunda etapa, hasta la conexión a los equipos de consumo, los cuales tienen que ser diseñados para trabajar a una presión mínima de 11 inH<sub>2</sub>O (0.4psi). Pueden ser de SCH80, cobre, HDPE o PE-AL-PE etc. La selección del material Dependerá de las condiciones del lugar y las exigencias del cliente.

**d).-Línea de GLP vapor (media presión).**- Es la tubería comprendida desde la salida del regulador de primera etapa hasta la entrada del regulador de segunda etapa, los cuales están diseñados para trabajar a un a presión mínima de 20psi. Pueden ser de SCH80, cobre, HDPE. PE-AL-PE, la selección dependerá mucho de las condiciones del lugar y la decisión del cliente.

**e).-Línea de GLP vapor natural (alta presión).**- Es la tubería comprendida desde la salida del tanque de almacenamiento hasta la entrada de los reguladores de primera etapa, dicha tubería tiene una presión de 70 a 80 psi aproximadamente, lo cual puede variar con las condiciones atmosféricas del lugar. Los materiales utilizados para la instalación pueden ser de SCH80, cobre, HDP, PE-AL-PE. La selección del material dependerá mucho de las condiciones del lugar y las exigencias del cliente

**f).-Línea de GLP vapor forzado (alta presión).**-Es la tubería comprendida desde la salida del vaporizador hasta la entrada al regulador de primera etapa, dicha tubería tiene una presión mínima de trabajo de 100 a 120 psi, lo cual puede variar de acuerdo a las condiciones de funcionamiento del vaporizador. El material de debe ser tubería SCH80 con accesorios FN300 y válvulas tipo bola Apollo de alta resistencia.

**Línea de GLP líquido (alta presión).**- Es la tubería que conduce el GLP en estado líquido hacia el vaporizador (en caso existiera). Las características son las mismas que la línea de carga. (NTP 321.123, 2018, pág. 27). Esta tubería conduce GLP líquido, desde



la salida de la conexión de la válvula check lock, hasta la entrada a los vaporizadores de fuego directo, dicha tubería tiene una presión de trabajo de 70 a 80 psi aproximadamente, lo cual puede variar proporcionalmente con el porcentaje de GLP líquido existente en el tanque. El material debe de ser tubería de espesor mínimo SCH80, con accesorios de conexión acero 3000 y válvulas de control de alta resistencia (Apollo clase 80).

#### **2.13.4.2 Tuberías metálicas**

Las tuberías deben de ser de acero al carbono, acero inoxidable o cobre, cuya composición química no sea alterado por el GLP ni con el medio exterior con el que están en contacto, los tipos de tubería metálica según la NTP 321.121 y NFPA 54 que pueden ser utilizados son:

**\*Acero y hierro forjado.**-La tubería de acero y hierro forjado debe de ser como mínimo de calidad estándar (cedula 40) y debe de cumplir una de las siguientes normas.

- ANSI/ASME B36.10 , tubería de acero forjado, soldado y sin costura
- ASTM A53, Tubería de Acero Negro, Galvanizado en Caliente, Recubierta con Cinc, Soldada y Sin Costura)
- ASTM A106 Tubería de Acero al Carbón, Sin Costura, para Servicio a Alta Temperatura)
- ASTM A 539

**\*Tubería rígida de acero inoxidable.**-Debe de ser de tipo AISI 304L y AISI 316L según ASTM A240, fabricadas según las especificaciones dimensionales y de presión de las normas JIS G3448 o UNE 19-049-1, ASTM A 312M

**\*Tubería de cobre rígida o flexible.**-Debe de ser tubería sin costura, según las especificaciones de las siguientes normas.

- ASTM B 88 de tipo K o L
- ASTM B 280
- ASTM B 42



- NTP 342.525

#### **2.13.4.3 Tubería plástica**

**\*Tubería de polietileno y poliamida.-**La tubería polietileno (PE) de calidad PE2406 (PE 80) o PE3408 (PE 100), deben ser utilizados exclusivamente en instalaciones enterradas. El polietileno es una material plástica fabricada por síntesis química a partir del Etileno, obteniendo como resultado moléculas gigantes denominadas macromoléculas o polímeros.

A este polímero básico en el proceso de granulación previo a la extrucción para fabricación de los tubos y accesorios, se le añaden aditivos consistentes principalmente en antioxidantes, pigmentos y colorantes, estabilizantes y lubricantes. La misión de estos aditivos es mejorar la resistencia del material a los efectos de la luz y el calor. Las normas de fabricación para este tipo de tuberías son:

- ASTM D 2513by deben de ser recomendados por los fabricantes para uso de GLP

#### **2.13.4.4 Uniones en tuberías**

La unión de tuberías es un procedimiento muy importante en la construcción de la red de distribución, existen diferentes métodos de unión y su selección debe ser conforme a las condiciones de la instalación respaldándose en normas correspondientes.

##### **Unión mediante soldadura por capilaridad**

Es la operación en las cuales las piezas metálicas se unen mediante el aporte, por capilaridad, de un metal en estado líquido que las mojan y cuya temperatura de fusión es inferior a la de las piezas a unir las cuales no participan con su fusión en la formación de la unión. (NTP 321.123, 2018, pág. 35). En este proceso hay dos tipos de soldadura por capilaridad, de acuerdo a la temperatura de fusión del material de aporte.



- soldadura por capilaridad, soldadura blanda; proceso de unión mediante la acción capilar de un metal de aporte con una temperatura de fusión (líquidus) inferior a 450 °C
- soldadura por capilaridad, soldadura fuerte; proceso de unión mediante la acción capilar de un metal de aporte con una temperatura de fusión (líquidus) superior a 450 °C

#### **2.13.4.5 Uniones roscadas**

##### **Uniones por fusión de calor**

Los accesorios para proceso de fusión por calor de poliamida o polietileno deberán ser recomendados por el fabricante para su uso con GLP y deberán estar conforme a una de las siguientes normas:

- ASTM D 2683
- ASTM D 3261
- ASTM F 105
- ASTM F 1733

#### **2.13.5 Sistema de regulación.**

La regulación de presión de un sistema GLP es un procedimiento, en la cual se requiere varios elementos indispensables para su funcionamiento óptimo, como son los reguladores manómetros, válvulas de seguridad etc.

El sistema de regulación es el corazón de una instalación, una selección correcta de un equipo de regulación nos garantiza el funcionamiento óptimo de los equipos de consumo, los reguladores deben ser seleccionados tomando en cuenta dos parámetros físicos indispensables como son la presión y el caudal, hay considerar también la distancia a recorrer desde el tanque de almacenamiento hasta los puntos de consumo, donde se tiene que considerar las pérdidas generadas por los accesorios y tuberías a fin



de asegurar la presión y el caudal necesario para el correcto funcionamiento de los equipos de consumo.

Otro aspecto importante a tomar son las condiciones climáticas del lugar, se tienen que considerar al momento de seleccionar las condiciones más críticas. Un adecuado manejo y control de las presiones y pérdidas de presión el sistema GLP proporcionaran u ahorro significativo en el diseño y construcción del mismo, ya que de esta manera se optimizan los materiales en cuanto al diámetro de la tubería y los accesorios.

#### **2.13.5.1 Regulación de presión**

El regulador de presión es un dispositivo que permite controlar la presión del fluido en un sistema de tuberías. Su función es entregar un flujo constante de gas a la presión de funcionamiento de los equipos de consumo independientemente de las variaciones de presión que se pueden dar en los depósitos de almacenamiento. Los reguladores tienen como funciones reducir la presión del gas y mantener entre límites convenientes para un rango de caudales definidos.

#### **2.13.5.2 Clasificación de los reguladores**

**\*Regulador de conmutación automática.-** Es un regulador integral de dos etapas que combina dos reguladores de alta presión y un regulador de segunda etapa en una misma unidad, diseñada para el uso en instalaciones de cilindros múltiples. (NTP 321.123, 2018, pág. 32)

**\*Regulador de primera etapa.-**Regulador de presión para el servicio con vapor de GLP, diseñado para reducir la presión del recipiente hasta 10psig manométrica o menos (NTP 321.123, 2018, pág. 32)

**\*Regulador de segunda etapa.-**Es un regulador de presión para el servicio con vapor de GLP, diseñado para reducir la presión de salida del regulador de primera etapa a 4 kPa (14 pulgadas de columna de agua) o menos



**\*Regulador de etapa única.**-Es un regulador de presión para el servicio con vapor de GLP, diseñado para reducir la presión desde el recipiente a 6,9 kPa manométrica (1,0 psig) o menos

**\*Regulador de servicio de 2 psi.**-Regulador de presión para el servicio con vapor de GLP, diseñado para reducir la presión de salida del regulador de primera etapa a una presión nominal de 2 psig (13,8 kPa manométrica)

### **2.13.5.3      *Sistema de regulación por etapas para instalaciones domesticas e industriales***

Según la NTP 321.120 divide el sistema de regulación en tres partes, cada sistema tiene ventajas y desventajas, dependerá mucho de la configuración de la instalación, un punto importante a considerar será la carga térmica y la ubicación de los equipos de consumo con respecto al tanque de almacenamiento.

**\*Sistema de regulación etapa única II.**-Es un sistema de regulación que utiliza un regulador integrado, para deducir la línea alta (100psi) a baja presión (11”C.A). Este sistema se utiliza cuando los equipos de consumo están cerca de los depósitos de almacenamiento

**\*Sistema de regulación de dos etapas.**-Es un sistema de regulación donde utiliza dos reguladores para reducir la presión del gas hasta 11inH<sub>2</sub>O, este tipo de instalación es la más recomendado para instalaciones industriales, ya que el regulador de primera etapa cumple la función de compensar las variaciones de presión y caudal a la entrada del regulador de segunda etapa, ayuda a mantener una eficiencia máxima y una operación libre de problemas durante todo el año.

**\*Sistema de regulación de tres etapas.**- es un sistema de regulación que utiliza tres reguladores para reducir la línea de alta (100psi) a 11”C.A. este sistema es utilizado cuando los equipos de consumo están lejos de los tanques de almacenamiento, cuando

hay una fuerte demanda de consumo y equipos que trabajan con rangos de presiones variables

**Figura 27:** Esquema de regulacion por etapas Fuente: (NTP.321.120, 2008)

| TIPICOS        | ESQUEMAS DE REGULACION DOMÉSTICA, COMERCIAL E INDUSTRIAL | ETAPA           | Pmax. (mbar) | Pmin. (mbar) |
|----------------|--|-----------------|--------------|--------------|
| ETAPA UNICA I  |  | Alta presión    | --           | > 4000       |
|                |  | Baja presión    | 50           |              |
| ETAPA UNICA II |  | Alta presión    | --           | > 4000       |
|                |  | Media presión B | 4000         | > 400        |
|                |  | Media presión A | 400          | > 50         |
| DOS ETAPAS     |  | Alta presión    | --           | > 4000       |
|                |  | Media presión B | 4000         | > 400        |
|                |  | Media presión A | 400          | > 50         |
|                |  | Baja presión    | 50           |              |
| TRES ETAPAS    |  | Alta presión    | --           | > 4000       |
|                |  | Media presión B | 4000         | > 400        |
|                |  | Media presión A | 400          | > 50         |
|                |  | Baja presión    | 50           |              |

## 2.14 Teoría para diseño de sistema GLP

### 2.14.1 Principio de vaporización natural

El GLP líquido recibe el calor del exterior a través de la parte de chapa del recipiente que está en contacto con el líquido, llamada superficie mojada, ya que la fase gaseosa, como todos los gases, es muy mala conductora del calor. Esta superficie es menor cuanto menor es la cantidad de líquido en el depósito y si consideramos dos depósitos del mismo volumen geométrico pero de dimensiones diferentes, la superficie mojada es mayor en el que tenga el menor diámetro puesto que en un cilindro de un volumen dado, la superficie es inversamente proporcional al diámetro.

Otra variable que influye en la vaporización es la diferencia de presión entre la tensión de vapor del GLP en el interior del depósito a la temperatura de equilibrio y la

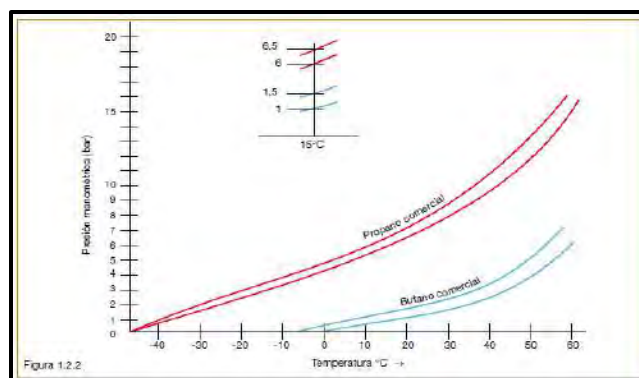
presión de servicio de la fase gaseosa en la red de distribución o en la válvula de acometida. A esta presión de servicio la temperatura de equilibrio es menor y es a la que tiende el líquido del depósito, por lo que cuanto menor sea esta presión menor ha de ser la cantidad de calor aportada.

En resumen, tres son los factores que influyen en la vaporización natural de un depósito. La temperatura exterior que a su vez depende de la ubicación, aérea o enterrada; la superficie mojada que varía con las dimensiones del recipiente y con la cantidad de líquido que contiene y, por último, la presión de servicio.

Para determinar la vaporización natural de un depósito se puede efectuar realizando un análisis por transferencia de calor en forma analítico o con fórmulas experimentales descrito por autores en manuales de instalación. La vaporización natural depende

- De la superficie exterior del depósito, aumenta a mayor superficie
- La superficie en contacto con líquido lo cual varía conforme a las dimensiones del depósito y la cantidad de GLP líquido
- La temperatura exterior del tanque lo cual depende del lugar en el que se ubica la instalación, puede ser superficial o enterrado.
- El tipo de GLP utilizado y la mezcla comercial que usamos
- Presión de servicio de la instalación

**Figura 28:** Variación de la presión para butano y propano comercial



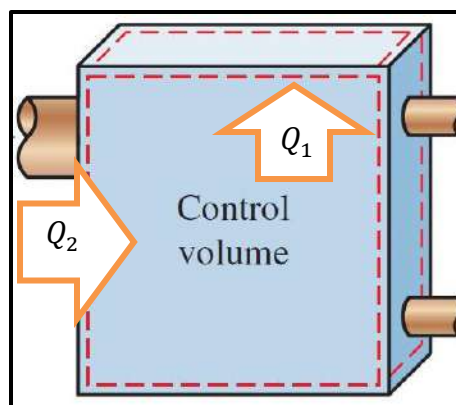
fuelle (Lopez Sopeña, 2001)

### 2.14.2 Determinación de la vaporización natural - analítico

Existen varios métodos de cálculo para la vaporización natural en recipientes a presión, para nuestro caso se realizara un análisis a detalle aplicando los conocimientos adquiridos como estudiantes y con datos reales del lugar de la instalación, para validar los resultados se realizara una comparación con datos obtenidos de tablas y ecuaciones experimentales que recomiendan ASME, REGO y CEPESA.

Aplicando el principio de conservación de energía para un volumen de control (tanque). La cantidad de calor cedido por el medio ambiente será igual al calor necesario para cambiar de fase líquido a gas.

**Figura 29:** Análisis de energía en volumen de control



$$Q_2 + Q_1 = 0;$$

$$Q_2 = Q_1; \quad Q_1 = \dot{m} \cdot h_{fg}$$

Donde:

$Q_1$ : Calor requerido para la vaporización (W)

$\dot{m}$ : Flujo masico de vapor de GLP (kg/h)

$h_{fg}$ : Calor latente de vaporización del GLP (KJ/kg)

El calor transferido del exterior hacia el GLP líquido se determina mediante la transferencia de calor por los mecanismos de convección, conducción y radiación en la sección cilíndrica y esférica del tanque.



$$Q_2 = Q_C + Q_E \quad (28)$$

Donde:

$Q_2$ : Calor total transferido desde el exterior al GLP líquido (W)

$Q_C$ : Calor transferido por la sección cilíndrica al GLP líquido (W)

$Q_E$ : Calor transferido por la sección esférica al GLP líquido (W)

Es necesario introducir un factor de llenado P, el cual permite determinar aproximadamente la superficie mojada por el GLP líquido en función del porcentaje de llenado en el interior del tanque a través del cual se considera que existe la mayor transferencia de calor, este factor está dado en la tabla siguiente

**Tabla 7:** Factor de llenado en función del porcentaje de llenado

| % de llenado | P    |
|--------------|------|
| 10           | 0.26 |
| 20           | 0.34 |
| 30           | 0.4  |
| 40           | 0.45 |
| 50           | 0.55 |
| 60           | 0.65 |
| 70           | 0.75 |
| 80           | 0.85 |

*Fuente (Lopez Sopena, 2001)*

A la ecuación (28) se multiplica con el factor de llenado "P"

$$Q_2 = P (Q_C + Q_E) \quad (29)$$

Aplicando el principio de conservación de energía y teniendo como volumen de control la geometría del tanque, se igualan las ecuaciones (20) y (22) para obtener el flujo máximo de vapor de GLP generado por la vaporización de un tanque, para cubrir la demanda de los equipos de consumo.

$$m^{\circ} = P (Q_C + Q_E) / h_{fg} \quad (30)$$

Donde:

*P: factor de llenado*

### 2.14.3 Determinación de la vaporización natural - experimental

Otro procedimiento de cálculo de la vaporización natural de un depósito de GLP es recomendado por REGO, CEPSA, ASME y otras marcas de productos de gas, que han propuesto una fórmula para instaladores que necesitan una referencia práctica para el trabajo en campo.

Esta fórmula es conocida con el nombre de “RULE OF THUMB” que significa “La regla del pulgar” o “la regla de oro”, es una fórmula de amplio aplicación que no es necesariamente preciso, pero es muy práctico, dicha ecuación se originó del conocimiento basado en la experiencia, es decir una fórmula empírica que relacionada datos geométricos del tanque, porcentaje de llenado y un factor de corrección de temperatura.

$$C_v = (f_t * L_t * D_t) * K \quad (31)$$

Donde:

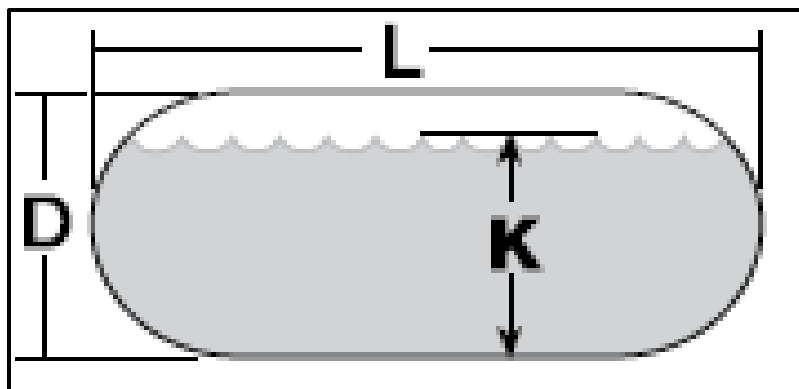
$C_v$ : capacidad de vaporización en BTU/h

$f_t$ : factor de corrección de la temperatura (tabla)

$L_t$ : longitud del tanque (pulg)

$D_t$ : diámetro del tanque en (pulg)

**Figura 30:** configuración geométrica del tanque



**Fuente** (Catalogo REGO, 2019)



#### 2.14.4 Factor de corrección de temperatura

Se considera la temperatura menor prevaeciente del medio en donde se encuentra el depósito, la tabla (8) muestra los factores de temperatura para distintas condiciones.

**Tabla 8:** factor de corrección por temperatura ( $f_t$ ).

| Temperatura ambiente<br>F° | Temperatura ambiente<br>C° | factor de corrección |
|----------------------------|----------------------------|----------------------|
| 0                          | -17.8                      | 1                    |
| 5                          | -15.0                      | 1.25                 |
| 15                         | -9.4                       | 1.5                  |
| 20                         | -6.7                       | 1.75                 |
| 25                         | -3.9                       | 2                    |
| 30                         | -1.1                       | 2.25                 |
| 35                         | 1.7                        | 2.5                  |
| 40                         | 4.4                        | 2.75                 |
| 45                         | 7.2                        | 3                    |
| 50                         | 10.0                       | 3.25                 |
| 55                         | 12.8                       | 3.5                  |
| 60                         | 15.6                       | 3.75                 |
| 65                         | 18.3                       | 4                    |
| 70                         | 21.1                       | 4.25                 |
| 75                         | 23.9                       | 4.5                  |
| 80                         | 26.7                       | 4.75                 |

Fuente:(Catalogo REGO, 2019)

#### 2.14.5 Cálculo y selección de tuberías

La correcta determinación y selección del diámetro de la tubería es de vital importancia en el diseño de un sistema GLP, ya que proporcionara la cantidad necesaria de GLP a una presión y caudal demandado por las especificaciones técnicas de cada uno de los aparatos de consumo, asegurando así el funcionamiento óptimo de los equipos de consumo

La adecuada selección de la tubería influirá directamente en el costo final del proyecto debido a que conforme aumenta el diámetro de la tubería mayor será el costo de cada uno de los elementos y accesorios necesarios para su construcción.



Para un dimensionamiento óptimo del diámetro de la tubería existen diversos métodos analíticos y experimentales, entre los principales están las ecuaciones, tablas y gráficos establecidos en normas nacionales e internacionales. Es necesario establecer ciertas consideraciones las cuales deberán ser tomadas en cuenta al momento de usar los métodos de dimensionamiento de tuberías las cuales se expondrán a continuación.

- Máxima demanda de gas
- La caída de presión desde el punto de entrega hasta el equipo de consumo
- Longitud de la tubería y número de accesorios
- Gravedad específica del gas
- Condiciones atmosféricas del lugar

La NFPA 54 proporciona una serie de tablas en las que se encuentran los valores de la longitud equivalente para accesorios y válvulas así como tablas con dimensionamiento de tubería para una gravedad específica del fluido de 0.6; cuando la gravedad específica varía dependiendo la naturaleza del fluido, existe una tabla con un factor de corrección que deberá ser utilizado, a continuación se expone métodos a seguir para el cálculo del diámetro de la tubería.

#### **2.14.5.1 Método de mayor longitud**

Para el dimensionamiento de la tubería según este método, se debe de seguir el siguiente procedimiento.

- a) Primero se determina la ubicación de cada uno de los equipos de consumo para seleccionar como longitud equivalente la distancia entre la fuente de suministro de GLP hasta el equipo de consumo más lejano, teniendo en cuenta la presencia de accesorios como codos, válvulas uniones y tees, que aumentan la longitud de la tubería por la caída de presión que generan, en los anexos se muestra la tabla con los valores de longitud equivalente, para cada uno de los accesorios



presentes en las tuberías. esta longitud será la única medida a ser utilizada en cada tramo de la instalación dependiendo de la carga de GLP de cada sección.

b) Se procederá a determinar la cantidad de GLP necesaria para el funcionamiento de los equipos de consumo de acuerdo a las especificaciones de los equipos, considerando una operación simultánea. Se debe tener en cuenta que cada tramo de la tubería tendrá un valor diferente, lo cual debe ser tomado en cuenta al momento del dimensionamiento.

c) Con estos dos valores se procederá la utilización de las tablas mostrados en el anexo 2 las cuales establecen una relación entre estos dos valores para la determinación del diámetro de la tubería que satisface esas condiciones de funcionamiento, las unidades en las que se han establecido las tablas para el dimensionamiento de la tubería serán en pies cúbicos por hora para el consumo de los equipos.

#### **2.14.5.2 Dimensionamiento mediante la ecuación de la NFPA 54**

La NFP 54 proporciona dos ecuaciones experimentales para el dimensionamiento de tuberías, una es ecuación cuadrática, para presiones de trabajo mayores a 1.5 psi y la otra es una ecuación es lineal para presiones menores de 1.5psi.

**a) Formula de gas para baja presión (menor a 1.5psi).**

$$D = \frac{Q^{0.381}}{19.17 * \frac{\Delta H^{0.206}}{C_r * L}} \quad (32)$$

**b) Formula de gas para alta presión (mayor a 1.5psi).**

$$D = \frac{Q^{0.381}}{18.93 * \left( \frac{(P_1^2 - P_2^2) * Y}{C_r * L} \right)^{0.206}} \quad (33)$$



Donde:

$D$ : diametro interior .pulg

$Q$ : Caudal,  $\text{pie}^3/\text{h}$ .

$P_1$ : presion aguas arriba, psia

$P_2$ : presion aguas abajo, psia

$L$ : longitud equivaente, pie

$\Delta H$ : caida de presion, pulg de columna de agua ( $27.7 \text{ pulg } H_2O = 1 \text{ psi}$ )

los valores de  $C_R$  Y estan dados en la tabl N°9

**Tabla 9:** los valores de  $C_R$  Y estan dados en la tabla N°9

| FACTORES $C_R, Y$ |        |        |
|-------------------|--------|--------|
| GAS               | $C_R$  | Y      |
| Gas natural       | 0.6094 | 0.9992 |
| Propano           | 1.2462 | 0.991  |

Fuente: (NFPA 54, 1996)

### 2.14.5.3 Ecuación de Renouard

Otra de las ecuaciones más usadas para el dimensionamiento de tuberías es la ecuación de Renouard, que es una expresión particular de la ecuación general para el flujo en estado estacionario donde se introduce un factor de fricción de acuerdo con los criterios particulares que terminan dándole personalidad a cada modelo.

#### a) Renouard para altas presiones ( $\geq 50 \text{ mmbar}$ ):

Es necesario mencionar que la ecuación para altas presiones tiene una aplicación universal, mientras que las de baja presión tienen un rango limitado de aplicación.

$$P_1^2 - P_2^2 = 48.600 * ds * L * \frac{Q^{1.82}}{D^{4.92}} \quad (34)$$

Para el dimensionamiento correcto se debe cumplir dos condiciones

$$\frac{Q}{D} \leq 150 \quad (35)$$



$$R = T * \frac{Q}{D} \leq 2 * 10^6 \quad ( 36 )$$

Donde:

*T: es uan constante de proporcionalidad ,para el GLP es ;72000*

*R: numero de Reynolds*

*D: diametro interior ;mm*

*Q: Caudal, m<sup>3</sup> /h.*

*P<sub>1</sub>: presion aguas arriba, kg/cm<sup>2</sup>*

*P<sub>2</sub>: presion aguas abajo, kg/cm<sup>2</sup>*

*L: longitud equivalente, m*

*ds: dencidad relativa del gas*

**b) Renouard para bajas presiones (<50mmbar)**

$$P_1 - P_2 == 212000x ds x L x \frac{Q^{1.82}}{D^{4.92}} \quad ( 37 )$$

## CAPITULO III

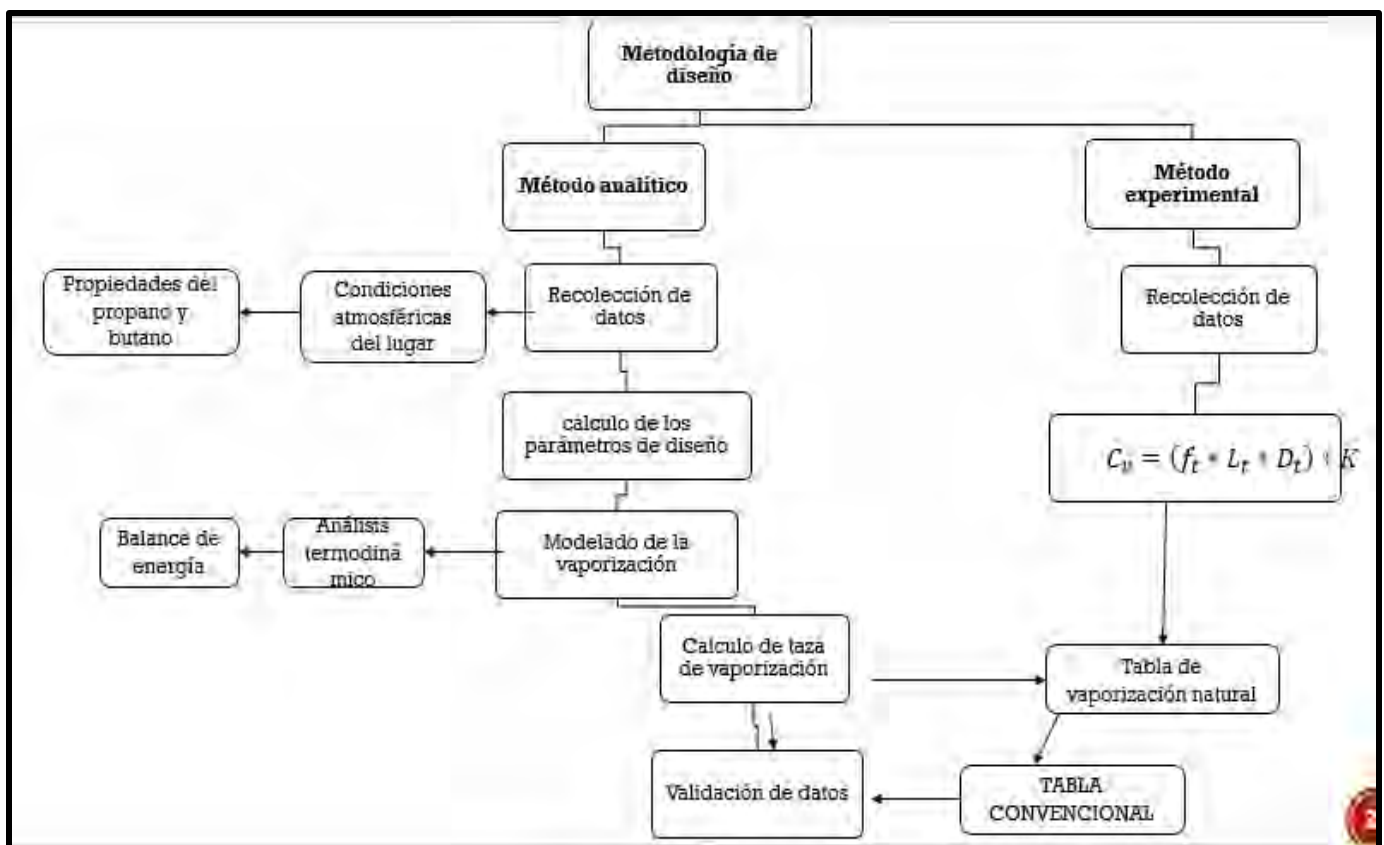
### 3. DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE ALMACENAMIENTO

En este capítulo se realiza el dimensionamiento del sistema de almacenamiento, aplicando los conceptos descritos en el capítulo II y la experiencia adquirida en los tres años trabajando en este rubro.

En este sistema se realizará dos métodos de cálculo, analítico y experimental, de los cuales se realizará una comparación de resultados y tomar el valor más real para el correcto dimensionamiento del sistema de almacenamiento. Teniendo como datos de partida las potencias de consumo, los cuales son proporcionados por la unidad minera Anglo American Quellaveco y tomando como valores reales las condiciones atmosféricas del lugar como la presión y temperatura, los cuales son un factor muy importante para el correcto dimensionamiento del sistema

#### 3.1 Metodología de diseño para dimensionamiento del sistema de almacenamiento

*Figura 31: Metodología de diseño de sistema de almacenamiento*



*Fuente: Propia*

**Tabla 10: Esquema de metodología de diseño para dimensionamiento**

| N° | PASOS  | DESARROLLO   |
|----|--|--|
| 01 | Identificación de requerimientos               | Definición de uso  |
| 02 | Identificación de parámetros de diseño         | <ul style="list-style-type: none"><li>• Condiciones atmosféricas del lugar</li><li>• Calculo del poder calorífico</li><li>• Calculo de entalpia de vaporización</li></ul>  |
| 03 | Análisis termodinámico de la geometría         | <ul style="list-style-type: none"><li>• Análisis de mecanismo de transferencia de calor</li><li>• Diagrama de transferencia de calor</li><li>• Calculo de coeficientes de transferencia de calor por conducción, convección y radiación</li><li>• Identificación de temperaturas locales</li></ul> |
| 04 | Análisis y calculo de vaporización natural     | <ul style="list-style-type: none"><li>• Datos de diseño para el dimensionamiento</li><li>• Datos geométricos de tanques estacionarios</li><li>• Parámetros termodinámicos del aire</li></ul>   |
| 05 | Dimensionamiento del sistema de almacenamiento | <ul style="list-style-type: none"><li>• Calculo de la demanda de consumo</li><li>• Calculo de transferencia de calor en geometría cilíndrica y esférica</li><li>• Calculo de caudal de consumo</li><li>• Calculo de autonomía del tanque GLP</li></ul>   |
| 06 | Diseño de sistema de vaporización forzada      | <ul style="list-style-type: none"><li>• Calculo de caudal de consumo</li><li>• Requerimiento técnico para la selección del vaporizador</li><li>• Configuración de sistema de distribución en zona de tanques</li></ul>   |
| 07 | Ubicación de los tanques GLP                   | <ul style="list-style-type: none"><li>• Criterio para la selección para la ubicación de tanques en superficie</li><li>• Descripción del área de la zona de tanques</li><li>• Cumplimiento de la normativa según la distribución de tanques</li></ul>   |

## 3.2 Calculo de los parámetros de diseño

### 3.2.1 *Calculo de temperatura de equilibrio liquido – vapor*

La temperatura de saturación líquido-vapor, o temperatura de equilibrio, depende de la composición del GLP que se está utilizando y de la presión en el interior del tanque.

Esta última, a su vez, es función del porcentaje de llenado en el que se encuentra el

tanque estacionario. Para el cálculo de la temperatura de equilibrio, se han recopilado datos del porcentaje de llenado y la presión interior del tanque, para condiciones atmosféricas semejantes a la UM. Se tomó como referencia para la toma de datos una instalación de un tanque aéreo en la ciudad de Cusco (3400 msnm), tal como se observa en la figura (32).

**Figura 32:** Vista de la lectura de la presión del tanque



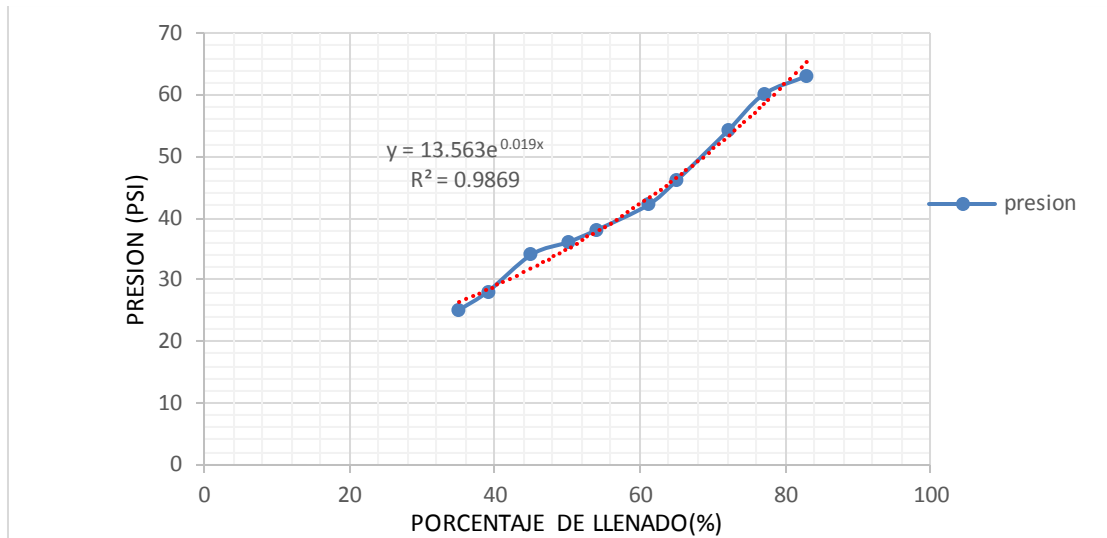
**Fuente:** Elaboración propio del autor

En la tabla (11) se presentan los datos de las lecturas realizadas a lo largo de una semana. Estos datos se utilizaron para calcular la ecuación de la línea de tendencia, que permite determinar la relación entre la presión y el porcentaje de llenado.

**Tabla 11:** Datos variación de la presión en función del % de llenado

| Nº | porcentaje de llenado % | Presión |     |
|----|-------------------------|---------|-----|
|    |                         | psi     | bar |
| 1  | 83                      | 63      | 4.3 |
| 2  | 77                      | 60      | 4.1 |
| 3  | 72                      | 54      | 3.7 |
| 4  | 65                      | 46      | 3.2 |
| 5  | 61                      | 42      | 2.9 |
| 6  | 54                      | 38      | 2.6 |
| 7  | 50                      | 36      | 2.5 |
| 8  | 45                      | 34      | 2.3 |
| 9  | 39                      | 28      | 1.9 |
| 10 | 35                      | 25      | 1.7 |

**Fuente:** Elaboración propia del autor

**Grafica 2: Variación de la presión vs porcentaje de llenado**

**Fuente: propia**

Con la ecuación exponencial, ahora podemos calcular las presiones internas correspondientes a cualquier nivel de llenado. Por ejemplo, para un llenado del 20%, obtendremos una presión de 19,8 psi. Utilizando esta presión, podemos determinar la temperatura de equilibrio en relación con la presión. Esto se aplica específicamente a una mezcla con un 60% de propano y un 40% de butano. La tabla a continuación presenta las temperaturas de equilibrio para diversos grados de llenado.

**Tabla 12: Porcentaje de llenado en función de la temperatura de equilibrio**

| GLP 60/40                 |         |     |          |
|---------------------------|---------|-----|----------|
| Porcentaje de llenado (%) | presión |     | Teq (°C) |
|                           | PSI     | BAR |          |
| 85                        | 68.2    | 4.7 | 17       |
| 80                        | 62.0    | 4.3 | 14.5     |
| 75                        | 56.4    | 3.9 | 11.6     |
| 70                        | 51.3    | 3.5 | 8.9      |
| 65                        | 46.6    | 3.2 | 6        |
| 60                        | 42.4    | 2.9 | 3.4      |
| 55                        | 38.6    | 2.7 | 1.1      |
| 50                        | 35.1    | 2.4 | -1       |
| 45                        | 31.9    | 2.2 | -3.58    |

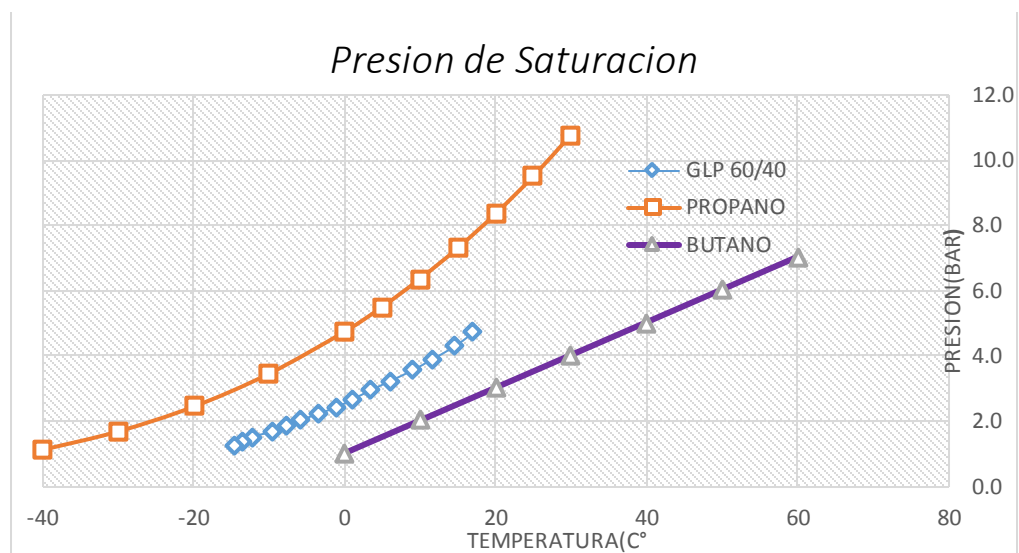


|           |             |            |              |
|-----------|-------------|------------|--------------|
| 40        | 29.0        | 2.0        | -5.9         |
| 35        | 26.4        | 1.8        | -7.8         |
| 30        | 24.0        | 1.7        | -9.6         |
| <b>25</b> | <b>21.8</b> | <b>1.5</b> | <b>-12.2</b> |
| 20        | 19.8        | 1.4        | -13.5        |
| 15        | 18.0        | 1.2        | -14.5        |

*Fuente: Elaboración propia del autor*

Podemos representar la información de la Tabla (12) en un gráfico de Psat vs Tsat para observar cómo varía el comportamiento del GLP 60/40 y compararlo con la curva de saturación del propano y butano. Los valores correspondientes al propano y butano están detallados en libros de transferencia de calor.

*Figura 33: Curva de saturación de propano, butano y GLP 60/40*



*Fuente: propia*

Para dimensionar el sistema, el cálculo se realizará considerando las condiciones mínimas a las que se puede someter el tanque. Según la normativa, el porcentaje mínimo permitido es del 20%, y el máximo es del 85% de su capacidad (NTP 321.123, 2018, pág. 126). Si observamos la Tabla (12), para un llenado del 20%, la presión correspondiente es de 19.8 psi, lo cual es inferior a la presión de servicio establecida en 20 psi. Según la normativa, la presión máxima de servicio después del regulador de la



primera etapa es de 20 psi. Por esta razón, se seleccionará un porcentaje de llenado mínimo del 25%, un valor que cumpla con la regulación establecida

**Tabla 13:** Datos de partida para dimensionamiento de sistema de almacenamiento

| Presión mínima | Porcentaje mínimo | Temperatura |
|----------------|-------------------|-------------|
| 21.8 psi       | 25%               | -12.2C°     |

*Fuente: Elaboración propia*

### 3.2.2 Cálculo del poder calorífico

Para calcular el poder calorífico de la mezcla de propano y butano, se considera un 60% de propano y un 40% de butano, conforme a las especificaciones de la NTP 321.123. Los valores del poder calorífico del propano y butano se toman como referencia a partir de los valores establecidos en la NFPA 58 (consultar anexos).

Para determinar el poder calorífico superior en BTU/h, una unidad ampliamente utilizada en la determinación del caudal de cada equipo, es necesario trabajar con las fracciones molares de propano y butano en la mezcla de GLP. Esto se realiza considerando una composición del 60% de butano y un 40% de propano. La cantidad de moles presentes en una determinada cantidad de masa de propano y butano se establece mediante la relación

$$n = \frac{m}{M} \quad (38)$$

Donde:

- n:Numero de moles
- M:cantidad de masa
- m:peso atómico

En la tabla N°14, se muestra el peso atómico de elementos constitutivos de los Hidrocarburos para la determinación del peso atómico del propano y butano.

**Tabla 14: Peso atómico de los elementos del hidrocarburo**

| ELEMENTO  | PESO ATOMICO g/mol |
|-----------|--------------------|
| Carbono   | 12                 |
| Hidrogeno | 1                  |

Fuente: (Sedo, 2010, pág. 80)

Con la ecuación (38) se calcula el número de moles, Para el propano  $C_3H_8$  con masa molar de 44g/mol y para el Butano  $C_4H_{10}$  con masa molar de 58g/mol

$$M_{propano} = 12 * 3 + 8 * 1 = 44g/mol$$

$$M_{butano} = 12 * 4 + 10 * 1 = 58g/mol$$

$$\rho = \frac{m}{V}; m = \rho * V$$

Para un volumen de 60% de propano y 40% de butano se tiene el número de moles

$$n_{propano} = \frac{60\%}{44} 504 = 6.78mol$$

$$n_{Butano} = \frac{40\%}{58} 582 = 4.013mol$$

El número de moles de la mezcla, es decir del GLP, es igual a la sumatoria de cantidad de moles de propano y butano comercial, es decir.

$$n_{GLP} = n_{Butano} + n_{propano}$$

$$n_{GLP} = 6.78 + 4.013 = 10.8mol$$

La fracción molar tanto para el propano como el butano viene dadas por las siguientes relaciones

**Para el propano  $C_3H_8$ :**

$$X_{propano} = \frac{n_{propano}}{n_{GLP}}$$

$$X_{propano} = \frac{6.78}{10.8} = 0.6277$$



Para el Butano  $C_3H_{10}$ :

$$X_{Butano} = \frac{n_{Butano}}{n_{GLP}}$$

$$X_{propano} = \frac{4.027}{10.8} = 0.3728$$

Ahora bien con los valores de las fracciones molares de propano y butano en la mezcla de GLP, Se tiene que el poder calorífico superior para la mezcla de GLP vendrá dado por la siguiente ecuación.

$$PCS_{GLP} = (X_{propano} * PCS_{propano} + X_{butano} * PCS_{butano}) \quad (39)$$

$$PCS_{GLP} = (0.6277 * 92430 + 121280 * 0.3728)$$

$$PCS_{GLP} = 103231 \text{ KJ/m}^3$$

$$PCS_{GLP} = 96801.269 \text{ BTU/m}^3$$

### 3.2.3 *Calculo de calor latente de vaporización*

En este punto, vamos a calcular el calor latente de vaporización considerando una Presión de Saturación de 21.8 psi y una temperatura de saturación de  $-12.5^\circ\text{C}$ , a la capacidad del 25%. La fórmula que se presenta a continuación es la ecuación de Watson, la cual describe la relación del calor latente de vaporización que varía según la temperatura.

$$\frac{h_{fg2}}{h_{fg1}} = \left( \frac{T_c + T_2}{T_c + T_1} \right)^{0.38} \quad (40)$$

Donde:

$h_{fg2}$ : Calor latente de vaporización a  $T_2$

$h_{fg1}$ : Calor latente de vaporización a  $T_1$

$T_c$ : temperatura crítica de la sustancia pura

$T_1$ : temperatura crítica de la sustancia pura a condición 1

$T_2$ : temperatura crítica de la sustancia pura a condición 2



En nuestro caso, vamos a calcular el calor latente de vaporización a la temperatura de equilibrio líquido-vapor, tomando como referencia el calor latente de vaporización a la temperatura de ebullición del propano y butano comerciales.

Donde:

$$h_{fg2} = \left( \frac{T_c + T_2}{T_c + T_1} \right)^{0.38} * h_{fg1} \quad (41)$$

**\*Calor latente de vaporización para el propano**

$h_{fg2}$ : Calor latente de vaporización a  $T_2$

$h_{fg1}$ : Calor latente de vaporización a  $(-42C^\circ)$ ;  $428\text{kJ/kg}$

$T_c$ : temperatura crítica del butano:  $369.95\text{k}(96.8C^\circ)$

$T_1$ : temperatura de la sustancia pura a condición :  $231.15\text{k}(-42C^\circ)$

$T_2$ : temperatura de la sustancia pura a condición  $260.96\text{k}(-12.2C^\circ)$

$$h_{fg2} = \left( \frac{T_c + T_2}{T_c + T_1} \right)^{0.38} * h_{fg1} \quad (42)$$

$$h_{fg2(\text{propano})} = \left( \frac{369.95 - 260.95}{369.95 - 231.15} \right)^{0.38} * 428$$

$$h_{fg2(\text{propano})} = 390.44\text{kJ/kg}$$

**\*Calor latente de vaporización para el butano**

$h_{fg2}$ : Calor latente de vaporización a  $T_2 = -12.2C^\circ$

$h_{fg1}$ : Calor latente de vaporización a  $(-1C^\circ)$ ;  $388\text{kJ/kg}$

$T_c$ : temperatura crítica del butano:  $425.15\text{k}(152C^\circ)$

$T_1$ : temperatura crítica de la sustancia pura a condición :  $272.15\text{k}(-1C^\circ)$

$T_2$ : temperatura crítica de la sustancia pura a condición :  $260.95\text{k}(-12.2C^\circ)$

$$h_{fg2(\text{butano})} = \left( \frac{425.15 - 260.95}{425.15 - 272.15} \right)^{0.38} * 388$$

$$h_{fg2} = 398.55\text{Kj/kg}$$



Para calcular el calor latente de la mezcla de GLP usaremos las fracciones molares, en la siguiente tabla se muestran los valores.

**Tabla 15:** Valores del calor latente de vaporización para una temperatura de (-12.2C°)

| Propiedades                          | PROPANO | BUTANO |
|--------------------------------------|---------|--------|
| Calor latente de vaporización(kJ/kg) | 390.44  | 398.55 |
| Fracción molar                       | 0.6277  | 0.3728 |

*Fuente: Elaboración propia del autor*

$$h_{fGLP} = (X_{propano} * h_{fpropano} + X_{butano} * h_{fButano})$$

$$h_{fGLP} = 0.6277 * 390.44 + 0.3728 * 398.55$$

$$h_{fGLP} = 393.04 \text{ kJ/kg}$$

### 3.3 Análisis y Modelado de la Vaporización Natural en Tanques de GLP

Para el cálculo de la vaporización natural del tanque se realizará un balance de energía considerando como volumen de control el tanque de GLP, la cantidad de calor necesario para cambiar de fase líquida a gas, es cedido por el mismo líquido con el principio de calor latente de vaporización ( $h_{fg}$ ) tal como se muestra en la ecuación (30) del capítulo II.

El calor que se transfiere del aire al GLP líquido, se determina mediante el análisis de transferencia de calor por los tres principios, conducción, convección y radiación unidimensional en estado estable en sistemas radiales, donde se considera el tanque tipo salchicha compuesto por un cilindro y una esfera. Para realizar el estudio de la transferencia de calor es necesario tomar algunas consideraciones que faciliten el desarrollo del modelo.

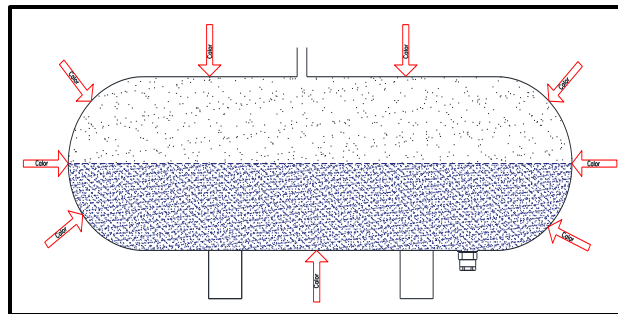
- La temperatura del GLP líquido es igual a la temperatura de la superficie interior del tanque, por lo que la transferencia de calor por convección es despreciable.
- Condiciones de estado estable, se determina para un punto específico a condiciones de porcentaje de llenado del tanque y presión interna determinada.



### 3.3.1 Diagrama de transferencia de calor en el cilindro

Para realizar un análisis a detalle, el tanque de almacenamiento se dividirá en dos partes, cilíndrico y esférico. El mecanismo de transferencia de calor para estas dos geometrías ya fue estudiado en el capítulo N° II. En este punto se determinará las condiciones de frontera y los parámetros de diseño en base a las condiciones atmosféricas del lugar. En la figura N°34 se puede observar la transferencia de calor para una geometría cilíndrica al 25% de su capacidad

**Figura 34:** Geometría analizada para la transferencia de calor.

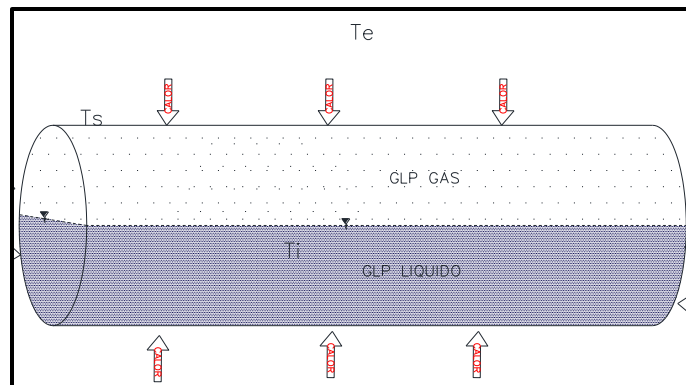


*Fuente: propia*

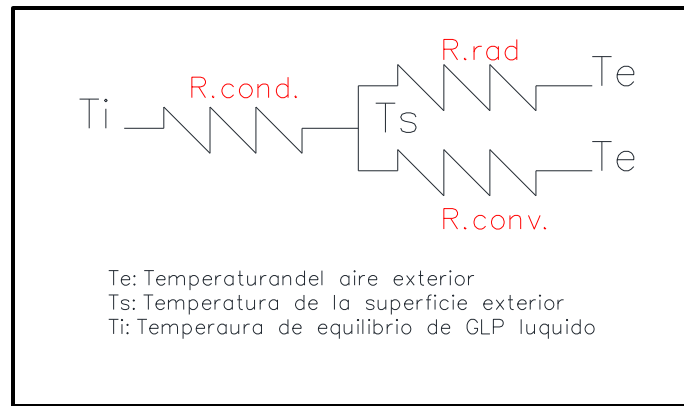
### 3.3.2 Análisis de Transferencia de calor para geometría cilíndrico

La transferencia de calor en una geometría cilíndrica está dado por las ecuaciones (48), las cuales están en función de parámetros geométricos y condiciones atmosféricas. En la figura (35) se puede observar el diagrama de transferencia de calor.

**Figura 35:** Diagrama de transferencia de calor en la parte cilíndrica



*Fuente: propia*



*Fuente: propia*

$$Q_c = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{\frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2 * \pi * k * L} + \frac{1}{2 * \pi * r_2 * (h_2 + h_0)} + \frac{1}{2 * \pi * r_1 * (h_1)}} \quad (43)$$

Donde

$T_{\infty 1}$ : temperatura del GLP dentro del cilindro

$T_{\infty 2}$ : Temperatura del medio ambiente

$k$ : conductividad termica del material (acero)

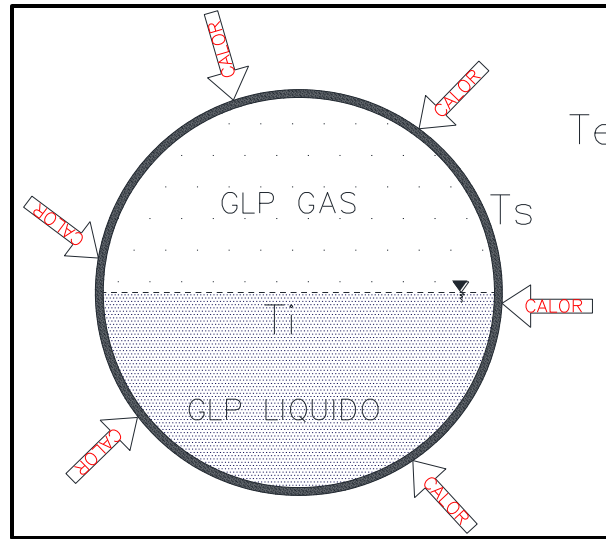
$h_2$ : coeficiente de transferencia de calor por conveccion

$h_0$ : coeficiente de transferencia de calor por radiacion

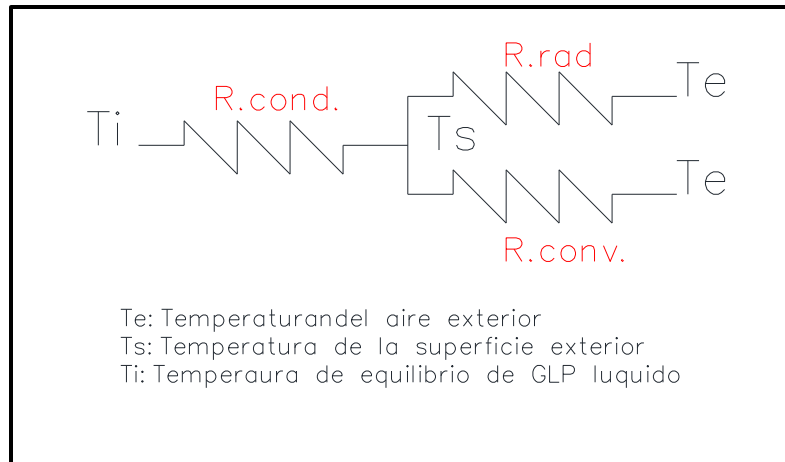
### 3.3.3 Diagrama de transferencia de calor en una esfera

La transferencia de calor en una geometría esférica está dada por la ecuación (44), las cuales están en función de parámetros geométricos y condiciones atmosféricas. En este análisis la transferencia de calor por convección en la pared interna del cilindro es cero, en la figura (36) se puede observar el diagrama de transferencia de calor.

**Figura 36:** diagrama de transferencia de calor para geometría esférica



Fuente: elaboración propia del autor



$$Q_E = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{\frac{(r_2 - r_1)}{4 * \pi * r_2 * r_1 * k} + \frac{1}{4 * \pi * r_2^2 * (h_2)} + \frac{1}{4 * \pi * r_1^2 * (h_1)}} \quad (44)$$

### 3.3.4 Cálculo del Coeficiente de convección en un cilindro.

Para el cálculo del coeficiente de transferencia por convección en el cilindro se utilizará la correlación empírica para flujo externo en cilindro. Ecuación de HILPERT, lo cual relaciona el número de nusselt con las condiciones atmosféricas del lugar y la geometría de la superficie. (Cengel Y. A., 2010)

$$Nu_D = \frac{h_2 * D}{K} = C * Re^m * Pr^{\frac{1}{3}} \quad (45)$$

DONDE:



$Nu_D =$  Numero de nusselt

$h_2 =$  coeficiente de conveccion del aire en la parte cilindrica

$Re:$  Numero de reinold del aire

$C, m:$  constantes en funcion del numero de reinold

### 3.3.5 La temperatura de la pared

La temperatura de la pared del tanque se considera que es igual al promedio de la temperatura del aire y la temperatura de equilibrio en el interior del tanque. (Cengel Y. A., 2010)

$$T_s = \frac{T_{\infty 1} + T_{\infty 2}}{2} \quad (46)$$

### 3.3.6 Temperatura de película

Se considera que es el promedio de la temperatura de la pared del tanque y la temperatura del aire. (Cengel Y. A., 2010)

$$T_{pelicula} = \frac{T_{\infty 1} + T_s}{2} \quad (47)$$

Para el cálculo del número de Reynolds todas las propiedades del aire se determinan a la temperatura de película

$$Re_D = \frac{\rho * V * D}{\mu} \quad (48)$$

Donde:

$Re_D:$  numero de Reynold

$\rho:$  dencidad del aire a temperatura de pelicula

$V:$  velocidad del aire en el lugar

$\mu:$  viscosidad dinamica del aire .

$v:$  Viscosidad cinematica del aire



### 3.4 Cálculo de la vaporización natural para tanque de 1000 galones

#### 3.4.1 Parámetros atmosféricos locales

El diseño se realizó en base a las condiciones atmosféricas del lugar, en la tabla (16) se muestra los parámetros atmosféricos.

**Tabla 16:** Parámetros atmosféricos

| característica                        | Valor |
|---------------------------------------|-------|
| Altitud(msnm)                         | 3400  |
| Presión atmosférica(KPa)              | 66.63 |
| Velocidad del viento(m/s)             | 3     |
| Temperatura mínima(C°)                | 5     |
| Densidad del aire(kg/m <sup>3</sup> ) | 0.872 |

*Fuente:*(Cengel Y. A., 2010)

#### 3.4.2 Datos geométricos de los tanques analizados

Para cuestiones de análisis y dimensionamiento correcto del sistema de almacenamiento se calculara la tasa de vaporización para tanques de 1000, 2000 5000 y 10 000 galones

**Tabla 17:** Parámetros geométricos de los tanques analizados

| Características geométricas del tanque |       |       |        |        |
|--|-------|-------|--------|--------|
| parámetros                             | 1000  | 2000  | 5000   | 10000  |
| Diámetro exterior $d_2$ (m)            | 1.04  | 1.18  | 2.14   | 2.26   |
| Diámetro interior; $d_1$ (m)           | 1.008 | 1.148 | 2.108  | 2.228  |
| Espesor de la plancha ; e(mm)          | 16    | 16    | 16     | 16     |
| Conductividad térmica ;K(W/m. k°)      | 61    | 61    | 61     | 61     |
| Emisividad de superficie blanca; E     | 0.93  | 0.93  | 0.93   | 0.93   |
| Constante de bolsman                   | 5.67* | 5.67* | 5.67*1 | 5.67*1 |

*Fuente:*(elaboración propia del autor)

#### 3.4.3 Temperaturas locales para determinación de coeficiente de convección

Para el cálculo del coeficiente de convección se necesita ciertas temperaturas locales como son temperatura de película (TP), temperatura de superficie exterior (Tos) y temperatura del aire  $T_{\infty 1}$ , en la tabla (18) se describen los valores de la temperatura



de película, los cuales están en función de la temperatura de la superficie exterior ( $T_s$ ) y la temperatura del aire ( $T_{\infty 1}$ ).

**Tabla 18: Propiedades termodinámicas del aire**

| Condición          | T(C°)        | T(K°)        | (kg/m <sup>3</sup> ) | K              | viscosidad   | Pr            |
|--------------------|--------------|--------------|----------------------|----------------|--------------|---------------|
| Temp. GLP          | -12.2        | 273.15       | 1.394                | 0.02211        | 1.63         | 0.7408        |
| Temp. Aire         | 5            | 278.15       | 1.292                | 0.02364        | 1.729        | 0.7362        |
| Temp. Super        | -3.55        | 269.6        | 1.246                | 0.02439        | 1.778        | 0.7336        |
| <b>Temp. Pelic</b> | <b>-2.75</b> | <b>270.4</b> | <b>0.872</b>         | <b>0.02364</b> | <b>1.729</b> | <b>0.7362</b> |

Fuente:(Cengel Y. A., 2010)

### 3.4.4 Cálculo de transferencia de calor en cilindro:

#### 3.4.4.1 Cálculo de coeficiente de transferencia de calor por convección en un cilindro

Considerando los valores de las propiedades del aire en la tabla (18), con la ecuación (48), se determina el número de Reynolds, para una temperatura de película de  $-2.75C^{\circ}$

$$Re_D = \frac{0.872 \text{kg/m}^3 * 3 \text{m/s} * 1.04 \text{m}}{1.729 * 10^{-5}} = 209804.511$$

Con este valor de número de Reynolds se procederá determinar las constantes C y m que son 0.0027 y 0.805 respectivamente. De la ecuación (45) se despeja el coeficiente de convección del aire  $h_2$

$$h_2 = \frac{K * C * Re^m * Pr^{1/3}}{d^2}$$

$$h_2 = \frac{0.02364 * 209804.511^{0.805} * 0.027 * 0.7362^{1/3}}{1.754 * 10^{-5}} = 10.65 \text{w/m}^2 \text{k}$$

#### 3.4.4.2 Calculo de coeficiente de transferencia de calor por radiación en un cilindro

De la misma forma se calculará el coeficiente de transferencia por radiación, con la temperatura de la superficie exterior y la temperatura de equilibrio del GLP, para una presión de servicio mínimo (21.7psi)

$$h_0 = \varepsilon * \sigma (T_s + T_{\infty 1})(T_s^2 + T_{\infty 1}^2) \quad (49)$$

Donde:



$\varepsilon$ : Emisividad, para pintura blanca en base de zinc .  $\varepsilon = 0.93$

$\sigma$ : Constante Stefan Boltzman ( $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ k}^{-8}$ )

Reemplazando los valores correspondientes en la ecuación (49) se tiene

$$h_0 = 0.93 * 5.67 \times 10^{-8} (269.6 + 278.15)(269.6^2 + 278.15^2)$$

$$h_0 = 4.33 \text{ W/m}^2 \text{ k}$$

Una vez hallado los coeficientes de transferencia de calor, se procede a reemplazar los valores respectivos en la ecuación (43), para determinar la transferencia de calor en la parte cilíndrica. Los datos geométricos están en la tabla (17)

$$Q_c = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{\frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2 * \pi * k * L} + \frac{1}{2 * \pi * r_2 * (h_2 + h_0)} + \frac{1}{2 * \pi * r_1 * (h_1)}}$$

$$Q_c = \frac{278.15 - 261.05}{2.118 * 10^{-5} + 0.005302}$$

$$Q_c = 3211.84 \text{ w}$$

Datos:

$r_1$ : Radio interno de la esfera. (0.501m).

$r_2$ : Radio externo del cilindro. (0.520m).

