

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

VICERRECTORADO

**CENTRO DE ESTUDIOS DE
POSGRADO E INVESTIGACIÓN**

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA



**ESTUDIO TECNICO ECONOMICO PARA LA
IMPLEMENTACION DE UN TANQUE ESTACIONARIO DE
GLP EN LA EMPRESA CERAMICA “EL ARTE EN TUS
MANOS” DE LA CIUDAD DE VILLAZON**

**TRABAJO EN OPCION A DIPLOMADO EN TRANSPORTE,
ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCION DE HIDROCARBUROS,
VERISION V.3**

DAVID CLEMENTE CANCHI

**Sucre - Bolivia
2024**

CESIÓN DE DERECHOS

Al presentar este trabajo como requisito previo a la obtención del Diplomado en Transporte, Almacenamiento y Distribución de Hidrocarburos de la Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca, autorizo al Centro de Estudios de Posgrado e Investigación o a la Biblioteca de la Universidad, para que se haga de este trabajo un documento disponible para su lectura, según normas de la Universidad.

También cedo a la Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca, los derechos de publicación de este trabajo o parte de él, manteniendo mis derechos de autor hasta un periodo de 30 meses posterior a su aprobación.



David Clemente Canchi

Sucre, mayo de 2024

DEDICATORIA

Quiero dedicarle este trabajo a Dios por ser la fuerza vital que me ayuda a cumplir mis metas propuestas y a mi familia especialmente a mi madre y mi hermana Delia.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, a Dios por todo, aunque la vida parezca difícil, es hermosa.

A la Universidad San Francisco Xavier de Chuquisaca, Facultad de Tecnología por acogerme en sus aulas.

Por otro lado a mi familia, por los consejos, valores y principios que me inculcaron, gracias por su apoyo incondicional y por creer en mí.

Al taller de artesanías de arcilla por la disponibilidad de tiempo y aporte para la realización de esta monografía.

Finalmente a mis docentes del pregrado y posgrado, por compartir sus conocimientos y el tiempo brindado.

RESUMEN

Este proyecto consiste en el estudio y diseño de un tanque de almacenamiento de GLP y el dimensionamiento de tuberías para alimentar de energía al horno en el taller de artesanía hecho a arcilla “El Arte en Tus Manos” logrando de esta manera el desarrollo en la industria en esta región y presentar las ventajas de la utilización del GLP como fuente de energía respecto a la leña que con lleva varias desventajas a la hora de su uso. Se aplicó metodología con enfoque positivista y cuantitativo, utilizando el paradigma de la investigación que se centra en la recopilación de datos mediante la observación directa, memorias fotográficas y especificaciones técnicas de equipos respecto a la situación actual del taller, para evaluar aspectos técnicos de la instalación centralizada de gas licuado de petróleo. Mediante la investigación se buscó proporcionar una comprensión profunda de los factores determinantes para la selección de un tanque de almacenamiento de GLP a granel y su red de suministro. Por lo cual mediante el diagnostico se determinó la necesidad de contar con otra alternativa de energía para alimentar el horno de fundición en base a lo económico logístico y ambiental, el cual es el gas licuado de petróleo como energía limpia, logrando de esta manera determinar el tamaño óptimo de tanque de almacenamiento cumpliendo parámetros de autonomía, vaporización y costos; llegando a ser el tanque de 7 m³ con una autonomía de 49 días, satisfaciendo la vaporización natural del GLP. De acuerdo al consumo de energía del horno se determinó un diámetro de tubería de 15 mm para conducir el GLP desde el tanque hasta el horno para su combustión, requiriendo una inversión aproximada de 59613 Bs. Confirmando de esta manera con el análisis técnico económico la viabilidad de la implementación de un tanque de almacenamiento de GLP complementando al proceso de fundición.

Palabras clave: Vaporización natural, GLP, Grado de llenado, poder calorífico, tanque de almacenamiento de GLP, fundición.

INDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES	1
1.1.1. Planteamiento del problema	2
1.1.2. Formulación del problema	2
1.2. OBJETIVOS.....	3
1.2.1. Objetivo General.....	3
1.2.2. Objetivos Específicos	3
1.3. JUSTIFICACIÓN	3
1.3.1. Justificación técnica.....	3
1.3.2. Justificación económica.....	3
1.3.3. Justificación social.....	4
1.3.4. Justificación ambiental.....	4
1.4. METODOLOGÍA	4
1.4.1. Enfoque de la investigación	4
1.4.1.1. Enfoque cuantitativo	4
1.4.2. Tipo de investigación	4
1.4.2.1. Descriptivo.....	4
1.4.3. Diseño de investigación.....	5
1.4.3.1. No experimental	5
1.4.3.2. Transversal.....	5
1.4.4. Métodos de investigación	5
1.4.4.1. Métodos teóricos	5
1.4.5. Técnicas e instrumentos.....	5
2. CAPÍTULO II: DESARROLLO	7
2.1. MARCO TEÓRICO	7
2.1.1. MARCO CONCEPTUAL.....	7
2.1.1.1. Gas Licuado de Petróleo (GLP).....	7
2.1.1.2. Propiedades del GLP.....	7
2.1.1.3. Grado de llenado	9

