



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

DIRECCIÓN DE POSGRADOS

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EN OPCIÓN AL
GRADO ACADÉMICO DE MAGISTER EN GESTIÓN DE ENERGÍAS**

**TEMA: “EVALUACION DEL ACTUAL SISTEMA DE GAS LICUADO DE
PETRÓLEO Y SU INCIDENCIA EN EL LABORATORIO DE
PETROQUÍMICA DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS –
ESPE – EXTENSIÓN LATACUNGA DURANTE EL AÑO 2016.
PROPUESTA DE DISEÑO DE UN SISTEMA CENTRALIZADO DE GAS
LICUADO DE PETRÓLEO”**

Nombre del Autor: Ing. Ruiz Flores, Luis Eduardo

Nombre del Tutor: Ing. Héctor Laurencio Alfonso PhD.

Latacunga – Ecuador

Abril de 2018



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

DIRECCIÓN DE POSGRADOS

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EN OPCIÓN AL
GRADO ACADÉMICO DE MAGISTER EN GESTIÓN DE ENERGÍAS**

**TEMA: “EVALUACION DEL ACTUAL SISTEMA DE GAS LICUADO DE
PETRÓLEO Y SU INCIDENCIA EN EL LABORATORIO DE
PETROQUÍMICA DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS –
ESPE – EXTENSIÓN LATACUNGA DURANTE EL AÑO 2016.
PROPUESTA DE DISEÑO DE UN SISTEMA CENTRALIZADO DE GAS
LICUADO DE PETRÓLEO”**

Nombre del Autor: Ing. Ruiz Flores, Luis Eduardo

Nombre del Tutor: Ing. Héctor Laurencio Alfonso PhD.

Latacunga – Ecuador

Febrero de 2018

AVAL DEL TRIBUNAL DE GRADO

En calidad de Miembros del Tribunal de Grado aprueban el presente Informe del Proyecto de Investigación y Desarrollo de posgrados de la Universidad Técnica de Cotopaxi; por cuanto, la posgraduada: Ingeniero Luis Eduardo Ruiz Flores, con el título del trabajo de investigación y desarrollo titulado: **“EVALUACION DEL ACTUAL SISTEMA DE GAS LICUADO DE PETRÓLEO Y SU INCIDENCIA EN EL LABORATORIO DE PETROQUÍMICA DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE – EXTENSIÓN LATACUNGA DURANTE EL AÑO 2016. PROPUESTA DE DISEÑO DE UN SISTEMA CENTRALIZADO DE GAS LICUADO DE PETRÓLEO”**, ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Defensa.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga febrero, 2017

Para constancia firman:

NOMBRES Y APELLIDOS
cc.....
PRESIDENTE

NOMBRES Y APELLIDOS
cc.....
MIEMBRO

NOMBRES Y APELLIDO
cc.....
MIEMBRO

NOMBRES Y APELLIDOS
cc
OPONENTE

Autor: ING. RUIZ FLORES, LUIS EDUARDO

Institución: UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

Título: “EVALUACION DEL ACTUAL SISTEMA DE GAS LICUADO DE PETRÓLEO Y SU INCIDENCIA EN EL LABORATORIO DE PETROQUÍMICA DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE – EXTENSIÓN LATACUNGA DURANTE EL AÑO 2016. PROPUESTA DE DISEÑO DE UN SISTEMA CENTRALIZADO DE GAS LICUADO DE PETRÓLEO”

Fecha: ABRIL, 2018

Del contenido del presente proyecto de investigación y desarrollo, se responsabiliza el autor.

Ing. Ruiz Flores, Luis Eduardo
C.I. 1715123574

Agradecimiento

Este trabajo es el esfuerzo en conjunto de muchas personas que estuvieron conmigo incondicionalmente. Mis más sinceros agradecimientos a Dios por haberme guiado en este largo caminar hasta la meta.

Agradezco a mis padres por ser mi pilar fundamental para nunca rendirme, por la confianza puesta en mí y estar ahí conmigo en las buenas y bajas situaciones de mi vida, gracias por su amor y cariño incondicional, ya que sin ustedes esta meta no sería posible. Ustedes mis modelos a seguir, mi motivo por querer ser mejor cada día y espero que estén orgullosos en la persona que me he convertido.

A todos mis docentes, gracias por los conocimientos impartidos en las aulas de clases este trabajo se debe a ustedes.

Al Ing. Héctor Laurencio agradezco su colaboración brindada, durante la elaboración de este trabajo.

Finalmente agradezco a mis amigos, en toda esta etapa universitaria atravesamos grandes momentos juntos, los cuales los supimos enfrentar. Hubo momentos bajos, pero en esos momentos nos uníamos mucho más y con risa y bromas los afrontábamos.

Gracias a todos los que me brindaron su cariño, amor y ayuda en este proyecto.

Ing. Ruiz Flores, Luis Eduardo

Dedicatoria

A Dios.

Por haberme permitido culminar esta etapa de mi vida, haberme dado la salud necesaria para lograr todos los objetivos que me he planteado y las fuerzas para no desmayar en mitad del camino.

A mis hijos.

Belén y Sergio que son mis motores permanentes en mi corazón y mente; ya que sin ellos quizás, a estas alturas de mi vida la perseverancia no tendría razón.

INDICE

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
1. CAPÍTULO I. ESTADO DEL DESARROLLO DE LOS SISTEMAS DE SUMINISTRO DE GAS LICUADO DEL PETRÓLEO (GLP)	9
1.1. Generalidades del gas licuado de petróleo (GLP)	9
1.2. Aplicaciones del GLP Licuado del Petróleo	11
1.3. Regulaciones para el uso de instalaciones de GLP	12
1.4. Proyección mundial en el uso de combustibles	13
1.5. Tendencias de la evolución tecnológica en la obtención de biocombustibles	13
1.6. El Biopropano una alternativa renovable	16
1.7. Programa energético nacional	17
1.8. Tendencia del desarrollo de las instalaciones de GLP	19
1.9. Estado actual de desarrollo de los procedimientos de diseño empleados para un proyecto de instalaciones de GLP	21
1.10. Conclusiones parciales	22
2. CAPÍTULO II. REQUERIMIENTOS DE LAS INSTALACIONES DE GLP CENTRALIZADAS. NORMAS TÉCNICAS.	23
2.1. Procedimiento para el diseño de instalaciones centralizadas de GLP en edificaciones.	23
2.2. Regulaciones para el uso de instalaciones de GLP. Recomendaciones para la Instalación de redes de tuberías de GLP	25
2.3. Procedimiento de cálculo de la Instalación de redes de tuberías de GLP	29
2.3.1. Procedimiento de cálculo de los diámetros interiores de la red de tuberías de GLP	29
2.3.2. Determinación de las pérdidas de presión en tuberías de GLP	31
2.3.2.1. Pérdidas de carga en tuberías	32
2.3.3. Cálculo de las pérdidas de presión totales en la tubería	39
2.3.4. Determinación de los valores desconocidos durante el equilibrado de la red de tuberías en Pipe FLOW Expert	41
2.4. Conclusiones parciales	43

3. CAPÍTULO III. CONCEPCIÓN DEL DISEÑO DE LA INSTALACIÓN CENTRALIZADA DE GLP PARA EL LABORATORIO DE PETROQUÍMICA.	44
3.1. Definición de la función o destino de servicio para el que está prevista la instalación de GLP	45
3.2. Denominación del gas combustible a utilizar	45
3.3. Determinación de la demanda calorífica en cada puesto del laboratorio	46
3.4. Determinación del caudal nominal estimado de flujo másico	46
3.5. Cálculo del consumo nominal de GLP	49
3.6. Cálculo de la capacidad total y volumen del tanque	50
3.7. Composición y distribución del sistema de redes de GLP para el laboratorio	51
3.7.1. Red de alimentación, para el llenado de los tanques	52
3.7.2. Red de servicio de media y baja presión	53
3.7.3. Cálculo del diámetro interior de la tubería de media y baja presión	55
3.7.4. Cálculo hidráulico de la red de tubería de media y baja presión	55
3.8. Conclusiones parciales	61
4. CAPÍTULO IV. SIMULACIÓN HIDRÁULICA DE LA RED DE BAJA PRESIÓN	63
4.1. Creación del modelo CAD	64
4.2. Simulación del flujo de GLP hasta los puntos de entrega en el laboratorio L1- Ingeniería, con herramientas CAD/CAE.	65
4.3. Conclusiones parciales	69
5. ANÁLISIS DE RESULTADOS	71
6. CONCLUSIONES	73
7. BIBLIOGRAFÍA	75
8. ANEXOS	80
8.1. Informe de resultados del cálculo hidráulico, Pipe Flow Expert	80
8.2. Reporte de Solidworks Flow Simulation	113

8.3. Especificaciones técnicas de la instalación GLP y materiales utilizados	115
8.4. Mechero BUNSEN (DIN+30665)	125
8.5. Plano en AutoCAD del Laboratorio Petroquímica ESPE - Sistema de GLP	126

LISTA DE CUADROS:

	Pág.
Tabla 1.1 Proporciones de la mezcla de propano y butano en su estado comercial.	10
Tabla 2.1 Distancias mínimas entre tuberías de diferentes servicios.	26
Tabla 2.2 Longitud equivalente en metros de tubo recto para accesorios.	30
Tabla 3.1: Listado de materiales de la instalación GLP del Laboratorio de Petroquímica	61

LISTA DE FIGURAS:

	Pág.
Figura 1.1. Principales emisiones contaminantes por tipos de combustibles	19
Figura 3.1: Plano en AutoCAD en 2D de la red de alimentación en la azotea	53
Figura 3.2: Representación de la red de servicio de mediana y baja presión correspondiente al 2do. Piso.	54
Figura 3.3: Representación de la red de servicio de mediana y baja presión correspondiente al 1er. piso.	54
Figura 3.4: Representación, en vista general, de la red de servicio de mediana y baja presión	56
Figura 3.5: Sección de la red de servicio de mediana presión que sale desde los tanques hasta la zona C, con la primera derivación hacia el 2do. Piso.	57
Figura 3.7: Sección de la red de servicio de mediana y baja presión en los laboratorios L3 y L4 del 1er. Piso	58

Figura 3.8: Sección de la red de servicio de mediana y baja presión en los laboratorios L1 y L2 del 1er. Piso	59
Figura 4.1: Representación del modelo 3D de la sección de tubería correspondiente al laboratorio L1.	64
Figura 4.2: Resultado de la ejecución del Solver para la simulación de la velocidad del fluido dentro de la tubería en el proyecto: "Simulación GLP Laboratorio Petroquímica"	67
Figura 4.3: Resultado de la simulación del objetivo "velocidad" en la tubería	68
Figura 4.4: Resultado de la simulación del objetivo "presión" en la tubería hasta los puntos de entrega en el Laboratorio L1- Ingeniería	68
Figura 4.5: Resultado de la simulación del objetivo "presión" en la tubería hasta los puntos de entrega en el Laboratorio L1- Ingeniería (continuación)	69

Resumen

La presente investigación se ha dirigido a lograr una solución constructiva de la instalación estacionaria de GLP, para el laboratorio de petroquímica de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE – Extensión Latacunga, la que se usará con fines docentes y de investigación, y se pretende sustituya la anterior instalación a partir de los problemas de operación que ha venido presentando. Se hace un análisis de las características de la instalación original, sus deficiencias y los requerimientos que deberá satisfacer la nueva instalación. Se determinó el material y dimensiones de las tuberías así como, las diferentes válvulas y accesorios a utilizar. El equilibrio hidráulico de la red fue obtenido con la ayuda del software Pipe Flow Expert v.5.12 lográndose una solución de diseño que satisface los requerimientos de flujo másico, presión y velocidades a lo largo de la red y en los puntos de entrega del servicio en cada laboratorio equipado con mecheros Bunsen. A partir de los valores obtenidos, se realizó la simulación Dinámica de Fluido Computacional (CFD) con herramientas CAE para comprobar el desempeño hidráulico de la subred de gas propano perteneciente al Laboratorio L1-Ingeniería, por representar las condiciones más severas de la conducción al estar ubicado al final de la red de servicio. Al laboratorio llega un flujo másico de 0.0001 kg/s suficiente para satisfacer la demanda de los mecheros ubicados en él, con un consumo per cápita de $3,3 \times 10^{-5}$ kg/s. Con este fin, se utilizó el módulo *SolidWorks Flow Simulation* comprobándose el suministro adecuado de gas a toda la subred en estudio con valores de flujo másico y velocidad adecuados. Por último, se obtuvo en AutoCAD el dibujo de la vista en planta de la red de suministro de GLP de media y baja presión correspondiente a la azotea y a cada uno de los pisos de la construcción civil del Laboratorio.

Palabras clave: Gas Licuado del Petróleo (GLP), Diseño constructivo, Instalación estacionaria, Pérdidas de energía, Simulación de flujo, Dinámica de Fluido Computacional (DFC)

Abstract: The present investigation has been directed to achieve a constructive solution of the stationary installation of LPG, for the Petrochemical Laboratory of the Armed Forces University - ESPE – Latacunga Extension, which will be used for teaching and research purposes, and it is intended to replace the previous installation from the operational problems that has been presented. An analysis is made of the characteristics of the original installation, its deficiencies and the requirements that the new installation must meet. The material and dimensions of the pipes were determined, as well as the different valves and accessories to be used. The hydraulic balance of the network was obtained with the help of the Pipe Flow Expert v.5.12 software, achieving a design solution that satisfies the requirements of mass flow, pressure and speeds throughout the network and at the delivery points of the service in each laboratory equipped with Bunsen burners. From the obtained values, the Computational Fluid Dynamics (CFD) simulation was performed with CAE tools to check the hydraulic performance of the propane gas subnet belonging to the L1-Engineering Laboratory, for representing the most severe conditions of the driving while being located at the end of the service network. To the

laboratory, a mass flow of 0.0001 kg/s is enough to satisfy the demand of burners located in it, with a per capita consumption of 3.3×10^{-5} kg / s. For this purpose, the SolidWorks Flow Simulation module was used, and the appropriate supply of gas was purchased to the entire subnet under study with adequate mass flow and velocity values. Finally, the drawing of the plant view of the medium and low pressure LPG supply network corresponding to the roof and each of the floors of the laboratory's civil construction was obtained in AutoCAD.

Keywords: Liquefied Petroleum Gas (LPG), Construction design, Stationary installation, Energy losses, Flow simulation, Computational fluid dynamics (CFD)

1. INTRODUCCIÓN

El GLP es básicamente la mezcla de propano-butano, fáciles de licuar a temperatura y presión adecuadas, y se obtienen como resultado del proceso de refinado del petróleo, de ahí su nombre. Es utilizado principalmente como combustible para cocinar alimentos en el sector doméstico, también tiene usos en los sectores del transporte, comercial e industrial.

En 1910 el Dr. Walter O. Snelling de la oficina de minas de EU identificó al propano como componente volátil en la gasolina, luego junto con Frank Peterson encontraron la forma de producirlo y almacenarlo y ya en los años 20 se alcanzaron importantes niveles de ventas en EU, abarcando el 62% de los hogares en el año 1945 en ese país, (Osinermin, 2011).

A mediados de los años 30 se introdujo en Francia y se extendió rápidamente, en apenas 15 años, al resto de Europa, ya en los años 60 desplazó al carbón como combustible industrial. Hasta los años 70 la distribución internacional de GLP era fundamentalmente un comercio regional, en nuestra zona el mercado se centraba entre los estados del Golfo de EU y Sudamérica. La crisis del petróleo de año 1973 dio lugar a la expansión de la producción de GLP convirtiéndose en un mercado prácticamente global.

Ecuador produce en sus refinerías sólo el 22% de gas licuado de petróleo que consume (El telégrafo, 2016). A pesar de que se distribuye mayoritariamente en envases de 15 kg, las instalaciones centralizadas de GLP se van incrementando en el país y se observa que en los edificios, industrias y centros educativos se prefieren este tipo de sistemas por su seguridad y bienestar.

Situación problemática

Actualmente el Laboratorio de Petroquímica de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE – Extensión Latacunga emplea envases de 15 Kg ubicados en el interior del laboratorio, provocando un abastecimiento irregular e interrumpido. Además, representa un peligro a los usuarios ya que no tiene sistema de ventilación mecánica que permitan evacuar los gases hacia el exterior del laboratorio.

El Laboratorio de Petroquímica que se está edificando requiere la instalación de un sistema centralizado de GLP que garantice el suministro continuo a mecheros tipo Bunsen ubicados en los puestos de laboratorio y en cabinas de extracción de gases de ácidos. Al sistema estará conectada además una caldera de vapor de 429.280 BTU/h (108.178,56 kcal/h)

La instalación de GLP para el nuevo laboratorio deberá satisfacer dichos requerimientos con las restricciones impuestas por otras instalaciones con las que deberá compartir el espacio físico dentro de la edificación, como son: el sistema de ventilación mecánica, el sistema de gases industriales, el sistema neumático, las instalaciones hidrosanitarias y las propias estructuras metálicas que sirven de soporte a la edificación. Además, se deberá considerar la forma y ubicación del mobiliario en los laboratorios, todo ello con un estricto cumplimiento de las normas de instalación y de operación de todo el equipamiento instalado.

Justificación de la investigación

El GLP es un producto altamente inflamable que se encuentra sometido en recipientes bajo presión en fase líquida el que al bajar de presión pasa a fase gaseosa y que luego es llevado por tuberías a los equipos donde se aprovecha el poder calorífico en forma de combustión. Para ello, es mandatorio cumplir las normas técnicas de diseño, determinar la carga calorífica de los equipos del Laboratorio de Petroquímica, dimensionar tuberías, válvulas, reguladores de presión y tanques estacionarios.

Las instalaciones de GLP deben operar de forma segura tanto para las personas que son usuarios directos del servicio como para la comunidad en general, que potencialmente puede resultar afectada en caso de imprevistos y accidentes.

El Laboratorio de Petroquímica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE -Extensión Latacunga ha venido operando desde hace varios años en bombonas de gas de 15 Kg que permanecen ubicados en el interior del laboratorio, lo que además de conducir a una situación de riesgo provoca un abastecimiento irregular e interrumpido del servicio dada su poca capacidad.

Un sistema centralizado de GLP, es una red canalizada segura en capacidad de abastecer de Gas Licuado de Petróleo a los equipos que se utilizarán en el nuevo

laboratorio, por lo que los resultados de la presente investigación pueden contribuir favorablemente a la solución de las dificultades que se presentan en las actuales condiciones.

Objeto y problema de la investigación

El *objeto* de la presente investigación es el *Sistema centralizado de gas licuado de petróleo para el Laboratorio de Petroquímica de la ESPE - Extensión Latacunga*.

Como *problema* de investigación se define el siguiente:

¿Cómo diseñar un sistema de GLP que satisfaga los requerimientos del nuevo Laboratorio de Petroquímica de la ESPE - Extensión Latacunga, solucione los problemas presentados por el anterior sistema y asegure su articulación con las restantes instalaciones que componen la edificación del laboratorio, cumpliendo con los requerimientos de la normas (NTE INEN 2 260-2010-01, 2010) para este tipo de sistemas?

Objetivo general y campo de acción de la investigación

Objetivo general

Diseñar y simular un sistema centralizado de gas licuado de petróleo para el Laboratorio de Petroquímica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE – Extensión Latacunga durante el año 2016, que satisfaga los requerimientos de diseño de la instalación y que resulte energética y ambientalmente sustentable.

Campo de acción de la investigación

Como *campo de acción* del objeto se ha definido la concepción del diseño de la instalación de GLP energética y ambientalmente sustentable.

Hipótesis

La definición precisa de los requerimientos de diseño establecidos para el sistema centralizado de gas licuado de petróleo del Laboratorio de Petroquímica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE – Extensión Latacunga y la aplicación de un procedimiento de diseño adecuado, permitirá obtener una solución que dé respuesta a los problemas presentados por el anterior sistema y que satisfaga los actuales requerimientos de diseño de la instalación, sustentable desde el punto de vista energético y ambiental.

Objetivos específicos

Como objetivos específicos fueron definidos los siguientes:

1. Revisar el estado actual de desarrollo del proceso de diseño de sistemas centralizado de gas licuado del petróleo, efectuar la consulta a la literatura especializada y las normas que regulan este proceso.
2. Identificar las deficiencias operativas y de seguridad que ofrece el actual sistema de GLP con la finalidad de que sean solucionadas con la nueva propuesta de diseño.
3. Definir el procedimiento de diseño que será empleado para dar cumplimiento satisfactorio a los requerimientos impuestos para la instalación centralizada de GLP del laboratorio en estudio.
4. Realizar la fundamentación matemática de los cálculos de diseño en cada una de las etapas del procedimiento utilizado.
5. Elaborar la propuesta de diseño de la instalación y simular su comportamiento mediante el uso de software especializado en el diseño de este tipo de instalaciones.
6. Representar los resultados obtenidos en un software de Diseño Asistido por Computadoras, con su distribución espacial y listado de los materiales y accesorios utilizados.