$L$ : longitud del tanque, parte cilíndrica (3.85)

$h_2$ : coeficiente de transferencia de calor por convección ( $10.65 \text{ W/m}^2 \text{ K}^\circ$ )

$h_0$ : coeficiente de transferencia de calor por radiación ( $4.54 \text{ W/m}^2 \text{ K}^\circ$ )

$K$ : conductividad termica de la chapa metalica ASTM A516 grado 70 ( $52 \text{ W/mk}^\circ$ )

### 3.4.5 Cálculo de transferencia de calor en una esfera:

#### 3.4.5.1 Cálculo de coeficiente de transferencia de calor por convección

Para calcular el coeficiente de convección en una esfera se usara la siguiente expresión que está definido para una geometría esférica



$$Nu_D = \frac{h_E * D}{K}$$

$$Nu_D = 430 + 5 * 10^{-3} * Re_D^2 + 0.25 * 10^{-9} * Re_D^2 - 3.1 * 10^{-17} * Re_D^3$$

$$Nu_D = 430 + 5 * 10^{-3} * 376214.367^2 + 0.25 * 10^{-9} * 376214.367^2 - 3.1 * 10^{-17} * 376214.367^3$$

$$Nu_D = 1489.75$$

Reemplazando este valor en la ecuación (10) se puede calcular el coeficiente de transferencia de calor por convección y radiación en la parte esférica.

$$Nu_D = \frac{h_2 * D}{K} ; h_2 = Nu_D * K/D$$

$$h_{2E} = \frac{2348.047 * 002455}{1.04}$$

$$h_{2E} = 33.8629 W/m^2 K^\circ$$

$$h_{0E} = 4.334 W/m^2 k$$

Una vez hallado los coeficientes de transferencia de calor, se procede a reemplazar los valores respectivos en la ecuación (44), para determinar la transferencia de calor en la parte esférica.

$$Q_E = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{\frac{(r_2 - r_1)}{4 * \pi * r_2 * r_1 * k} + \frac{1}{4 * \pi * r_2^2 * (h_2 + h_0)} + \frac{1}{4 * \pi * r_1^2 * (h_1)}}$$

$$Q_E = \frac{278.15 - 261.05}{\frac{(0.52 - 0.504)}{4 * \pi * 0.52 * 0.504 * 61} + \frac{1}{4 * \pi * 0.52^2 * (33.8 + 4)}} = 2196.72 w$$

Por lo tanto la transferencia de calor total en una geometría de un tanque de almacenamiento es la suma de la parte cilíndrica y esférica tal como se indica en la ecuación (31)

$$Q_2 = (Q_C + Q_E) = 5408.57 w$$

Para determinar el flujo másico de vaporización se calcula con la ecuación (36) que está en función del calor latente de vaporización a la temperatura de equilibrio para un porcentaje de llenado del 25%, dicho valor fue calculado anteriormente.



$$Q_1 = P (Q_C + Q_E) = m^\circ * h_{fg}$$

$$m^\circ = P (Q_C + Q_E) / h_{fGLP}$$

$$m^\circ = 0.37 * 5408.57 / 393.44$$

$$m^\circ = 18.32 \text{ kg/h}$$

Para el cálculo de la vaporización natural en otras condiciones, otros valores de porcentaje de llenado, condiciones ambientales y composición de GLP diferentes, es necesario tener en cuenta las variables que cambiarán en función de estas condiciones, por ejemplo, en el caso de aumentar el porcentaje de llenado, la presión y la temperatura de equilibrio en el interior del tanque también aumentarán.

### 3.4.6 Tabla de vaporización para tanque de 1000 galones - analítico

En la tabla siguiente, se calculó analíticamente para diversas condiciones de temperatura local y distintos porcentajes de llenado. En este caso, en el campamento Salveani, se ha tenido en cuenta una temperatura crítica del entorno de 5°C. Esta tabla puede calcularse para tanques de cualquier tamaño; lo único que varía son las condiciones geométricas del tanque y las condiciones atmosféricas del lugar. Para este diseño, se consideraron tanques con capacidades de 1000, 2000, 5000 y 10000 galones.

**Tabla 19:** Caudal de vaporización para tanque de 1000 galones

| CAUDAL DE VAPORIZACION PARA TANQUE DE 1000 GALONES |                      |                   |              |                   |              |                   |              |                   |
|--|----------------------|-------------------|--------------|-------------------|--------------|-------------------|--------------|-------------------|
| PORCENTAJE DE LLENADO                              | TEMPERATURA AMBIENTE |                   |              |                   |              |                   |              |                   |
|  | 5C°                  |                   | 10C°         |                   | 15C°         |                   | 20C°         |                   |
|  | Kg/h                 | Btu/h             | Kg/h         | Btu/h             | Kg/h         | Btu/h             | Kg/h         | Btu/h             |
| 10%  | 12.88                | 745459.21         | 16.17        | 935894.09         | 19.86        | 1149335.81        | 23.54        | 1362235.80        |
| <b>25%</b>   | <b>18.33</b>         | <b>1060845.80</b> | <b>23.01</b> | <b>1331849.29</b> | <b>28.26</b> | <b>1635593.26</b> | <b>33.49</b> | <b>1938566.33</b> |
| 30%  | 19.82                | 1146860.32        | 24.88        | 1439837.07        | 30.55        | 1768208.93        | 36.21        | 2095747.38        |
| 40%  | 22.29                | 1290217.86        | 27.99        | 1619816.70        | 34.37        | 1989235.05        | 40.74        | 2357715.81        |
| 50%  | 27.25                | 1576932.94        | 34.21        | 1979775.97        | 42.01        | 2431287.28        | 49.79        | 2881652.65        |
| 60%  | 32.20                | 1863648.02        | 40.43        | 2339735.23        | 49.65        | 2873339.52        | 58.84        | 3405589.50        |
| 70%  | 37.15                | 2150363.10        | 46.65        | 2699694.50        | 57.28        | 3315391.75        | 67.89        | 3929526.35        |
| 80%  | 42.11                | 2437078.18        | 52.86        | 3059653.77        | 64.92        | 3757443.99        | 76.95        | 4453463.19        |

*Fuente: Elaboración propia del autor*



### 3.4.7 *Calculo de la vaporización natural - experimental*

En la tabla siguiente, se ha calculado el caudal de vaporización para distintas temperaturas, utilizando como referencia las ecuaciones experimentales detalladas en el capítulo II.

**Tabla 20:** *Vaporización natural - método experimental*

| CAUDAL DE VAPORIZACION PARA TANQUE DE 1000GALONES |              |                      |                   |              |                   |              |                   |              |                   |
|---|--------------|----------------------|-------------------|--------------|-------------------|--------------|-------------------|--------------|-------------------|
| porcentaje de llenado                             | k            | TEMPERATURA AMBIENTE |                   |              |                   |              |                   |              |                   |
|   |              | 5C°                  |                   | 10C°         |                   | 15C°         |                   | 20C°         |                   |
|   |              | Kg/h                 | Btu/h             | Kg/h         | Btu/h             | Kg/h         | Btu/h             | Kg/h         | Btu/h             |
| 10%   | 45.00        | 17.07                | 984115.18         | 20.17        | 1163045.21        | 23.27        | 1341975.25        | 26.38        | 1520905.28        |
| <b>25%</b>  | <b>60.00</b> | <b>26.89</b>         | <b>1550726.95</b> | <b>26.89</b> | <b>1550726.95</b> | <b>31.03</b> | <b>1789300.33</b> | <b>35.17</b> | <b>2027873.71</b> |
| 30%   | 70.00        | 26.55                | 1530845.84        | 31.38        | 1809181.44        | 36.20        | 2087517.05        | 41.03        | 2365852.66        |
| 40%   | 80.00        | 30.34                | 1749538.10        | 35.86        | 2067635.94        | 41.37        | 2385733.77        | 46.89        | 2703831.61        |
| 50%   | 90.00        | 34.13                | 1968230.36        | 40.34        | 2326090.43        | 46.55        | 2683950.49        | 52.75        | 3041810.56        |
| 60%   | 100.00       | 37.93                | 2186922.62        | 44.82        | 2584544.92        | 51.72        | 2982167.21        | 58.61        | 3379789.51        |

*Fuente: propia*

### 3.4.8 *Tabla de vaporización natural para tanque de 2000 galones*

Siguiendo el mismo procedimiento, se calcula la tabla de vaporización para 2000 galones tanto experimental y analítico.

**Tabla 21:** *Vaporización natural para tanque de 2000 galones - método analítico*

| CAUDAL DE VAPORIZACION PARA TANQUE DE 2000GALONES |   |                      |            |       |            |       |            |        |            |
|---|---|----------------------|------------|-------|------------|-------|------------|--------|------------|
| porcentaje de llenado                             | k | TEMPERATURA AMBIENTE |            |       |            |       |            |        |            |
|   |   | 5C°                  |            | 10C°  |            | 15C°  |            | 20C°   |            |
|   |   | Kg/h                 | Btu/h      | Kg/h  | Btu/h      | Kg/h  | Btu/h      | Kg/h   | Btu/h      |
| 10%   |   | 17.00                | 983620.61  | 21.34 | 1234971.32 | 26.21 | 1516729.30 | 31.06  | 1797824.55 |
| 20%   |   | 24.19                | 1399767.79 | 30.37 | 1757459.19 | 37.29 | 2158422.47 | 44.20  | 2558442.63 |
| 30%   |   | 26.15                | 1513262.47 | 32.83 | 1899955.88 | 40.32 | 2333429.70 | 47.79  | 2765883.92 |
| 40%   |   | 29.41                | 1702420.28 | 36.93 | 2137450.36 | 45.36 | 2625108.41 | 53.76  | 3111619.41 |
| 50%   |   | 35.95                | 2080735.90 | 45.14 | 2612439.33 | 55.44 | 3208465.83 | 65.71  | 3803090.39 |
| 60%   |   | 42.49                | 2459051.52 | 53.34 | 3087428.30 | 65.52 | 3791823.26 | 77.66  | 4494561.37 |
| 70%   |   | 49.02                | 2837367.13 | 61.55 | 3562417.27 | 75.59 | 4375180.68 | 89.60  | 5186032.35 |
| 80%   |   | 55.56                | 3215682.75 | 69.76 | 4037406.24 | 85.67 | 4958538.10 | 101.55 | 5877503.33 |

*Fuente: propia*

**Tabla 22:** Vaporización para tanque de 2000 galones - método experimental

| CAUDAL DE VAPORIZACION PARA TANQUE DE 2000GALONES |        |                      |            |        |            |       |            |       |            |
|---|--------|----------------------|------------|--------|------------|-------|------------|-------|------------|
| porcentaje de llenado                             | k      | TEMPERATURA AMBIENTE |            |        |            |       |            |       |            |
|   |        | 5C°                  |            | 10C°   |            | 15C°  |            | 20C°  |            |
|   |        | Kg/h                 | Btu/h      | Kg/h   | Btu/h      | Kg/h  | Btu/h      | Kg/h  | Btu/h      |
| 10%   | 45.00  | 23.16                | 1335401.30 | 27.37  | 1578201.53 | 31.58 | 1821001.77 | 35.79 | 2063802.00 |
| 25%   | 60.00  | 30.88                | 1780535.06 | 74.48  | 4294860.19 | 42.11 | 2428002.36 | 47.72 | 2751736.00 |
| 30%   | 70.00  | 36.02                | 2077290.90 | 86.90  | 5010670.22 | 49.12 | 2832669.42 | 55.67 | 3210358.67 |
| 40%   | 80.00  | 41.17                | 2374046.75 | 99.31  | 5726480.25 | 56.14 | 3237336.47 | 63.63 | 3668981.34 |
| 50%   | 90.00  | 46.32                | 2670802.59 | 111.72 | 6442290.28 | 63.16 | 3642003.53 | 71.58 | 4127604.01 |
| 60%   | 100.00 | 51.46                | 2967558.44 | 124.14 | 7158100.32 | 70.18 | 4046670.59 | 79.53 | 4586226.67 |

*Fuente: propia***3.4.9 Tabla de vaporización natural para tanque de 5000 galones****Tabla 23:** Vaporización para tanque de 5000 galones método analítico

| CAUDAL DE VAPORIZACION PARA TANQUE DE 5000GALONES |        |                      |        |            |        |             |        |             |  |
|---|--------|----------------------|--------|------------|--------|-------------|--------|-------------|--|
| PORCENTAJE DE LLENADO                             |        | TEMPERATURA AMBIENTE |        |            |        |             |        |             |  |
| DE  |        | 5C°                  |        | 10C°       |        | 15C°        |        | 20C°        |  |
|   | Kg/h   | Btu/h                | Kg/h   | Btu/h      | Kg/h   | Btu/h       | Kg/h   | Btu/h       |  |
| 10%   | 36.09  | 2088937.03           | 45.23  | 2617803.62 | 55.45  | 3209368.15  | 65.61  | 3797233.27  |  |
| 20%   | 51.36  | 2972718.09           | 64.37  | 3725335.92 | 78.91  | 4567177.75  | 93.37  | 5403755.03  |  |
| 30%   | 55.53  | 3213749.28           | 69.59  | 4027390.18 | 85.31  | 4937489.46  | 100.94 | 5841897.33  |  |
| 40%   | 62.47  | 3615467.94           | 78.28  | 4530813.95 | 95.97  | 5554675.64  | 113.55 | 6572134.50  |  |
| 50%   | 76.35  | 4418905.27           | 95.68  | 5537661.50 | 117.30 | 6789048.01  | 138.79 | 8032608.83  |  |
| 60%   | 90.23  | 5222342.59           | 113.08 | 6544509.04 | 138.63 | 8023420.38  | 164.02 | 9493083.17  |  |
| 70%   | 104.11 | 6025779.91           | 130.47 | 7551356.59 | 159.96 | 9257792.74  | 189.26 | 10953557.50 |  |
| 80%   | 118.00 | 6829217.23           | 147.87 | 8558204.13 | 181.28 | 10492165.11 | 214.49 | 12414031.84 |  |

*Fuente: propia***Tabla 24:** Tabla de vaporización para tanque de 5000 galones método experimental

| CAUDAL DE VAPORIZACION PARA TANQUE DE 5000GALONES |        |                      |            |        |            |        |            |        |            |
|---|--------|----------------------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|------------|
| PORCENTAJE DE LLENADO                             |        | TEMPERATURA AMBIENTE |            |        |            |        |            |        |            |
| DE  |        | 5C°                  |            | 10C°   |            | 15C°   |            | 20C°   |            |
|   | k      | Kg/h                 | Btu/h      | Kg/h   | Btu/h      | Kg/h   | Btu/h      | Kg/h   | Btu/h      |
| 10%   | 45.00  | 47.27                | 2725584.35 | 55.86  | 3221145.14 | 64.46  | 3716705.93 | 73.05  | 4212266.72 |
| 20%   | 60.00  | 63.02                | 3634112.47 | 74.48  | 4294860.19 | 85.94  | 4955607.91 | 97.40  | 5616355.63 |
| 30%   | 70.00  | 73.53                | 4239797.88 | 86.90  | 5010670.22 | 100.26 | 5781542.56 | 113.63 | 6552414.90 |
| 40%   | 80.00  | 84.03                | 4845483.29 | 99.31  | 5726480.25 | 114.59 | 6607477.21 | 129.87 | 7488474.18 |
| 50%   | 90.00  | 94.53                | 5451168.70 | 111.72 | 6442290.28 | 128.91 | 7433411.87 | 146.10 | 8424533.45 |
| 60%   | 100.00 | 105.04               | 6056854.11 | 124.14 | 7158100.32 | 143.23 | 8259346.52 | 162.33 | 9360592.72 |

*Fuente: propia*



### 3.4.10 Tabla de vaporización natural para tanque de 10000 galones

**Tabla 25:** Tabla de vaporización para tanque de 10 000 galones método analítico

| CAUDAL DE VAPORIZACION PARA TANQUE DE 10 000GALONES |                      |             |        |             |        |             |        |             |  |
|---|----------------------|-------------|--------|-------------|--------|-------------|--------|-------------|--|
| porcentaje de llenado                               | TEMPERATURA AMBIENTE |             |        |             |        |             |        |             |  |
|   | 5C°                  |             | 10C°   |             | 15C°   |             | 20C°   |             |  |
|   | Kg/h                 | Btu/h       | Kg/h   | Btu/h       | Kg/h   | Btu/h       | Kg/h   | Btu/h       |  |
| 10%   | 56.49                | 3269239.49  | 70.92  | 4104494.80  | 87.09  | 5040645.58  | 103.23 | 5974594.65  |  |
| 25%   | 80.38                | 4652379.28  | 100.92 | 5841011.83  | 123.94 | 7173226.40  | 146.90 | 8502307.77  |  |
| 30%   | 86.90                | 5029599.22  | 109.10 | 6314607.39  | 133.99 | 7754839.35  | 158.81 | 9191684.08  |  |
| 40%   | 97.76                | 5658299.12  | 122.74 | 7103933.31  | 150.74 | 8724194.27  | 178.67 | 10340644.59 |  |
| 50%   | 119.49               | 6915698.93  | 150.02 | 8682585.16  | 184.23 | 10662904.11 | 218.37 | 12638565.60 |  |
| 60%   | 141.22               | 8173098.74  | 177.29 | 10261237.00 | 217.73 | 12601613.95 | 258.07 | 14936486.62 |  |
| 70%   | 162.94               | 9430498.54  | 204.57 | 11839888.85 | 251.23 | 14540323.79 | 297.78 | 17234407.64 |  |
| 80%   | 184.67               | 10687898.35 | 231.85 | 13418540.70 | 284.73 | 16479033.63 | 337.48 | 19532328.66 |  |

*Fuente: propia*

**Tabla 26:** Tabla de vaporización para tanque de 10 000 galones método experimental

| CAUDAL DE VAPORIZACION PARA TANQUE DE 10000GALONES |                      |        |             |        |             |        |             |        |             |
|--|----------------------|--------|-------------|--------|-------------|--------|-------------|--------|-------------|
| porcentaje de llenado                              | TEMPERATURA AMBIENTE |        |             |        |             |        |             |        |             |
|  | k                    | 5C°    |             | 10C°   |             | 15C°   |             | 20C°   |             |
|  |                      | Kg/h   | Btu/h       | Kg/h   | Btu/h       | Kg/h   | Btu/h       | Kg/h   | Btu/h       |
| 10%  | 45.00                | 85.40  | 4924527.25  | 100.93 | 5819895.84  | 116.46 | 6715264.43  | 131.98 | 7610633.02  |
| 20%  | 60.00                | 113.87 | 6566036.33  | 134.57 | 7759861.12  | 155.28 | 8953685.91  | 175.98 | 10147510.70 |
| 30%  | 70.00                | 132.85 | 7660375.72  | 157.00 | 9053171.31  | 181.16 | 10445966.89 | 205.31 | 11838762.48 |
| 40%  | 80.00                | 151.83 | 8754715.11  | 179.43 | 10346481.49 | 207.03 | 11938247.88 | 234.64 | 13530014.26 |
| 50%  | 90.00                | 170.80 | 9849054.50  | 201.86 | 11639791.68 | 232.91 | 13430528.86 | 263.97 | 15221266.04 |
| 60%  | 100.00               | 189.78 | 10943393.89 | 224.29 | 12933101.87 | 258.79 | 14922809.85 | 293.30 | 16912517.83 |

*Fuente: propia*

## 3.5 Dimensionamiento del sistema de almacenamiento

### 3.5.1 Demanda total de los equipos de consumo

Según el alcance de datos proporcionado por la UM, el sistema de tanques y redes de distribución suministrará GLP a 25 puntos de consumo distribuidos en 4 áreas, como se indica en los planos de distribución proporcionados por la UM. Verificar en el plano N° 04.



- Cocina caliente (abatidores.)
- Repostería.
- Zona de calderas.
- Cocina caliente (regeneración)

Cada lugar estratégico cuenta con diversos equipos que necesitan suministro y están diseñados para operar con un caudal específico de GLP y a una presión determinada. Los datos de diseño se obtienen de la placa de cada equipo, ya sea en volumen (gal/m) o en energía por unidad de tiempo (BTU/H), como se muestra en la tabla (27). El sistema de almacenamiento debe dimensionarse para una capacidad de 9, 819,000 BTU/H.

**Tabla 27:** Datos técnicos de los equipos de consumo

| ITEM                 | CANT. | EQUIPO                                   | BTU/H            |
|----------------------|-------|--|------------------|
| 1                    | 8     | Horno combinado de 40 bandejas (gas)     | 328,000          |
| 2                    | 1     | Horno combinado de 20 bandejas (gas)     | 143,000          |
| 3                    | 3     | Formillón a gas de 02 quemadores fi-2    | 136,000          |
| 4                    | 2     | Marmita estacionaria de 300 litros (gas) | 190,000          |
| 5                    | 2     | Horno a convección rotativo              | 300,000          |
| 6                    | 5     | Sartén volcable 150 litros               | 200,000          |
| 7                    | 1     | Horno combinado de 20 bandejas (gas)     | 190,000          |
| 8                    | 3     | Marmita estacionaria de 500 litros (gas) | 198,000          |
| 9                    | 2     | Sistema terma (895gl)                    | 2,000,000        |
| <b>DEMANDA TOTAL</b> |       |  | <b>9 819 000</b> |

*Fuente:* Elaboración propia del autor

### 3.5.2 Cálculo de caudal de consumo.

Utilizando el valor real del poder calorífico, podemos determinar los caudales de consumo de los equipos mediante la aplicación de la ecuación (47). Los resultados se presentan en la tabla N°27 para cada equipo, junto con una suma total que guiará el dimensionamiento del sistema de almacenamiento.

$$P = PCS_{GLP} \times Q \leftrightarrow Q = \frac{P}{PCS_{GLP}} \quad (m^3/s) \quad (50)$$

**Tabla 28: Demanda de consumo para cada equipo**

| item | Cant. | equipo                             | Btu/h     | Btu/h(total) | m <sup>3</sup> /hr |
|------|-------|------------------------------------|-----------|--------------|--------------------|
| 1    | 8     | Horno combinado de 40 bandejas     | 328,000   | 2,624,000    | 27                 |
| 2    | 1     | Horno combinado de 20 bandejas     | 143,000   | 143,000      | 1                  |
| 3    | 3     | Formillón a gas de 02 quemadores   | 136,000   | 408,000      | 4                  |
| 4    | 2     | Marmita estacionaria de 300 litros | 190,000   | 380,000      | 4                  |
| 5    | 2     | Horno a convección rotativo        | 300,000   | 600,000      | 6                  |
| 6    | 5     | Sartén volcable 150 litros         | 200,000   | 1,000,000    | 10                 |
| 7    | 1     | Horno combinado sw 20 bandejas     | 190,000   | 190,000      | 2                  |
| 8    | 3     | Marmita estacionaria de 500 litros | 198,000   | 594,000      | 6                  |
| 9    | 2     | Sistema terma (895gl)              | 2,000,000 | 4,000,000    | 41                 |
|      |       |                                    |           | cauda total  | 103                |

*Fuente: Elaboración propia del autor*

### 3.5.3 *Calculo de la capacidad del tanque*

La capacidad del tanque o de los tanques de GLP será igual a aquel que nos proporcione un caudal igual o mayor a 103 m<sup>3</sup>/h (171.619 kg/h) cuando el tanque se encuentre al 25% de su capacidad con GLP en fase líquida. Utilizando la ecuación (2) del capítulo II, se determina el área de la superficie del tanque que satisface la demanda de consumo de los equipos. El análisis se llevará a cabo bajo condiciones críticas, considerando una temperatura exterior de 5°C y una temperatura de equilibrio térmico líquido-vapor de -12.2°C, para una presión de servicio de 1.25 bar. Los datos correspondientes son los siguientes:

Donde:

*m°: caudal de vaporizacion en kg/h*

*P: constante del porcentaje de llenado, al 25%  $a = 0.336$*

*K: coeficiente de intercambio de calor  $K = 11w/m^2C^{\circ}$*

*Ti: temperatura minima del ambiente  $Ti = 5C^{\circ}$*

*Te: temperatura de equilibrio liquido – gas.  $Te = -12.2C^{\circ}$*

*S: superficie del deposito en m<sup>2</sup>*

*q: calor latente de vaporizacion*



$$m^{\circ} = a * S * K(te - Ti)/q$$

$$S = m^{\circ} * q/a * k(te - ti)$$

$$m^{\circ} = 0.336 * S *$$

$$S = 163.81 m^2$$

Con este valor de área dado buscaremos dentro de los tanques más comerciales en el país. En la tabla N°29, se muestran las capacidades de algunos tanques comerciales con sus respectivos datos de volumen, área, longitud, diámetro, y otros. Estos tanques son de fabricación nacional o son importados, en ambos casos estos tanques tienen en los extremos cabezas semiesféricas.

**Tabla 29:** Tanques más comerciales en el mercado peruano

| Capacidad de tanques GLP | Tipo de tanque | Longitud de tanque  | Diámetro de tanque | Área de tanque | condición      |          |
|--------------------------|----------------|---------------------|--------------------|----------------|----------------|----------|
| M3                       | Galones        | característica      | m                  | m              | m <sup>2</sup> |          |
| 0.45                     | 120            | Cabeza semiesférica | 1.67               | 0.61           | 3.2001842      | en stock |
| 0.95                     | 250            | Cabeza semiesférica | 2.2                | 0.8            | 5.5289344      | en stock |
| 1.89                     | 500            | Cabeza semiesférica | 3                  | 0.95           | 8.9531629      | en stock |
| 3.79                     | 1000           | Cabeza semiesférica | 4.85               | 1.04           | 15.8457545     | en stock |
| 7.57                     | 2000           | Cabeza semiesférica | 5.9                | 1.18           | 21.8712065     | en stock |
| 18.93                    | 5000           | Cabeza semiesférica | 6.64               | 2.14           | 44.6388643     | en stock |
| 37.85                    | 10000          | Cabeza semiesférica | 11.36              | 2.26           | 80.6539344     | en stock |

*Fuente: elaboración propia del autor*

### 3.5.3.1 Primer caso -Análisis con tanque de 10 000

Para satisfacer la demanda de consumo, se requiere un tanque con un área de  $163.81 m^2$ , Si consultamos la tabla 29, el tanque más cercano disponible es uno de 10000 galones, el cual tiene un área de  $80 m^2$ . Según la tabla 25, para un tanque de 10000 galones, la vaporización natural es de 80.38 kg/h al 25%. Ahora, calcularemos la cantidad de tanques necesarios para cumplir con la demanda de consumo.

$$N^{\circ} \text{ tanques} = \frac{\text{demanda de conumo total}}{\text{vaporizacion de tanque de 10000gal}} = \frac{171.619}{80.38} = 2.13 \text{ tanques}$$



Esta alternativa satisface las necesidades de consumo y cumple con la normativa NTP 321.123. Sin embargo, suele implementarse la instalación de estos tanques en plantas envasadoras. Estas instalaciones tienen sistemas de seguridad más rigurosos, requieren mayores distancias de seguridad y, además, el transporte de estos tanques resulta bastante costoso. Por esta razón, hemos decidido descartar esta opción.

### **3.5.3.2 Segundo caso -Análisis con tanque de 5000**

Una segunda opción es utilizar tanques de 5000 galones, para lo cual calcularemos el número de tanques requeridos. Utilizando la tabla (23), para un tanque de 5000 galones se tiene una vaporización de 51.36kg/h al 25% de su capacidad.

$$N^{\circ} \text{ tanques} = \frac{\text{demanda consumo total}}{\text{demanda de 5000gal}} = \frac{171.619}{51.36} = 3.34 \text{ tanques}$$

Esta opción también tiene los mismos lineamientos de un tanque de 10000 galones, montar tres tanques de 5000 galones tiene ciertas desventajas para controlar la autonomía de forma óptima y dificultad para realizar mantenimiento. Además este tipo de tanques no son tan comerciales y tienen una vaporización menor si comparamos con tanques múltiples cuya suma de capacidad de agua es a igual 5000 galones, lo que hace inviable el uso de este tipo de tanques, razón por la cual es descartada esta opción.

### **3.5.3.3 Tercer caso -Análisis con tanque de 2000**

La tercera opción es instalar tanques de 2000 galones, para lo cual calcularemos el número de tanques a utilizar.

$$N^{\circ} \text{ tanques} = \frac{\text{demanda consumo total}}{\text{demanda de 2000gal}} = \frac{171.619}{24.19} = 7 \text{ tanques}$$

Este tipo de tanques normalmente se instala enterrado, no es tan recomendable instalar superficialmente. Debido a su dimensión, los trabajos de mantenimiento son más dificultosos, razón por la cual también son descartados.



### 3.5.3.4 Cuarto caso -Análisis con tanque de 1000

La cuarta opción es instalar tanques de 1000 galones, para lo cual se calcula el número de tanques que cumplan la demanda de consumo.

La capacidad de almacenamiento se calculara mediante una proporción de la demanda total de los equipos de consumo (171.619kg/h) entre la vaporización natural de un tanque de 1000 galones (18.33kg/h), para una capacidad de 25% según NTP321.123

$$N^{\circ} \text{ tanques} = \frac{\text{demanda consumo total}}{\text{demanda de 1000gal}} = \frac{171.619}{18.33} = 9.36 \text{ tanques}$$

Como se puede observar 9 tanques dará una vaporización natural de 164.97kg/h, lo cual no cumple con la demanda de consumo. Si implementamos más un tanque nos dará un flujo de vapor de 180 kg/h lo cual es mayor de la demanda de consumo del sistema, por lo tanto usaremos 10 tanques de 1000galones

$$N^{\circ} \text{ tanques} = 10 \text{ tanques}$$

Se puede observar que esta opción es la mejor de las cuatro posibilidades, ya que los tanques seleccionados son las más comerciales en el mercado nacional, la dimensión que tienen hace que sea fácil su manipulación y mantenimiento. Además si comparamos la tasa de vaporización, esta última configuración ofrece una vaporización más eficiente, con un volumen de almacenamiento mucho menor comparado con las tres primeras opciones.

### 3.5.4 Cálculo de la autonomía del tanque GLP

Para el cálculo de la autonomía se considera que los tanques de GLP se recarguen cuando están en un 25% de su capacidad nominal y se llenan hasta un porcentaje máximo de llenado indicado de acuerdo a la capacidad nominal del tanque o de los tanques a instalar (según-NTP 321.123).

Para el calcular la autonomía se está considerando que los equipos de consumo trabajen 5h/día tal como se detalla en la tabla siguiente tabla.

**Tabla 30: Demanda de consumo diario del sistema**

| TRAMO        | L(m)      | (BTU/h)        | Q(m <sup>3</sup> /h) | Q(kg/h)      | (h/día) | Q(kg/día)    | Q(m <sup>3</sup> /día) | m <sup>3</sup> /mes |
|--------------|-----------|----------------|----------------------|--------------|---------|--------------|------------------------|---------------------|
| G-R1         | 6         | 4000000        | 41.3                 | 69.1         | 5       | 345.3        | 206.6                  | 6198.3              |
| G-R2         | 5         | 400000         | 4.1                  | 6.9          | 5       | 34.5         | 20.7                   | 619.8               |
| F-R5         | 7         | 784000         | 8.1                  | 13.5         | 5       | 67.7         | 40.5                   | 1214.9              |
| E-R3         | 15        | 1968000        | 20.3                 | 34.0         | 5       | 169.9        | 101.7                  | 3049.5              |
| E-R4         | 15        | 790000         | 8.2                  | 13.6         | 5       | 68.2         | 40.8                   | 1224.2              |
| H-h          | 9         | 136000         | 1.4                  | 2.3          | 5       | 11.7         | 7.0                    | 210.7               |
| I-R6         | 6         | 190000         | 2.0                  | 3.3          | 5       | 16.4         | 9.8                    | 294.4               |
| I-R7         | 3         | 600000         | 6.2                  | 10.4         | 5       | 51.8         | 31.0                   | 929.7               |
| K-R8         | 8         | 799000         | 8.3                  | 13.8         | 5       | 69.0         | 41.3                   | 1238.1              |
| K-k          | 4         | 272000         | 2.8                  | 4.7          | 5       | 23.5         | 14.0                   | 421.5               |
| <b>total</b> | <b>78</b> | <b>9819000</b> | <b>102.7</b>         | <b>171.6</b> |         | <b>858.1</b> | <b>513.4</b>           | <b>15401.1</b>      |

**Fuente:** Elaboración propia del autor

Para estimar la autonomía se usara la siguiente expresión:

$$A = \frac{(\text{capacidad del tanque en KG})(\% \text{maximo de llenado} - \% \text{minimo de llenado})}{\text{consumo diario del sistema GLP en Kg}} \quad (51)$$

#### Datos:

- Demanda de consumo en una hora 171.619kg/h
- Demanda de consumo en 5 horas 858.095kg/día
- Horas de trabajo de los equipos por día =5 hora/día
- Máximo de llenado para un tanque de 1000 galones 80%, según NTP321.123, %minio de llenado 25%
- Densidad de GLP vapor 1.671kg/m<sup>3</sup>
- Densidad fase liquido 530.228kg/m<sup>3</sup>

$$A = \frac{10 * 530.228 * 3.78(85\% - 25\%)}{858.095} = 14.01 \sim 14 \text{ dias}$$

Para tener una configuración uniforme de tanques podemos aumentar más dos tanques al sistema, ya que nos da una mejor configuración para trabajar con sistema de vaporización forzado, la agrupación dependerá del número de vaporizadores a instalar.

Probaremos para 12 tanques de 1000 galones para las mismas condiciones de consumo



$$A = \frac{12 * 530.228 * 3.78(85\% - 25\%)}{858.095} = 16.8 \sim 17 \text{ dias}$$

### 3.6 Diseño del sistema de vaporización forzada

De acuerdo con el cálculo, se requieren 12 tanques de 1000 galones cada uno para lograr una autonomía de 17 días. De estos, 10 tanques pueden satisfacer la demanda de consumo mediante vaporización natural al 25% de su capacidad, generando 180.4 kg/h. Aunque esta opción es viable, se opta por implementar un sistema de vaporización forzada debido a las ventajas que este ofrece en términos de seguridad, mantenimiento y control del sistema.

- Flujo de vapor constante, independiente de las condiciones del lugar.
- Una vaporización eficiente con las mismas proporciones de la mezcla.
- Puede cubrir una gran cantidad de consumo de gas sin agregar tanques de almacenamiento.
- El drenaje (extremos pesados) no se acumula fácilmente en el fondo del tanque, ya que vaporiza directamente el GLP líquido.
- Puede seleccionar el mejor modelo de capacidad de vaporización, para su volumen de consumo entre varias opciones.
- Funcionamiento del sistema los 365 días del año, porque cuenta con un sistema dual (línea de vapor natural) cuando el equipo entra en mantenimiento.

#### 3.6.1 *Requerimiento técnico para la selección del vaporizador*

La selección del vaporizador se realizara en base a la demanda de consumo y la configuración del sistema de almacenamiento. La taza de vaporización se calculara con las ecuaciones recomendados en los manuales de instalaciones de vaporizadores de fuego directo de serie RH Ransome y Algas.

$$Q = Ht * Fd / 91690 \quad ( 52 )$$

Donde:



$Q$ : capacidad requerida en galones por hora

$H$ : consumo total requerido en  $\frac{BTU}{H}$

$F_d$ : factor de variación de carga

**Tabla 31:** Factor de variación de carga para condiciones de carga

| Condición de trabajo               | Factor de variación de carga( $F_d$ ) |
|------------------------------------|---------------------------------------|
| Para cambios de carga graduales    | 1.1                                   |
| Para carga rápida y fluctuante     | 1.2                                   |
| Para temperatura de $-20C^{\circ}$ | 1.25                                  |

Fuente: (Catalogo REGO, 2019)

$$Q = \frac{9939000 * 1.1}{91690} = 119.23 \cong 120GLS/H$$

Para satisfacer la demanda de consumo, requerimos un vaporizador que pueda producir 120 GPH. Vamos a elegir, de entre los catálogos más populares del país, un vaporizador de fuego directo que cumpla con las especificaciones técnicas necesaria.

**Figura 37:** Especificaciones técnicas de Vaporizadores Algas RH

| Información Eléctrica:             | No requiere electricidad                                 |                      |                      |                      |                      |                       |                       |                       |
|------------------------------------|--|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Número de Modelo:                  | 40/40  | 80/40                | 120/60               | 160H                 | 320H                 | 480H                  | 640H                  | 800H                  |
| Presión de Diseño                  | —  | —                    | —                    | 290 PSIG / 20.0 Barg | —                    | —                     | —                     | —                     |
| Conf. de Válvula de Alivio         | —  | —                    | —                    | 250 PSIG / 17.2 Barg | —                    | —                     | —                     | —                     |
| Presión Hidrostática               | —  | —                    | —                    | 435 PSIG / 29.9 Barg | —                    | —                     | —                     | —                     |
| Aprobaciones del Vaporizador:      |  |                      |                      |                      |                      |                       |                       |                       |
| ASME, UL (Estados Unidos y Canadá) | +  | +                    | +                    | +                    | +                    | +                     | +                     | +                     |
| CE, PED (DNV)                      | +  | +                    | +                    | +                    | +                    | +                     | +                     | +                     |
| Entrada de Líquido (FNPT)          | ¾"   | ¾"                   | ¾"                   | ¾"                   | 2"                   | 2"                    | 2"                    | 2"                    |
| Salida de Líquido (FNPT)           | 1"   | 1"                   | 1"                   | 1"                   | 2"                   | 2"                    | 2"                    | 2"                    |
| Capacidad de Vaporización:         |  |                      |                      |                      |                      |                       |                       |                       |
| Kg/h                               | 80   | 160                  | 240                  | 320                  | 640                  | 960                   | 1280                  | 1535                  |
| (Promedio) US Gal/h                | 40   | 80                   | 120                  | 160                  | 320                  | 480                   | 640                   | 800                   |
| MMBTU/h                            | 3.6  | 7.2                  | 10.9                 | 14.6                 | 29.1                 | 43.7                  | 58.2                  | 72.8                  |
| Salida del Quemador:               |  |                      |                      |                      |                      |                       |                       |                       |
| (,000) Kcal/h                      | 13.0   | 25.9                 | 38.8                 | 51.4                 | 90.8                 | 136.2                 | 181.6                 | 227.6                 |
| (,000) BTU/h                       | 51.3   | 102.7                | 144.1                | 185.0                | 360.0                | 540.0                 | 720.0                 | 900.0                 |
| Encendido del Quemador:            | El encendido de 9V CD es estándar en todas las unidades. |                      |                      |                      |                      |                       |                       |                       |
| Peso de Embarque:                  | 155 libras<br>71 Kg                                      | 220 libras<br>100 Kg | 275 libras<br>125 Kg | 405 libras<br>184 Kg | 810 libras<br>368 Kg | 1215 libras<br>552 Kg | 1620 libras<br>736 Kg | 2025 libras<br>920 Kg |
| Dimensiones de Embarque:           |  |                      |                      |                      |                      |                       |                       |                       |
| Longitud                           | 21"  | 21"                  | 21"                  | 35"                  | 43"                  | 43"                   | 86"                   | 43"                   |
|                                    | 534 mm   | 534 mm               | 534 mm               | 914 mm               | 1092 mm              | 1092 mm               | 2184 mm               | 1092 mm               |

Fuente: (Becco, 1989, pág. 56)

**Según el grafico de algas:**

- La mejor opción sería utilizar un vaporizador modelo 120H/60 con una capacidad de 10.9 millones de unidades térmicas británicas por hora (MMBTU/H), y una tasa de vaporización de 240 kg/h, lo cual es adecuado dado que la demanda es de 171.71 kg/h.

**Figura 38:** especificaciones técnicas de vaporizador de fuego directo Ransome

| Número de Modelo | GPH Propano <sup>2</sup> | Pies Cúbicos Hora <sup>1</sup> | Millones de BTU/HR | Producción del Quemador BTU | Aprox. Peso en Libras |
|------------------|--------------------------|--------------------------------|--------------------|-----------------------------|-----------------------|
| RH 50            | 50                       | 1,820                          | 4.58               | 60,400                      | 205                   |
| RH 80            | 80                       | 2,912                          | 7.34               | 100,560                     | 245                   |
| <b>RH 120</b>    | <b>120</b>               | <b>4,368</b>                   | <b>11.00</b>       | <b>135,920</b>              | <b>285</b>            |
| RH 200           | 200                      | 7,280                          | 18.34              | 271,840                     | 380                   |
| RH 400           | 400                      | 14,560                         | 36.68              | 543,680                     | 920                   |
| RH 600           | 600                      | 21,840                         | 55.01              | 815,520                     | 1,380                 |
| RH 800           | 800                      | 29,120                         | 73.35              | 1,087,360                   | 1,840                 |
| RH 1000          | 1000                     | 36,400                         | 91.69              | 1,359,200                   | 2,300                 |

*Fuente: (Beco, 1989, pág. 56)*

**Según grafico de Ransome**

- La mejor opción sería utilizar un vaporizador de la serie RH120, que tiene una capacidad de 11 MMBTU/H. Esto es adecuado, ya que la necesidad máxima es de 9.9 MMBTU/H.

Después de analizar ambas opciones, elegiremos un vaporizador Ransome serie RH120 debido a las ventajas que ofrece en eficiencia, costo y facilidad de manejo.

**3.6.2 Configuración del sistema de distribución.**

Ya dimensionado los vaporizadores, se debe realizar una configuración del sistema de almacenamiento, para lo cual se debe calcular la autonomía de cada tanque para un volumen máximo de 85% y mínimo 30%, para porcentajes inferiores no es recomendable porque afecta en la eficiencia de los vaporizadores.

Datos:

$Q: 120\text{GLS}/\text{H}$

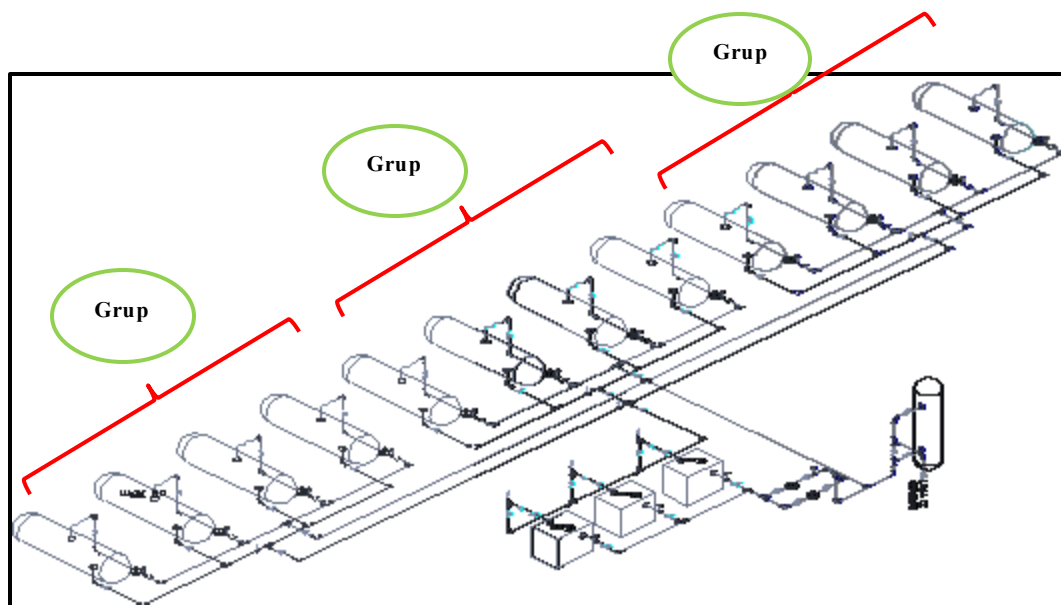
*horas de trabajo del sistema 5h/dia*

$$A_{\text{sistema}} = \frac{12000 * (0.85 - 0.3)}{119.23 * 5} = 12\text{días}$$

$$A_{\text{grupo}} = \frac{4000 * (0.85 - 0.3)}{119.23 * 5} = 4\text{días}$$

Para controlar eficientemente el sistema, lo dividiremos en tres grupos, cada uno compuesto por cuatro tanques. Cada grupo contará con sistemas de distribución, regulación y vaporización forzada independientes, con una autonomía de cuatro días. En este enfoque, cada vaporizador será exclusivo para su respectivo grupo de tanques. Esta configuración hace que el sistema sea más autónomo en su operación. Además, permite llevar a cabo mantenimientos preventivos y correctivos de forma paralela. Si uno de los vaporizadores falla, no afectará la eficiencia del sistema, ya que un solo vaporizador puede satisfacer la demanda de consumo de los equipos. El siguiente diagrama ilustra la disposición de la instalación.

**Figura 39:** Diagrama de distribución de tanques en grupos de cuatro



*Fuente: propia*



### 3.7 Ubicación de los tanques de GLP

Los tanques estacionarios para usuarios de GLP a granel estarán instalados en zonas accesibles, de tal manera que el abastecimiento del Gas Licuado a granel desde camiones tanque se lleve a cabo en forma fácil y segura.

#### 3.7.1 Criterios para selección de la ubicación del tanque de GLP en superficie

Estos criterios están descritos en la NTP 321.123, mencionaremos los aplicables al informe, para ello se mencionaran como referencia los apartados que indica la norma.

- NTP 321.123 Numeral 5.1.1. Los tanques estacionarios serán diseñados, fabricados y probados de acuerdo a Norma Técnica peruana o de acuerdo al Código ASME Sección VIII. Pueden ser instalados de forma aérea, soterrados o monticulado, dependiendo de las condiciones de la instalación.
- NTP 321.123 Numeral 5.1.4. La máxima presión de trabajo permisible (MAWP) para los tanques que almacenan GLP será de 1.7 MPa manométrica (250psig).
- NTP 321.123 Numeral 6.1.1. Los tanques deberán ser ubicados en el exterior de los edificios perfectamente nivelados, sin techo y con un espacio libre de al menos 50% del perímetro, respecto al área de influencia que determine la distancia de seguridad de la Tabla 7, eliminando toda posibilidad de confinamiento por fugas de GLP.
- NTP 321.123 Numeral 6.1.2 Los tanques ubicados en el exterior de los edificios, instalados de modo permanente y recargados en la instalación, deberán ubicarse con respecto del tanque más cercano, edificio importante, grupo de edificios o líneas de propiedad adyacente sobre la cual se pueda construir, de acuerdo con la Tabla 7, Tabla 9, Tabla 10 y desde el subcapítulo 6.1.3 al 6.1.10. de la NTP321.123
- NTP 321.123 Numeral 6.1.7. La distancia medida horizontalmente desde el punto de descarga de la válvula de alivio de presión del tanque hasta cualquier abertura por debajo de tal descarga deberá cumplir con la Tabla 8.



- NTP 321.123 Numeral 6.2.4 inciso (b) No se permitirán materiales combustibles sueltos o amontonados, malezas, ni pastos altos y secos a menos de 3 m (10 pies) alrededor de los tanques.
- NTP 321.123 Numeral 6.2.7 En tanques de GLP en superficie, ninguna de sus partes deberá ubicarse dentro del área que se encuentre, a una distancia horizontal de 1,8 m (6 pies) de un plano vertical ubicado debajo de líneas eléctricas de más de 600 voltios nominales.
- NTP 321.123 Numeral 6.4.11 inciso m). Los tanques deben ubicarse en áreas donde exista libre circulación de aire; al menos a 3 m (10 pies) de aberturas de edificios (tales como ventanas y puertas) a nivel o por debajo del nivel de la válvula de seguridad del tanque, y al menos a 6.1 m (20 pies) de entradas (succión) de sistemas de ventilación mecánica y aire acondicionado, medido según la trayectoria del GLP.
- NTP 321.123 Numeral 6.17.2 Los vaporizadores de fuego directo de cualquier capacidad serán ubicados de acuerdo con la Tabla 14.
- NTP 321.123 Numeral 6.17.4 La mínima distancia entre un tanque y quemador vaporizador deberá ser de acuerdo con la Tabla 16.
- NTP 321.123 Numeral 6.21.3. No deberán ser instalados o usadas llamas abiertas, herramientas de corte o soldadura, herramientas eléctricas y extensiones de luz que podrían ser capaces de provocar ignición de GLP dentro de las áreas clasificadas especificadas, que indica que la distancia Mínima es 4.6 m.

**Figura 40:** Distancia de separación entre tanques, edificios importantes

| Capacidad de agua del tanque de almacenaje de GLP |                      | Distancias mínimas(*)                            |  |   |
|---|----------------------|--|--|---|
|   |                      | Tanques en Superficie <sup>(b)</sup> y en Techos | Tanques Enterrados o Monticulados <sup>(a)</sup> | Entre tanques contiguos <sup>(c)</sup> (m)                |
| m <sup>3</sup>                                    | gal                  | m  | m  |   |
| <0,47 <sup>(d)</sup>                              | < 125 <sup>(d)</sup> | 0 <sup>(d)</sup>                                 | 3  | 0   |
| 0,47 – 0,95                                       | 125 – 250            | 3  | 3  | 0   |
| >0,95 – 1,89                                      | 251 – 500            | 3  | 3  | 1   |
| >1,89 – 3,78                                      | 501 – 1 000          | 5 <sup>(e)</sup>                                 | 3  | 1   |
| >3,78 – 7,57                                      | 1 001 – 2 000        | 7,6 <sup>(e)</sup>                               | 3  | 1   |
| >7,57 – 113,56                                    | 2 001 – 30 000       | 15   | 15   | 1,5   |
| >113,56 – 264,97                                  | 30 001 – 70 000      | 23   | 15   | 1/4 de la suma de los diámetros de los tanques adyacentes |
| >264,97 – 340,68                                  | 70 001 – 90 000      | 30   | 15   |   |
| >340,68 – 454,24                                  | 90 001 – 120 000     | 38   | 15   |   |
| >454,24 – 757,08                                  | 120 001 – 200 000    | 61   | 15   |   |
| >757,08 – 3785,41                                 | 200 001 – 1 000 000  | 91   | 15   |   |
| >3785,41  | > 1 000 000          | 122  | 15   |   |

Fuente: (NTP 321.123, 2018)

**Figura 41:** Distancias de separación entre válvulas de alivio de presión de Tanques

| Tipo de Tanque | Intercambio o Llenado Directo | Distancia horizontal desde la descarga de la válvula de seguridad a la abertura por debajo de la descarga |     | Descarga desde la válvula de seguridad, descarga de venteo, y conexión de llenado, a la fuente externa de ignición, aberturas de aparatos de venteo directo, tomas de aire para ventilación mecánica |     |
|----------------|-------------------------------|---|-----|--|-----|
|                |                               | m   | pie | m  | pie |
| ASME           | Llenado Directo               | 1,5   | 5   | 3,0  | 10  |

Fuente: (NTP 321.123, 2018)

**Figura 42:** Separación mínima entre vaporizadores a fuego directo y exposiciones

| Exposición   | Distancia mínima requerida |      |
|--|----------------------------|------|
|  | m                          | pies |
| Tanque   | 3,0                        | 10   |
| Válvulas de cierre del tanque  | 4,6                        | 15   |
| Punto de transferencia   | 4,6                        | 15   |
| Edificio importante o grupo de edificios mas cercano o línea de propiedad adyacente sobre la que puede construirse | 7,6                        | 25   |
| Edificio o habitación que albergue un mezclador aire-gas   | 3,0                        | 10   |
| Gabinete exterior que albergue un mezclador aire-gas   | 0                          | 0    |

Fuente:(NTP 321.123, 2018)

**Figura 43: Mínima distancia de separación entre tanques y quemador vaporizador**

| Capacidad de agua del recipiente |            | Mínima distancia requerida |     |
|----------------------------------|------------|----------------------------|-----|
| m <sup>3</sup>                   | gal        | m                          | Pie |
| < 1,89                           | < 500      | 3,0                        | 10  |
| 1,90 – 7,57                      | 500 – 2000 | 7,6                        | 25  |
| > 7,57                           | > 2000     | 15,0                       | 50  |

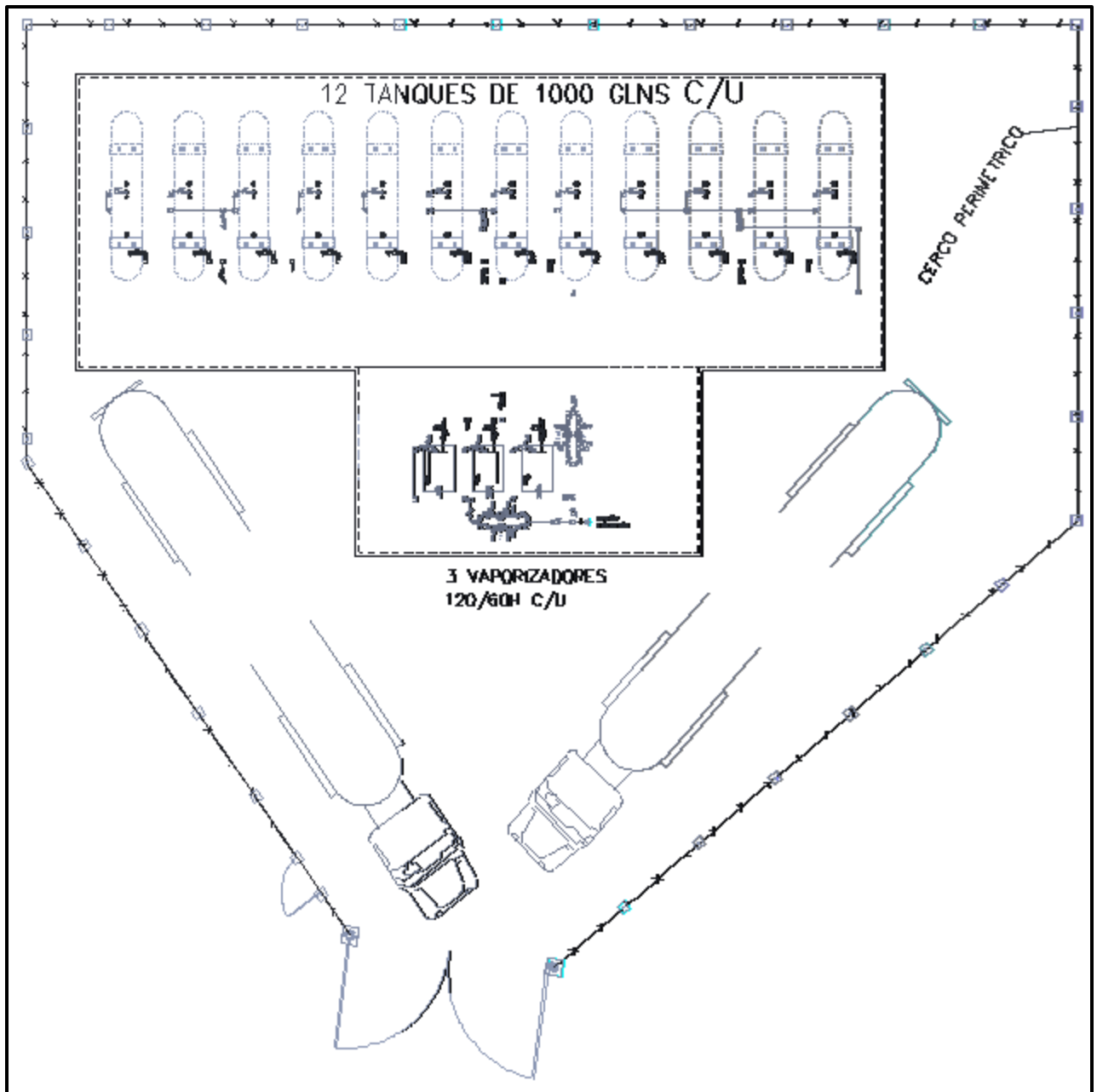
Fuente:(NTP 321.123, 2018)

### 3.7.2 Descripción del área de la zona de tanques

Según el dimensionamiento del sistema de almacenamiento se necesita un área de distribución para doce tanques de 1000 galones c/u, tres vaporizadores de fuego directo y un decantador de 120 galones.

Para cumplir las distancia de seguridad exigidos en la NTP 321.123 se necesita un área total de 700m<sup>2</sup> de los cuales 270m<sup>2</sup> es para la distribución de tanques y el resto es para estacionamiento de vehículos de abastecimiento, los tanques estarán distribuidos en forma lineal en tres grupos con cuatro tanques c/u conectados entre sí, para trabajar independientemente tanto en la fase vapor y fase líquida y cumplir la demanda de los equipos de consumo , se instalara tres vaporizadores de fuego directo para trabajar independientemente con cada grupo. En la figura siguiente se detalla la distribución de los tanques.

**Figura 44:** Diagrama de distribución de zona de tanques



*Fuente: Elaboración propia*

### 3.7.3 Cumplimiento de la normativa según el diagrama de distribución.

- Los tanques instalados en el área designado están fabricados por la compañía Trinity industries, bajo el código ASME sección VIII, de acuerdo a las condiciones del lugar. La configuración de tanques superficiales se optó por las ventajas que ofrece en el sistema de vaporización.



- los tanques estarán ubicados en el nivel 3 zonas de estacionamiento cumpliendo los 3 m mínimos que la norma exige. Perfectamente nivelado, sin techo y con un espacio lateral libre de al menos 50 % de perímetro. el tanque está instalado de modo permanente y cumple las distancias mínimas a los edificios importantes, grupo de edificios o líneas de propiedad adyacentes sobre la cual se pueda construir, de acuerdo con la Tabla 7, del apartado 6.1.2 de la NTP 321.123.
- La zona de ubicación del tanque estacionario para almacenamiento de GLP a granel está libre de material combustible, de forma tal que la afectación a otras áreas, en caso de combustión, sea mínima.
- Los tanques estacionarios para usuarios de GLP a granel están instalados en zonas accesibles, de tal manera que el abastecimiento del Gas Licuado a granel desde camiones tanque se lleve a cabo en forma fácil y segura; las distancias mínimas de seguridad para Equipos de Gas Licuado de Petróleo están representadas según la Norma NTP 321.123.

### ***3.7.3.1 Distancia de seguridad del tanque estacionario GLP a instalaciones eléctricas***

Los equipos eléctricos fijos y cableados en áreas clasificadas especificadas en la Tabla 17 de la NTP 321.123, fueron instalados de acuerdo con el Código Nacional de Electricidad o su equivalente en la NFPA 70. Numeral 6.20 de la NTP 321.123, según División 2 del Nacional Eléctrica Code.

- El tanque se encuentra ubicado en una distancia mínima de 4,6 m. de equipos eléctricos fijos y cableados en áreas clasificadas de Tabla 17 de la NTP 321.123, el detalle se indica en el plano de distribución de zona de tanques.

**Figura 45: Clasificación de Área Eléctrica**

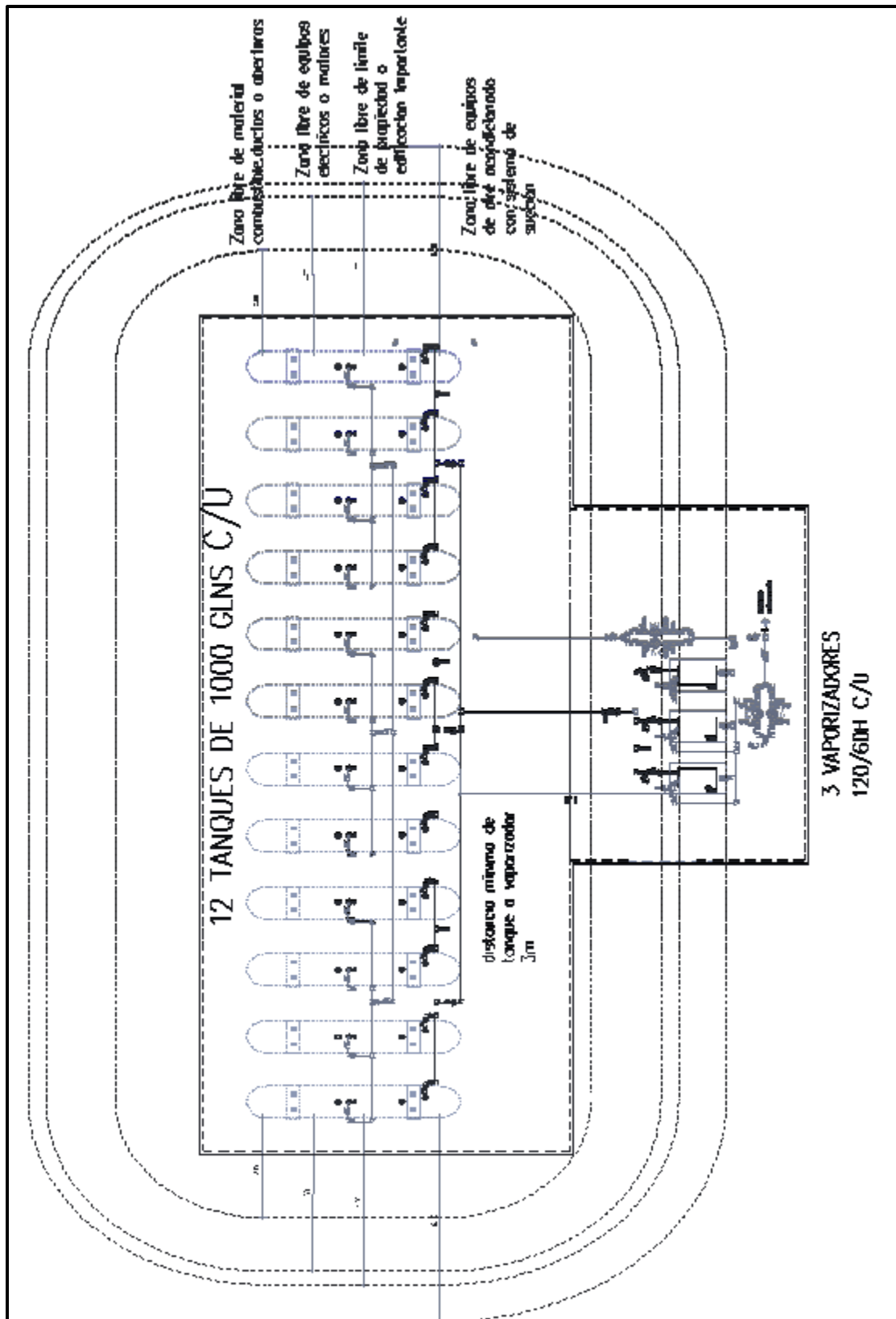
| Parte | Ubicación  | Extensión del área clasificada <sup>a</sup>  | Equipamiento será adecuado para Clase I <sub>a</sub> , Grupo D <sub>b</sub> del National Electrical Code |
|-------|--|--|--|
| A     | Tanques no refrigerados, diferentes de cilindros y tanques verticales ASME menores de 454 kg (1000 libras) de capacidad de agua. | Dentro de los 4,6 m (15 pies) en toda dirección desde las conexiones, excepto las conexiones de otra manera cubierta por la presente tabla | División 2   |

Fuente: (NTP 321.123, 2018)

### 3.7.3.2 Instalación del tanque de almacenamiento

- La ubicación del tanque es sobre una plataforma sobre una base de cemento, según las especificaciones detalladas en el plano, y sobre estructuras de albañilería, no combustibles, y con soportes diseñados para los mismos criterios sísmicos. Cumpliendo con los requisitos establecidos en los numerales 6.4.1 al 6.4.8.4 y la tabla 12 de la NTP 321.123.
- El tanque cuenta con una placa de identificación de acero inoxidable de acuerdo con el numeral 5.1.13 de la NTP. 321.123.
- El llenado del tanque se realizó máximo al 80 % de su capacidad respetando la tabla 18 de la NTP 321.123

Figura 46: Distancias de seguridad zona de tanques



Fuente: Elaboración propia



## CAPITULO IV

### DISEÑO DE SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN Y REGULACIÓN

#### 4. INTRODUCCIÓN

En este capítulo, se llevará a cabo el dimensionamiento del sistema de distribución, abordando las categorías de alta, media y baja presión. Partimos de datos fundamentales, tales como los parámetros de diseño, presión, caudal, longitud de la tubería y las propiedades químicas del GLP.

El proceso de dimensionamiento se ejecutará utilizando tres métodos de cálculo, y se considerará el resultado más alto para asegurar la robustez y fiabilidad del diseño. Los cálculos se realizarán siguiendo las directrices de normas específicas, estableciendo así un marco normativo riguroso para respaldar cada paso del proceso. Este enfoque asegura que el sistema de distribución esté no solo bien dimensionado, sino también alineado con las mejores prácticas y estándares de la industria.

- NFPA54: código nacional del gas combustible;
- UNE 60621: instalaciones receptoras de gas para usos industriales suministradas en media y baja presión;
- NTP 321.121: instalaciones internas de GLP para consumidores directos y redes de distribución.