2.1.1.4. Distancia de seguridad	11
2.1.1.5. Tanque fijo o estacionario.....	11
2.1.1.6. Tipos de tanques estacionarios	12
2.1.1.7. Dimensionamiento del tanque estacionario de GLP	15
a) Determinación del calor necesario para la evaporación del agua	15
b) Calor necesario para la cocción de las piezas	15
c) Determinación del calor suministrado al horno.....	15
d) Consumo teórico de GLP	15
e) Autonomía del tanque estacionario	16
f) Volumen del depósito.....	16
g) Vaporización natural	16
h) Factor de simultaneidad	17
i) Tamaño de tanques	17
2.1.1.8. Selección y cálculo de tuberías	17
a) Ecuación de Renouart.....	17
b) Velocidad de conducción	18
2.1.1.9. Marco normativo.....	18
2.1.2. MARCO CONTEXTUAL	19
2.1.2.1. Ubicación Geográfica	19
2.1.2.2. Características de la cerámica.....	19
2.1.2.1. Consumo de energía	22
2.1.2.2. Consumo de leña	22
2.1.2.3. Proceso de fundición en horno a leña.....	24
2.1.3. Distribución espacial.....	26
2.2. INFORMACIÓN Y DATOS OBTENIDOS	28
2.2.1. Parámetros para determinar la energía usada en el horno.....	29
2.2.2. Determinación del calor necesario para la cocción.....	30
2.2.3. Determinación de energía de alimentación al horno.....	31
2.2.4. Consumo de gas licuado de petróleo (GLP)	33
2.2.5. Cálculo y dimensionamiento del tanque	33

2.2.5.1. Autonomía del tanque estacionario	33
2.2.5.2. Selección del tanque	36
2.2.5.3. Ubicación del tanque de GLP	37
2.2.6. Selección de reguladores de presión.....	38
2.2.7. Dimensionamiento de tuberías	38
2.2.8. Análisis económico	40
2.3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN	43
CAPÍTULO III: CONCLUSIONES	
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	46

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Temperatura – fase líquida vs fase gaseosa	9
Figura 2 Botella con niveles Va y Ca.....	10
Figura 3 Disposición de tanques	11
Figura 4 Tanques Estacionarios.....	12
Figura 5 Tanques Estacionarios Horizontales.....	13
Figura 6 Configuración típica de un tanque estacionario horizontal para almacenamiento de GLP.....	14
Figura 7 Tanques Estacionarios Esféricos	14
Figura 8 Ubicación del taller El Arte en Tus Manos.....	19
Figura 9 Flujo grama de Proceso para la producción de artículos de arcilla	21
Figura 10 Horno de fundición.....	24
Figura 11 Boca de carguío de producto y parte interna del horno	25
Figura 12 Llama generada en el proceso de fundición	25
Figura 13 Generación de contaminantes al medio ambiente	26
Figura 14 Horno con alimentación de GLP almacenado en garrafa de capacidad pequeña.....	26
Figura 15 Distribución de Planta	27
Figura 16 Esquema para el desarrollo de la investigación	28
Figura 17 Tachos de arcilla.....	29
Figura 18 Poder calorífico según humedad.....	31
Figura 19 Esquema de instalación de red de GLP	39

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Propiedades del GLP	8
Tabla 2	Distancia de Seguridad	11
Tabla 3	Clasificación de tanques estacionarios en relación a su capacidad	12
Tabla 4	Tanques horizontales estacionarios según su capacidad	13
Tabla 5	Consumo de leña por horneada	22
Tabla 6	Consumo de leña por mes	22
Tabla 7	Consumo de leña anual	23
Tabla 8	Propiedades del quebracho	23
Tabla 9	Características del GLP	23
Tabla 10	Masa del tacho de arcilla	30
Tabla 11	Propiedades del combustible	31
Tabla 12	Variables de vaporización para tanque de 4m3	34
Tabla 13	Vaporización natural del tanque de 10 m3, en función del llenado y temperatura	35
Tabla 14	Vaporización natural del tanque de 7 m3, en función del llenado y temperatura	36
Tabla 15	Costo de adquisición de tanque	40
Tabla 16	Costo de materiales	41
Tabla 17	Gastos en mano de obra	41
Tabla 18	Costos de mantenimiento	42
Tabla 19	Costo de transporte	42
Tabla 20	Costo de inversión	42

INDICE DE ANEXOS

ANEXO A: Caudal de vaporización natural de GLP

ANEXO B: Calculo de vaporización natural de GLP en tanques de 7 y 10 m³

ANEXO C: Ubicación del tanque de GLP

ANEXO D: Ficha técnica de quemador de GLP acorde a la necesidad de energía del horno

ANEXO F: Tubería de acero al carbono ASTM A53

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

Para efecto de desarrollo de la presente monografía se ha considerado como material de referencia los que se mencionan a continuación.

➤ Tesis, proyectos de grado y de especialidad

Antecedentes internacionales

En la Universidad Autónoma de Bucaramanga Colombia, Facultad de Ingenierías Fisiomecánicas, realizaron el estudio: Análisis técnico financiero para contrato de suministro de GLP a la planta procesadora de leche, lo cual consistió en el desarrollo técnico de suministro de GLP a la planta con pacto de comodato del tanque de almacenamiento y prestación de servicios de instalación, analizando la factibilidad técnica y reglamentaria así como la viabilidad financiera del proyecto (Montañez Oviedo & Sinning, 2013).