Sistema de tareas por objetivos específicos

Las tareas a desarrollar para alcanzar los objetivos específicos declarados así como, los métodos, procedimientos y técnicas que concretan las acciones en cada tarea son las siguientes:

1. Estudio del estado de desarrollo del tema propuesto en el mundo y en el país.

Método Histórico:

Es el estudio del estado del conocimiento relacionado con el tema de investigación en diferentes fuentes, tales como: artículos científicos, libros, tesis de grado, de maestría y doctorado, que abordan la tarea de diseño de instalaciones centralizadas de GLP, así como, a través de la consulta a expertos.

2. Identificar las deficiencias operativas y de seguridad que ofrece el actual sistema de GLP

Método de Observación Científica:

Se aplicará para detectar las deficiencias que en el orden de operación y seguridad presenta el sistema actual y durante la investigación a través de la observación de los resultados de investigaciones precedentes y de instalaciones semejantes construidas con anterioridad, mediante entrevistas y análisis de la experiencia acumulada en procedimientos empleados en empresas de proyecto.

3. Definir el procedimiento de diseño que será empleado

Análisis y síntesis:

Análisis: Mediante la descomposición del sistema centralizado de GLP en sus partes constitutivas, lo que permite diferenciarlas y conocer sus particularidades constructivas y funcionales. Establecer los nexos entre ellas y evaluar su funcionamiento de conjunto.

Síntesis: Permitirá integrar las partes analizadas, lo que da como principal resultado la formalización del conocimiento para acometer con éxito la tarea en estudio.

Inducción y deducción:

Mediante el estudio de los procedimientos de diseño existentes para este tipo de instalaciones se llegará a deducir los aspectos esenciales del procedimiento de diseño a emplear mediante el cual se asegure la calidad de la solución a obtener, con máxima satisfacción de los requerimientos de diseño y de operación para la instalación de GLP del laboratorio.

Se considera que la presente investigación tiene importancia desde el punto de vista metodológico ya que permitirá modelar y formalizar el conocimiento existente sobre el proceso de diseño de redes de gas licuado del petróleo, resultado de una exhaustiva revisión y asimilación de la experiencia acumulada en este campo por investigadores, proyectistas e ingenieros. Los resultados que se alcancen pudieran servir de base para nuevos proyectos de este tipo de instalaciones.

4. Realizar la fundamentación matemática de los cálculos de diseño en cada una de las etapas del procedimiento utilizado

Métodos Físico-matemáticos:

A través del conocimiento de los fenómenos físicos que experimentan los GLP durante su almacenamiento en recipientes a presión en estado líquido y durante su tránsito por la conducción en estado gaseoso hasta los puntos de servicio, en las que se involucran variables termodinámicas como la presión, velocidad y temperatura, y se manifiestan fenómenos físicos como el de la fricción entre las capas del fluido y entre éste y el interior de las tuberías que conducen a pérdidas energéticas a todo lo largo de la conducción. El valor de estas variables y su influencia en la eficiencia final del proceso se determina mediante las expresiones matemáticas que posibilitan el cálculo hidráulico de la instalación de GLP.

5. Elaborar la propuesta de diseño de la instalación y simular su comportamiento

Métodos y procedimientos de diseño

Durante este proceso se aplican procedimientos de diseño que aseguran la obtención de soluciones racionales energética y ambientalmente sustentables, con máxima atención a los requerimientos estéticos, de seguridad y operacionales definidos en las normas de diseño y específicamente en la norma técnica ecuatoriana INEN 2260. “Instalaciones para gas combustible en edificaciones de uso residencial, comercial o industrial. Requisitos”

Particularmente importante se vuelve la aplicación de software de diseño profesionales, como el Pipe Flow Expert v.5.12 de amplia utilización para el análisis, diseño y simulación de instalaciones para el flujo de fluidos de diversos tipos. Este software será utilizado para la concepción de la solución de diseño y simulación del comportamiento hidráulico de la red de media y baja presión del Laboratorio.

Se escogerá la sección más crítica de la tubería para simular el flujo del fluido durante la conducción y comprobar si se logra la circulación del fluido por la conducción bajo esas condiciones y si se produce la entrega el valor de flujo másico demandado en los puntos de entrega. Con este fin se usará el módulo SolidWork Flow Simulation del paquete CAD Solidwork.

6. Representar los resultados obtenidos en un software de Diseño Asistido por Computadoras (CAD)

Para la salida gráfica de la solución de diseño de la red de tuberías de media y baja presión desde los tanques de almacenamiento hasta los puntos de entrega en cada piso se utilizará el paquete de diseño AutoCAD.

7. Desarrollo del documento tesis con toda su estructura.

Paradigma o enfoque epistemológico:

Desde el punto de vista epistemológico, el enfoque está dirigido a la reflexión acerca de los avances alcanzados en la estructuración de un procedimiento de diseño para instalaciones canalizadas de GLP científicamente fundamentado, el estudio del conocimiento y del pensamiento en general logrado en torno a la temática que se estudia, con máxima observación a las normas vigentes para el diseño de este tipo de instalaciones, de manera objetiva aterrizado a las condiciones impuestas a la instalación en el que las decisiones estén justificadas analíticamente en las metodologías de cálculo para la conducción de gases en tuberías, velocidades y valores de pérdida de presión adecuados.

Alcance de la investigación:

El alcance de la investigación está dirigido a lograr un procedimiento de diseño de sistemas centralizados de gas licuado del petróleo que contemple los avances de los procedimientos aplicados hasta el presente y las mejores prácticas de la teoría del diseño mecánico con el uso de software especializado. Cuya aplicación permita obtener el diseño de un sistema centralizado de gas licuado de petróleo para el Laboratorio de Petroquímica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE – Extensión Latacunga que resuelva los problemas del sistema actual de suministro de gas y satisfaga los requerimientos para la nueva instalación con una propuesta energética y ambientalmente sustentable.

Necesidad de la investigación:

La necesidad de realizar el presente proyecto de investigación viene dada por la importancia de ofrecer una solución a los actuales problemas de operación que presenta el servicio de GLP del Laboratorio de Petroquímica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE -Extensión Latacunga y de responder a la demanda actual y futura en un horizonte de unos cinco a diez años, de la formación de estudiantes de pregrado y postgrado en materias afines al propósito del laboratorio y servir de escenario para el desarrollo de actividades de investigación científica.

CAPÍTULO I. ESTADO DEL DESARROLLO DE LOS SISTEMAS DE SUMINISTRO DE GAS LICUADO DEL PETRÓLEO (GLP)

Como parte de los antecedentes del estudio que se pretende realizar es importante profundizar en las generalidades del GLP como combustible, su composición, principales aplicaciones. Las normas y regulaciones que rigen la actividad de diseño de las instalaciones de GLP. La Proyección mundial en el uso de combustibles y cómo se inserta el GLP dentro de ese escenario. Qué contempla el programa energético nacional en torno a las tecnologías energéticas emergentes y específicamente hacia el uso del GLP. La tendencia de la evolución tecnológica en la obtención de biocombustibles, específicamente el Biopropano como una alternativa energética para los próximos años. Por último, indagar sobre el estado actual de desarrollo de los procedimientos de diseño empleados para proyectos de instalaciones centralizadas de GLP.

1.1. Generalidades del gas licuado de petróleo (GLP)

El Gas Licuado del Petróleo tiene su origen en los Estados Unidos entre los años 1900 y 1912 donde se comprobó que la gasolina natural no refinada tenía una gran tendencia a evaporarse debido a la presencia de estos hidrocarburos ligeros.

A final de los años 30 eran ya varias empresas las que habían entrado en este mercado, y como innovaciones técnicas de esta época se tienen los primeros vagones para transporte de G.L.P. por ferrocarril, y el establecimiento de plantas de llenado de recipientes por todo Estados Unidos. En Europa, la primera botella se vendía en Francia en 1934. (Secretaría de Estado de Energía)

El GLP es una mezcla de propano y butano que están presentes en el petróleo crudo y el gas natural, aunque una parte se obtiene durante el refinado de petróleo, sobre todo como subproducto de la destilación fraccionada catalítica (FCC, por sus siglas en inglés Fluid Catalytic Cracking).

El propano (químicamente) es un compuesto orgánico, cuya molécula, saturada, está compuesta por tres átomos de carbono y 8 de hidrógeno (fórmula C₃H₈).

El butano es parecido al propano, salvo que su molécula, también saturada, está compuesta por cuatro átomos de carbono y 10 de hidrógeno (fórmula C₄H₁₀). Ambos gases tienen un gran poder calorífico: el propano proporciona 22000 Kcal/m³ y el butano 28300 Kcal/m³, lo que facilita el transporte y los hace muy prácticos.

A presión atmosférica y temperatura ambiente (1 atmósfera y 20°C), el Gas Licuado de Petróleo se encuentra en estado gaseoso. Para obtener líquido a presión atmosférica, la temperatura del butano debe ser inferior a -0,5°C y la del propano a -42,2°C. En cambio, para obtener líquido a temperatura ambiente, se debe someter al GLP a presión. Para el butano, la presión debe ser de más de 2 atmósferas. Para el propano, la presión debe ser de más de 8 atmósferas.

Un litro de líquido se transforma en 272,6 litros de gas para el propano y 237,8 litros de gas para el butano. En su estado puro, tanto el butano como el propano son inodoros; sin embargo, para hacerlos más fácilmente detectable en el caso de fugas, se les añade un compuesto olorizado (sulfuro de mercaptano) que los hace perceptibles antes de que la mezcla GLP-aire pueda ser explosiva.

Tanto el propano como el butano no son tóxicos, aunque al ser más pesados que el aire tienden a desplazarlo y pueden provocar la muerte por asfixia al impedir que el aire llegue a los pulmones y oxigene la sangre.

La tabla 1.1 muestra las proporciones de la mezcla de propano y butano en su estado comercial. La proporción de la mezcla puede variar para usos no industriales como en la automoción, cuya proporción de C₃/C₄ oscila entre 70/30 y 60/40. (López Sopena José E., 2001)

Tabla 1.1 Proporciones de la mezcla de propano y butano en su estado comercial.

	Proporciones en volumen	
	Propano comercial	Butano comercial
Propano C ₃	min. 80%	max. 20%
Butano C ₄	max. 20%	min. 80%

Fuente: Manual de uso de Gas-LP, CEPSA pág. 19.

1.2. Aplicaciones del GLP Licuado del Petróleo

El GLP tiene múltiples aplicaciones industriales y en diferentes actividades humanas basado en sus buenas cualidades como combustible, posee un alto poder calorífico, fácil manejo y transporte, seguridad en su uso, es limpio y económico.

Entre las aplicaciones más significativas se destacan las siguientes:

1. En la agricultura:
 - Durante el tratamiento térmico ante plagas y enfermedades mediante TPC ("Thermal Pest Control") y sistemas autopropulsados para aplicación vertical de vapor de agua, con fines de desinfección de suelos o sustratos. (Durán, J. M., Soblechero, E., Moratiel, R., Leiva, I., & Fino, C., 2006)
 - Incubadoras
 - Secadoras.
2. Como combustible en automóviles: Dadas las cualidades físicas y químicas, costo, eficiencia térmica, impacto ambiental y la mejoría en las aplicaciones debido al desarrollo tecnológico, el (GLP) se perfila como una alternativa real de combustible alternativo a la gasolina y al diésel en vehículos automotores. (Barrera Suárez, M. A., 2012).
3. En la industria:
 - Hornos estacionarios y continuos dentro del que se encuentran las cabina-horno para pintura con calor de carrocerías metálicas de automóviles (Maza Montenegro, F. J. y Merchán Urquiza, D. E., 2008)
 - En sistemas de secado industrial de granos, y otros productos del agro. (Ambrossi Robles, V. R., Quesada Chávez, Wilson Efren, 2012)
 - Calderas
 - Equipos de corte y soldadura de metales
 - Quemadores industriales
4. En sistemas domésticos, edificios y comerciales:
 - En la cocción de alimentos
 - En sistemas autónomos o dual para calentamiento de agua en piscinas y en sistemas hidráulicos de uso doméstico, por medio de energía solar y GLP. (Cumbe, C., Vicente, A., & Pogo Guamán, Á. M., 2011)
 - Secadoras de ropa
 - Hornos
 - Calefactores

5. En centros de salud y educativos:
 - En laboratorios clínicos en centros hospitalarios y en laboratorios docentes para la enseñanza de química y otras disciplinas en sopletes y mecheros.
 - Incineradores y crematorios

1.3. Regulaciones para el uso de instalaciones de GLP

El diseño, instalación y operación de instalaciones de GLP están sujetos a regulaciones de estricto cumplimiento con la finalidad de garantizar el servicio estable y seguro de estas instalaciones. En este sentido las regulaciones responden a dos criterios; el legal y el técnico.

Los organismos encargados de emitir las disposiciones legales son el Ministerio de Hidrocarburos y el Ministro de Minería. Las tasas por el servicio de regulación, control y administración, transporte y almacenamiento, refinación e industrialización de los combustibles líquidos derivados de hidrocarburos (LDH) y específicamente el GLP, son regulados a partir del suplemento del Registro Oficial No.887 (Sr, A., & Delgado, E. R. C. , 2015) las que deben ser consideradas por los Gobiernos Provinciales al fijar las ordenanzas correspondientes que afectan las empresas comercializadoras de GLP.

Por otra parte, desde el punto de vista técnico las regulaciones son establecidas por el Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN. Este es el organismo oficial de normalización, metrología y certificación de sistemas, productos y personal. Su compromiso es promover la capacitación, elaborar y publicar las normas que establecen los requisitos técnicos y controlar el cumplimiento de las normas al ejecutar los procedimientos.

La implementación de los sistemas centralizados de Gas Licuado de Petróleo está regida por la norma técnica ecuatoriana (NTE INEN 2 260:2010, 2010). Esta norma establece los requisitos técnicos y las medidas de seguridad mínimas que deben cumplirse al diseñar, construir, ampliar, reformar, revisar y operar las instalaciones receptoras de gases combustibles para uso residencial, comercial e industrial; así como las exigencias mínimas de los sitios donde se ubiquen los equipos y artefactos que consumen gases combustibles, las condiciones técnicas de su conexión, ensayos de comprobación y su puesta en marcha. (NTE

INEN 2 260:2010, 2010)

El alcance de la norma comprende a las instalaciones receptoras (conjunto de tuberías y accesorios comprendidos entre la válvula de acometida, excluida ésta, y las válvulas de conexión al aparato, incluidas éstas) que utilizan gases combustibles suministrados desde tanques, cilindros portátiles, redes de distribución, que corresponden a los diferentes tipos de gases de la primera, segunda y tercera familias, cuya presión máxima de servicio sea inferior o igual a 500 kPa. (NTE INEN 2 260:2010, 2010)

1.4. Proyección mundial en el uso de combustibles

Una rápida ojeada al modelo energético actual revela un alto grado de dependencia de los recursos convencionales. Alrededor del 98% de los automóviles dependen del petróleo y el GLP. De igual forma, la generación eléctrica sigue estando dominada por el carbón, el gas natural y la energía nuclear, y hay pocas o ninguna evidencia sobre la capacidad de la tecnología de captura de carbono o las energías renovables para ofrecer alternativas fiables, adecuadas y a un costo aceptable, no antes del horizonte de 2030.

A pesar de la diversificación relacionada con el surgimiento de la biomasa y otras fuentes de energías renovables, parece que el sector residencial seguirá dependiendo significativamente de los combustibles convencionales durante al menos las dos próximas décadas. Sin duda, las previsiones recientes prevén tan solo una cuota del 22% para las renovables en 2030. (Asociación Europea del GLP, 2011).

1.5. Tendencias de la evolución tecnológica en la obtención de biocombustibles

Los biocombustibles son recursos energéticos procesados por el ser humano a partir de materias producidas por seres vivos, conocida como "biomasa". Pueden ser líquidos, sólidos o gaseosos, y su finalidad última es liberar la energía contenida en sus componentes químicos mediante una reacción de combustión. A los biocombustibles se les clasifica según la materia prima y la tecnología

empleada para producirlos, esta clasificación se realiza por generaciones. (Álvarez Maciel, Carlos, 2016).

Primera generación

Insumos de procedencia agrícola formados por las partes alimenticias de las plantas, con alto contenido de almidón, azúcares y aceites. Ejemplos de estas materias son el jugo de la caña de azúcar, granos de maíz, jugo de la remolacha o betabel, aceite de semilla de girasol, aceite de soya, aceite de palma, entre otros. También se emplean como insumos a las grasas animales, grasas y aceites de desecho provenientes de la cocción y elaboración de alimentos, y desperdicios sólidos orgánicos. Los biocombustibles son producidos empleando tecnología convencional como la fermentación (para azúcares y carbohidratos), transesterificación (para los aceites y grasas), y la digestión anaerobia (para los desperdicios orgánicos). De estos procesos se obtiene etanol, metanol y n-butanol, biodiesel, y biogás (mezcla de metano y anhídrido carbónico, también conocidos como gas natural y dióxido de carbono respectivamente, obtenida a partir de los desperdicios orgánicos).

Las ventajas de estos biocombustibles son su facilidad de procesamiento, sus bajas emisiones de gases de efecto invernadero, pero tiene como desventaja el desvío de recursos alimenticios hacia la producción de energéticos.

Segunda generación

Los insumos son residuos agrícolas y forestales compuestos principalmente por celulosa. Ejemplos de ellos son el bagazo de la caña de azúcar, el rastrojo de maíz (tallo, hojas y olote), paja de trigo, aserrín, hojas y ramas secas de árboles, etcétera. Los procesos de producción tienen un nivel de complejidad más alto que los de primera generación, y como ejemplos destacan la sacarificación fermentación y el proceso Fischer-Tropsch. Este último proceso también recibe los nombres de proceso GTL y proceso BTL, cuyas siglas en inglés provienen de "Gas-To-Liquids" y "Biomass-To-Liquids" respectivamente, los cuales consisten en la gasificación del carbón y de la materia lignocelulósica de la biomasa, para después sintetizar algún combustible líquido como el etanol y metanol. La ventaja principal en la producción de estos biocombustibles es la inexistencia de desviaciones de alimentos provenientes de la agricultura hacia el

sector energético, pero su desventaja es la poca ganancia en disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero durante el procesamiento de los insumos, respecto a los biocombustibles de primera generación.

Tercera generación

Los insumos son vegetales no alimenticios de crecimiento rápido y con una alta densidad energética, se conocen como “cultivos energéticos”. Entre estos vegetales están los pastos perennes, árboles y plantas de crecimiento rápido, y las algas verdes y verde-azules. Los procesos de obtención de biocombustibles se encuentran en fase de desarrollo, sin embargo, se ha logrado producir biodiesel y etanol a nivel planta piloto. Las ventajas de estos biocombustibles son el balance positivo en la emisión de gases de efecto invernadero, y como desventaja se señala la utilización de tierras de cultivo de alimentos para la siembra de los insumos, con excepción de las algas verdes.

Cuarta generación

Los biocombustibles son producidos a partir de bacterias genéticamente modificadas, las cuales emplean anhídrido carbónico (CO₂) o alguna otra fuente de carbono para la obtención de los biocombustibles. A diferencia de las generaciones anteriores, en las que también se pueden emplear bacterias y organismos genéticamente modificados como insumo o para realizar alguna parte de los procesos, en la cuarta generación, la bacteria es la que efectúa la totalidad del proceso de producción de los biocombustibles.

Los biocombustibles, aunque no son la solución a los problemas energéticos, económicos y ambientales, son un medio por el cual se puede llevar a cabo la transición energética de una economía sustentada en los combustibles fósiles a una economía mundial basada en fuentes renovables de energía, entre ellas el hidrógeno.

En este el siglo debe dejar de quemarse al petróleo, ya que se deberá resguardar para otros usos igualmente importantes tales como: la producción de plásticos, medicinas, aditivos alimenticios, lubricantes, colorantes, detergentes y otras sustancias. Deberá impulsarse en los próximos años la obtención de

biocombustibles no provenientes de recursos alimenticios que impacten al medio ambiente y a la sustentación humana.

1.6. El Biopropano una alternativa renovable

En una perspectiva a más largo plazo, el sector del GLP trabaja para conseguir un cambio más importante, en concreto el desarrollo y la comercialización de una versión de GLP obtenida exclusivamente a partir de fuentes renovables. A menudo llamado “biopropano”, este recurso energético emergente es plenamente compatible con la búsqueda de un modelo energético realmente sostenible, seguro y competitivo en la UE. El biopropano, un combustible neutro en CO₂ para los sectores residencial, industrial y el transporte, contribuiría a satisfacer las necesidades energéticas sin poner en peligro el medio ambiente.

Al ser el biopropano un derivado de productos renovables, abundantes y plenamente disponibles, como el glicerol, los azúcares derivados de la biomasa y las algas, que son idénticos al GLP a nivel molecular, también ayudará a reducir la dependencia de los recursos fósiles, cuyos precios y disponibilidad a largo plazo están sujetos a incertidumbres. Las investigaciones en este sentido han vencido satisfactoriamente la etapa de prueba y actualmente se está aumentando gradualmente la escala de producción para verificar los resultados preliminares. (Asociación Europea del GLP, 2011), (Rey Devesa, L., 2014)

Igualmente investigadores de las Universidades de Manchester, de Turuk y del Imperial College, han descubierto un camino sintético para la generación de propano por fermentación que puede ser adoptado por microorganismos. El descubrimiento es un paso más hacia la producción de propano comercial mediante biosíntesis. (Navya Menon, András Pásztor, Binuraj RK Menon, Pauli Kallio, Karl Fisher, M Kalim Akhtar, David Leys, Patrik R Jones., 2015). Neste Oil, el mayor productor mundial de hidrobiodiésel, ha puesto en marcha la primera planta de producción de biopropano en la primera mitad de 2017. (Rico Javier, 2017)

1.7. Programa energético nacional

Ecuador trabaja el desarrollo prospectivo del sistema energético nacional desde la perspectiva de los retos técnicos, ambientales, económicos y sustentables que debe satisfacer un Plan Energético de largo plazo que permita dar seguridad energética al país hacia el año 2030. Se analizan diversas estrategias, principalmente aquellas que tienen un sustento en las fuentes de energía renovable dado su carácter casi inagotable en cuanto a su disposición.