#### 4.1 Sistema de distribución

##### 4.1.1 *Recolección de Datos Iniciales:*

Para realizar un dimensionamiento preciso, es esencial tener en cuenta el siguiente parámetro de diseño:

- **Identificación del tipo de fluido que se transportará:** Los cálculos se efectuarán considerando una mezcla de GLP 60/40.



- **Determinación de la temperatura y presión de operación:** Los cálculos se realizarán teniendo en cuenta las condiciones críticas del lugar. La temperatura más baja considerada es 5°C y la presión mínima de entrada para el dimensionamiento será de 15 psi.
- **Especificación del caudal requerido:** De acuerdo con la demanda de consumo, se requiere un caudal de 171.73 kg/s.

Estos factores son fundamentales para un diseño que cumpla con las condiciones específicas del sistema, asegurando así un rendimiento eficiente y seguro

#### 4.1.2 *Análisis de Propiedades del Fluidos:*

En este paso, se revisan las propiedades físicas y químicas del fluido, tales como el poder calorífico (PC), calor latente de vaporización ( $h_{fc}$ ), viscosidad y densidad, los cuales fueron detallados en el capítulo III. En el cuadro siguiente, se presentan estas propiedades para una mezcla de 60/40, considerando las condiciones específicas del lugar

**Tabla 32:** propiedades físico químicas del GLP 60/40

| PROPIEDADES                                    | PROPANO COMERCIAL | BUTANO COMERCIAL | GLP 60/40  |
|--|-------------------|------------------|------------|
| GRAVEDAD ESPECIFICA A 15.56°C°                 | 0.504             | 0.582            | 0.530      |
| PUNTO DE EBULLICION INICIAL A 1atm, C°         | -42               | -1               | -28.213    |
| PESO POR METRO CUBICO DE LIQUIDO,(kg/m3)       | 504               | 582              | 530.228    |
| CALOR ESPECIFICO DE LIQUIDO A 15.56C°, (kJ/kg) | 1.464             | 1.276            | 1.401      |
| PESO POR METRO CUBICO DE VAPOR,(kg/m3)         | 1.5               | 2.01             | 1.671      |
| TENPERATURA DE IGNICIONEN EL AIRE, C°          | 493-549           | 482-538          | #¡VALOR!   |
| LIMITE DE INFLAMAVILIDAD INFERIOR              | 2.15              | 1.55             | 1.948      |
| LIMITE DE INFLAMAVILIDAD SUPERIOR              | 9.6               | 8.6              | 9.264      |
| CALOR LATENTE DE VAPORIZACION,(kJ/kg)          | 428               | 388              | 414.550    |
| PODER CALORIFICO,(kJ/m3)                       | 92430             | 121280           | 102131.147 |
| GRAVEDAD ESPECIFICA A 15.56C°                  | 49920             | 49140            | 49657.716  |
| GRAVEDAD ESPECIFICA A 15.56C°                  | 25140             | 28140            | 26148.785  |

*Fuente: elaboración propia*



## 4.2 Determinación de las pérdidas de carga y diámetro de la tubería

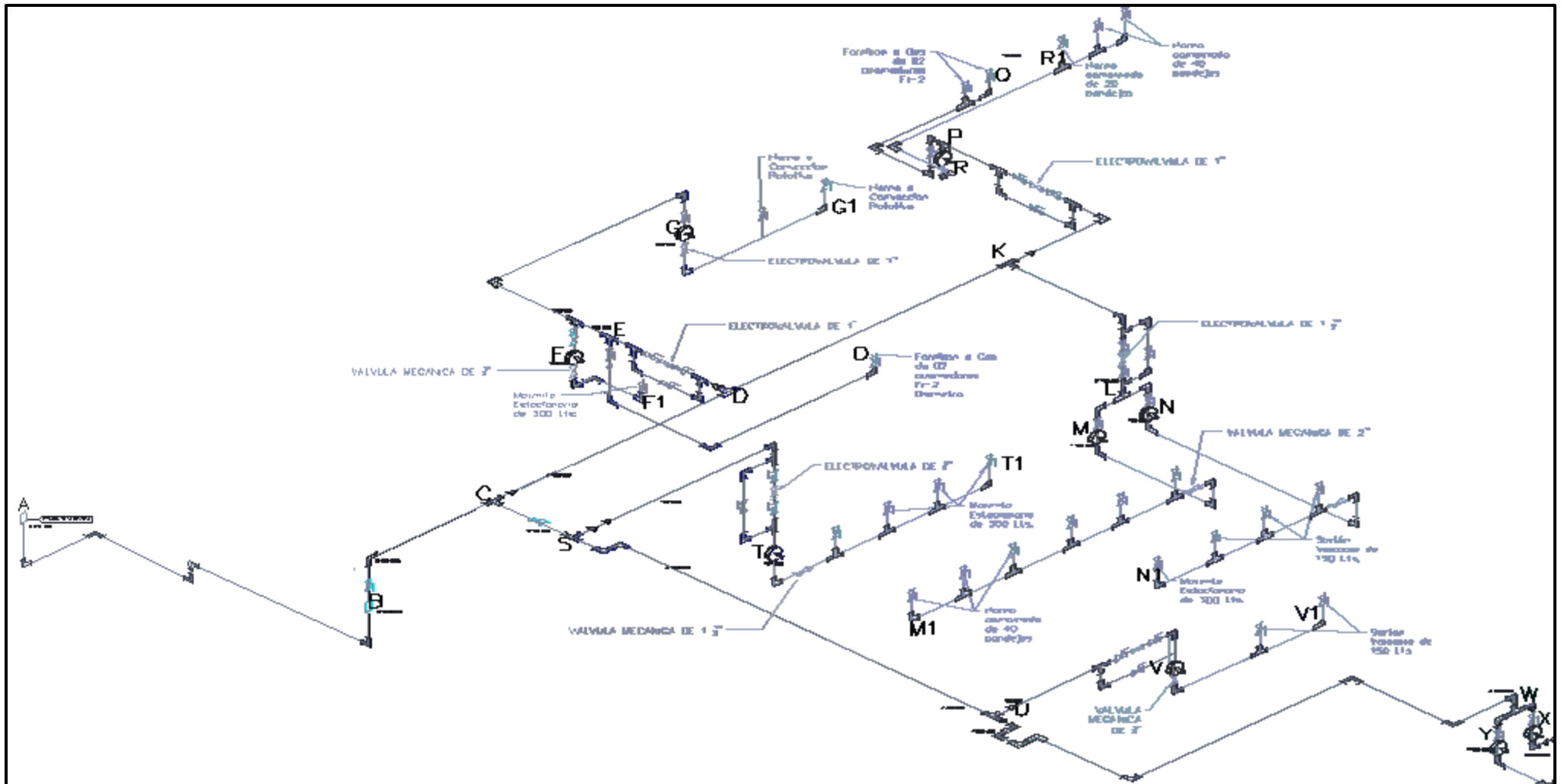
### 4.2.1 *Diagrama de distribución*

La distribución de la tubería se realiza en dos partes:

- La Zona de tanques: comprende la distribución de la línea de alta presión
- Edificio multipropósito: comprende la distribución de la línea de media y baja presión

En la figura siguiente, se presenta un diagrama de distribución que brinda una visión detallada de la línea de media presión (MP). Esta abarca desde la salida del regulador de primera etapa (punto A) hasta la entrada de los reguladores de segunda etapa (puntos X, Y, T, M, N, F, G, R). A su vez, la línea de baja presión se extiende desde la salida de los reguladores de segunda etapa hasta la conexión con los equipos de consumo. Este ingenioso esquema alimenta a 25 puntos de consumo estratégicos, ilustrando de manera clara la eficiente distribución de la presión en todo el sistema.

Figura 47: Diagrama de distribución; línea de media y baja presión.



Fuente: Elaboración propia del autor.

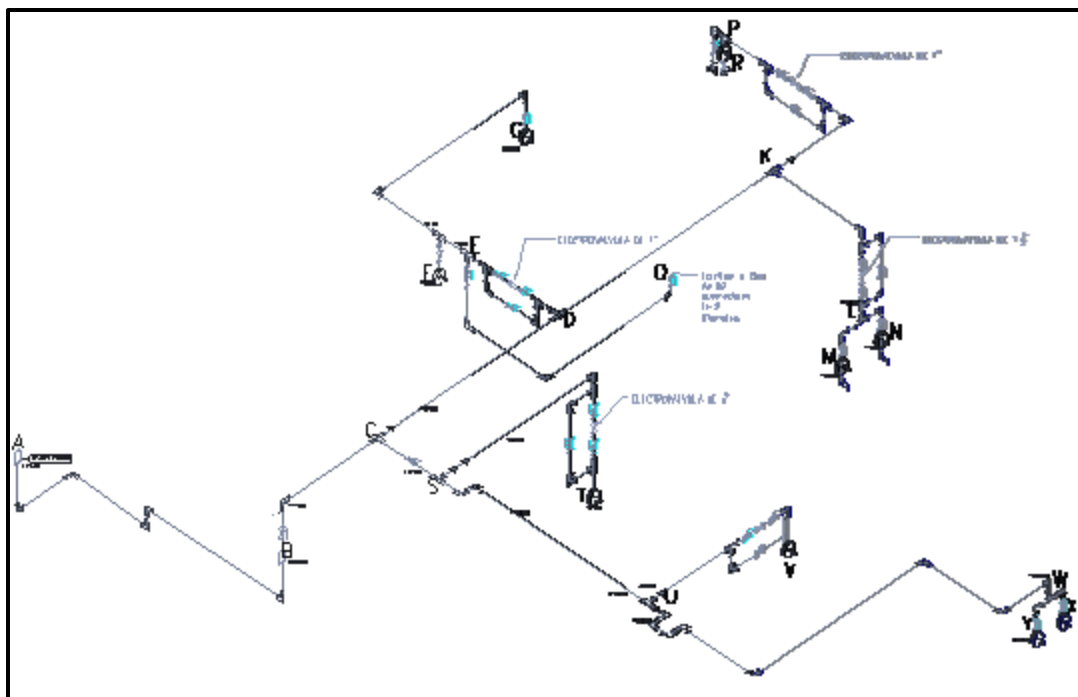
#### 4.2.2 El Método de mayor longitud (NFPA54 gráfico)

Este método de cálculo es bastante práctico para el dimensionamiento de tuberías. El tamaño de cada sección de la tubería de gas, se debe determinar utilizando la mayor longitud de tubería desde el punto de entrega, hasta la salida más lejana y la demanda de la sección. Este método es muy práctico y rápido para dimensionamiento de tuberías de MP y BP. La NFPA 54 nos proporciona una serie de tablas donde nos brinda los diámetros de las tuberías, en función de la longitud y la potencia de consumo. Con estos dos valores se obtiene el diámetro óptimo para cada tramo especificado. En la figura N°51 se puede observar la distribución de la línea de MP

Datos:

- Longitud más lejana: es la distancia más larga desde el punto de entrega, hasta la salida más lejana, medido en (pies).
- Potencia de consumo en el punto más lejano en (BTU/H).

**Figura 48:** Diagrama de distribución de la línea de media presión



*Fuente: elaboración propia del autor*



#### **4.2.2.1 Dimensionamiento en la línea de media presión (MP)**

Para un análisis detallado, la red de media presión se dividirá en cuatro tramos los cuales se describen de la siguiente manera. En la figura N°49 se puede observar la distribución de la línea de MP

##### **Tramo analizado 01.**

Esta tubería abarca varios tramos, incluyendo W-U, U-V, S-W, S-T, S-C. El tramo más extenso es A-W, que tiene una longitud de 150 metros (492 pies) y una demanda de consumo de 4, 000,000 BTU/H hasta el punto W. Para determinar el diámetro del tramo U-W, se consultan los valores en la tabla N°2 del anexo 01, utilizando estos datos como referencia. El mismo procedimiento se repite para dimensionar los demás tramos, siempre tomando el punto A como punto de partida.

##### **Tramo analizado 02.**

Esta tubería se compone de los tramos Q-P, P-R, P-K, siendo el más extenso el tramo A-Q, con 140 metros (459 pies) de longitud. La demanda de consumo en el punto Q es de 272,000 BTU/H. Utilizando estos valores, consultamos la tabla N°2 del anexo 01 para determinar el diámetro del tramo Q-P. Este proceso se repite para los demás tramos, siempre tomando el punto A como referencia

##### **Tramo analizado 03.**

Esta tubería incluye los tramos I-M, L-M, L-K, K-D, siendo el más largo el tramo A-L, con una longitud de 108 metros (354 pies). La demanda de consumo en el punto L es de 790,000 BTU/H. Consultando la tabla N°2 del anexo 01, determinamos el diámetro del tramo K-L. El mismo enfoque se aplica a los tramos restantes, con el punto A como punto de partida.



### Tramo analizado 04

Esta tubería abarca los tramos G-F, F-E, D-E, C-D, B-C, A-B, siendo el tramo A-G el más extenso, con 118.5 metros (389 pies) de longitud. La demanda de consumo en el punto G es de 600,000 BTU/H. Verificamos en la tabla N°2 del anexo 01 para determinar el diámetro del tramo G-F. Este proceso se repite para los demás tramos, siempre tomando el punto A como referencia.

### Cuadro de resumen de los diámetros obtenidos de la línea de media presión

*Tabla 33: Tabla de resumen de resultados.*

| Tramo | Lr(m) | Le(m) | Lp(m) | Lp(pies) | btu/h     | m <sup>3</sup> /<br>h | pies <sup>3</sup> /h | Dn(pulg) |
|-------|-------|-------|-------|----------|-----------|-----------------------|----------------------|----------|
| A-B   | 65.0  | 78.0  | 65.0  | 213      | 9,939,000 | 103.5                 | 3656.18              | 1 1/2    |
| B-C   | 25.0  | 30.0  | 90.0  | 295      | 9,939,000 | 103.5                 | 3656.18              | 1 1/2    |
| C-D   | 6.0   | 7.2   | 96.0  | 315      | 4,755,000 | 49.5                  | 1749.18              | 1 1/4    |
| D-E   | 2.5   | 3.0   | 98.5  | 323      | 926,000   | 9.6                   | 340.64               | 3/4      |
| E-O   | 6.3   | 7.6   | 104.8 | 344      | 136,000   | 1.4                   | 50.03                | 1/2      |
| E-F   | 1.0   | 1.2   | 99.5  | 326      | 790,000   | 8.2                   | 290.61               | 3/4      |
| F-G   | 19.0  | 22.8  | 118.5 | 389      | 600,000   | 6.3                   | 220.72               | 1/2      |
| D-K   | 7.0   | 8.4   | 96.0  | 315      | 3,829,000 | 39.9                  | 1408.54              | 1 1/4    |
| K-L   | 4.0   | 4.8   | 107.0 | 351      | 2,758,000 | 28.7                  | 1014.56              | 1 1/4    |
| L-M   | 1.0   | 1.2   | 108.0 | 354      | 1,968,000 | 20.5                  | 723.95               | 1        |
| L-N   | 1.0   | 1.2   | 108.0 | 354      | 790,000   | 8.2                   | 290.61               | 3/4      |
| K-P   | 28.0  | 33.6  | 103.0 | 338      | 1,071,000 | 11.2                  | 393.98               | 3/4      |
| P-R   | 2.0   | 2.4   | 132.0 | 433      | 799,000   | 8.3                   | 293.92               | 3/4      |
| P-Q   | 9.0   | 10.8  | 140.0 | 459      | 272,000   | 2.8                   | 100.06               | 1/2      |
| C-S   | 3     | 3.6   | 93.0  | 305      | 5,184,000 | 54.0                  | 1906.99              | 1 1/4    |
| S-T   | 3.5   | 4.2   | 96.6  | 317      | 784,000   | 8.2                   | 288.40               | 3/4      |
| S-U   | 15.0  | 18.0  | 93.0  | 305      | 4,400,000 | 45.8                  | 1618.59              | 1 1/4    |
| U-V   | 5.0   | 6.0   | 113.0 | 370      | 400,000   | 4.2                   | 147.14               | 1/2      |
| U-W   | 42    | 50.4  | 150.0 | 492      | 4,000,000 | 41.7                  | 1471.45              | 1 1/4    |

*(Fuente: Elaboración propia del autor.)*

#### 4.2.2.2 Dimensionamiento de la línea de baja presión

Para el cálculo de línea de baja presión se tomara el mismo procedimiento utilizados para la línea de media presión. Como datos de partida se tiene que la

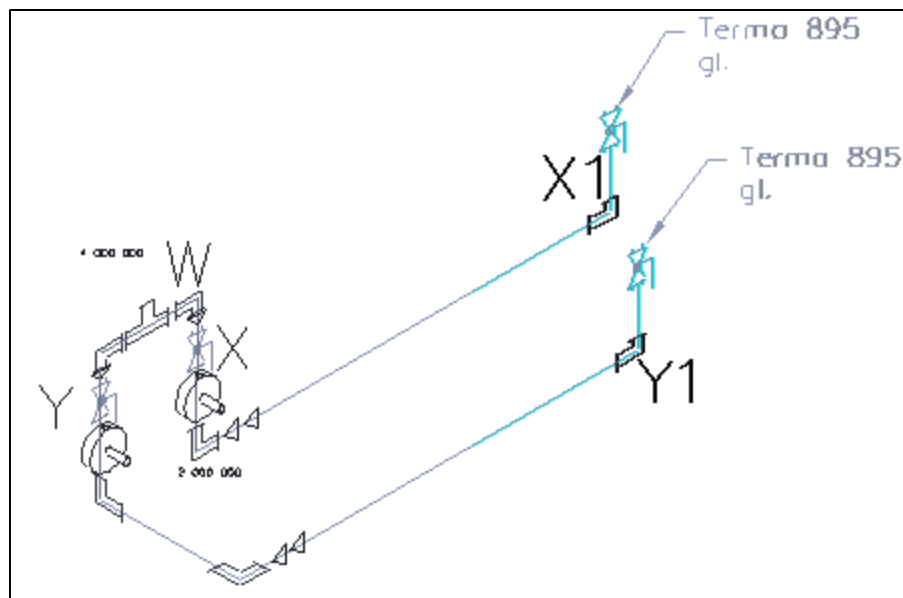
presión a la salida del regulador de segunda etapa es de 11 in H<sub>2</sub>O con una caída de presión máxima hasta llegar a los equipos de consumo de 0.5 in H<sub>2</sub>O. (NFPA 54, 2014, pág. 60)

En la tabla N°2 del anexo 01 se muestra los valores de los diámetros para tuberías de baja presión, para un análisis a detalle se divide cada tramos tal como se muestra en las siguientes figuras.

### Tramo X1-X; Y1-Y

Este tramo de la tubería tiene un punto de consumo, el cual tiene una longitud de 6 metros o (9.81pies) y una demanda de consumo 2 000 000 BTU/H. con estos dos valores se verifica en la tabla N°2 y se obtiene un diámetro de 2 pulg para los tramos X1-X; Y1-Y. En la siguiente figura se puede observar la distribución propuesta.

**Figura 49:** Línea de baja presión, comprende tramos X1-X, Y-Y1



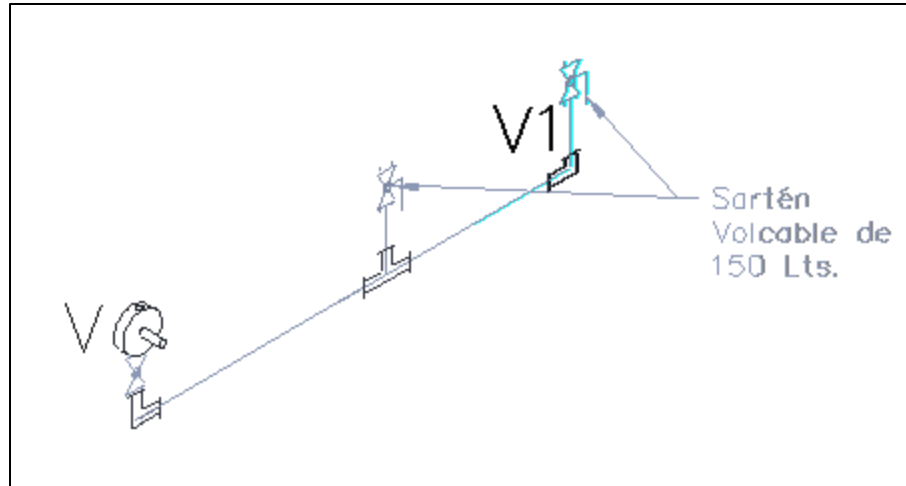
(Elaboración propia)

### Tramo V1-V

Este tramo de la tubería tiene dos puntos de consumo el cual tiene una longitud de equivalente de 7 metros o (22.95pies) y una demanda de consumo 400 000

BTU/H. con estos dos valores se verifica en la tabla N°2 y se obtiene un diámetro de 1 pulg. En la siguiente figura se puede observar la distribución propuesta.

**Figura 50:** línea de baja presión, comprende tramos X1-X, Y-Y1

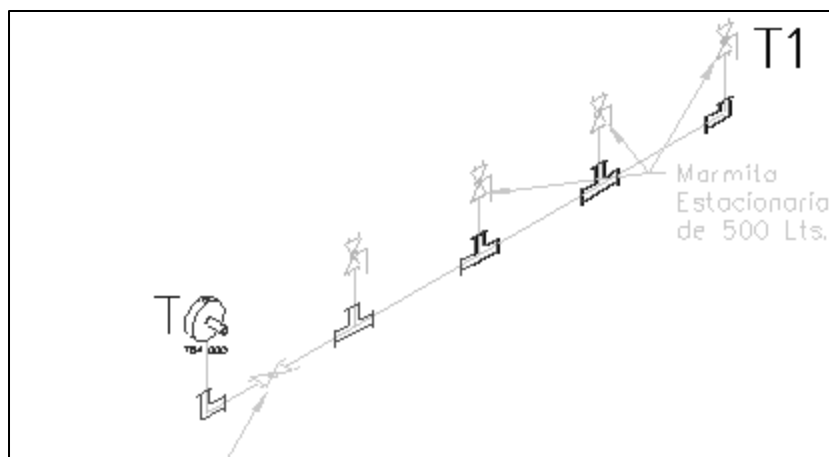


*Fuente: elaboración propia del autor*

### Tramo T1-T

Este tramo de la tubería tiene unos cuatro puntos de consumo donde el equipo más lejano tiene una longitud equivalente de 8 metros o (26.23pies) y una demanda de consumo 784 000 BTU/H. con estos dos valores se verifica en la tabla N°2 y se obtiene un diámetro de 1 1/4pulg para los tramos T1-T. En la siguiente figura se puede observar la distribución propuesta.

**Figura 51:** Línea de baja presión, comprende tramos T-T1

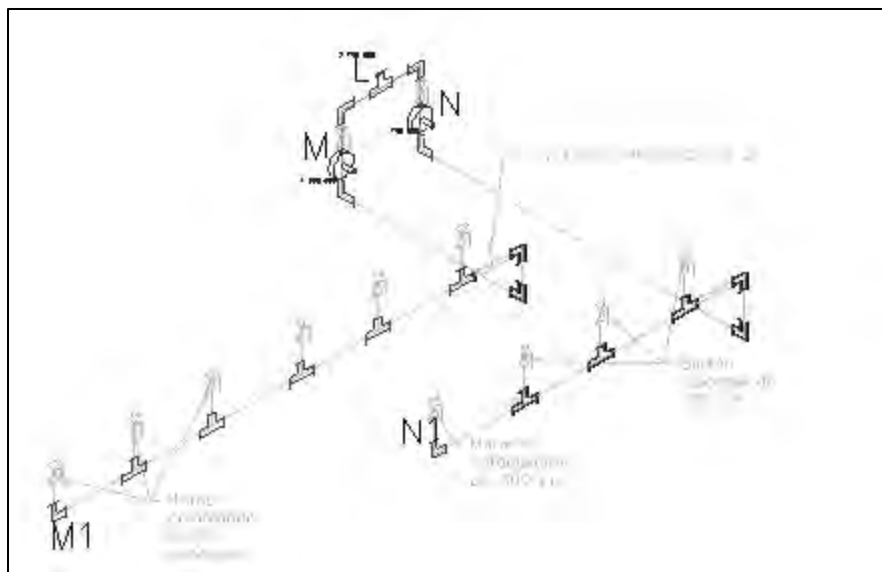


*(Elaboración propia del autor.)*

### Tramo N1-N, M1-M

Este tramo de la tubería tiene seis puntos de consumo donde el equipo más lejano tiene una longitud equivalente de 59 metros o (790pies) y una demanda de consumo 790 000 BTU/H. con estos dos valores se verifica en la tabla N°2 y se obtiene un diámetro de 1 1/2pulg para los tramos V1-V. En la siguiente figura se puede observar la distribución propuesta.

*Figura 52: Línea de baja presión, comprende tramos M-M1, N-N1*

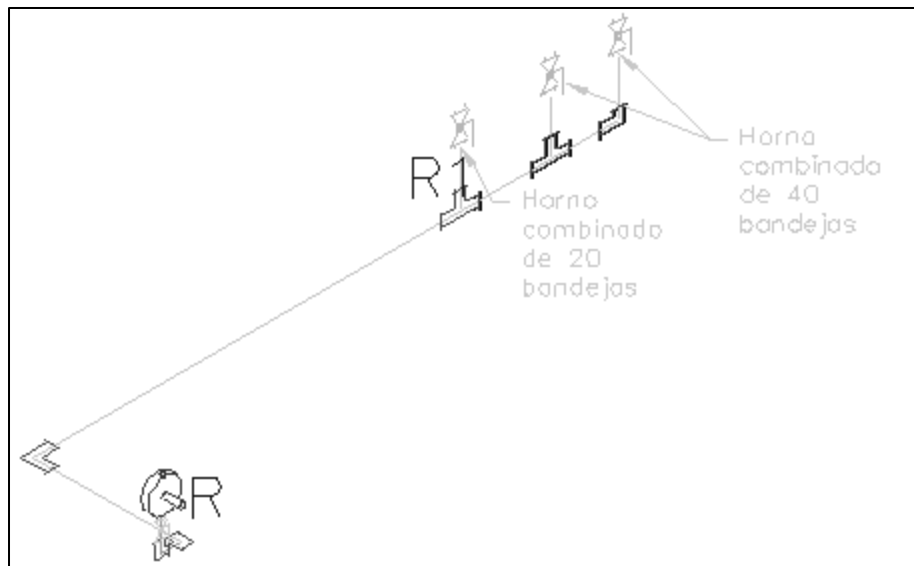


*(Elaboración propia del autor)*

### Tramo R1-R

Este tramo de la tubería tiene tres puntos de consumo donde el equipo más lejano tiene una longitud equivalente de 12 metros o (39.34pies) y una demanda de consumo 799 000 BTU/H. Con estos dos valores se verifica en la tabla N°2 y se obtiene un diámetro de 1 1/4pulg para los tramos R1-R. En la siguiente figura se puede observar la distribución propuesta.

**Figura 53:** Línea de baja presión comprende el tramo R-R1

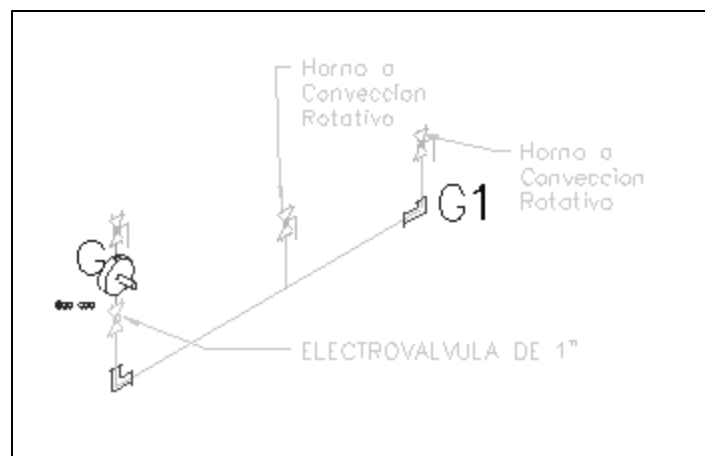


(Fuente: Elaboración propia del autor)

### Tramo G1-G

Este tramo de la tubería tiene dos puntos de consumo donde el equipo más lejano tiene una longitud equivalente de 6 metros (16.39pies) y una demanda de consumo 600 000 BTU/H. con estos dos valores se verifica en la tabla N°2 y se obtiene un diámetro de 1pulg Para los tramos G1-G .En la siguiente figura se puede observar la distribución propuesta.

**Figura 54:** Línea de baja presión comprende el tramo G-G1

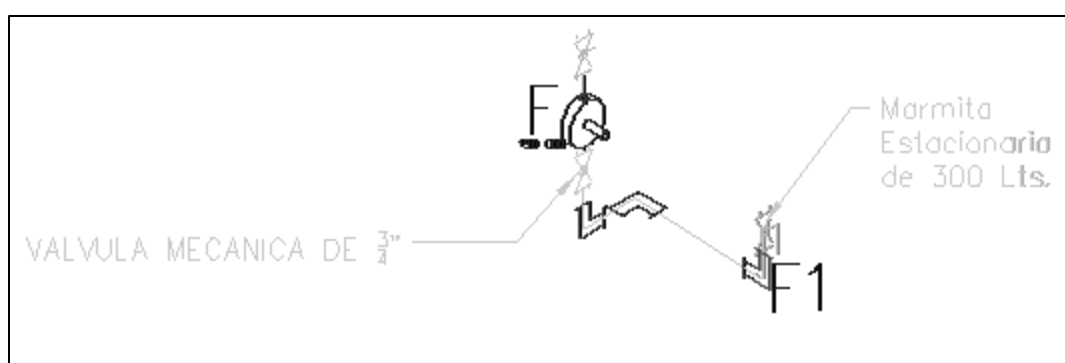


(Fuente: Elaboración propia del autor)

### Tramo F1-F

Este tramo de la tubería tiene dos puntos de consumo donde el equipo más lejano tiene una longitud equivalente de 3 metros (9.84pies) y una demanda de consumo 190 000 BTU/H. con estos dos valores se verifica en la tabla N°2 y se obtiene un diámetro de 3/4pulg, para los tramos F1-F .En la siguiente figura se puede observar la distribución propuesta.

**Figura 55:** Línea de baja presión comprende el tramo G-G1



(Fuente: Elaboración propia del autor)

#### 4.2.2.3 Cuadro de resumen de los diámetros obtenidos de la línea de baja presión

**Tabla 34:** resumen de resultados.

| Tramo | $L_r(m)$ | $L_e(m)$ | $L_p(m)$ | $L_p(pies)$ | $btu/h$   | $m^3/h$ | $pies^3/h$ |
|-------|----------|----------|----------|-------------|-----------|---------|------------|
| F-F1  | 3.00     | 3.60     | 3.00     | 9.84        | 190,000   | 73.92   | 3/4        |
| G-G1  | 5.00     | 6.00     | 5.00     | 16.39       | 600,000   | 233.42  | 1          |
| R-R1  | 12.00    | 14.40    | 12.00    | 39.34       | 799,000   | 310.83  | 1 1/4      |
| M-M1  | 18.00    | 21.60    | 18.00    | 59.02       | 1,968,000 | 765.61  | 2          |
| N-N1  | 18.00    | 21.60    | 18.00    | 59.02       | 790,000   | 307.33  | 1 1/2      |
| T-T1  | 8.00     | 9.60     | 8.00     | 26.23       | 784,000   | 305.00  | 1 1/4      |
| V-V1  | 7.00     | 8.40     | 7.00     | 22.95       | 400,000   | 155.61  | 1          |
| X-X1  | 5.00     | 6.00     | 6.00     | 19.67       | 2,000,000 | 778.06  | 2          |
| Y-Y1  | 5.00     | 6.00     | 6.00     | 19.67       | 2,000,000 | 778.06  | 2          |

(Fuente: Elaboración propia del autor)



#### 4.2.3 Dimensionamiento del diámetro con la ecuación de RENUAR-UNE

60.621 – 196

##### 4.2.3.1 Dimensionamiento en la línea de media presión- Renouard

La norma española UNE 60.621/196 proporciona una ecuación cuadrática que establece una relación entre la caída de presión, el diámetro, la longitud equivalente y el caudal. Para lograr resultados óptimos, es necesario seguir ciertos lineamientos específicos definidos por esta norma

- La relación entre caudal y el diámetro tiene que ser menor que 150 ( $Q/D < 150$ ).
- Numero Reynolds debe ser menor a  $2 \times 10^5$  ( $Re < 2 \times 10^5$ ).
- Las pérdidas de carga no deben superar el 25% en la línea de media presión.
- La velocidad tiene que ser menor a 10m/s para instalaciones individuales.

Para resolver las ecuaciones de RENAULT se tiene que realizar varias iteraciones, los resultados obtenidos tienen que cumplir los lineamientos anteriormente mencionados, teniendo como datos de diseño el caudal, la densidad del gas, longitud equivalente y la presión de entrada.

##### Cálculo del diámetro A-B

Para encontrar la solución a esta ecuación, se requiere realizar varias iteraciones, comenzando con un diámetro asumido como punto de partida. En este proceso, utilizaremos las ecuaciones (38), (39) y (40) del capítulo II.

$$P_1^2 - P_2^2 = 48.600 * ds * Le * \frac{Q^{1.82}}{D^{4.92}}$$

$$\frac{Q}{D} \leq 150$$

$$R = T * \frac{Q}{D} \leq 2 * 10^6.$$

Donde:

*T: es una constante de proporcionalidad ( para el GLP es 72000);*



$D$ : diametro interior asumido; 32mm;

$Q$ : caudal, 103.53 m<sup>3</sup>/h;

$L_e$ : longitud equivaente, 78 m;

$d_s$ : densidad relativa del gas, 1.26;

$P_{atm}$ : presion atmosferica local; 66kpa

$P_e$ : presion manométrica a la salida del regulador de primera etapa(1.054 kg/cm<sup>2</sup>).

- Primera iteración, asumiendo un diámetro interno  $D=32$ mm:

$$P_1 = P_{atm} + P_e = 2.087 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_1^2 - P_2^2 = 48.600 * 1.26 * 78 * \frac{103.53^{1.82}}{32^{4.92}}$$

$$P_1^2 - P_2^2 = 2.23$$

$$P_2 = \sqrt{2.087^2 - 2.23} = 1.455 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

La velocidad del flujo para MP, dado por: (López Sopeña, 2001, pág. 97)

$$V = 378.04 * \frac{Q}{P * D^2},$$

Donde:

$P$ : presión absoluta promedio en la línea.

$$P = \frac{P_1 + P_2}{2} = 1.73 \text{ bar}$$

$$V = 378.04 * \frac{103.53}{1.73 * 32^2} = 26.7 \text{ m/s} > 10 \text{ m/s}; \text{ no cumple}$$

$$\Delta P = \frac{(P_{1manometrica} - P_{2manometrica})}{P_{1manometrica}}$$

$$\Delta P = 103.33\% > 25\%; \text{ no cumple.}$$

- Segunda iteración: Asumimos un diámetro mayor  $D=51.4$ mm.

$$P_1^2 - P_2^2 = 48.600 * 1.26 * 78 * \frac{103.53^{1.82}}{51.4^{4.92}}$$



$$P_1^2 - P_2^2 = 0.125$$

$$P_2 = \sqrt{2.087^2 - 0.125} = 2.057 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_{2\text{relativo}} = 2.057 - 1.054 = 1.024 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_{1\text{relativo}} = 1.054 \text{ kg/cm}^2$$

$$V = 378.04 * \frac{Q}{P * D^2}$$

$$P = \frac{P_1 + P_2}{2} = 2.075 \text{ bar}$$

$$V = 378.04 * \frac{103.53}{1.5132 * 51.4^2} = \frac{5.8 \text{ m}}{\text{s}} < 10 \text{ m/s}; \text{ si cumple}$$

$$\Delta P = \frac{(P_{1\text{manometrica}} - P_{2\text{manometrica}})}{P_{1\text{manometrica}}}$$

$$\Delta P = 1.91\% < 25\% ; \text{ si cumple}$$

El tramo de la tubería A-B será de tubería HDPE por ser un tramo enterrado con un diámetro interior de 51.4mm. En la tabla N° (58) se puede observar que le corresponde un diámetro nominal de 63mm.

**Tabla 35: Diámetros nominales para tubería HDP**

| Dn(mm) | Di (mm) |
|--------|---------|
| 25     | 19      |
| 32     | 26      |
| 63     | 51.4    |
| 90     | 73.6    |
| 110    | 90      |
| 160    | 130.8   |

Fuente: Propia

### Calculo del diámetro B-C

Este tramo de la tubería, es área. Comprende desde el punto donde conectan la transición HDP (punto B).



Donde:

$D$ : diametro interior asumido ;52.5mm,

$Q$ : caudal, 103.53 m<sup>3</sup>/h,

$P_1$ :presion aguas arriba absoluta,2.057 kg/cm<sup>2</sup> ,

$P_2$ :presion aguas abajo absoluta, kg/cm<sup>2</sup> ,

$L$ : longitud equivaente,30 m,

$ds$ : dencidad relativa del gas,1.26.

Calculamos la caída de presión cuadrática

$$P_1^2 - P_2^2 = 48.600 * 1.26 * 30 * \frac{103.53^{1.82}}{52.5^{4.92}}$$

$$P_1^2 - P_2^2 = 0.436$$

$$P_2 = \sqrt{2.087^2 - 0.436} = 2.046 \text{ kg/cm}^2$$

$$V = 378.04 * \frac{Q}{P * D^2}$$

$$P = (P_1 + P_2)/2$$

$$V = 378.04 * \frac{103.53}{2.0124 * 52.4^2} = 5.6 \text{ m/s} < 10 \text{ m/s}; \text{ sí cumple}$$

$$\Delta P = \frac{(P_{1\text{relativa}} - P_{2\text{relativo}})}{P_{1\text{relativa}}}$$

$$\Delta P = 2.58\% < 25\% ; \text{ sí cumple.}$$

El tramo B-C será de tubería SCH80 con diámetro interior 52.50, en la tabla siguiente se puede verificar que le corresponde un diámetro nominal de 2Pulg

**Tabla 36:** Diámetros nominales para tubería SCH80

| Dn(mm) | Di (mm) |
|--------|---------|
| ¼      | 9.25    |
| ½      | 15.80   |
| ¾      | 20.93   |



---

|                 |       |
|-----------------|-------|
| 1               | 26.64 |
| 1 $\frac{1}{4}$ | 35.05 |
| 1 $\frac{1}{2}$ | 40.89 |
| 2               | 52.50 |
| 2 $\frac{1}{2}$ | 62.71 |

---

Siguiendo el mismo procedimiento se calcula los tramos restantes. En el cuadro siguiente se muestran los resultados obtenidos con una hoja de Excel

**Cuadro de cálculo de Excel para línea de media presión****Tabla 37: diámetros nominales calculados**

| Tramo | L(m) | BTU/h     | $\frac{m^3}{h}$ | $\phi$ (pulg) | $P1_{abs}$ (kg/cm <sup>2</sup> ) | $P2_{abs}$ (kg/cm <sup>2</sup> ) | $P2_{mano}$ | $\Delta P/P$ | $\Delta P/P$ % Acumulado | Q / D <150 | R = T x Q / D < | m/s |
|-------|------|-----------|-----------------|---------------|----------------------------------|----------------------------------|-------------|--------------|--------------------------|------------|-----------------|-----|
| A-B   | 65.0 | 9,939,000 | 82.83           | 63            | 2.087                            | 2.067                            | 1.034       | 1.91%        | 1.91%                    | 1.611      | 116019          | 5.8 |
| B-C   | 25.0 | 9,939,000 | 82.83           | 2             | 2.067                            | 2.060                            | 1.027       | 0.68%        | 2.58%                    | 1.578      | 113589          | 5.6 |
| C-D   | 6.0  | 4,755,000 | 39.63           | 1 1/2         | 2.060                            | 2.058                            | 1.025       | 0.14%        | 2.72%                    | 0.969      | 69773           | 4.4 |
| D-E   | 2.5  | 926,000   | 7.72            | 1             | 2.058                            | 2.058                            | 1.025       | 0.02%        | 2.75%                    | 0.290      | 20856           | 2.0 |
| E-O   | 6.3  | 136,000   | 1.13            | 1/2           | 2.058                            | 2.058                            | 1.025       | 0.02%        | 2.77%                    | 0.072      | 5165            | 0.9 |
| E-F   | 1.0  | 790,000   | 6.58            | 1             | 2.058                            | 2.058                            | 1.025       | 0.01%        | 2.78%                    | 0.247      | 17793           | 1.7 |
| F-G   | 19.0 | 600,000   | 5.00            | 1             | 2.058                            | 2.057                            | 1.024       | 0.08%        | 2.86%                    | 0.188      | 13514           | 1.3 |
| D-K   | 7.0  | 3,829,000 | 31.91           | 1 1/2         | 2.057                            | 2.056                            | 1.023       | 0.11%        | 2.97%                    | 0.780      | 56185           | 3.6 |
| K-L   | 4.0  | 2,758,000 | 22.98           | 1 1/2         | 2.056                            | 2.055                            | 1.022       | 0.04%        | 3.00%                    | 0.562      | 40470           | 2.6 |
| L-M   | 1.0  | 1,968,000 | 16.40           | 1             | 2.055                            | 2.055                            | 1.022       | 0.04%        | 3.04%                    | 0.616      | 44324           | 4.3 |
| L-N   | 1.0  | 790,000   | 6.58            | 1             | 2.055                            | 2.055                            | 1.022       | 0.01%        | 3.05%                    | 0.247      | 17793           | 1.7 |
| K-P   | 28.0 | 1,071,000 | 8.93            | 1             | 2.055                            | 2.051                            | 1.018       | 0.35%        | 3.39%                    | 0.335      | 24122           | 2.4 |
| P-R   | 2.0  | 799,000   | 6.66            | 3/4           | 2.051                            | 2.051                            | 1.018       | 0.05%        | 3.44%                    | 0.318      | 22905           | 2.9 |
| P-Q   | 9.0  | 272,000   | 2.27            | 1/2           | 2.051                            | 2.050                            | 1.017       | 0.12%        | 3.55%                    | 0.143      | 10329           | 1.7 |
| C-S   | 3    | 5,184,000 | 43.20           | 2             | 2.050                            | 2.049                            | 1.016       | 0.03%        | 3.57%                    | 0.823      | 59246           | 2.9 |
| S-T   | 3.5  | 784,000   | 6.53            | 1             | 2.049                            | 2.049                            | 1.016       | 0.03%        | 3.60%                    | 0.245      | 17658           | 1.7 |
| S-U   | 15.0 | 4,400,000 | 36.67           | 1 1/2         | 2.049                            | 2.046                            | 1.013       | 0.32%        | 3.91%                    | 0.897      | 64563           | 4.1 |
| U-V   | 5.0  | 400,000   | 3.33            | 3/4           | 2.046                            | 2.046                            | 1.013       | 0.03%        | 3.94%                    | 0.159      | 11467           | 1.4 |
| U-W   | 42   | 4,000,000 | 33.33           | 1 1/2         | 2.046                            | 2.038                            | 1.005       | 0.75%        | 4.63%                    | 0.815      | 58694           | 3.8 |
| W-Y   | 2    | 2,000,000 | 16.67           | 1 1/2         | 2.038                            | 2.038                            | 1.005       | 0.01%        | 4.64%                    | 0.408      | 29347           | 1.9 |
| W-X   | 2    | 2,000,000 | 16.67           | 1 1/2         | 2.038                            | 2.038                            | 1.005       | 0.01%        | 4.64%                    | 0.408      | 29347           | 1.9 |

*Fuente propia*



#### 4.2.3.2 Dimensionamiento en la Línea de baja presión.

La norma UNE 60.621/196 presenta una ecuación lineal que vincula la caída de presión con el diámetro, la longitud equivalente y el caudal. Es esencial cumplir con ciertos criterios para obtener resultados óptimos. La relación entre el caudal y el diámetro debe ser menor que 150 ( $Q/D < 150$ ), con una caída de presión que no supere el 5% y una velocidad de flujo por debajo de 10 m/s para instalaciones individuales.

La resolución de las ecuaciones de RENOARD implica varias iteraciones, y los resultados obtenidos deben cumplir con los criterios mencionados anteriormente. Para ello, se utilizan datos de diseño como el caudal, la densidad del gas, la longitud equivalente y la presión de entrada

##### Calculo tramo F-F1

Datos:

$T$ : es una constante de proporcionalidad ,para el GLP es ; 72000,

$R$ : número de reynold,

$D$ : diámetro interior asumido ; 20.93mm,

$Q$ : Caudal, 2.9 m<sup>3</sup>/h.

$P_1$ : presión aguas arriba absoluta, 11inH<sub>2</sub>O o 279.40mmH<sub>2</sub>O,

$P_2$ : presión aguas abajo, mmH<sub>2</sub>O,

$L$ : longitud equivalente, 3.6 m,

$ds$ : densidad relativa del gas, 1.26,

$P_{atm}$ : presión atmosférica local, 10332.26mmH<sub>2</sub>O

$P_{2e}$ : presión manométrica a la salida del regulador de segunda etapa(279.4mmH<sub>2</sub>O)



\*Cálculo de caída de presión para un diámetro inicial  $D=20.93\text{mm}$

$$P_1 = P_{atm} + P_{2e} = 10611.88\text{mmH}_2\text{O}$$

$$P_1 - P_2 = 212000 \times ds \times L \times \frac{Q^{1.82}}{D^{4.92}}$$

$$P_1 - P_2 = 212000 * 1.26 * 3.6 * \frac{2.9^{1.82}}{20.93^{4.92}}$$

$$P_2 = 10610.70\text{mmH}_2\text{O}$$

$$P_{2manometrica} = 278.44\text{mmH}_2\text{O}$$

$$P_{2manometrica} = P_{2e} = 279.4\text{mmH}_2\text{O}$$

La velocidad del flujo para BP dado por: (López Sopena, 2001, pág. 97)

$$V = 360 * \frac{Q}{D^2}$$

$$V = 360 \frac{2.9}{20.93^2} = 1.3\text{m/s} < 5\text{m/s}; \text{Si cumple}$$

$$\Delta P = \frac{(P_{1relativa} - P_{2relativo})}{P_{1relativa}}$$

$$\Delta P = 0.34\% < 5\% ; \text{si cumple}$$

### Cálculo tramo G-G1

Datos:

$D$ : diámetro interior asumido ;  $26.64\text{mm}$ ,

$Q$ : Caudal,  $5 \text{ m}^3/\text{h}$ ,

$P_1$ : presión aguas arriba absoluta,

$P_2$ : presión aguas abajo,  $\text{mmH}_2\text{O}$ ,

$L$ : longitud equivalente,  $6 \text{ m}$ ,

$ds$ : densidad relativa del gas,  $1.26$ ,

$P_{atm}$ : presión atmosférica local,  $10332.26\text{mmH}_2\text{O}$

$P_{2e}$ : presión manométrica a la salida del regulador de segunda etapa ( $279.4\text{mmH}_2\text{O}$ )

**Cálculo de caída de presión para un diámetro inicial D=20.93mm.**

$$P_1 = P_{atm} + P_{2e} = 10611.88 \text{ mmH}_2\text{O}$$

$$P_1 - P_2 = 212000 \times ds \times L \times \frac{Q^{1.82}}{D^{4.92}}$$

$$P_1 - P_2 = 212000 * 1.26 * 6 * \frac{5^{1.82}}{26.64^{4.92}}$$

$$P_2 = 10607.70 \text{ mmH}_2\text{O}$$

$$P_{2manometrica} = 275.36 \text{ mmH}_2\text{O}$$

$$P_{2manometrica} = P_{2e} = 279.4 \text{ mmH}_2\text{O}.$$

La velocidad del flujo para BP dado por: (López Sopena, 2001, pág. 97)

$$V = 360 * \frac{Q}{D^2}$$

$$V = 360 \frac{2.9}{20.93^2} = 2.53 \text{ m/s} < 5 \text{ m/s}; \text{ Sí cumple}$$

$$\Delta P = \frac{(P_{1relativa} - P_{2relativo})}{P_{1relativa}}$$

$$\Delta P = 1.4\% < 5\% ; \text{ sí cumple.}$$

El tramo G1-G será de tubería SCH80 con diámetro interior 20.93, en la tabla N°52 se puede verificar que le corresponde un diámetro nominal de 3/4Pu. Siguiendo el mismo procedimiento se calcula los tramos restantes en la tabla (53) se muestra los resultados obtenidos

**Tabla 38: Diámetros nominales calculados- línea de BP**

| Tramo | L(m)  | BTU/h     | $\frac{m^3}{h}$ | $\phi$ (pulg) | P1 <sub>abs</sub><br>mmH <sub>2</sub> O | Tramo    | P2 <sub>mano</sub><br>mmH <sub>2</sub> O | $\Delta P/P$ | R<= 2 x106 | ( m/s)   |
|-------|-------|-----------|-----------------|---------------|---|----------|--|--------------|------------|----------|
| F-F1  | 3.00  | 190,000   | 1.58            | 3/4           | 10611.66                                | 10610.70 | 278.44                                   | 0.34%        | 5446.72719 | 1.301177 |
| G-G1  | 5.00  | 600,000   | 5.00            | 1             | 10611.66                                | 10607.62 | 275.36                                   | 1.44%        | 13513.5135 | 2.53632  |
| R-R1  | 12.00 | 799,000   | 6.66            | 1 1/2         | 10611.66                                | 10609.59 | 277.33                                   | 0.74%        | 11724.1379 | 1.433619 |
| M-M1  | 18.00 | 1,968,000 | 16.40           | 2             | 10611.66                                | 10606.86 | 274.60                                   | 1.72%        | 22491.4286 | 2.142041 |
| N-N1  | 18.00 | 790,000   | 8.23            | 1 1/2         | 10611.66                                | 10607.10 | 274.84                                   | 1.63%        | 14490.0954 | 1.771839 |
| T-T1  | 8.00  | 784,000   | 6.53            | 1 1/2         | 10611.66                                | 10610.33 | 278.07                                   | 0.48%        | 11504.0352 | 1.406705 |
| V-V1  | 7.00  | 400,000   | 3.33            | 1             | 10611.66                                | 10608.96 | 276.70                                   | 0.97%        | 9009.00901 | 1.69088  |



|      |      |           |       |   |          |          |        |       |            |          |
|------|------|-----------|-------|---|----------|----------|--------|-------|------------|----------|
| X-X1 | 5.00 | 2,000,000 | 16.67 | 2 | 10611.66 | 10610.29 | 278.03 | 0.49% | 22857.1429 | 2.176871 |
| Y-Y1 | 5.00 | 2,000,000 | 16.67 | 2 | 10611.66 | 10610.29 | 278.03 | 0.49% | 22857.1429 | 2.176871 |

#### 4.2.4 Dimensionamiento del diámetro con la ecuación de Müller- NFP58

##### 4.2.4.1 Línea de media presión

La NFP58 nos proporciona una ecuación cuadrática, donde la caída de presión es directamente proporcional al caudal e inversamente proporcional al diámetro, esta ecuación relaciona el coeficiente de fricción con la viscosidad del fluido

$$D = \frac{Q^{0.381}}{18.93 * \left( \frac{(P_1^2 - P_2^2) * Y}{C_r * L} \right)^{0.206}}$$

Esta expresión se puede adecuar de la siguiente manera para facilitar la solución.

$$P_1^2 - P_2^2 = 7.93 * 10^{-7} * \frac{C_r * L}{Y} * \frac{Q^{1.82}}{D^{4.92}}$$

##### Calculo del diámetro tramo A-B

Para el cálculo del diámetro del tramo A-B, se necesita los siguientes datos

$Q$ : Caudal, 2.9 pie<sup>3</sup>/h.

$P_1$ : presión aguas arriba absoluta en psi.

$P_2$ : presión aguas abajo absoluta en psi.

$L$ : longitud equivalente, 3.6 pie.

$D$ : diámetro interno asumido; 13.6 pulg.

$\Delta H$ : caída de presión, pulg de columna de agua (27.7 pulg H<sub>2</sub>O = 1 psi).

Los valores de  $C_R$ , están dados en la tabla (54)

**Tabla 39***Factores de proporcionalidad*

| FACTORES $C_R, Y$ |        |        |
|-------------------|--------|--------|
| GAS               | $C_R$  | Y      |
| Gas natural       | 0.6094 | 0.9992 |
| propano           | 1.2462 | 0.991  |

*(NFPA 54, 2014)*

$$P_1^2 - P_2^2 = 7.93 * 10^{-7} * \frac{1.2462 * L}{0.991} * \frac{3656.18^{1.82}}{2.024^{4.92}}$$

$$P_1^2 - P_2^2 = 20.78$$

$$P_2 = \sqrt{29.7^2 - 20.78} = 29.35 \text{ psi}$$

$$V = 378.04 * \frac{Q}{P * D^2}$$

$$P = (P_1 + P_2)/2$$

$$V = 7.3 \text{ m/s} < 10 \text{ m/s}; \text{ si cumple}$$

$$\Delta P = \frac{(P_{1\text{relativa}} - P_{2\text{relativo}})}{P_{1\text{relativa}}}$$

$$\Delta P = 2.35\% < 25\%; \text{ si cumple.}$$

El tramo A-B será de tubería HDP con diámetro interior 2.024pulg, en la tabla siguiente se puede verificar que le corresponde un diámetro nominal de 63mm.

**Tabla 40:** *diámetros nominales para tubería HDPE –SDR 11*

---

TUBERIA HDPE-SDR 11

---

| Dn(mm) | Di (mm) | Di (pulg) |
|--------|---------|-----------|
| 25     | 19      | 0.748     |
| 32     | 26      | 1.024     |
| 63     | 51.4    | 2.024     |
| 90     | 73.6    | 2.898     |
| 110    | 90      | 3.543     |
| 160    | 130.8   | 5.150     |

---

Siguiendo el mismo procedimiento se calcula los tramos restantes, en el cuadro siguiente se muestra los resultados obtenidos con una hoja de Excel.

**Tabla 41:** *Calculo de diámetros en hoja Excel método NFP58*

| Tramo | L(m) | BTU/h     | $\frac{pie^3}{h}$ | $\varnothing$ (pulg) | $\varnothing_i$ (pulg) | P1 <sub>abs</sub> (psi) | P2 <sub>abs</sub> (psi) | P2 <sub>man</sub> | $\Delta P$ | $\Delta P/P$ %<br>Acumulado | Q / D<br><150 | R = T x Q /<br>m/s |     |
|-------|------|-----------|-------------------|----------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------|------------|-----------------------------|---------------|--------------------|-----|
| A-B   | 65.0 | 9,939,000 | 2924.94           | 63                   | 2.024                  | 29.700                  | 29.47                   | 14.767            | 0.233      | 1.55%                       | 1445.398      | 104068627          | 5.8 |
| B-C   | 25.0 | 9,939,000 | 2924.94           | 2                    | 2.067                  | 29.467                  | 29.40                   | 14.702            | 0.298      | 1.99%                       | 1415.113      | 101888142          | 5.6 |
| C-D   | 6.0  | 4,755,000 | 1399.34           | 1 1/2                | 1.610                  | 29.402                  | 29.39                   | 14.688            | 0.312      | 2.08%                       | 869.243       | 62585491           | 4.4 |
| D-E   | 2.5  | 926,000   | 272.51            | 1 1/2                | 1.610                  | 29.388                  | 29.39                   | 14.687            | 0.313      | 2.08%                       | 169.278       | 12188047           | 0.9 |
| E-O   | 6.3  | 136,000   | 40.02             | 1/2                  | 0.622                  | 29.387                  | 29.39                   | 14.685            | 0.315      | 2.10%                       | 64.341        | 4632571            | 0.8 |
| E-F   | 1.0  | 790,000   | 232.49            | 1                    | 1.049                  | 29.385                  | 29.38                   | 14.685            | 0.315      | 2.10%                       | 221.667       | 15960009           | 1.7 |
| F-G   | 19.0 | 600,000   | 176.57            | 1                    | 1.049                  | 29.385                  | 29.38                   | 14.677            | 0.323      | 2.16%                       | 168.355       | 12121526           | 1.3 |
| D-K   | 7.0  | 3,829,000 | 1126.83           | 1 1/2                | 1.610                  | 29.377                  | 29.37                   | 14.666            | 0.334      | 2.23%                       | 699.964       | 50397444           | 3.6 |
| K-L   | 4.0  | 2,758,000 | 811.65            | 1 1/2                | 1.610                  | 29.366                  | 29.36                   | 14.662            | 0.338      | 2.25%                       | 504.179       | 36300901           | 2.6 |
| L-M   | 1.0  | 1,968,000 | 579.16            | 1                    | 1.049                  | 29.362                  | 29.36                   | 14.659            | 0.341      | 2.28%                       | 552.203       | 39758604           | 4.3 |
| L-N   | 1.0  | 790,000   | 232.49            | 1                    | 1.049                  | 29.359                  | 29.36                   | 14.658            | 0.342      | 2.28%                       | 221.667       | 15960009           | 1.7 |
| K-P   | 28.0 | 1,071,000 | 315.18            | 1                    | 1.049                  | 29.358                  | 29.32                   | 14.624            | 0.376      | 2.51%                       | 300.513       | 21636923           | 2.4 |
| P-R   | 2.0  | 799,000   | 235.14            | 3/4                  | 0.824                  | 29.324                  | 29.32                   | 14.620            | 0.380      | 2.54%                       | 285.355       | 20545552           | 2.8 |
| P-Q   | 9.0  | 272,000   | 80.05             | 1/2                  | 0.622                  | 29.320                  | 29.31                   | 14.608            | 0.392      | 2.61%                       | 128.683       | 9265142            | 1.7 |
| C-S   | 3    | 5,184,000 | 1525.60           | 1 1/2                | 1.610                  | 29.308                  | 29.30                   | 14.600            | 0.400      | 2.66%                       | 947.667       | 68232005           | 4.8 |
| S-T   | 3.5  | 784,000   | 230.72            | 1                    | 1.049                  | 29.300                  | 29.30                   | 14.598            | 0.402      | 2.68%                       | 219.983       | 15838793           | 1.7 |
| S-U   | 15.0 | 4,400,000 | 1294.87           | 1 1/2                | 1.610                  | 29.298                  | 29.27                   | 14.568            | 0.432      | 2.88%                       | 804.347       | 57912968           | 4.1 |
| U-V   | 5.0  | 400,000   | 117.72            | 3/4                  | 0.824                  | 29.268                  | 29.26                   | 14.565            | 0.435      | 2.90%                       | 142.856       | 10285633           | 1.4 |
| U-W   | 42   | 4,000,000 | 1177.16           | 1 1/4                | 1.380                  | 29.268                  | 29.12                   | 14.418            | 0.582      | 3.88%                       | 853.060       | 61420341           | 5.1 |
| W-Y   | 2    | 2,000,000 | 588.58            | 1                    | 1.049                  | 29.118                  | 29.11                   | 14.411            | 0.589      | 3.93%                       | 561.182       | 40405085           | 4.4 |
| W-X   | 2    | 2,000,000 | 588.58            | 1                    | 1.049                  | 29.118                  | 29.11                   | 14.411            | 0.589      | 3.93%                       | 561.182       | 40405085           | 4.4 |

*Fuente: elaboración propia*



#### 4.2.4.2 Línea de baja presión

La NFP58, norma americana, nos proporciona una ecuación lineal, para presiones menores a 11.5psi, donde la caída de presión es directamente proporcional al caudal multiplicado por longitud e inversamente proporcional al diámetro, esta ecuación relaciona el coeficiente de fricción con la viscosidad del fluido.

$$D = \frac{Q^{0.381}}{19.17 * \frac{\Delta H^{0.206}}{C_r * L}}$$

$$P_1 - P_2 = 5.938x10^{-7} * \frac{Cr * L}{Y} * \frac{Q^{1.82}}{D^{4.92}}$$

Siguiendo el mismo procedimiento para la línea de baja presión se calcula los diámetros óptimos. En el siguiente cuadro se puede observar los valores para cada tramo de la tubería.