(Ortiz Caaspa, 2018) Realizo el estudio de Diseño de una instalación centralizada de GLP para abastecimiento de la Hostería – SPA MIRAMELINDO en la ciudad de Baños de Agua Santa en Ecuador, cuyo objetivo fue el diseño de una instalación de GLP centralizada para la Hostería aplicando las normas técnicas y estimando el consumo de los equipos que usan GLP, logrando de esta manera dimensionar la capacidad del tanque estacionario de almacenamiento de GLP.

En la Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria realizó el estudio de Diseño e implementación de sistemas centralizados de GLP en edificaciones de uso residencial, comercial o industrial, lo cual consistió en la aplicación de las normas técnicas y reglamentos que regulan la implementación de este tipo de instalaciones, lo cual permitió conocer los criterios de diseño y los tipos de tuberías y accesorios que se utilizan en los sistemas centralizados de GLP. También, se determinaron las variables para dimensionar la capacidad del tanque de almacenamiento de GLP y seleccionar el diámetro óptimo de las líneas de media y baja presión que conducen el combustible hacia los aparatos de consumo (Lomas Paez, 2012).

Antecedentes nacionales

En la Universidad Mayor Real y Pontificia San Francisco Xavier de Chuquisaca, Facultad de Cs. y Tecnología de acuerdo a la revisión de proyectos y tesis no se encontró ningún registro relacionado o similares a esta investigación de diseño de tanques de almacenamiento de GLP,

de igual manera en el posgrado de la Universidad CEPI, por lo cual se procede a realizar la investigación.

➤ **Libros**

En el libro Mejores técnicas disponibles de referencia Europea sector de la fabricación de la cerámica, desarrollado por el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino de España en el año 2011, hace mención al GLP como energía alternativa limpia sustituyente a la leña o diésel para la fundición de la cerámica, logrando de esta manera reducir la contaminación ambiental generada por otra fuente de energía como ser la leña. (MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y MEDIO RURAL Y MARINO DE ESPAÑA, 2011).

1.1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La generación de sustancias como ser el dióxido de carbono y monóxido de carbono son contaminantes al medio ambiente esto limita a la fundición continua por las leyes ambientales, por lo cual reduce la producción significativamente.

Respecto al material usado en este caso la leña para el horno de fundición en los últimos años el costo para la obtención del mismo es elevado incluso más que el GLP. Para realizar el pre cocido se utiliza GLP envasado en garrafas llegando a usar 4 o más en cada pre cocción por lo que esto dificulta una producción alta.

Los dueños del taller tienen poca información respecto al uso de GLP a granel almacenado en tanques estacionarios en la misma empresa para reemplazar a la leña en el proceso de fundición ya que los mismos solo usan garrafas envasadas de volumen reducido en el pre cocción.

Respecto a la maquinaria usada son de diseño antiguo la misma no se puede controlar exactamente la energía alimentada respecto a la temperatura de cocción y distribución de calor uniforme a lo largo del horno, además en el mismo equipo no existe una combustión completa generando esto humo en mayor proporción.

De acuerdo a lo expuesto en anteriores párrafos la presente propuesta se enfocó en minimizar los problemas mediante la implementación del tanque de Gas Licuado de Petróleo para alimentar al horno de fundición.

1.1.2. FORMULACION DEL PROBLEMA

¿Cómo se pueden reducir el uso de fuentes de energía perjudiciales para el medio ambiente en el proceso de fundición de artículos de arcilla?

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo General

Desarrollar el análisis técnico económico para la implementación de un tanque estacionario de GLP en la empresa cerámica “El Arte en Tus Manos” de la ciudad de Villazón.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Diagnosticar las condiciones actuales de la empresa “El Arte en Tus Manos” en cuanto a consumo energético y sistema de combustión.
- Evaluar técnicamente la viabilidad para implementar un tanque estacionario de GLP
- Determinar el tamaño óptimo del tanque y trayectoria de tubería para el horno de fundición.
- Estimar los costos de implementación del tanque estacionario de GLP.

1.3. JUSTIFICACIÓN

1.3.1. Justificación técnica

La presente investigación se desarrolló para dar solución al uso de fuentes de energía perjudicial para el medio ambiente por lo cual para reducir el problema se va proponer cambiar a una fuente de energía limpia, dimensionando un tanque estacionario de almacenamiento de GLP mediante el análisis de la demanda de consumo, tomando en cuenta el cálculo de vaporización del tanque que almacena el fluido en fase líquida, su recarga de almacenamiento, regulación de flujo y cálculo de tuberías hasta el equipo de consumo además las propiedades físicas del gas licuado de petróleo, planteando alternativas de ubicación bajo cumplimiento del manual técnico para la distribución de GLP a granel en tanques estacionarios de la ANH y la norma de construcción de tanques, logrando de esta manera proponer la implementación en la empresa del tanque de almacenamiento óptimo y la trayectoria de distribución.