Un país con enormes recursos energéticos renovables como Ecuador, con importantes reservas en recursos hídricos, emprendió la construcción de nueve proyectos hidroeléctricos de baja o mediana potencia, entre ellos: la planta hidroeléctrica “Quijos-Baeza”, con una potencia de 100 megavatios, en la provincia amazónica de Napo; “Río Luis”, de 15,5 megavatios en la costera de El Oro; “Buenos Aires”, de 980 megavatios en la andina de Imbabura. Asimismo, el proyecto “Minas, Jubones, La Unión”, de 285 megavatios, en la zona austral del país; y “Soldados-Yanuncay”, de 27,8 megavatios, en Azuay. (Fuentes de Energía en Ecuador)

Igualmente se ha avanzado en proyectos de energía eólica, principalmente en la provincia de Loja como el Parque Eólico Villonaco, con una potencia instalada de 16.5 MW en funcionamiento desde principios de 2012. Según datos del Ministro de Electricidad y Energía Renovable (MEER) el funcionamiento de estos aerogeneradores evitará la emisión de cerca de 38 mil toneladas de CO². Igualmente se logrará un ahorro de \$13 millones, aproximadamente, en la importación del diésel requerido para la generación termoeléctrica. (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2017)

Como parte de todo este esfuerzo se ha venido impulsando el tránsito en el país hacia la cocción por cocinas de inducción, las cuales utilizan electricidad y son más eficientes que las tradicionales de gas licuado de petróleo (GLP). (Joffre Constante, 2016). Alrededor el 88% del GLP que se consumen en el país es importado el que es subsidiado por el Gobierno por alrededor de \$ 700 millones de dólares.

Según reporte de la revista UPME, de la Unidad de Planeación Minero Energética de Colombia (Unidad de Planeación Minero Energética, 2017), se registró un incremento de la producción mundial de GLP entre los años 2014 y 2015 encabezada por USA, Arabia Saudita, China, Rusia como respuesta a la creciente demanda mundial de los derivados del petróleo. Se estima se mantenga esta tendencia de crecimiento hasta el año 2020. (Galetovic Alexander y Sanhueza Ricardo, 2016)

En la primera década del presente siglo el consumo de GLP en Ecuador creció a un ritmo anual del 6% (IDE Business School). Según estudio prospectivo realizado por México que abarca el período 2014-2028 que involucra las exportaciones proyectadas hacia países de centro y sur América, se estima un rápido incremento de las exportaciones hasta el año 2021 con un ligero decrecimiento hasta finales de la fecha de prospección, lo que indica que la demanda de este tipo de energía en el área seguirá siendo alta.

Sin embargo, desde el año 2014 Ecuador viene experimentando una tendencia decreciente de los niveles de importación de los derivados del petróleo y en los últimos tres años ha bajado desde 3,787.8 millones de dólares durante el año 2015, a 2,331.8 millones de dólares en el año 2016, y hasta julio del 2017 se ha importado el equivalente a 1,361.13 millones de dólares mostrándose un comportamiento semejante para el actual año 2017 (Banco Central de Ecuador, 2016), (Banco Central de Ecuador, 2017). De los derivados del petróleo, el GLP ocupa en el país el segundo renglón de importación después del diésel.

Pese a estos resultados y la política estatal ecuatoriana de reducir el consumo de GLP como fuente de energía. Debido a las ventajas que proporciona su utilización, y por el alto nivel de aceptación que tiene en la población, el gas licuado está siendo reconocido por los gobiernos de gran parte del mundo como un gran aliado en la lucha contra el cambio climático y el efecto invernadero. No supone un impacto dañino para el medio ambiente y, a diferencia de otras fuentes energéticas, no genera residuos (Asociación Europea del GLP, 2011). Se estima que en los próximos años se continuará utilizando este recurso energético lo que sustenta el desarrollo de proyectos para instalaciones de GLP.

En Ecuador la instalación de sistemas centralizados de GLP representa un porcentaje mínimo en comparación con la comercialización en cilindros. Sin embargo, en la actualidad va en aumento y se observa que en gran parte de edificios y conjuntos residenciales nuevos se utilizan sistemas centralizados los que ofrecen mayor seguridad y comodidad a la vez de permitir un mejor control sobre la distribución del servicio.

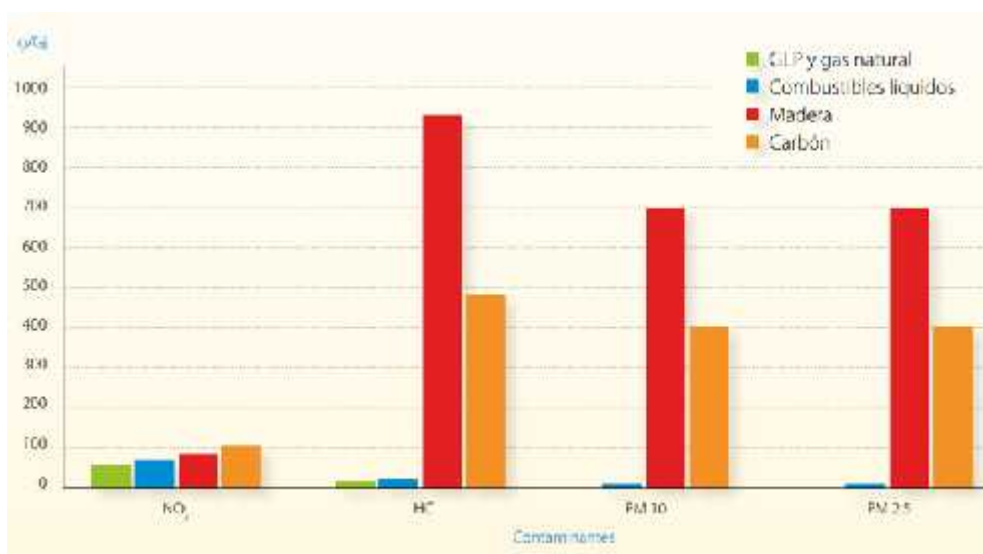
1.8. Tendencia del desarrollo de las instalaciones de GLP

Entre las razones que contribuyen al uso extensivo de instalaciones de GLP se pueden citar: Combustible limpio, seguro, eficiente y de fácil transportación (Asociación Europea del GLP, 2011)

Combustible limpio

La contaminación del aire a nivel local supone un grave riesgo para la salud. El aire contaminado no solo afecta a los seres humanos a través de afecciones respiratorias y cáncer, sino que también afecta a las plantas, los animales y hasta los edificios (por descomposición ácida y depósitos de hollín, por ejemplo). El GLP produce bajos niveles de emisiones de partículas y de NO_x, por lo que no contamina el aire tanto como otras fuentes de energía. Así, el GLP contribuye de forma importante a la conservación de la calidad del aire interior y exterior.

En la Figura 1.1 se muestran las principales emisiones contaminantes de la combustión por tipo de combustible.



Fuente: LPG and Local Air Quality, A Scientific Review, Atlantic Consulting, 2009

Figura 1.1. Principales emisiones contaminantes por tipos de combustibles

Seguro

Supone una alternativa segura a otras fuentes energéticas. El GLP se produce en grandes cantidades en USA, Europa y Arabia y otras regiones y su estatus como subproducto de la extracción de gas natural —cuya producción global se espera que se duplique en todo el mundo hasta 2030— hace que la perspectiva de suministro global a largo plazo sea considerablemente más sólida que la de hidrocarburos basados exclusivamente en el petróleo. Los niveles previstos de suministro de GLP sugieren que será plenamente posible responder al aumento de la demanda mundial en los próximos años.

Eficiente

Los combustibles gaseosos, como el GLP, ofrecen de manera inherente una mayor eficiencia, una ventaja que ha aumentado gracias a la aparición de tecnologías que optimizan su rendimiento, como las calderas de condensación, sistemas híbridos GLP/renovables y unidades de micro-cogeneración a gas. En vista de las ventajas ambientales, económicas y estratégicas relacionadas con la reducción de la demanda energética, la sustitución de otras alternativas menos eficientes por el GLP es un movimiento inteligente que ofrece ventajas tanto para los usuarios finales como para la sociedad en general.

Fácil transportación

El GLP puede usarse prácticamente en cualquier lugar, el GLP llega donde otras energías no llegan. Puede cubrir la demanda en grandes ciudades y también en zonas con una baja densidad de población. El GLP puede usarse en redes de gas a pequeña escala, que emulan la eficiencia de las redes de gas natural sirviendo a comunidades enteras mediante redes de conductos conectados a un solo punto de almacenamiento. Resulta fácilmente transportable también en redes locales en instalaciones industriales, comerciales, educativas, entre otras.

Las características descritas de los GLP unido a las ventajas de las instalaciones centralizadas (estacionarias) sobre el uso del sistema tradicional de pequeñas bombonas de gas, explican la tendencia favorable hacia las primeras. Entre los beneficios que reporta la utilización de instalaciones estacionarias se destacan las siguientes:

1. El diseño de la instalación se hace considerando el consumo probable de los aparatos, la capacidad de vaporización, y el tiempo de autonomía de tanques, con lo que se espera un consumo más eficiente.
2. Si se añade el uso de contadores (medidores de consumo), solo se cancelará el consumo real, sin considerar el residuo de GLP en los tanques.
3. La comodidad de no tener que ubicar cilindros directamente en cada punto de consumo. Ello contribuye a la reducción del espacio útil en las instalaciones, ya que generalmente la ubicación de los tanques se realiza en un lugar externo a la edificación.
4. Se mejora la estética donde se ubican los aparatos de consumo, al eliminar la presencia de cilindros de gas en la zona.
5. El suministro del GLP está a cargo de empresas proveedoras, por lo que el usuario se libera de la responsabilidad del recambio de envases.

1.9. Estado actual de desarrollo de los procedimientos de diseño empleados para un proyecto de instalaciones de GLP

De la bibliografía relacionada con el tema que ha podido ser consultada se ha constatado que los procedimientos utilizados hasta el presente se basan en el estricto uso de las normas para cada etapa del diseño de la instalación carente de un enfoque sistémico (NTE INEN 2 260-2010-01, 2010) (López Sopeña José E., 2001). La selección del tanque estacionario en algunos casos, no responde a un análisis de la demanda real de potencia nominal del sistema, aunque se determina el consumo de cada equipo y a partir de él la demanda general impuesta al sistema, se asume la capacidad del tanque y seguidamente la autonomía de la instalación (Lomas Páez, C. R., 2012), (Oscar Bladimir André Sarmiento, 2015), para esa capacidad prefijada

En la opinión del autor de esta investigación el procedimiento a utilizar deberá partir de la determinación de los requerimientos de consumo para cada punto o zona de entrega, la delimitación de la autonomía esperada acorde a lo recomendado para este tipo de instalación, tomándose en consideración la práctica de las empresas de servicio de GLP en cuanto a la frecuencia más conveniente de abastecimiento de las instalaciones centralizadas. Por otra parte,

se deberá observar la capacidad límite recomendada de los tanques desde el punto de vista de la seguridad de la instalación, un depósito de GLP de gran capacidad puede resultar potencialmente peligroso y más difícil el manejo de eventualidades y de situaciones de riesgo de explosión.

1.10. Conclusiones parciales:

Según la revisión de la literatura relacionada con el tema que ha sido consultada, se puede concluir lo siguiente:

1. Las ventajas que reportan los sistemas centralizados de GLP sobre las instalaciones con cilindros portátiles independientes, fortalecen la idea del proyecto que se acomete, y constituye una decisión importante en la solución de los actuales problemas que presenta la Instalación de GLP del Laboratorio de Petroquímica de la ESPE-Extensión Latacunga.
2. El proceso de diseño de la instalación de Gas Licuado de Petróleo en estudio se deberá regir conforme a lo establecido en la NTE INEN 2 260-2010-01 (2010). “Instalaciones de gases combustible para uso residencial, comercial e industrial. Requisitos”
3. La proyección mundial del incremento del uso del GLP como solución energética para múltiples funciones en la sociedad contemporánea y como aliado en la lucha contra el cambio climático y el efecto invernadero, aseguran la continuidad de los beneficios del proyecto que se acomete a corto y mediano plazo.
4. A pesar de consultarse varias literaturas e informes de investigaciones relacionadas con el diseño de sistemas de Gas Licuado del Petróleo para instalaciones de diversos fines. No se encontró un procedimiento debidamente fundamentado que establezca los pasos a seguir en la solución de esta tarea, lo que sugiere el planteamiento y desarrollo de un procedimiento con este fin en los próximos capítulos de la presente tesis.

CAPÍTULO II. REQUERIMIENTOS DE LAS INSTALACIONES DE GLP CENTRALIZADAS. NORMAS TÉCNICAS.

2.1. Procedimiento para el diseño de instalaciones centralizadas de GLP en edificaciones.

El diseño de un sistema de GLP responde al cumplimiento de un conjunto de pasos que determinan la calidad del resultado obtenido. Con este fin y en cumplimiento con lo regulado por la norma (NTE INEN 2260:2010) se define el procedimiento de diseño de la instalación, siguiente:

1. Definición de la función o destino de servicio para el que está prevista la instalación de GLP.
2. Denominación del gas. (Para el caso del GLP se asumirá lo especificado en la tabla 1 de la NTE INEN 675).
3. Determinación de la demanda calorífica en cada puesto del laboratorio
4. Determinación del caudal nominal estimado de flujo másico
5. Cálculo del consumo nominal estimado
6. Cálculo de la capacidad total y volumen del tanque
7. Composición y distribución del sistema de redes de GLP para el laboratorio.
8. Selección del tipo de material para las conducciones (tuberías) y accesorios.
9. Determinación de los diámetros de las tuberías y sus dimensiones lineales.
10. Comprobación (simulación) de los resultados obtenidos mediante el uso de software especializado.
11. Generación de toda la documentación gráfica y de texto concerniente al proyecto.

El punto de partida para el diseño de una nueva instalación centralizada de GLP es el esclarecimiento de la función que ésta deberá cumplir. En todo caso es indispensable conocer con precisión las características de los procesos a los que hay que suministrar el gas. Si es un solo tipo de servicio o si la instalación realizará multiservicio a diversos aparatos que tienen diferente consumo, que requieren una cantidad variable de combustible así como, el período en horas de

servicio diario por aparato, lo que permitirá definir cuál será la Potencia nominal de utilización simultánea de combustible.

Se deberá observar también la ubicación que tendrá el depósito (tanque) y cómo se prevé realizar las recargas de abastecimiento de gas, debiéndose asegurar el fácil acceso del camión cisterna durante este servicio. De igual forma, se escogerá el mejor posicionamiento desde el punto de vista de la reducción de las pérdidas sistémicas en las conducciones hasta los puntos de consumo.

La autonomía prevista durante el cálculo de la instalación condiciona la frecuencia de abastecimiento, debiéndose lograr un buen compromiso entre las recomendaciones de la capacidad del tanque atendiendo a consideraciones de seguridad y el número de días de servicio sin necesidad de reabastecimiento a partir de consideraciones de tipo económico.

Las condiciones climáticas en las que operará la instalación deberán también ser tomadas en consideración debido al cambio de las propiedades del GLP con la presión y la temperatura.

La selección del material de las tuberías se realizará sobre la base de las recomendaciones de la norma (NTE INEN 2260:2010). Básicamente, podrán escogerse tuberías metálicas o plásticas. En el caso de las primeras, deben ser de acero al carbono, acero inoxidable o cobre, cuya composición química no sea atacada por el gas combustible, ni por el medio exterior con el que estén en contacto. Para la conducción de gas combustible, en ningún caso se debe utilizar tubería de hierro fundido.

En el caso de las tuberías plásticas serán de Polietileno (PE) de calidad PE 2406 (PE 80) o PE 3408 (PE 100), deben ser utilizadas exclusivamente en instalaciones enterradas, salvo las excepciones de la tabla 3 (NTE INEN 2260:2010) que cumplirán con lo establecido en la norma ISO 4437 ó ASTM D2513.

Para el cálculo de los diámetros interiores de las tuberías se determinarán el caudal y las velocidad del fluido de acuerdo a tramo de tubería, si es de media o de baja presión, calculándose las pérdidas de carga en la conducción según su

longitud equivalente, teniendo en cuenta los valores admisibles para asegurar la presión nominal necesaria a la entrada de las válvulas reguladores de presión o a los aparatos.

El diseño deberá realizarse con la asistencia de aplicaciones informáticas (software), especializadas en el diseño de sistemas de tuberías de GLP, lo que permite emular el comportamiento del sistema y evaluar diferentes variantes de solución que aseguren el mejor resultado de diseño posible.

Finalmente, se realizará el diseño completo de la instalación con la ayuda de un sistema de Diseño Asistido por Computadoras (CAD), para el caso de la presente investigación se utilizará AutoCAD en su versión 2017.

2.2. Regulaciones para el uso de instalaciones de GLP. Recomendaciones para la Instalación de redes de tuberías de GLP.

Las instalaciones para suministro de gases combustibles deben contemplar como mínimo los aspectos básicos siguientes: (NTE INEN 2260:2010)

- a) Como criterio general las instalaciones de gas se deben construir de tal forma que todas las partes constitutivas sean accesibles para ser reparadas o sustituidas, total o parcialmente en cualquier momento de su vida útil. Se exceptúan aquellas tuberías embebidas.
- b) El sistema de tuberías en el interior de edificaciones debe construirse de acuerdo a lo especificado en la tabla 3. Si son soldadas, el proceso de soldadura y los soldadores deben estar calificados, según Código ASME Sección IX o ANSI/AWS A 5.8 y/o NTE INEN 128.
- c) Se prohíbe ubicar válvulas, reguladores, armarios de contadores, contadores y tubería vista dentro del área de las escaleras de emergencia.
- d) Se prohíbe acceder a válvulas, reguladores, armarios de contadores, contadores y tubería vista a través del área de las escaleras de emergencia, aunque estos elementos estén instalados fuera de esta área.

Las tuberías que se ubican en el falso techo deben tener una ventilación hacia exterior del edificio, y se prohíbe ubicarlas en dormitorios y baños. La ubicación

de tuberías de GLP que comparten espacio con tuberías de otros servicios deberá acogerse a las restricciones de distancia indicadas en la Tabla 2.1

Tabla 2.1 Distancias mínimas entre tuberías de diferentes servicios.

TUBERÍA PARA OTROS SERVICIOS	CURSO PARALELO (cm)	CRUCE (cm)
Conducción agua caliente	3	1
Conducción eléctrica	3	1
Conducción de Vapor	5	5
Chimeneas y ductos de extracción de gases de combustión	40	40
Suelo por donde discurren	5	Ninguno
<p>1) Las tuberías vistas que discurren por locales comerciales e industriales deben colocarse a una separación mínima de 1 cm de las paredes, pisos y techos.</p> <p>2) Estas distancias aplican a las tuberías vistas y ocultas a excepción de las enterradas, ver tabla3 nota 6.</p>		

Fuente: Apuntes de clase.

La máxima presión de operación permisible, MPOP, en sistemas de tuberías instaladas para gas, deben fijarse de acuerdo a la tabla 6 de (NTE INEN 2260:2010). Así, para tuberías de media presión, con valores comprendidos entre: 14 kPa (140 mbar) - 500 kPa (5 bar) se recomiendan los valores límites siguientes:

-) Líneas secundarias, líneas de acometida y líneas matrices exteriores a la edificación. (200 kPa)
-) Líneas matrices interiores en instalaciones para suministro de gas destinadas a usos residenciales y comerciales. (35 kPa)

Para tuberías de baja presión, con valores inferiores de presión a 14 kPa (140 mbar) se recomiendan los valores límites siguientes:

- J) Líneas individuales en instalaciones para suministro de gas destinadas a usos residenciales para suministro de gas a artefactos con regulador asociado. (14 kPa)
- J) Líneas individuales en instalaciones para suministro de gas destinadas a usos residenciales para suministro de gas a artefactos sin regulador asociado. (3,7 kPa)

Por ningún motivo se deben conectar a las tuberías metálicas para gas, las conexiones a tierra de redes y artefactos eléctricos de cualquier naturaleza y cuando se utilice dispositivos metálicos de fijación o anclaje para soporte de un material diferente al de la tubería deben estar recubiertos de un material dieléctrico. Las tuberías aéreas deben apoyarse sobre elementos estables, rígidos y seguros de la edificación.

El trazado, donde sea necesario, debe tener una pendiente continua o trampas para que asegure el flujo de los eventuales condensados hacia los puntos bajos para su extracción y limpieza; factores que el diseñador debe tomar en cuenta para las instalaciones.