**Tabla 42:** Calculo de diámetros baja presionen - hoja Excel método NFP58

| Tramo | L(m)  | Le(m) | Lp(m) | Lp(pies) | BTU/h     | $\frac{pie^3}{h}$ | Ø(pulg) |
|-------|-------|-------|-------|----------|-----------|-------------------|---------|
| F-F1  | 3.00  | 3.60  | 3.00  | 9.84     | 190,000   | 73.92             | 3/4     |
| G-G1  | 5.00  | 6.00  | 5.00  | 16.39    | 600,000   | 233.42            | 1       |
| R-R1  | 12.00 | 14.40 | 12.00 | 39.34    | 799,000   | 310.83            | 1 1/4   |
| M-M1  | 18.00 | 21.60 | 18.00 | 59.02    | 1,968,000 | 765.61            | 2       |
| N-N1  | 18.00 | 21.60 | 18.00 | 59.02    | 790,000   | 307.33            | 1 1/2   |
| T-T1  | 8.00  | 9.60  | 8.00  | 26.23    | 784,000   | 305.00            | 1 1/4   |
| V-V1  | 7.00  | 8.40  | 7.00  | 22.95    | 400,000   | 155.61            | 1       |
| X-X1  | 5.00  | 6.00  | 6.00  | 19.67    | 2,000,000 | 778.06            | 2       |
| Y-Y1  | 5.00  | 6.00  | 6.00  | 19.67    | 2,000,000 | 778.06            | 2       |

*Fuente elaboración propio del autor*

#### 4.2.5 Resumen de resultados línea de media presión

En resumen, al considerar los tres métodos, optaremos por el valor más conservador para asegurar un diseño confiable con un mayor factor de seguridad. Se ha comprobado que la ecuación de RENUARD produce resultados más



conservadores, mostrando caídas de presión inferiores en comparación con los otros métodos mencionados anteriormente. En el cuadro siguiente, puedes revisar un resumen de los diámetros obtenidos

**Tabla 43: Resumen de resultados en tubería de media presión por los tres métodos**

| DATOS DE DISEÑO |      |         |                 | (TABLA)            | NFPA54 (MULLER)    |         | UNE 60.621 (RENUAR) |         |
|-----------------|------|---------|-----------------|--------------------|--------------------|---------|---------------------|---------|
| Tramo           | L(m) | BTU/h   | $\frac{m^3}{h}$ | $\emptyset$ (pulg) | $\emptyset$ (pulg) | perdida | $\emptyset$ (pulg)  | perdida |
| A-B             | 65   | 9939000 | 103.53          | 1 1/2              | 63                 | 2.05%   | 63                  | 1.91%   |
| B-C             | 25   | 9939000 | 103.53          | 1 1/2              | 2                  | 1.99%   | 2                   | 1.58%   |
| C-D             | 6    | 4755000 | 49.53           | 1 1/4              | 1 1/2              | 2.08%   | 1 1/2               | 1.72%   |
| D-E             | 2.5  | 926000  | 9.65            | 3/4                | 1 1/2              | 2.08%   | 1                   | 1.75%   |
| E-O             | 6.3  | 136000  | 1.42            | 1/2                | 1/2                | 2.10%   | 1/2                 | 1.77%   |
| E-F             | 1    | 790000  | 8.23            | 3/4                | 1                  | 2.10%   | 1                   | 1.78%   |
| F-G             | 19   | 600000  | 6.25            | 1/2                | 1                  | 2.16%   | 1                   | 1.86%   |
| D-K             | 7    | 3829000 | 39.89           | 1 1/4              | 1 1/2              | 2.23%   | 1 1/2               | 1.97%   |
| K-L             | 4    | 2758000 | 28.73           | 1 1/4              | 1 1/2              | 2.25%   | 1 1/2               | 2.00%   |
| L-M             | 1    | 1968000 | 20.50           | 1                  | 1                  | 2.28%   | 1                   | 2.04%   |
| L-N             | 1    | 790000  | 8.23            | 3/4                | 1                  | 2.28%   | 1                   | 2.05%   |
| K-P             | 28   | 1071000 | 11.16           | 3/4                | 1                  | 2.51%   | 1                   | 2.39%   |
| P-R             | 2    | 799000  | 8.32            | 3/4                | 3/4                | 2.54%   | 3/4                 | 2.44%   |
| P-Q             | 9    | 272000  | 2.83            | 1/2                | 1/2                | 2.61%   | 1/2                 | 2.55%   |
| C-S             | 3    | 5184000 | 54.00           | 1 1/4              | 1 1/2              | 2.66%   | 2                   | 2.57%   |
| S-T             | 3.5  | 784000  | 8.17            | 3/4                | 1                  | 2.68%   | 1                   | 2.60%   |
| S-U             | 15   | 4400000 | 45.83           | 1 1/4              | 1 1/2              | 2.88%   | 1 1/2               | 2.41%   |
| U-V             | 5    | 400000  | 4.17            | 1/2                | 3/4                | 2.90%   | 3/4                 | 2.94%   |
| U-W             | 42   | 4000000 | 41.67           | 1 1/4              | 1 1/4              | 3.88%   | 1 1/2               | 3.63%   |
| W-Y             | 2    | 2000000 | 20.80           | 1 1/4              | 1                  | 3.93%   | 1 1/2               | 3.64%   |
| W-X             | 2    | 2000000 | 20.80           | 1 1/4              | 1                  | 3.93%   | 1 1/2               | 3.64%   |

*Elaboración propia.*

#### 4.2.6 Resumen de resultados línea de baja presión

En el cuadro siguiente se puede observar que no hay variación en los resultados obtenidos por la NFPA54 y la UNE60.621

**Tabla 44: Resumen de resultados en tubería de media presión por los tres métodos**

| DATOS DE DISEÑO |        |         |                 | NFPA 54(tabla)    | NFPA 54 (MULLER)  | UNE<br>60.621(RENUAR) |                   |         |
|-----------------|--------|---------|-----------------|-------------------|-------------------|-----------------------|-------------------|---------|
| Tramo           | $L(m)$ | $BTU/h$ | $\frac{m^3}{h}$ | $\emptyset(pulg)$ | $\emptyset(pulg)$ | perdida               | $\emptyset(pulg)$ | perdida |
| F-F1            | 3      | 190000  | 1.58            | 3/4               | 3/4               | 0.51%                 | 3/4               | 0.34%   |
| G-G1            | 5      | 600000  | 5.00            | 1                 | 1                 | 2.14%                 | 1                 | 1.44%   |
| R-R1            | 12     | 799000  | 6.66            | 1 1/4             | 1 1/2             | 1.10%                 | 1 1/2             | 0.74%   |
| M-M1            | 18     | 1968000 | 16.40           | 2                 | 2                 | 2.54%                 | 2                 | 1.72%   |
| N-N1            | 18     | 790000  | 8.23            | 1 1/2             | 1 1/2             | 1.61%                 | 1 1/2             | 1.63%   |
| T-T1            | 8      | 784000  | 6.53            | 1 1/4             | 1 1/2             | 0.71%                 | 1 1/2             | 0.48%   |
| V-V1            | 7      | 400000  | 3.33            | 1                 | 1                 | 1.43%                 | 1                 | 0.97%   |
| X-X1            | 5      | 2000000 | 16.67           | 2                 | 1 1/2             | 2.43%                 | 2                 | 0.49%   |
| Y-Y1            | 5      | 2000000 | 16.67           | 2                 | 1 1/2             | 2.43%                 | 2                 | 0.49%   |

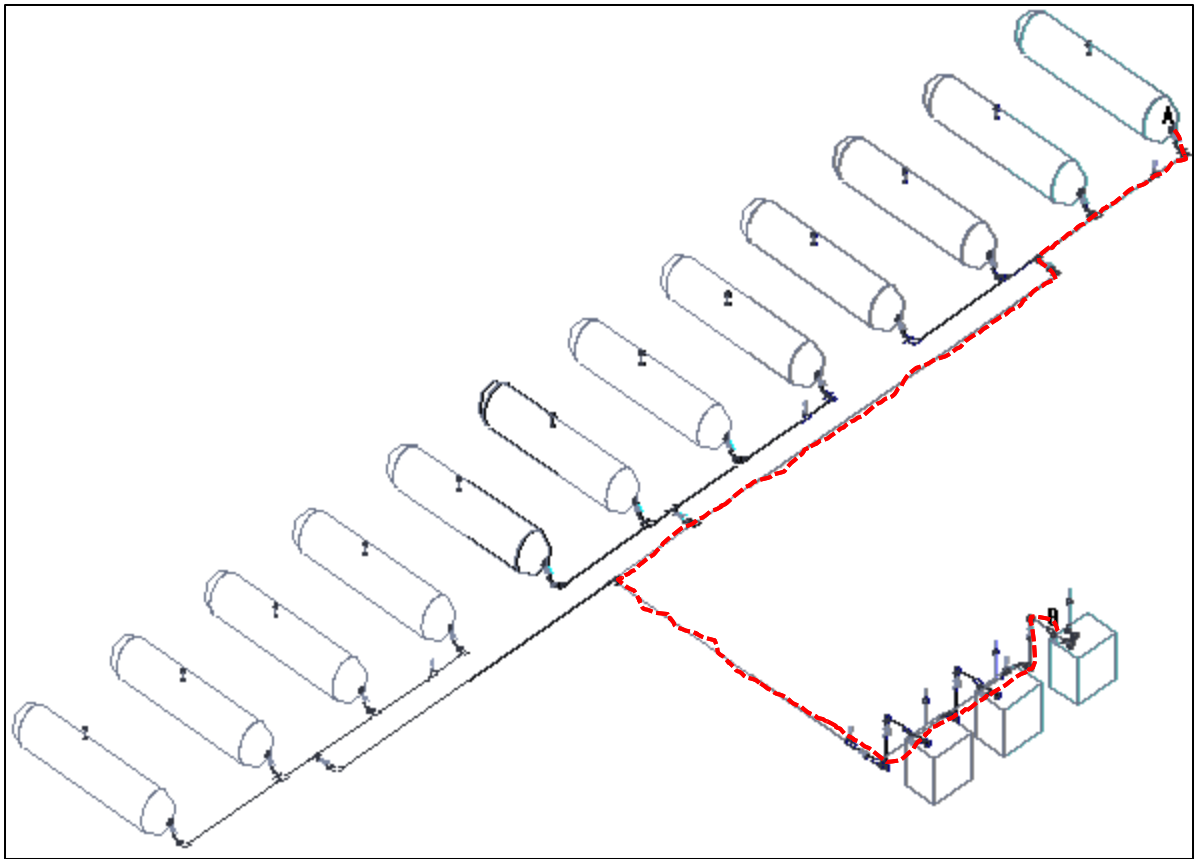
*Elaboración propia.*

#### 4.2.7 Diseño de la tubería fase líquida

En el diseño de este tramo de tubería, aplicaremos la ecuación de conservación de energía para fluidos en tuberías. En el gráfico siguiente, puedes observar la distribución de tanques y redes, diseñados durante la selección del sistema de almacenamiento. Para lograr un diseño óptimo, consideraremos la ruta más extensa por la cual fluye el GLP líquido. Esta elección garantiza que, con un recorrido más corto y un caudal constante, se minimizarán las pérdidas de energía.

Tomaremos el tramo A-B como la longitud más significativa por la cual circula el GLP líquido, que abarca 23 metros. Este tramo inicia en la conexión de la válvula check lot en la parte interna del tanque (punto A) y se extiende hasta la entrada del vaporizador de fuego directo (punto B)

**Figura 56:** Diagrama de distribución de la línea de líquido



*Fuente elaboración propia*

$$\frac{P_A}{\rho g} + \frac{V_A^2}{2g} + Z_A = \frac{P_B}{\rho g} + \frac{V_B^2}{2g} + Z_B + \Delta H_{total} \quad (53)$$

$$\Delta H_{total} = \frac{P_A - P_B}{\rho g} + \frac{V_A^2 + V_B^2}{2g} + Z_A - Z_B \quad (54)$$

$$\Delta H_{total} = \frac{P_A - P_B}{\rho g} + Z_A - Z_B \quad (55)$$

Consideraciones de diseño:

- El diámetro de la tubería se mantiene constante, por lo tanto  $V_1=V_2$ .
- La caída de presión según nos indica los manuales, la máxima caída de presión es de 2psi.



- La densidad del fluido (GLP líquido 528.7kg/m<sup>3</sup>).
- La diferencia de cotas entre el nivel de referencia es de 0.5m.

De la ecuación general se obtiene las pérdidas de carga en el tramo A-B

$$\Delta H_{total} = \frac{P_1 - P_2}{\rho g} + Z_1 - Z_2$$
$$\Delta H_{total} = \frac{3 * 6.895 * 1000}{528.7 * 9.81} + 0.5 = 3.05m$$

Para el cálculo del diámetro se recurrirá a las ecuaciones implícitas citadas en el libro de (Cengel Y. A., 2015), donde nos indica que son precisas hasta un 2% del diagrama de moody, dicha ecuación está en función de las propiedades del fluido y las condiciones de diseño.

$$D = 0.66 \left[ \varepsilon^{1.25} \left( \frac{LQ^2}{gh_L} \right)^{4.75} + \nu Q^{9.4} \left( \frac{L}{gh_L} \right)^{5.2} \right]^{0.04}$$
$$10^{-6} < \frac{\varepsilon}{D} < 10^{-2} \quad (56)$$
$$5000 < R_e < 3 \times 10^8$$

Datos:

- El caudal de diseño será el caudal que es requerido por los vaporizadores, en este caso será 120GPH multiplicado por tres (360GPH).
- Densidad del GLP 60/40 528.7kg/m<sup>3</sup>.
- Viscosidad del GLP líquido 0.0001259kg/m\*s.
- Longitud de la tubería; L=23m.
- La rugosidad de la superficie se considera para acero comercial  $\varepsilon = 5 \times 10^{-5}$

Reemplazando los valores respectivos en la ecuación se tiene que el diámetro óptimo de la tubería de líquido que comprende desde la conexión de la válvula check lot hasta la entrada de los vaporizadores es de 1 pulg



$$D = 0.66 \left[ \varepsilon^{1.25} \left( \frac{LQ^2}{gh_L} \right)^{4.75} + vQ^{9.4} \left( \frac{L}{gh_L} \right)^{5.2} \right]^{0.04}$$

$$D=0.84\text{pulga}=1\text{pulg.}$$

### 4.3 Selección de reguladores

Al seleccionar los reguladores, es crucial tener en cuenta el consumo actual de los dispositivos instalados y los posibles futuros dispositivos a instalar. Además, el regulador debe asegurar un flujo de gas mayor al requerido por los equipos. Para elegir el regulador adecuado, se consideran tanto el caudal como la presión de operación. Nos basamos en las recomendaciones de cada fabricante y seleccionamos el regulador que cumple con los requisitos. Puedes encontrar los catálogos de los reguladores a utilizar en el Anexo H.

En nuestro diseño propuesto, vamos a instalar dos reguladores de primera etapa. Uno irá en la salida de los tanques en la línea de vapor natural, y el otro estará en la salida del vaporizador en la línea de vapor forzado. Asimismo, en la línea de baja presión, instalaremos reguladores de segunda etapa para la cocina caliente, panadería, cocina fría y zona de termas.

Todos estos equipos serán seleccionados cuidadosamente siguiendo los procedimientos establecidos por los fabricantes. Optamos por un sistema de regulación de dos etapas en esta instalación debido a que:

- La utilización de sistemas de dos etapas ofrece una regulación más precisa;
- La regulación de dos etapas es más rentable para el distribuidor de GLP debido al menor mantenimiento requerido;
- Proporciona una presión y un flujo constante;
- menor congelación en la tubería o en las boquillas de los reguladores de segunda etapa cuando existe una expansión a 11 in h<sub>2</sub>o;



- La instalación con reguladores dos etapas es más económico en comparación con etapa única, ya que este último necesita de diámetros mayores.

#### 4.3.1 Selección de Regulador de primera etapa

El regulador que elijamos debe satisfacer la demanda máxima de los equipos de consumo, que en este caso es de 9939 000 BTU/H. Por precaución, optaremos por un regulador con una capacidad al menos un 50% mayor, esto garantizará un funcionamiento sin problemas. En la búsqueda, seleccionaremos un regulador del catálogo de Rego que cumpla con las especificaciones técnicas mencionadas anteriormente.

**Tabla 45:** Especificaciones técnicas del regulador seleccionado

| Tipo         | Conexión<br>Entrada | Conexión<br>Salida | Rango<br>Presión de<br>Descarga | Presión<br>Regulada | Capacidad<br>Btu/h |
|--------------|---------------------|--------------------|---------------------------------|---------------------|--------------------|
| REGO 1588 VN | NPT F. 1"           | NPT F. 1"          | 3 - 30 PSIG                     | 20 PSIG             | 11'000,000         |

Fuente (Catalogo REGO, 2019)

**Figura 57:** Especificaciones técnicas para reguladores de primera etapa

| Part Number | Service         | Adjustment Method | Inlet & Outlet Connections | Recommended Delivery Pressure Range (PSIG) | A Width | B Height (max.) | Capacity Determined at Set Pressure of PSIG | Capacity**                |
|-------------|-----------------|-------------------|----------------------------|--|---------|-----------------|---|---------------------------|
| AA1582MY    | NH <sub>3</sub> | Tee Handle        | ½" F. NPT                  | 3-25                                       | 2 ¾"    | 4 ¾"            | 20  | 2,100 CFH NH <sub>3</sub> |
| AA1582MK    |                 | Hex Head          |                            | 20-50                                      |         |                 | 30  | 2,400 CFH NH <sub>3</sub> |
| AA1582ML    |                 |                   |                            | 45-125                                     |         |                 | 60  | 2,600 CFH NH <sub>3</sub> |
| AA1582MH    |                 |                   |                            |  |         |                 |   |                           |
| 1584VN      | LP-Gas          | Tee Handle        | ½" F. NPT                  | 3-30                                       | 2 ¾"    | 4 ¾"            | 20  | 7,000,000 BTU/hr. LPG     |
| 1584VL      |                 |                   |                            | 25-50                                      |         |                 | 30  | 7,500,000 BTU/hr. LPG     |
| 1584VH      |                 |                   |                            | 45-125                                     |         |                 | 60  | 8,000,000 BTU/hr. LPG     |
| AA1684VW    | NH <sub>3</sub> | Tee Handle        | ½" F. NPT                  | 3-25                                       | 3 ½"    | 7"              | 20  | 4,500 CFH NH <sub>3</sub> |
| AA1584VL    |                 |                   |                            | 20-50                                      |         |                 | 30  | 4,800 CFH NH <sub>3</sub> |
| AA1584VH    |                 |                   |                            | 45-125                                     |         |                 | 60  | 5,100 CFH NH <sub>3</sub> |
| 1588VN      | LP-Gas          | Tee Handle        | ½" F. NPT                  | 3-30                                       | 3 ½"    | 7"              | 20  | 11,000,000 BTU/hr. LPG    |
| 1588VL      |                 |                   |                            | 25-50                                      |         |                 | 30  | 12,000,000 BTU/hr. LPG    |
| 1588VH      |                 |                   |                            | 45-125                                     |         |                 | 60  | 14,000,000 BTU/hr. LPG    |
| AA1586MW    | NH <sub>3</sub> | Tee Handle        | 1" F. NPT                  | 3-25                                       | 3 ½"    | 7"              | 20  | 7,000 CFH NH <sub>3</sub> |
| AA1586VL    |                 |                   |                            | 20-50                                      |         |                 | 30  | 7,700 CFH NH <sub>3</sub> |
| AA1586VH    |                 |                   |                            | 45-125                                     |         |                 | 60  | 8,900 CFH NH <sub>3</sub> |
| 1588VN      | LP-Gas          | Tee Handle        | 1" F. NPT                  | 3-30                                       | 3 ½"    | 7"              | 20  | 11,000,000 BTU/hr. LPG    |
| 1588VL      |                 |                   |                            | 25-50                                      |         |                 | 30  | 12,000,000 BTU/hr. LPG    |
| 1588VH      |                 |                   |                            | 45-125                                     |         |                 | 60  | 14,000,000 BTU/hr. LPG    |

Fuente: (Catalogo REGO, 2019)



### 4.3.2 Selección de regulador de segunda etapa

#### 4.3.2.1 Selección de reguladores cocina caliente abatidores

En este lugar, contamos con cuadros reguladores de segunda etapa que serán dimensionados en función de la demanda de consumo y la presión de trabajo.

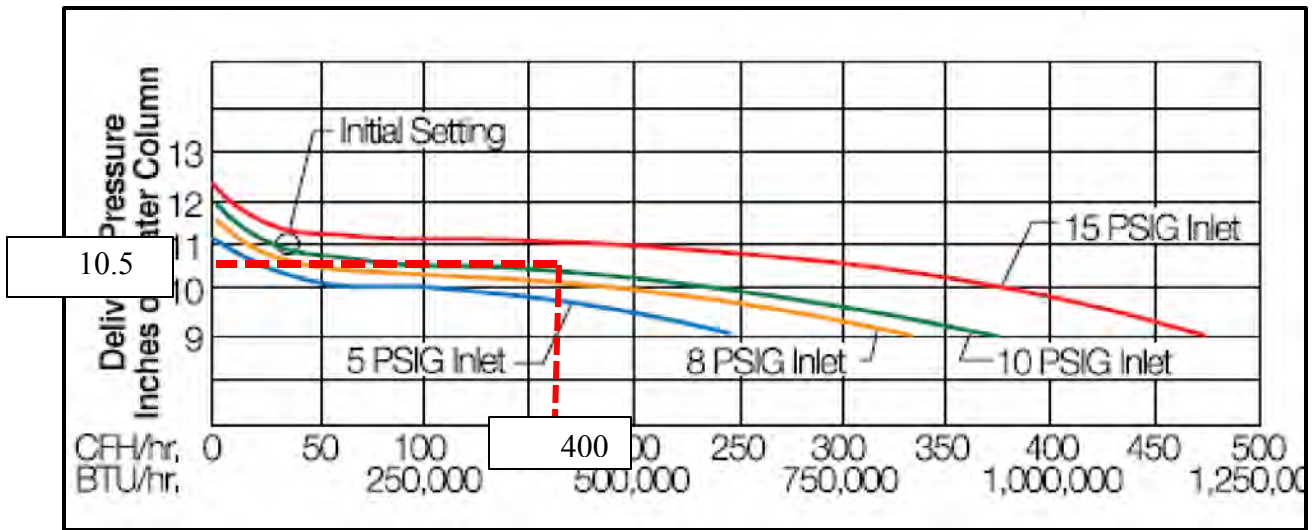
**Empecemos con el tramo V-V1.** En este tramo, hay dos puntos de consumo con una demanda total de 400,000 BTU/H. Con esta información, elegiremos el regulador más adecuado de entre los catálogos de Rego. El regulador Rego modelo LV4403B4 tiene un flujo máximo de 930,000 BTU/H, basado en una entrada de 10 PSIG y una presión de trabajo de 9" W.C. Al revisar la curva de rendimiento para 400,000 BTU/H, observamos que proporciona una presión constante de 10.5" W.C., lo cual es más seguro. Este regulador está diseñado para reducir la presión de la primera etapa de 5 a 20 PSIG hasta la presión del quemador, normalmente 11" W.C. Es ideal para instalaciones comerciales medianas, instalaciones con múltiples cilindros y cargas domésticas normales

**Figura 58:** Selección de regulador de segunda etapa

| Número de Parte | Conexión de Entrada | Conexión de Salida | Tamaño de Orificio | Presión de Servicio de Fábrica    | Rango de Ajuste | Pos. de Vent. del Bonete | Capacidad de Vapor BTU/hora de Propano <sup>o</sup> |
|-----------------|---------------------|--------------------|--------------------|-----------------------------------|-----------------|--------------------------|---|
| LV4403B4        |                     | ½"                 |                    |                                   |                 |                          |   |
| LV4403B46       | ½" NPT F.           | ¾" NPT F.          | #28                | 11" w.c. a una entrada de 10 PSIG | 9" a 13" w.c.   | Sobre la entrada         | 935,000   |
| LV4403B46R*     |                     |                    |                    |                                   |                 |                          |   |
| LV4403B66       | ¾" NPT F.           |                    |                    |                                   |                 |                          |   |
| LV4403B66R*     |                     |                    |                    |                                   |                 |                          |   |

Fuente: (Catalogo REGO, 2019)

**Figura 59:** Curva de desempeño de regulador LV4403B3



Fuente: (Catalogo REGO, 2019)

**Tramo T-T1.-** este tramo de la tubería abastece a cuatro puntos de consumo los cuales tienen una demanda total de 784 000BTU/H. con este dato seleccionaremos el regulador más óptimo dentro de los catálogos rego.

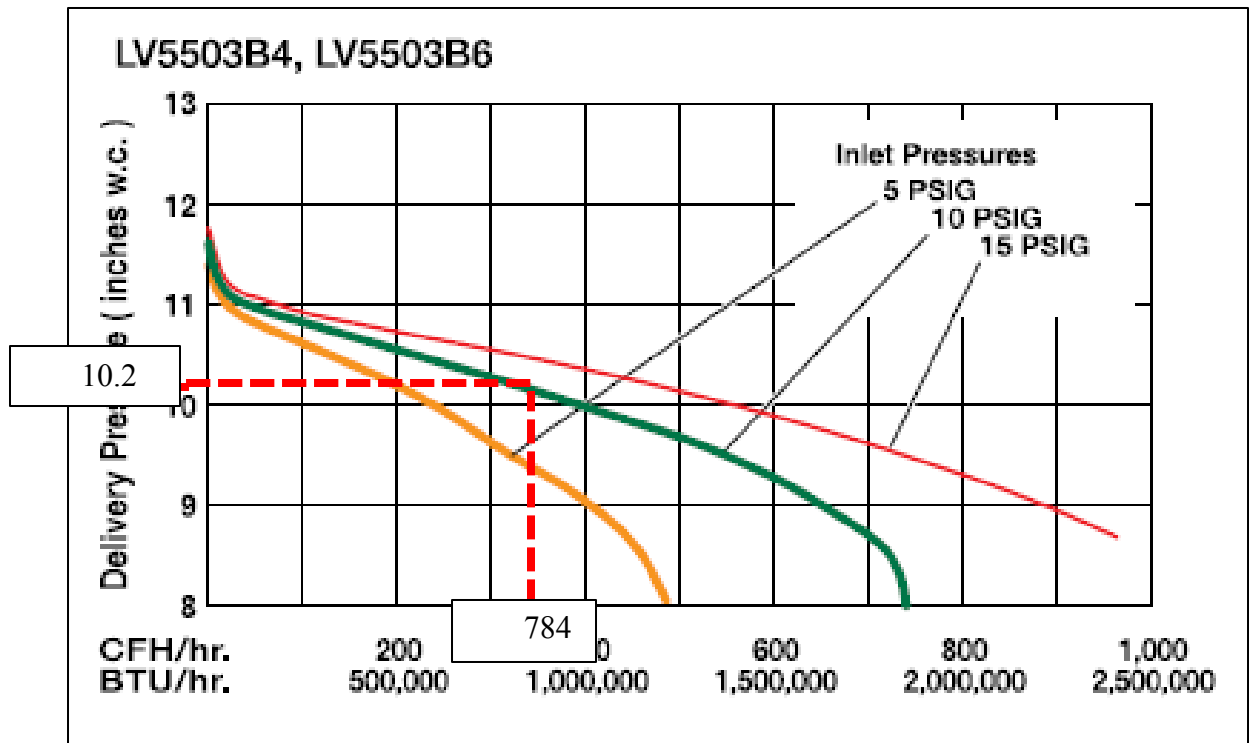
Los reguladores más cercanos son los modelos LV5503B4 y LV5503B6 los cuales tienen una carga máxima de 1 600 000BTU/H, para una presión de servicio de 9w.c. en la curva de desempeño se puede verificar que una entrada de 10psi, 784 000 BTU/H nos da una presión de servicio de 10.2w.c lo cual es más conservador. Este regulador está Diseñado para reducir la presión de primera etapa de 5 a 20 PSIG a la presión del quemador, normalmente 11” w.c. Ideal para grandes aplicaciones comerciales e industriales, instalaciones de múltiples cilindros y sistemas domésticos de gran tamaño.

**Figura 60:** Selección de regulador de segunda etapa

| Número de Parte | Conexión de Entrada | Conexión de Salida | Tamaño de Orificio | Presión de Servicio de Fábrica | Rango de Ajuste | Posición de Ventilación del Bonete | Capacidad de Vapor hora* | BTU/ |
|-----------------|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------------------|-----------------|------------------------------------|--------------------------|------|
| LV5503B4        | ½" NPT F.           | ¾" NPT F.          | ¾"                 | 11" w.c. at 10 PSIG Entrada    | 9" - 13" w.c.   | Sobre la Entrada                   | 1,600,000                |      |
| LV5503B6        | ¾" NPT F.           |                    |                    |                                |                 |                                    |                          |      |
| LV5503B6        | 1" NPT F.           | 1" NPT F.          | 9/32               |                                |                 |                                    | 2,300,000                |      |

Fuente: (Manual Repsol Gas, 2006)

**Figura 61:** Curva de desempeño de regulador LV5503B4 Y LV55003B6



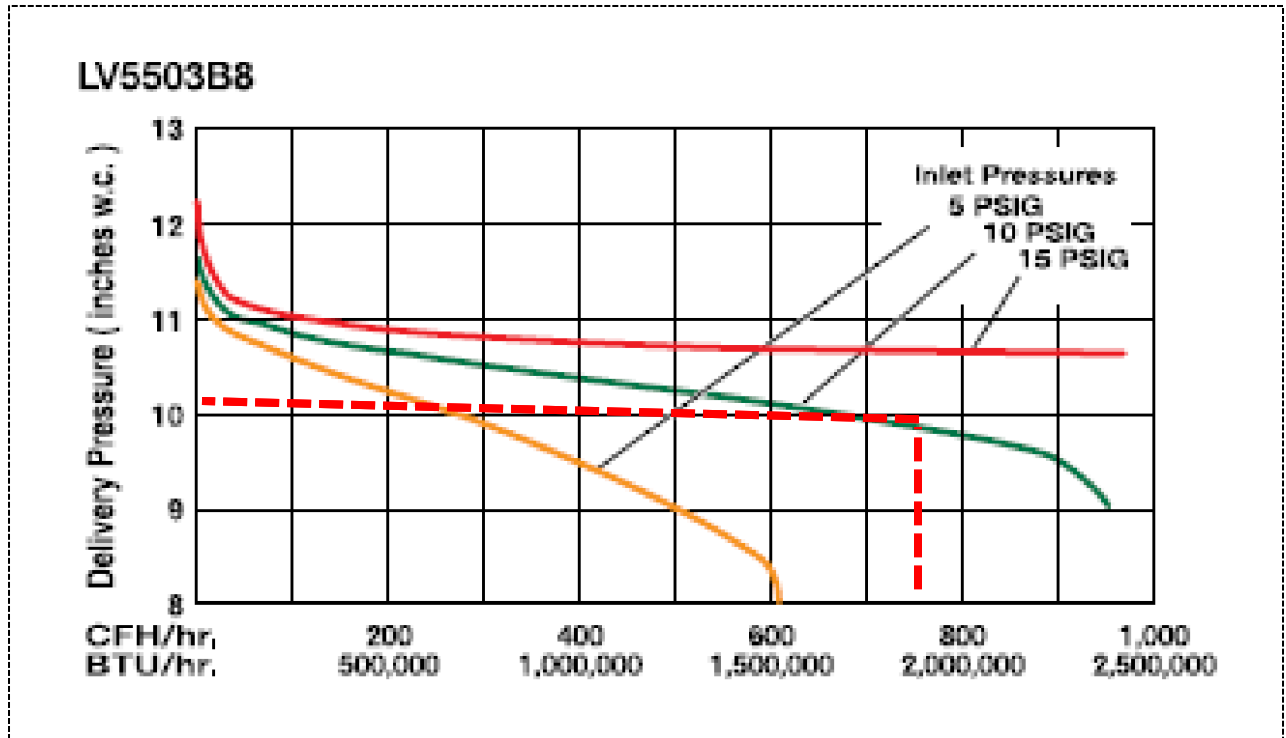
*Fuete: (Catalogo REGO, 2019)*

**Tramo M-M1.** Este tramo de la tubería abastece a seis puntos de consumo los cuales tienen una demanda total de 1, 968,000BTU/H. Con este dato seleccionaremos el regulador más óptimo dentro de los catálogos rego

El regulador más cercanos es el modelo LV5503B8, el cuales tiene una carga máxima de 2 300 000BTU/H, para una presión de servicio de 9”C.A. En la curva de desempeño se puede verificar que, para una entrada de 10psi, 784 000 BTU/H nos da una presión de servicio de 10.2w.c lo cual es más conservador.

**Figura 62:** Selección de regulador de segunda etapa

| Número de Parte | Conexión de Entrada | Conexión de Salida | Tamaño de Orificio | Presión de Servicio de Fábrica | Rango de Ajuste | Posición de Ventilación del Bonete | Capacidad de Vapor hora* | BTU/ |
|-----------------|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------------------|-----------------|------------------------------------|--------------------------|------|
| LV5503B4        | ½" NPT F.           | ¾" NPT F.          | ¾"                 | 11" w.c. at 10 PSIG            | 8" - 12" w.c.   | Sobre la Entrada                   | 1,600,000                |      |
| LV5503B8        | ¾" NPT F.           |                    |                    |                                |                 |                                    |                          |      |

**Figura 63:** Curva de desempeño de regulador LV5503B8

Si siguiendo el mismo procedimiento se puede calcular los reguladores restantes. En el siguiente cuadro se muestra un resumen de las características técnicas de cada equipo

**Tabla 46:** cuadro resumen de características técnicas de los reguladores de segunda etapa

| área                       | tramo       | demanda de consumo | Tipo            | Conexión    | Conexión    | Rango Presión de Descarga | Presión Regulada | Capacidad  |
|----------------------------|-------------|--------------------|-----------------|-------------|-------------|---------------------------|------------------|------------|
|                            |             |                    |                 | Entrada     | Salida      |                           |                  | Btu/h      |
| COCINA CALIENTE ABATIDORES | Zona Tanque | 9 939,000          | REGO 1588 VN    | NPT F. 1"   | NPT F. 1"   | 3 - 30 PSIG               | 20 PSIG          | 11 000,000 |
|                            | V-V1        | 400,000            | REGO LV40403B66 | NPT F. 3/4" | NPT F. 3/4" | 9 - 13" WC                | 11" WC           | 935,000    |
|                            | T-T1        | 784,000            | REGO LV5503B4   | NPT F. 1/2" | NPT F. 3/4" | 9 - 13" WC                | 11" WC           | 1 600,000  |
|                            | M-M1        | 1 968,000          | REGO LV5503B8   | NPT F. 3/4" | NPT F. 1"   | 9 - 13" WC                | 11" WC           | 2 300,000  |
|                            | N-N1        | 790,000            | REGO LV5503B4   | NPT F. 1/2" | NPT F. 3/4" | 9 - 13" WC                | 11" WC           | 1 600,000  |
| REPOSTERIA                 | F-F1        | 190,000            | REGO LV40403B66 | NPT F. 3/4" | NPT F. 3/4" | 9 - 13" WC                | 11" WC           | 935,000    |
|                            | G-G1        | 600,000            | REGO LV5503B4   | NPT F. 1/2" | NPT F. 3/4" | 9 - 13" WC                | 11" WC           | 1 600,000  |
| COCINA CALIENTE GENERACION | R-R1        | 799,000            | REGO LV5503B4   | NPT F. 1/2" | NPT F. 3/4" | 9 - 13" WC                | 11" WC           | 1 600,000  |
| TERMAS                     | X-X1        | 2 000,000          | REGO LV5503B8   | NPT F. 3/4" | NPT F. 1"   | 9 - 13" WC                | 11" WC           | 2 300,000  |

*Fuente: elaboración propio del autor*


#### 4.4 Especificaciones técnicas de materiales

El contenido de las características técnicas de equipos consiste en una descripción breve del mismo, la ubicación de instalación y datos mecánicos según correspondan. Estas son las principales características que se utilizaron en la instalación del sistema GLP



#### 4.4.1 Regulador de primera etapa modelo REGO 1588VN

**Tabla 47:** Especificaciones técnicas de regulador de primera etapa REGO 1588VN

| <b>Datos generales</b>   |  |
|--|--|
| Descripción  | Regulador Diseñado para reducir las presiones de contenedores de Gas LP entre 3 y 125 PSIG. Este equipo será instalado a la salida de los vaporizadores y línea de vapor natural |
| ubicación  | zona de tanques GLP  |
| Fluido   | GLP líquido y vapor natural de GLP   |
| <b>Características técnicas</b>  |  |
| marca  | Rego   |
| modelo   | 1588VN   |
| conexión   | 1" NTP   |
| capacidad  | 11 000000 BTU/H  |
| Rango de presión   | 3 a 125 psi  |
| presión de trabajo   | 20psi  |
| <b>material</b>  |  |
| cuerpo   | aleación de aluminio 356 T6  |
| material del diafragma   | DUNA-N con refuerzo en Nylon   |
| material del resorte   | acero inoxidable AISI 304  |
| <b>imagen referencial</b>  |  |
|  |  |


#### 4.4.2 Manómetro de presión seco estándar

**Tabla 48:** Especificaciones técnicas de manómetros de alta y media presión

| <b>Datos generales</b>          |  |
|---------------------------------|--|
| Descripción                     | dispositivo que mide la presión en los tanques de almacenamiento, línea de alta presión (0-300psi) y línea de media presión(0-60psi) |
| Ubicación                       | Conexión de tanques de almacenamiento, decantador, vaporizadores y regulador de primera etapa  |
| Fluido                          | GLP líquido y vapor natural de GLP   |
| <b>características técnicas</b> |  |
| Marca                           | tuckson  |
| Precisión                       | 2.5% de escala completa ANSI/ASME  |
| conexión                        | 1/4" NTP   |
| Tamaños                         | 1.5" ,2" ,2.5" , 4" , 6"   |
| Rango de presión                | 0-60,0-100, 0-300 psi  |
| Temperatura de funcionamiento   | temperatura ambiente de -20C° a 60C°   |
| Material                        |  |
| Caja y anillo                   | acero pintado de negro   |
| Puntero                         | aluminio negro   |
| Ventana                         | acrílico   |
| <b>Imagen referencial</b>       |  |
|                                 |  |


### 4.4.3 Manómetro de baja presión

**Tabla 49:** Especificaciones técnicas de manómetro de baja presión

| <b>Datos generales</b>  |  |
|---|--|
| Descripción   | dispositivo que mide la presión y está conectado a la salida de los reguladores de segunda etapa tiene una escala de 0-32mmH2O |
| ubicación   | Regulador de segunda etapa   |
| Fluido  | GLP líquido y vapor natural de GLP   |
| <b>características técnicas</b>   |  |
| Marca   | Genebre  |
| precisión   | clase 1, DIN EN 837-3  |
| conexión  | acero inox.316L salida interior G1/2"  |
| Rango de presión  | 0-25, 0-40, 0-60, 0-100 mmbar  |
| temperatura de funcionamiento   | temperatura ambiente de -20C° a 60C°   |
| Material  |  |
| Capsula   | acero inox.316L salida interior G1/2"  |
| esfera  | aluminio blanco con doble escala, (inH2O y mmbar)  |
| Visor   | crystal laminado   |
| <b>imagen referencial</b>   |  |
|  |  |

#### 4.4.4 Tubería SCH 80 y 40

**Tabla 50:** Especificaciones técnicas de tuberías SCH 80 y 40

| <b>Datos generales</b>   |   |
|--|---|
| Descripción  | Tubos de acero sin costura ASTM A- 53 grado B/ASTM A-106/API 5L, producto que se obtiene por laminación en caliente de un toco de acero estructural, ideal para conducción de fluidos gases |
| ubicación  | zona de tanques , edificio multipropósito   |
| Fluido   | GLP líquido y vapor natural de GLP  |
| <b>características técnicas</b>  |   |
| Norma técnica  | ASTM A-53 GR-A, ASTM A-1.06 GR-A, API 5L  |
| peso   | 2.5% de escala completa ANSI/ASME   |
| conexión   | NPT   |
| tamaños  | SCH80 ySCH40  |
| carga  | 21 a 25 kg/mm <sup>2</sup> ,  |
| <b>material</b>  |   |
| cuerpo   | Tubos de acero al carbono, laminados en caliente con extremos biselados o refrenados, utilizados para alta presión  |
| <b>imagen referencial</b>  |   |
|  |   |

#### 4.4.5 Tubería de polietileno- HDPE


**Tabla 51:** Especificaciones técnicas de tubería de polietileno

| <b>Datos generales</b>  |  |
|---|--|
| Descripción   | Tubería de alta calidad con propiedades mecánicas únicas, El HDPE toma su denominación de sus siglas en inglés (High Density Polyethylene) y a veces también es llamado PEAD (Polietileno de Alta Densidad). Entre sus características están su ligereza, su flexibilidad, incluso con temperaturas bajas y su alta resistencia a los impactos |
| ubicación   | tubería enterrado que conecta zona de tanque y edificio multipropósito   |
| Fluido  | GLP líquido y vapor natural de GLP   |
| <b>características técnicas</b>   |  |
| norma técnica   | NTP- ISO 4427-2 2008, sistema de tuberías plásticas  |
| Norma técnica de fabricación  | EN1555   |
| conexión  | La conexión es por electrocución   |
| tamaños   | TUBERIA PE Ø20mm SDR 11, Ø32mm SDR 11, Ø63mm SDR 11,   |
| resistencia a la tracción   | 20 - 23 MPa  |
| <b>material</b>   |  |
| cuerpo  | Polietileno PE80, PE100  |
| <b>imagen referencial</b>   |  |
| <p>The image displays three items related to HDPE piping. At the top, there are two sections of orange pipe. The larger one is labeled 'PE100' and the smaller one is labeled 'PE80'. Both sections have technical markings printed on them, including 'POLIETILENO HDPE', 'SDR 11', and '400KPa'. Below these sections is a large coil of orange HDPE pipe, also with technical markings visible on its surface.</p> |  |



#### 4.4.6 Filtro tipo “Y” modelo YCT


**Tabla 52:** Especificaciones técnicas de filtro tipo “Y”

| <b>Datos generales</b>   |   |
|--|---|
| Descripción  | Filtro tipo Y que va conectado a la entrada del vaporizador , cuya función es purificar el GLP líquido antes que ingrese al vaporizador |
| ubicación  | Vaporizadores   |
| modelo   | Tipo “Y” clase 250lb  |
| Fluido   | GLP líquido   |
| <b>características técnicas</b>  |   |
| norma técnica  | ASTM A 126-B  |
| Filtro de malla  | 60 MESH   |
| conexión   | ASME B16.4  |
| Presión máxima de trabajo A 350F°  | 250PSI  |
| resistencia a la tracción  | 20 - 23 MPa   |
| <b>material</b>  |   |
| cuerpo   | Acero ASTM A 216  |
| <b>imagen referencial</b>  |   |
|  |   |



#### 4.4.7 Válvula esférica de bronce 600CWP (psig) MOD 80


**Tabla 53:** Especificaciones técnicas de válvula esférica de bronce

| <b>Datos generales</b>   |   |
|--|---|
| Descripción  | Válvulas de control de flujo de alta resistencia , tipo esférica con certificación UL, ideal para trabajos con agua , combustibles líquidos y GLP liquido |
| ubicación  | Conexión a equipos de consumo, ramales de distribución, entrada y salida de vaporizadores   |
| modelo   | MOD 80  |
| Fluido   | GLP líquido   |
| <b>características técnicas</b>  |   |
| Clase PSIG   | 600PSIG(CWP)  |
| Temperatura de trabajo   | -25C° a 150C°   |
| conexión   | Rosca hembra NPT ANSI/ASME B1.20.1  |
| Presión máxima de trabajo A 350F°  | 250PSI  |
| resistencia a la tracción  | 20 - 23 MPa   |
| Medidas  | 1/4" a 4"   |
| <b>material</b>  |   |
| cuerpo   | Bronce B584   |
| esfera   | Bronce B584   |
| <b>imagen referencial</b>  |   |
|  |   |




#### 4.4.8 Válvula de bola broce *BONOMI*

**Tabla 54:** Especificaciones técnicas de válvula de bola bronce bonomi

| <b>Datos generales</b>   |   |
|--|---|
| Descripción  | Válvulas de control de flujo de alta resistencia , tipo esférica con certificación UL, ideal para trabajos con agua , combustibles líquidos y GLP liquido |
| ubicación  | En línea de alta presión, entrada y salida de vaporizadores,  |
| modelo   | Válvula bonomi s.92NPT  |
| Fluido   | GLP vapor   |
| <b>características técnicas</b>  |   |
| Clase PSIG   | 600PSIG(CWP)  |
| Temperatura de trabajo   | -25C° a 150C°   |
| conexión   | Rosca hembra NPT cónico ANSI.B.120.1  |
| Presión de trabajo en frio hasta 2"  | 600PSI  |
| Presión de trabajo por encima de 2"  | 450psi  |
|  |   |
| resistencia a la tracción  | 20 - 23 MPa   |
| Medidas  | 1/4" a 4"   |
| <b>material</b>  |   |
| cuerpo   | Latón estampado , lijado con chorro de arena , niquelado y sellados con Licite  |
| esfera   | latón cromada para una duración más extensa CW617N  |
| mando  | Acero cromado y plastificado amarillo   |
| <b>imagen referencial</b>  |   |
|  |   |

#### 4.4.9 Chicote pool x1/2 NPT x 12”

**Tabla 55: Especificaciones técnicas de chicote flexible pool**

| <b>Datos generales</b>   |   |
|--|---|
| Descripción  | Accesorio de conexión flexible que va conectado directamente al tanque, con rosca 1/2”NPT,”. Cuya función es dar grados de libertad a la conexión tanque y tubería ante un movimiento sísmico. De esta forma evitando las roturas   |
| ubicación  | Línea de alta presión en la conexión entre tanque y tubería   |
| modelo   | --  |
| Fluido   | GLP vapor   |
| <b>características técnicas</b>  |   |
| Temperatura de trabajo   | -25C° a 150C°   |
| conexión   | Rosca 1/2 NPT macho. Rosca 7/8” NF R/macho  |
| Presión de trabajo   | 3 bar   |
| acabado  | El producto es presentado con acabado decapado  |
| dimensión  | Según requisitos del cliente  |
| resistencia a la tracción  | 20 - 23 Mpa   |
| Medidas  | 1/4” a 4”   |
| <b>material</b>  |   |
| cuerpo   | El chicote es fabricado en latón ASTM C377 hexagonal de 21mm para la rosca 1/2 NPT, hexagonal de 7/8” para la tuerca 7/8” R/I, redondo de 17mm para el pool, además de un tubo de cobre redondo de 3/8” x 0,64mm con un largo de 12”. Este material no presenta reacción ante agentes químicos. |
| esfera   | latón cromada para una duración más extensa CW617N  |
| <b>imagen referencial</b>  |   |
|  |   |



#### 4.4.10 Vaporizadores de fuego directo


Tabla 56: Especificaciones técnicas de vaporizadores de fuego directo

| <b>Datos generales</b>   |  |
|--|--|
| descripción  | Los vaporizadores de la serie RH consta de un recipiente a presión vertical con clasificación ASME que se calienta directamente mediante un quemador de gas. La instalación consta de tres vaporizadores de fuego directo que trabajan en forma independiente. |
| modelo   | -RH120   |
| Fluido   | GLP liquido  |
| <b>características técnicas</b>  |  |
| Flujo de vapor   | 600PSIG(CWP)   |
| Temperatura de trabajo   | 50C°   |
| capacidad  | 10.78MM BTU/h  |
| peso   | 147.2kg  |
| dimensión  | 1.23X0.42X52m  |
| Medidas  | Entrada de 3/4" salida 1" con rosca NPT  |
| <b>Parte eléctrica</b>   |  |
| Sistema de encendido   | 9V, XE020-009E   |
| <b>material</b>  |  |
| Cuerpo   | Acero al carbono de alta calidad con resistencia según la sección VII división I código ASME   |
| <b>imagen referencial</b>  |  |
|  |  |



#### 4.4.11 Tanque estacionario para GLP

Tabla 57: Especificaciones técnicas de tanque estacionario para GLP

| <b>Datos generales</b>  |   |
|---|---|
| descripción   | La instalación cuenta con 12 tanques de 1000Gls c/u, los cuales están distribuidos en tres grupos, con sistema de distribución, regulación y vaporización independiente.<br>Los Recipientes de almacenamiento están Diseñados y fabricados de acuerdo con el Código ASME, Sección VIII; Di. 1 |
| modelo  | Cilíndrico horizontal   |
| Fluido  | GLP liquido   |
| <b>características técnicas</b>   |   |
| Presión de diseño   | 250psi)   |
| Temperatura de diseño   | 51.6C°  |
| Norma de fabricación  | Código ASME, Sección VIII; Di. 1  |
| Presión de prueba hidrostática  | 325psi min, 395psi Max  |
| Peso(vacío)   | 784kg   |
| Dimensión(volumen)  | 1000gal   |
| Accesorios de conexión  | Multiválvulas NPT 3/4", válvula de llenado NPT 1 1/4", válvula de seguridad 1000WG NTP 1 1/4",medidor magnético de nivel 1" NPT   |
| <b>Material</b>   |   |
| Acabado del cuerpo  | Preparación de superficie cumpliendo con el estándar internacional de la sociedad de Recubrimientos Protectores (SSPC) mediante blasteo abrasivo hasta alcanzar un metal cercano a blanco SSPC-SP10.  |
| <b>imagen referencial</b>   |   |
|  |   |



## CAPITULO V

### INSTALACIÓN DE SISTEMA GLP

#### 5. INTRODUCCIÓN

En este capítulo, abordaremos el proceso de instalación del sistema GLP. Para ello, seguiremos un procedimiento de trabajo que cumple con los estándares de calidad establecidos por la UM Anglo American Quellaveco. Las actividades que se llevarán a cabo en la construcción del sistema GLP son las siguientes.

- Actividades preliminares
- Montaje de tanques de almacenamiento, vaporizadores y decantador
- Preparación de rosca en tubería SCH80 y Níplera SCH40 para montaje
- Instalación de red de distribución en sistema de almacenamiento y vaporización forzada
- Instalación de tubería HDPE – línea de media presión(MP)
- Instalación de tubería SCH80 – línea de media presión
- Instalación de sistema de regulación primera y segunda etapa
- Instalación de tubería SCH80 en línea de baja presión y conexión a equipos de consumo
- Prueba de hermeticidad y entrega operativa del sistema GLP

#### 5.1 Lineamientos para una instalación segura de un sistema GLP

En este punto desarrollaremos los lineamientos generales que permitan desarrollar actividades para la instalación de un sistema GLP de manera segura y cumpliendo una secuencia de pasos, para así evitar los accidentes e incidentes al realizar actividades dentro de un área de trabajo.



### 5.1.1 Personal involucrado en las actividades

Tabla 58: Cuadrilla de trabajadores encargados en el proyecto

| Puesto de trabajo               | Cantidad |
|---------------------------------|----------|
| Supervisor de operaciones(OP)   | 02       |
| Supervisor de seguridad (SSOMA) | 02       |
| Ing. de calidad                 | 01       |
| Técnico mecánico (TM)           | 10       |

*Fuente: elaboración propio del autor*

### 5.1.2 Responsabilidades

#### Supervisor de operaciones.

- Es responsable del cumplimiento, difusión y control del procedimiento, contar con la documentación necesaria y asegurar que la actividad se ha realizado de manera correcta.
- coordinar, información, recursos y equipos, para el desarrollo efectivo, con seguridad y calidad, de las tareas asignadas y cumplir con los objetivos.
- Asegurar el orden y limpieza de las diferentes áreas de trabajo, bajo su responsabilidad

#### Supervisor de SSOMA

- Instruir y verificar que los trabajadores conozcan y cumplan con los estándares de seguridad y usen adecuadamente los equipos de protección personal apropiados para cada tarea. Informar a los trabajadores acerca de los peligros en el lugar de trabajo
- validar la documentación de pre inicio de actividades (IPERC, ATS, PETS, ETC)



- Actuar inmediatamente frente a cualquier peligro que sea informado en el lugar de trabajo. Facilitar los primeros auxilios y la evacuación del(os) trabajador(es) lesionado(s) o en peligro
- Asegurar el orden y limpieza de las diferentes áreas de trabajo, bajo su responsabilidad
- Tomar toda precaución para proteger a los trabajadores, verificando y analizando que se haya dado cumplimiento a la IPERC realizada por los trabajadores en su área de trabajo, a fin de eliminar o minimizar los riesgos

### **Personal técnico**

- Conocer los peligros y riesgos existentes en el lugar de trabajo que puedan afectar su salud o seguridad a través del IPERC de línea base y el IPERC continuo; así como la información proporcionada por el supervisor
- Mantener el orden y limpieza del lugar del trabajo.
- Cumplir con los estándares, PETS, y prácticas de trabajo seguro establecidos dentro del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud Ocupacional.
- Reportar de forma inmediata cualquier incidente, incidente peligroso y accidente de trabajo
- Ser responsables por su seguridad personal y la de sus compañeros de trabajo

#### **5.1.3 Equipos de protección personal**

- Casco de Seguridad
- Ropa de Trabajo
- chaleco Reflectivo
- Zapatos de Seguridad



- Guantes de nitrilo
- Guantes de Badana
- Traje Tyvek
- Lentes de seguridad Oscuros
- Lentes de seguridad Claros
- Respirador de Media Cara
- Filtros para Gases
- Tapones de oídos
- Orejeras

#### 5.1.4 Equipos/ herramientas / materiales

**Tabla 59:** Lista de equipos, herramientas y materiales para las actividades

| EQUIPOS               | HERRAMIENTAS               | MATERIALES                             |
|-----------------------|----------------------------|--|
| Compresora de aire    | Llave stilson              | Teflón para gas                        |
| Exposímetro           | Llave francesa             | Trapo industrial                       |
| Detector de tormentas | Desarmador                 | Manómetros de 300, 60psi y 11inh2o     |
| Tarraja eléctrica     | Alicate                    | Accesorios FN 150, FN 300 y acero 3000 |
| Amoladora eléctrica   | Kit de dados               | Reguladores de primera y segunda etapa |
| Taladro inalámbrico   | Tarraja manual             | Válvula de alivio de vapor de 38psi    |
|                       | Extensión industrial       | Válvula hidrostática de 450psi         |
|                       | Llave stilson              | Válvulas de paso                       |
|                       | Llave francesa             | Accesorios de unión para HDP           |
|                       | Extensión industrail       | Tuberías HDP, SCH80                    |
|                       | Corta tubo, arco de sierra | Pintura epoksica, thineer              |
|                       | Prensa cadena, caballetes  | Pasta metálica , cinta teflón          |
|                       | Escobilla metálico         |  |

*Fuente: elaboración propia del autor*



## 5.2 Secuencia de actividad para la construcción del sistema GLP

### 5.2.1 Actividades preliminares

**Coordinación:** El supervisor de operaciones coordinará las tareas con el responsable del área (cliente) para llevar a cabo las actividades asignadas y cumplir con los objetivos establecidos

**Charla:** Antes de iniciar las actividades, el Supervisor de Seguridad (SST) ofrecerá una charla de 5 minutos, identificando los peligros y riesgos asociados con la actividad.

**Almacenaje:** Se designará una zona despejada o un almacén techado. Los materiales y herramientas se almacenarán cerca del área de trabajo. Para el almacenaje de pinturas y thinner, se usarán bandejas anti derrames. Además, se cubrirán con plástico las herramientas y materiales para evitar polvo o partículas externas. La zona de almacenaje se delimitará con cintas de seguridad y conos.

**Documentación:** El supervisor y el personal técnico que participará en el trabajo evaluarán peligros y riesgos, implementarán controles y prepararán la documentación necesaria antes de comenzar la labor (IPERC, formato de capacitación, check list de herramientas y materiales).

**Inspección:** El supervisor de operaciones, junto con el líder de grupo, inspeccionará el área de trabajo antes de delimitarla con cintas perimétricas rojas o amarillas.

**Inspección de herramientas manuales:** El personal técnico, en colaboración con el supervisor, realizará una inspección visual de todas las herramientas. Los resultados se registrarán en el formato de Inspección de Herramientas y se colocará una cinta del color correspondiente al trimestre actual para indicar que se ha realizado la inspección adecuada.



### **Delimitación del área de trabajo**

- El supervisor de Seguridad (SST) verificara el área de trabajo, realizara una evaluación de riesgos potenciales para seguidamente tomar medidas de control.
- Personal mecánico procede a demarcar el área de trabajo dejando un espacio adecuado para poder circular, con cintas amarillas y tarjetas de identificación o conos de seguridad separados cada 03 metros
- Los letreros de Seguridad Indicara “HOMBRES TRABAJANDO”

#### **5.2.2 Instalación de sistema de almacenamiento y vaporización forzada.**

El sistema de almacenamiento representa la pieza clave de la instalación, ya que implica la realización de labores de alto riesgo, como el izaje de tanques. Para llevar a cabo esta actividad, es esencial seguir un procedimiento riguroso, en el cual el personal involucrado debe cumplir con requisitos específicos establecidos por la UM.

##### **5.2.2.1 Pasos de las tareas**

**\*Izaje de tanques.-**Los tanques estacionarios de la marca Trinity presentan un peso específico de 2.7 toneladas. Al aplicar un factor de seguridad de 1.5, se determina que la carga máxima admisible es de 5 toneladas. Para llevar a cabo el izaje de estos tanques, se empleará una grúa telescópica equipada con un sistema de carga que utiliza poleas y cables. Esta característica del sistema de carga asegura que la carga se mantenga estática y controlada durante todo el proceso de posicionamiento, garantizando una manipulación segura y eficiente.

**\*Ubicación y fijación de tanques:** La disposición de los tanques se lleva a cabo en una plataforma construida sobre una base de cemento, de acuerdo con las especificaciones detalladas en el plano. Además, se colocan sobre estructuras de albañilería no combustibles, con soportes diseñados específicamente para cumplir

con los criterios sísmicos establecidos. Esta disposición cumple con los requisitos detallados en los numerales 6.4.1 al 6.4.8 y la tabla 12 de la NTP 321.123.

Para garantizar la fijación segura de los tanques, se utilizan pernos de expansión diseñados para cargas estáticas, capaces de soportar tanto cargas de tensión como de corte. Las especificaciones técnicas detalladas de estos pernos se encuentran detalladas en el apéndice, asegurando así un método de fijación que cumple con las normativas y garantiza la estabilidad y seguridad de los tanques en su ubicación específica

#### ***5.2.2.2 Control de seguridad al realizar la actividad***

- El supervisor de Seguridad (SST) revisará el área, evaluando los riesgos potenciales y tomando medidas de control.
- El personal mecánico demarcará el área de trabajo, dejando espacio para la circulación.
- Se Utilizará cintas amarillas, tarjetas de identificación o conos de seguridad separados cada 3 metros.

#### ***5.2.2.3 Memoria fotográfica del proceso***

**Figura 64:** *Izaje y fijado con pernos de expansión*



Fuente: Elaboración propio del autor



**Figura 65:** *Posicionamiento de tanques según la configuración de diseño*



*Fuente: propio del autor*

**\*Izaje de vaporizador y decantador:** En esta sección, detallaremos los procedimientos específicos que deben ser seguidos para llevar a cabo una instalación precisa, conforme a las especificaciones detalladas en la NTP 321.123 y los manuales de instalación proporcionados por Algas y Ransome. Se abordarán aspectos como la selección adecuada del equipo de izaje, la verificación de las capacidades de carga y el cumplimiento riguroso de las pautas delineadas en los manuales mencionados. Asimismo, se proporcionarán instrucciones detalladas sobre el posicionamiento exacto de los elementos, la conexión correcta de componentes y la implementación de medidas de seguridad específicas durante todo el proceso de izaje.

#### **Consideraciones críticas para instalación de vaporizadores de fuego directo.**

##### **Según NTP 321.123**

- Los vaporizadores de fuego directo serán instalados en el exterior, o en construcciones separadas o estructuras que cumplan con los subcapítulos 8.2.1 y 8.2.2 o en construcciones adjuntas o habitaciones que cumplan con los subcapítulo 8.3.1 y 8.3.2.
- La válvula de alivio de presión de vaporizadores instalados dentro de construcciones en plantas industriales, deberán ser conectadas con tuberías



hacia un punto fuera de la construcción o estructura y será descargado verticalmente hacia arriba.

- La habitación para el vaporizador de fuego directo no deberá tener ningún drenaje hacia una alcantarilla o sumidero que esté compartida con otra estructura.
- Las descargas de las válvulas de alivio de presión en los vaporizadores de fuego directo deberán conducirse por tuberías hacia un punto fuera de la estructura o edificación.
- Una válvula de cierre manual deberá ser instalada en cada conexión del tanque que alimenta al vaporizador.
- Los vaporizadores de fuego directo de cualquier capacidad serán ubicados de acuerdo con la Tabla 14.

**Tabla 60.** Separación mínima *entre vaporizadores a fuego directo y exposiciones*

| exposición  | Distancia mínima requerida |      |
|---|----------------------------|------|
|   | m                          | pies |
| Tanque  | 3                          | 10   |
| Válvula de cierre del tanque  | 4.6                        | 15   |
| Punto de transferencia  | 4.6                        | 15   |
| Edificio importante o grupo de edificios más cercano o línea de propiedad adyacente sobre la que se pueda construir | 7.6                        | 25   |
| Edificio o habitación que albergue un mezclador aire- gas   | 3                          | 10   |
| Gabinete exterior que albergue un mezclador aire gas  | 0                          | 0    |

*Fuente: (NTP 321.123)*

#### **5.2.2.4 Memoria fotografica montaje de vaorizador y decantador.**

**Figura 66:** *izaje de vaporizador y decantador*



*Fuente :elaborcion propia del autor*

### **5.2.3 Preparación de tubería SCH80 y Nipleria SCH40 para montaje**

Después de completar la fase de montaje de tanques y vaporizadores, se llevará a cabo una etapa crucial que implica la preparación detallada de las roscas en los Niples y tuberías SCH80, seguida por su ensamblaje correspondiente. Es fundamental destacar que esta tarea específica se realizará únicamente después de haber concluido con éxito los procesos de arenado y pintado, asegurando así la integridad y durabilidad de la instalación. Durante esta fase, se prestará especial atención a cada paso del proceso, desde la inspección de las roscas hasta la correcta alineación de las tuberías, garantizando una conexión segura y eficiente. Este enfoque detallado no solo cumple con los estándares establecidos, sino que también contribuye significativamente a la calidad y confiabilidad general de la instalación

#### **5.2.3.1 Consideraciones críticas para preparación de Niples**

Según la (NTP 321.121, 2008, pág. 20)

- Los tubos y accesorios metálicos roscados deberán ser de rosca cónica para tubos y deberá cumplir con le ANSI/ASME B1.20.1



- No deberá utilizarse tubos con roscas, astilladas, corroídas o dañadas de otro modo. Si una soldadura se abre durante la operación de corte o roscado, no deberá utilizarse esta porción de tubo.
- El roscado de los tubos en campo deberán estar de acuerdo a la tabla 3.

**Tabla 61.** Especificaciones de tuberías roscadas

| Tamaño de la tubería | Longitud aproximada de la porción roscada | Número aproximado de hilos |
|----------------------|---|----------------------------|
| Pulgadas             | mm (pulgadas)                             | 10                         |
| ½                    | 19 (¾)                                    | 10                         |
| ¾                    | 19 (¾)                                    | 10                         |
| 1                    | 22 (7/8)                                  | 10                         |
| 1 ¼                  | 25 (1)                                    | 11                         |
| 1 ½                  | 25 (1)                                    | 11                         |
| 2                    | 25 (1)                                    | 11                         |
| 2 1/2                | 38 (1 ½)                                  | 12                         |
| 3                    | 38 (1 ½)                                  | 12                         |
| 4                    | 40 (1 5/8)                                | 13                         |

*Fuente: (NTP 321.123, 2018)*

### 5.2.3.2 Pasos de las tareas

**\*Adecuación del área de trabajo:** El personal técnico, en estrecha colaboración con el supervisor de seguridad (SST), llevará a cabo una meticulosa adecuación del área de trabajo bajo techo. Esta preparación incluirá la implementación de medidas específicas para garantizar un entorno óptimo para la realización de tareas críticas, como la preparación de Niples y trabajos puntuales de ensamblaje. Se considerará la disposición ergonómica de las estaciones de trabajo, la instalación de iluminación adecuada, y la identificación clara de las áreas designadas para cada actividad. Además, se pondrá un énfasis especial en la seguridad, implementando medidas preventivas y de mitigación de riesgos para asegurar un entorno de trabajo seguro y eficiente. Este enfoque detallado en la adecuación del área no solo optimizará la



productividad, sino que también contribuirá a la seguridad y bienestar general del equipo durante la ejecución de estas tareas especializadas.

**\*Corte de tubos a medida con roscadora eléctrica y manual:** El personal técnico altamente competente, en colaboración con un asistente, llevará a cabo un proceso minucioso de corte de tubos a medida utilizando tanto una roscadora eléctrica como una manual. El procedimiento se inicia mediante el montaje de la tubería en dos trípodes, donde se asegurará una alineación precisa con el eje de la máquina. Posteriormente, se procederá a la fijación de la tubería mediante el uso del plato de garras del torno. Una vez asegurada la posición, se llevará a cabo el proceso de roscado con la máxima precisión. Simultáneamente, el colaborador desempeñará un papel crucial al aplicar un sistema de refrigeración en la pieza torneada. Este enfoque estratégico tiene como objetivo reducir la fricción y disipar el calor generado durante el proceso, contribuyendo significativamente a la obtención de un acabado que cumpla con los rigurosos estándares de calidad establecidos por la UM. Cada paso de este procedimiento se ejecutará con atención a los detalles para asegurar tanto la eficiencia como la excelencia en el resultado final.

#### ***5.2.3.3 Control de seguridad al realizar la actividad.***

Se tendrá en cuenta las siguientes medidas de seguridad.

- Mantener una distancia fuera de la línea de fuego al momento de realizar el roscado
- Verificar que el personal técnico utilice en todo momento los EPPS específicos (guantes de nitrilo, badana, traje Tyvek mascarilla de media cara)
- Segregar correctamente los residuos contaminados en contenedores según código de colores.

- Se implementará un kit de anti derrames para la preparación de Niples SCH80
- Se implementara una fuente de agua en el área, para la hidratación permanente del personal.

#### 5.2.3.4 Memoria fotografía de actividades

*Figura 67: preparación de tubería y roscado con tarraja manual*



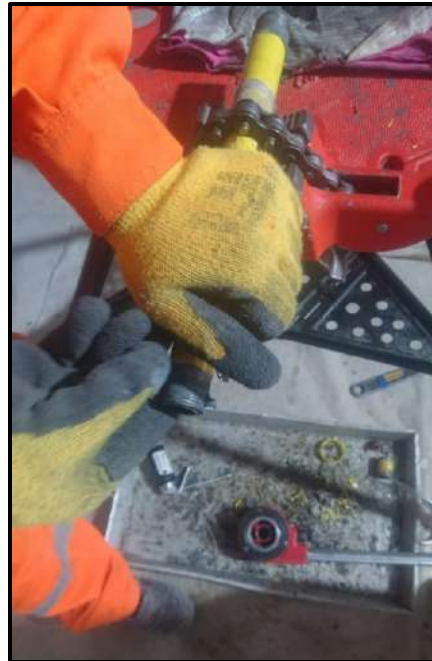
Fuente: propio del autor

*Figura 68: preparación de tubería y roscado con tarraja manual*



Fuente: Elaboracion propia del autor

**Figura 69:** *limpieza de hilos*



#### **5.2.4** *Instalación de red distribución en sistema de almacenamiento y vaporización forzada*

Una vez que la tubería y los Niples han sido preparados minuciosamente, se procederá con el ensamblaje de los accesorios, que incluyen elementos de alta calidad como el acero 3000, FN300, y las válvulas de control especializadas. Todas las actividades serán llevadas a cabo siguiendo cuidadosamente el plano de detalles que describe las conexiones específicas entre el tanque, el vaporizador y el decantador. Este enfoque detallado garantiza una ejecución precisa y eficiente del proceso de instalación

##### **5.2.4.1** *Consideraciones críticas para ensamblaje de uniones roscadas*

**\*Compuestos para sello de uniones roscadas:** Según la el numeral 6.6.4 de la (NTP 321.121, 2008, pág. 27). Los compuestos para rosca (compuestos para juntas o selladores, como por ejemplo pasta metálica, etc.) deberán ser resistentes a la acción del GLP o algún otro constituyente químico de los gases a ser conducidos a través del tubo o tubería. Los compuestos para rosca deberán de ser aplicado solamente a

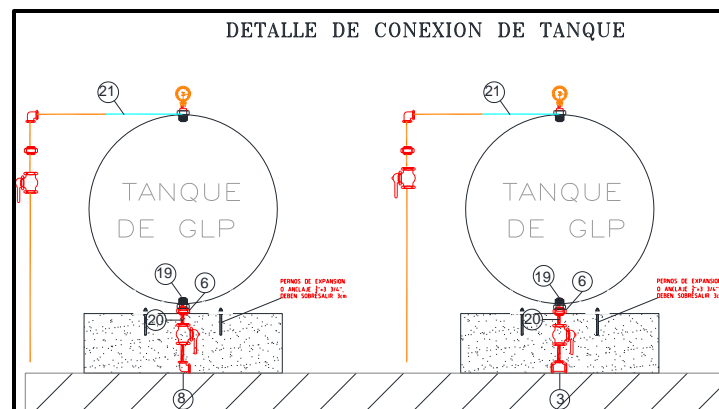
la conexión del tubo macho, para evitar tener el compuesto en el sistema de tubo o tubería durante el ensamblaje.