1.3.2. Justificación económica

Económicamente el beneficio hacia la empresa de la presente investigación será la reducción de costos en la obtención de energía (leña) para alimentar al horno por su precio elevado reemplazando por otra fuente de energía más limpia además de tomar en cuenta de que la quema de la leña es regulada por su contaminación con esto evitaremos multas económicas por contaminación ambiental así como también gastos incurridos por enfermedades ocupacionales a causa de la emisión de gases perjudiciales a la salud, también se evitara la especulación de precios en la obtención de gas en garrafa de volumen reducido logrando de esta manera obtener el GLP a granel a un precio establecido, logrando de esta manera

mayores ingresos por aumento de producción y erogando gastos por uso de otra fuente de energía perjudicial al medio ambiente.

1.3.3. Justificación social

La implementación de tanques estacionarios de GLP beneficiara en gran manera a la empresa al incrementar su producción, con esto habrá necesidad de contratar más personal por lo cual se creara fuentes de empleo, además de contratar servicios de un técnico para el mantenimiento en relación al proceso de fundición. También se liberara el consumo de gas en garrafa de volumen reducido, logrando de esta manera permitir que el GLP en garrafa llegue a más hogares alejados. Con respecto a otros talleres de cerámica el uso de GLP a granel en este taller influirá para que los mismos reemplacen otras fuentes de energía.

1.3.4. Justificación ambiental

A través de la implementación de tanques de almacenamiento de GLP como energía limpia lograremos reemplazar otras fuentes de energías contaminantes para la fundición de artículos de arcilla en este caso la leña, de esta manera poder preservar la naturaleza y controlar las emisiones de sustancias contaminantes al medio ambiente.

1.4. METODOLOGÍA

La investigación tiene como base el paradigma positivista y el método científico como guía para su elaboración. La elección de este paradigma es porque el mejor se adapta a las características y necesidades de la investigación.

1.4.1. Enfoque de la investigación

1.4.1.1. Enfoque cuantitativo

Mediante el enfoque cuantitativo haciendo uso de ecuaciones matemáticas se determinó el tamaño de tanque de almacenamiento óptimo y su red de alimentación al horno de fundición, utilizando diferentes parámetros y propiedades del GLP así como el caudal necesario para alimentar al horno de fundición.

1.4.2. Tipo de investigación

1.4.2.1. Descriptivo

Comprende la descripción, registro, análisis e interpretación de la naturaleza actual, y la composición o proceso de los fenómenos (Tamayo, 2003).

De acuerdo a nuestra investigación el método se usó en el diagnóstico actual de la empresa, en el registro de energía que requiere el horno para diseñar el tanque de almacenamiento de GLP, así como también en la interpretación de los resultados obtenidos.

1.4.3. Diseño de investigación

1.4.3.1. No experimental

En la investigación se trabajó con datos obtenidos de la empresa para el diseño de tanque estacionario de GLP apoyándose con el manual de tanques por lo cual es no experimental porque los datos ya existen en la empresa.

1.4.3.2. Transversal

Mediante el uso de un Check list se recopiló la información para la obtención de datos necesarios en la investigación aplicando el diseño de investigación transversal.

1.4.4. Métodos de investigación

1.4.4.1. Métodos teóricos

a) Método bibliográfico

Se realizó una revisión bibliográfica sobre el diseño y determinación de tanques de almacenamiento óptimos de GLP utilizados en la industria de cerámica, así también se realizara una revisión de informes, tesis y otros ya realizados sobre nuestra investigación.

b) Análisis

Este punto consiste en recolectar la información necesaria que nos permitió reconocer y analizar las características del área de estudio.

1.4.5. Técnicas e instrumentos

Se usó las siguientes técnicas e instrumentos:

- Se recopiló la información mediante la observación directa en el lugar mediante un registro fotográfico.
- Se usó de la entrevista para recabar alguna información necesaria haciendo uso de un check list.
- Una vez obtenida toda la información necesaria realizamos el procesamiento de la información documental.
- El cálculo del tanque óptimo de almacenamiento de GLP estacionario se determinó con ecuaciones matemáticas como ser el caudal necesario de alimentación.

- Se dimensiono el tanque de almacenamiento de GLP y la red de distribución mediante el uso de ecuaciones matemáticas y el uso del manual técnico para la distribución de GLP a granel en tanques estacionarios

CAPÍTULO II: DESARROLLO

2.1. MARCO TEÓRICO

2.1.1. MARCO CONCEPTUAL

2.1.1.1. Gas Licuado de Petróleo (GLP)

“Mezcla de gases licuados presentes en el gas natural disueltos en el petróleo. Los componentes de GL, aunque a temperatura y presión ambientales son gases, son fáciles de licuar si se cambian las condiciones de temperatura y presión” (Agencia Nacional de Hidrocarburos, 2017, pág. 3).

“Para la obtención del (GLP) se combinan pequeños grupos hidrocarburíferos, con temple estándar y con presión ambiente, se hallan en fase de gas, y tiene la característica de pasar a fase líquida al colocar a presiones bajas” (Group 2013, citado en Pillajo & Cox, 2022, pág. 12).