Se recomienda el uso de juntas de expansión para compensar la dilatación, contracción, trepidación, vibración o asentamientos. Igualmente se podrán usar conectores flexibles hasta de 1 m de largo.

Las tuberías, tanques, equipos y demás elementos que conforman una instalación deben resistir la acción del gas y del medio exterior con el que estén en contacto. Se debe aplicar un sistema de protección contra la corrosión a las instalaciones de conformidad con las recomendaciones del fabricante para cada uno de los elementos mencionados o con las normas técnicas aplicables. Se debe ejercer especial cuidado en los siguientes puntos de las instalaciones, a saber:

- a) Los sitios donde se producen contactos bimetálicos por unión de tuberías de diferentes materiales, contacto de las tuberías con otros elementos metálicos de la instalación o edificación y dispositivos de anclaje.
- b) En las uniones soldadas.

- c) En las uniones mecánicas donde la corrosión puede ser ocasionada por acción bimetalica o por acción diferencial de oxigenación en las conexiones roscadas.
- d) En las uniones roscadas donde la porción roscada de la tubería que queda por fuera del accesorio se encuentra expuesta.

Se usarán reguladores de presión para compensar las variaciones graduales o imprevistas que pueden manifestarse en la presión de entrada. Soportar variaciones de volumen graduales o imprevistas sin alterar la presión de salida dentro del rango permitido según el fabricante y según las presiones máximas y mínimas de operación en la línea de salida o artefacto de consumo. Los reguladores de presión deben estar diseñados para soportar la presión máxima de operación de la línea que lo alimenta. Para la instalación de un regulador debe ubicarse una válvula de corte antes de éste.

Hay que prever necesariamente mecanismos de control de sobrepresión con el objeto de evitar sobrepresión en la instalación receptora, ésta debe contar con un dispositivo de seguridad que evite tales sobrepresiones cuando se presente una falla de algún regulador; este dispositivo puede estar integrado con el regulador o puede ser un equipo adicional que se instale en la línea. De forma general, los reguladores deben tener incluida una válvula de alivio para controlar la sobrepresión a la salida del regulador.

Al ubicar los tanques o depósitos de almacenamiento en Terrazas. Se admiten solo las instalaciones clasificadas como AA, A0, A1 y A2 hasta 12 m³ y de cumplir todas las prescripciones que se señalan para las instalaciones sobre el nivel del terreno. Un profesional competente debe certificar que la edificación soporta las cargas que la instalación produzca, tanto durante la operación como durante la prueba hidrostática, y que el piso esté construido de forma que su resistencia al fuego sea como mínimo RF-240. (NTE INEN 2260:2010).

El tanque no debe estar conectado a la línea de puesta a tierra del edificio. Es necesario aplicar polvo químico seco en el caso de la presencia de fuego en la instalación. Para el caso de las instalaciones de GLP clasificadas como A-A

(Volumen inferior o igual a 1 m³ de almacenamiento) deben disponer como mínimo de un extintor de 9 kilogramos o su equivalente.

2.3. Procedimiento de cálculo de la Instalación de redes de tuberías de GLP

En esta sección se describen algunos términos que son de necesario conocimiento para comprender el comportamiento del GLP durante su tránsito por la red de tuberías de distribución. Se expone el procedimiento seguido para determinar el diámetro requerido para la conducción y el método de solución utilizado para el cálculo y equilibrado de la red de tuberías, el mismo que está implementado en el programa "Pipe Flow Expert V.5.12", de amplia utilización en el diseño de redes de tuberías para una amplia gama de fluidos y que será utilizado por el autor de la presente investigación para el diseño de la red de tuberías de GPL del nuevo Laboratorio de Petroquímica de la ESPE.

2.3.1. Procedimiento de cálculo de los diámetros interiores de la red de tuberías de GLP

Inicialmente para fijar el diámetro interior de la red de tuberías de la instalación, hay que precisar los requerimientos a los que estará sometida desde el punto de vista de demanda, cuál es la función que cumplirá, que tiempo de servicio se requerirá para satisfacer la necesidad del uso del laboratorio, entre otras consideraciones. Así, el procedimiento de cálculo para determinar los diámetros interiores de la red de tuberías de GLP es el siguiente:

1. Determinar el caudal de flujo másico de propano o caudal nominal Q requerido para satisfacer la demanda en cada punto de entrega, por cada hora de servicio. Para ello, se tendrá en cuenta el tipo de actividad del laboratorio, el tipo de mechero a utilizar y su demanda unitaria, la cantidad de puestos de trabajo y el tiempo de servicio.
2. Calcular el caudal volumétrico a transportar a partir del caudal másico determinado.

$$Q = \frac{q}{\rho} \quad (2.1)$$

Donde:

Q : Caudal volumétrico (Gasto) (m³/h)

Q : Caudal nominal (Kg/h)

ρ : Masa volumétrica (densidad) del GLP en estado gaseoso en condiciones de temperatura ambiente 10°C - (2 Kg/m³)

3. Cálculo de la longitud total del tramo, formada por la dimensión lineal del tramo, más la longitud equivalente de los accesorios ubicados en él.

$$L = L + L \quad (2.2)$$

Donde:

L : Longitud total del tramo

L : Longitud física real del tramo

L : Longitud equivalente de los accesorios ubicados en el tramo

Cada válvula, conexión y accesorio, contribuye a la caída de presión por fricción debido a su restricción a un flujo estable. Debido a la complejidad de calcular la caída de presión a través de cada una de ellas en lo individual, la práctica normal es establecer un equivalente en longitud de tubería recta para cada accesorio. En la tabla 2.2 se muestra la longitud equivalente en metros de tubo recto para accesorios en función del tipo del diámetro de la tubería y el tipo de accesorio.

Tabla 2.2 Longitud equivalente en metros de tubo recto para accesorios.

D.E. DE LINEA		CODO 90°	CODO 45°	"T" (LINEA)	"T" (RAMAL)	VALVULAS (ABIERTAS)		
mm	puig					GLOBO	ANGULO	CHECK
12.7	1/2	0.27	0.12	0.18	0.81	4.26	2.13	1.8
15.9	5/8	0.30	0.15	0.24	0.76	4.38	2.75	2.4
22.2	7/8	0.45	0.21	0.30	1.07	6.70	3.85	3.0
28.6	1-1/8	0.55	0.27	0.46	1.37	8.53	4.80	4.3
34.9	1-3/8	0.73	0.36	0.55	1.83	11.00	5.50	4.9
41.3	1-5/8	0.85	0.43	0.61	2.13	12.80	6.40	6.1
54.0	2-1/8	1.20	0.55	0.81	3.05	17.40	8.50	7.6
66.7	2-5/8	1.40	0.67	1.07	3.85	21.00	10.40	8.3
79.4	3-1/8	1.70	0.82	1.37	4.80	25.30	12.80	9.1

Tabla 15.26 - Longitud equivalente en metros de tubo recto para válvulas y conexiones.

Fuente: <http://www.climasmonterrey.com/informacion-tecnica>

4. Cálculo del diámetro interno de la tubería

$$Q = A * V \quad (2.3)$$

Donde:

Q : Gasto volumétrico en el tramo (m^3/h)

A : Área de la sección transversal de la tubería en el tramo (m^2)

V : Velocidad del fluido al inicio de la conducción (m/s)

A partir de la fórmula del área de la sección transversal de la tubería (sección circular), despejando en ella el diámetro, la expresión para el cálculo del diámetro interior de la tubería queda como sigue:

$$d = \sqrt{\frac{4 * A}{\pi}} \quad (2.4)$$

Donde:

d : Diámetro interior de la tubería

A : Área de la sección transversal de la tubería

El valor de diámetro calculado se usará en las expresiones de cálculo de las pérdidas asociadas a la circulación del fluido para asegurar que llegue a cada punto de entrega el valor de flujo másico necesario, con la presión y velocidad del fluido requeridos. El procedimiento seguido para el cálculo de la red se describe en el epígrafe siguiente.

2.3.2. Determinación de las pérdidas de presión en tuberías de GLP

Como se conoce los fluidos en movimiento están sujetos a varias fuerzas de resistencia, que se deben a la fricción entre el fluido y las paredes de la tubería, pero la fricción también ocurre dentro del fluido como resultado del deslizamiento entre capas adyacentes de fluido.

La fricción dentro del fluido se debe fundamentalmente a la viscosidad del fluido. Cuando los fluidos tienen una alta viscosidad, la velocidad de flujo tiende a ser baja, y la resistencia al flujo se vuelve casi totalmente dependiente de la viscosidad del fluido. Esta condición se conoce como "flujo laminar".

Los fluidos que tienen una baja viscosidad generalmente se mueven a velocidades más altas. Las características del movimiento del fluido cambian se hace más irregular y la fricción entre las paredes de la tubería y el fluido se convierte en un factor a considerar. Este tipo de flujo se conoce como 'flujo turbulento'. De esta manera, el tipo de régimen al que circula el fluido tiene gran influencia en el valor de pérdida de presión de la tubería.

2.3.2.1 Pérdidas de carga en tuberías

Las caídas de presión o pérdidas de carga en la tubería están determinadas por las pérdidas por rozamiento H_{Roz} en los tramos rectos del conducto y por las pérdidas locales H_{Loc} en los accesorios y dispositivos de salida de aire. Las pérdidas por rozamiento se calculan por la conocida ecuación de Darcy-Weisbach.(González Vicente, 1983), (Nekrasov, 1986), (Pérez Franco Diosdado, 1986) (Robert W. y A. McDonald, 1995), (Streeter, Victor L., 1970)

$$h_{roz} = f \frac{L V^2}{d 2g} \quad (2.5)$$

Donde:

f : Coeficiente de resistencia por rozamiento o factor de fricción (adimensional).

L : Longitud del tramo de tubería [m]

d : Diámetro de la tubería [m]

V : Velocidad del fluido [m/s]

g : Aceleración de la gravedad [m/s²]

Los estudios experimentales realizados por Darcy-Weisbach a las pérdidas de rozamiento en tramos rectos de tuberías donde el régimen laminar o turbulento se ha desarrollado completamente, permite afirmar que la pérdida por rozamiento es:

-) Independiente de la presión bajo la cual circula el fluido.
-) Directamente proporcional a la longitud del tramo.
-) Proporcional a la velocidad media del fluido al cuadrado.
-) Inversamente proporcional al diámetro.
-) Función de las características físicas del fluido, o sea, de su densidad

absoluta y de su viscosidad.

-) En el flujo turbulento o de transición es función de las características de rugosidad de la tubería.

La determinación del factor de fricción f para un número de Reynolds mayor que 4000 ha sido objeto de estudio de diversos investigadores, entre ellos, Altshul, Colebrook, White, Haaland. Además, el valor de f puede obtenerse, con menor precisión, a partir del diagrama de Moody. (Shames Irving., 1995). Sin embargo, la fórmula de Colebrook-White permite calcular el factor de fricción con gran precisión aplicable al flujo turbulento de fluidos para un amplio rango de densidades y viscosidades de fluido, siempre que el flujo de fluido sea turbulento.

Colebrook & White combinaron las expresiones de Von Karman-Prandtl para conductos lisos y rugosos y obtuvieron una buena aproximación para el régimen turbulento de transición en tuberías comerciales, lo cual permite calcular el valor del factor de fricción de Darcy-Weisbach para cualquier régimen turbulento. (Aguirre et al., 1996), (Streeter et al., 2000). La ecuación de Colebrook & White expresa:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\epsilon}{3.7d} + \frac{2.5}{R \sqrt{f}} \right) \quad (2.6)$$

Donde:

f : Coeficiente de resistencia por rozamiento o factor de fricción (adimensional)

ϵ : Coeficiente de rugosidad de la tubería (m)

d : Diámetro de la tubería (m)

R : Número de Reynold

Como puede observarse el factor de fricción está en función del número de Reynolds del flujo, el cual depende de la velocidad del fluido y ésta a su vez de la descarga. La ecuación de Colebrook \times White, implícita para f , se resuelve iterativamente por ensayo y error, con la aplicación de algún método de aproximaciones sucesivas.

Como primera aproximación para determinar el factor de fricción de Darcy-

Weisbach puede utilizarse la ecuación de Swamee & Jain (Haestad, 2003).

$$f = \frac{1,3}{\left[11 \left(\frac{\epsilon}{3,7d} + \frac{2,7}{R^{0,9}}\right)\right]^2} \quad (2.7)$$

Número de Reynold

El número de Reynolds (Re) describe la relación entre la velocidad de un fluido, el diámetro interno de tubería y viscosidad cinemática del fluido.

Número de Reynolds = Velocidad del fluido x Diámetro interno de la tubería / Viscosidad cinemática.

La viscosidad cinemática (no la viscosidad dinámica) se debe usar para calcular los números de Reynolds. En general, se acepta que el punto de cambio (transición) entre el flujo laminar y el flujo turbulento, en una tubería circular, se produce cuando el número de Reynolds (Re) es de aproximadamente 2000. Es decir, el flujo laminar ocurre cuando Re es menor que 2000. Se produce un flujo turbulento cuando Re es mayor de 4000

Cálculo de pérdidas locales

Por otra parte, las pérdidas locales pueden calcularse según la expresión siguiente: (Shames Irving., 1995)

$$H_{LOC} = X \cdot \frac{V^2}{2g} \quad (2.8)$$

Donde:

ϵ : Coeficiente de resistencia local

Las resistencias locales provocan el cambio de la velocidad de movimiento del fluido, por su valor (en estrechamientos y ensanchamientos), por su dirección (en los codos), o por su valor y dirección al mismo tiempo (en T, Y, Reguladores de velocidad, etc.). (Nekrasov, 1986), (Shames Irving., 1995).

Desde el punto de vista práctico, resulta cómodo determinar las resistencias locales a partir de la longitud equivalente Leq , o sea, la longitud del sector recto

de un tramo de tubería de un diámetro dado, en el cual las pérdidas de altura de presión por rozamiento en la longitud HL_{Roz} , se consideran iguales (equivalente) a la pérdida de altura de presión HL_{Loc} , provocada por la correspondiente resistencia local, y se puede obtener como (Ravinovich E. Z., 1987)

$$L_{eq} = X \cdot B \frac{d}{f} \quad (2.9)$$

A la investigación de las resistencias locales se ha dedicado un gran número de trabajos, fundamentalmente experimentales (González Vicente, 1983a), (González Vicente, 1983b). El coeficiente de resistencia local κ depende no sólo del tipo de resistencia local, sino, además, del carácter del régimen de movimiento del fluido, o sea, del número de Reynolds.

Resulta de gran utilidad durante el diseño de redes de tuberías el uso del software Pipe Flow Expert para el trazado y cálculo de tuberías. En el caso concreto del cálculo de las pérdidas locales, al determinar la resistencia que sufre el fluido en su paso a través de los accesorios de tubería éstas pueden calcularse a partir del factor 'K' de ajuste. Pipe Flow Expert cuenta con una base de datos que contiene el valor del factor 'K' para cada accesorio disponible en su librería. El usuario puede incluir un nuevo componente e ingresar el flujo y la información de pérdida de carga sobre un componente que será incluido en el sistema de tuberías. Pipe Flow Expert genera una curva de rendimiento para que el componente adicionado pueda ser modelado.

Coeficientes de flujo Cv y Kv en Pipe Flow Expert

Muchos fabricantes de válvulas de control establecen un coeficiente de flujo C_v (sistema inglés) o un coeficiente de flujo K_v (sistema internacional) para describir las características de flujo / pérdida de presión de sus válvulas de control de manera estandarizada.

Coeficientes de flujo C_v :

Un coeficiente de flujo C_v especifica la cantidad de agua a 60 ° F (15.55 ° C) en US gpm que fluirá a través de una válvula y produce una caída de presión de 1,0 psi. Por lo tanto, un coeficiente de flujo C_v de 10 indica que se producirá

una caída de presión de 1,0 psi con una circulación de agua de 10 US gpm a través de la válvula.

El coeficiente de flujo C de una válvula de control puede calcularse a partir de la velocidad de flujo y la caída de presión a través de la válvula. Para determina su valor en líquidos distintos del agua, se utiliza la relación entre la densidad del fluido utilizado y la densidad del agua.

$$C = \frac{Q}{\sqrt{\frac{\Delta}{S}}} \quad (2.10)$$

Donde:

C : Coeficiente de flujo

Q : Tasa de flujo en gpm.

Δ : Pérdida de presión en psi a través de la válvula

S : La relación entre la densidad del fluido y la densidad del agua

Con un coeficiente de flujo de C conocido, la fórmula anterior se puede utilizar para calcular la pérdida de presión, para un caudal particular así:

$$\Delta = \frac{S * Q^2}{C^2} \quad (2.11)$$

La pérdida de presión a través de un accesorio o válvula también se puede calcular a partir de la expresión:

$$P = \frac{h * \rho}{1} \quad (2.12)$$

Donde:

P : Presión en psi

h : fluido en pies

ρ : Densidad de fluido en lbs / ft

Por lo tanto, una caída de presión de 1.0 psi equivale a 2.31 pies de agua a temperatura y presión normal (NTP) o 62.3 lbs / ft³

Cuando se conoce el diámetro de una tubería, es posible establecer una velocidad de flujo a partir del coeficiente de flujo C_v en US gpm para una caída de presión de 1 psi. Por lo tanto, es posible calcular un factor de ajuste equivalente 'K' que producirá la misma pérdida de presión que la válvula de control C_v .

Pipe Flow Expert utiliza el método de ajuste equivalente del factor 'K' para modelar el flujo y la pérdida de presión a través de una válvula de control donde se usa un coeficiente de flujo C_v para especificar las características de la válvula de control.

Un cambio en el diámetro de la tubería daría lugar a un cambio en el valor del factor de ajuste equivalente 'K'. Pipe Flow Expert vuelve a calcular el factor de ajuste equivalente "K" para el nuevo diámetro de tubería y densidad de fluido para las nuevas dimensiones de la tubería.

Coeficiente de flujo K_v :

Un coeficiente de flujo K especifica la cantidad de agua a 20 ° C (68 ° F) en m^3/h que fluirá a través de una válvula y produce una caída de presión de 1,0 bar. Por lo tanto, un coeficiente de flujo K de 10 indica que un 1,0 bar la caída de presión ocurrirá con un 10 m^3/h de circulación de agua a través de la válvula.

El coeficiente de flujo K de una válvula de control se puede calcular a partir de la velocidad de flujo, la caída de presión a través de la válvula y la densidad del líquido en kg/m^3

$$K = Q \sqrt{\frac{\rho}{1000 \cdot \Delta}} \quad (2.13)$$

Donde:

K : Coeficiente de flujo

Q : Caudal en m^3/h

Δ : Pérdida de presión a través de la válvula

ρ = la densidad del fluido en kg/m^3

1000 = la densidad del agua en kg/m^3

Como se puede observar la fórmula para el cálculo de K es semejante a la utilizada para el cálculo de C . Con un coeficiente de flujo de K conocido, la fórmula anterior se puede reorganizar para calcular la pérdida de presión para un caudal específico de la siguiente manera:

$$\Delta = \frac{\rho * Q^2}{1 * K^2} \quad (2.14)$$

La pérdida de presión a través de un accesorio o válvula también se puede calcular a partir de:

$$P = \frac{h * \rho * g}{1} \quad (2.15)$$

Donde:

P : Presión en bar

h : fluido en m

ρ : Densidad de fluido en kg/m³

g : Aceleración de la gravedad en m/s²

Cuando se conoce el diámetro de una tubería, es posible establecer el flujo a partir del coeficiente de flujo K en m³/h para una caída de presión de 1 bar. Por lo tanto, es posible calcular un factor de ajuste equivalente 'K' que producirá la misma pérdida de presión que la válvula de control K .

Pipe Flow Expert utiliza el método de ajuste equivalente del factor 'K' para modelar el flujo y la pérdida de presión a través de una válvula de control donde se usa un coeficiente de flujo K para especificar las características de la válvula de control.

Un cambio en el diámetro de la tubería daría lugar a un cambio en el factor correspondiente "K" correspondiente. Pipe Flow Expert vuelve a calcular el factor de ajuste equivalente "K" para el diámetro de tubería y la densidad de fluido actuales.

El factor de conversión entre los coeficientes K y C será:

$$1.000 K = 1.156 C$$

Se debe tener en cuenta que el coeficiente de flujo C o K especifica el caudal de agua para una pérdida de presión particular. Cuando la densidad del fluido es mayor o menor que el agua, se requerirá un caudal diferente para producir una 1.00 psi o una pérdida de presión de 1 bar a través de la válvula.