**\*Uniones para tubo o tuberías metálicas y accesorios:** El tipo de unión usado en tubos y tuberías debe de ser el adecuado para las condiciones de presión- temperatura y deberá seleccionarse teniendo en consideración la tensión de la unión y la resistencia mecánica bajo las condiciones de servicio. La unión deberá ser adecuada para resistir la fuerza máxima extrema debido a la presión interna y a todas las fuerzas adicionales accionadas por la expansión y contracción debida la temperatura, vibración, fatiga o el peso del tubo y sus contenidos.

#### 5.2.4.2 Pasos de la tarea

**\* Instalación de Tubería de Alta Presión SCH80 para Vapor Natural:** Esta tubería abarca desde la conexión a la salida del tanque hasta la entrada al regulador de primera etapa. En este tramo, se utilizará tubería SCH80 de 1/2 pulgada desde la salida del tanque hasta la conexión con la troncal principal, que será de 1 pulgada hasta la entrada del regulador. Todos los accesorios de unión, como tees, reducciones, codos, entre otros, estarán fabricados con material FN 300 (300 lbs). La válvula de control de flujo será del tipo bola y llevará la marca Apollo."

**Figura 70:** Detalle de conexión del tanque en la línea de vapor natural



*Fuente: elaboración propio del autor*

### Control de seguridad al realizar la actividad.

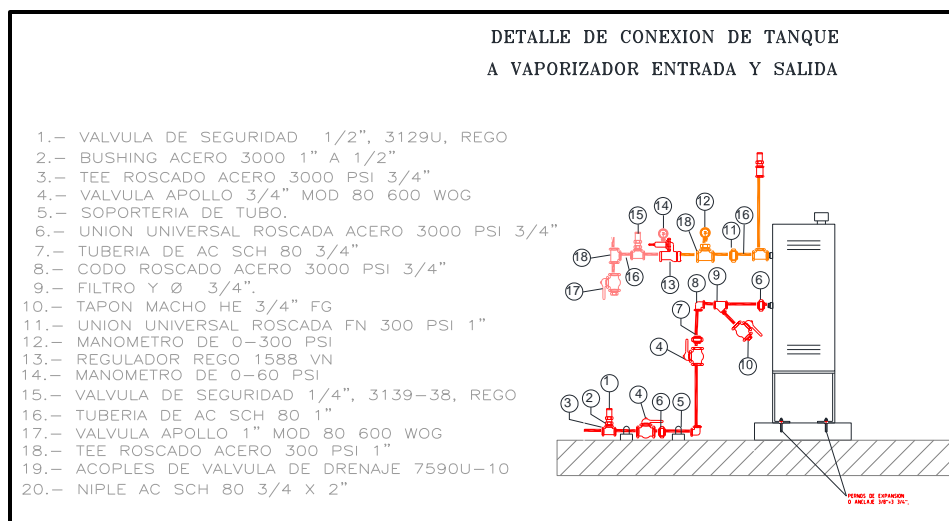
- El personal técnico debe usar EPPs para manipular la pasta metálica (guantes de nitrilo mascarilla de media cara, rodilleras, guantes de badana)
- Mantener las extremidades superiores fuera de la línea de fuga, al momento de realizar el ajuste de las conexiones,
- Realizar pausas activas cada 30 minutos

### \*Instalación de Tubería de Alta Presión SCH80 para GLP Líquido (Gas Licuado de Petróleo):

Esta tubería abarca desde la conexión de la válvula de exceso de flujo hasta la entrada al vaporizador de fuego directo. Se utilizará tubería SCH80 de 3/4 de pulgada para este tramo. Todos los accesorios de unión, como tees, reducciones, codos, entre otros, serán de material acero 3000 (3000 lbs). La válvula de control de flujo será del tipo bola y llevará la marca Apollo. La zona de tanques se dividirá en tres grupos, cada uno compuesto por cuatro tanques, y cada grupo contará con sus propias válvulas de control para operar de manera independiente. Cada conjunto de cuatro tanques estará conectado a un vaporizador

Detalle de conexión de vaporizador.

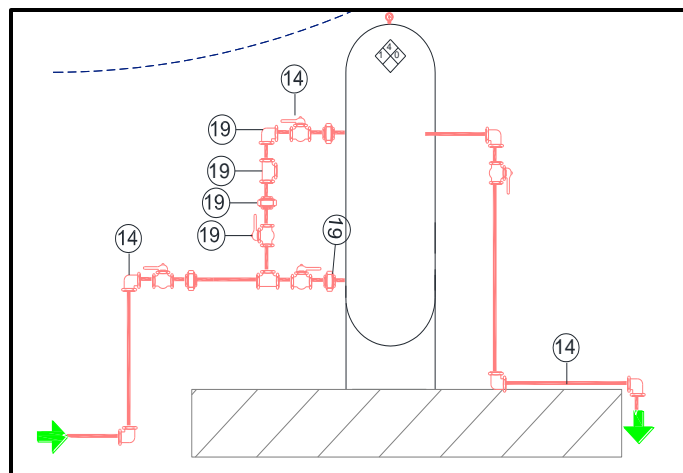
**Figura 71:** detalle de la conexión de vaporizador, entrada y salida



*Fuente: Elaboración propia del autor*

**Instalación de tubería SCH80 media presión – vapor forzado:** Esta tubería comprende desde la salida del vaporizador hasta la entrada al decantador. Este tramo será montado con tubería SCH80 de 1 y 2 pulg. Los accesorios de unión (tee, reducciones, codos etc.) Serán de material FN300 (300lbs). La válvula de control de flujo será de tipo bola marca Apollo. En la figura siguiente se detalla la conexión del decantador.

**Figura 72:** *detalle de conexión en decantador, entrada y salida*



*Fuente: Elaboración Propia del autor*

#### **5.2.4.3 Control de seguridad al realizar la actividad.**

- El personal técnico debe utilizar EPP, que incluye guantes de nitrilo, mascarilla de media cara, rodilleras y guantes de badana, al manipular la pasta metálica.
- Al ajustar las conexiones, es crucial que el personal mantenga las extremidades superiores fuera de la línea de fuego para prevenir posibles riesgos.
- Se deben realizar pausas activas cada 30 minutos para garantizar la concentración y el bienestar del personal durante la actividad.

#### 5.2.4.4 Memoria fotográfica de actividades

**Figura 73:** vista de la zona de tanques con sus conexiones respectivas.



*Fuente: elaboración propia*

**Figura 74:** vista de vaporizadores con las conexiones respectivas



*Fuente: elaboración propio del autor*

**Figura 75.** *Vista del decantador con las conexiones respectivas*



*Fuente: Elaboración propia del autor*

### **5.2.5 Instalación de tubería de HDPE de media presión**

Después de completar las labores en la zona de tanques, avanzaremos con el montaje de la tubería HDPE. Esta sección abarca desde el punto "A", que es la salida del decantador, hasta el punto "B", donde se produce un cambio de HDPE a SCH80. Cabe destacar que esta porción de la tubería está enterrada y se extiende a lo largo de 65 metros

#### **5.2.5.1 Consideraciones críticas para instalación de tubería HDPE**

##### **Tubo de plástico.**

- Los tubos, tuberías y accesorios de plástico usados en sistemas de GLP deberán estar de acuerdo con la NTP321.123 o NFPA58
- Los tubos o tuberías de plástico deberán instalarse al exterior enterrados solamente.
- Las conexiones realizadas al exterior y enterradas entre tubos y tuberías metálicas y plástico, deberán realizarse con accesorios conforme a las normas ASTM D 2513 y ASTM F 1973.



### **Tubos o tubería enterrada.**

- Espaciamiento: los tubos o tuberías enterradas deberán ser instalados con suficiente espacio (ver figura 1) o de otras estructuras enterradas para evitar el contacto entre ellos, permitiendo el mantenimiento y la protección contra el peligro de aproximación de otras estructuras. Además, las tuberías de plástico deben de ser instalados con suficiente espacio o debe estar aislado de alguna fuente de calor para prevenir que el calentamiento pueda dañar
- Protección contra peligro: se deberá prever de medios para prevenir tenciones excesivas del tubo o tubería donde hay tráfico vehicular pesado, o condiciones de suelo inestable que pudieran provocar el hundimiento de tubos y tuberías o los cimientos de las paredes. Los tubos y tuberías deberán estar protegidos de daños físicos cuando pase a través de jardines, arbustos y otros tipos de áreas donde tal peligro es razonablemente esperado.
- El sistema de tubos o tuberías enterradas deben tener una cubierta de 30cm como mínimo. La cubierta deberá incrementarse a 46cm , si existe peligro de fuerzas externas(ejemplo paso de vehículos)
- La zanja deberá encontrarse nivelado, de modo que el tubo posea un apoyo firme y esencialmente continuo en el fondo de esta.
- Cuando el cubrimiento de la zanja es realizado para consolidar el relleno, se deberá tener cuidado que el tubo quede firme (sin movimiento) desde su apoyo en el fondo de la zanja.
- En los cruces de tubos o tuberías de GLP con conducciones de otros servicios debe disponerse, entre las partes más cercanas de las instalaciones, una distancia mínima 10cm en los puntos de cruce y de 20cm en recorridos paralelos.



### 5.2.5.2 Pasos de la tarea

#### **\*Corte de tubería y raspado**

- Verificar que los extremos de los tubos estén perpendicular al eje si fuera el caso cortar el tubo de tal manera que quede perpendicular, para ello se debe usar el corta tubo PE.
- Se medirá la longitud de la tubería que deberá ingresar al interior del accesorio a fusionar y se marcara con un rotulador indeleble sobre los extremos a unir, en toda el área a raspar, se agregara al área de raspado 2.5cm por seguridad
- Luego de esto se deberá raspar toda la zona marcada con un raspador mecánico o manual hasta obtener un raspado uniforme en todo el perímetro de la tubería.
- Biselar los bordes externos de la tubería, para evitar que la resistencia interna del accesorio no sea dañada
- Después del proceso de raspado limpiar la superficie del tubo a fundir y superficie interna de los accesorios el cual deben estar limpias, secas sin grasa así mismo se debe usar un producto de limpieza adecuado a base de alcohol con un contenido mínimo de 98.8% y solo se debe usar un papel absorbente, libre de pelusas.

#### **\*Montaje de tubería y accesorio.**

- Solo en este momento se retiran de su bolsa los accesorios a fusionar, luego se introducirá la tubería dentro del accesorio respetando las marcas realizadas anteriormente sin aplicar una fuerza externa para evitar daño de las resistencias de los accesorios
- Desde diámetros de 32mm para arriba y ya situadas en su posición final de fusión (la tubería y los accesorios), serán insertados en el alineados con el fin de sujetar y fijarlos durante el proceso de soldadura hasta su enfriamiento final



- Una vez que el sistema este fijo y libre de esfuerzos se conectaran los cables del equipo de soldadura, el cual posee los parámetros de soldadura que la maquina reconocerá.

#### **\*Fusión e inspección.**

- Se procederá a dar inicio al ciclo de fusión según las indicaciones del equipo, siempre verificando que no exista ningún código de error lanzado por el equipo durante el proceso y que este indique al final “ciclo OK”
- Como inspección visual tendremos que comprobar la perfecta salida de los testigos de fusión de accesorios y verificar que no exista derrame de material (si este existe se descarta la fusión)
  - Numero de fusión
  - Fecha y hora de fusión
  - Tiempo y temperatura de fusión.

#### **5.2.5.3 Memoria fotográfica de actividades.**



*Fuente: elaboración propio del autor*

### 5.2.6 Instalación de tubería SCH80 línea de media presión

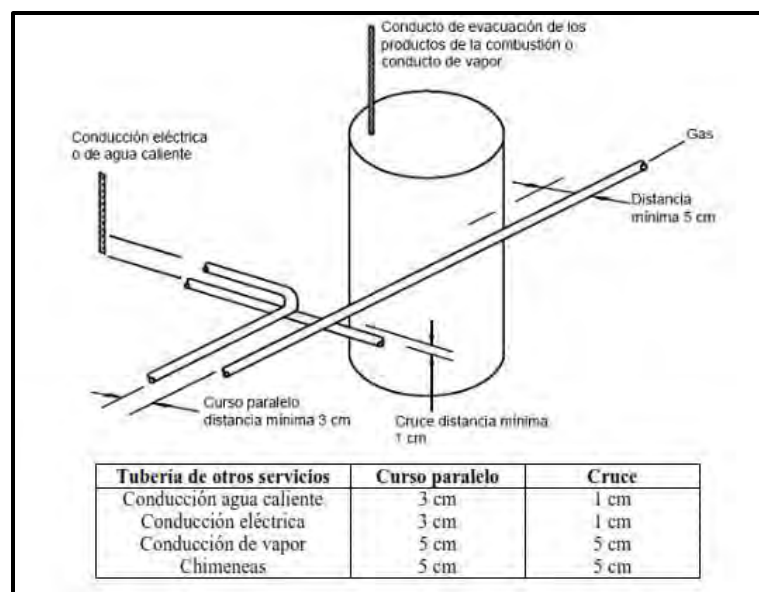
Este tramo de tubería comprende desde el puto “B”, transición HDPE, hasta la conexión de reguladores de segunda etapa, con una longitud aproximada de 150m, los cuales están distribuidos en forma área a 2m del piso.

#### 5.2.6.1 Consideraciones críticas para la instalación de tubería SCH80.

##### \*Instalación de tubos o tuberías superficiales.

- Los tubos o tuberías instalados superficialmente deberán estar soportados de forma segura y ubicada donde estén protegidos de daños físicos. Cuando pasen atreves de una pared exterior, el tubo o tubería deberá estar protegido contra la corrosión con una capa o envoltorio con un material inerte aprobado para tal aplicación.

Figura 76: Detalle de la instalación de tuberías superficiales



Fuente:(NTP 321.121, 2008)

- Los tubos o tuberías deberán sujetarse con soportes para tubos, adecuados para su tamaño de los mismos, de acuerdo a la resistencia y calidad, ubicados a intervalos tales que eviten o amortigüen la excesiva vibración. Los tubos y



tuberías deben de ser anclados para evitar que los elementos soporten tenciones indebidas. Los soportes para tubos deben cumplir la norma MSS SP-58

- En las instalaciones de tubos o tuberías de GLP la distancia entre soportes no debe ser mayor que la distancia en la tabla N°4
- Los soportes, colgadores y anclajes deberán instalarse de modo de no interferir con la libre expansión y contracción de los tubos y tuberías ubicadas en los anclajes. todas las partes de los equipos de sostén deberán encontrarse diseñadas e instaladas de modo de no desengancharse por el movimiento de los tubos.

#### **5.2.6.2 Pasos de la tarea**

**\*Preparación de tubería y ensamblaje:** El personal técnico, en colaboración con un ayudante, llevará a cabo las medidas necesarias para el tramo donde se realizará el montaje. Todas estas medidas se efectuarán de acuerdo con las especificaciones detalladas en los planos de distribución. A continuación, se llevará a cabo la preparación de los NIPLES SCH80 para su posterior ensamblaje con accesorios de FN300 y válvulas de control en puntos críticos de la línea de media presión. Este proceso asegura una instalación precisa y conforme a las especificaciones del diseño, garantizando así la eficacia y la seguridad en la línea de media presión.

**\*Montaje de tubería y soportado:** Para llevar a cabo el montaje, primero es necesario preparar el área. En este caso, las tuberías están ubicadas a más de 1.8 metros del suelo, por lo que se coordinarán los permisos necesarios para realizar trabajos en altura. Una vez que se hayan instalado los andamios y se haya despejado la zona, se colocarán los soportes siguiendo las especificaciones técnicas detalladas en la tabla N°3 de la NTP 321.121. Finalmente, se procederá con el montaje en su posición final y se asegurará utilizando abrazaderas tipo Huol de tamaño. "Según el diámetro de la tubería adecuada

### 5.2.6.3 Memoria fotográfica e actividades

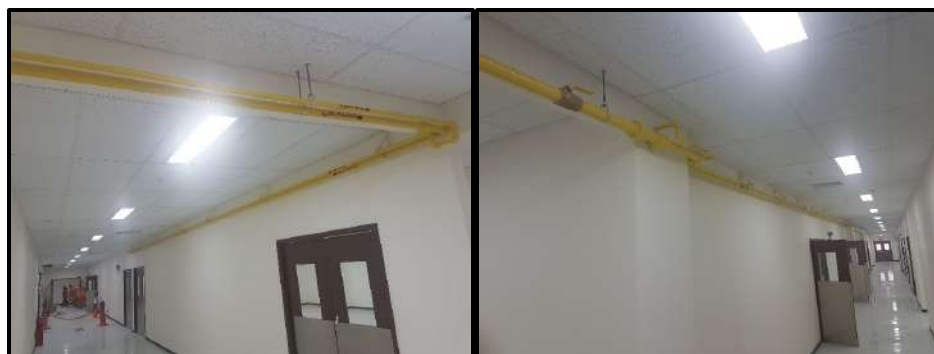
*Figura 77: vista, ensamblaje de tubería media presión*



*Figura 78: vista, soporte para tubería*



*Figura 79: Vista de la tubería de media presión montado y soportado*



### 5.2.7 Instalación de sistema de regulación primera y segunda etapa

El sistema de regulación es el corazón de la instalación, por lo tanto para un ensamblaje y montaje correcto, se deberá seguir un procedimiento de trabajo bajo las



recomendaciones de los fabricantes y la NTP 321.121. En la planta de GLP está la regulación de primera etapa, los cuales están distribuidos de la siguiente manera

- En la línea de vapor natural, existen dos reguladores modelo REGO 1588VN, los cuales están instalados a nivel del piso tal como se muestra en las imágenes.
- En la línea de vapor forzado, existe 03 reguladores modelo REGO 1588VN, los cuales están conectados a la salida de cada uno de los vaporizadores
- La regulación de segunda etapa se instalara en las áreas donde existe equipos de baja presión (cocina caliente, cocina abatidores, panadería y sala de termas).

#### ***5.2.7.1 Consideraciones críticas para la instalación de sistema de regulación***

- El regulador de presión de gas deberá ser accesible para el servicio
- el regulador de presión deberá estar protegido en caso exista posibles daños, por cargas externas
- el Regulador de presión de línea de gas, de preferencia se instalaran en exteriores. En los casos que no sea posible, el regulador de presión de línea de gas deberá cumplir con los siguientes.
- Cuando la ubicación de un regulador es tal que la ruptura del diafragma causaría un riesgo, se deberá instalar un venteo independiente hacia el exterior, de dimensiones adecuadas de acuerdo con las recomendaciones de los fabricantes.
- Cuando hay más de un regulador en la ubicación, cada regulador deberá tener un venteo separado hacia el exterior, o si es aprobado por la autoridad responsable, será permitido que las líneas de venteo sean interconectadas a través de un múltiple manifold de acuerdo con la aceptación práctica de ingeniería.
- El venteo será diseñado para prevenir la entrada de agua, insectos, u otros materiales extraños que puedan causar el bloqueo

### 5.2.7.2 Procedimiento de montaje

#### Preparación de Niples y ensamblaje.

El personal técnico realizara las medidas respectivas, para seguidamente preparas las roscas en las tuberías y ensamblaje con los elementos de unión, como son válvulas tipo bola, accesorios FN300 y manómetros de media y baja presión.

#### Soportado de tubería

Terminado el ensamblado se procederá con soportado de las conexiones con carriles y abrazaderas tipo struck.

### 5.2.7.3 Memoria fotográfica montaje de reguladores

**Figura 80:** sistema de regulación primera etapa en la línea de vapor



**Figura 81:** *vista de regulación segunda etapa – cocina caliente*



**Figura 82:** *vista de regulación segunda etapa- sala de caleras*



### **5.2.8 Instalación de sistema de tubería de baja presión**

Este tramo de la tubería abarca desde el regulador de segunda etapa hasta la conexión con los equipos de consumo de baja presión. La longitud de esta tubería es de aproximadamente 30 metros y está distribuida a nivel del piso.

En la cocina caliente, hay una distribución enterrada con tubería de HDPE, que tiene una longitud de 18 metros. El procedimiento para este tramo ya se menciona en la instalación de la línea de media presión

### 5.2.8.1 Pasos de la tarea.

- Como primer paso, empezaremos con la medición del tramo en base al plano de distribución, ya con las medidas se procederá con la preparación de roscas en Niples y tuberías , toda las actividades de ensamble se realizara en una prensa tipo cadena
- El montaje se realizara a nivel del piso con soportes y abrazaderas tipo struck.

### 5.2.8.2 Memoria fotográfica

**Figura 83:** Tubería de baja presión





### 5.3 Prueba de hermeticidad

La realización de pruebas de hermeticidad en las tuberías de Gas Licuado de Petróleo (GLP) es un paso crítico en la implementación y mantenimiento de sistemas seguros y eficientes. Estas pruebas desempeñan un papel esencial en la identificación temprana de posibles fugas, asegurando así la integridad del sistema y la prevención de situaciones potencialmente peligrosas. La prueba de hermeticidad se realizara en todo la red de distribución, los cuales se dividen de la siguiente manera.

#### 5.3.1 *Línea de alta presión.-*

Esta línea de tubería abarca varios tramos importantes en el sistema. Vamos a describir dos partes clave:

**\*Tubería de GLP Líquido:** Esta sección de la tubería va desde la salida del tanque hasta la entrada de los vaporizadores. En otras palabras, es el camino que sigue el gas licuado de petróleo (GLP) en su forma líquida desde el tanque hasta donde se convierte en vapor.

**\*Tubería de Vapor Natural:** Aquí estamos hablando del tramo que va desde la salida del tanque en su fase vapor hasta llegar a los reguladores de la primera etapa. Es el segmento donde el GLP ya ha cambiado a su estado gaseoso y se dirige hacia los dispositivos que controlan la presión en la primera etapa del sistema

#### 5.3.2 *Línea de media presión*

Esta parte del sistema consta de dos segmentos importantes:

**\*Tubería de Vapor Forzado:** Esta tubería va desde donde el vaporizador libera vapor hasta donde se conecta con el decantador. Básicamente, es el camino que sigue el vapor cuando se produce y es dirigido hacia el decantador.

**\*Tubería HDPE de Media Presión:** Aquí estamos hablando de la tubería que va desde un punto específico llamado "A" hasta el punto en el que la tubería de HDPE



hace la transición a la tubería SCH80. En términos más sencillos, esta parte de la línea maneja el gas en una fase intermedia de presión y se extiende desde un punto inicial hasta donde cambia su tipo de material.

### **5.3.3 Línea de baja presión**

Esta tubería se extiende desde el regulador de segunda etapa hasta la conexión con los equipos de consumo. En términos simples, es el conducto que lleva el gas desde el regulador hasta donde se conectan y utilizan los dispositivos que consumen el gas.

### **5.3.4 Consideraciones críticas para prueba de hermeticidad**

- Antes de aceptar e iniciar la operación, todas las instalaciones de tubos o tuberías deberán ser inspeccionados y probadas para determinar que los materiales, diseño construcción y forma de instalación cumplan con los requisitos de esta norma
- La inspección consiste en un examen visual, durante o luego de la instalación, y de ensayos con presión (prueba de hermeticidad)
- En caso de reparaciones y ampliaciones realizadas después de efectuada la prueba de presión, el tubo o tubería afectada debe ser probada. Reparaciones y ampliaciones menores no requieren ser probadas con presión
- Cuando un nuevo ramal es instalado para una nueva aplicación solamente el nuevo ramal instalado requerirá ser probado con presión
- Las uniones de los tubos deben de quedar expuestas para ser examinadas durante la prueba
- Las juntas de expansión deberán estar provistas de restricciones temporales, si es requerido, para la carga adicional de empuje baja la prueba
- Los aparatos y equipos que no fueran a incluirse en la prueba deberán ser desconectados de los tubos y tuberías, o aislados mediante llaves ciegas, bridas



ciegas o tapones. No se requerirá que sean probados las uniones con bridas en las que inserten bridas ciegas para aislar a otros equipos durante la prueba

### 5.3.5 *Presión de prueba*

- La presión de prueba debe medirse con un manómetro o con un dispositivo medidor de presión diseñados para leer, registrar o indicar la fuga de presión debida a las fugas durante que dura la prueba. Antes de realizarla prueba de presión la fuente de presión debe de ser aislada.
- El manómetro empleado en el ensayo debe ser tal que la presión de ensayo se encuentra entre 25% y el 75% de su rango de medición y que tenga un grado de precisión
- La presión utilizada en la prueba no debe ser menor a 1.5 veces la presión de trabajo máxima, pero no menor a 20KPa manométrica (3psig), independientemente de la presión de diseño propuesta cuando la presión de prueba exceda los 125psig, la presión de prueba no deberá exceder el valor que produce el tubo o tubería un esfuerzo tangencial mayor que el 50% del esfuerzo de fluencia mínima especificada del tubo
- La duración de la prueba no deberá ser menor que media hora por cada 14M<sup>3</sup> de volumen del tubo o fracción del mismo
- El sistema de tubos deberá soportar la presión de prueba especificada sin mostrar evidencias de fuga u otros defectos, cualquier reducción en las presiones de prueba que fuera indicada por los manómetros será interpretada como una señal de la presencia de una fuga, salvo que la reducción puede ser fácilmente atribuirle a alguna otra causa.



- En los lugares en que se detecten fugas u otros defectos, la porción del sistema de tubos o tuberías afectada deberá repararse o remplazarse y deberá ser probado nuevamente

### **5.3.6 Procedimiento de prueba de hermeticidad**

La prueba hermeticidad es un procedimiento que utiliza la presión del aire y/o nitrógeno para testear las tuberías de fuga. Este método no sólo sirve para identificar fugas, sino también para limpiar y secar el sistema de tuberías, permitiendo que la tubería quede lista al final del testeo. La prueba neumática se utiliza cuando otros métodos no son factibles; por ejemplo, en caso de congelamiento, el testeo con agua se ve imposibilitado.

#### **5.3.6.1 Protocolos para las Pruebas de Hermeticidad en Tuberías de Gas LP**

La finalidad de las pruebas de hermeticidad, es verificar que todas las partes de la línea de tuberías de gas LP hayan quedado correctamente instaladas, probadas contra fugas y listas para prestar el servicio.

- Tanto el proceso de prueba como sus resultados, serán verificados por el Ingeniero Supervisor, con asistencia del ejecutor, debiendo éste último proporcionar el personal, material, aparatos de pruebas, de medición y cualquier otro elemento que se requiera para las pruebas.
- Para las pruebas de las líneas de tuberías se realizará la Prueba neumática con aire a zanja abierta en caso de la tubería HDP, y para el caso de las tuberías SCH80 las pruebas se realizaran con gas nitrógeno.
- El tipo de bomba para la inyección de aire será con una compresora eléctrica, las tuberías que estarán sometidas a prueba bajo este fluido serán las tuberías de HDP y las tuberías de SCH40, para iniciar con esta prueba se cerraran todas



las llaves donde se conectaran con los equipos y la inyección del aire se dará por el extremo de la tubería a través de la unión flexible.

- La inyección de gas nitrógeno será desde el tanque de nitrógeno de 10 m<sup>3</sup>, las tuberías que estarán sometidas a prueba bajo este fluido serán las tuberías de SCH80, para iniciar con esta prueba se cerraran todas las llaves donde se conectaran con los vaporizadores y decantadores.
- La conexión para inyección de los fluidos y los elementos de purga de los mismos, se conectarán a la tubería mediante tapones con Niples especiales de conexión.
- El Ingeniero, previamente al inicio de las pruebas, verificará el certificado de calibración del manómetro y el estado y funcionamiento de los manómetros. No se permitirá el uso de manómetros en mal estado o que no se encuentren calibrados.
- Así mismo se verificará que se tenga el protocolo de pruebas donde se identifique los límites de prueba, verificar la correcta instalación de la tubería, ensayos completos, etc.

#### **5.3.6.2 Prueba neumática- tuberías**

- La prueba neumática con los diferentes fluidos se realizará a las tuberías, desde la llave principal de la salida de cada tanque de GLP hasta los equipos, tuberías que conectan tanque con vaporizadores y decantadores.
- Los diámetros de tuberías que se probarán serán de acuerdo a lo especificado en las Especificaciones Técnicas (NTP 321.123).
- Se tiene como presión de trabajo máxima y admisible de las tuberías, Las tuberías de HDP y SCH40 estarán sometidas a 60 Psi y las tuberías de HDP80



estarán sometidas a 200 Psi, estas indicaciones serán validadas por el área de Ingeniería.

- Las uniones y accesorios deben estar descubiertos para poder observar si durante el tiempo de prueba (1-2 horas) no se presenta alguna fuga.
- Se iniciará la inyección del fluido respectivo a la tubería correspondiente, esto se realizará hasta alcanzar la presión determinada en la tubería. Se incrementará la presión en forma creciente hasta alcanzar la presión máxima de prueba la cual es una y media ( $1 \frac{1}{2}$ ) veces la presión nominal, según la Norma ASME Sección VIII, división 1/ASME B 31.3 Sección A328.5.
- Una vez lograda la presión máxima se procederá a cerrar la válvula de admisión de la bomba manual para así lograr el cierre del circuito de prueba con la presión máxima.
- Se procederá a tomar el tiempo correspondiente a este inicio de prueba, el cual se extenderá por una hora. Debiéndose mantener constante la presión indicada en el manómetro.
- Al llegar al valor de la presión de prueba, esperar al menos 1-2 horas (tiempo de prueba) minutos manteniendo esta presión, e inspeccionar visual con agua jabonosa en las uniones y eliminando los posibles burbujeos, fugas, decrementos de presión en el manómetro que pudiera decidir suspender la prueba y determinar los resultados como no satisfactorios. Si no existe un descenso de presión de más de 5% del valor de la presión de prueba, la prueba se considera satisfactoria. (Código ASME Sección VIII, división 1/ASME B 31.3 Sección A328.5).
- Debido a factores de dilatación y expansión del material, debemos esperar un tiempo de 30 minutos hasta que se establezca la presión de prueba, y luego de



que se establezca se contará el tiempo de prueba y se evaluarán las juntas de unión.

### **5.3.6.3 Seguridad para realizar la prueba, siguiendo los requerimientos indicados.**

- La Empresa Contratista que intenta hacer la prueba, presentará el Permiso de procedimiento de prueba neumático (junto al Procedimiento de Trabajo y el Análisis de Seguridad en el Trabajo) con 48 horas de anticipación, a la Gerencia de SSO del Proyecto.
- Se verificarán y revisarán los riesgos asociados con la Prueba.
- Se comunicarán las áreas afectadas por la prueba, y la fecha, hora y duración de la misma.
- Se identificarán los Supervisores y Trabajadores autorizados a ingresar a las áreas o niveles afectados por la prueba.
- Se determinarán las distancias de seguridad que se deberán mantener durante la ejecución de la prueba.
- Se establecerán los medios de advertencia que usarán los vigías para alertar a cualquier persona que se aproxime demasiado a las distancias de seguridad establecidas o crucen el perímetro de las mismas.
- Se establecerá el número de radios de comunicación requeridas para los Coordinadores de la prueba y los vigías
- No se permitirá que durante el proceso de prueba, el personal permanezca realizando trabajos, con excepción del trabajador que bajará a inspeccionar las uniones, válvulas, accesorios, etc.
- Una vez concluido el periodo de tiempo requerido para la prueba (1 -2 horas dependiendo de los trabajos en campo), se procederá a liberar el circuito, mediante la apertura de la válvula de admisión del probador de presión.



#### 5.3.6.4 Memoria fotográfica



### 5.4 Control de calidad

Los criterios de aceptación para la validación de la prueba serán de acuerdo a lo siguiente:

- Paquete de pruebas.(anexos)
- Procedimiento de pruebas de hermeticidad.
- Certificados de calibración vigentes de los manómetros (anexos).
- Verificación de operatividad de los manómetros (anexos).
- Certificados de calidad de las tuberías. (Anexos)
- Elaboración de los Manifold de acuerdo a los procedimientos establecidos y correctos.(Anexo)

### 5.5 Implementación de sistema de seguridad

#### 5.5.1 Implementación de e Extintor

En la zona de tanques, hay un total de 12 tanques, cada uno con una capacidad de 1000 galones. Además, hay tres vaporizadores de fuego directo y un decantador



con una capacidad de 120 galones. Esta disposición cumple con las directrices establecidas en la norma NTP321.123.

Como medida de seguridad, se han instalado tres extintores de 120 kg de polvo químico seco, con un alcance de extinción de 4A:80: BC. Estos extintores se colocaron a una distancia no mayor de 15 metros de cada tanque. Su propósito es sofocar cualquier conato de incendio que pueda surgir en la zona.

### **5.5.2 Implementación de Iluminación Artificial**

Con la finalidad de brindar seguridad y ante la eventualidad de efectuar operaciones de transferencia durante la noche, o atender una emergencia, se dispone de equipos de iluminación artificial portátiles de tipo a prueba de explosión.

### **5.5.3 Modificaciones**

Con el fin de garantizar la seguridad en la instalación de Gas Licuado de Petróleo (GLP), se tomaron medidas para reubicar los accesorios eléctricos y los cables a una distancia mínima de 4.60 metros desde la superficie del tanque. Además, se extendieron los ductos. Que estaban a menos de 3 metros de la zona de almacenamiento, elevándolos a una altura de 2 metros sobre el nivel del piso

### **5.5.4 Retiro de Material Combustible**

A fin de brindar la debida seguridad a la instalación, este proyecto contempló el retiro de todo material combustible cerca de la zona de almacenamiento a una distancia de 3 m. Según indica la norma.

### **5.5.5 Acciones en caso de incendio**

En caso de que el incendio se produzca, se debe evitar que el fuego se extienda rápida y libremente, es decir solamente deberá causar el menor daño posible. En caso de incendios, estas son las indicaciones mínimas que se deben considerar.



- La brigada de emergencia intentara extinguir el fuego (siempre y cuando no sea una fuga encendida, o contener las llamas para que no se expandan, con los medios disponibles como extintores, arena, agua, etc.
- Se deberá proveer de caminos u otro medio de acceso para equipos de emergencia, como equipos del cuerpo de bomberos.
- La brigada de emergencia realizará, instruirá e implementará el plan de
- Seguridad.

### 5.5.6 *Fugas*

Estas indicaciones son las más generales que existen para el caso de fugas:

- Detener el paso de personas y vehículos a una distancia de 100 m. de la Zona de ocurrencia de la emergencia.
- Evacuar a las personas que se encuentren a menos de 100 m. de la fuga de gas.
- Movilizar el extintor y el equipo que fuera necesario para el control de la misma.
- Rociar, de ser posible, agua en forma de neblina (chorro niebla) para dispersar los vapores de GLP.
- Cortar toda posible fuente de ignición. No accionar interruptores eléctricos.
- Sofocar cualquier llama abierta que exista en las inmediaciones.

### 5.5.7 *- riesgos del producto GLP*

Las características fisico-químicas de los GLP, los convierten en productos que generan riesgos. Al igual que cualquier fuente de energía, su manejo, uso e incluso residuo (mala combustión), también presenta situaciones de riesgo. Desde el punto de vista físico hay que distinguir los dos estados en los que se presenta: como líquido y como gas. En ambos estados existe un buen conocimiento del comportamiento del producto y de la tecnología para su control, por lo que los aspectos relacionados con la seguridad están muy desarrollados.



### ***5.5.7.1 Peligros inherentes a considerar***

El principal peligro potencial del GLP es el fuego. Esto deriva de su característica de alta inflamabilidad y en casos extremos puede combinarse con la característica de presión; que nos conduce el fenómeno BLEVE (Explosión de Vapores en Expansión y Líquidos en Ebullición).

El "esnifado" de GLP, esto es, la inhalación intencionada del vapor de GLP, a parte de la capacidad asfixiante que tiene, puede tener un efecto narcotizante, que podría llegar a producir lesiones. El GLP líquido puede causar quemaduras si se pone en contacto con la piel.

El propano con un punto de ebullición bajo, puede ser más peligroso en este aspecto que el butano, el cual, en condiciones frías, es más lento en evaporarse y dispersarse.

Siendo el vapor de GLP más pesado que el aire, puede en caso de escape, acumularse en espacios reducidos y en zonas bajas. Los métodos de ventilación influirán en el movimiento y la dispersión del vapor de GLP.

Un escape de GLP líquido es considerado mucho más peligroso en cuanto a que al convertirse en fase gaseosa (vapor), su volumen se multiplica por un factor superior a 250. Siendo más pesado que el aire, el vapor tenderá a posarse próximo al suelo con el riesgo de que pueda encontrar una fuente de ignición mientras se mantiene dentro de sus límites de inflamabilidad.

El GLP líquido tiene un alto coeficiente de expansión térmica, y por lo tanto, los envases y los depósitos deberán tener un espacio vacío que permita la expansión del líquido cuando incremente la temperatura



## **CAPÍTULO VI.**

### **ANÁLISIS ECONÓMICO**

#### **6. COSTOS Y PRESUPUESTOS**

En este capítulo se detallan los costos directos de construcción del sistema GLP que incluyen el metrado de materiales en sistema de almacenamiento, distribución, regulación, vaporización forzada y metrado de servicios por terceros.

Asimismo, se detallan los costos de operación y de mantenimiento del sistema GLP en un espacio de un año por ser una instalación de carácter crítico en seguridad y cumplir los lineamientos especificados en la NTP321.123

En ese sentido, en el presente capítulo desarrollaremos un presupuesto a detalle que representa la Inversión de los Metrados mencionados que nos permitirán hallar un costo directo de construcción y montaje del sistema GLP.

##### **6.1 Cotos directos de construcción del sistema GLP**

Son los costos que contribuyen al producto final y pueden ser atribuidos directamente a la construcción del mismo, incluye el costo de materiales, mano de obra, ingeniería y Otros (AACE International, 1992, p. 4-1)

##### **6.2 Resumen de cotos directos**

El metrado y demás costos se expresan en moneda nacional S. / para cotizaciones Realizadas en el año 2022.

**Tabla 62: Resumen de costos directos**

| DESCRIPCIÓN   |           | TOTAL             |
|---|-----------|-------------------|
| 1.1.-Costo de accesorios de conexión para 12 tanques de 1000galones             | s/        | 6,027.70          |
| 1.2.-Instalacion de tubería de alta presión                                     | s/        | 10,346.86         |
| 1.3.-Accesorios de conexión para 03 vaporizadores algas 120/60                  | s/        | 9,126.35          |
| 1.4.-Costo de materiales sistema de regulación                                  | s/        | 12,026.22         |
| 1.5.-Instalacio de reguladores de alta y baja presión                           | s/        | 4,833.31          |
| 1.6.-Costo de tubería de media presión exterior                                 | s/        | 19,442.94         |
| 1.7.-Instalacion de tubería de baja presión                                     | s/        | 5,316.41          |
| 1.8.-Costo de tanques de almacenamiento y vaporizadores                         | s/        | 292,570.00        |
| 1.9.-Costo de soporteria de sistema de almacenamiento y distribución            | s/        | 7,240.50          |
| 2.0.-Costo de arenado y pintado de tubería sch80 de 1/2", 3/4", 1", 1 1/2" y 2" | s/        | 6,628.30          |
| <b>2.1.-Costo total mano de obra</b>  | <b>s/</b> | <b>114,900.00</b> |
| costo directo total   | s/        | 488,458.59        |
| Utilidad (15%)  | s/        | 97,691.72         |
| <b>total</b>  | <b>s/</b> | <b>586,150.31</b> |

*Fuente: elaboración propia*

### 6.3 Costo de materiales para la construcción del sistema GLP

“Los costos de materiales son todos los de naturaleza sustancial esenciales para construir u operar una instalación”. (AACE International, 1992, p. 1-6)

#### 6.3.1 Costo de accesorios de conexión para 12 tanques de 1000galones

**Tabla 63: costo de accesorios de conexión**

| DESCRIPCIÓN                                  | UNIDAD | CANT. | P.U   | TOTAL (S/) |
|--|--------|-------|-------|------------|
| Llave de gas marca Apollo de 3/4" de 600 WOG | Unid.  | 15    | 65.93 | 989.01     |
| Llave de gas marca Apollo de 1/2" de 600 WOG | Unid.  | 15    | 43.19 | 647.79     |
| Llave de gas marca Apollo de 1/4" de 6       | Unid.  | 12    | 43.19 | 518.23     |
| Niples SCH 80 de 3/4"*3"                     | Unid.  | 12    | 3.81  | 45.67      |
| Niples SCH 80 de 1" * 2"                     | Unid.  | 12    | 3.00  | 36.04      |
| Niples SCH 80 de 1" * 6"                     | Unid.  | 12    | 7.88  | 94.51      |
| Niples SCH 80 de 1/2" * 2"                   | Unid.  | 48    | 2.09  | 100.32     |
| Niples SCH 80 de 1/2" * 6"                   | Unid.  | 48    | 5.46  | 261.89     |
| Niples SCH 80 de 1/4" * 2"                   | Unid.  | 48    | 2.49  | 119.33     |
| Tee FN 300 de 1/4"                           | Unid.  | 18    | 5.60  | 100.78     |



|                                    |       |      |        |                        |
|------------------------------------|-------|------|--------|------------------------|
| Codo FN 300 de 1/4"                | Unid. | 24   | 4.95   | 118.80                 |
| Manómetro de 0 - 300 psi           | Unid. | 24   | 21.76  | 522.19                 |
| Manómetro de 0 - 60 psi.           | Unid. | 12   | 21.76  | 261.10                 |
| Busing SCH 80 de 2" a 1"           | Unid. | 12   | 5.93   | 71.15                  |
| Busing SCH 80 de 1" a 1/2"         | Unid. | 12   | 2.31   | 27.72                  |
| Busing FN 300 de 3/4" a 1/2"       | Unid. | 48   | 1.65   | 79.20                  |
| Busing FN de 1 1/4" a 3/4"         | Unid. | 15   | 6.20   | 93.00                  |
| Busing FN 300 de 1/2" a 14"        | Unid. | 48   | 1.65   | 79.20                  |
| Unión universal FN 300 de 1"       | Unid. | 12   | 19.78  | 237.34                 |
| Unión Simple FN 300 de 1/2"        | Unid. | 24   | 4.20   | 100.80                 |
| Unión universal FN 300 de 1/2"     | Unid. | 15   | 13.77  | 206.58                 |
| Codos FN 300 de 1/2"               | Unid. | 45   | 3.96   | 178.20                 |
| Tee FN 300 de 1/2"                 | Unid. | 45   | 5.93   | 266.81                 |
| Chicote de cobre pool 1/2 x 1/2"   | Unid. | 15   | 19.75  | 296.18                 |
| Adaptador de bronce de 1/4" x 1/8" | Unid. | 12   | 14.33  | 171.96                 |
| Protección catódica                | Unid. | 0    | 330.00 | 0.00                   |
| Pasta metálica                     | kg.   | 4.00 | 33.33  | 133.32                 |
| Teflón                             | Unid. | 123  | 2.20   | 270.60                 |
| <b>Sub total</b>                   |       |      |        | <b>s/<br/>6,027.70</b> |

Fuente: elaboración propia

### 6.3.2 Costo e instalación de tubería de alta presión

**Tabla 64:** costo de instalación de tubería de alta presión

| DESCRIPCIÓN                                  | UNIDAD | CANT. | P.U    | TOTAL (S/) |
|--|--------|-------|--------|------------|
| Llave de gas marca Apollo de 2" de 600 WOG   | Unid.  | 12    | 220.22 | 2642.64    |
| Llave de gas marca Apollo de 1" de 600 WOG   | Unid.  | 10    | 91.65  | 916.5      |
| Llave de gas marca Apollo de 3/4" de 600 WOG | Unid.  | 6     | 65.93  | 395.58     |
| Codo FN 300 de 2"                            | Unid.  | 8     | 24.98  | 199.84     |
| Codo FN 300 de 1"                            | Unid.  | 15    | 9      | 135        |
| Codo FN 300 de 3/4"                          | Unid.  | 20    | 10.22  | 204.4      |
| Tee FN 300 de 2"                             | Unid.  | 6     | 42.2   | 253.2      |
| Tee FN 300 de 1"                             | Unid.  | 10    | 5.6    | 56         |
| Codo acero 3000 de 3/4"                      | Und    | 40    | 10.22  | 408.8      |
| Tee acero 3000 de 3/4"                       | Unid.  | 10    | 13.85  | 138.5      |
| Unión universal FN 300 de 2"                 | Unid.  | 10    | 54.4   | 544        |
| Unión universal FN 300 de 1"                 | Unid.  | 10    | 19.78  | 197.8      |



|                                    |       |     |       |                         |
|------------------------------------|-------|-----|-------|-------------------------|
| Unión universal acero 3000 de 3/4" | Unid. | 25  | 14.48 | 362                     |
| Unión simple FN 300 de 2"          | Unid. | 25  | 14.48 | 362                     |
| Tubería SCH80 de 1"                | Mts   | 100 | 10.38 | 1038                    |
| Tubería SCH80 de 3/4"              | Mts   | 100 | 8.25  | 825                     |
| Tubería SCH80 de 1/2"              | Mts   | 24  | 6.72  | 161.28                  |
| Tubería SCH80 de 2"                | Mts   | 24  | 22    | 528                     |
| Pasta metálica                     | kg.   | 4   | 33.33 | 133.32                  |
| Cinta negra                        | Und   | 100 | 4.95  | 495                     |
| Cinta teflón                       | Und   | 140 | 2.5   | 350                     |
| <b>sub total</b>                   |       |     |       | <b>s/<br/>10,346.86</b> |

### 6.3.3 Costo de accesorios de conexión para 03 vaporizadores algas 120/60

**Tabla 65:** costo de accesorios de conexión para vaporizadores

| DESCRIPCIÓN                                       | UNIDAD | CANT. | P.U     | TOTAL (S/) |
|---|--------|-------|---------|------------|
| Tubería SCH 80 de 1"                              | Mts    | 6     | 10.384  | 62.304     |
| Tubería SCH 80 de 3/4"                            | Mts    | 10    | 8.25    | 82.5       |
| Codo acero 3000 de 1"                             | Unid.  | 6     | 17.138  | 102.828    |
| Codo acero 3000 de 3/4"                           | Unid.  | 31    | 10.219  | 316.789    |
| Tee FN 300 de 2"                                  | Unid.  | 1     | 42.196  | 42.196     |
| Tee acero 3000 de 1"                              | Unid.  | 10    | 20.438  | 204.38     |
| Tee acero 3000 de 3/4"                            | Unid.  | 23    | 13.849  | 318.527    |
| Unión simple acero 3000 de 3/4"                   | Unid.  | 6     | 3.96    | 23.76      |
| Unión simple acero 3000 de 1"                     | Unid.  | 4     | 5.599   | 22.396     |
| Unión simple acero 3000 de 1 1/4"                 | Unid.  | 14    | 9.889   | 138.446    |
| Unión universal acero 3000 de 3/4"                | Unid.  | 26    | 14.179  | 368.654    |
| Unión universal acero 3000 de 1"                  | Unid.  | 8     | 18.458  | 147.664    |
| Busing acero 3000 de 1/2" a 1/4"                  | Unid.  | 6     | 2.64    | 15.84      |
| Busing acero 3000 de 1" a 1/2"                    | Unid.  | 6     | 4.62    | 27.72      |
| Busing acero 3000 de 3/4" a 1/2"                  | Unid.  | 8     | 3.63    | 29.04      |
| Busing acero 3000 de 1 1/4" a 3/4"                | Unid.  | 14    | 5.929   | 83.006     |
| Reducción campana FN 300 de 2" a 1"               | Unid.  | 2     | 22.418  | 44.836     |
| Manómetro de 0 - 300 psi                          | Unid.  | 4     | 21.758  | 87.032     |
| Manómetro de 0 - 60 psi.                          | Unid.  | 2     | 21.758  | 43.516     |
| Filtro de hierro negro en "Y" de 3/4"             | Unid.  | 3     | 167.662 | 502.986    |
| Válvula hidrostática de alivio de presión de 1/2" | mts    | 7     | 129.514 | 906.598    |
| Válvula a de drenaje de 3/4"                      | Unid.  | 3     | 65.934  | 197.802    |
| Válvula de alivio de vapor                        | Unid.  | 3     | 129.514 | 388.542    |
| Niple SCH80 de 2"*6"                              | Unid.  | 2     | 14.135  | 28.27      |



|   |        |     |        |                        |
|---|--------|-----|--------|------------------------|
| Niple SCH80 de 1"*6"                      | Unid.  | 34  | 7.876  | 267.784                |
| Niple SCH80 de 3/4"*6"                    | Unid.  | 41  | 7.436  | 304.876                |
| Niple SCH80 de 3/4"*2"                    | Unid.  | 4   | 2.706  | 10.824                 |
| Llaves de gas marca apolo de 1"           | Unid.  | 7   | 91.652 | 641.564                |
| Llaves de gas marca apolo de 3/4"         | Unid.  | 22  | 27.61  | 607.42                 |
| Llaves de gas marca apolo de 1/2"         | Unid.  | 3   | 43.186 | 129.558                |
| Materiales para instalación de decantador | global | 1   | 1650   | 1650                   |
| Prueba de hermeticidad                    | global | 114 | 7.7    | 877.8                  |
| Pasta metálica                            | kg.    | 3   | 33.33  | 99.99                  |
| Cinta negra                               | Unid.  | 6   | 4.95   | 29.7                   |
| Teflón                                    | Unid.  | 146 | 2.2    | 321.2                  |
| <b>Sub total</b>                          |        |     |        | <b>s/<br/>9,126.35</b> |

**Fuente:** elaboración del autor

### 6.3.4 Costo de materiales sistema de regulación

**Tabla 66:** costo de materiales sistema de regulación

| DESCRIPCIÓN                                       | UNIDAD | CANT. | P.U     | TOTAL (S/)              |
|---|--------|-------|---------|-------------------------|
| Regulador Rego 1588 VN 1" * 1" (11'000,000 Btu/h) | Unid.  | 4     | 933.39  | 3733.58                 |
| Regulador Rego 1584 VN: AP (7'000,000 Btu/hr.)    | Unid.  | 5     | 463.353 | 2316.77                 |
| Válvula de alivio Rego 3139-38                    | Unid.  | 14    | 129.51  | 1813.20                 |
| Regulador rego LV4403b4 : BP (935,000 Btu/hr)     | Unid.  | 5     | 250.00  | 1250.00                 |
| Regulador Rego LV5503b8 : BP (2'300,000 Btu/hr)   | Unid.  | 9     | 323.63  | 2912.68                 |
| <b>Sub total</b>                                  |        |       |         | <b>s/<br/>12,026.22</b> |

**Fuente:** elaboración del autor

### 6.3.5 Instalación de reguladores de alta y baja presión

**Tabla 67:** costo de accesorios de conexión para reguladores

| DESCRIPCIÓN                                   | UNIDAD | CANT. | P.U   | TOTAL (S/) |
|---|--------|-------|-------|------------|
| Tubería de sch80 de 3/4" para línea de venteo | Mts.   | 54    | 8.25  | 445.5      |
| Codos venteo de FN 300 de 3/4"                | Unid.  | 54    | 5.93  | 320.166    |
| Niples de SCH80 1" * 2"                       | Unid.  | 30    | 3.00  | 90.09      |
| Niples de SCH80 1/2" * 6"                     | Unid.  | 12    | 5.46  | 65.472     |
| Niples de SCH80 1/2" * 2"                     | Unid.  | 11    | 2.09  | 22.99      |
| Niples de SCH80 3/4" * 2"                     | Unid.  | 54    | 2.71  | 146.124    |
| Llaves de gas marca Apollo de 1/2"            | Unid.  | 9     | 43.19 | 388.674    |
| Llaves de gas marca Apollo de 3/4"            | Unid.  | 9     | 65.93 | 593.406    |



|   |       |       |        |                        |
|---|-------|-------|--------|------------------------|
| Uniones universales FN 300 de 1"            | Unid. | 11    | 19.78  | 217.558                |
| Uniones universales FN 300 de 3/4"          | Unid. | 22    | 15.83  | 348.238                |
| Reducciones campana FN 300 de 2" a 1"       | Unid. | 5     | 22.42  | 112.09                 |
| Reducciones campana FN 300 de 1 1/2" a 1"   | Unid. | 4     | 14.25  | 56.98                  |
| Reducciones campana FN 300 de 1 1/2" a 3/4" | Unid. | 2     | 14.25  | 28.49                  |
| Reducciones campana FN 300 de 1" a 3/4"     | Unid. | 8     | 9.89   | 79.112                 |
| Bushing FN 300 de 1/2" x 1/4"               | Unid. | 11    | 1.65   | 18.15                  |
| Bushing FN 300 de 1" x 1/2"                 | Unid. | 11    | 2.31   | 25.41                  |
| Tee FN 300 de 1"                            | Unid. | 11    | 13.19  | 145.079                |
| Codo FN 300 de 1/2"                         | Unid. | 11    | 3.96   | 43.56                  |
| Manómetro de 0 - 32 CA                      | Unid. | 9     | 148.36 | 1335.213               |
| Pasta metálica                              | kg.   | 2     | 33.33  | 66.66                  |
| Pintura amarillo Caterpillar                | gln   | 1     | 66.00  | 66                     |
| Cinta negra                                 | Unid. | 5     | 4.95   | 24.75                  |
| Cinta teflón 1/2" gas                       | Unid. | 88.00 | 2.20   | 193.6                  |
| <b>Sub total</b>                            |       |       |        | <b>s/<br/>4,833.31</b> |

**Fuente: elaboración propia**

### 6.3.6 Instalación de tubería de baja presión

**Tabla 68:** costo de materiales en línea de baja presión

| DESCRIPCIÓN                            | UNIDAD | CANT. | P.U    | TOTAL (S/) |
|--|--------|-------|--------|------------|
| Tubería de SCH80 de 1"                 | mts    | 16    | 10.384 | 166.144    |
| Tubería de sch80 de 1 1/2"             | mts    | 42    | 15.873 | 666.666    |
| Tubería de SCH80 de 2"                 | mts    | 54    | 21.978 | 1186.812   |
| Codos de FN 300 de 1"                  | und    | 5     | 8.899  | 44.495     |
| Codos de FN 300 1 1/2"                 | und    | 9     | 16.192 | 145.728    |
| Codos de FN300 de 2"                   | und    | 15    | 24.981 | 374.715    |
| Tee de FN 300 de 1 "                   | und    | 2     | 13.189 | 26.378     |
| Tee de FN 300 de 1 1/2"                | und    | 7     | 23.738 | 166.166    |
| Tee de FN 300 de 2"                    | und    | 10    | 42.196 | 421.96     |
| Niples de SCH80 de 1"*6                | und    | 7     | 7.876  | 55.132     |
| Niple de SCH80 de 1 1/2"*6             | und    | 11    | 10.142 | 111.562    |
| Niples de SCH80 de 2"*6                | und    | 14    | 14.135 | 197.89     |
| Reducciones de FN 300 de 2 " a 3/4"    | und    | 7     | 22.418 | 156.926    |
| Reducciones de FN 300 de 1 1/2" a 3/4" | und    | 16    | 14.245 | 227.92     |
| Reducciones de FN 300 de 1" a 3/4"     | und    | 4     | 9.889  | 39.556     |
| Prueba de hermeticidad                 | und    | 112   | 3.85   | 431.2      |
| Pintura de color amarillo Caterpillar  | und    | 1     | 66     | 66         |



|                     |     |    |       |                        |
|---------------------|-----|----|-------|------------------------|
| Soportes de platina | und | 56 | 9.35  | 523.6                  |
| Cinta negra         | und | 6  | 4.95  | 29.7                   |
| Pasta metálica      | und | 2  | 33.33 | 66.66                  |
| Teflón              | und | 96 | 2.2   | 211.2                  |
| <b>Sub total</b>    |     |    |       | <b>s/<br/>5,316.41</b> |

**Fuente:** elaboración propia

### 6.3.7 Costo de tanques de almacenamiento y vaporizadores

**Tabla 69:** costo de tanques y vaporizadores

| DESCRIPCIÓN                                 | UNIDAD | CANT. | P.U   | TOTAL (S/)               |
|---|--------|-------|-------|--------------------------|
| Tanque cilíndrico de 1000 galones           | und    | 12    | 16000 | 192000                   |
| Decantador de 120 galones                   | und    | 1     | 4000  | 4000                     |
| Vaporizador FD Ransome 120gph- 10.98mmbtu/h | und    | 3     | 32190 | 96570                    |
| <b>Sub total</b>                            |        |       |       | <b>s/<br/>292,570.00</b> |

**Fuente:** Elaboración propia

### 6.3.8 Costo de soporte de sistema de almacenamiento y distribución

**Tabla 70:** costo de sistema de soporte

| DESCRIPCIÓN                                      | UNIDAD | CANT. | P.U  | TOTAL (S/)             |
|--|--------|-------|------|------------------------|
| Fabricación de soporteria metálico para tuberías | und    | 120   | 25   | 3000                   |
| Abrazadera tipo u- Bolt 1/2*3/8                  | und    | 100   | 3.4  | 340                    |
| Abrazadera tipo u- Bolt 3/4*3/8                  | und    | 100   | 3.8  | 380                    |
| Abrazadera tipo u- Bolt 1*3/8                    | und    | 100   | 4.2  | 420                    |
| Abrazadera tipo u- Bolt 2*3/8                    | und    | 100   | 4.6  | 460                    |
| Abrazadera para riel Strut 1/2"                  | und    | 150   | 1.5  | 225                    |
| Abrazadera para riel Strut 3/4"                  | und    | 150   | 1.8  | 270                    |
| Abrazadera para riel Strut 1"                    | und    | 150   | 2.57 | 385.5                  |
| abrazadera para riel Strut 2"                    | und    | 100   | 4    | 400                    |
| Pernos hilti de 1/2"*3"                          | und    | 100   | 8    | 800                    |
| Pernos hilti de 1/4"*3"                          | und    | 160   | 3.5  | 560                    |
| <b>sub total</b>                                 |        |       |      | <b>s/<br/>7,240.50</b> |

**6.3.9 Costo de arenado y pintado de tubería sch80 de 3/4", 1", 1 1/2" y 2"****Tabla 71: costo proceso de pintado**

| DESCRIPCIÓN  | UNIDAD | CANT. | P.U | TOTAL (S/)             |
|--|--------|-------|-----|------------------------|
| Arenado de 14 tuberías sch80 de 1/2"*6                   | m2     | 6.03  | 50  | 301.5                  |
| Arenado de 25 tuberías SCH80 de 3/4"*6m                  | m2     | 13.61 | 50  | 680.5                  |
| Arenado de 20 tuberías SCH80 de 1"*6m                    | m2     | 18.9  | 50  | 945                    |
| Arenado de 20 tuberías SCH80 de 1 1/2"*6m                | m2     | 24.62 | 50  | 1231                   |
| Arenado de 13 tuberías SCH80 de 2"*6m                    | m2     | 14.82 | 50  | 741                    |
| Pintado de tuberías acero SCH80 de 6mt de largo a 12mils | m2     | 77.98 | 35  | 2729.3                 |
| <b>sub total</b>   |        |       |     | <b>s/<br/>6,628.30</b> |

*Fuente: elaboración propia***6.4 Costo de mano de obra**

“El costo de mano de obra es el total pagado al personal de campo que desempeña el trabajo de proyecto” (AACE International, 1992, p. 1-

**6.4.1 Costo total mano de obra****Tabla 72: precio unitario mano de obra**

| Descripción  | unidad | cant. | p.u      | total (s/) |
|--|--------|-------|----------|------------|
| Ing. Supervisor  | día    | 60    | 280.00   | 16800.00   |
| Ing. SSOMA   | día    | 60    | 280.00   | 16800.00   |
| Técnico mecánico   | día    | 60    | 230.00   | 13800.00   |
| Técnico mecánico   | día    | 60    | 230.00   | 13800.00   |
| Ayudante mecánico  | día    | 60    | 150.00   | 9000.00    |
| Ayudante mecánico  | día    | 60    | 170.00   | 10200.00   |
| equipos, herramientas, viáticos y logística                  | global | 1     | 10500.00 | 10500.00   |
| servicios de terceros  | global | 1     | 20000.00 | 20000.00   |
| Transporte, alimentación, hospedaje para examen médico       | global | 1     | 4000.00  | 4000.00    |
| Resane, pintado y logos de seguridad de tanque (12*1000 gls) | global | 1     | 9000.00  | 9000.00    |
| anclaje de tanques (12), vaporizadores (3) y decantador(1)   | global | 1     | 1800.00  | 1800.00    |



|                                  |        |   |         |                          |
|----------------------------------|--------|---|---------|--------------------------|
| Expediente técnico osinergmin    | global | 1 | 2000.00 | 2000.00                  |
| Ingeniería de detalle y permisos | global | 1 | 2000.00 | 2000.00                  |
| primer inyector                  | global | 1 | 2000.00 | 2000.00                  |
| <b>Sub total</b>                 |        |   |         | <b>s/<br/>114,900.00</b> |

Fuente: elaboración propia

## 6.5 Costos de operación y mantenimiento

Son los gastos incurridos durante la operación normal de instalación incluyendo materiales, combustibles, mantenimiento general, limpieza y otros factores a fin mantener el sistema GLP en funcionamiento en un periodo de un año.