El GLP es obtenido mediante el fraccionamiento ligero de la destilación del crudo, así como en los pozos de gas natural, donde aparece en pequeñas cantidades, siendo fácil su disociación y purificación. Cada litro de GLP líquido que contiene 70 % de propano y 30 % de butano de un tanque o recipiente está en la capacidad de producir 262 a 270 litros de vapor. La capacidad de vaporización que tiene el GLP permite guardar grandes cantidades de gas en recipientes pequeños (Lojagas, 2019, citado en Pillajo & Cox, 2022, Pág. 9).

2.1.1.2. Propiedades del GLP

El GLP se encuentra basado en criterios promedio de la industria el cual es producido tanto de plantas de gas natural como de refinerías de petróleo, por tanto, las propiedades no suelen tener tanta variación en sus propiedades, teniendo un aproximado de dichas propiedades según lo indica la Tabla 1 (Pillajo Lugmana & Cox Flores, 2022)

Tabla 1*Propiedades del GLP*

Propiedad	Propano	Butano
Presión en fase gaseosa en Psia (Presión absoluta)		
70°F	145	32
100°F	218	52
105°F	233	56
130°F	315	84
Gravedad específica en fase líquida a 60°F (kg/L)	0.504	0.582
Punto de ebullición inicial a 14.7 psia, °F	-44	31
Calor específico en fase líquida, Btu/lb a 60°F	0.630	0.549
Gravedad específica en fase gaseosa (aire=1) a 60°F	1.50	2.01
Presión en fase gaseosa en kPa abs (presión absoluta)		
20°C	1000	220
40°C	1570	360
45°C	1760	385
55°C	2170	580
Gravedad específica en fase líquida a 15.56 °C	0.504	0.582
Gravedad específica en fase líquida a 15.56 °C (kg/L)	1.464	1.276
Gravedad específica en fase gaseosa (aire=1) a 15.56 °C	1.50	2.01

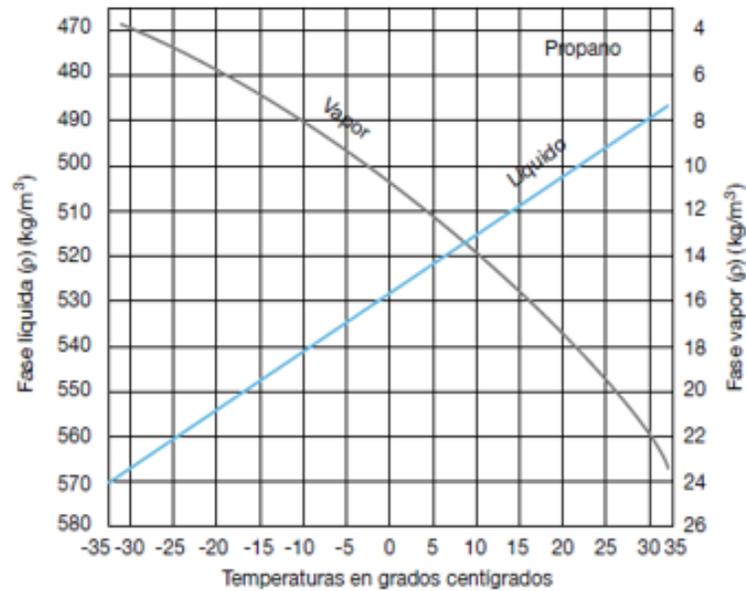
Fuente: Obtenido de (Pillajo Lugmana & Cox Flores, 2022)

➤ **Masa en volumen de GLP**

La masa en volumen de los GLP, tanto de la fase líquida como de la fase gaseosa, varía en función de la temperatura, según se puede observar en la Figura 1.

Figura 1

Temperatura – fase líquida vs fase gaseosa



Fuente: Obtenido de (Salazar Villalva & Martínez Urdiales, 2011)

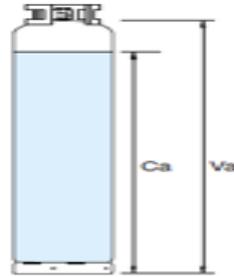
2.1.1.3. Grado de llenado

El GLP en fase líquida se dilata por la temperatura más que los recipientes que los contienen. Los gases butano y propano se almacenan licuados a presión que es denominada “tensión de vapor” porque en ese estado queda reducido su volumen unas 240 veces aproximadamente. La presión del gas en el interior de un envase a una temperatura de 15°C., es de aproximadamente 8.0 bar absolutas para el propano y 2 bar absoluta para el butano. A una temperatura máxima de trabajo de 60°C, las presiones son 20 bar absoluta. Para el propano y 7.5 bar absoluta para el butano (Salazar Villalva & Martínez Urdiales, 2011).

El llenado de un envase no puede sobrepasar el 85% de su volumen quedando el 15% restante ocupado por el GLP en fase gaseosa. Esta limitación se debe al hecho, de que al calentarse el envase, el líquido contenido se dilataría más que el acero utilizado del cual está hecho el envase y si estuviera totalmente llena podría llegar a romperse (Salazar Villalva & Martínez Urdiales, 2011).

Figura 2

Botella con niveles V_a y C_a



Nota. El volumen de almacenamiento (V_a) de un envase es su volumen geométrico interior expresado en metros cúbicos y la capacidad de almacenamiento (C_a) de un envase es el volumen máximo que puede llegar a ser ocupado por el GLP para protegerlo de la posibilidad de rotura. Fuente: adquirido de (Salazar Villalva & Martínez Urdiales, 2011).