2.3.3. Cálculo de las pérdidas de presión totales en la tubería

Al calcular las pérdidas totales como la suma de las pérdidas por rozamiento y locales, sólo se obtienen resultados correctos cuando las longitudes de los sectores rectos de la tubería entre las distintas resistencias locales son tales que en sus límites cesa la influencia de perturbación de las resistencias y el flujo se estabiliza. La longitud de sector con estas características se conoce con el nombre de L_{inf} y se calcula como:

$$L_{inf} = X \cdot 0,5 B d B \frac{K}{f} \quad (2.16)$$

Donde:

L_{inf} : Longitud inferior del tramo de tubería

d : Diámetro interior de la tubería

K : Coeficiente de resistencia local

f : Coeficiente de resistencia por rozamiento o factor de fricción (adimensional)

Cuando las distancias entre las resistencias locales son menores que L_{inf} la interferencia entre las resistencias puede ser muy significativa e influir de forma sustancial en la exactitud de los cálculos. Para el régimen turbulento y cálculos aproximados L_{inf} se puede determinar como: (González Vicente, 1983a), (Nekrasov, 1986).

$$L_{inf} = X \cdot (20 Z 50) B d \quad (2.17)$$

Finalmente, mediante la ecuación de Bernoulli se establece la dependencia entre la velocidad y la presión, en las diferentes secciones de un mismo tramo de tubería. En un fluido (en el cual surgen tensiones tangenciales) la energía específica total o altura de presión disminuye en el sentido del movimiento, como

consecuencia de las pérdidas de energía en la superposición de las resistencias al movimiento, las cuales están condicionadas por las resistencias internas en un fluido viscoso. La ecuación de Bernoulli se expresa en la ecuación 2.18 como sigue:

$$Z_1 + \Gamma \frac{P_1}{\rho} + \Gamma r \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \Gamma \frac{P_2}{\rho} + \Gamma r \frac{V_2^2}{2g} + \Gamma h_{1-2} \quad (2.18)$$

Donde:

Z: Altura de posición, geométrica o de nivelación [m].

P/ρ : Altura piezométrica o de presión [m].

$V^2/2g$: Altura cinética o de velocidad [m].

r : Coeficiente de Coriolis, para las secciones 1 y 2.

ϕh_{1-2} : Pérdidas totales [m].

En la ecuación 2.18 las velocidades V_1 y V_2 son velocidades medias, pues en una sección, como consecuencia de la viscosidad del fluido y las tensiones tangenciales y por el rozamiento del fluido con las paredes del conducto, las velocidades son diferentes. En el centro la velocidad es mayor y va disminuyendo a medida que se acerca a las paredes del conducto, por tanto, en la sección se obtiene una distribución irregular de velocidades.

El coeficiente de Coriolis (ζ), llamado también coeficiente de corrección de la energía cinética, surge para contrarrestar la irregularidad en la distribución de velocidades y constituye la relación entre la energía cinética real del fluido que pasa por la sección transversal en la unidad de tiempo y la energía cinética que tendría lugar con el mismo gasto, si todas las partículas tuvieran iguales velocidades e idénticas a la velocidad media.

Las pérdidas totales (ϕh_{1-2}) representan la pérdida de energía por la unidad de peso del fluido durante la superposición de las resistencias al movimiento del fluido entre las secciones indicadas, y son provocadas por H_{Roz} y H_{Loc} y se determinan de la manera siguiente:

Sistema internacional:

$$P = h * \rho * g / 1000000 \quad (b)$$
 (2.19)

Donde:

h = pérdida de carga (m)

ρ = densidad del fluido (kg / m³)

g = aceleración debido a la gravedad (m / s²)

Sistema inglés:

$$P = h * S * 2,311 \quad (p)$$
 (2.20)

Donde:

psi = h fluido x SG x 2.311

h = pérdida de carga (pies)

SG = gravedad específica del fluido

2.3.4. Determinación de los valores desconocidos durante el equilibrado de la red de tuberías en Pipe FLOW Expert

Pipe Flow Expert genera estimaciones iniciales del caudal en cada punto de salida del sistema de tuberías. Los flujos de salida se usan para estimar la tasa de flujo en cada tubería. Las pérdidas de presión dentro del sistema se calcula utilizando los factores de fricción obtenidos de la ecuación de Colebrook-White (2.6), y la pérdida de presión de fricción para cada tubería se obtiene de la ecuación de Darcy-Weisbach (2.5).

Al inicio es poco probable que las estimaciones den un resultado de presión equilibrada en todo el sistema y deben ser ajustadas usando una variación en el método de Newton para converger a un resultado final donde todo el flujo, las tasas y las presiones dentro del sistema están equilibradas. Pipe Flow Expert define los elementos del sistema de tuberías en una serie de ecuaciones matriciales no lineales. Una vez que una solución aproximada ha sido obtenida, los resultados se refinan utilizando una variación del algoritmo del método de Newton para garantizar que los resultados converjan a un resultado equilibrado de flujo y presión.

Tolerancias de cálculo del sistema informático

Pipe Flow Expert utiliza un enfoque de dos pasos para calcular un estado de equilibrio de flujo constante para un sistema.

Se obtiene una solución aproximada inicial utilizando métodos de Teoría lineal y un enfoque iterativo para ajuste de las velocidades de flujo hasta que se logre un equilibrio de presión aproximado.

Un enfoque alternativo es usar estimaciones para los flujos externos y usar estas estimaciones para establecer una tasa de flujo inicial en cada tubería, con el flujo total en cada punto de unión que coincida con el flujo total de salida en el punto. Es poco probable que las estimaciones de flujo inicial, den un resultado de presión equilibrada en todo el sistema, por lo que se deberá refinar la solución mediante iteraciones hasta lograr que las tasas de flujo se encuentren en equilibrio de presión aproximado.

Pipe Flow Expert define los elementos del sistema de tuberías en una serie de ecuaciones matriciales y utiliza el método de Newton para ajustar las estimaciones del caudal en cada tubería.

Una vez que se ha obtenido una solución aproximada, los resultados se refinan usando una variación del Método de Newton para garantizar la convergencia hasta que se obtenga un resultado de presión equilibrada.

Se usa una tolerancia de balance de flujo y una tolerancia de balance de presión aproximada para permitir que Pipe Flow Expert encuentre una solución aproximada rápidamente. Esta solución aproximada luego se refina hasta que se resuelve dentro de la tolerancia de balance de presión final.

Las tolerancias de balance de flujo y presión y el número máximo de iteraciones permitidas, ha sido elegido para proporcionar el mejor rendimiento general en la búsqueda de una solución. Se recomienda que estos valores no se modifiquen, ya que la mayoría de los sistemas se resolverán sin ajustes a estos parámetros.

2.4. Conclusiones parciales

Como conclusiones parciales del capítulo se presentan las siguientes:

1. Se obtuvo un procedimiento para el diseño de instalaciones centralizadas de GLP en edificaciones, con el contenido y consecutividad de pasos a seguir durante el diseño de la instalación, que considera las particularidades del cumplimiento del destino de servicio o función para la que está prevista la instalación así como, las regulaciones y recomendaciones contenidas en (NTE INEN 2260:2010) para asegurar la calidad requerida del diseño de este tipo de instalaciones.
2. Fueron expuestos los fundamentos matemáticos y los métodos de cálculo utilizados para el diseño racional de instalaciones de GLP aplicado al cálculo de diámetros internos de tuberías, las pérdidas de energía en las conducciones, velocidades, y los asociados a la determinación del caudal de flujo másico requerido para la instalación y selección de los tanques de depósito de GLP.
3. Mediante la ecuación de Colebrook \times White, implícita para la fricción (f), se determina iterativamente, por el método de aproximaciones sucesivas, el valor de dicho coeficiente y se realiza el cálculo de las pérdidas por rozamiento según los postulados de Darcy-Weisbach para régimen turbulento. Con este fin, dada la complejidad de su implementación por métodos tradicionales se utilizará el software Pipe Flow Expert para el trazado y cálculo de tuberías, de amplio uso internacional para la solución de este tipo de tarea.

CAPÍTULO III. CONCEPCIÓN DEL DISEÑO DE LA INSTALACIÓN CENTRALIZADA DE GLP PARA EL LABORATORIO DE PETROQUÍMICA.

La nueva propuesta de diseño del sistema de GLP deberá satisfacer los requerimientos impuestos por la demanda actual y futura del laboratorio y además, dar solución a las deficiencias que presentaba la anterior red de suministro de gas licuado. Entre los problemas principales de la instalación original se encuentran:

-) La red de gas licuado no respondía a la demanda actual del laboratorio, como resultado del crecimiento de la matrícula de estudiantes
-) Abastecimiento irregular e interrumpido al laboratorio
-) El suministro de gas licuado se realizaba a partir de cilindros portátiles con poca capacidad de almacenamiento (15 kg)
-) La ubicación de los cilindros no ofrecía la seguridad requerida, con peligro de contaminación ambiental e intoxicación a los usuarios por no contar con un sistema de ventilación mecánica que permitiera evacuar los gases hacia el exterior del laboratorio.

Para dar solución a esta problemática se decidió realizar el cambio del sistema de alimentación mediante cilindros portátiles, a un sistema estacionario (permanente) y se fijaron como requerimientos para el nuevo sistema los siguientes:

-) Instalación del sistema estacionario en el exterior del edificio, preferiblemente en un punto elevado (azotea)
-) Llenado con facilidad de los tanques estacionarios mediante carros cisternas.
-) Abasto en los puntos de entrega mediante un sistema centralizado que abarca los dos pisos de la construcción civil del laboratorio.
-) Sistema de regulación de presión en dos etapas.
-) Satisfacer los requerimientos actuales y futuros, para un período de cinco años de explotación del laboratorio.
-) Observar el cumplimiento de las normas técnicas vigentes para este tipo de instalación.

Al aplicar la metodología definida en el Capítulo II de la tesis y teniendo en cuenta los requerimientos para la Instalación de Gas Licuado del Petróleo en el nuevo Laboratorio, se procede a realizar el diseño de la instalación centralizada de GLP.

3.9. Definición de la función o destino de servicio para el que está prevista la instalación de GLP

El diseño del sistema centralizado de GLP para el nuevo Laboratorio deberá satisfacer los requerimientos de suministro de gas desde el depósito estacionario ubicado en la azotea de la edificación hasta los puntos de consumo en los puestos del laboratorio y cabinas, habilitados con mecheros tipo Bunsen.

El laboratorio está compuesto por una edificación habilitada con 6 laboratorios distribuidos en sus dos pisos, e instalaciones sociales como: oficinas, baños, salas de estar, entre otras. El soporte de la edificación es una estructura de vigas metálicas y en los techos de cada piso se ubican vigas dispuestas horizontalmente bajo el falso techo que obstaculizan el paso de la instalación y deberán ser bordeadas mediante trayectorias en "U" de la red de gas licuado.

El edificio cuenta con un sistema de ventilación mecánica, un sistema de aire comprimido y vacío, un sistema de gases industriales así como, instalaciones hidro-sanitarias. Estos sistemas deberán compartir espacios en el falso techo de los laboratorios por lo que la trayectoria de la red de tuberías de GLP será afectada por restricciones de espacio físico y de configuración impuestas por la construcción civil de la edificación.

3.10. Denominación del gas combustible a utilizar

El gas a utilizar en la instalación es Gas Licuado de Petróleo (GLP) propano, que pertenece a los gases de la tercera familia. El poder calorífico del propano comercial es:

) Poder calorífico inferior (P.C.I.) es: 11.082 Kcal/Kg

) Poder calorífico superior (P.C.S.) es: 12.052 Kcal/Kg.

Las presiones de uso normal en los aparatos para la tercera familia del gas y específicamente el Propano comercial es de: 2,5 kPa a 3,7 kPa

3.11. Determinación de la demanda calorífica en cada puesto del laboratorio

Inicialmente se debe seleccionar el tipo de mechero Bunsen que se utilizará, a partir del tipo de trabajo a realizar en los puestos del laboratorio. El mechero tipo Bunsen posee características idóneas, con un quemador que asegura una llama de base amplia y uniforme, adecuado para el calentamiento y esterilización, asegura una combustión completa y limpia, sin hollín ni residuos con buen poder calorífico (William B. Jensen, 2005). El mechero Bunsen seleccionado entrega 2.354,38 BTU/h (593,30 kcal/h). En adición a los mecheros se instalará en el Laboratorio una Caldera de 429.280 BTU/h (108.178,56 kcal/h)

3.12. Determinación del caudal nominal estimado de flujo másico

Para la determinación del caudal nominal de flujo másico de GLP en la instalación se dividió el consumo en tres fuentes. La primera fuente es la de los mecheros ubicados en los puestos de trabajo de los laboratorios y se ha llamado demanda principal de los mecheros (D), compuesta por 63 mecheros ubicados en los 6 laboratorios de la instalación, la segunda fuente la forman 11 mecheros que se ubican en cabinas y que constituyen la demanda secundaria (D) y la tercera fuente de demanda es la caldera.

Para la fuente de demanda principal de los mecheros se definieron dos factores que la afectan: el factor de simultaneidad de laboratorios (f), el que considera que no todos los laboratorios estarán ocupados al mismo tiempo y el factor de simultaneidad de puestos en un laboratorio (f) el que considera que no todos los mecheros estarán encendidos al mismo tiempo en un laboratorio. Así, el factor de demanda principal de los mecheros (f) se determina por la expresión siguiente:

$$f = f * f \quad (3.1)$$

Donde:

f : Factor de demanda en los laboratorios y puestos de trabajo

f : Factor de simultaneidad del uso de laboratorios

f : Factor de simultaneidad de puestos en un mismo laboratorio

Los valores de estos factores se determinaron a partir del análisis de la planificación docente de las asignaturas en las que se utilizó el laboratorio de Petroquímica durante los últimos tres años y según la proyección de utilización para los próximos cinco años, fijándose los valores de $f = 0.6$ y $f = 0.7$ para cada factor, lo que resultó un valor del factor de demanda de $f = 0.42$

Así, para determinar la demanda principal de los mecheros (D) se deberá considerar el consumo de los 63 mecheros afectado por el factor de demanda f correspondiente a este grupo y será:

$$\begin{aligned} D &= N * D * f & (3.2) \\ D &= 63 * 2.354,38 * 0.42 \\ D &= 62.296,89 \text{ BTU/h} = 15.698,82 \text{ KCal/h} \end{aligned}$$

Donde:

D : Demanda principal en mecheros

N : Número de puestos de consumo en los laboratorios

D : Demanda unitaria del puesto de consumo

Para determinar la demanda secundaria en mecheros (D), se establece el factor de simultaneidad de puestos secundarios (f) que considera que no todos los mecheros ubicados en cabinas estarán encendidos al mismo tiempo. Se asigna el valor de (f) = 0,3 a partir del uso ocasional de los mecheros en cabinas.

Así, al considerar el consumo de los 11 mecheros que componen el segundo grupo queda definida la D de la manera siguiente:

$$\begin{aligned} D &= N * D * f & (3.3) \\ D &= 11 * 2354,38 * 0.3 \\ D &= 7.769,45 \text{ BTU/h} = 1.957,90 \text{ KCal/h} \end{aligned}$$

Donde:

D : Demanda secundaria (kcal/h)

N : Número de puestos auxiliares

f : Factor de simultaneidad de puestos secundarios

Finalmente, la Potencia nominal P que deberá entregar el sistema para satisfacer la demanda en todos los puestos del Laboratorio más el consumo de la caldera se determinó por la expresión:

$$\begin{aligned} P &= D + D + D & (3.4) \\ P &= 15.698,82 + 1.957,90 + 108.178,56 \\ P &= 125.835,28 \text{ kcal/h} \end{aligned}$$

Donde:

P : Potencia nominal requerida (kcal/h)

D : Demanda de la caldera (kcal/h)

El flujo másico nominal estimado GLP (F) se determina al dividir la P entre el Poder Calorífico Superior para el propano comercial:

$$F = \frac{P}{P} = \frac{1.258.352}{125.835,28} = 10,44 \text{ Kg/h} \quad (3.5)$$

Donde:

F : Flujo másico nominal (Kg/h)

P : Potencia nominal (kcal/h)

P : Poder calorífico superior, para el propano comercial: 12.052 Kcal/Kg

$$\begin{aligned} Q &= \frac{F}{\rho} & (3.6) \\ Q &= \frac{10,44}{2} = 5,22 \text{ m}^3/\text{h} \end{aligned}$$

Donde:

Q : Caudal volumétrico (Gasto) en estado gaseoso (m^3/h)

ρ : Masa volumétrica (densidad) del GLP en estado gaseoso en condiciones de temperatura ambiente 10°C - (2 Kg/m³)

Se conoce que el gas licuado de petróleo en estado líquido con una mezcla propano 80% y butano 20%, tiene la capacidad de producir por cada litro en fase líquida, 262 litros de vapor. El consumo de propano en estado líquido Q se determina de la manera siguiente:

$$Q = \frac{5}{2} = 19,92 \text{ l/h} = 0.0199 \text{ m}^3/\text{h} \quad (3.7)$$

Donde:

Q : Gasto de propano en estado líquido (m^3/h)

Relación: 1 litro de propano líquido = 262 litros de vapor de propano

3.13. Cálculo del consumo nominal de GLP

El consumo nominal de GLP de la instalación se determina al multiplicar el Q por la cantidad de horas que se prevé funcionen los laboratorios, puestos auxiliares y la caldera. Se ha considerado que todas las fuentes de consumo funcionen en jornadas de 5 horas diarias. Se deberá estimar también la autonomía del **sistema** centralizados de GLP. Estos sistemas se diseñan con una autonomía promedio de al menos una semana, determinados por motivos de rentabilidad del servicio de recarga. En el presente proyecto se asumirá una autonomía de la instalación de 6 días hábiles. Así, el consumo nominal de GLP del laboratorio para 6 días hábiles, se determina por la expresión siguiente:

$$\begin{aligned} C &= Q * T * A & (3.8) \\ C &= 10,44 * 5 * 6 \\ C &= 313,2 \text{ kg} \end{aligned}$$

Donde:

C : Consumo nominal de GLP en estado gaseoso (kg)

T : Tiempo de operación de la instalación diariamente, incluyendo la caldera (h)

A: Autonomía de servicio del laboratorio (6 días)

El consumo nominal equivalente de combustible en estado gaseoso en unidades volumétricas es:

$$\begin{aligned} C &= \frac{c}{\rho} & (3.9) \\ C &= \frac{313,2}{2} = 156,6 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

El valor equivalente del consumo volumétrico de combustible C en estado líquido es:

$$C = \frac{1}{2} = 597,71 \text{ l} = 0.597 \text{ m}^3 \quad (3.10)$$

3.14. Cálculo de la capacidad total y volumen del tanque

El tanque por norma de seguridad solo debe llenarse hasta el 85% de su capacidad nominal, y la mínima cantidad de GLP en el tanque deberá ser de un 20% de su capacidad nominal (Panchi, A., David, B., León, T., & Javier, W., 2016). Así, del contenido de GLP, el 65% constituye precisamente la cantidad útil de GLP, que deberá corresponder al valor de la Potencia nominal P solicitada al sistema y ser aprovechada en su totalidad para asegurar una vaporización eficiente. Elegir un nivel mínimo de GLP en el tanque superior al 20% atenta contra la autonomía del sistema.

El diseño y construcción del tanque debe cumplir con las especificaciones de la norma (NTE INEN 2 261, 2010) y tener la certificación de conformidad con la norma. Con estas premisas, a partir del valor requerido de consumo volumétrico de combustible C y conociendo que solo se aprovechará el 65 % de su capacidad nominal, se tiene:

$$C = C + (k * C) \quad (3.11)$$

$$C = 0.597 + (0.35 * 0.597)$$

$$C = 0,806 \text{ m}^3$$

Donde:

C : Capacidad total requerida del tanque (m^3)

C : Consumo volumétrico de combustible GLP en estado líquido (m^3)

k : Coeficiente que considera la parte del volumen del tanque no utilizable (35%)

Selección del tanque:

Según el valor determinado de la capacidad total requerida del tanque C , éste clasifica en la categoría AA (NTE INEN 2 260-2010-01, 2010), a la que pertenecen las instalaciones con una carga igual o inferior a 1 m^3 . Se seleccionaron dos tanques de GLP con capacidad $0,454 \text{ m}^3$ cada uno que

aseguran un volumen de 0,908 m³ superior al volumen requerido $C = 0,806 \text{ m}^3$.

El tanque tiene una presión de diseño de 1,72 MPa (249,46 psi) y una presión de prueba de 2,2 MPa (319,08 psi), de espesor 5,2 mm, diámetro 0,7m, altura entre tapas de 1.00m. Incluye material de soporte, válvula de llenado, válvula fase líquida, válvula de seguridad, nivel magnético, multiválvula y conexión a tierra.

3.15.Composición y distribución del sistema de redes de GLP para el laboratorio

El sistema de redes de GLP del laboratorio de Petroquímica lo conforman básicamente: La red de alimentación, para el llenado de los tanques de depósito, y las redes de servicio de media (5-20psi) y baja presión (1psi). A continuación se plantean las consideraciones del diseño de ambas redes.

Selección del tipo de tubería para el sistema

Las tuberías que se utilizarán en la instalación son metálicas conforme a lo establecido en (NTE INEN 2 2260:2010). Se han seleccionado tuberías de acero al carbono para el abastecimiento de gas desde el camión cisterna hasta el depósito o tanques y de cobre para las de servicio, resistentes al paso del Gas Licuado de Petróleo y al medio exterior al que están expuestas. Así como, tuberías flexibles de acero inoxidable para las uniones de entrada y salida al tanque y flexibles de polietileno para la unión de los mecheros en los puntos de entrega.

La descripción del material utilizado en las conducciones se indican a continuación:

-) Tubería de Hierro Negro SCH 80. Tuberías y Accesorios ASTM A53B
-) Tubería de cobre rígida o flexible de tipo L, sin costura, fabricada según la norma ISO 1635 ó ASTM B88.
-) Tubería flexible corrugada de acero inoxidable tipo CSST, fabricada según la norma ANSI/AGALC1.