En los cuadros siguientes se muestran los costos unitarios, para el Mantenimiento de (12) tanques en superficie de 1000 GLS C/U, tres vaporizadores de fuego directo, un (01) decantador de 120GLS y red de distribución de GLP

### 6.5.1 Costo de materiales para mantenimiento

**Tabla 73: precio de materiales**

| DESCRIPCIÓN  | UNIDAD | CANT. | P.U    | TOTAL (S/) |
|--|--------|-------|--------|------------|
| mantenimiento de media presión(0-60;0-100;0-300)       | und    | 21    | 30.89  | 648.69     |
| Manómetro de baja presión (0-32" WC)                   | Und    | 5     | 130    | 650        |
| Chicote cobre pool de 1/2"*1/2"                        | Und    | 12    | 63     | 756        |
| Válvula de alivio de vapor REGO 3139-98(1/4")          | Und    | 2     | 170.56 | 341.12     |
| Válvula de alivio hidrostático REGO 3129U 450psi(1/2") | Und    | 3     | 136.42 | 409.26     |
| Tapas para válvula de alivio de vapor de regulador     | Und    | 2     | 5.04   | 10.08      |
| tapa para válvula de llenado de tanque 1 1/4"          | Und    | 3     | 10.2   | 30.6       |
| Tapa para válvula de retorno de vapor 1 1/4"           | Und    | 3     | 9.78   | 29.34      |
| Tapa para válvula de alivio Hidrostático               | Und    | 3     | 10.3   | 30.9       |
| válvula Apollo de 1"                                   | Und    | 1     | 155    | 155        |
| Válvula Apollo de 3/4"                                 | Und    | 2     | 119    | 238        |
| Válvula Apollo de 1/2"                                 | Und    | 3     | 80.9   | 242.7      |
| acople de bronce de 1/8"*1/4"                          | Und    | 2     | 16     | 32         |



|  |     |    |      |                 |
|--|-----|----|------|-----------------|
| Consumibles (trapo industrial, bolsa e residuos, paños absorbentes etc.) | GLB | 1  | 1400 | 1400            |
| Pintura teknoglos  | GLN | 15 | 130  | 1950            |
| Thineer anipsa   | GLN | 20 | 30   | 600             |
| Logos de seguridad para tanques , decantador y tubería                   | GLN | 1  | 2500 | 2500            |
| Tarjetas de seguridad para red de GLP                                    | und | 60 | 3    | 180             |
| Nitrógeno 10m3   | und | 2  | 1000 | 2000            |
| Logos de seguridad para tanques , decantador y tubería                   | GLN | 1  | 2500 | 2500            |
| <b>sub total</b>   |     |    |      | <b>14703.69</b> |

**Fuente:** elaboración propia

### 6.5.2 Costo de mano de obra

**Tabla 74:** precio unitario mano de obra

| DESCRIPCIÓN  | UNIDAD | CANT. | P.U  | TOTAL (S/)   |
|--|--------|-------|------|--------------|
| Ing. supervisor  | día    | 21    | 250  | 5250         |
| Técnico mecánico   | día    | 21    | 150  | 3150         |
| Técnico mecánico   | día    | 21    | 150  | 3150         |
| Ayudante mecánico  | día    | 21    | 120  | 2520         |
| Transporte de personal, material, herramientas y equipos | GLB    | 1     | 3800 | 3800         |
| Herramientas y equipos                                   | GLB    | 1     | 1000 | 1000         |
| actividades preliminares(documentación y permisos)       | GLB    | 1     | 2000 | 2000         |
| Especialista para manteniendo de (03) vaporizadores      | GLB    | 1     | 4000 | 4000         |
| <b>Sud total</b>   |        |       |      | <b>24870</b> |

### Resumen general

| DESCRIPCIÓN                            | total               |
|--|---------------------|
| Costo de accesorios para mantenimiento | S/ 14,703.69        |
| costo de mano de obra                  | S/ 24,870.00        |
| <b>COSTO DIRECTO TOTAL</b>             | <b>S/ 39,573.69</b> |
| UTILIDAD (15%)                         | S/ 7,914.74         |
| <b>TOTAL</b>                           | <b>S/ 47,488.43</b> |



## CONCLUSIONES

- a) El diseño e instalación del sistema GLP de 12,000 galones en las instalaciones de la UM Angloamerican Quellaveco se ha logrado gracias a la aplicación de rigurosos estándares de calidad y el uso de conocimientos en ingeniería. Se ha cumplido con las normativas vigentes, como NFPA 58 y UNE 601.23, así como con los estándares de calidad establecidos por la UM. Este proyecto se ha llevado a cabo seleccionando cuidadosamente materiales y herramientas con certificaciones internacionales adecuadas, garantizando así la integridad y seguridad del sistema. Además, se ha documentado minuciosamente cada fase del proceso, desde la planificación hasta la implementación y las pruebas posteriores a la instalación.
- b) En este estudio, se ha desarrollado una metodología precisa para calcular los parámetros termodinámicos con las condiciones atmosféricas específicas del lugar en consideración, para una mezcla de 60/40 de GLP con un volumen mínimo del 25%. Los cálculos termodinámicos se realizaron a una temperatura de saturación de  $-12.2^{\circ}\text{C}$ , lo que resultó en un Poder Calorífico Superior (PCS) de  $96,802 \text{ BTU/m}^3$  y calor latente de vaporización ( $h_f$ ) de  $393,043 \text{ kJ/kg}$ . Utilizando el principio de transferencia de calor y considerando una temperatura exterior mínima de  $5^{\circ}\text{C}$ , se determinó la tasa de vaporización tanto de manera teórica como experimental. Los resultados de la vaporización natural para tanques de diferentes capacidades fueron los siguientes: para tanques de 1,000 galones, se obtuvo una tasa de  $18.32 \text{ kg/s}$  en condiciones teóricas y  $26.18 \text{ kg/h}$  en condiciones experimentales. Para tanques de 2,000 galones, las tasas fueron de  $24.36 \text{ kg/s}$  y  $30.88 \text{ kg/h}$  respectivamente. En el caso de tanques de 5,000 galones, las tasas fueron de  $51.36 \text{ kg/h}$  en condiciones teóricas y  $63.02 \text{ kg/h}$  en condiciones experimentales. Finalmente, para tanques de 10,000 galones, se obtuvieron tasas de  $80.38 \text{ kg/h}$  en condiciones teóricas y  $113.87 \text{ kg/h}$  en



condiciones experimentales. Basándonos en los resultados y considerando una demanda de consumo de 187 kg/h, se determinó la necesidad de instalar un total de 12 tanques, cada uno con una capacidad de 3.79 m<sup>3</sup> (1,000 galones), lo que proporciona una autonomía de 17 días en el suministro. Además, se incorporaron 3 vaporizadores de fuego directo, cada uno con una capacidad de 120 GPH (10.9 MMBTU/H), en el sistema de vaporización forzado, lo que asegura una autonomía de 12 días en condiciones de funcionamiento óptimas.

- c) En este estudio, se realizó un detallado diseño de la red de GLP, cumpliendo rigurosamente con las normativas NFPA 54 y UNE 60.621 196. Cada tramo de la red fue minuciosamente analizado según estas normativas, lo que resultó en decisiones de diseño sólidas y seguras. En el tramo de alta presión (A-B) para un caudal de 120 GPH, se determinó un diámetro de 1" utilizando tubería SCH80, con accesorios FN 300 para el vapor natural y accesorios de acero 3000 para el GLP líquido. Este diseño asegura la integridad y eficiencia de la línea de alta presión. La línea de media presión abarca tramos tanto enterrados como aéreos. Los tramos enterrados fueron diseñados con tubería HDPE de 63 mm, mientras que la tubería aérea empleó tubería SCH80 con accesorios de conexión FN300, con diámetros que oscilan entre 2" y ½". La velocidad máxima se mantuvo por debajo del límite superior recomendado de 10 m/s, garantizando un flujo seguro y eficiente. La línea de baja presión comprendió tramos enterrados y aéreos, con tubería HDPE de 63 mm en los tramos enterrados y tubería SCH80 en los tramos aéreos, con diámetros que varían de 2" a 1". La velocidad máxima de circulación se encontró por debajo del límite superior de 5 m/s, con un valor de 4 m/s, lo que garantiza una operación segura y confiable.
- d) Se llevó a cabo la instalación de un sistema de GLP compuesto por doce tanques de 1000 galones cada uno, junto con un sistema de vaporización forzada que incluye tres



vaporizadores de 120 GPH, además de un decantador de 120 galones. Todo el proceso de montaje se ejecutó rigurosamente siguiendo un procedimiento de trabajo y cumpliendo con los estándares de calidad de la UM. La instalación del sistema se dividió en 8 tareas específicas, que incluyeron desde la preparación de las tuberías hasta la realización de pruebas de hermeticidad y la puesta en funcionamiento del sistema de GLP. Cada una de estas etapas se planificó meticulosamente, formando un cronograma de actividades que culminó en pruebas finales exitosas. Estas acciones detalladas aseguraron que el sistema de GLP fuera implementado con precisión y eficiencia, cumpliendo con los estándares de calidad y seguridad necesarios. Los registros de conformidad de cada proceso están documentados en los anexos del informe, respaldando la integridad y confiabilidad del sistema.

- e) El informe de costos unitarios del proyecto proporcionó una visión detallada de las inversiones necesarias, revelando que la partida N° 8, relacionada con los tanques y vaporizadores, representó un significativo 49% del costo total del proyecto. Además, se identificó que la mano de obra constituyó un 20% del presupuesto, mientras que el resto se destinó a accesorios de conexión y tuberías. Estos hallazgos resaltan la importancia estratégica de la partida N° 8 en términos de presupuesto y, por lo tanto, subrayan la necesidad de una gestión eficiente de recursos y costos en esta área. Esta información resulta esencial para la toma de decisiones informadas y la optimización de los recursos en futuros proyectos similares, lo que contribuye a una planificación financiera más efectiva y garantiza un uso eficiente de los fondos asignados.



## RECOMENDACIONES

- a) Para lograr un diseño óptimo en sistemas de GLP, se recomienda un estudio detallado y específico para cada ubicación, empleando herramientas de medición precisa de presión y temperatura. La información confiable permitirá calcular con precisión los parámetros termodinámicos del GLP, esencial para garantizar la seguridad y eficiencia del sistema. Con datos confiables, se toman decisiones informadas en la selección de materiales, dimensionamiento de tuberías y equipos, asegurando el cumplimiento de normativas aplicables
- b) Se recomienda la creación de tablas de vaporización de GLP que abarquen desde el nivel del mar hasta altitudes de 5000 metros, para diversas mezclas. Un análisis gráfico comparativo se sugiere para comprender el comportamiento real del GLP en diferentes altitudes. Estos resultados deben utilizarse en diálogo con autoridades en hidrocarburos para ofrecer mezclas más eficientes y adecuadas a condiciones específicas, asegurando un suministro óptimo y seguro en todas las altitudes. Esta recomendación destaca la importancia de la investigación detallada y su aplicación práctica al mejorar la eficiencia en la distribución de GLP en diversas condiciones altitudinales.



## BIBLIOGRAFÍA

- Becco, J. L. ( 1989). *Los G.L.P. Los gases licuados de petróleo Repsol Butano*. Madrid.
- Catalogo REGO, R. (2019). *Catalogo L-102SV REGO Equios de GLP*. USA.
- Cengel, Y. A. (2010). *Transferencia de Calor y Masa*.
- Cengel, Y. A. (2015). *Mecanica de fluidos fundamentos y aplicaciones*.
- concepto. (s.f). *Concepto*. Obtenido de Transferencia de Calor:  
<https://concepto.de/transferencia-de-calor/#ixzz7xSkh1pMY>
- Gasnova, A. C. (s.f). *Informe Anual del GLP 2021*. Obtenido de  
<https://www.gasnova.co/wp-content/uploads/2021/12/InformeGLP2021vf.pdf>
- Lopez Sopeña, J. E. (2001). *Manual de Instalaciones de GLP- CEPSA ELF GAS*. Mexico.
- Mabarak, J. G. (1996). *Manual de calculo para Ingenieria en Gas*. mexico.
- Manual Repsol Gas, G. I. (2006). *Manual de formacion tecnica de intalaciones de GLP, diseño de una instalacion*. Mexico.
- NFPA 54, G. L. (1996). *Codigo del gas Combustible de los Estados Unidos de Norte America*. USA.
- NTP 321.121, G. I. (2008). *Instalaciones internas de GLP para consumidores directos y Redes de distribucion*. Lima- Peru.
- NTP 321.123, G. L. (2018). *NTP 321.123 Gas licuado de petroleo para consumidores directos y redes de distribucion*. Lima.
- NTP.321.120, G. I. (2008). *Presiones de Operacion admisibles para instalaciones internas de GLP*. Lima- Peru.
- petroleo, N. 3. (2012). *Instalaciones Internas de GLP para consumidores directos y redes de distribucion*. Lima.
- Sedo, A. M. (2010). *Diseño y Calculo de Instalaciones de Gases Combustibles*.
- Vasques Cordaño, A., & OSINERMING. (2017). *Analisis del mercado de GLP para dos regiones del Peru: Lima y Lambayeque*. Lima.



## APÉNDICE

## APENDICE 1: Propiedades del propano saturado

TABLA A-12

Propiedades del propano saturado

| Temp.,<br>T, °C | Presión<br>de saturación,<br>P, kPa | Densidad,<br>$\rho$ , kg/m <sup>3</sup> |         | Entalpía<br>de<br>vapori-<br>zación,<br>$h_g$ , kJ/kg | Calor<br>específico,<br>$c_p$ , J/kg · K |       | Conductividad<br>térmica,<br>k, W/m · K |         | Viscosidad dinámica,<br>$\mu$ , kg/m · s |                        | Número<br>de Prandtl, Pr |       | Coeficiente<br>de expansión<br>volumétrica, Tensión<br>superficial,<br>$\beta$ , 1/K, N/m |         |
|-----------------|-------------------------------------|---|---------|---|--|-------|---|---------|--|------------------------|--------------------------|-------|---|---------|
|                 |                                     | Líquido                                 | Vapor   |   | Líquido                                  | Vapor | Líquido                                 | Vapor   | Líquido                                  | Vapor                  | Líquido                  | Vapor | Líquido   | Vapor   |
| -120            | 0.4053                              | 664.7                                   | 0.01408 | 498.3   | 2 003                                    | 1 115 | 0.1802                                  | 0.00589 | $6.136 \times 10^{-4}$                   | $4.372 \times 10^{-6}$ | 6.820                    | 0.827 | 0.00153   | 0.02630 |
| -110            | 1.157                               | 654.5                                   | 0.03776 | 489.3   | 2 021                                    | 1 148 | 0.1738                                  | 0.00645 | $5.054 \times 10^{-4}$                   | $4.625 \times 10^{-6}$ | 5.878                    | 0.822 | 0.00157   | 0.02486 |
| -100            | 2.881                               | 644.2                                   | 0.08872 | 480.4   | 2 044                                    | 1 183 | 0.1672                                  | 0.00705 | $4.252 \times 10^{-4}$                   | $4.881 \times 10^{-6}$ | 5.195                    | 0.819 | 0.00161   | 0.02344 |
| -90             | 6.406                               | 633.8                                   | 0.1870  | 471.5   | 2 070                                    | 1 221 | 0.1606                                  | 0.00769 | $3.635 \times 10^{-4}$                   | $5.143 \times 10^{-6}$ | 4.686                    | 0.817 | 0.00166   | 0.02202 |
| -80             | 12.97                               | 623.2                                   | 0.3602  | 462.4   | 2 100                                    | 1 263 | 0.1539                                  | 0.00836 | $3.149 \times 10^{-4}$                   | $5.409 \times 10^{-6}$ | 4.297                    | 0.817 | 0.00171   | 0.02062 |
| -70             | 24.26                               | 612.5                                   | 0.6439  | 453.1   | 2 134                                    | 1 308 | 0.1472                                  | 0.00908 | $2.755 \times 10^{-4}$                   | $5.680 \times 10^{-6}$ | 3.994                    | 0.818 | 0.00177   | 0.01923 |
| -60             | 42.46                               | 601.5                                   | 1.081   | 443.5   | 2 173                                    | 1 358 | 0.1407                                  | 0.00985 | $2.430 \times 10^{-4}$                   | $5.956 \times 10^{-6}$ | 3.755                    | 0.821 | 0.00184   | 0.01785 |
| -50             | 70.24                               | 590.3                                   | 1.724   | 433.6   | 2 217                                    | 1 412 | 0.1343                                  | 0.01067 | $2.158 \times 10^{-4}$                   | $6.239 \times 10^{-6}$ | 3.563                    | 0.825 | 0.00192   | 0.01649 |
| -40             | 110.7                               | 578.8                                   | 2.629   | 423.1   | 2 258                                    | 1 471 | 0.1281                                  | 0.01155 | $1.926 \times 10^{-4}$                   | $6.529 \times 10^{-6}$ | 3.395                    | 0.831 | 0.00201   | 0.01515 |
| -30             | 167.3                               | 567.0                                   | 3.864   | 412.1   | 2 310                                    | 1 535 | 0.1221                                  | 0.01250 | $1.726 \times 10^{-4}$                   | $6.827 \times 10^{-6}$ | 3.266                    | 0.839 | 0.00213   | 0.01382 |
| -20             | 243.8                               | 554.7                                   | 5.503   | 400.3   | 2 368                                    | 1 605 | 0.1163                                  | 0.01351 | $1.551 \times 10^{-4}$                   | $7.136 \times 10^{-6}$ | 3.158                    | 0.848 | 0.00226   | 0.01251 |
| -10             | 344.4                               | 542.0                                   | 7.635   | 387.8   | 2 433                                    | 1 682 | 0.1107                                  | 0.01459 | $1.397 \times 10^{-4}$                   | $7.457 \times 10^{-6}$ | 3.069                    | 0.850 | 0.00242   | 0.01122 |
| 0               | 473.3                               | 528.7                                   | 10.36   | 374.2   | 2 507                                    | 1 768 | 0.1054                                  | 0.01576 | $1.259 \times 10^{-4}$                   | $7.794 \times 10^{-6}$ | 2.996                    | 0.875 | 0.00262   | 0.00996 |
| 5               | 549.8                               | 521.8                                   | 11.99   | 367.0   | 2 547                                    | 1 814 | 0.1028                                  | 0.01637 | $1.195 \times 10^{-4}$                   | $7.970 \times 10^{-6}$ | 2.964                    | 0.883 | 0.00273   | 0.00934 |
| 10              | 635.1                               | 514.7                                   | 13.81   | 359.5   | 2 590                                    | 1 864 | 0.1002                                  | 0.01701 | $1.135 \times 10^{-4}$                   | $8.151 \times 10^{-6}$ | 2.935                    | 0.893 | 0.00286   | 0.00872 |
| 15              | 729.8                               | 507.5                                   | 15.85   | 351.7   | 2 637                                    | 1 917 | 0.0977                                  | 0.01767 | $1.077 \times 10^{-4}$                   | $8.339 \times 10^{-6}$ | 2.909                    | 0.905 | 0.00301   | 0.00811 |
| 20              | 834.4                               | 500.0                                   | 18.13   | 343.4   | 2 688                                    | 1 974 | 0.0952                                  | 0.01836 | $1.022 \times 10^{-4}$                   | $8.534 \times 10^{-6}$ | 2.886                    | 0.918 | 0.00318   | 0.00751 |
| 25              | 949.7                               | 492.2                                   | 20.68   | 334.8   | 2 742                                    | 2 036 | 0.0928                                  | 0.01908 | $9.702 \times 10^{-5}$                   | $8.738 \times 10^{-6}$ | 2.866                    | 0.933 | 0.00337   | 0.00691 |
| 30              | 1 076                               | 484.2                                   | 23.53   | 325.8   | 2 802                                    | 2 104 | 0.0904                                  | 0.01982 | $9.197 \times 10^{-5}$                   | $8.952 \times 10^{-6}$ | 2.850                    | 0.950 | 0.00358   | 0.00633 |
| 35              | 1 215                               | 475.8                                   | 26.72   | 316.2   | 2 869                                    | 2 179 | 0.0881                                  | 0.02061 | $8.710 \times 10^{-5}$                   | $9.178 \times 10^{-6}$ | 2.837                    | 0.971 | 0.00384   | 0.00575 |
| 40              | 1 366                               | 467.1                                   | 30.29   | 306.1   | 2 943                                    | 2 264 | 0.0857                                  | 0.02142 | $8.240 \times 10^{-5}$                   | $9.417 \times 10^{-6}$ | 2.828                    | 0.995 | 0.00413   | 0.00518 |
| 45              | 1 530                               | 458.0                                   | 34.29   | 295.3   | 3 026                                    | 2 361 | 0.0834                                  | 0.02228 | $7.785 \times 10^{-5}$                   | $9.674 \times 10^{-6}$ | 2.824                    | 1.025 | 0.00448   | 0.00463 |
| 50              | 1 708                               | 448.5                                   | 38.79   | 283.9   | 3 122                                    | 2 473 | 0.0811                                  | 0.02319 | $7.343 \times 10^{-5}$                   | $9.950 \times 10^{-6}$ | 2.826                    | 1.061 | 0.00491   | 0.00408 |
| 60              | 2 110                               | 427.5                                   | 49.66   | 258.4   | 3 283                                    | 2 769 | 0.0765                                  | 0.02517 | $6.487 \times 10^{-5}$                   | $1.058 \times 10^{-5}$ | 2.784                    | 1.164 | 0.00609   | 0.00303 |
| 70              | 2 580                               | 403.2                                   | 64.02   | 228.0   | 3 595                                    | 3 241 | 0.0717                                  | 0.02746 | $5.649 \times 10^{-5}$                   | $1.138 \times 10^{-5}$ | 2.834                    | 1.343 | 0.00811   | 0.00204 |
| 80              | 3 127                               | 373.0                                   | 84.28   | 189.7   | 4 501                                    | 4 173 | 0.0663                                  | 0.03029 | $4.790 \times 10^{-5}$                   | $1.249 \times 10^{-5}$ | 3.251                    | 1.722 | 0.01248   | 0.00114 |
| 90              | 3 769                               | 329.1                                   | 118.6   | 133.2   | 6 977                                    | 7 239 | 0.0595                                  | 0.03441 | $3.807 \times 10^{-5}$                   | $1.448 \times 10^{-5}$ | 4.465                    | 3.047 | 0.02847   | 0.00037 |

Nota 1: La viscosidad cinemática  $\nu$  y la difusividad térmica  $\alpha$  se pueden calcular a partir de sus definiciones,  $\nu = \mu/\rho$  y  $\alpha = k/\rho c_p = \nu/Pr$ . Las propiedades cuya lista se da aquí (excepto la densidad del vapor) se pueden usar a cualesquiera presiones con error despreciable, excepto a temperaturas cercanas al valor del punto crítico.

**APENDICE 2: Propiedades del aire a gran altitud****TABLA A-17**

Propiedades de la atmósfera a gran altitud

| Altitud,<br>$z$ , m | Temperatura,<br>$T$ , °C | Presión,<br>$P$ , kPa | Gravedad,<br>$g$ , m/s <sup>2</sup> | Velocidad<br>del sonido,<br>$c$ , m/s | Densidad,<br>$\rho$ , kg/m <sup>3</sup> | Viscosidad,<br>$\mu$ , kg/m · s | Conductividad<br>térmica,<br>$k$ , W/m · K |
|---------------------|--------------------------|-----------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|---|---------------------------------|--|
| 0                   | 15.00                    | 101.33                | 9.807                               | 340.3                                 | 1.225                                   | $1.789 \times 10^{-5}$          | 0.0253                                     |
| 200                 | 13.70                    | 98.95                 | 9.806                               | 339.5                                 | 1.202                                   | $1.783 \times 10^{-5}$          | 0.0252                                     |
| 400                 | 12.40                    | 96.61                 | 9.805                               | 338.8                                 | 1.179                                   | $1.777 \times 10^{-5}$          | 0.0252                                     |
| 600                 | 11.10                    | 94.32                 | 9.805                               | 338.0                                 | 1.156                                   | $1.771 \times 10^{-5}$          | 0.0251                                     |
| 800                 | 9.80                     | 92.08                 | 9.804                               | 337.2                                 | 1.134                                   | $1.764 \times 10^{-5}$          | 0.0250                                     |
| 1 000               | 8.50                     | 89.88                 | 9.804                               | 336.4                                 | 1.112                                   | $1.758 \times 10^{-5}$          | 0.0249                                     |
| 1 200               | 7.20                     | 87.72                 | 9.803                               | 335.7                                 | 1.090                                   | $1.752 \times 10^{-5}$          | 0.0248                                     |
| 1 400               | 5.90                     | 85.60                 | 9.802                               | 334.9                                 | 1.069                                   | $1.745 \times 10^{-5}$          | 0.0247                                     |
| 1 600               | 4.60                     | 83.53                 | 9.802                               | 334.1                                 | 1.048                                   | $1.739 \times 10^{-5}$          | 0.0245                                     |
| 1 800               | 3.30                     | 81.49                 | 9.801                               | 333.3                                 | 1.027                                   | $1.732 \times 10^{-5}$          | 0.0244                                     |
| 2 000               | 2.00                     | 79.50                 | 9.800                               | 332.5                                 | 1.007                                   | $1.726 \times 10^{-5}$          | 0.0243                                     |
| 2 200               | 0.70                     | 77.55                 | 9.800                               | 331.7                                 | 0.987                                   | $1.720 \times 10^{-5}$          | 0.0242                                     |
| 2 400               | -0.59                    | 75.63                 | 9.799                               | 331.0                                 | 0.967                                   | $1.713 \times 10^{-5}$          | 0.0241                                     |
| 2 600               | -1.89                    | 73.76                 | 9.799                               | 330.2                                 | 0.947                                   | $1.707 \times 10^{-5}$          | 0.0240                                     |
| 2 800               | -3.19                    | 71.92                 | 9.798                               | 329.4                                 | 0.928                                   | $1.700 \times 10^{-5}$          | 0.0239                                     |
| 3 000               | -4.49                    | 70.12                 | 9.797                               | 328.6                                 | 0.909                                   | $1.694 \times 10^{-5}$          | 0.0238                                     |
| 3 200               | -5.79                    | 68.36                 | 9.797                               | 327.8                                 | 0.891                                   | $1.687 \times 10^{-5}$          | 0.0237                                     |
| 3 400               | -7.09                    | 66.63                 | 9.796                               | 327.0                                 | 0.872                                   | $1.681 \times 10^{-5}$          | 0.0236                                     |
| 3 600               | -8.39                    | 64.94                 | 9.796                               | 326.2                                 | 0.854                                   | $1.674 \times 10^{-5}$          | 0.0235                                     |
| 3 800               | -9.69                    | 63.28                 | 9.795                               | 325.4                                 | 0.837                                   | $1.668 \times 10^{-5}$          | 0.0234                                     |
| 4 000               | -10.98                   | 61.66                 | 9.794                               | 324.6                                 | 0.819                                   | $1.661 \times 10^{-5}$          | 0.0233                                     |
| 4 200               | -12.3                    | 60.07                 | 9.794                               | 323.8                                 | 0.802                                   | $1.655 \times 10^{-5}$          | 0.0232                                     |
| 4 400               | -13.6                    | 58.52                 | 9.793                               | 323.0                                 | 0.785                                   | $1.648 \times 10^{-5}$          | 0.0231                                     |
| 4 600               | -14.9                    | 57.00                 | 9.793                               | 322.2                                 | 0.769                                   | $1.642 \times 10^{-5}$          | 0.0230                                     |
| 4 800               | -16.2                    | 55.51                 | 9.792                               | 321.4                                 | 0.752                                   | $1.635 \times 10^{-5}$          | 0.0229                                     |
| 5 000               | -17.5                    | 54.05                 | 9.791                               | 320.5                                 | 0.736                                   | $1.628 \times 10^{-5}$          | 0.0228                                     |
| 5 200               | -18.8                    | 52.62                 | 9.791                               | 319.7                                 | 0.721                                   | $1.622 \times 10^{-5}$          | 0.0227                                     |
| 5 400               | -20.1                    | 51.23                 | 9.790                               | 318.9                                 | 0.705                                   | $1.615 \times 10^{-5}$          | 0.0226                                     |
| 5 600               | -21.4                    | 49.86                 | 9.789                               | 318.1                                 | 0.690                                   | $1.608 \times 10^{-5}$          | 0.0224                                     |
| 5 800               | -22.7                    | 48.52                 | 9.785                               | 317.3                                 | 0.675                                   | $1.602 \times 10^{-5}$          | 0.0223                                     |
| 6 000               | -24.0                    | 47.22                 | 9.788                               | 316.5                                 | 0.660                                   | $1.595 \times 10^{-5}$          | 0.0222                                     |
| 6 200               | -25.3                    | 45.94                 | 9.788                               | 315.6                                 | 0.646                                   | $1.588 \times 10^{-5}$          | 0.0221                                     |
| 6 400               | -26.6                    | 44.69                 | 9.787                               | 314.8                                 | 0.631                                   | $1.582 \times 10^{-5}$          | 0.0220                                     |
| 6 600               | -27.9                    | 43.47                 | 9.786                               | 314.0                                 | 0.617                                   | $1.575 \times 10^{-5}$          | 0.0219                                     |
| 6 800               | -29.2                    | 42.27                 | 9.785                               | 313.1                                 | 0.604                                   | $1.568 \times 10^{-5}$          | 0.0218                                     |
| 7 000               | -30.5                    | 41.11                 | 9.785                               | 312.3                                 | 0.590                                   | $1.561 \times 10^{-5}$          | 0.0217                                     |
| 8 000               | -36.9                    | 35.65                 | 9.782                               | 308.1                                 | 0.526                                   | $1.527 \times 10^{-5}$          | 0.0212                                     |
| 9 000               | -43.4                    | 30.80                 | 9.779                               | 303.8                                 | 0.467                                   | $1.493 \times 10^{-5}$          | 0.0206                                     |
| 10 000              | -49.9                    | 26.50                 | 9.776                               | 299.5                                 | 0.414                                   | $1.458 \times 10^{-5}$          | 0.0201                                     |
| 12 000              | -56.5                    | 19.40                 | 9.770                               | 295.1                                 | 0.312                                   | $1.422 \times 10^{-5}$          | 0.0195                                     |
| 14 000              | -56.5                    | 14.17                 | 9.764                               | 295.1                                 | 0.228                                   | $1.422 \times 10^{-5}$          | 0.0195                                     |
| 16 000              | -56.5                    | 10.53                 | 9.758                               | 295.1                                 | 0.166                                   | $1.422 \times 10^{-5}$          | 0.0195                                     |
| 18 000              | -56.5                    | 7.57                  | 9.751                               | 295.1                                 | 0.122                                   | $1.422 \times 10^{-5}$          | 0.0195                                     |

Fuente: U. S. Standard Atmosphere Supplements, U. S. Government Printing Office, 1966. Basadas en las condiciones medias redondeadas al año a 45° de latitud y varían con el momento del año y los patrones meteorológicos. Las condiciones al nivel del mar ( $z = 0$ ) se toman como  $P = 101.325$  kPa,  $T = 15^\circ\text{C}$ ,  $\rho = 1.2250$  kg/m<sup>3</sup>,  $g = 9.80665$  m/s<sup>2</sup>.

**APENDICE 3: Emisividad de las superficies metálicas**

| <b>TABLA A-18</b>               |                |                        |                         |                |                        |
|---------------------------------|----------------|------------------------|-------------------------|----------------|------------------------|
| Emisividades de las superficies |                |                        |                         |                |                        |
| a) Metales                      |                |                        |                         |                |                        |
| Material                        | Temperatura, K | Emisividad, $\epsilon$ | Material                | Temperatura, K | Emisividad, $\epsilon$ |
| <b>Aluminio</b>                 |                |                        | <b>Magnesio pulido</b>  | 300-500        | 0.07-0.13              |
| Pulido                          | 300-900        | 0.04-0.06              | Mercurio                | 300-400        | 0.09-0.12              |
| Lámina comercial                | 400            | 0.09                   | <b>Molibdeno</b>        |                |                        |
| Intensamente oxidado            | 400-800        | 0.20-0.33              | Pulido                  | 300-2 000      | 0.05-0.21              |
| Anodizado                       | 300            | 0.8                    | Oxidado                 | 600-800        | 0.80-0.82              |
| <b>Bismuto brillante</b>        | 350            | 0.34                   | <b>Níquel</b>           |                |                        |
| <b>Latón</b>                    |                |                        | Pulido                  | 500-1 200      | 0.07-0.17              |
| Intensamente pulido             | 500-650        | 0.03-0.04              | Oxidado                 | 450-1 000      | 0.37-0.57              |
| Pulido                          | 350            | 0.09                   | <b>Platino pulido</b>   | 500-1 500      | 0.06-0.18              |
| Placa mate                      | 300-600        | 0.22                   | <b>Plata pulida</b>     | 300-1 000      | 0.02-0.07              |
| Oxidado                         | 450-800        | 0.6                    | <b>Acero inoxidable</b> |                |                        |
| <b>Cromo pulido</b>             | 300-1 400      | 0.08-0.40              | Pulido                  | 300-1 000      | 0.17-0.30              |
| <b>Cobre</b>                    |                |                        | Ligeramente oxidado     | 600-1 000      | 0.30-0.40              |
| Intensamente pulido             | 300            | 0.02                   | Intensamente oxidado    | 600-1 000      | 0.70-0.80              |
| Pulido                          | 300-500        | 0.04-0.05              | <b>Acero</b>            |                |                        |
| Lámina comercial                | 300            | 0.15                   | Lámina pulida           | 300-500        | 0.08-0.14              |
| Oxidado                         | 600-1 000      | 0.5-0.8                | Lámina comercial        | 500-1 200      | 0.20-0.32              |
| Oxidado en negro                | 300            | 0.78                   | Intensamente oxidado    | 300            | 0.81                   |
| <b>Oro</b>                      |                |                        | <b>Estaño pulido</b>    | 300            | 0.05                   |
| Intensamente pulido             | 300-1 000      | 0.03-0.06              | <b>Tungsteno</b>        |                |                        |
| Hoja brillante                  | 300            | 0.07                   | Pulido                  | 300-2 500      | 0.03-0.29              |
| <b>Hierro</b>                   |                |                        | Filamento               | 3500           | 0.39                   |
| Intensamente pulido             | 300-500        | 0.05-0.07              | <b>Zinc</b>             |                |                        |
| Hierro fundido                  | 300            | 0.44                   | Pulido                  | 300-800        | 0.02-0.05              |
| Hierro forjado                  | 300-500        | 0.28                   | Oxidado                 | 300            | 0.25                   |
| Aherrumbrado                    | 300            | 0.61                   |                         |                |                        |
| Oxidado                         | 500-900        | 0.64-0.78              |                         |                |                        |
| <b>Plomo</b>                    |                |                        |                         |                |                        |
| Pulido                          | 300-500        | 0.06-0.08              |                         |                |                        |
| No oxidado, áspero              | 300            | 0.43                   |                         |                |                        |
| Oxidado                         | 300            | 0.63                   |                         |                |                        |

**APENDICE 4: Tabla para dimensionamiento de tubería entre R1 y R2**

| <b>Tabla 6.3(a) Tubería Metálica Cédula 40</b>   |                                     |          |          |            |            |          |                             |                           |          |  |
|--|-------------------------------------|----------|----------|------------|------------|----------|-----------------------------|---------------------------|----------|--|
|  |                                     |          |          |            |            |          | <b>Gas:</b>                 | <b>Propano No Diluido</b> |          |  |
|  |                                     |          |          |            |            |          | <b>Presión de Entrada:</b>  | <b>10 psi</b>             |          |  |
|  |                                     |          |          |            |            |          | <b>Caída de Presión:</b>    | <b>1.0 psi</b>            |          |  |
|  |                                     |          |          |            |            |          | <b>Gravedad Específica:</b> | <b>1.50</b>               |          |  |
| <b>USO PREVISTO: Dimensionamiento de Tubería entre Regulador de Primera Etapa (Alta Presión) y Regulador de Segunda Etapa (Baja Presión)</b> |                                     |          |          |            |            |          |                             |                           |          |  |
| <b>Tamaño de Tubería (pulg.)</b>   |                                     |          |          |            |            |          |                             |                           |          |  |
| <b>Nominal Interior:</b>   | <b>½</b>                            | <b>¾</b> | <b>1</b> | <b>1 ¼</b> | <b>1 ½</b> | <b>2</b> | <b>2 ½</b>                  | <b>3</b>                  | <b>4</b> |  |
| <b>DI Real:</b>  | 0.622                               | 0.824    | 1.049    | 1.380      | 1.610      | 2.067    | 2.469                       | 3.068                     | 4.026    |  |
| <b>Long. (pies)</b>  | <b>Capacidad en Miles de Btu/hr</b> |          |          |            |            |          |                             |                           |          |  |
| 10   | 3,320                               | 6,950    | 13,100   | 26,900     | 40,300     | 77,600   | 124,000                     | 219,000                   | 446,000  |  |
| 20   | 2,280                               | 4,780    | 9,000    | 18,500     | 27,700     | 53,300   | 85,000                      | 150,000                   | 306,000  |  |
| 30   | 1,830                               | 3,840    | 7,220    | 14,800     | 22,200     | 42,800   | 68,200                      | 121,000                   | 246,000  |  |
| 40   | 1,570                               | 3,280    | 6,180    | 12,700     | 19,000     | 36,600   | 58,400                      | 103,000                   | 211,000  |  |
| 50   | 1,390                               | 2,910    | 5,480    | 11,300     | 16,900     | 32,500   | 51,700                      | 91,500                    | 187,000  |  |
| 60   | 1,260                               | 2,640    | 4,970    | 10,200     | 15,300     | 29,400   | 46,900                      | 82,900                    | 169,000  |  |
| 70   | 1,160                               | 2,430    | 4,570    | 9,380      | 14,100     | 27,100   | 43,100                      | 76,300                    | 156,000  |  |
| 80   | 1,080                               | 2,260    | 4,250    | 8,730      | 13,100     | 25,200   | 40,100                      | 70,900                    | 145,000  |  |
| 90   | 1,010                               | 2,120    | 3,990    | 8,190      | 12,300     | 23,600   | 37,700                      | 66,600                    | 136,000  |  |
| 100  | 956                                 | 2,000    | 3,770    | 7,730      | 11,600     | 22,300   | 35,600                      | 62,900                    | 128,000  |  |
| 125  | 848                                 | 1,770    | 3,340    | 6,850      | 10,300     | 19,800   | 31,500                      | 55,700                    | 114,000  |  |
| 150  | 768                                 | 1,610    | 3,020    | 6,210      | 9,300      | 17,900   | 28,600                      | 50,500                    | 103,000  |  |
| 175  | 706                                 | 1,480    | 2,780    | 5,710      | 8,560      | 16,500   | 26,300                      | 46,500                    | 94,700   |  |
| 200  | 657                                 | 1,370    | 2,590    | 5,320      | 7,960      | 15,300   | 24,400                      | 43,200                    | 88,100   |  |
| 250  | 582                                 | 1,220    | 2,290    | 4,710      | 7,060      | 13,600   | 21,700                      | 38,300                    | 78,100   |  |
| 300  | 528                                 | 1,100    | 2,080    | 4,270      | 6,400      | 12,300   | 19,600                      | 34,700                    | 70,800   |  |
| 350  | 486                                 | 1,020    | 1,910    | 3,930      | 5,880      | 11,300   | 18,100                      | 31,900                    | 65,100   |  |
| 400  | 452                                 | 945      | 1,780    | 3,650      | 5,470      | 10,500   | 16,800                      | 29,700                    | 60,600   |  |
| 450  | 424                                 | 886      | 1,670    | 3,430      | 5,140      | 9,890    | 15,800                      | 27,900                    | 56,800   |  |
| 500  | 400                                 | 837      | 1,580    | 3,240      | 4,850      | 9,340    | 14,900                      | 26,300                    | 53,700   |  |
| 550  | 380                                 | 795      | 1,500    | 3,070      | 4,610      | 8,870    | 14,100                      | 25,000                    | 51,000   |  |
| 600  | 363                                 | 759      | 1,430    | 2,930      | 4,400      | 8,460    | 13,500                      | 23,900                    | 48,600   |  |
| 650  | 347                                 | 726      | 1,370    | 2,810      | 4,210      | 8,110    | 12,900                      | 22,800                    | 46,600   |  |
| 700  | 334                                 | 698      | 1,310    | 2,700      | 4,040      | 7,790    | 12,400                      | 21,900                    | 44,800   |  |
| 750  | 321                                 | 672      | 1,270    | 2,600      | 3,900      | 7,500    | 12,000                      | 21,100                    | 43,100   |  |
| 800  | 310                                 | 649      | 1,220    | 2,510      | 3,760      | 7,240    | 11,500                      | 20,400                    | 41,600   |  |
| 850  | 300                                 | 628      | 1,180    | 2,430      | 3,640      | 7,010    | 11,200                      | 19,800                    | 40,300   |  |
| 900  | 291                                 | 609      | 1,150    | 2,360      | 3,530      | 6,800    | 10,800                      | 19,200                    | 39,100   |  |
| 950  | 283                                 | 592      | 1,110    | 2,290      | 3,430      | 6,600    | 10,500                      | 18,600                    | 37,900   |  |
| 1,000  | 275                                 | 575      | 1,080    | 2,230      | 3,330      | 6,420    | 10,200                      | 18,100                    | 36,900   |  |
| 1,100  | 261                                 | 546      | 1,030    | 2,110      | 3,170      | 6,100    | 9,720                       | 17,200                    | 35,000   |  |
| 1,200  | 249                                 | 521      | 982      | 2,020      | 3,020      | 5,820    | 9,270                       | 16,400                    | 33,400   |  |
| 1,300  | 239                                 | 499      | 940      | 1,930      | 2,890      | 5,570    | 8,880                       | 15,700                    | 32,000   |  |
| 1,400  | 229                                 | 480      | 903      | 1,850      | 2,780      | 5,350    | 8,530                       | 15,100                    | 30,800   |  |
| 1,500  | 221                                 | 462      | 870      | 1,790      | 2,680      | 5,160    | 8,220                       | 14,500                    | 29,600   |  |
| 1,600  | 213                                 | 446      | 840      | 1,730      | 2,590      | 4,980    | 7,940                       | 14,000                    | 28,600   |  |
| 1,700  | 206                                 | 432      | 813      | 1,670      | 2,500      | 4,820    | 7,680                       | 13,600                    | 27,700   |  |
| 1,800  | 200                                 | 419      | 789      | 1,620      | 2,430      | 4,670    | 7,450                       | 13,200                    | 26,900   |  |
| 1,900  | 194                                 | 407      | 766      | 1,570      | 2,360      | 4,540    | 7,230                       | 12,800                    | 26,100   |  |
| 2,000  | 189                                 | 395      | 745      | 1,530      | 2,290      | 4,410    | 7,030                       | 12,400                    | 25,400   |  |

Nota: Todas las entradas en la tabla han sido redondeadas a 3 dígitos significativos



### APENDICE 5: Dimensionamiento de tubería de baja presión

| Tabla 6.3(d) Tubería Metálica Cédula 40  |                              |       |       |       |       |       |                      |                    |        |  |
|--|------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------------|--------------------|--------|--|
|  |                              |       |       |       |       |       | Gas:                 | Propano No Diluido |        |  |
|  |                              |       |       |       |       |       | Presión de Entrada:  | 11.0 pulg.Col.Agua |        |  |
|  |                              |       |       |       |       |       | Caída de Presión:    | 0,5 pulg.Col.Agua  |        |  |
|  |                              |       |       |       |       |       | Gravedad Específica: | 1.50               |        |  |
| USO PREVISTO: Dimensionamiento de Tubería entre Regulador Entre Etapa Sencilla o Segunda Etapa y el Artefacto, y Regulador de Segunda Etapa (Baja Presión) |                              |       |       |       |       |       |                      |                    |        |  |
| Tamaño de Tubería (pulg.)  |                              |       |       |       |       |       |                      |                    |        |  |
| Nominal Interior:  | ½                            | ¾     | 1     | 1 ¼   | 1 ½   | 2     | 2 ½                  | 3                  | 4      |  |
| DI Real:   | 0.622                        | 0.824 | 1.049 | 1.380 | 1.610 | 2.067 | 2.469                | 3.068              | 4.026  |  |
| Long. (pies)   | Capacidad en Miles de Btu/hr |       |       |       |       |       |                      |                    |        |  |
| 10   | 291                          | 608   | 1,150 | 2,350 | 3,520 | 6,790 | 10,800               | 19,100             | 39,000 |  |
| 20   | 200                          | 418   | 787   | 1,620 | 2,420 | 4,660 | 7,430                | 13,100             | 26,800 |  |
| 30   | 160                          | 336   | 632   | 1,300 | 1,940 | 3,750 | 5,970                | 10,600             | 21,500 |  |
| 40   | 137                          | 287   | 541   | 1,110 | 1,660 | 3,210 | 5,110                | 9,030              | 18,400 |  |
| 50   | 122                          | 255   | 480   | 985   | 1,480 | 2,840 | 4,530                | 8,000              | 16,300 |  |
| 60   | 110                          | 231   | 434   | 892   | 1,340 | 2,570 | 4,100                | 7,250              | 14,800 |  |
| 70   | 101                          | 212   | 400   | 821   | 1,230 | 2,370 | 3,770                | 6,670              | 13,600 |  |
| 80   | 94                           | 197   | 372   | 763   | 1,140 | 2,200 | 3,510                | 6,210              | 12,700 |  |
| 90   | 89                           | 185   | 349   | 716   | 1,070 | 2,070 | 3,290                | 5,820              | 11,900 |  |
| 100  | 84                           | 175   | 330   | 677   | 1,010 | 1,950 | 3,110                | 5,500              | 11,200 |  |
| 125  | 74                           | 155   | 292   | 600   | 899   | 1,730 | 2,760                | 4,880              | 9,950  |  |
| 150  | 67                           | 140   | 265   | 543   | 814   | 1,570 | 2,500                | 4,420              | 9,010  |  |
| 175  | 62                           | 129   | 243   | 500   | 749   | 1,440 | 2,300                | 4,060              | 8,290  |  |
| 200  | 58                           | 120   | 227   | 465   | 697   | 1,340 | 2,140                | 3,780              | 7,710  |  |
| 250  | 51                           | 107   | 201   | 412   | 618   | 1,190 | 1,900                | 3,350              | 6,840  |  |
| 300  | 46                           | 97    | 182   | 373   | 560   | 1,080 | 1,720                | 3,040              | 6,190  |  |
| 350  | 42                           | 89    | 167   | 344   | 515   | 991   | 1,580                | 2,790              | 5,700  |  |
| 400  | 40                           | 83    | 156   | 320   | 479   | 922   | 1,470                | 2,600              | 5,300  |  |
| 450  | 37                           | 78    | 146   | 300   | 449   | 865   | 1,380                | 2,440              | 4,970  |  |
| 500  | 35                           | 73    | 138   | 283   | 424   | 817   | 1,300                | 2,300              | 4,700  |  |
| 550  | 33                           | 70    | 131   | 269   | 403   | 776   | 1,240                | 2,190              | 4,460  |  |
| 600  | 32                           | 66    | 125   | 257   | 385   | 741   | 1,180                | 2,090              | 4,260  |  |
| 650  | 30                           | 64    | 120   | 246   | 368   | 709   | 1,130                | 2,000              | 4,080  |  |
| 700  | 29                           | 61    | 115   | 236   | 354   | 681   | 1,090                | 1,920              | 3,920  |  |
| 750  | 28                           | 59    | 111   | 227   | 341   | 656   | 1,050                | 1,850              | 3,770  |  |
| 800  | 27                           | 57    | 107   | 220   | 329   | 634   | 1,010                | 1,790              | 3,640  |  |
| 850  | 26                           | 55    | 104   | 213   | 319   | 613   | 978                  | 1,730              | 3,530  |  |
| 900  | 25                           | 53    | 100   | 206   | 309   | 595   | 948                  | 1,680              | 3,420  |  |
| 950  | 25                           | 52    | 97    | 200   | 300   | 578   | 921                  | 1,630              | 3,320  |  |
| 1,000  | 24                           | 50    | 95    | 195   | 292   | 562   | 895                  | 1,580              | 3,230  |  |
| 1,100  | 23                           | 48    | 90    | 185   | 277   | 534   | 850                  | 1,500              | 3,070  |  |
| 1,200  | 22                           | 46    | 86    | 176   | 264   | 509   | 811                  | 1,430              | 2,930  |  |
| 1,300  | 21                           | 44    | 82    | 169   | 253   | 487   | 777                  | 1,370              | 2,800  |  |
| 1,400  | 20                           | 42    | 79    | 162   | 243   | 468   | 746                  | 1,320              | 2,690  |  |
| 1,500  | 19                           | 40    | 76    | 156   | 234   | 451   | 719                  | 1,270              | 2,590  |  |
| 1,600  | 19                           | 39    | 74    | 151   | 226   | 436   | 694                  | 1,230              | 2,500  |  |
| 1,700  | 18                           | 38    | 71    | 146   | 219   | 422   | 672                  | 1,190              | 2,420  |  |
| 1,800  | 18                           | 37    | 69    | 142   | 212   | 409   | 652                  | 1,150              | 2,350  |  |
| 1,900  | 157                          | 327   | 617   | 1,270 | 1,900 | 3,650 | 5,820                | 10,300             | 21,000 |  |
| 2,000  | 152                          | 318   | 600   | 1,230 | 1,840 | 3,550 | 5,660                | 10,000             | 20,400 |  |

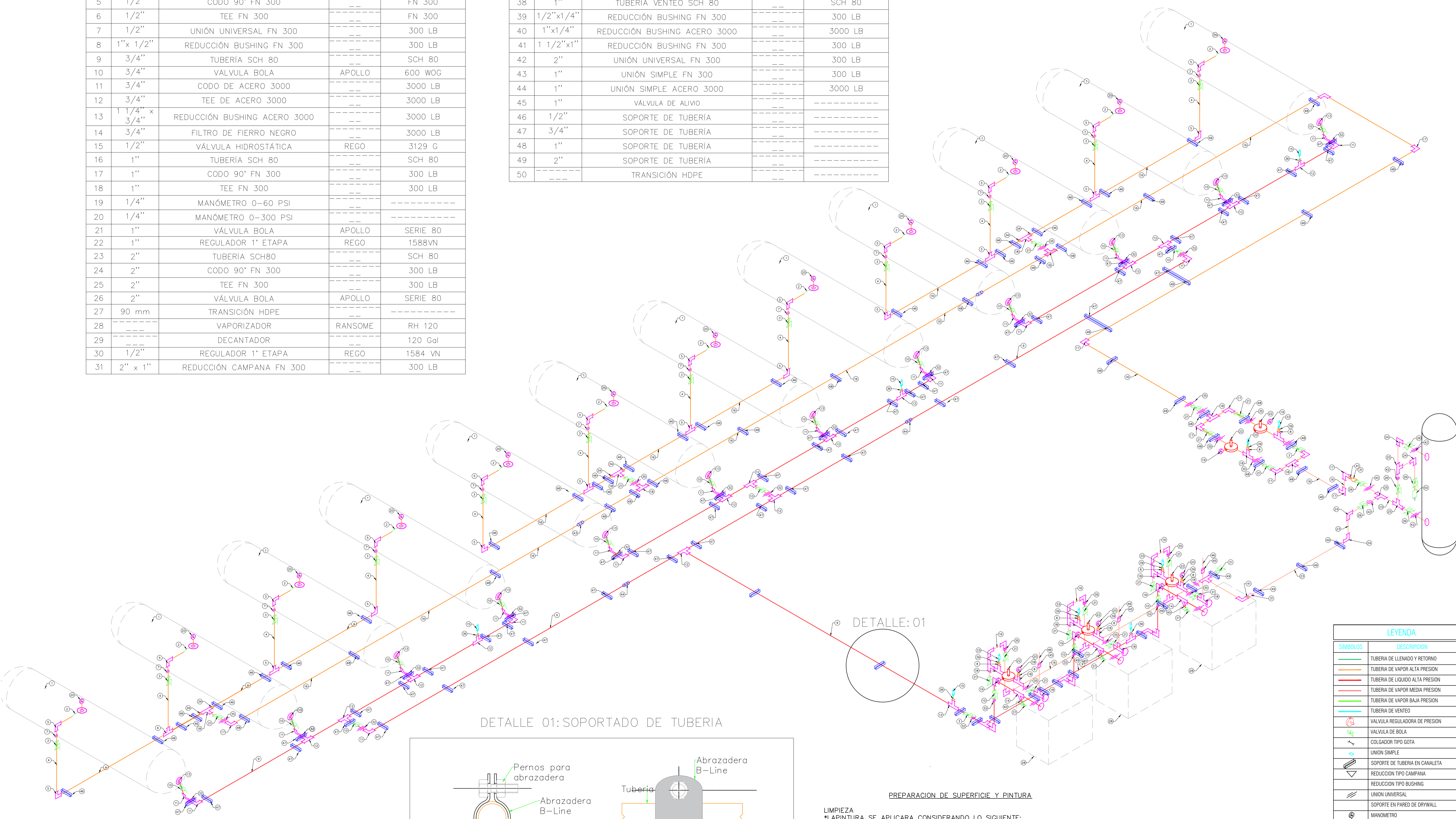
Nota: Todas las entradas en la tabla han sido redondeadas a 3 dígitos significativos

**APENDICE 6: Lista de planos**

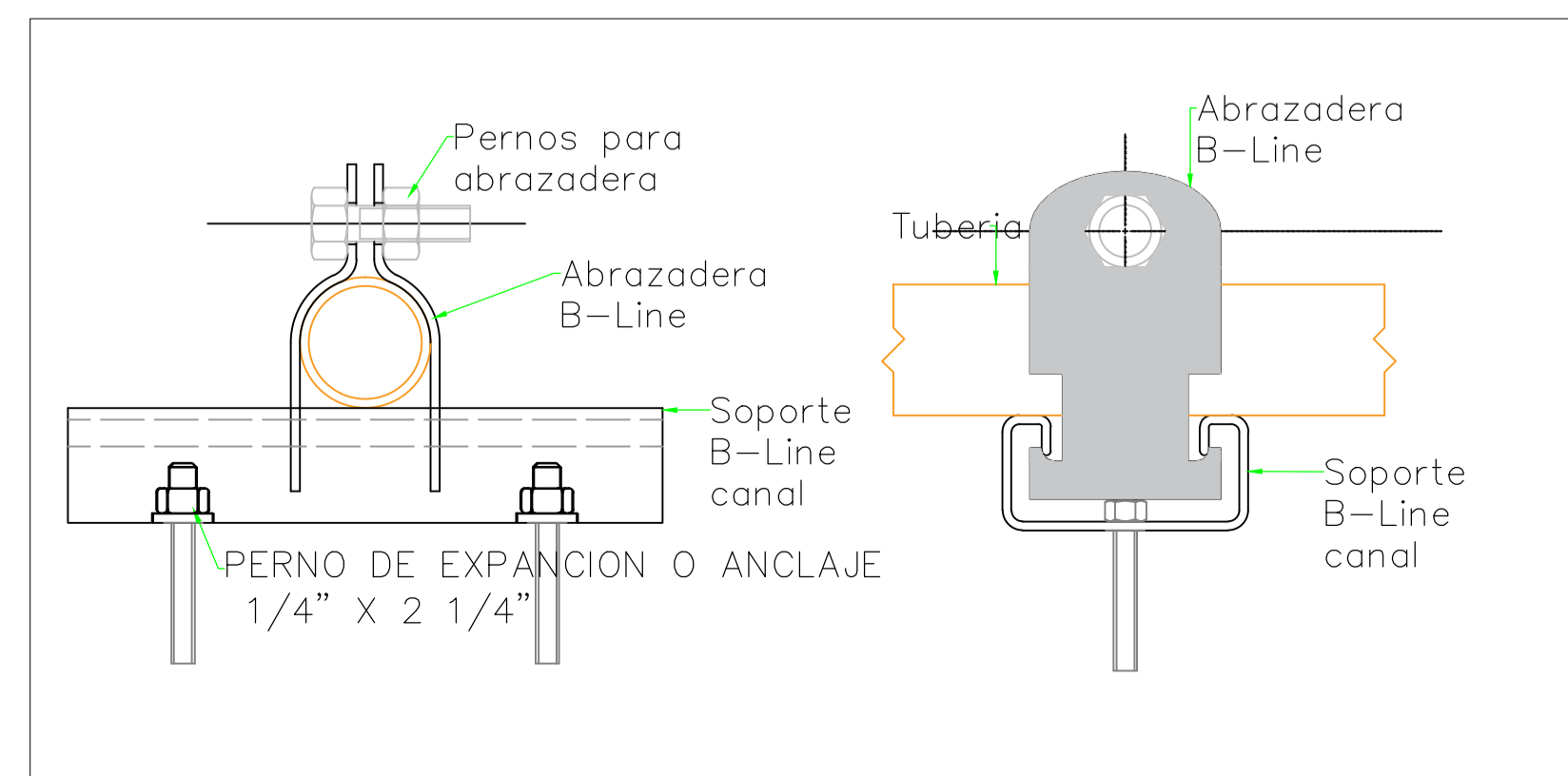
| <b>N°</b> | <b>TITULO</b>                                   | <b>FORMATO</b> | <b>CODIGO</b> |
|-----------|---|----------------|---------------|
| 01        | Plano isométrico – Zona de tanques              | A1             | 01            |
| 02        | Plano isométrico - Edificio multipropósito      | A1             | 02            |
| 03        | Plano de distribución – Zona de tanques         | A1             | 03            |
| 04        | Plano de distribución - Edificio Multipropósito | A1             | 04            |
| 05        | Plano de detalles – Zona de tanques             | A1             | 05            |

| LEYENDA |               |                                  |         |                 |
|---------|---------------|----------------------------------|---------|-----------------|
| ITEM    | MEDIDA        | CARACTERISTICA                   | MARCA   | MATERIAL/MODELO |
| 1       | 1000 Gal.     | TANQUE AEREO                     | TRINYTI | -----           |
| 2       | 1/2"          | CHICOTE DE COBRE POOL x1/2" FNPT | -----   | -----           |
| 3       | 1/2"          | VÁLVULA BOLA                     | APOLLO  | 600 WOG         |
| 4       | 1/2"          | TUBERÍA SCH80                    | -----   | SCH 80          |
| 5       | 1/2"          | CODO 90° FN 300                  | -----   | FN 300          |
| 6       | 1/2"          | TEE FN 300                       | -----   | FN 300          |
| 7       | 1/2"          | UNIÓN UNIVERSAL FN 300           | -----   | 300 LB          |
| 8       | 1"x 1/2"      | REDUCCIÓN BUSHING FN 300         | -----   | 300 LB          |
| 9       | 3/4"          | TUBERÍA SCH 80                   | -----   | SCH 80          |
| 10      | 3/4"          | VÁLVULA BOLA                     | APOLLO  | 600 WOG         |
| 11      | 3/4"          | CODO DE ACERO 3000               | -----   | 3000 LB         |
| 12      | 3/4"          | TEE DE ACERO 3000                | -----   | 3000 LB         |
| 13      | 1 1/4" x 3/4" | REDUCCIÓN BUSHING ACERO 3000     | -----   | 3000 LB         |
| 14      | 3/4"          | FILTRO DE FIERRO NEGRO           | -----   | 3000 LB         |
| 15      | 1/2"          | VÁLVULA HIDROSTÁTICA             | REGO    | 3129 G          |
| 16      | 1"            | TUBERÍA SCH 80                   | -----   | SCH 80          |
| 17      | 1"            | CODO 90° FN 300                  | -----   | 300 LB          |
| 18      | 1"            | TEE FN 300                       | -----   | 300 LB          |
| 19      | 1/4"          | MANÓMETRO 0-60 PSI               | -----   | -----           |
| 20      | 1/4"          | MANÓMETRO 0-300 PSI              | -----   | -----           |
| 21      | 1"            | VÁLVULA BOLA                     | APOLLO  | SERIE 80        |
| 22      | 1"            | REGULADOR 1° ETAPA               | REGO    | 1588VN          |
| 23      | 2"            | TUBERÍA SCH80                    | -----   | SCH 80          |
| 24      | 2"            | CODO 90° FN 300                  | -----   | 300 LB          |
| 25      | 2"            | TEE FN 300                       | -----   | 300 LB          |
| 26      | 2"            | VÁLVULA BOLA                     | APOLLO  | SERIE 80        |
| 27      | 90 mm         | TRANSICIÓN HDPE                  | -----   | -----           |
| 28      | -----         | VAPORIZADOR                      | RANSOME | RH 120          |
| 29      | -----         | DECANTADOR                       | -----   | 120 Gal         |
| 30      | 1/2"          | REGULADOR 1° ETAPA               | REGO    | 1584 VN         |
| 31      | 2" x 1"       | REDUCCIÓN CAMPANA FN 300         | -----   | 300 LB          |

|    |             |                                 |        |         |
|----|-------------|---------------------------------|--------|---------|
| 32 | 3/4"        | UNIÓN UNIVERSAL ACERO 3000      | -----  | 3000 LB |
| 33 | 1/4"        | VÁLVULA DE ALIVIO DE VAPOR      | REGO   | 3139-38 |
| 34 | 1" x 1/2"   | REDUCCIÓN BUSHING FN 300        | -----  | 300 LB  |
| 35 | 1"          | UNIÓN UNIVERSAL FN 300          | -----  | 300 LB  |
| 36 | 3/4" x 1/2" | REDUCCIÓN BUSHING DE ACERO 3000 | -----  | 3000 LB |
| 37 | 1/4"        | VÁLVULA BOLA                    | APOLLO | 600 WOG |
| 38 | 1"          | TUBERÍA VENTEO SCH 80           | -----  | SCH 80  |
| 39 | 1/2" x 1/4" | REDUCCIÓN BUSHING FN 300        | -----  | 300 LB  |
| 40 | 1" x 1/4"   | REDUCCIÓN BUSHING ACERO 3000    | -----  | 3000 LB |
| 41 | 1 1/2" x 1" | REDUCCIÓN BUSHING FN 300        | -----  | 300 LB  |
| 42 | 2"          | UNIÓN UNIVERSAL FN 300          | -----  | 300 LB  |
| 43 | 1"          | UNIÓN SIMPLE FN 300             | -----  | 300 LB  |
| 44 | 1"          | UNIÓN SIMPLE ACERO 3000         | -----  | 3000 LB |
| 45 | 1"          | VÁLVULA DE ALIVIO               | -----  | -----   |
| 46 | 1/2"        | SOPORTE DE TUBERÍA              | -----  | -----   |
| 47 | 3/4"        | SOPORTE DE TUBERÍA              | -----  | -----   |
| 48 | 1"          | SOPORTE DE TUBERÍA              | -----  | -----   |
| 49 | 2"          | SOPORTE DE TUBERÍA              | -----  | -----   |
| 50 | -----       | TRANSICIÓN HDPE                 | -----  | -----   |



DETALLE 01: SOPORTADO DE TUBERIA



PREPARACION DE SUPERFICIE Y PINTURA

LIMPIEZA  
 \*LAPINTURA SE APLICARA CONSIDERANDO LO SIGUIENTE:  
 A.-PRIMERA CAPA :JET POX 2000-RAL MARRON BR3 4MILS  
 B.-SEGUNDA CAPA: JET POX 2000-RAL MARRON BR3 4MILS  
 C.-TERCERA CAPA: JETHANE 650Hs- RAL AMARILLO YE3 OSHA 2MILS  
 LA APLICACION Y PREPARACION DE LA PINTURA SE HARA CONFORME A LAS INSTRUCCIONES DEL FABRICANTE

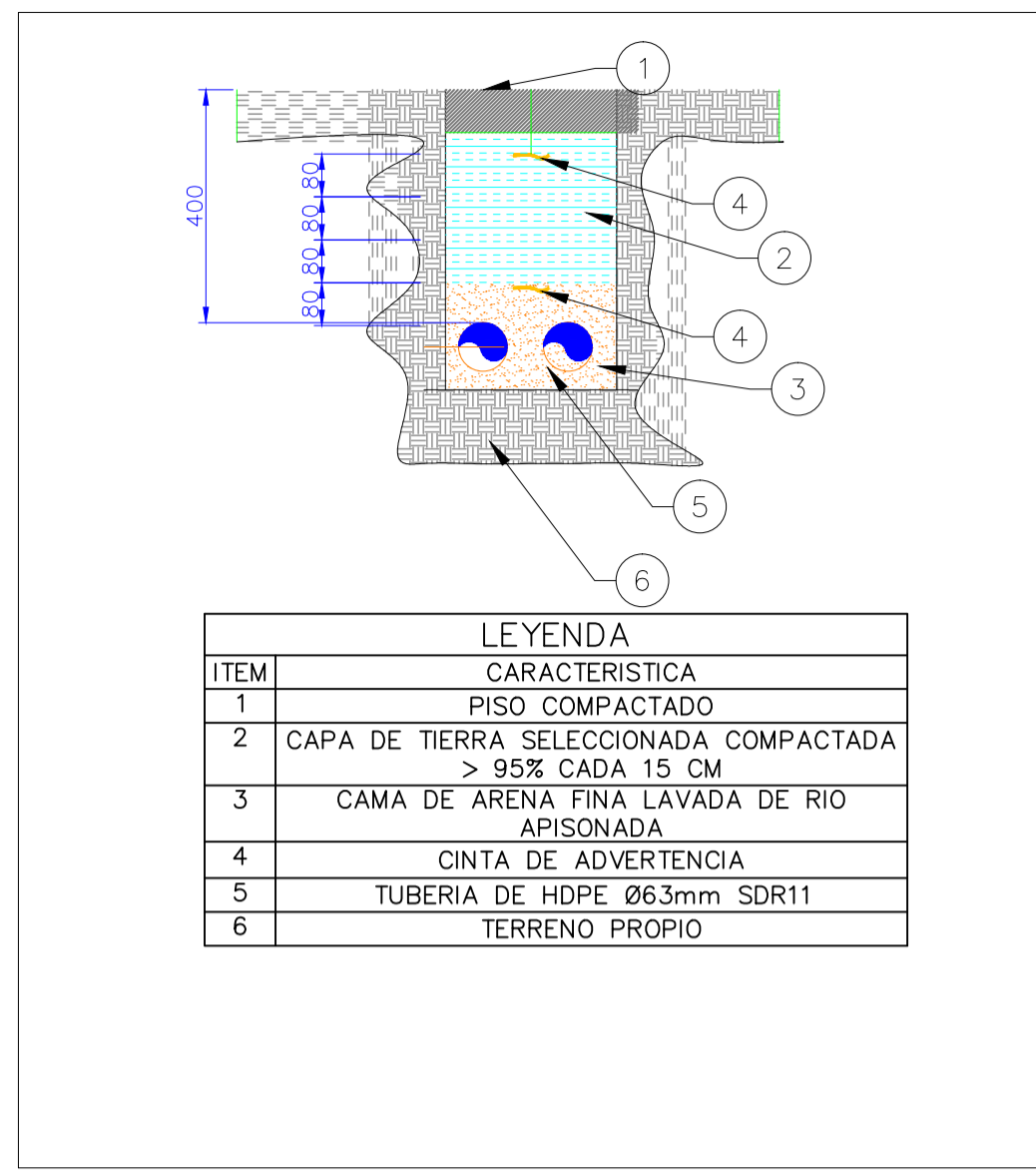
| LEYENDA  |                                 |
|----------|---------------------------------|
| SIMBOLOS | DESCRIPCION                     |
|          | TUBERIA DE LLENADO Y RETORNO    |
|          | TUBERIA DE VAPOR ALTA PRESION   |
|          | TUBERIA DE LIQUIDO ALTA PRESION |
|          | TUBERIA DE VAPOR MEDIA PRESION  |
|          | TUBERIA DE VAPOR BAJA PRESION   |
|          | TUBERIA DE VENTEO               |
|          | VALVULA REGULADORA DE PRESION   |
|          | VALVULA DE BOLA                 |
|          | COLGADOR TIPO GOTA              |
|          | UNION SIMPLE                    |
|          | SOPORTE DE TUBERIA EN CANALETA  |
|          | REDUCCION TIPO CAMPANA          |
|          | UNION UNIVERSAL                 |
|          | SOPORTE EN PARED DE DRYWALL     |
|          | MANOMETRO                       |