➤ **Volumen Neto**

“Es el volumen neto de Gas Licuado de Petróleo GLP en un tanque presurizado corregido en condiciones estándar. Se obtiene al sumar el volumen de la fase líquida a condiciones estándar y volumen de la fase gaseosa equivalente a líquido a condiciones estándar” (referencia normativa API 14.8 7.7, citado en Agencia Nacional de Hidrocarburos, 2017, pág. 5).

➤ **Presión de vapor**

“Es la presión que ejerce la fase gaseosa sobre la fase líquida, para una temperatura determinada, en la que la fase líquida y el vapor se encuentran en equilibrio dinámico. Su valor es independiente de las cantidades de líquido y vapores presentes, mientras existan ambas”. (Agencia Nacional de Hidrocarburos, 2017, pág. 4)

➤ **Cocción**

“El proceso de tratamiento térmico de materiales cerámicos en un horno para desarrollar un enlace vítreo o cristalino, otorgando a las piezas las propiedades asociadas con un material cerámico” (MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y MEDIO RURAL Y MARINO DE ESPAÑA, 2011, pág. 312).

2.1.1.4. Distancia de seguridad

Es la distancia mínima que ha de existir entre dos elementos que se quieren proteger de la influencia peligrosa, de uno de ellos sobre el otro. Los elementos están referenciados de acuerdo a tabla 2 y mostrados en la Figura 3.

Tabla 2

Distancia de Seguridad

Ref.	Observación
1	Espacio libre alrededor de la proyección sobre el terreno del depósito.
2	Distancia del cerramiento.
3	Distancia a muros o paredes ciegas.
4 ^a	Distancia a límite de propiedad, proyección de líneas aéreas de alta tensión.
4 ^b	Distancia a aberturas de inmuebles, aberturas de sótanos, abertura de alcantarillas, focos fijos de inflamación, motores fijos de explosión, vías públicas, férreas o fluviales navegables, equipos eléctricos no protegidos y desagües.
5	Distancias a aberturas de edificios de uso docente, de uso santuario, de hospedaje, de culto, de esparcimiento o espectáculo, de acuartelamiento, de centros comerciales, museos, bibliotecas o lugares de exposición públicos.
6	Distancia desde la boca de carga a la cisterna de trasvase.

Fuente: Elaborado en base a (Moscoso, 2007)

Figura 3

Disposición de tanques



Fuente: Obtenido de (Moscoso, 2007)

2.1.1.5. Tanque fijo o estacionario

Es un recipiente de acero fabricado especialmente para contener GLP y que por su peso y dimensiones puede llenarse solamente en el lugar mismo de su instalación. La forma que

tienen normalmente es semejante a cápsulas, esto es, con cuerpo cilíndrico y cabezas semiesféricas las cuales van soldadas al cuerpo con soldadura eléctrica (Moscoso, 2007).

Tabla 3

Clasificación de tanques estacionarios en relación a su capacidad

Tipo de tanque	Uso	Capacidad (Kg)
Estacionario	Doméstico, comercial e industrial	300 – 5000
Estacionario	plantas de almacenamiento	5000 – 250000
Móvil	Para transporte de GLP montadas en el chasis	5,000, 12,000, 40,000 y 120,000
Móvil	Para montar en vehículos	60 y 120

Fuente: Elaborado en base a (Salazar Villalva & Martinez Urdiales, 2011)

Figura 4

Tanques Estacionarios



Fuente: Obtenido de empresa comercializadora de GLP citado en (Salazar Villalva & Martinez Urdiales, 2011, pag. 17.)

2.1.1.6. Tipos de tanques estacionarios

Los tanques estacionarios para almacenamiento de GLP, pueden clasificarse considerando la forma del recipiente y cantidad de producto que se desea almacenar según el uso que se le dé, así se tiene:

➤ **Tanques estacionarios horizontales**

Son recipientes de forma cilíndrica horizontal y con casquetes semiesféricos soldados al cuerpo del recipiente como se ve en la figura.

Figura 5

Tanques Estacionarios Horizontales



Fuente: obtenido de la pagina (El Surtidor, 2017)

Este tipo de tanque son los de mayor uso en diferentes actividades según la capacidad de almacenamiento se tiene lo siguiente.

Tabla 4

Tanques horizontales estacionarios según su capacidad

Uso	Capacidad (kg)
Comercial e industrial	Desde 5000 a 250000
Transporte del producto	Desde 5000, 12000, 40000 y 120000
Plantas de almacenamiento	Desde 5000 hasta 250000