La selección de tuberías de cobre tipo L para las conducciones de servicio de

media y alta presión responde a las incuestionables ventajas que ofrecen frente a la tubería de acero:

-) Presenta poca resistencia al paso de los fluidos lo que proporciona una baja pérdida de carga por la alta calidad superficial.
-) Presta facilidad para la instalación, porque el método de corte es sencillo y se une con acoplamientos herméticos mediante soldadura fuerte o acoplamientos mecánicos
-) Es mucho más ligero que el acero, con lo que se facilita el transporte e instalación en paredes y pisos más delgados.
-) Posee alta resistencia a la corrosión, que impide la formación de depósitos de sales que obstruyen el paso de los fluidos.
-) Tiene punto elevado de fusión (1 083 °C) que permite que en caso de incendio la cañería tarde en fundirse e impide que el gas contenido contribuya al fuego.
-) No se descompone por el calor, lo que inhibe la producción de gases altamente venenosos.
-) Mantiene las características del cobre primario refinado de la producción minera al ser reciclado. Por lo cual, las tuberías desempotradas son vendidas como chatarra a buen precio.

3.15.1. Red de alimentación, para el llenado de los tanques

La edificación del Laboratorio de Petroquímica está construida en dos pisos, y es preciso conducir el GLP desde el camión cisterna al nivel del terreno, hasta los dos tanques ubicados en la azotea de la edificación. En la Figura 3.1 se muestra una sección del plano de la azotea dibujado en AutoCAD en 2D, donde se aprecia la red de tubería de alimentación indicada en doble trazos de color naranja, desde la zona A (entrada de la tubería de alimentación a la azotea) a la B donde se ubican los tanques que almacenarán el propano en estado líquido. La tubería es de diámetro 1 ¼”.

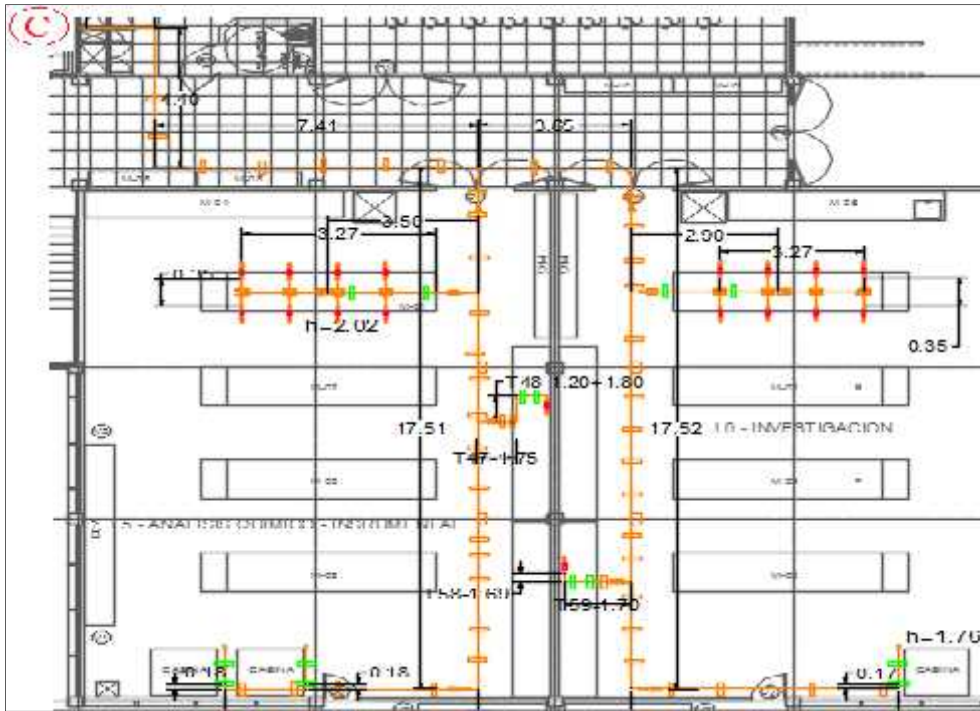


Figura 3.2: Representación de la red de servicio de mediana y baja presión correspondiente al 2do. Piso.

Fuente: IMETAL (Industria Metálica)

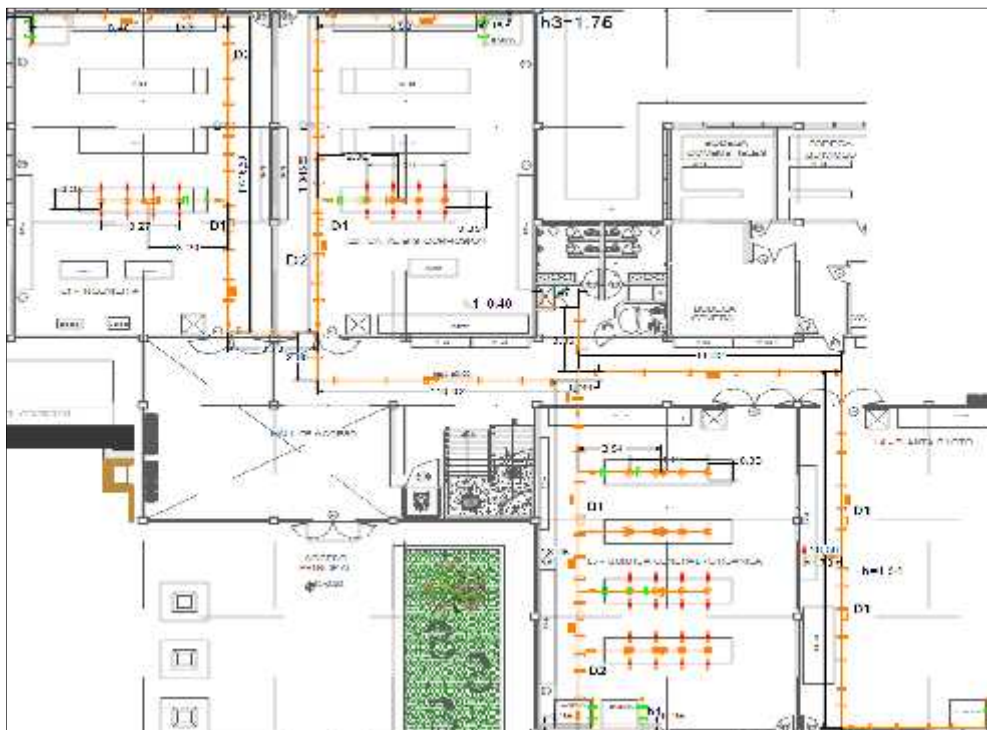


Figura 3.3: Representación de la red de servicio de mediana y baja presión correspondiente al 1er. piso.

Fuente: IMETAL (Industria Metálica)

3.15.3. Cálculo del diámetro interior de la tubería de media y baja presión

Corresponde determinar el valor del diámetro interior de las tuberías de media y baja presión. Este valor estará asociado directamente a la magnitud de flujo volumétrico de gas que transitará desde los tanques hasta los puntos de entrega, definido por el valor de Q calculado en el epígrafe 3.3. Al utilizar las ecuaciones (2.3) y (2.4) del capítulo II, se determina inicialmente el valor del Área de la sección transversal requerido para transportar el caudal necesario a un valor de velocidad promedio de 15 m/s, recomendada para este tipo de conducción.

$$A = \frac{Q}{V}$$

$$A = \frac{5,22 \text{ m}^3/h}{15 \text{ m/s} * 3600 \text{ s}}$$

$$A = 9,6 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

Determinado el valor del área de la sección transversal circular de la tubería se puede determinar el valor del diámetro de la conducción mediante la ecuación (2.4) del capítulo II, la que se repite por comodidad.

$$d = \sqrt{\frac{4 * A}{\pi}}$$

$$d = \sqrt{\frac{4 * 9,6 \times 10^{-5}}{\pi}}$$

$$d = 11,09 \text{ m}$$

A partir del valor de diámetro interno determinado se selecciona una tubería de 1/2”.

3.15.4. Cálculo hidráulico de la red de tubería de media y baja presión

Definida la trayectoria de la red de servicio con las dimensiones longitudinales de cada tramo y la ubicación de los accesorios tales como: codos, T, válvulas de globo y regulación de presión, entre otros, se realiza el cálculo hidráulico de equilibrado de la red. Este es un proceso de varias iteraciones que se realiza con la ayuda de recursos computaciones y el software Pipe Flow Expert el que genera estimaciones iniciales del caudal en cada punto de salida del

sistema de tuberías. Se calculan las pérdidas de presión dentro del sistema utilizando los factores de fricción obtenidos de la ecuación de Colebrook-White (2.6), y la pérdida de presión por rozamiento para cada tubería de la ecuación de Darcy-Weisbach (2.5)

La Figura 3.4 muestra una representación en vista general de toda la red de distribución de media y baja presión. Se observan los dos tanques ubicados en la azotea de la edificación identificada con la letra B (se corresponde con la zona B de la Figura 3.1), desde donde se distribuye el gas por una conducción a la zona C (identificada como zona C de la Figura 3.1).

A partir ahí, se realiza una derivación de la conducción al segundo piso y continúa el trazado principal al primer piso identificado como zona D, donde se realiza una trifurcación para abarcar los laboratorios del piso.

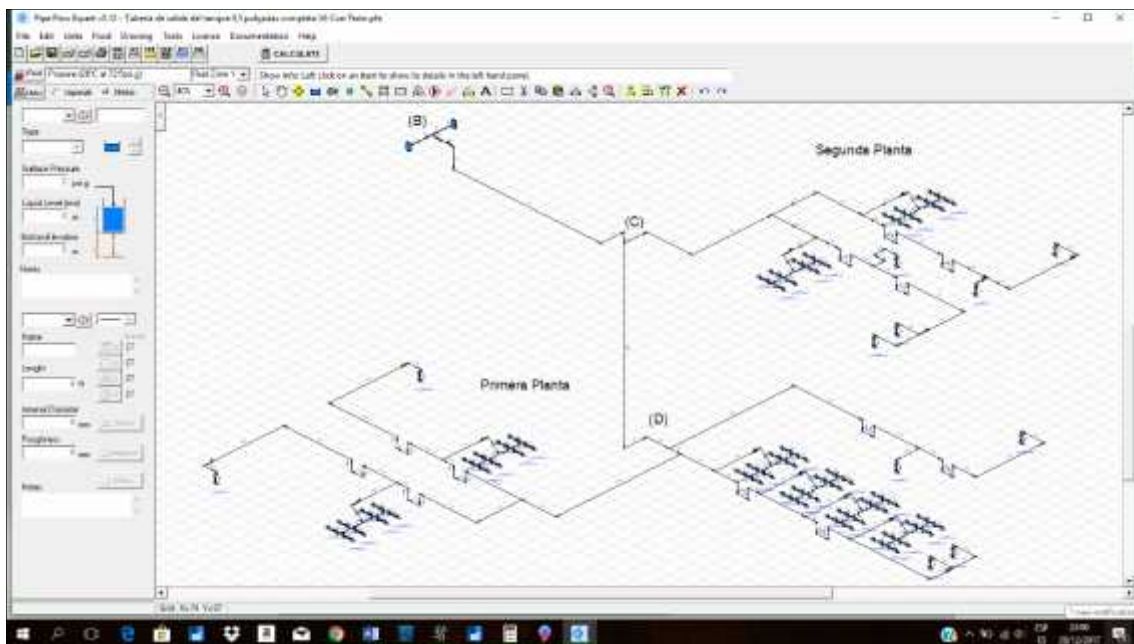


Figura 3.4: Representación, en vista general, de la red de servicio de mediana y baja presión

Fuente: IMETAL (Industria Metálica)

Descripción de la sección de la red sobre la azotea

En la Figura 3.5 se observa una vista de la red de servicio de mediana presión que sale de los tanques llevando el gas por la conducción principal de la zona

B a la zona C. Puede apreciarse la ubicación de la Válvula Reguladora de Presión (VRP) de 1ra. Etapa sobre el tramo de tubería P6, mediante la cual se regula la presión de 100-30 psi.

Al bajar la conducción verticalmente 1,5 m por el tramo P7 se alcanza la altura de la azotea y se despliega un tramo horizontal P8 de longitud 13 m para luego realizar un giro de 90° a la izquierda a través del tramo P9, alcanzándose la zona C, para bajar posteriormente por el tramo P10 hasta la derivación P11 que conduce al 2do. Piso donde. La conducción principal continúa hasta el 1er. Piso para distribuir el servicio a los restantes laboratorios y puestos auxiliares del piso.

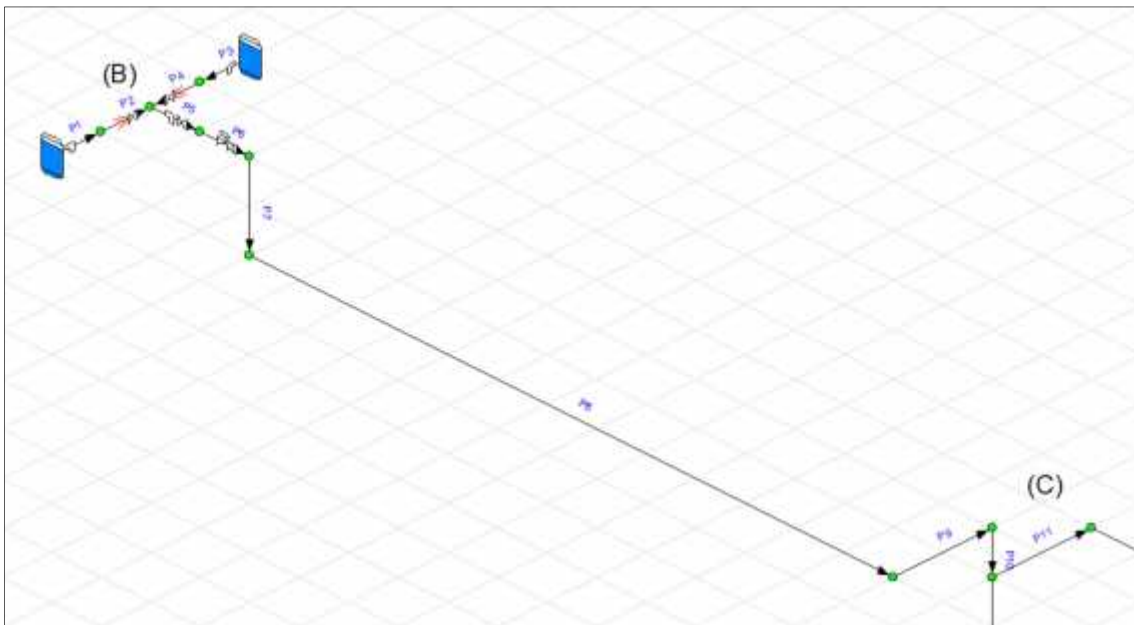


Figura 3.5: Sección de la red de servicio de mediana presión que sale desde los tanques hasta la zona C, con la primera derivación hacia el 2do. Piso.

Fuente: IMETAL (Industria Metálica)

Un proceso similar se siguió para el trazado del resto de la red de servicio de media presión y las de baja presión cercanas a los puntos de servicio. En las Figuras 3.6, 3.7 y 3.8 se presentan las redes del 2do. y 1ro. Piso.

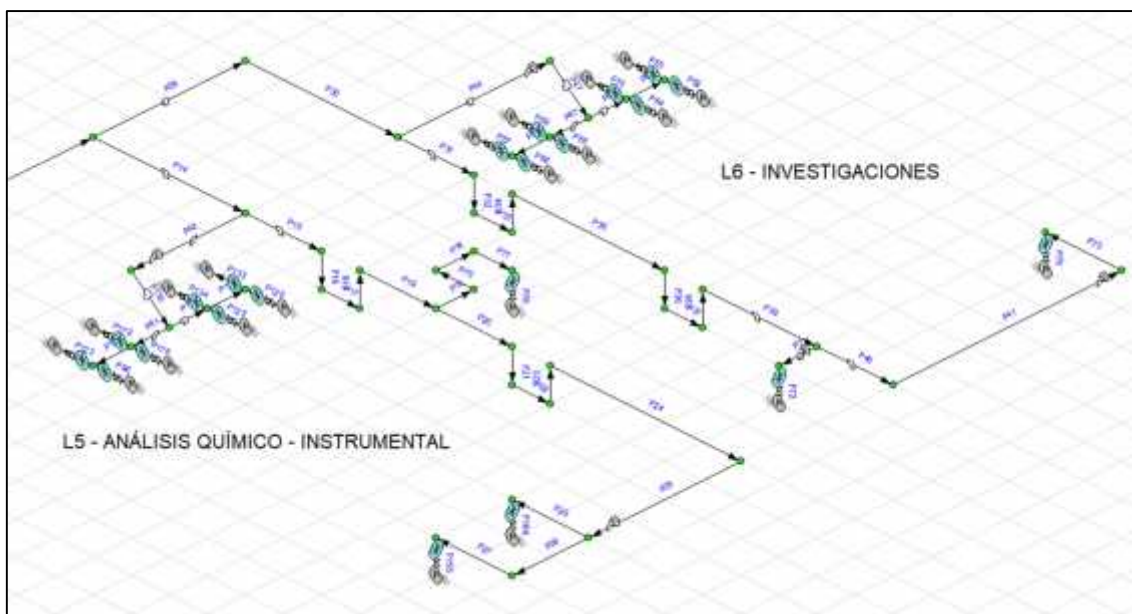


Figura 3.6: Sección de la red de servicio de mediana y baja presión en el 2do. Piso.

Fuente: IMETAL (Industria Metálica)

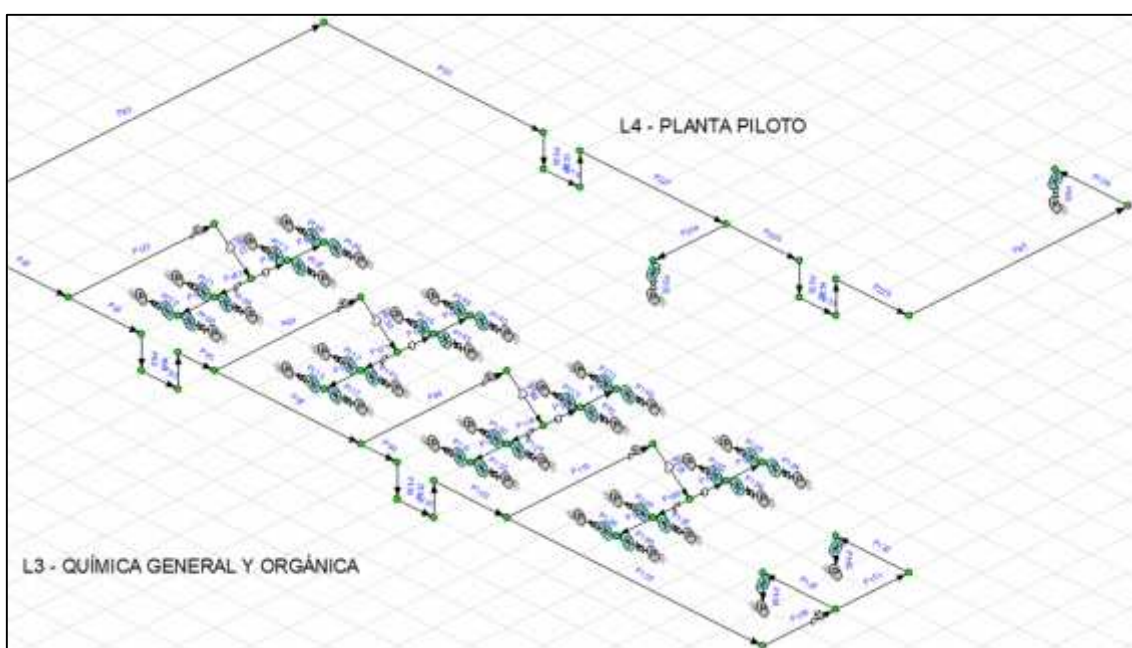


Figura 3.7: Sección de la red de servicio de mediana y baja presión en los laboratorios L3 y L4 del 1er. Piso

Fuente: IMETAL (Industria Metálica)

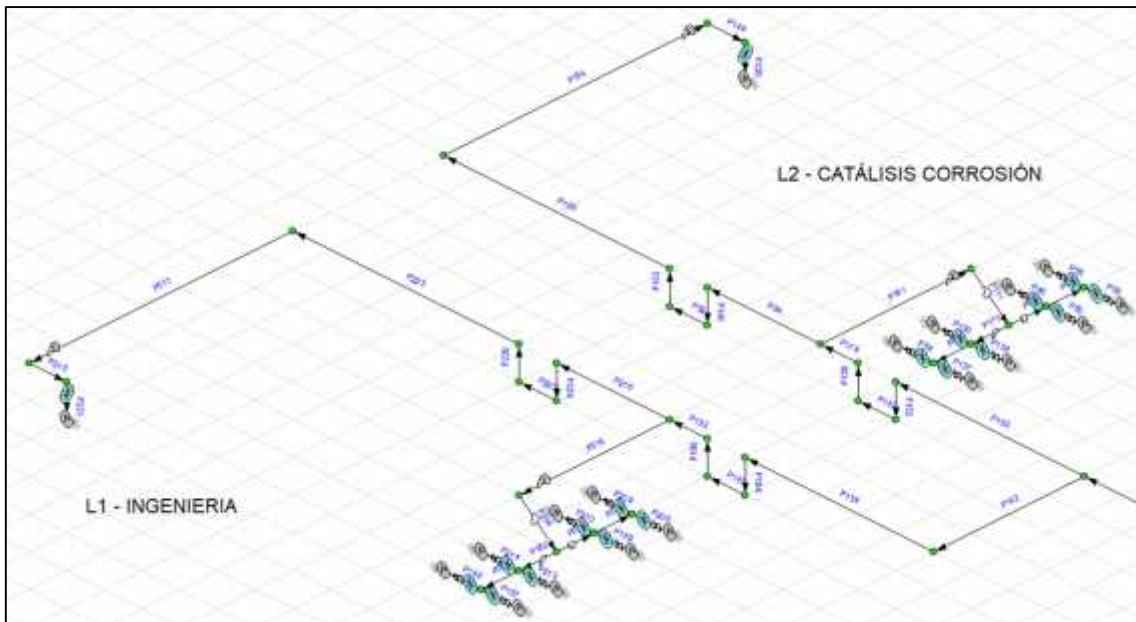


Figura 3.8: Sección de la red de servicio de mediana y baja presión en los laboratorios L1 y L2 del 1er. Piso

Fuente: IMETAL (Industria Metálica)

En el anexo 1 se recoge el informe con el resultado del cálculo hidráulico de cada nodo y tramo de tubería realizado mediante la ayuda del software Pipe Flow Expert v5.12. Las variables reportadas en el informe son:

Tramo de tubería:

-) Id del tramo
-) Material
-) Diámetro interior
-) Rugosidad superficial
-) Longitud
-) Valor del coeficiente K
-) Flujo másico
-) Velocidad
-) Presión de entrada
-) Presión de salida

Nodo de tubería:

-) Id del nodo
-) Tipo de nodo (punto de unión, tanque, punto de demanda de presión)
-) Elevación
-) Nivel de superficial
-) Presión en el nodo
-) Flujo másico de entrada
-) Flujo másico de salida

Datos Energéticos:

-) Pérdidas de energía por fricción en cada tramo
-) Pérdidas de energía por accesorios en cada tramo
-) Pérdidas de energía en las válvulas de control
-) Pérdidas de energía por presión de descarga
-) Pérdidas de energía por cambios de elevación

En la tabla 3.1 se muestra una síntesis del listado de materiales necesario para la instalación GLP del Laboratorio de Petroquímica de la Universidad de las Fuerzas Armadas extensión Latacunga.