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO DE ABAD DEL CUSCO

PLANO ISOMETRICO DE RED GLP- ZONA DE ALMACENAMIENTO

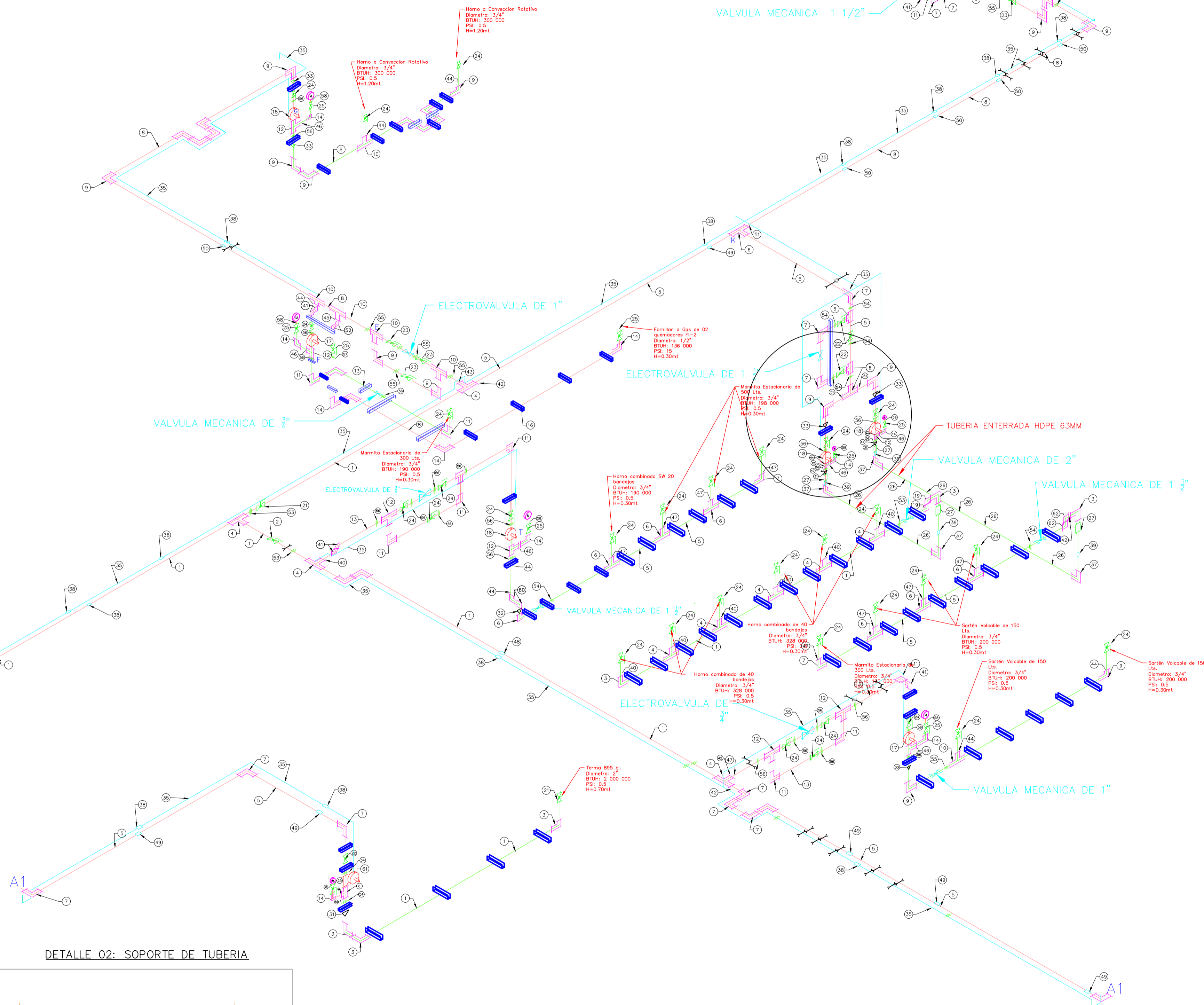
|           |                               |          |            |
|-----------|-------------------------------|----------|------------|
| Escuela:  | INGENIERIA MECANICA           | LAMINA:  | 04         |
| Revisado: | RACH_ERBER_TITAYLA_M          | Fecha:   | 10/09/2023 |
| Revisado: | ING. ROOSBEL DENNIS MAMANI C. | Formato: | A1         |

DETALLE 01: TUBERIA HDPE ENTERRADO



# PLANO ISOMETRICO

ESC 1/30

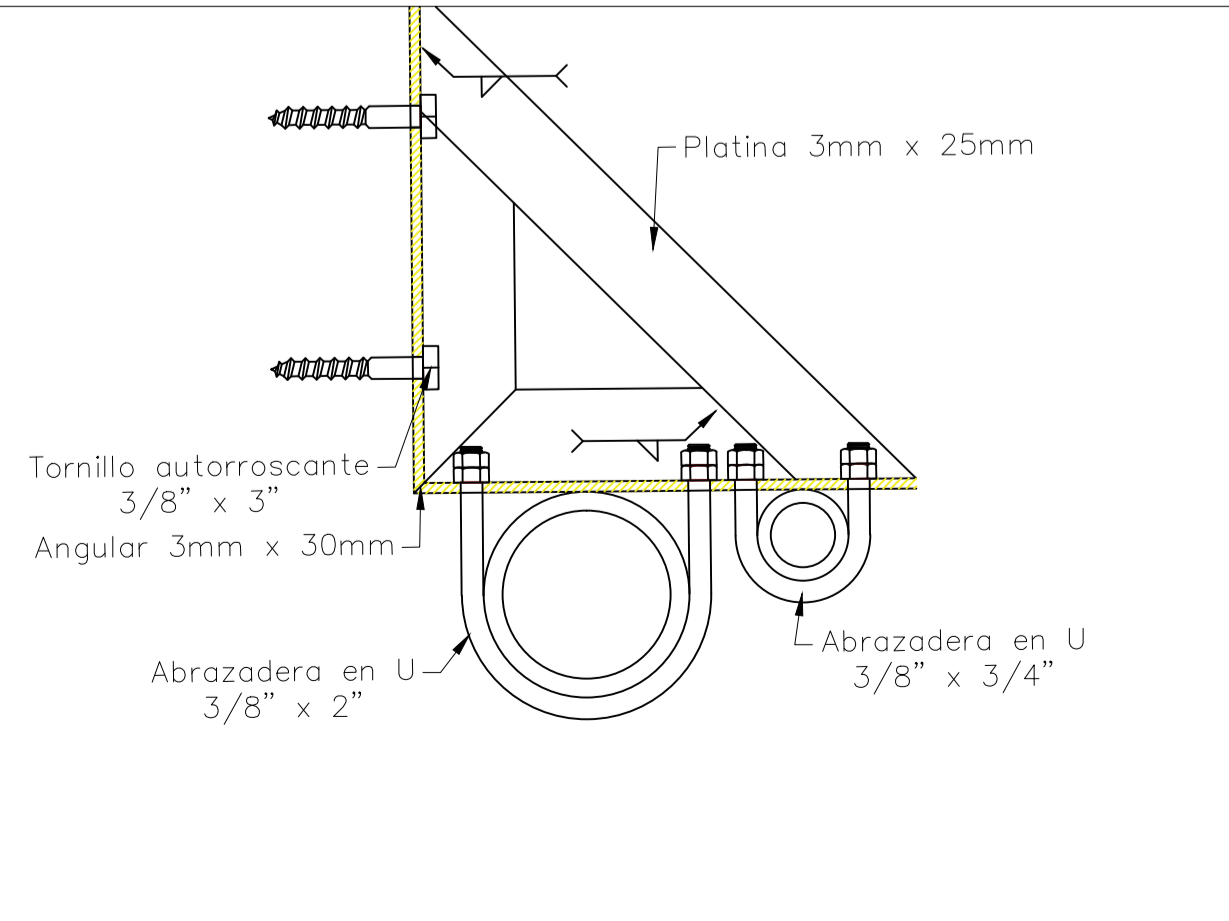


|    |             |                                  |        |          |
|----|-------------|----------------------------------|--------|----------|
| 6  | 1 1/2"      | TEE                              |        | 300 LB   |
| 7  | 1 1/2"      | CODO                             |        | SCH80    |
| 8  | 1"          | TUBERIA                          |        | 300 LB   |
| 9  | 1"          | CODO                             |        | 300 LB   |
| 10 | 1"          | TEE                              |        | 300 LB   |
| 11 | 3/4"        | CODO 90°                         |        | 300 LB   |
| 12 | 3/4"        | TEE                              |        | 300 LB   |
| 13 | 3/4"        | TUBERIA                          |        | SCH 80   |
| 14 | 1/2"        | CODO                             |        | 300 LB   |
| 15 | 1/2"        | TEE                              |        | 300 LB   |
| 16 | 1/2"        | TUBERIA                          |        | SCH 80   |
| 17 |             | REGULADOR 2° ETAPA               | REGO   | LV4403B  |
| 18 |             | REGULADOR 2° ETAPA               | REGO   | LV5503B  |
| 19 | 2"          | CODO DE 45°                      |        | 300 LB   |
| 20 | 1/2"        | MANOMETRO 0 - 300 PSI            |        |          |
| 21 | 2"          | VALVULA BOLA                     | APOLLO | SERIE 80 |
| 22 | 1 1/2"      | VALVULA BOLA                     | APOLLO | SERIE 80 |
| 23 | 1"          | VALVULA BOLA                     | APOLLO | SERIE 80 |
| 24 | 3/4"        | VALVULA BOLA                     | APOLLO | SERIE 80 |
| 25 | 1/2"        | VALVULA BOLA                     | APOLLO | SERIE 80 |
| 26 | 63mm        | TUBERIA HDPE                     |        |          |
| 27 | 63 mm       | TRANSICION HDPE                  |        |          |
| 28 |             | VAPORIZADOR -120GLNS             |        | 120 GLNS |
| 29 |             | DECANTADOR                       |        | 120 GLNS |
| 30 | 63 mm       | TUBERIA HDPE                     |        | SDR 11   |
| 31 | 2" @ 1 1/2" | REDUCTOR TIPO CAMPANA DE TUBERIA |        | 300 LB   |
| 32 | 1 1/2" @ 1" | REDUCTOR TIPO CAMPANA DE TUBERIA |        | 300 LB   |
| 33 | 1" @ 3/4"   | REDUCTOR TIPO CAMPANA DE TUBERIA |        | 300 LB   |
| 34 | 3/4" @ 1/2" | REDUCTOR TIPO CAMPANA DE TUBERIA |        | 300 LB   |
| 35 | 1/2"        | TUBERIA DE VENTEO                |        | SCH 80   |
| 36 | 2" @ 1"     | REDUCTOR TIPO CAMPANA DE TUBERIA |        | 300 LB   |
| 37 | 63mm        | CODO DE HDPE 63MM                |        |          |
| 38 | 1"          | UNION SIMPLE                     |        | 300 LB   |
| 39 | 63 mm       | COPLA HDPE 63MM                  |        |          |
| 40 | 2" @ 1 1/2" | REDUCCION BUSHING                |        | 300 LB   |
| 41 | 1 1/2"      | CODO DE 45°                      |        | 300 LB   |
| 42 | 2" @ 1 1/2" | REDUCCION BUSHING                |        | 300 LB   |
| 43 | 2" @ 1"     | REDUCCION BUSHING                |        | 300 LB   |
| 44 | 1" @ 3/4"   | REDUCCION BUSHING                |        | 300 LB   |
| 45 | 1" @ 1/2"   | REDUCCION BUSHING                |        | 300 LB   |
| 46 | 3/4" @ 1/2" | REDUCCION BUSHING                |        | 300 LB   |
| 47 | 1 1/2" @ 1" | REDUCCION BUSHING                |        | 300 LB   |
| 48 | 2"          | UNION SIMPLE                     |        | 300 LB   |
| 49 | 1 1/2"      | UNION SIMPLE                     |        | 300 LB   |
| 50 | 1"          | UNION SIMPLE                     |        | 300 LB   |
| 51 | 1 1/2" @ 1" | REDUCCION BUSHING                |        | 300 LB   |
| 52 | 1"          | CODO DE 45°                      |        | 300 LB   |
| 53 | 2"          | UNION UNIVERSAL                  |        | 300 LB   |
| 54 | 1 1/2"      | UNION UNIVERSAL                  |        | 300 LB   |
| 55 | 1"          | UNION UNIVERSAL                  |        | 300 LB   |
| 56 | 3/4"        | UNION UNIVERSAL                  |        | 300 LB   |
| 57 | 1/2"        | UNION UNIVERSAL                  |        | 300 LB   |
| 58 | 3/4" @ 1/2" | REDUCCION BUSHING                |        | 300 LB   |
| 59 | 1"          | TAPON                            |        | 300 LB   |
| 60 | 1"          | CODO DE 45°                      |        | 300 LB   |
| 61 |             | REGULADOR 2° ETAPA               | REGO   | 1813B    |
| 62 | 1 1/2"      | CODO DE 45°                      |        | 300 LB   |

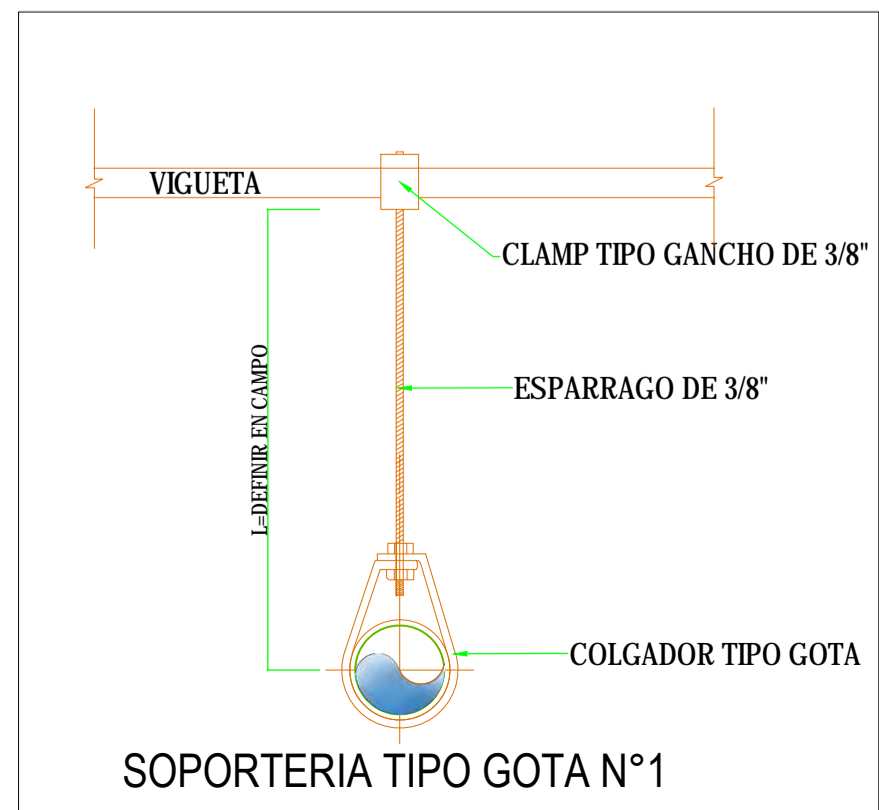
NOTA 1: El bypass instalado en paralelo a la electroválvula sirve en caso de que la electroválvula deba ser extraída para realizar mantenimiento o cambio. En condiciones normales el gas circulará a través de la electroválvula y la válvula de bola del bypass se encontrará cerrada, cuando la electroválvula falle se cerrará ambas válvulas contiguas a la electroválvula y se el flujo de gas será a través del bypass abriendo la válvula de bola.

| LEYENDA  |                                 |
|----------|---------------------------------|
| SIMBOLOS | DESCRIPCION                     |
|          | TUBERIA DE LLENADO Y RETORNO    |
|          | TUBERIA DE VAPOR ALTA PRESION   |
|          | TUBERIA DE LIQUIDO ALTA PRESION |
|          | TUBERIA DE VAPOR MEDIA PRESION  |
|          | TUBERIA DE VAPOR BAJA PRESION   |
|          | TUBERIA DE VENTEO               |
|          | VALVULA REGULADORA DE PRESION   |
|          | VALVULA DE BOLA                 |
|          | COLGADOR TIPO GOTA              |
|          | UNION SIMPLE                    |
|          | SOPORTE DE TUBERIA EN CANALETA  |
|          | REDUCCION TIPO BUSHING          |
|          | UNION UNIVERSAL                 |
|          | SOPORTE EN PARED DE DRYWALL     |
|          | MANOMETRO                       |

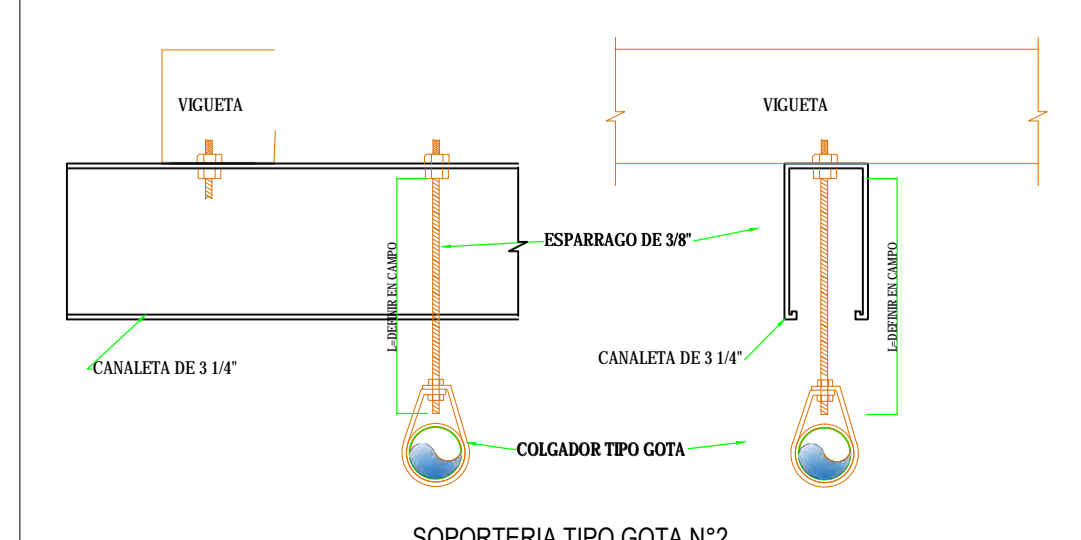
DETALLE 01: SOPORTE DE TUBERIA



DETALLE 02: SOPORTE DE TUBERIA



DETALLE 03



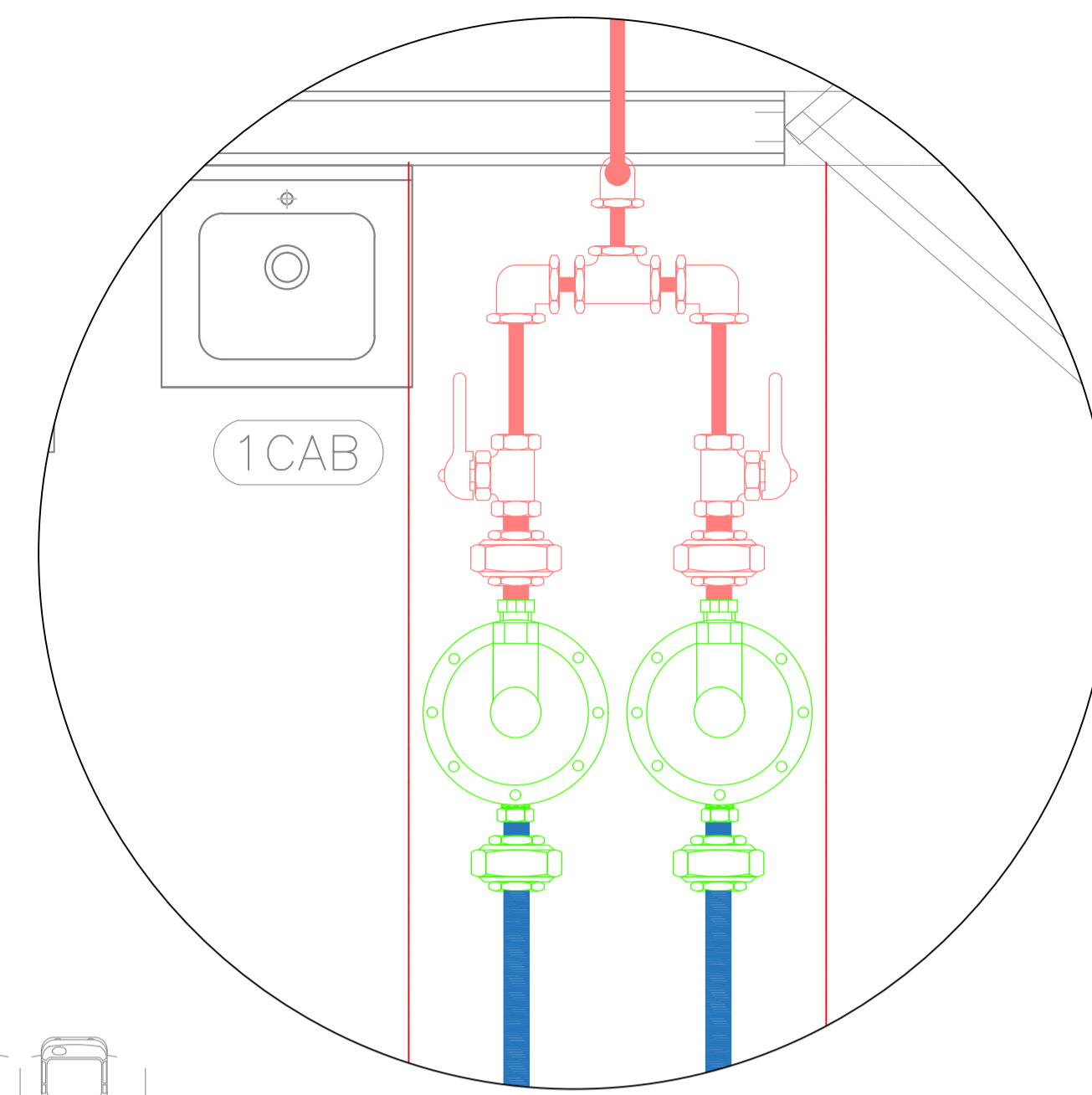
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO DE ABAD DEL CUSCO

PLANO ISOMETRICO DE RED - GLP

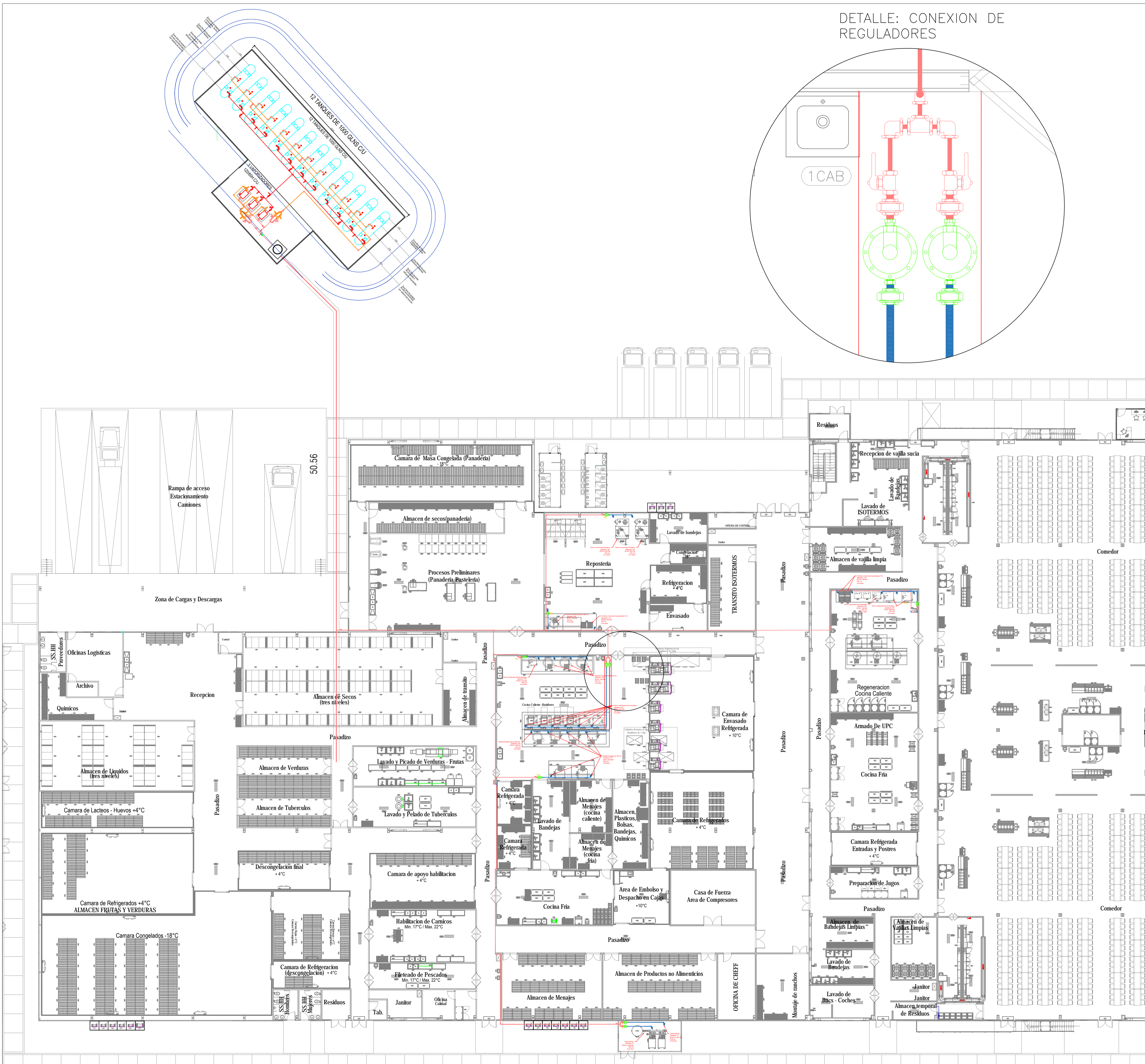
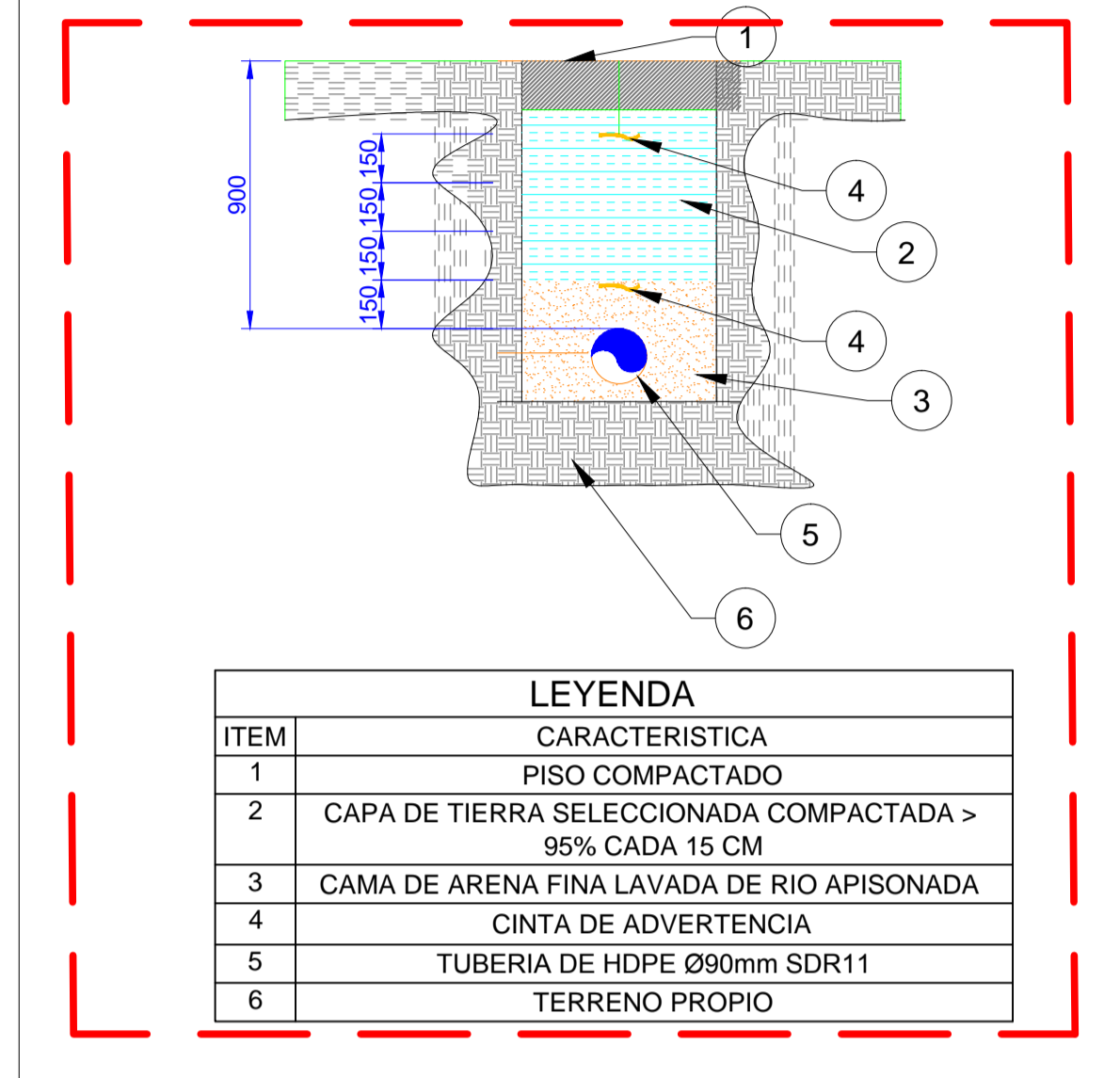
|           |                            |          |            |
|-----------|----------------------------|----------|------------|
| Escuela:  | INGENIERIA MECANICA        | LAMINA:  |            |
| Revisado: | BACH. ERBER TINTAYA M      | Fecha:   | 10/09/2023 |
| Revisado: | ING. ROOSBEL DENNIS MAMANI | Formato: | A1         |

04

DETALLE: CONEXION DE REGULADORES



CORTE A-A  
TUB. HDPE



LEYENDA

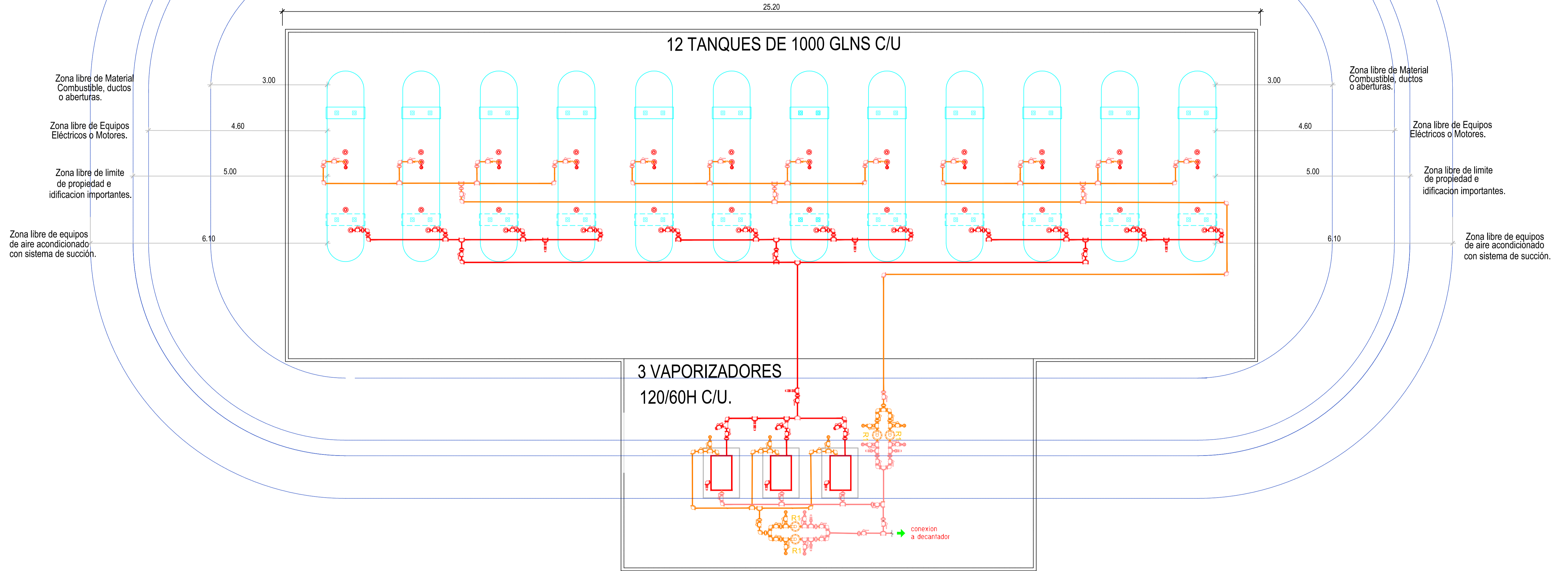
| SIMBOLOS | DESCRIPCION                    |
|----------|--------------------------------|
|          | REGULADOR DE PRESION           |
|          | VALVULA DE BOLA-LLAVE DE CORTE |
|          | TUBERIA DE LLENADO Y RETORNO   |
|          | TUBERIA DE VAPOR ALTA PRESION  |
|          | TUBERIA DE ALTA PRESION        |
|          | TUBERIA DE MEDIA PRESION       |
|          | TUBERIA DE BAJA PRESION        |
|          | TUBERIA DE VENTEO              |
|          | TUBERIA EN CANALETA            |
|          | VÁLVULA DE ALIVIO              |
|          | MANÓMETRO                      |
|          | FILTRO                         |
|          | MEDIDOR DE GAS                 |

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO DE ABAD DEL CUSCO



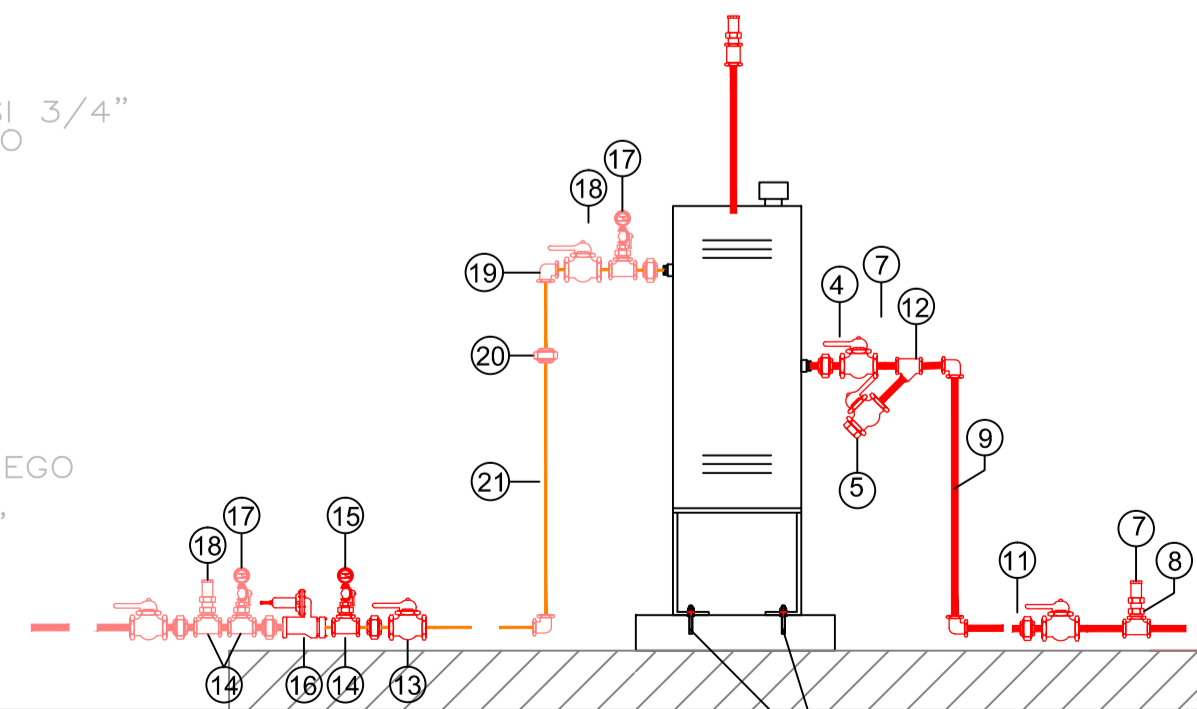
| PLANO DE DISTRIBUCION DE RED - GLP |                               |         |
|------------------------------------|-------------------------------|---------|
| Escuela:                           | INGENIERIA MECANICA           | LAMINA: |
| Revisado                           | BACH. FERBER INTAYTA M        | Fecha   |
| Revisado                           | ING. ROOSBEL DENNIS MAMANI C. |         |
|                                    |                               | Formato |
|                                    |                               | A1      |

# 12 TANQUES DE 1000 GLNS C/U

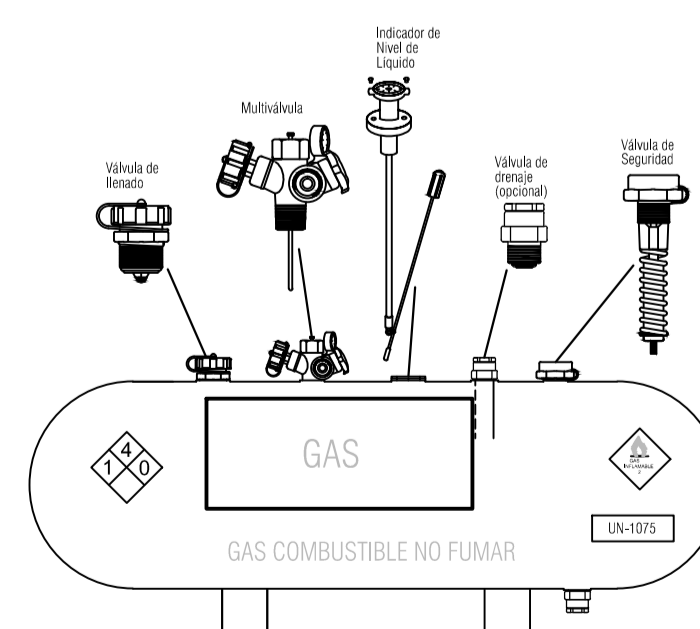


**DETALLE DE CONEXION DE TANQUE A VAPORIZADOR ENTRADA Y SALIDA**

- 1.- ACOPLERES DE VALVULA DE DRENAJE 7590U-10
- 2.- NIPLER AC SCH 80 3/4 X 2"
- 3.- TEE ROSCADO ACERO 3000 PSI 3/4"
- 4.- VALVULA APOLLO 3/4" MOD 80 600 WOG
- 5.- TAPON MACHO HE 3/4" FG
- 6.- UNION UNIVERSAL ROSCADA ACERO 3000 PSI 3/4"
- 7.- VALVULA DE SEGURIDAD 1/2", 3129U, REGO
- 8.- BUSHING ACERO 3000 1" A 1/2"
- 9.- TUBO DE AC SCH 80 3/4"
- 10.- CODO ROSCADO ACERO 3000 PSI 3/4"
- 11.- SOPORTERIA DE TUBO
- 12.- FILTRO Y Ø 3/4"
- 13.- VALVULA APOLLO 1" MOD 80 600 WOG
- 14.- TEE ROSCADO ACERO 300 PSI 1"
- 15.- MANOMETRO DE 0-300 PSI
- 16.- REGULADOR REGO 1588 VN
- 17.- MANOMETRO DE 0-60 PSI
- 18.- VALVULA DE SEGURIDAD 1/4", 3139-38, REGO
- 19.- CODO ROSCADO FN 300 PSI 1"
- 20.- UNION UNIVERSAL ROSCADA FN 300 PSI 1"
- 21.- TUBO DE AC SCH 80 1"

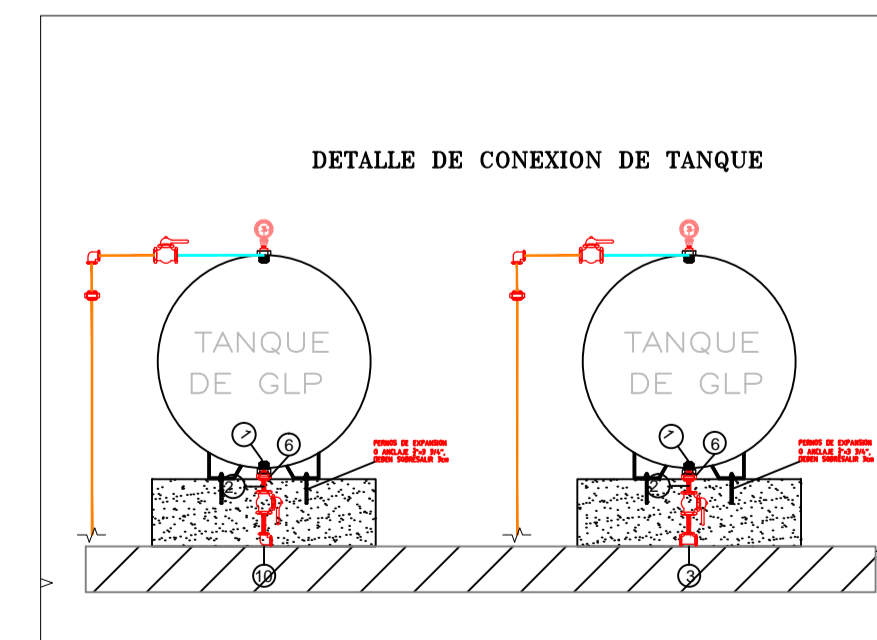


**DETALLE DE COPLAS DE TANQUE S/E**



**DETALLE DE COPLAS DE TANQUE S/E**

**DETALLE DE CONEXION DE TANQUE**



## LEYENDA

| SIMBOLOS | DESCRIPCION                    |
|----------|--------------------------------|
|          | REGULADOR DE PRESION           |
|          | VALVULA DE BOLA-LLAVE DE CORTE |
|          | TUBERIA DE LLENADO Y RETORNO   |
|          | TUBERIA DE VAPOR ALTA PRESION  |
|          | TUBERIA DE ALTA PRESION        |
|          | TUBERIA DE MEDIA PRESION       |
|          | TUBERIA DE BAJA PRESION        |
|          | TUBERIA DE FG VENTEO           |
|          | VALVULA DE ALIVIO              |
|          | MANÓMETRO                      |
|          | FILTRO                         |
|          | REGULADOR DE PRIMERA ETAPA     |

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO DE ABAD DEL CUSCO



### PLANO DE DISTRIBUCION ZONA DE TANQUES - GLP

Escuela: INGENIERIA MECANICA

Revisado: RACH, ERBER, TINTAYA, M

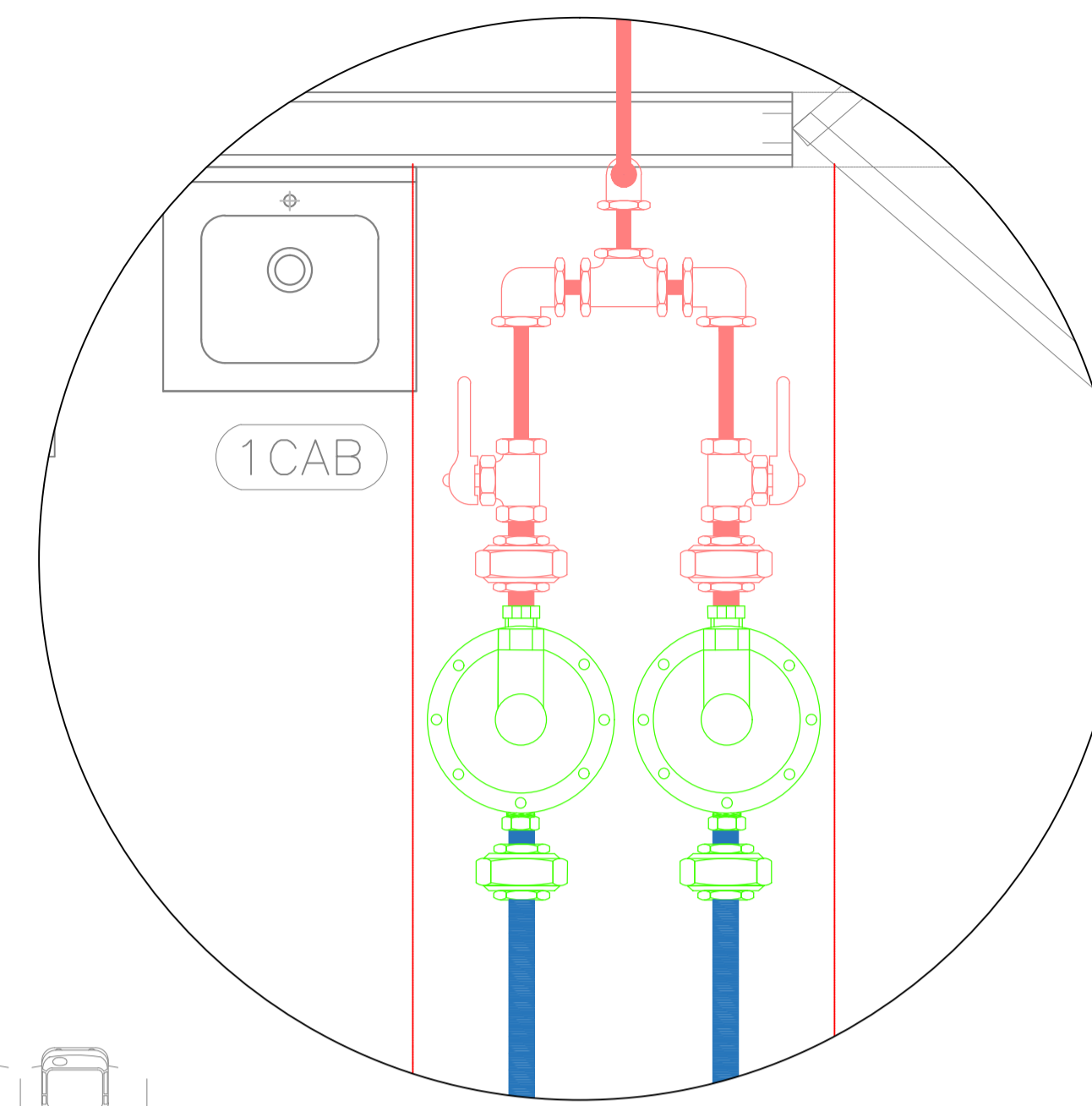
Revisado: ING. ROOSBEL DENNIS MAMANI C.

Fecha: 10/09/2023

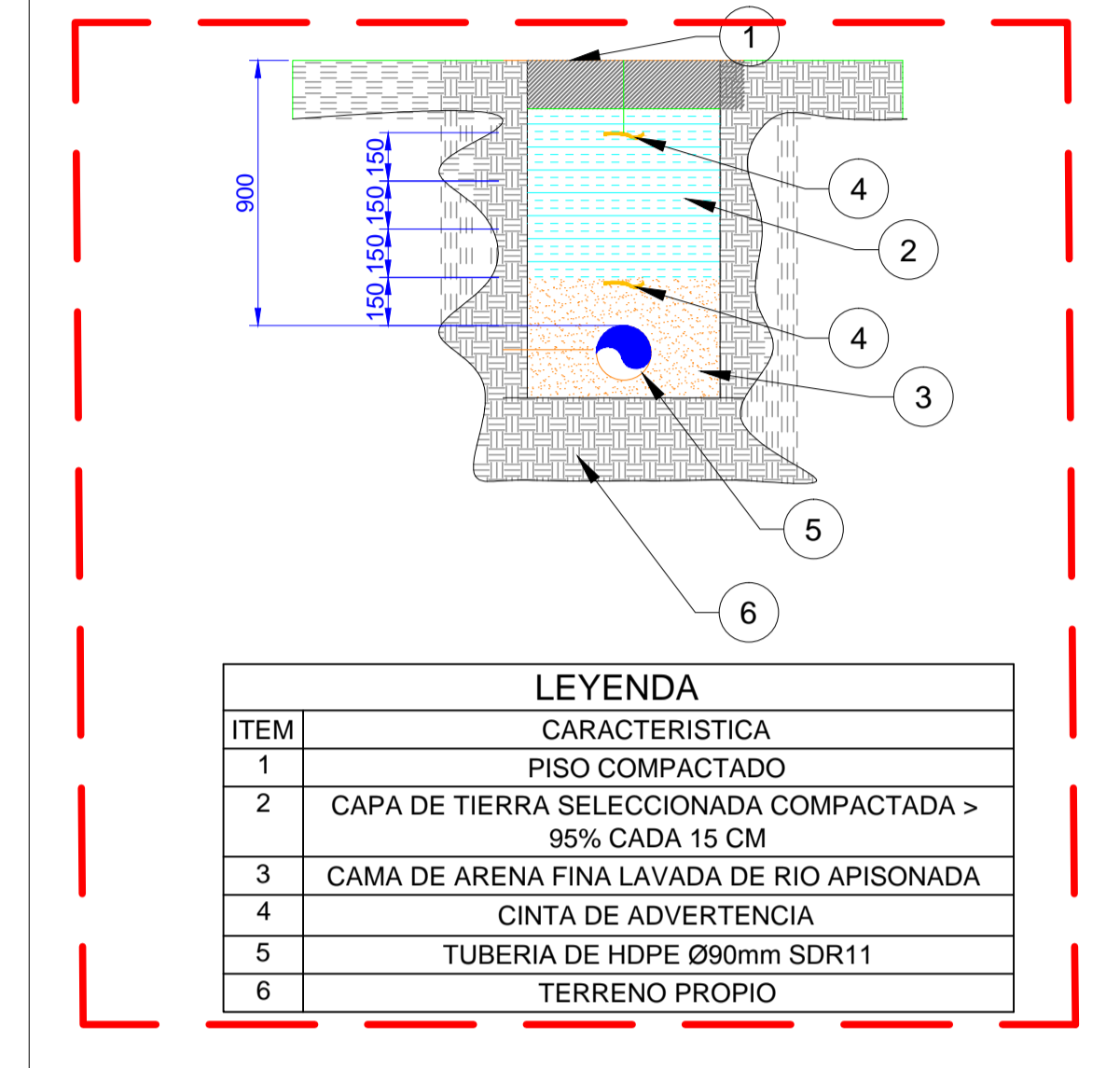
Formato: A1

LAMINA: 04

DETALLE: CONEXION DE REGULADORES



CORTE A-A  
TUB. HDPE



| LEYENDA |   |
|---------|---|
| ITEM    | CARACTERISTICA  |
| 1       | PISO COMPACTADO   |
| 2       | CAPA DE TIERRA SELECCIONADA COMPACTADA > 95% CADA 15 CM |
| 3       | CAMA DE ARENA FINA LAVADA DE RIO APISONADA              |
| 4       | CINTA DE ADVERTENCIA                                    |
| 5       | TUBERIA DE HDPE Ø90mm SDR11                             |
| 6       | TERRENO PROPIO  |