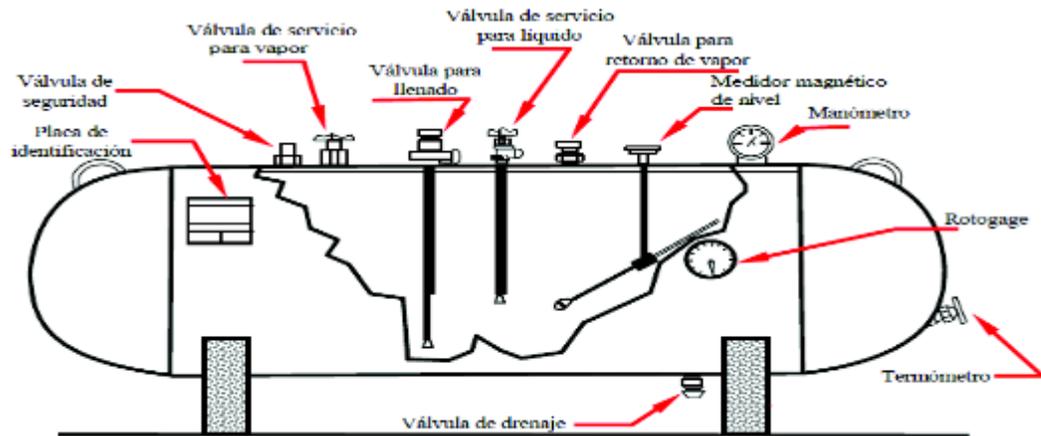
Fuente: Elaborado en base a (Salazar Villalva & Martinez Urdiales, 2011)

➤ **Partes de un tanque estacionario**

En lo que corresponde al estudio actual, sera util unicamente la descripcion de un tanque cilindrico horizontal.

Figura 6

Configuración típica de un tanque estacionario horizontal para almacenamiento de GLP



Fuente: Obtenido de (Salazar Villalva & Martínez Urdiales, 2011)

➤ **Tanques estacionarios esfericos**

Este tipo de recipientes disponen de forma esférica y están destinados al almacenamiento de grandes cantidades de GLP a elevadas presiones, considerándose que las cantidades del producto que se almacenará superen los 250000 kg, el uso de estos recipientes se considera únicamente en el caso de grandes capacidades debido a que su fabricación es muy costosa. (Guato, J. y Guayasamín, J., 2014, citado en Arias, C., 2019). Ver Figura 1.2.

Figura 7

Tanques Estacionarios Esféricos



Fuente: Obtenido de YPFB

2.1.1.7. Dimensionamiento del tanque estacionario de GLP

a) Determinación del calor necesario para la evaporación del agua

$$Q_{\text{agua}} = m_{\text{Agua}} * C_{p\text{Agua}} * (T_2 - T_1) \quad \text{Ec. 1}$$

Donde:

Q_{agua} = calor necesario para evaporar la humedad del artículo

M_{agua} = masa de agua contenida en el producto, kg

$C_{p\text{Agua}}$ = calor específico del fluido, kcal/kg°C (1 kcal/kg°C)

T_2 = temperatura máxima, °C

T_1 = temperatura del agua contenida en el artículo, °C

b) Calor necesario para la cocción de las piezas

$$Q_{\text{coccion}} = m_{\text{articulo}} * C_{p\text{Arcilla}} * (T_2 - T_1) \quad \text{Ec. 2}$$

Donde:

Q_{coccion} = calor necesario para la cocción del artículo

m_{articulo} = masa de agua contenida en el producto, kg

$C_{p\text{Arcilla}}$ = calor específico de arcilla, kcal/kg°C (0.37 cal/g°C)

T_2 = temperatura máxima de cocción, °C

T_1 = temperatura ambiente, °C

c) Determinación del calor suministrado al horno

El calor suministrado, viene dado por el poder calorífico del combustible y por la cantidad del mismo, de este modo se tiene:

$$Q_{\text{total}} = \sum P_i * M_i \quad \text{Ec. 3}$$

Q_{total} es el calor total que ingresa al horno por quemada

P_i es el poder calorífico del combustible

M_i es la masa del combustible que ingresa al horno

Tomando en cuenta que los combustibles utilizados son la goma para precalentado y leña para cocción, se tiene:

$$Q_{\text{total}} = P_{\text{goma}} * M_{\text{goma}} + P_{\text{leña}} * M_{\text{leña}}$$

d) Consumo teórico de GLP

$$\dot{m}_c = \frac{Q}{P_{ci}} \quad \text{Ec. 4}$$

\dot{m}_c Gasto de combustible (kg/hr)

Q: Consumo calorífico del horno (kcal/hr)

Pci: poder calorífico inferior del GLP (kcal/kg)

e) Autonomía del tanque estacionario

El término autonomía se refiere al tiempo mínimo de funcionamiento normal hasta la siguiente recarga, y por sus condiciones físicas del o los tanques de peso y dimensiones su recarga debe ser in situ. Las indicaciones porcentuales de llenado de estos tanques sólo se recomiendan hasta un 85% por seguridad en la presión de vaporización, y para el vacío el stock mínimo que debe poseer el tanque es de 30%, así el tanque se llena un 55% en cada recarga lo que sería la capacidad del tanque (Ortiz Caaspa, 2018).