Tabla 3.1: Listado de materiales de la instalación GLP del Laboratorio de Petroquímica

EQUIPOS			
1	TANQUE ESTACIONARIO DE GAS DE 100 PSI	1	II
2	MANOMETRO DE SICERNA DE 300 PSI	3	II
VALVULAS			
3	VALVULA REGULADORA DE PRESION DE PRIMERA ETAPA	1	II
4	VALVULA REGULADORA DE PRESION DE SEGUNDA ETAPA	17	II
5	VALVULA DE BOLA 1/4"	12	II
6	VALVULA DE BOLA 1/2"	3	II
7	VALVULA DE BOLA 1/2"	115	II
8	TOMA DE CARRERA 1/2" CON VALVULA ADICIONAL POR REPORTE DE CUBIERTA BARRO	1	II
9	VALVULA DE SEGURIDAD (1/2" DE 250 PSI)	1	II
10	VALVULA DE DESCARGA DE GLP DE 1"	2	II
TUBERIA			
11	TUBERIA DE HIERRO NEGRO 1/4" SCH 100	43.00	II
12	TUBERIA DE URBRE 1/2" L 100'	300.00	II
13	ACORRE PARA MANIFESTRA	67	II
14	FRANQUEO 1/2"	41.4	II
15	SOPORTE 1/2" CHANNEL CHANNEL 1/2" VALVULA HORIZONTAL 1/2"	177	II
16	SOPORTE 1/2" CHANNEL 1/2"	36	II
17	SOPORTE TUBO ARRATA 1/2" DE CUBIERTA	75	II

Fuente: IMETAL (Industria Metálica)

Conclusiones parciales:

Como conclusiones parciales del capítulo se destacan las siguientes:

1. El sistema de GLP de media y baja presión del Laboratorio de Petroquímica de la ESPE suministra el servicio de gas propano a seis laboratorios con 63 mecheros ubicados en los puestos de trabajo principales, 11 mecheros en puestos auxiliares y una caldera.
2. Se realizó el diseño de la red de suministro con la ayuda del software Pipe Flow Expert v5.12, mediante el cual se logró el equilibrio hidráulico de presiones y velocidades en toda la red, asegurándose el valor requerido de flujo másico de gas en los puntos de entrega.
3. El uso del software Pipe Flow Expert v5.12 posibilitó el análisis y la simulación del comportamiento hidráulico del fluido, como parte importante del proceso de toma de decisiones de diseño, para la obtención de la variante de diseño definitiva de la red.

4. Se obtuvo la información específica de cada tramo, tales como: dimensiones, valores de presión, velocidad y flujo másico. También, información relevante sobre los nodos de la red y finalmente los datos energéticos, que comprenden las pérdidas de energía por fricción en cada tramo y las pérdidas energéticas en los accesorios de la red.
5. Se obtuvo el diseño 2D de la red de servicio de media y baja presión en AutoCAD, en el que se indica la trayectoria de la red desde los tanques hasta los puntos de entrega en cada laboratorio indicándose la posición de las válvulas
6. Se obtuvo el listado de materiales utilizados en el diseño de la red, con la descripción de la denominación y cantidades de los componentes tipo equipos, válvulas y tuberías.

CAPÍTULO IV. SIMULACIÓN HIDRÁULICA DE LA RED DE BAJA PRESIÓN

Recientes avances en las metodologías de simulación y la gran disponibilidad de software en la actualidad, han hecho que la técnica de simulación sea una de las herramientas más ampliamente utilizadas en el análisis de sistemas. El estudio de simulación es muy importante para la ingeniería porque, entre otras cosas, permite la simulación dinámica de la propuesta de solución antes de ser implementada (Huerta Rosales David, 2016). Según este autor se entiende por simulación: *al proceso de diseñar y desarrollar un modelo computarizado de un sistema o proceso y conducir experimentos con este modelo con el propósito de entender el comportamiento del sistema o evaluar varias características y naturaleza de éste.*

Hay que decir que el propio cálculo hidráulico efectuado con el software *Pipe Flow Expert* constituye en sí un proceso de simulación del sistema, ya que al evaluar los resultados obtenidos de las corridas efectuadas al modelo computacional de la red se fueron introduciendo mejoras en el trazado de la red así como, la inclusión de elementos tipo válvulas para regular la presión y poder encontrar una solución equilibrada del proyecto.

El objetivo que se persigue en el presente epígrafe es el de realizar una simulación del llenado de la tubería durante el servicio y comprobar así si los valores de velocidad, presión y flujo másico calculados mediante el software *Pipe Flow Expert* aseguran la adecuada conducción del gas hasta los puntos de entrega. Con este fin se ha escogido como plataforma de diseño el software *SolidWork* basado fundamentalmente en que posee el módulo *SolidWorks Flow Simulation* el cual tiene un módulo para la simulación Dinámica de Fluidos (CFD), acrónimo de las palabras inglesas Computational Fluid Dynamics, que está incorporado al propio sistema CAD, lo cual resulta de gran utilidad para alcanzar el quinto objetivo declarado en el diseño de la investigación de la presente tesis, relacionado con la simulación del comportamiento de la instalación de GLP.

4.1. Creación del modelo CAD

Inicialmente se creó el modelo CAD 3D de una sección representativa de la red de suministro. Teniendo en cuenta que los puntos de entrega se encuentran al final de la trayectoria de la red, que son los más distantes de la fuente de suministro y de la importancia de comprobar que se produce la adecuada circulación del gas por la conducción, se decidió simular la red de servicio de baja presión del laboratorio L1 – Ingeniería, por ser precisamente el último laboratorio, de los ubicados en la red de servicio, en recibir el suministro de gas (Ver Figura 3.3 del Capítulo III).

En la Figura 4.1 se muestra el modelo 3D de la sección de tubería correspondiente al laboratorio L1 al que se le entrega un flujo másico de 0,0007 kg/s.

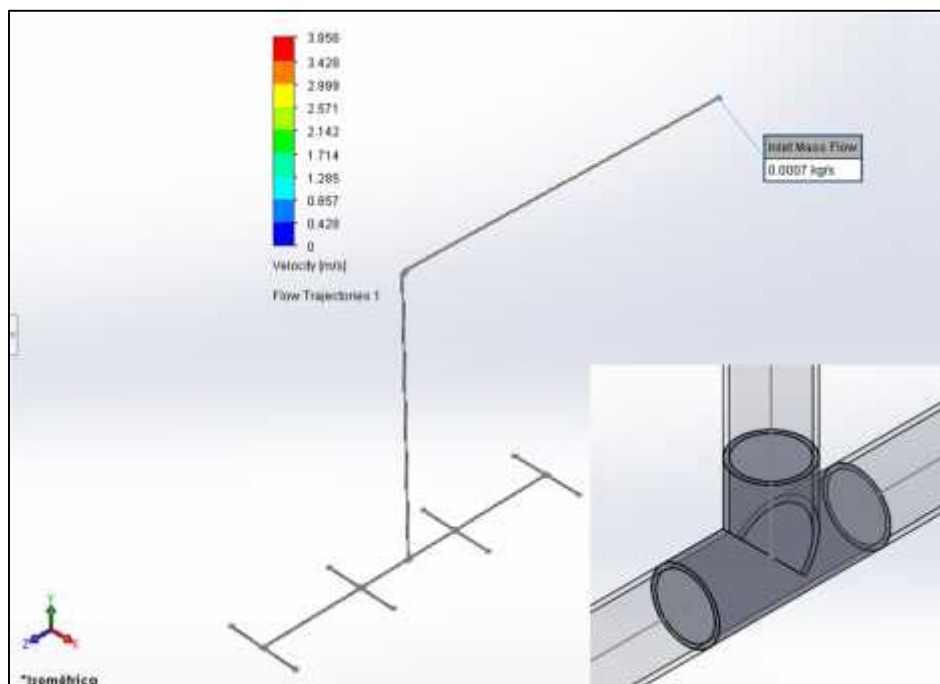


Figura 4.1: Representación del modelo 3D de la sección de tubería correspondiente al laboratorio L1.




Fuente: IMETAL (Industria Metálica)

El modelo CAD está compuesto por el tramo de tubería de entrada al laboratorio L1, que constituye una derivación de la conducción de alimentación que abastece el servicio a ese laboratorio (tramo P 215 en el modelo entregado por el software Pipe Flow Expert V 5.12, Ver figura 3.8 del capítulo III). A continuación se ubica el tramo de tubería vertical que baja desde el falso techo hasta la mesa donde se ubican los puestos de trabajo del laboratorio (tramo P 208 en el modelo entregado por el software Pipe Flow Expert V 5.12, Ver figura 3.8 del capítulo III). A este último se le incorpora un tramo horizontal que se extiende a lo largo de la mesa de trabajo con 8 derivaciones, una para cada punto de entrega o puesto de trabajo.


4.2. Simulación del flujo de GLP hasta los puntos de entrega en el laboratorio L1- Ingeniería, con herramientas CAD/CAE.

Una vez obtenido el modelo 3D de la red de servicio dentro del laboratorio, se podrá efectuar la simulación dinámica (CFD) del comportamiento del flujo de propano hasta los puntos de entrega. Con este fin, se ha utilizado el módulo *SolidWorks Simulation* que viene embebido al paquete CAD y han sido realizados los pasos siguientes.

Pasos para realizar la simulación CAE del suministro de propano hasta los puntos de entrega:

1. Una vez obtenido el modelo CAD de la conducción, seleccionar en el menú principal la  opción Complementos y seguidamente seleccionar “add-ins”, se despliega una ventana en la que habrá que activar el submódulo “*SolidWorks Flow Simulation*”.
2. Crear un nuevo proyecto seleccionando en el menú principal la opción “new”
3. Ubicar “tapas” en cada extremo de la tubería: Las tapas constituyen entidades gráficas que permiten la asignación de propiedades acerca de las condiciones existentes a la entrada y salida de la conducción, para ello seleccionar el ícono .
4. Seleccionar la opción “Wizar” , para la creación del nuevo proyecto con la especificación de las características del fluido que se trabajará, entre otros aspectos se definen: Las unidades de trabajo (SI), tipo de fluido (gas

propano), tipo de análisis (interno de la tubería), el valor de la rugosidad superficial de la conducción (R_z , se tomó $R_z = 0,0015$ mm, tubería lisa) y la definición de la resolución de la simulación (se tomó la resolución por defecto del sistema).

5. Definición de las *“Boundary Condition”*: Constituyen las condiciones de frontera de la conducción. A la entrada de la conducción se indica el valor del flujo másico que entra al laboratorio (0,0034 kg/s). Se define como condición de frontera a la salida de la conducción, la presión atmosférica (101325 Pa).
6. Definir los *“Goals”*: Constituyen los objetivos a lograr con la simulación. Para este caso se definió como objetivo superficial *“surface goals”*: el valor de velocidad promedio del fluido en el punto de entrega.
7. Seleccionar la opción *“run”* para ejecutar el solver del proyecto, seguido de la opción *“new calculation”*.
8. Eliminar el recuadro de volumen de control en el que se inscribe la conducción: Para ello, se presiona sobre la opción *“Computational Domain”* en el menú árbol y con el botón derecho del mouse seleccionar la opción *“hide”*.
9. Seleccionar en el menú principal *“flow simulations display”* y activar la opción *“transparency”* o dar click derecho sobre una entidad gráfica de la tubería y activar la opción , para visualizar el movimiento del fluido por el interior de la red de tubería.
10. En el menú árbol, dentro de resultados dar click derecho sobre la opción *“Flow Trajectories”* y a continuación *“play”*, comienza así la simulación CFD del fluido desplazándose por el interior de la tubería hasta llegar a los puntos de entrega. En la Figura 4.2 se observa el resultado final de la simulación de la velocidad del fluido.

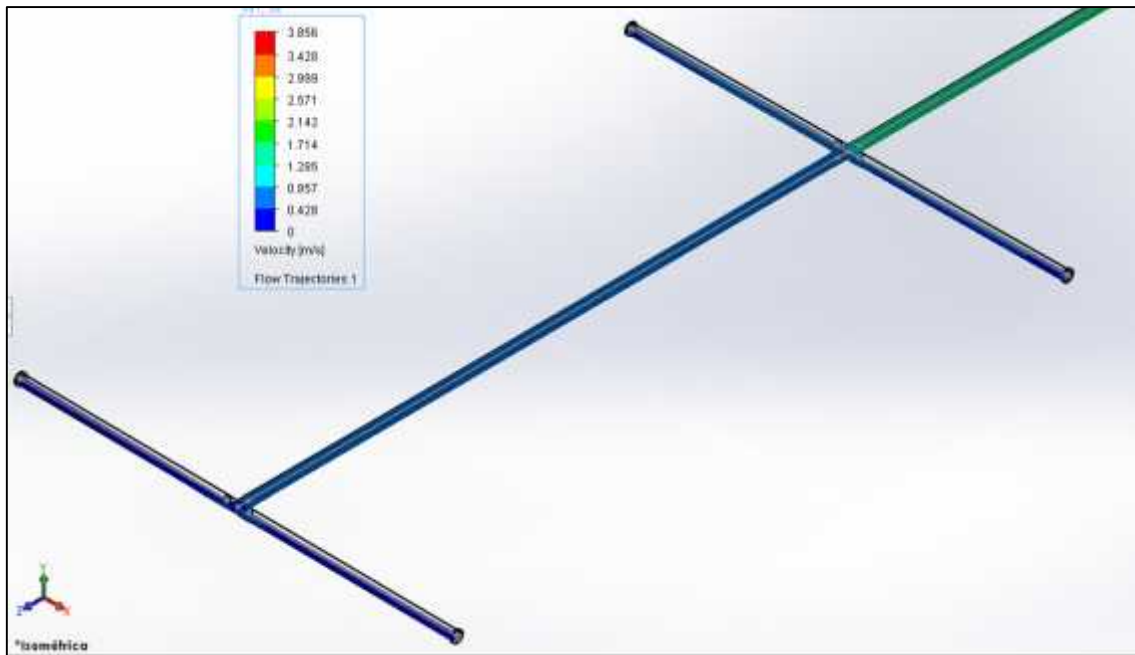


Figura 4.2: Resultado de la ejecución del Solver para la simulación de la velocidad del fluido dentro de la tubería en el proyecto: “Simulación GLP Laboratorio Petroquímica”,

Fuente: IMETAL (Industria Metálica)

11. En el menú árbol, dentro de resultados se da click derecho sobre la opción “Goals Plot” a continuación “insert”, seleccionar la opción “All” y son desplegados los resultados del solver ejecutado en el punto 6 para el objetivo *velocidad*, (Ver Figura 4.3)

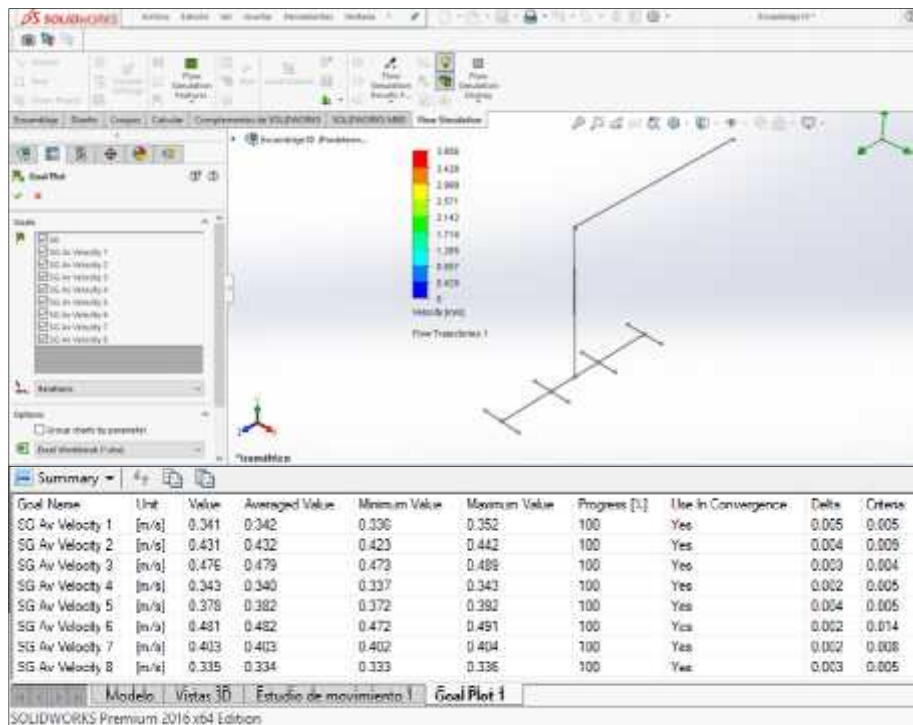


Figura 4.3: Resultado de la simulación del objetivo “velocidad” en la tubería

Fuente: IMETAL (Industria Metálica)

12. En la misma opción “Flow trajectories” indicar como nuevo objetivo a visualizar, la presión. El resultado de esta simulación se muestra en la figura 4.4 y 4.5

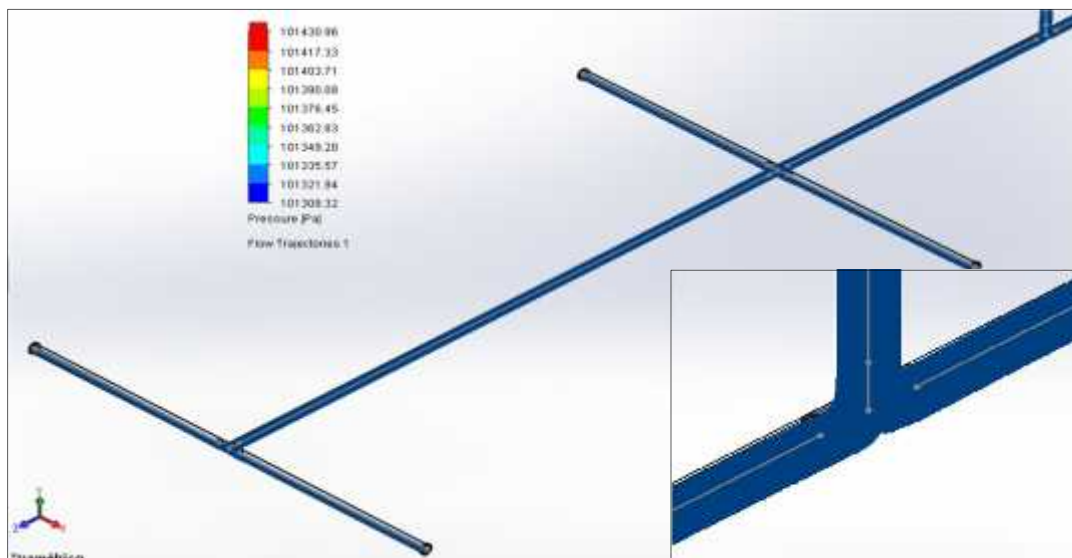


Figura 4.4: Resultado de la simulación del objetivo “presión” en la tubería hasta los puntos de entrega en el Laboratorio L1-Ingeniería