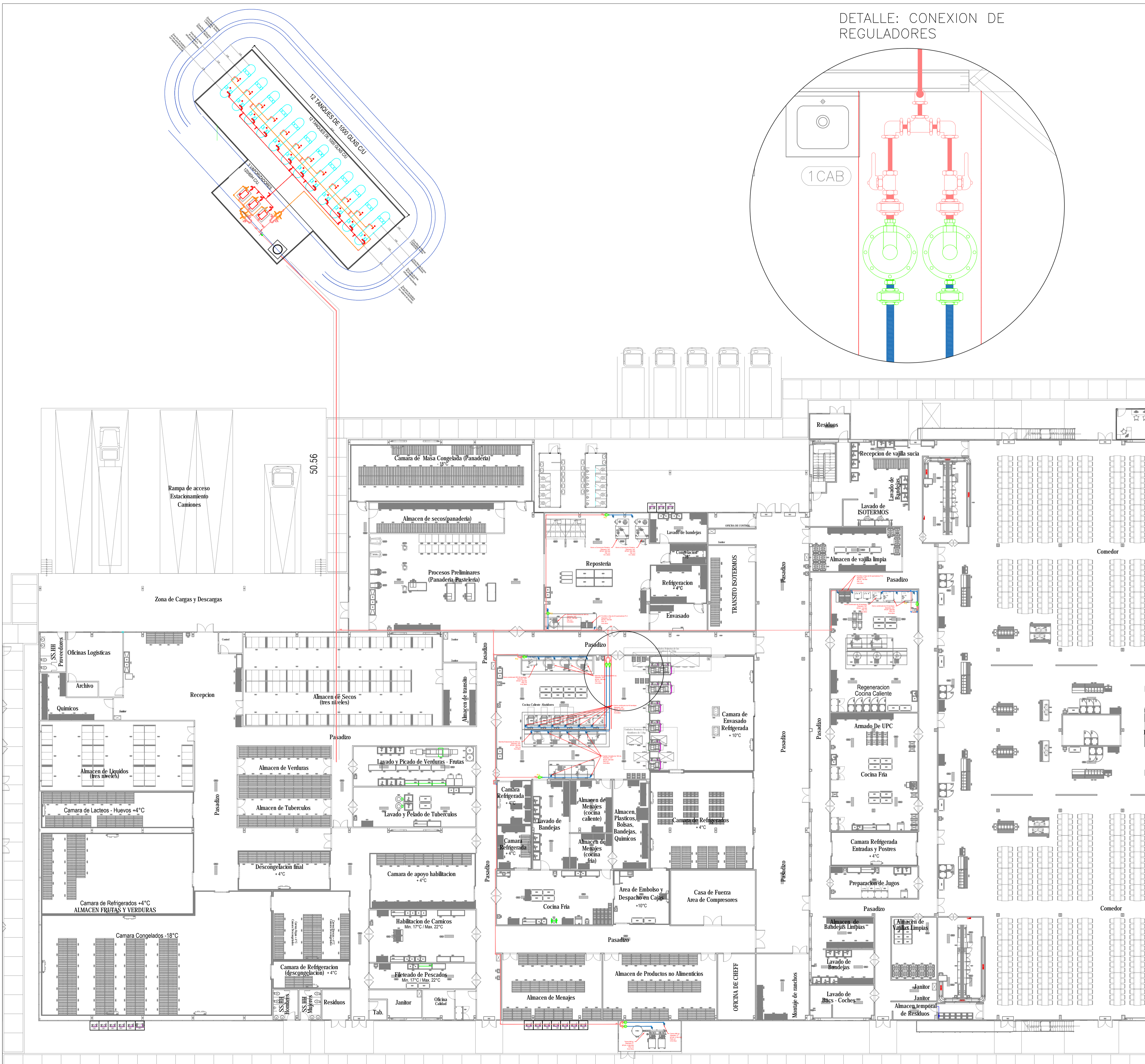
LEYENDA

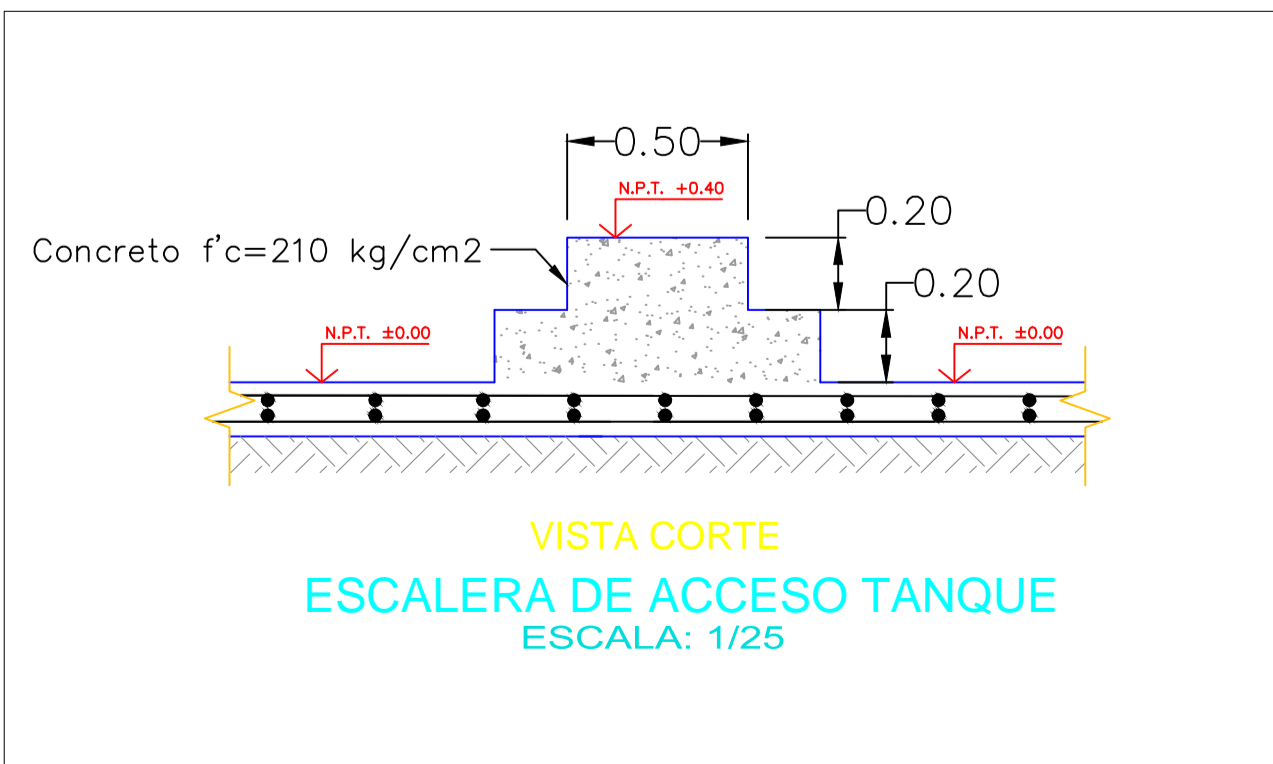
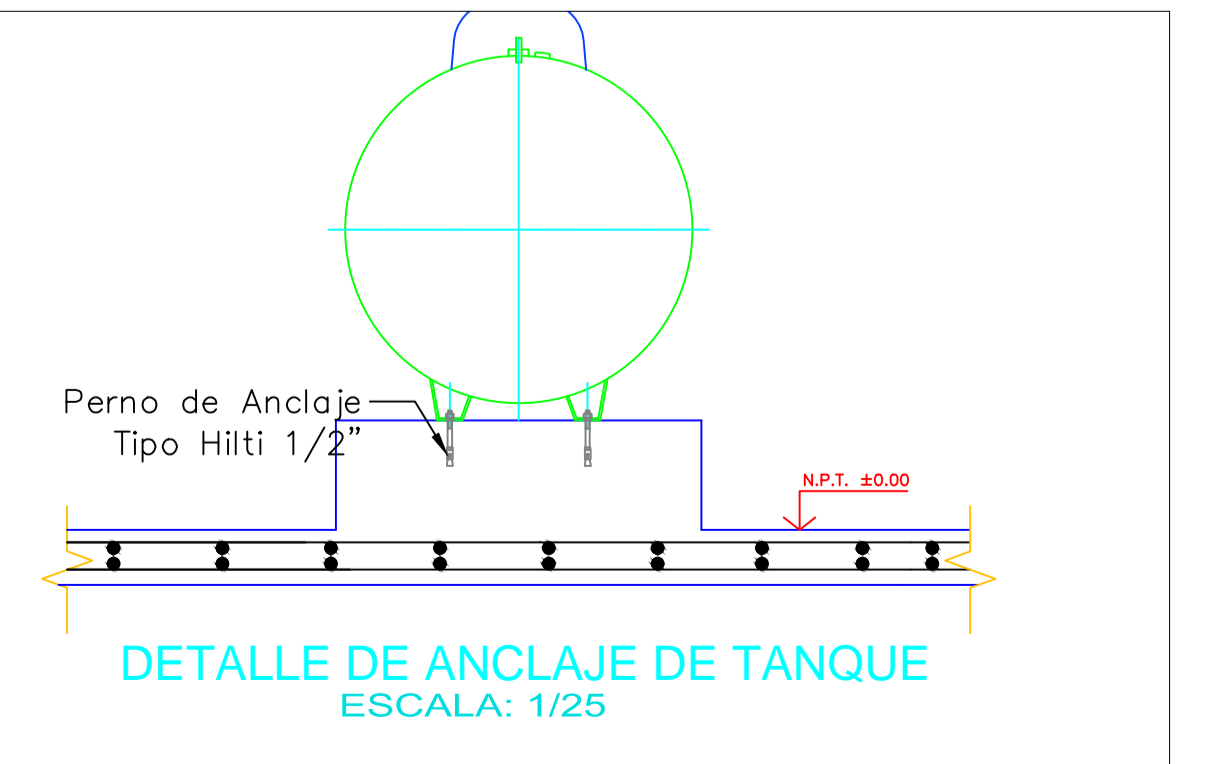
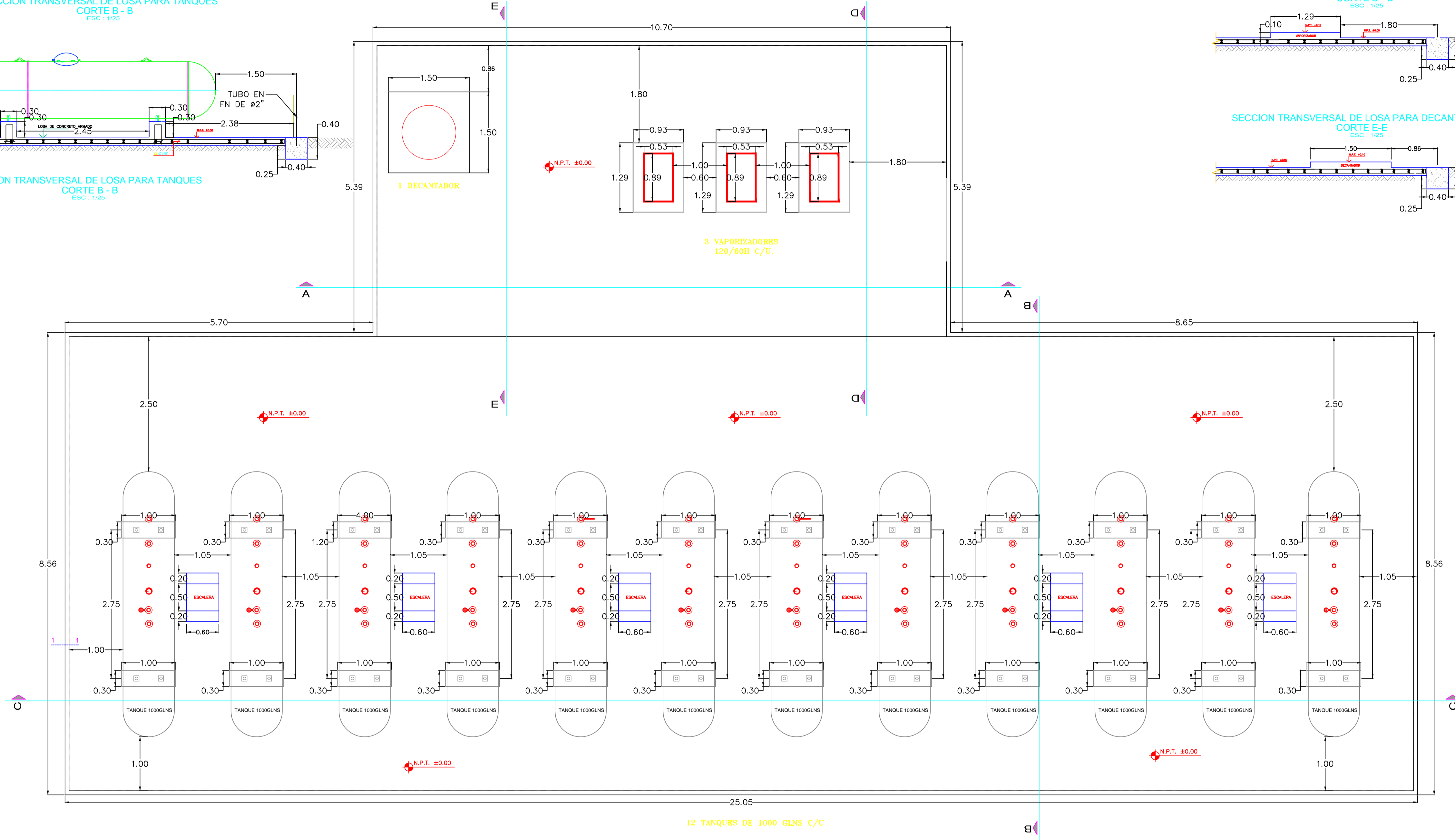
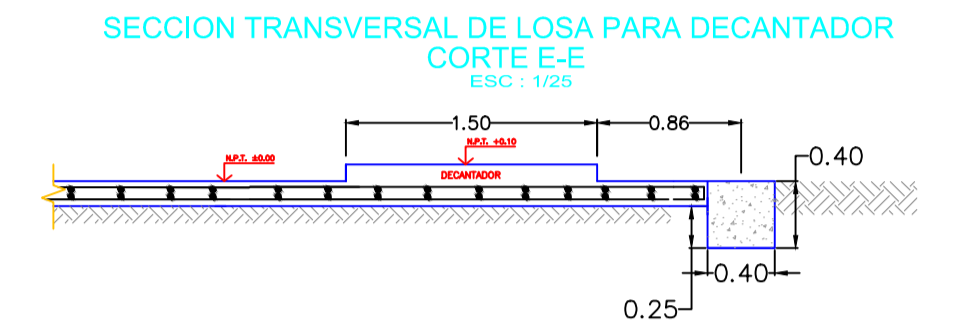
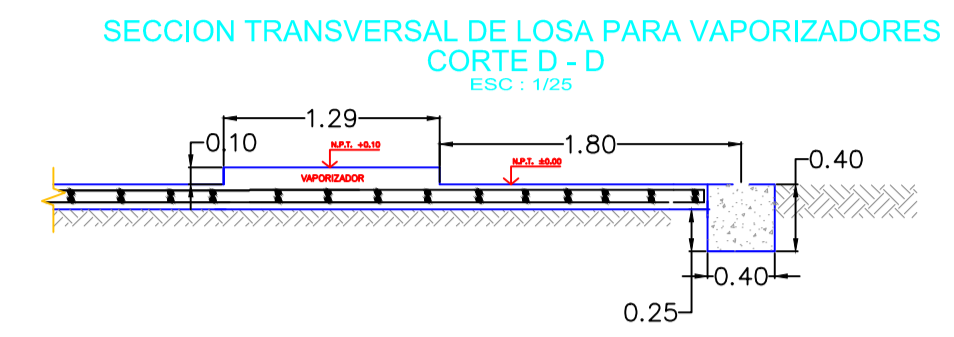
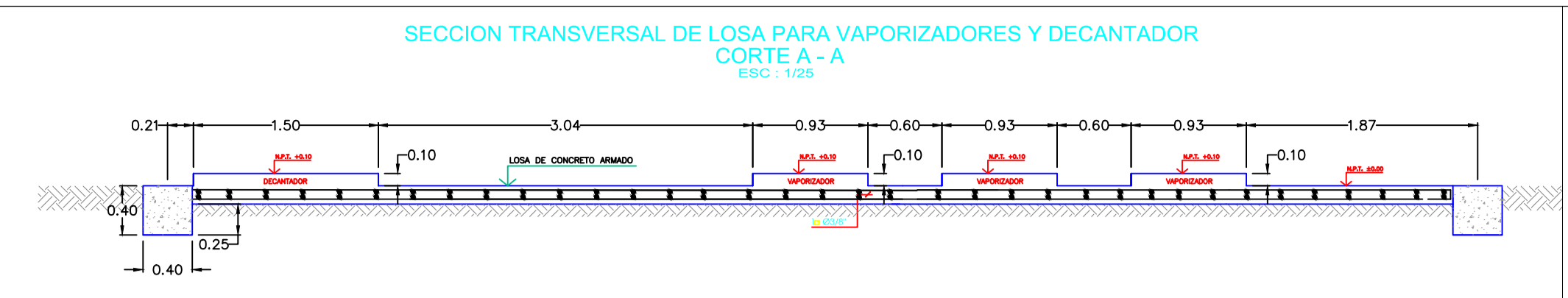
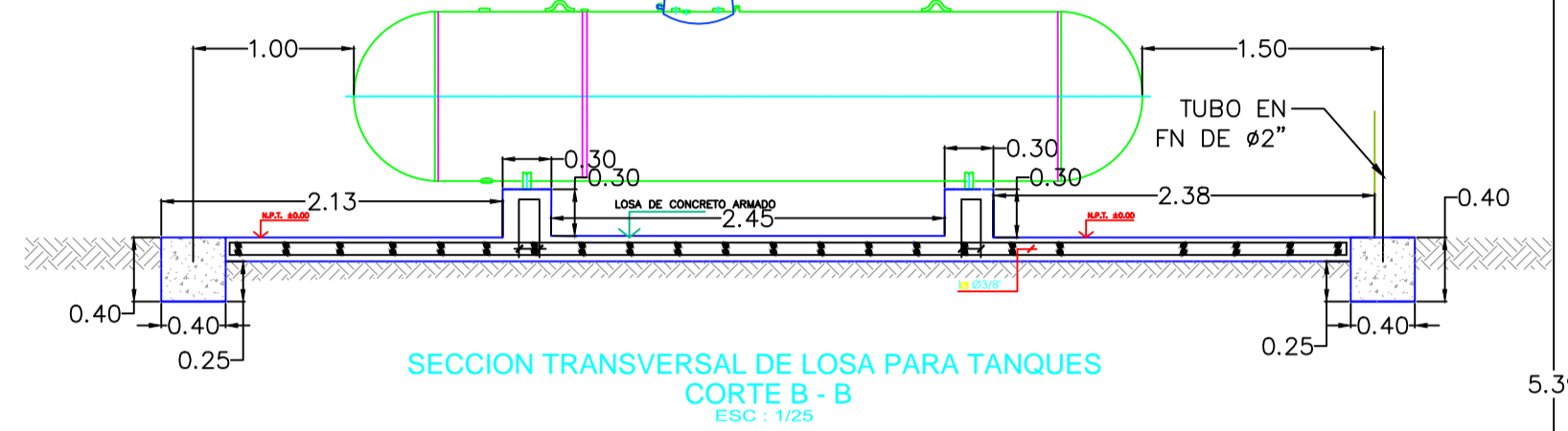
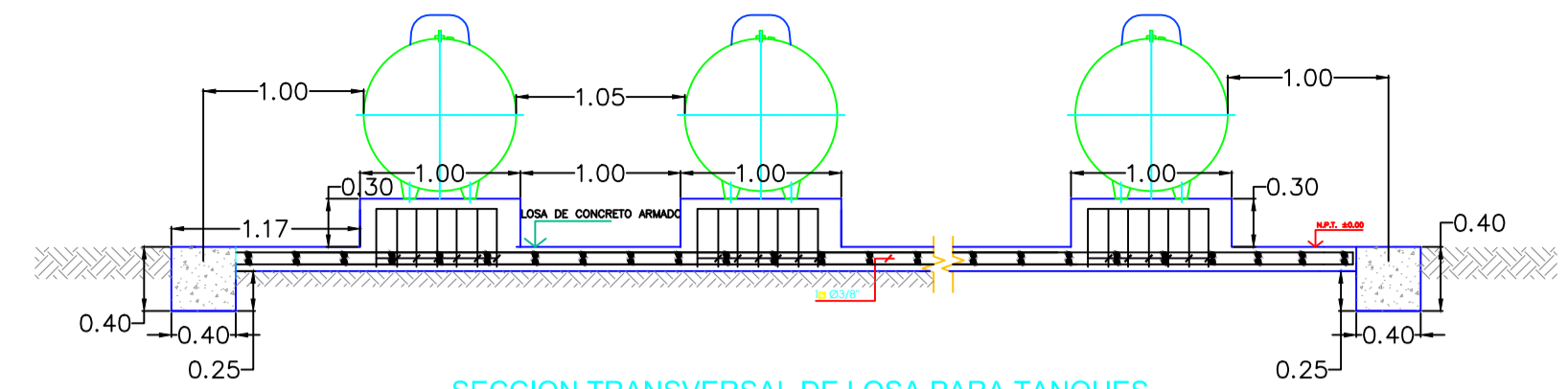
| SIMBOLOS | DESCRIPCION                    |
|----------|--------------------------------|
|          | REGULADOR DE PRESION           |
|          | VALVULA DE BOLA-LLAVE DE CORTE |
|          | TUBERIA DE LLENADO Y RETORNO   |
|          | TUBERIA DE VAPOR ALTA PRESION  |
|          | TUBERIA DE ALTA PRESION        |
|          | TUBERIA DE MEDIA PRESION       |
|          | TUBERIA DE BAJA PRESION        |
|          | TUBERIA DE VENTEO              |
|          | TUBERIA EN CANALETA            |
|          | VÁLVULA DE ALIVIO              |
|          | MANÓMETRO                      |
|          | FILTRO                         |
|          | MEDIDOR DE GAS                 |

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO DE ABAD DEL CUSCO

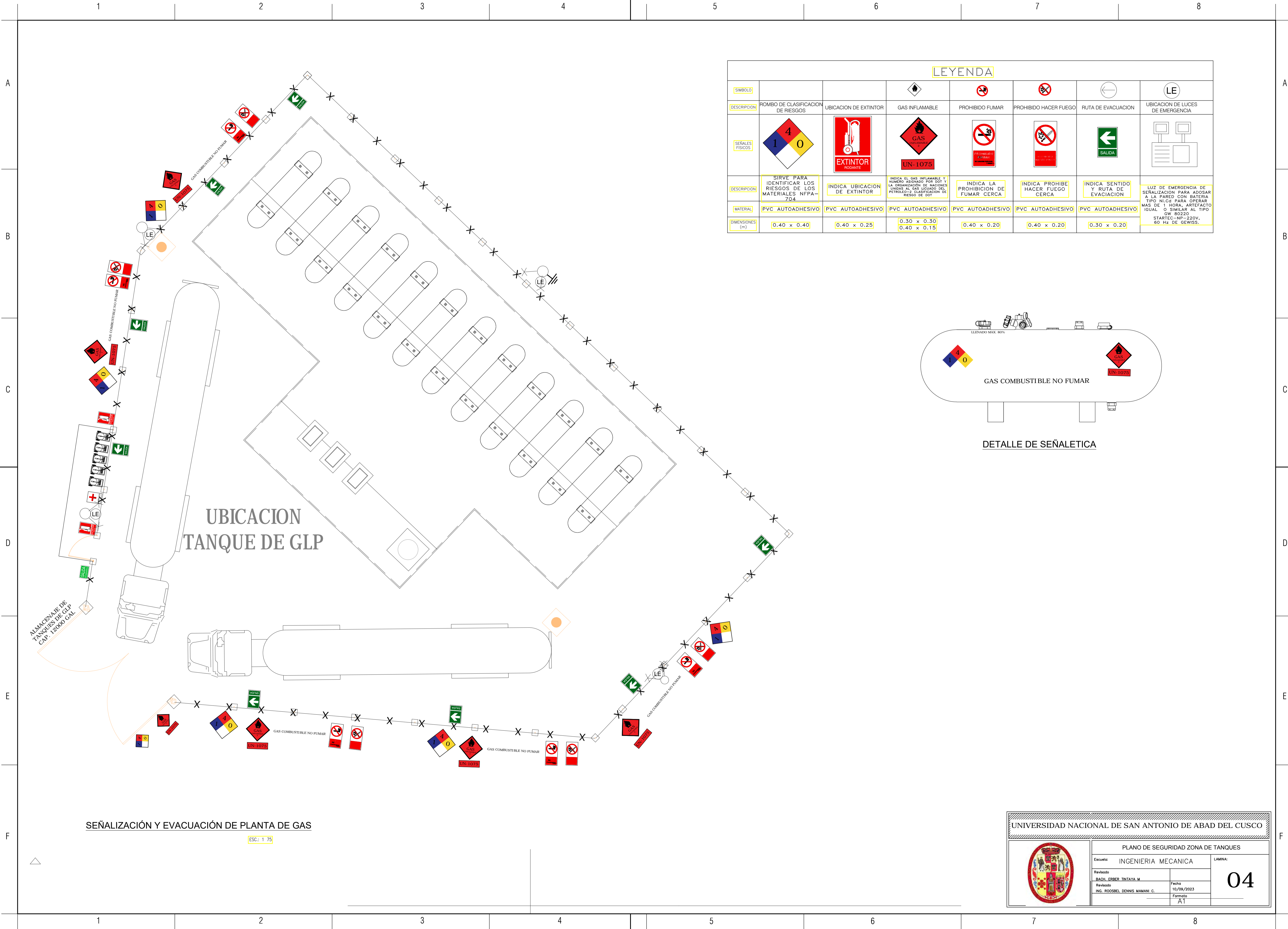


| PLANO DE DISTRIBUCION DE RED - GLP |                               |         |
|------------------------------------|-------------------------------|---------|
| Escuela:                           | INGENIERIA MECANICA           | LAMINA: |
| Revisado:                          | BACH. FERBER INTAYTA M        | Fecha:  |
| Revisado:                          | ING. ROOSBEL DENNIS MAMANI C. |         |
| Formato:                           | A1                            |         |

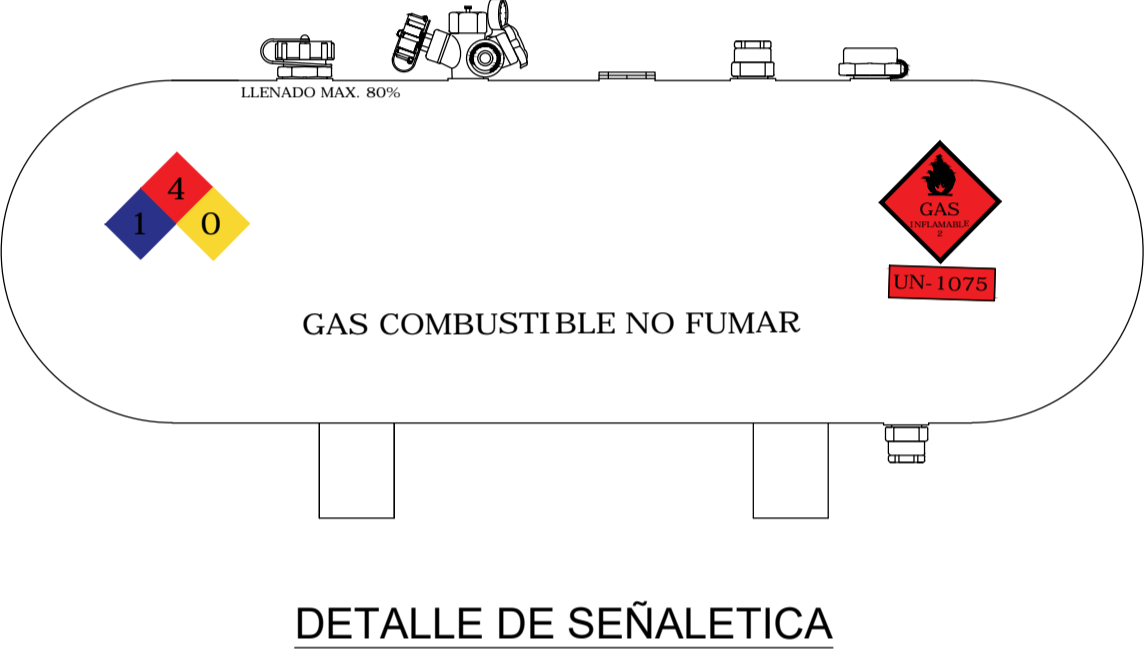




|   |                     |    |
|---|---------------------|----|
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO DE ABAD DEL CUSCO |                     |    |
| PLANO DE DETALLES ZONA DE TANQUES                     |                     |    |
| Escuela:<br>INGENIERIA MECANICA                       | Lamina:             | 04 |
| Revisado<br>BACH. ERBER TINTAYA M                     | Fecha<br>10/09/2023 |    |
| Revisado<br>ING. ROOSBEL DENNIS MAMANI C.             | Formato<br>A1       |    |



| LEYENDA          |   |                              |   |                                      |                                  |                                     |   |
|------------------|---|------------------------------|---|--------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|---|
| SÍMBOLO          | ROMBO DE CLASIFICACION DE RIESGOS                             | UBICACION DE EXTINTOR        | GAS INFLAMABLE  | PROHIBIDO FUMAR                      | PROHIBIDO HACER FUEGO            | RUTA DE EVACUACION                  | UBICACION DE LUZES DE EMERGENCIA  |
|                  |   |                              |   |                                      |                                  |                                     |   |
| SERIELES FISICOS | SIRVE PARA IDENTIFICAR LOS RIESGOS DE LOS MATERIALES NFPA-704 | INDICA UBICACION DE EXTINTOR | INDICA EL GAS INFLAMABLE Y NUMERO ASIGNADO POR DOT Y LA ORGANIZACION DE NACIONES UNIDAS AL GAS LICUADO DEL PETROLEO, CLASIFICACION DE RIESGO DE DOT | INDICA LA PROHIBICION DE FUMAR CERCA | INDICA PROHIBE HACER FUEGO CERCA | INDICA SENTIDO Y RUTA DE EVACIACION | LUZ DE EMERGENCIA DE SEÑALIZACION PARA ADOSAR A LA PARED CON BATERIA TIPO NI-Cd PARA OPERAR MAS DE 1 HORA. ARTEFACTO IGUAL O SIMILAR AL TIPO QW 80220 STARTEC-NP-220V, 60 HZ DE GEWISS. |
| MATERIAL         | PVC AUTOADHESIVO  | PVC AUTOADHESIVO             | PVC AUTOADHESIVO  | PVC AUTOADHESIVO                     | PVC AUTOADHESIVO                 | PVC AUTOADHESIVO                    |   |
| DIMENSIONES (m)  | 0.40 x 0.40   | 0.40 x 0.25                  | 0.30 x 0.30<br>0.40 x 0.15  | 0.40 x 0.20                          | 0.40 x 0.20                      | 0.30 x 0.20                         |   |



SEÑALIZACIÓN Y EVACUACIÓN DE PLANTA DE GAS

ESC.: 1/75

|   |                               |          |
|---|-------------------------------|----------|
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO DE ABAD DEL CUSCO |                               |          |
| PLANO DE SEGURIDAD ZONA DE TANQUES                    |                               |          |
| Escuela:  | INGENIERIA MECANICA           | LAMINA:  |
| Revisado:   | BACH. ERBER TINTAYA M.        | Fecha:   |
| Revisado:   | ING. ROOSBEL DENNIS MAMANI G. |          |
|   |                               | Formato: |
|   |                               | A1       |
|   |                               | 04       |

**ANEXOS****ANEXO 1: Herramientas de gestión según D.S-024-2016 (ANEXO N°4)**

|  |                             |
|--|-----------------------------|
| <b>ANEXO N° 4</b>  |                             |
| <b>INDUCCIÓN Y ORIENTACIÓN BÁSICA</b>                    |                             |
| PARA USO DE LA GERENCIA DE SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL |                             |
| Titular:   | Trabajador:                 |
| E.C.M./CONEXAS :   | Fecha de Ingreso:           |
| Unidad de Producción:                                    | Registro o N° de Fotocheck: |
| Distrito:  | Ocupación:                  |
| Provincia:   | Área de Trabajo:            |

|                          |   |
|--------------------------|---|
| <input type="checkbox"/> | Revisión del Programa de Recorrido de Inducción por Ingreso del Departamento de Administración de Personal.           |
| <input type="checkbox"/> | Bienvenida y explicación del propósito de la orientación.   |
| <input type="checkbox"/> | Pasado y presente del desempeño de la unidad de producción en Seguridad y Salud Ocupacional.                          |
| <input type="checkbox"/> | Importancia del trabajador en el Programa de Seguridad y Salud Ocupacional.   |
| <input type="checkbox"/> | Política de Seguridad y Salud Ocupacional.  |
| <input type="checkbox"/> | Presentación y explicación del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud Ocupacional implementado en la empresa minera. |
| <input type="checkbox"/> | Reglamento Interno de Seguridad y Salud Ocupacional, Reglas de Tránsito y otras normas.                               |
| <input type="checkbox"/> | Comité Paritario de Seguridad y Salud Ocupacional.  |
| <input type="checkbox"/> | Obligaciones, Derechos y Responsabilidades de los trabajadores y supervisores   |
| <input type="checkbox"/> | Explicación de Peligros, Riesgos, incidentes, estándares, PETS, ATS, PETAR, IPERC y jerarquía de controles.           |
| <input type="checkbox"/> | Trabajos de alto riesgo en la Unidad Minera.  |
| <input type="checkbox"/> | Higiene ocupacional: Agentes físicos, químicos, biológicos, ergonomía.  |
| <input type="checkbox"/> | Código de colores y señalización.   |
| <input type="checkbox"/> | Control de sustancias peligrosas  |
| <input type="checkbox"/> | Primeros Auxilios y Resucitación Cardio Pulmonar (RCP).   |
| <input type="checkbox"/> | Plan de emergencias en la Unidad minera.  |

Fecha,

|                                |  |
|--------------------------------|--|
| .....<br>Firma del Trabajador. | .....<br>V°B° del Gerente de Seguridad y<br>Salud Ocupacional o Ingeniero de Seguridad |
|--------------------------------|--|

**ANEXO 2: Herramientas de gestión según D.S-024-2016 (ANEXO N°5)****ANEXO N° 5****PROGRAMA DE CAPACITACIÓN ESPECÍFICA EN EL ÁREA DE TRABAJO**

|                       |                             |
|-----------------------|-----------------------------|
| Titular:              | Trabajador:                 |
| E.C.M/CONEXAS.:       | Fecha de Ingreso:           |
| Unidad de Producción: | Registro o N° de Fotocheck: |
| Distrito:             | Ocupación:                  |
| Provincia:            | Área de Trabajo:            |

1. Bienvenida y explicación del propósito de la orientación.
2. Reconocimiento guiado a las áreas donde los trabajadores desempeñarán su trabajo
3. Explicación de las estadísticas de seguridad del departamento o sección.
4. Incidentes, Incidentes Peligrosos, Accidentes de Trabajo y Enfermedades Ocupacionales del Área.
5. Explicación de los peligros y riesgos existentes en el área.
6. Capacitación sobre los estándares que corresponden al área, con la evaluación correspondiente.
7. Capacitación sobre los PETS que corresponden al área, con la evaluación correspondiente.
8. Capacitación teórico-práctico sobre las actividades de alto riesgo que se realizan en el área.
9. Capacitación en el control de los materiales peligrosos que se utilizan en el área.
10. Capacitación sobre los agentes físicos, químicos, biológicos presentes en el área.
11. Identificación y prevención ergonómica.
12. Código de colores y señalización en el área
13. Uso de Equipo de Protección Personal (EPP) apropiado para el tipo de tarea asignada; con explicación de los estándares de uso.
14. Uso del teléfono del área de trabajo y otras formas de comunicación con radio portátil o estacionario; quiénes, cómo y cuándo se deben utilizar.
15. Capacitación en los protocolos de respuesta a emergencia, establecidos para el área donde se desempeñarán los trabajadores.
16. Práctica de ubicación (recorrido en campo) y uso de refugios mineros, equipos de respuesta a emergencias, sistema contra incendio, sistemas de alarma, comunicación, extintores, botiquines, camillas, duchas, lava ojos y otros dispositivos utilizados para casos de respuesta a emergencias.
17. Cómo reportar incidentes de personas, maquinarias o daños de la propiedad de la empresa.
18. Importancia del orden y la limpieza en la zona de trabajo.
19. Seguimiento, verificación y evaluación del desempeño del trabajador hasta que sea capaz de realizar la tarea asignada.

Fecha,

.....  
Firma del Trabajador......  
V°B° del Ingeniero Supervisor



**ANEXO 4: Herramientas de gestión según (D.S-024-2016 ANEXO N°7)**

| LOGO EMPRESA  | ANEXO N° 7<br>FORMATO IPERC CONTINUO |                   |         |   | Código:                          |                            |   |   |
|---|--------------------------------------|-------------------|---------|---|----------------------------------|----------------------------|---|---|
|   |                                      |                   |         |   | Versión:                         |                            |   |   |
|   |                                      |                   |         |   | Fecha:                           |                            |   |   |
|   |                                      |                   |         |   | Página 1 de 1                    |                            |   |   |
| <b>FECHA, LUGAR Y DATOS DE TRABAJADORES:</b>                    |                                      |                   |         |   |                                  |                            |   |   |
| FECHA   | HORA                                 | NIVEL/ÁREA        | NOMBRES |   |                                  | FIRMA                      |   |   |
|   |                                      |                   |         |   |                                  |                            |   |   |
|   |                                      |                   |         |   |                                  |                            |   |   |
|   |                                      |                   |         |   |                                  |                            |   |   |
| DESCRIPCIÓN DEL PELIGRO   | RIESGO                               | EVALUACIÓN IPER   |         |   | MEDIDAS DE CONTROL A IMPLEMENTAR | EVALUACIÓN RIESGO RESIDUAL |   |   |
|   |                                      | A                 | M       | B |                                  | A                          | M | B |
|   |                                      |                   |         |   |                                  |                            |   |   |
|   |                                      |                   |         |   |                                  |                            |   |   |
|   |                                      |                   |         |   |                                  |                            |   |   |
|   |                                      |                   |         |   |                                  |                            |   |   |
|   |                                      |                   |         |   |                                  |                            |   |   |
|   |                                      |                   |         |   |                                  |                            |   |   |
|   |                                      |                   |         |   |                                  |                            |   |   |
|   |                                      |                   |         |   |                                  |                            |   |   |
|   |                                      |                   |         |   |                                  |                            |   |   |
|   |                                      |                   |         |   |                                  |                            |   |   |
| <b>SECUENCIA PARA CONTROLAR EL PELIGRO Y REDUCIR EL RIESGO.</b> |                                      |                   |         |   |                                  |                            |   |   |
| 1.-   |                                      |                   |         |   |                                  |                            |   |   |
| 2.-   |                                      |                   |         |   |                                  |                            |   |   |
| 3.-   |                                      |                   |         |   |                                  |                            |   |   |
| <b>DATOS DE LOS SUPERVISORES</b>                                |                                      |                   |         |   |                                  |                            |   |   |
| HORA  | NOMBRE SUPERVISOR                    | MEDIDA CORRECTIVA |         |   | FIRMA                            |                            |   |   |
|   |                                      |                   |         |   |                                  |                            |   |   |
|   |                                      |                   |         |   |                                  |                            |   |   |
|   |                                      |                   |         |   |                                  |                            |   |   |



## Matriz básica de evaluación de riesgos según (D.S-024-2016 ANEXO N°7)

| MATRIZ BÁSICA DE EVALUACIÓN DE RIESGOS |   |   |                            |   |                |                 |                                    |  |                 |             |                            |      |   |            |       |   |           |      |                                  |       |
|--|---|---|----------------------------|---|----------------|-----------------|------------------------------------|--|-----------------|-------------|----------------------------|------|---|------------|-------|---|-----------|------|----------------------------------|-------|
| <b>SEVERIDAD</b>                       | Catastrófico  | 1   | 1                          | 2   | 4              | 7               | 11                                 | <table border="1"> <tr> <th>NIVEL DE RIESGO</th> <th>DESCRIPCIÓN</th> <th>PLAZO DE MEDIDA CORRECTIVA</th> </tr> <tr> <td>ALTO</td> <td>Riesgo intolerable, requiere controles inmediatos. Si no se puede controlar el PELIGRO se paralizan los trabajos operacionales en la labor.</td> <td>0-24 HORAS</td> </tr> <tr> <td>MEDIO</td> <td>Iniciar medidas para eliminar/reducir el riesgo. Evaluar si la acción se puede ejecutar de manera inmediata</td> <td>0-72HORAS</td> </tr> <tr> <td>BAJO</td> <td>Este riesgo puede ser tolerable.</td> <td>1 MES</td> </tr> </table> | NIVEL DE RIESGO | DESCRIPCIÓN | PLAZO DE MEDIDA CORRECTIVA | ALTO | Riesgo intolerable, requiere controles inmediatos. Si no se puede controlar el PELIGRO se paralizan los trabajos operacionales en la labor. | 0-24 HORAS | MEDIO | Iniciar medidas para eliminar/reducir el riesgo. Evaluar si la acción se puede ejecutar de manera inmediata | 0-72HORAS | BAJO | Este riesgo puede ser tolerable. | 1 MES |
|  | NIVEL DE RIESGO   | DESCRIPCIÓN   | PLAZO DE MEDIDA CORRECTIVA |   |                |                 |                                    |  |                 |             |                            |      |   |            |       |   |           |      |                                  |       |
|  | ALTO  | Riesgo intolerable, requiere controles inmediatos. Si no se puede controlar el PELIGRO se paralizan los trabajos operacionales en la labor. | 0-24 HORAS                 |   |                |                 |                                    |  |                 |             |                            |      |   |            |       |   |           |      |                                  |       |
|  | MEDIO   | Iniciar medidas para eliminar/reducir el riesgo. Evaluar si la acción se puede ejecutar de manera inmediata                                 | 0-72HORAS                  |   |                |                 |                                    |  |                 |             |                            |      |   |            |       |   |           |      |                                  |       |
|  | BAJO  | Este riesgo puede ser tolerable.  | 1 MES                      |   |                |                 |                                    |  |                 |             |                            |      |   |            |       |   |           |      |                                  |       |
| Mortalidad                             | 2   | 3   | 5                          | 8   | 12             | 16              |                                    |  |                 |             |                            |      |   |            |       |   |           |      |                                  |       |
| Permanente                             | 3   | 6   | 9                          | 13  | 17             | 20              |                                    |  |                 |             |                            |      |   |            |       |   |           |      |                                  |       |
| Temporal                               | 4   | 10  | 14                         | 18  | 21             | 23              |                                    |  |                 |             |                            |      |   |            |       |   |           |      |                                  |       |
| Menor                                  | 5   | 15  | 19                         | 22  | 24             | 25              |                                    |  |                 |             |                            |      |   |            |       |   |           |      |                                  |       |
|  |   |   | A                          | B   | C              | D               | E                                  |  |                 |             |                            |      |   |            |       |   |           |      |                                  |       |
|  |   |   | Común                      | Ha sucedido   | Podría suceder | Raro que suceda | Prácticamente imposible que suceda |  |                 |             |                            |      |   |            |       |   |           |      |                                  |       |
| <b>FRECUENCIA</b>                      |   |   |                            |   |                |                 |                                    |  |                 |             |                            |      |   |            |       |   |           |      |                                  |       |
| CRITERIOS                              |   |   |                            |   |                |                 |                                    |  |                 |             |                            |      |   |            |       |   |           |      |                                  |       |
| SEVERIDAD                              | Lesión personal   | Daño a la propiedad   |                            | Daño al proceso   |                |                 |                                    |  |                 |             |                            |      |   |            |       |   |           |      |                                  |       |
| Catastrófico                           | Varias fatalidades. Varias personas con lesiones permanentes.   | Pérdidas por un monto mayor a US\$ 100,000  |                            | Paralización del proceso de más de 1 mes o paralización definitiva. |                |                 |                                    |  |                 |             |                            |      |   |            |       |   |           |      |                                  |       |
| Mortalidad (Pérdida mayor)             | Una mortalidad. Estado vegetal.   | Pérdidas por un monto entre US\$ 10,001 y US\$ 100,000  |                            | Paralización del proceso de más de 1 semana y menos de 1 mes        |                |                 |                                    |  |                 |             |                            |      |   |            |       |   |           |      |                                  |       |
| Pérdida permanente                     | Lesiones que incapacitan a la persona para su actividad normal de por vida. Enfermedades ocupacionales avanzadas. | Pérdida por un monto entre US\$ 5,001 y US\$ 10,000   |                            | Paralización del proceso de más de 1 día hasta 1 semana.            |                |                 |                                    |  |                 |             |                            |      |   |            |       |   |           |      |                                  |       |
| Pérdida temporal                       | Lesiones que incapacitan a la persona temporalmente. Lesiones por posición ergonómica                             | Pérdida por monto mayor o igual a US\$ 1,000 y menor a US\$ 5,000   |                            | Paralización de 1 día.  |                |                 |                                    |  |                 |             |                            |      |   |            |       |   |           |      |                                  |       |
| Pérdida menor                          | Lesión que no incapacita a la persona. Lesiones leves.  | Pérdida por monto menor a US\$ 1,000  |                            | Paralización menor de 1 día.  |                |                 |                                    |  |                 |             |                            |      |   |            |       |   |           |      |                                  |       |
| CRITERIOS                              |   |   |                            |   |                |                 |                                    |  |                 |             |                            |      |   |            |       |   |           |      |                                  |       |
| PROBABILIDAD                           | Probabilidad de frecuencia  | Frecuencia de exposición  |                            |   |                |                 |                                    |  |                 |             |                            |      |   |            |       |   |           |      |                                  |       |
| Común (muy probable)                   | Sucede con demasiada frecuencia.  | Muchas (6 o más) personas expuestas. Varias veces al día.   |                            |   |                |                 |                                    |  |                 |             |                            |      |   |            |       |   |           |      |                                  |       |
| Ha sucedido (probable)                 | Sucede con frecuencia.  | Moderado (3 a 5) personas expuestas varias veces al día.  |                            |   |                |                 |                                    |  |                 |             |                            |      |   |            |       |   |           |      |                                  |       |
| Podría suceder (posible)               | Sucede ocasionalmente.  | Pocas (1 a 2) personas expuestas varias veces al día. Muchas personas expuestas ocasionalmente.   |                            |   |                |                 |                                    |  |                 |             |                            |      |   |            |       |   |           |      |                                  |       |
| Raro que suceda (poco probable)        | Rara vez ocurre. No es muy probable que ocurra.   | Moderado (3 a 5) personas expuestas ocasionalmente.   |                            |   |                |                 |                                    |  |                 |             |                            |      |   |            |       |   |           |      |                                  |       |
| Prácticamente imposible que suceda.    | Muy rara vez ocurre. Imposible que ocurra.  | Pocas (1 a 2) personas expuestas ocasionalmente.  |                            |   |                |                 |                                    |  |                 |             |                            |      |   |            |       |   |           |      |                                  |       |

**ANEXO 5: Formato de registro de capacitación**

| <b>REGISTRO DE CAPACITACION</b>    |                     |                                  |       |                                      | CODIGO  | FD-SST-REG-03-IPERC            |
|------------------------------------|---------------------|----------------------------------|-------|--------------------------------------|---------|--------------------------------|
|                                    |                     |                                  |       |                                      | VERSIÓN | 1                              |
|                                    |                     |                                  |       |                                      | APROB   | 1/01/2020                      |
|                                    |                     |                                  |       |                                      | PAGINA  | 1 DE 1                         |
| TIPO DE ACTIVIDAD:                 |                     |                                  |       |                                      |         |                                |
| CHARLA S' <input type="checkbox"/> |                     | REUNIÓN <input type="checkbox"/> |       | TALLER <input type="checkbox"/>      |         | CURSO <input type="checkbox"/> |
| OTRO <input type="checkbox"/>      |                     |                                  |       |                                      |         |                                |
| TEMA TRATADO:                      |                     |                                  |       | SEGURIDAD                            | SALUD   | M. AMBIENTE                    |
|                                    |                     |                                  |       | OTROS                                |         |                                |
| DURACION:                          |                     |                                  |       | N° PARTICIPANTES                     |         |                                |
| LUGAR:                             |                     |                                  |       | FECHA: DÍA _____ MES _____ AÑO _____ |         |                                |
| <b>ASISTENTES</b>                  |                     |                                  |       |                                      |         |                                |
| ITEM                               | NOMBRES Y APELLIDOS |                                  | CARGO | DNI                                  | FIRMA   |                                |
| 1                                  |                     |                                  |       |                                      |         |                                |
| 2                                  |                     |                                  |       |                                      |         |                                |
| 3                                  |                     |                                  |       |                                      |         |                                |
| 4                                  |                     |                                  |       |                                      |         |                                |
| 5                                  |                     |                                  |       |                                      |         |                                |
| 6                                  |                     |                                  |       |                                      |         |                                |
| 7                                  |                     |                                  |       |                                      |         |                                |
| 8                                  |                     |                                  |       |                                      |         |                                |
| 9                                  |                     |                                  |       |                                      |         |                                |
| 10                                 |                     |                                  |       |                                      |         |                                |
| 11                                 |                     |                                  |       |                                      |         |                                |
| 12                                 |                     |                                  |       |                                      |         |                                |
| 13                                 |                     |                                  |       |                                      |         |                                |
| 14                                 |                     |                                  |       |                                      |         |                                |
| 15                                 |                     |                                  |       |                                      |         |                                |
| 16                                 |                     |                                  |       |                                      |         |                                |
| 17                                 |                     |                                  |       |                                      |         |                                |
| 18                                 |                     |                                  |       |                                      |         |                                |
| 19                                 |                     |                                  |       |                                      |         |                                |
| 20                                 |                     |                                  |       |                                      |         |                                |
| 21                                 |                     |                                  |       |                                      |         |                                |
| 22                                 |                     |                                  |       |                                      |         |                                |
| 23                                 |                     |                                  |       |                                      |         |                                |
| OBSERVACIONES: _____               |                     |                                  |       |                                      |         |                                |
| _____                              |                     |                                  |       |                                      |         |                                |
| _____                              |                     |                                  |       |                                      |         |                                |

**ANEXO 6: Herramientas de gestión según (D.S-024-2016 ANEXO N°18)**

| ANEXO N° 18   |                     |                          |                           |
|---|---------------------|--------------------------|---------------------------|
| PERMISO ESCRITO PARA TRABAJO DE ALTO RIESGO (PETAR) |                     |                          |                           |
| ÁREA :  | .....               |                          |                           |
| LUGAR :   | .....               |                          |                           |
| FECHA :   | .....               |                          |                           |
| HORA INICIO :                                       | .....               |                          |                           |
| HORA FINAL :  | .....               |                          |                           |
| NÚMERO :  | .....               |                          |                           |
| <b>1.- DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO:</b>                 |                     |                          |                           |
| .....   |                     |                          |                           |
| .....   |                     |                          |                           |
| .....   |                     |                          |                           |
| .....   |                     |                          |                           |
| <b>2.- RESPONSABLES DEL TRABAJO:</b>                |                     |                          |                           |
| OCUPACIÓN   | NOMBRES             | FIRMA INICIO             | FIRMA TÉRMINO             |
|   |                     |                          |                           |
|   |                     |                          |                           |
|   |                     |                          |                           |
|   |                     |                          |                           |
| <b>3.- EQUIPO DE PROTECCIÓN REQUERIDO</b>           |                     |                          |                           |
| <input type="checkbox"/>                            | CASCO CON CARRILERA | <input type="checkbox"/> | ARNÉS DE SEGURIDAD        |
| <input type="checkbox"/>                            | MAMELUCO            | <input type="checkbox"/> | CORREA PARA LÁMPARA       |
| <input type="checkbox"/>                            | GUANTES DE JEBE     | <input type="checkbox"/> | MORRAL DE LONA            |
| <input type="checkbox"/>                            | BOTAS DE JEBE       | <input type="checkbox"/> | PROTECTOR DE OÍDOS        |
| <input type="checkbox"/>                            |                     | <input type="checkbox"/> | RESPIRADOR C/GASES, POLVO |
| <input type="checkbox"/>                            |                     | <input type="checkbox"/> | PROTECTOR VISUAL          |
| <input type="checkbox"/>                            |                     | <input type="checkbox"/> | <b>OTROS</b>              |
| <input type="checkbox"/>                            |                     | <input type="checkbox"/> | .....                     |
| <input type="checkbox"/>                            |                     | <input type="checkbox"/> | .....                     |
| <b>4.- HERRAMIENTAS, EQUIPOS Y MATERIAL:</b>        |                     |                          |                           |
| .....   |                     |                          |                           |
| .....   |                     |                          |                           |
| .....   |                     |                          |                           |
| <b>5.- PROCEDIMIENTO:</b>                           |                     |                          |                           |
| .....   |                     |                          |                           |
| .....   |                     |                          |                           |
| .....   |                     |                          |                           |
| .....   |                     |                          |                           |
| .....   |                     |                          |                           |
| <b>6.- AUTORIZACIÓN Y SUPERVISIÓN</b>               |                     |                          |                           |
| CARGO   | NOMBRES             | FIRMA                    |                           |
| Supervisor del trabajo                              |                     |                          |                           |
| Jefe de Área donde se realiza el trabajo            |                     |                          |                           |



# **ANEXO N°7: CERTIFICADO DE CALIDAD DE ACCESORIOS FN**

**300**



## CERTIFICADO DE CALIDAD - ACCESORIOS

Nr.: 96716

Cliente.....: DINCORSA SRL.  
Factura Comercial...: 10022972  
Pieza.....: ACCESORIOS  
Material.....: Hierro Maleable de Corazón Neg - ACABADO - NEGRO  
Numero Del Pedido: PO 034-2018

Data: 24.05.2022  
Tipo: NPT Classe 300 / ASME B1.20.1

| DENOMINACION                          | CANTIDAD |
|---------------------------------------|----------|
| CODOS 45' 1.1/4 - 32 MM               | 60,000   |
| CUPLAS DE REDUCCION 1/2x1/4 15x8MM    | 220,000  |
| CUPLAS DE REDUCCION 3/4x1/2 20x15MM   | 210,000  |
| UNIÓN A. CON. BRONCE/HIERRO 2 - 50 MM | 104,000  |

### RESULTADOS

Los accesorios más arriba se han producido de acuerdo con la , ASME B 16.3, ASME B\_16.39 y los resultados se dan a continuación, están dispuestos a punto 3.1 de la norma EN 10204.  
Por favor nota que el material utilizado en las Accesorios anteriores cumple con las especificaciones mínimas de las propiedades mecánicas de la norma ASTM A 197 y ISO 5922.

#### 1 - ANALISIS QUIMICO (%)

|                |                |                        |
|----------------|----------------|------------------------|
| Carbon.: 2,933 | Silicio: 1,573 | Delta Manganeso: 0,262 |
| Fosforo: 0,035 | Azufre.: 0,118 | Cromo.....: 0,070      |

#### 2 - PROPIEDADES MECANICAS - APROBADO

|                              |         |              |
|------------------------------|---------|--------------|
| Resistencia a la tracción..: | 354 MPa | ( mín = 350) |
| Límite elástico.....:        | 245 MPa | ( mín = 200) |
| Elongación.....:             | 14 %    | ( mín = 10)  |

#### 3 - MICROESTRUCTURA - APROBADO

Matriz: Ferrita - perlita      Morfología de la graffito: tipo IV e V

#### 4 - APLASTAMIENTO - APROBADO

10% mínimo deformación del dicho diámetro para accesorios de designación comercial <= 2 pulgadas e 5% mínimo deformación para accesorios mayores que 2 pulgadas.

#### 5 - CONTROL DIMENSIONAL

|  |   |
|--|---|
| 5.1 DIMENSIONAL DE LA CONSTRUCCIÓN     | - APROBADO                              |
| 5.2 PLANO DE CALIBRACION DE LAS ROSCAS | - APROBADO                              |
| 5.3 ÁNGULOS DE LOS EJES DE LAS ROSCAS  | - APROBADO (tolerancia de ± 17 minutos) |
| 5.4 LONGITUD DE LA ROSCA ÚTIL          | - APROBADO                              |

#### 6 - PRESIÓN HIDROSTATICA INTERNA - APROBADO

Accesorios Presión mínima: <= 1 pulgada = 137,9 bar, >= 1 ¼ pulgadas y <= 2 pulgadas = 103,4 bar y >= 2 ½ pulgadas = 69,0 bar  
Uniones - Precisión mínima: 41,4 bar.

#### 7 - TESTE DE FUGAS - APROBADO (Presión mínima de 5 Kgf/Cm²)

#### 8 - ASPECTO SUPERFICIAL Y MARCADO - APROBADO

#### 9 - HIDROCARBUROS AROMÁTICOS - APROBADO



# Certificado

## CERTIFICADO DE CALIDAD - ACCESORIOS

Nr. : 96716

Cliente.....: DINCURSA SRL.  
Factura Comercial...: 10022972  
Pieza.....: ACCESORIOS  
Material.....: Hierro Maleable de Corazón Neg - ACABADO - NEGRO  
Numero Del Pedido: PO 034-2022

Data: 24.05.2022  
Tipo: NPT Classe 300 / ASME B1.20.1

Por lo tanto, a medida que integramos y datos fieles antes citada y para ponernos disposición para cualquier aclaración.

Joinville, 24 de Mayo de 2022

Ingeniería Productos, Procesos y Calidad

Aprobado por Paulo C. Marcelino.

# TUPY



## CERTIFICADO DE CALIDAD - ACCESORIOS

Nr. : 96714

Cliente.....: DINCORSA SRL.  
Factura Comercial...: 10022972  
Pieza.....: ACCESORIOS  
Material.....: Hierro Maleable de Corazón Neg - ACABADO - NEGRO  
Numero Del Pedido: PO 034-2022

Data: 24.05.2022  
Tipo: NPT Classe 300 / ASME B1.20.1

| DENOMINACION                           | CANTIDAD |
|--|----------|
| CUPLAS 6 - 150 MM                      | 130,000  |
| CODOS 1/4 - 8 MM                       | 340,000  |
| CODOS 45' 1.1/2 - 40 MM                | 60,000   |
| CUPLAS 4 - 100 MM                      | 84,000   |
| CUPLAS DE REDUCCION 1.1/4x3/4 32x20MM  | 30,000   |
| TAPAS HEMBRA 3/4 20MM                  | 80,000   |
| CODOS 2 - 50 MM                        | 207,000  |
| CUPLAS 3/4 - 20 MM                     | 300,000  |
| TAPAS HEMBRA 4 100MM                   | 28,000   |
| CODOS 1 - 25 MM                        | 510,000  |
| TAPAS HEMBRA 2 50MM                    | 105,000  |
| TEES 1 - 25 MM                         | 160,000  |
| UNIÓN A. CON. BRONCE/HIERRO 1/2 - 15MM | 200,000  |
| UNIÓN A. CON. BRONCE/HIERRO 1/2 - 15MM | 200,000  |
| CODOS 1/2 - 15 MM                      | 560,000  |
| CODOS 1.1/4 - 32 MM                    | 306,000  |
| TEES 1/2 - 15 MM                       | 300,000  |
| TEES 1/2 - 15 MM                       | 300,000  |
| TEES 2 - 50 MM                         | 102,000  |
| UNIÓN A. CON. BRONCE/HIERRO 1 - 25 MM  | 120,000  |
| UNIÓN A. CON. BRONCE/HIERRO 1 - 25 MM  | 216,000  |
| TEES 3/4 - 20 MM                       | 420,000  |
| TEES 1.1/4 - 32 MM                     | 210,000  |
| UNIÓN A. CON. BRONCE/HIERRO 3/4 - 20MM | 420,000  |
| CODOS 3/4 - 20 MM                      | 630,000  |

### RESULTADOS

Los accesorios más arriba se han producido de acuerdo con la , ASME B 16.3, ASME B\_16.39 y los resultados se dan a continuación, están dispuestos a punto 3.1 de la norma EN 10204.

Por favor nota que el material utilizado en las Accesorios anteriores cumple con las especificaciones mínimas de las propiedades mecánicas de la norma ASTM A 197 y ISO 5922.

### 1 - ANALISIS QUIMICO (%)

Carbon.: 2,710  
Fosforo: 0,090

Silicio: 1,440  
Azufre.: 0,130

Delta Manganeso: 0,290  
Cromo.....: 0,065

### 2 - PROPIEDADES MECANICAS - APROBADO

Resistencia a la tracción..: 418 MPa ( mín = 350)  
Limite elástico.....: 274 MPa ( mín = 200)  
Elongación.....: 12 % ( mín = 10)

### 3 - MICROESTRUCTURA - APROBADO

Matriz: Ferrita - perlita Morfologia de la graffito: tipo IV e V

### 4 - APLASTAMIENTO - APROBADO

10% mínimo deformación del dicho diámetro para accesorios de designación comercial <= 2 pulgadas e 5% mínimo

## CERTIFICADO DE CALIDAD - ACCESORIOS

Nr. : 96714

Cliente.....: DINCORSA SRL.  
Factura Comercial...: 10022972  
Pieza.....: ACCESORIOS  
Material.....: Hierro Maleable de Corazón Neg - ACABADO - NEGRO  
Numero Del Pedido: PO 034-2022

Data: 24.05.2022  
Tipo: NPT Classe 300 / ASME B1.20.1

deformación para accesorios mayores que 2 pulgadas.

### 5 - CONTROL DIMENSIONAL

- 5.1 DIMENSIONAL DE LA CONSTRUCCIÓN - APROBADO
- 5.2 PLANO DE CALIBRACION DE LAS ROSCAS - APROBADO
- 5.3 ÁNGULOS DE LOS EJES DE LAS ROSCAS - APROBADO (tolerancia de  $\pm 17$  minutos)
- 5.4 LONGITUD DE LA ROSCA ÚTIL - APROBADO

### 6 - PRESIÓN HIDROSTATICA INTERNA - APROBADO

Accesorios Presión mínima:  $\leq 1$  pulgada = 137,9 bar,  $\geq 1 \frac{1}{4}$  pulgadas y  $\leq 2$  pulgadas = 103,4 bar y  $\geq 2 \frac{1}{2}$  pulgadas = 69,0 bar  
Uniones - Precisión mínima: 41,4 bar.

### 7 - TESTE DE FUGAS - APROBADO (Presión mínima de 5 Kgf/Cm<sup>2</sup>)

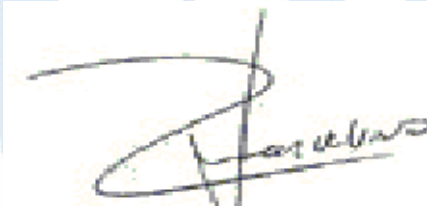
### 8 - ASPECTO SUPERFICIAL Y MARCADO - APROBADO

### 9 - HIDROCARBUROS AROMÁTICOS - APROBADO

Por lo tanto, a medida que integramos y datos fieles antes citada y para ponernos disposición para cualquier aclaración.

Joinville, 24 de Mayo de 2018

Ingeniería Productos, Procesos y Calidad



Aprobado por Paulo C. Marcelino.



Manufactured by Conbraco Ind. Inc.

P.O. Box 125 Pageland S.C. 29728

Phone: [843]-672-6161

Fax: [843]-672-1648

[www.apollovalves.com](http://www.apollovalves.com)

| MATERIAL CERTIFICATION   |  |             |                  |               |                                    |     |     |  |
|--|--|-------------|------------------|---------------|------------------------------------|-----|-----|--|
| <b>PRODUCT</b>   | <b>80-101-01</b>                         | <b>1/4"</b> | <b>80-106-01</b> | <b>1-1/4"</b> | <b>SERIES</b><br><br><b>80-100</b> |     |     |  |
| <b>CATALOG</b>   | <b>80-102-01</b>                         | <b>3/8"</b> | <b>80-107-01</b> | <b>1-1/2"</b> |                                    |     |     |  |
| <b>NUMBERS:</b>  | <b>80-103-01</b>                         | <b>1/2"</b> | <b>80-108-01</b> | <b>2"</b>     |                                    |     |     |  |
|  | <b>80-104-01</b>                         | <b>3/4"</b> | <b>80-109-01</b> | <b>2-1/2"</b> |                                    |     |     |  |
|  | <b>80-105-01</b>                         | <b>1"</b>   | <b>80-100-01</b> | <b>3"</b>     |                                    |     |     |  |
| COMPONENT  |  |             | MATERIAL         |               |                                    |     |     |  |
| Packing gland nut  | Brass, ASTM B16                          |             |                  |               |                                    |     |     |  |
| Lever nut  | Zinc plated Carbon Steel                 |             |                  |               |                                    |     |     |  |
| Stem washer (1/4" & 1/2")  | Stainless Steel, AISI 316                |             |                  |               |                                    |     |     |  |
| Seats  | 15% Glass reinforced TFE                 |             |                  |               |                                    |     |     |  |
| Stem packing   | 15% Glass reinforced TFE                 |             |                  |               |                                    |     |     |  |
| Stem bearing   | 15% Glass reinforced TFE                 |             |                  |               |                                    |     |     |  |
| Body seal (1-1/4" to 3")   | Virgin TFE                               |             |                  |               |                                    |     |     |  |
| Stem   | Brass, ASTM B16                          |             |                  |               |                                    |     |     |  |
| Ball   | Brass, ASTM B16, chromium plated         |             |                  |               |                                    |     |     |  |
| Retainer (1/4" to 1")  | Brass, ASTM B16                          |             |                  |               |                                    |     |     |  |
| Retainer (1-1/4" to 3")  | Bronze, ASTM B584, UNS Alloy No. C84400  |             |                  |               |                                    |     |     |  |
| Body   | Bronze, ASTM B584, UNS Alloy No. C84400  |             |                  |               |                                    |     |     |  |
| Lever  | Zinc plated Carbon Steel with Vinyl grip |             |                  |               |                                    |     |     |  |
|  | Cu                                       | Sn          | Pb               | Zn            | Fe*                                | Ni* | P*  |  |
| B-16   | 60.0 to 63.0                             | -           | 2.5 to 3.7       | Bal.          | .35                                | -   | -   |  |
| C84400   | 78.0 to 82.0                             | 2.3 to 3.5  | 6.0 to 8.0       | 7.0 to 10.0   | .40                                | 1.0 | .02 |  |
| TESTING PROCEDURE: All Valves tested 100% per UL Std. 125 at 250 PSIG air under water in both the open and close positions. No leakage is permitted at test. |  |             |                  |               |                                    |     |     |  |

The above listed information is certified to be true and accurate to the best of my knowledge and belief:

C228635/0742018

F. Gary Ficker, Corp. QA Mgr.

VAROUS

12/28/20

P.O. Number

Signature

Qty.

Date

Note:

Specifications subject to change without notice. Higher grade materials may be substituted dependent on availability of specified materials.



MILL TEST CERTIFICATE

无锡南维钢铁有限公司

WUXI NANFANG STEEL CO., LTD

CUSTOMER : MERCADEX B.V.

CONTRACT No.: A-8956

DESCRIPTION : SEAMLESS CARBON STEEL PIPES

SPEC.: ASTM A106/A53 GR.B/API 5L GR.B

MILL TEST CERTIFICATE ACCORDANCE TO EN 10204 3.1

INVOICE NO: IN-A8956 DATE: 16-09-2015  
TOTAL: 9177 PIECES 167.873MT

CERTIFICATE No.: 151029

| No | STEEL GRADE         | HEAT No           | BATCH No               | DELIVERY STATUS | SIZES          |       |              | QUANTITY (KGS) |                                 | BENDING TEST |  | SURFACE QUALITY |
|----|---------------------|-------------------|------------------------|-----------------|----------------|-------|--------------|----------------|---------------------------------|--------------|--|-----------------|
|    |                     |                   |                        |                 | OD/NPS         | W.T   | LENGTH       | PIECES         | WEIGHT                          | RESULT       | RESULT                                 |                 |
| 1  | GR-B                | W158207           | 007                    | COLD DRAWN      | 1/2"           | SCH80 | 6.0          | 728            | 5004                            | ACCEPTABLE   | ACCEPTABLE                             | ACCEPTABLE      |
| 2  | GR-B                | W158208           | 008                    | COLD DRAWN      | 3/4"           | SCH80 | 6.0          | 430            | 15878                           | ACCEPTABLE   | ACCEPTABLE                             | ACCEPTABLE      |
| 3  | GR-B                | W158209           | 009                    | COLD DRAWN      | 1"             | SCH80 | 6.0          | 648            | 13360                           | ACCEPTABLE   | ACCEPTABLE                             | ACCEPTABLE      |
| 4  | GR-B                | W158210           | 010                    | COLD DRAWN      | 1 1/4"         | SCH80 | 6.0          | 535            | 10762                           | ACCEPTABLE   | ACCEPTABLE                             | ACCEPTABLE      |
| 5  | GR-B                | W1508211          | 011                    | COLD DRAWN      | 1 1/2"         | SCH80 | 6.0          | 422            | 16067                           | ACCEPTABLE   | ACCEPTABLE                             | ACCEPTABLE      |
| 6  | GR-B                | W1508212          | 012                    | COLD DRAWN      | 2"             | SCH80 | 6.0          | 204            | 15811                           | ACCEPTABLE   | ACCEPTABLE                             | ACCEPTABLE      |
| No | DIMENSION TOLERANCE | YIELD POINT (Mpa) | TENSILE STRENGTH (Mpa) | ELONGATION (%)  | FLATENING TEST |       | FLARING TEST |                | ANNEAL/HOT FINISHED TEMPERATURE |              | NONDESTRUCTIVE TEST EDDY CURRENT TEST. |                 |
| 1  | ACCEPTABLE          | 305               | 480                    | 28              |                |       |              |                | ACCEPTABLE                      |              | GOOD                                   | GOOD            |
| 2  | ACCEPTABLE          | 305               | 480                    | 29              |                |       |              |                | ACCEPTABLE                      |              | GOOD                                   | GOOD            |
| 3  | ACCEPTABLE          | 310               | 485                    | 28              |                |       |              |                | ACCEPTABLE                      |              | GOOD                                   | GOOD            |
| 4  | ACCEPTABLE          | 310               | 485                    | 29              |                |       |              |                | ACCEPTABLE                      |              | GOOD                                   | GOOD            |
| 5  | ACCEPTABLE          | 305               | 480                    | 29              |                |       |              |                | ACCEPTABLE                      |              | GOOD                                   | GOOD            |
| 6  | ACCEPTABLE          | 310               | 480                    | 29              |                |       |              |                | ACCEPTABLE                      |              | GOOD                                   | GOOD            |

CHEMICAL COMPOSITION (%)

| No | C    | Si   | Mn   | P     | S     | Cr    | Ni   | Cu   | Mo    | V    | Nb   |
|----|------|------|------|-------|-------|-------|------|------|-------|------|------|
| 1  | 0.20 | 0.21 | 0.49 | 0.013 | 0.007 | 0.021 | 0.01 | 0.06 | 0.013 | 0.06 | 0.13 |
| 2  | 0.19 | 0.20 | 0.50 | 0.012 | 0.006 | 0.02  | 0.01 | 0.06 | 0.014 | 0.07 | 0.14 |
| 3  | 0.20 | 0.22 | 0.49 | 0.012 | 0.004 | 0.023 | 0.01 | 0.06 | 0.012 | 0.06 | 0.13 |
| 4  | 0.19 | 0.20 | 0.50 | 0.012 | 0.003 | 0.02  | 0.01 | 0.06 | 0.014 | 0.07 | 0.14 |
| 5  | 0.20 | 0.21 | 0.50 | 0.012 | 0.006 | 0.030 | 0.01 | 0.06 | 0.013 | 0.06 | 0.13 |
| 6  | 0.19 | 0.22 | 0.49 | 0.013 | 0.007 | 0.032 | 0.01 | 0.06 | 0.014 | 0.07 | 0.14 |
| 7  | 0.20 | 0.22 | 0.50 | 0.013 | 0.004 | 0.02  | 0.01 | 0.06 | 0.013 | 0.06 | 0.13 |
| 8  | 0.19 | 0.20 | 0.49 | 0.012 | 0.007 | 0.032 | 0.01 | 0.06 | 0.014 | 0.07 | 0.14 |
| 9  | 0.20 | 0.22 | 0.50 | 0.013 | 0.004 | 0.02  | 0.01 | 0.06 | 0.013 | 0.06 | 0.13 |
| 10 | 0.19 | 0.20 | 0.49 | 0.012 | 0.007 | 0.032 | 0.01 | 0.06 | 0.014 | 0.07 | 0.14 |
| 11 | 0.20 | 0.22 | 0.50 | 0.013 | 0.004 | 0.02  | 0.01 | 0.06 | 0.013 | 0.06 | 0.13 |
| 12 | 0.19 | 0.20 | 0.49 | 0.012 | 0.007 | 0.032 | 0.01 | 0.06 | 0.014 | 0.07 | 0.14 |
| 13 | 0.20 | 0.22 | 0.50 | 0.013 | 0.004 | 0.02  | 0.01 | 0.06 | 0.013 | 0.06 | 0.13 |
| 14 | 0.19 | 0.20 | 0.49 | 0.012 | 0.007 | 0.032 | 0.01 | 0.06 | 0.014 | 0.07 | 0.14 |
| 15 | 0.20 | 0.22 | 0.50 | 0.013 | 0.004 | 0.02  | 0.01 | 0.06 | 0.013 | 0.06 | 0.13 |
| 16 | 0.19 | 0.20 | 0.49 | 0.012 | 0.007 | 0.032 | 0.01 | 0.06 | 0.014 | 0.07 | 0.14 |
| 17 | 0.20 | 0.22 | 0.50 | 0.013 | 0.004 | 0.02  | 0.01 | 0.06 | 0.013 | 0.06 | 0.13 |

REMARK: 1. IN THEORETICAL WEIGHT.  
 2. THIS IS TO CERTIFY THAT THE PRODUCT HAS BEEN INSPECTED AS PER RELEVANT SPECIFICATION AS STIPULATED IN THE ORDER, QUALIFIED WITH ALL THE DATA IN COMPLIANCE WITH THE SPECIFICATION.  
 3. THE ORIGINAL QUALITY CERTIFICATE IS THE FOUNDATION OF ACCEPTANCE WHILE THE COPY IS NOT ACCEPTANCE VOUCHER AND ONLY FOR REFERENCE.  
 4. MATERIAL IS ANNEALED

5. TOLERANCE ON MEASUREMENT DIMENSIONS ARE IN ACC. TO ANSI B36.10  
 6. MANUFACTURED FROM FULLY KILLED CARBON STEEL.  
 7. DESCRIP OF GOODS: SEAMLESS CARBON STEEL PIPES, PLAIN ENDS, SQUARE CUTS FOR SIZES BELOW 2 INCH, BEVELED ENDS FOR SIZES FROM 2 INCH AND UP, WITH PLASTIC CAPS, BALCK VARNISH GRADE ASTM A106/A53/API 5L GR B .LENGTH 6.0M

INSPECTOR:  APPROVED BY QUALITY MANAGER:  DATE : 29/10/2015