Fuente: IMETAL (Industria Metálica)

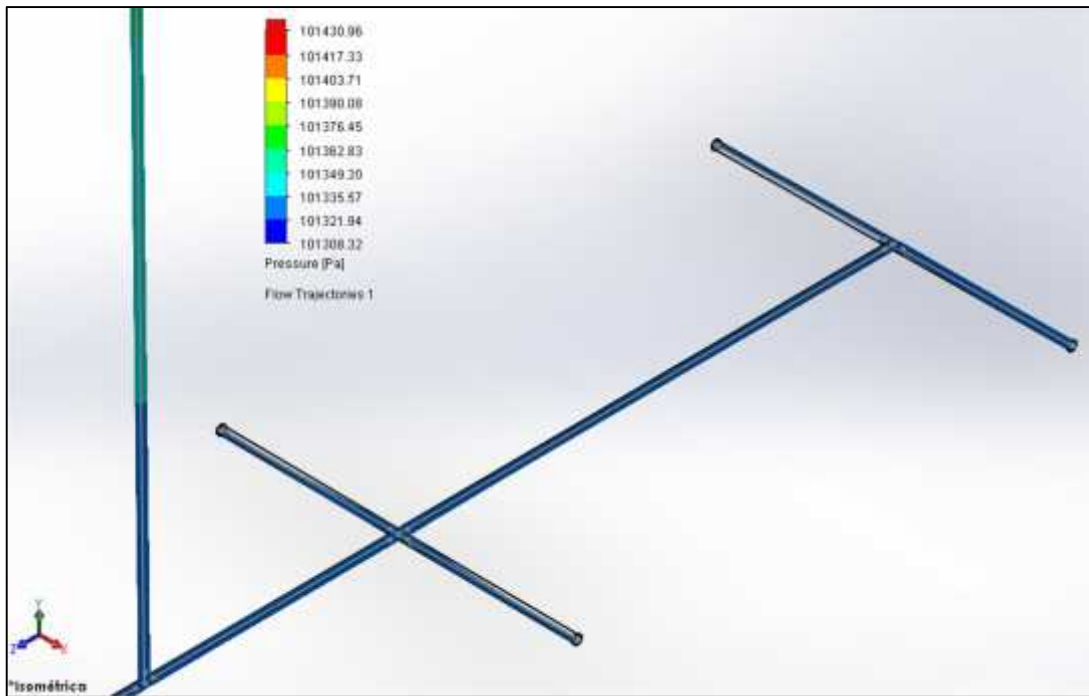


Figura 4.5: Resultado de la simulación del objetivo “presión” en la tubería hasta los puntos de entrega en el Laboratorio L1-Ingeniería (continuación)

Fuente: IMETAL (Industria Metálica)

Conclusiones parciales:

Como conclusiones parciales del capítulo se destacan las siguientes:

1. Se obtuvo el modelo 3D de la sección de la red de baja presión que entra al laboratorio L1 – Ingeniería en la plataforma CAD de *SolidWork*, el que se utilizó como modelo CAD para el proceso de simulación, por representar las condiciones más severas de la conducción al estar ubicado al final de la red de servicio de GLP.
2. Para la simulación del proceso de alimentación de la sección de red de baja presión en estudio, se utilizó el valor de flujo másico de GLP calculado por el software *Pipe Flow Expert* a la entrada del laboratorio L1 de (0.0007 kg/s) y se fijó como valor de entrega de flujo másico a los puntos de servicio el de 120 g/h (0.000033 kg/s) que representa el gasto de diseño de los mecheros bunsen utilizados en el laboratorio.
3. Con la ayuda del módulo *SolidWorks Flow Simulation* se realizó la simulación Dinámica de Fluido Computacional (CFD) del servicio de

propano al laboratorio L1, lo que posibilitó comprobar que las pérdidas energéticas ocurridas a todo lo largo de la conducción son suficientemente bajas para el diámetro de $\frac{1}{2}$ ", la relación L/D, velocidad y el material de la tubería utilizados, observándose la circulación del fluido másico de GLP y el llenado de la sección de tubería hasta los puntos de entrega con un valor promedio de velocidad de 0,39 m/s con válvula de globo para la salida al mechero completamente abierta.

4. Se entrega en anexo el informe generado por *SolidWorks Flow Simulation* de la simulación realizada al sistema de baja presión de la red de suministro de GLP para el laboratorio de Petroquímica de la ESPE, el que contiene los resultados alcanzados a partir de los valores asignados a las variables de entrada involucradas en el estudio: tipo de fluido (propano), tamaño del dominio computacional (dimensiones límites de las conducciones), tipo y tamaño de las malla para el análisis CAE, las condiciones termodinámicas de presión y temperatura así como, las condiciones de frontera al inicio y final de la conducción.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

A partir del análisis de los principales resultados alcanzados en la presente investigación se puede sintetizar lo siguiente:

El diámetro interno de ½" para las tuberías de servicio de media y baja presión resultó adecuado para garantizar la magnitud de flujo másico de gas desde los tanques hasta los puntos de entrega, definido por el valor de F que se calculó a partir de la demanda en los puntos de entrega. Según las características del mechero Bunsen modelo Propan (Laborbedarf Bochem Lab Supply, 2017) éste requiere de un flujo másico de 120 g/h ($3,3 \times 10^{-5}$ kg/s) sin embargo, en los mecheros más distantes de los tanques de abastecimiento de gas se recibe un flujo másico de 360 g/h (1×10^{-4} kg/s) lo que corrobora la factibilidad del proyecto.

El valor de máxima caída de presión por rozamiento en toda la red tuvo lugar en el tramo horizontal que se ubica sobre la azotea (tramo P8), a causa de ser el más largo de tubería (longitud de 13 metros), con una disminución de la presión de 0.2756 psig. Desde el punto de vista energético, la caída de presión es de 0,001193 kW.

La mayor pérdida total de presión en el sistema se alcanza en el tramo P6 a causa de la pérdida local producida por la Válvula de Regulación de Presión (VRP) de la Primera Etapa, con un valor de pérdida energética de 0.302670 kW, en este tramo se reduce la presión de salida de los tanques de 100 a 30 psig, creándose así las condiciones de presión adecuadas para la vaporización del propano y su tránsito por la red hasta la entrada a los laboratorios.

También se producen pérdidas locales de presión menos significativas en todas los tramos donde se ubican las (VRP) de Segunda Etapa, que reducen la presión a 1 psig y se ubican convenientemente en las conducciones de entrada a cada laboratorio y en la entrada a las cabinas con los puestos auxiliares, éstas crean un diferencial de presión que posibilita el equilibrio hidráulico de todo el sistema, entregándose el valor de un flujo másico.

La velocidad mínima registrada es de 0,048 m/s en el laboratorio L1-Ingeniería sin embargo, es compensada por la presencia de un flujo másico de 360 g/h (1×10^{-4} kg/s) superior a los 120 g/h ($3,3 \times 10^{-5}$ kg/s) requeridos para el funcionamiento del mechero Bunsen.

La velocidad máxima registrada en el sistema es de 4,172 m/s muy inferior a la velocidad límite recomendada de 15 m/s, y se alcanzó en los tramos P5 al P10 (Ver Figura 3.5), este valor obedece a que en esta zona se unen los tramos de tubería que salen de ambos tanques. El valor de velocidad disminuye en la zona (C) justo en la derivación P11 en la que se deriva el flujo hacia el segundo piso y se alcanza un valor de 1.582 m/s. En el tramo de tubería que continúa hasta el primer piso se obtiene una velocidad de 2,589 m/s. Como se observa, existe una relación directa entre el valor de pérdida de presión por rozamiento y la velocidad en el tramo P8, aquí se manifiestan los máximos valores de ambas variables.

CONCLUSIONES

Constituyen conclusiones de la presente investigación las siguientes:

1. Se ha obtenido una propuesta de diseño del sistema de GLP para el nuevo laboratorio de Petroquímica de la ESPE que constituye una solución a los problemas operativos y de seguridad que presenta el actual sistema de servicio de GLP.
2. Se definió un procedimiento para el cálculo de la demanda de GLP según las condiciones del laboratorio y la selección de la capacidad del tanque de almacenamiento de GLP para satisfacer los requerimientos de una instalación centralizada de GLP para el laboratorio en estudio.
3. Fueron expuestos los fundamentos matemáticos y los métodos de cálculo utilizados para el diseño racional de instalaciones de GLP aplicado al cálculo de diámetros internos de tuberías, las pérdidas de energía en las conducciones, velocidades, y los asociados a la determinación del caudal de flujo másico requerido para la instalación y selección de los tanques de depósito de GLP.
4. Se utilizó el sistema computacional *Pipe Flow Expert v5.12* para la obtención del equilibrio hidráulico de la red de tuberías a partir de las dimensiones definidas para cada tramo de la red conforme a las restricciones constructivas del diseño de los laboratorios y la construcción civil. Lo que permitió el análisis y la simulación del comportamiento del fluido en la instalación y evaluar diferentes variantes de solución de diseño de la red de tuberías, durante el proceso de toma de decisiones de diseño.
5. Las tuberías y accesorios utilizados fueron seleccionados en conformidad con la norma NTE INEN 2 260, que establece los requisitos técnicos y las medidas de seguridad que deben cumplirse para las instalaciones de GLP, y se encuentran disponibles en la red comercial de país.
6. Se obtuvo el modelo 3D de la sección de tuberías del laboratorio L1-Ingeniería y con la ayuda del módulo *SolidWorks Flow Simulation* se realizó la simulación Dinámica de Fluido Computacional (CFD) del servicio de propano al laboratorio, lo que permitió comprobar el llenado de la sección de tubería hasta los puntos de entrega de GLP con valores de flujo másico, presión y velocidad adecuados.

7. Se obtuvo el plano con la distribución de la red de GLP para cada piso de la edificación del laboratorio con la ayuda del software de diseño AutoCAD así como, el listado de materiales utilizados en la instalación de GLP diseñada.

BIBLIOGRAFIA

1. Aguirre, A. et al. (1996a): "Ingeniería Hidráulica aplicada a los sistemas de distribución de agua", Vol. I, eds. U.D. Mecánica de Fluidos - Universidad Politécnica de Valencia - Aguas de Valencia S.A., Valencia, España.
2. Álvarez Maciel, Carlos. (2016). Virtual Plant. Biocombustibles: desarrollo histórico-tecnológico. México, 2016.
3. Ambrossi Robles, V. R., Quesada Chávez, Wilson Efren, (2012). Diseño y construcción de un secador de granos con gas licuado de petróleo (GLP) para la asociación de cafeteros del cantón Yanzatza pertenecientes a APEOSAE; de un quintal de capacidad (Tesis de grado), Universidad de Loja, Ecuador.
4. Asociación Europea del GLP (2011). Más allá de la red de gas, hoja de ruta de la industria del GLP, Bruselas, Bélgica, 2011.
5. Asociación Española de Operadores de Gases Licuados del Petróleo (OGLP) (2013) ¿Qué es GLP?. Obtenido de: <http://www.aoglp.com/gpl/que-es/>
6. Banco Central de Ecuador (2016). Reporte del Sector Petrolero correspondiente al IV Trimestre del 2016, Ecuador.
7. Banco Central de Ecuador (2017). Reporte del Sector Petrolero correspondiente II Trimestre del 2017, Ecuador.
8. Barrera Suárez, M. A. (2012). Estudio del sistema GLP como combustible alternativo de uso en vehículos automotrices (Tesis de grado), Universidad del Azuay, octubre 2012.
9. Cepeda Morales, C. A. (2016). Dimensionamiento de sistema centralizado de almacenamiento y distribución de gas licuado de petróleo para planta metalúrgica (Bachelor's thesis, Espol)
10. ClimasMonterrey. Información Técnica. Consultado el 15 de octubre del 2017. <http://www.climasmonterrey.com/informacion-tecnica>
11. Código ASME Sección VIII División 1.
12. Coldwell Pedro J. (2014) *Prospectiva de Gas Natural y Gas Licuado del Petróleo 2014-2028*. Secretaría de Energía (SENER). México. Recuperado de: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/62944/Gas_natural_y_Gas_L.P._2014-2028.pdf
13. Cumbe, C., Vicente, A., & Pogo Guamán, Á. M. (2011). Diseño de un sistema dual de calentamiento de agua, por medio de energía solar y GLP, y diseño

- estructural de la cubierta para la piscina de la Hostería Los Juanes en el cantón Santa Isabel (Tesis de grado) Universidad Politécnica Salesiana, Sede Cuenca, Ecuador, junio 2011.
14. Diario EL TELÉGRAFO (03 Agosto 2016). El 88% del GLP de consumo interno es importado., Recuperado de: <http://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/economia/8/el-88-del-glp-de-consumo-interno-es-importado>
 15. Durán, J. M., Soblechero, E., Moratiel, R., Leiva, I., & Fino, C. (2006) *Nuevas Aplicaciones del GLP para la Agricultura Ecológica*, VII Congreso SEAE Zaragoza 2006. Madrid.
 16. Galetovic Alexander y Sanhueza Ricardo (2016). Estados Unidos y el mercado mundial del gas licuado. *Breves de energía (BdE)*. Recuperado de: <http://www.brevesdeenergia.com/wp-content/uploads/2016-03-14-noticias-del-mercado-mundial-del-gas-licuado-1-la-irrupcion-de-los-estados-unidos.pdf>
 17. González, Vicente. “Dinámica de los fluidos en climatización ambiental. Parte 1”. Montaje e Instalaciones, Técnica y Teoría del Aire Acondicionado. No 143, España, 1983.
 18. “Dinámica de los fluidos en climatización ambiental Parte 2”. Montaje e Instalaciones, Técnica y Teoría del Aire Acondicionado No 144, España, 1983.
 19. Grupo de autores técnicos (2015). Manual para instaladores autorizados de gas, volumen I. Tercera edición. Madrid.
 20. Haestad (2003): “WaterGEMS for GIS User’s Guide”, Geospatial Water Distribution Modeling Software, Haestad Methods. <http://www.haestad.com>
 21. Huerta Rosales David (2016). “Definición e importancia de la simulación en ingeniería” 5 de septiembre del 2016. Consultado el 20 de diciembre del 2017. <https://prezi.com/wtid-7iw4gi7/11-definicion-e-importancia-simulacion-en-ingenieria/>
 22. IDE Business School. Las cifras del Gas en Ecuador. (2008) *Revista Perspectiva*, marzo 2008
 23. Joffre Constante (2016). ¿Cómo se genera la energía eléctrica en Ecuador?. Diario EL TELÉGRAFO, Recuperado de:

<http://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/punto-de-vista/1/como-se-genera-la-energia-electrica-en-ecuador>

24. Laborbedarf Bochem Lab Supply, (2017) “Mechero BUNSEN” (DIN 30665), Consultado el 12 de noviembre del 2017. <http://www.bochem.com/es/Productos-pgid-12-agid-101.html>
25. Lomas Páez, C. R. (2012). *Diseño e implementación de sistemas centralizados de gas licuado de petróleo (GLP) en edificaciones de uso residencial, comercial o industrial* (Tesis de grado, QUITO/EPN/2012).
26. López Sopeña José E. (2001) Manual Instalaciones de Gas Licuado del Petróleo. CEPESA ELF GAS, S.A. abr, 2001.
27. Martínez Lozano, E., Moran, C., Andrea, M., & Segovia Loaiza, R. A. (2011). Diseño y Construcción de una instalación de Gas Licuado de Petróleo para una Urbanización.
28. Maza Montenegro, F. J., & Merchán Urquiza, D. E. (2008). Diseño y construcción de una cabina horno a base de un quemador GLP para pintura al horno de carrocerías metálicas para la empresa soluciones mecánicas integradas SOLMEC (Tesis de grado), ESPE/SANGOLQUÍ/2008).
29. Mechero Bunsen. Consultado el 12 de octubre del 2017. <http://www.bochem.com/es/Productos-p12--a101-Mechero+BUNSEN+%28DIN+30665%29.html>
30. Ministerio de Electricidad y Energía Renovable. (10 de octubre de 2017). Villonaco, un proyecto energía limpia y renovable para el país. Recuperado de: <http://blog.espol.edu.ec/jhohearr/energia-hidraulica-en-el-ecuador/>
31. National Fire Protection Association, NFPA 54, (2009). Código nacional del gas combustible. USA.
32. National Fire Protection Association. NFPA 58, (2010) Código del gas – LP. USA.
33. Navya Menon, András Pásztor, Binuraj RK Menon, Pauli Kallio, Karl Fisher, M Kalim Akhtar, David Leys, Patrik R Jones. (2015). A microbial platform for renewable propane synthesis based on a fermentative butanol pathway. *Biotechnology for Biofuels*. 2015.
34. Nekrasov. “Hidráulica” Ed. Mir, Moscú, 1988.
35. Norma técnica ecuatoriana INEN 2260. “Instalaciones para gas combustible en edificaciones de uso residencial, comercial o industrial. Requisitos”

36. Norma técnica ecuatoriana INEN 2261. "Tanques para gases a baja presión. Requisitos e inspección.
37. Norma técnica ecuatoriana INEN 439 "Colores, señales y símbolos de seguridad"
38. NTE INEN 2 260-2010-01 (2010). "Instalaciones de gases combustible para uso residencial, comercial e industrial. Requisitos"
39. Oscar Bladimir André Sarmiento (2015). "Diseño y análisis económico de una instalación de gas licuado de petróleo aplicada al edificio Millenium de la ciudad de Loja" ESPOL, (Tesis de grado), Guayaquil, Ecuador.
40. Osinergmin 2011. "Historia Composición y Obtención del GLP". Organismo de Supervisor de la Inversión en Energía y Minería, Ecuador.
41. Panchi, A., David, B., León, T., & Javier, W. (2016). Rediseño de la instalación centralizada de gas licuado de petróleo (GLP) de la empresa textil San Pedro según la norma NTE INEN 2260, e implementación de un plan de mantenimiento para el cumplimiento del registro oficial 313 y 435 (Bachelor's thesis, Quito, 2016.).
42. Pérez Franco, Diosdado Introducción al estudio de los sistemas de tuberías Ed. Pueblo y Educación. La Habana, Cuba. 1986.
43. Ravinovich E. Z. Hidráulica Editorial Mir, Moscú, 1987.
44. Rey Devesa, L. (2014). Obtención de biogás a partir de codigestión anaerobia de microalgas y fangos de EDAR.
45. Rico Javier. (2017) *Energía renovable*. "Rotterdam espera la primera planta de biopropano". España.
46. Robert W. y A. McDonald. Introducción a la Mecánica de Fluidos. Cuarta Edición, Ed. McGraw Hill, Interamericana S. A., USA, 1995.
47. Rojas, F. J., Jiménez, F. O., Ramos, B. G., & Alván, R. (2017). Análisis Experimental del Rendimiento Térmico, Potencia y Emisiones de Cocinas Anafe a GLP para Altitudes entre 2200 Y 4200 metros. Información tecnológica, 28(4), 179-190.
48. RTE INEN 008 (2008). "Tanques y cilindros de acero soldados para gas licuado del petróleo (GLP) y sus conjuntos técnicos"

49. Secretaria de Estado de Energía. Gases Licuados del Petróleo (GLP). Ministerio de Energía Turismo y Agenda Digital. Gobierno de España. Recuperado de: <http://www.minetad.gob.es/energia/glp/Paginas/Index.aspx>
50. Soto Herrera, W. F. (2011). Diseño de un sistema de propulsión para embarcaciones fluviales de 650 kg basado en gas licuado de petróleo (GLP). Universidad Católica del Perú. nov. 2011.
51. Sr, A., & Delgado, E. R. C. (2015). Registro Oficial.
52. Streeter, V., Benjamin, E. and Bedford, K. (2000): "Mecánica de Fluidos", Novena Edición. McGraw-Hill. Best Seller International, S.A., Santafé de Bogotá, Colombia. <http://www.mhhe.com>
53. Streeter, Victor L. (1970). Mecánica de los Fluidos ED. Ciencia y Educación, Traducción de la Cuarta Edición en Inglés.
54. Unidad de Planeación Minero Energética (abril 2017). Cadena del Gas Licuado del Petróleo (GLP). Colombia. Recuperado de: http://www1.upme.gov.co/Hidrocarburos/publicaciones/Cadena_GLP_2017_30032_017.pdf
55. Villonaco, un proyecto energía limpia y renovable para el país. Ministerio de Electricidad y Energía Renovable: (20 de octubre de 2017) Recuperado de: <http://www.energia.gob.ec/villonaco-un-proyecto-energia-sana-para-el-pais/>
56. William B. Jensen (2005). Journal of Chemical Educations. The Origin of the Bunsen Burner. Department of Chemistry, University of Cincinnati, Cincinnati, OH 45221-0172. J. Chem. Educ., 2005, 82 (4), p 518 DOI: 10.1021/ed082p518.
57. Wikipedia (2017), Consultado el 12 de octubre del 2017. <https://es.wikipedia.org/wiki/Propano>.

ANEXOS