El cálculo de contenido en masa de GLP está en función del consumo diario y el número de días entre recargas.

$$Contenido = C_{diario} * N^{\circ} \text{ de dias} \quad Ec. 5$$

Para conocer la cantidad volumétrica se utiliza la masa en volumen en fase líquida del gas al vaporizarse un metro cúbico

$$Volumen = \frac{Contenido}{Masa \text{ en volumen en fase líquida de GLP}} \quad Ec. 6$$

f) Volumen del depósito

Considerando que por cuestiones de seguridad sólo se puede disponer del 65% del depósito, el volumen del depósito se puede definir por la siguiente ecuación.

$$100\% - 15\% \text{ stock de seguridad} - 20\% \text{ stock minimo} = 65\% \text{ capacidad del tanque}$$

$$Volumen = 0.65 * volumen \text{ del deposito} \quad Ec. 7$$

g) Vaporización natural

El caudal de vaporización de los tanques debe ser calculado en función de la temperatura más baja probable del entorno y en una temperatura media a condiciones ambientales.

$$Q = P * S * K * \frac{(Te - Tg)}{CLV} \quad Ec. 8$$

Donde:

Q: Caudal másico de vapor

P: Porcentaje de superficie del depósito en contacto con el líquido mojado

S: Superficie del depósito (m²)

K: Coeficiente de transmisión de calor a través de las paredes de depósito (kW/m °C)
Te: Temperatura exterior mínima media prevista, del ambiente en el que está instalado el depósito (°K).

Tg: Temperatura de equilibrio líquido-gas del gas en el interior del depósito (°K).

CLV: Calor latente de vaporización del propano [kWh/kg].

h) Factor de simultaneidad

$$f_s = \frac{a * \left(\frac{PIT}{1.163}\right)^b + C}{(PIT/1.163)} \quad Ec. 6$$

fs: factor de simultaneidad

PIT: Potencial Total Instalado (KW)

A,b,c: parámetros dependientes de artefactos conectados

i) Tamaño de tanques

Los tamaños más comunes en los tanques de GLP industrial existentes son de 0.45; 2; 4; 7; 7.5; 8 y 10 metros cúbicos respectivamente.

2.1.1.8. Selección y cálculo de tuberías

a) Ecuación de Renouart

Para la adecuada selección de tubería hay que obtener un diámetro que satisfaga una caída de presión de bajo porcentaje con respecto a la presión inicial y en función del consumo a la salida de la tubería.

$$\frac{Q}{D * 1000} < 27.7 \quad Ec. 7$$

Q: caudal que circula por el tramo calculado (m³/hr)

D: Diámetro interior de la tubería (m)

Para presión media (5KPa < P < 500KPa)

$$P_A^2 - P_B^2 = 51.5 * dc * Lc * \frac{Q^{1.82}}{D^{4.82}} \quad Ec. 8$$

PA y PB: Presiones absolutas en el origen y al final del tramo (bar)

dc: Densidad corregida

Lc: Longitud de cálculo de la conducción más un % por perdidas (m)

Q: Caudal de gas en el tramo (m³/hr)

D: Diámetro interior de la tubería (m)

b) Velocidad de conducción

La velocidad es la distancia que recorre un fluido en una unidad de tiempo, para el caso de las redes de distribución las unidades más comunes son en (m/s).

$$v = 378.04 * \frac{Q}{P * D^2} \quad Ec. 9$$

Q: Caudal transportado (m³/h)

P: Presión absoluta del gas (bar)

D: Diámetro interior de la tubería (mm)

2.1.1.9. Marco normativo

Para el desarrollo de la investigación se basara de acuerdo a normas, reglamentos y manuales de acuerdo a los siguientes:

- NB 138002: 2017: Tanques estacionarios a presión para el almacenamiento de gas licuado de petróleo (GLP).

Esta norma establece los requisitos mínimos y las operaciones necesarias para la inspección periódica, recalificación, re inspección, reparación y/o alteración de tanques estacionarios a presión de almacenamiento de GLP para el servicio de GLP a granel (IBNORCA, 2017).

- Código ASME (American Society of Mechanical Engineers) Sección VIII División 1 y 2.

Esta norma establece los requerimientos para el diseño y construcción de los tanques destinados para el almacenamiento de recipientes a presión, como materiales, cargas, temperaturas máximas y mínimas de diseño, ecuaciones para el diseño con presiones internas y externas, fabricación, inspecciones, pruebas y ensayos.

- Manual técnico para la distribución de GLP a granel en tanques estacionarios (Ministerio de Hidrocarburos y Energía, 2019)

Este manual describe requisitos de operaciones necesarias para distribución y almacenamiento de GLP para tanques de 320, 180, y 120 litros de capacidad

- Procedimiento técnico para el cálculo de volumen de gas licuado de petróleo (GLP) en tanques estacionarios presurizados. Fue desarrollado por la (Agencia Nacional de Hidrocarburos, ANH, 2017)

2.1.2. MARCO CONTEXTUAL

2.1.2.1. Ubicación Geográfica

La investigación se desarrolló en la ciudad de Villazón, Provincia Modesto Omiste del departamento de Potosí en una unidad productiva de artículos de arcilla.

Coordenadas: 22°05'00”S 65°36'41”W

Figura 8

Ubicación del taller El Arte en Tus Manos



Fuente: Elaborado en base a Google eart

La siguiente investigación se realizó aplicado al proceso de fundición donde se busca reemplazar la leña como fuente de energía cambiándola por Gas Licuado de Petróleo (GLP) a través de un tanque estacionario de GLP para almacenar la fuente de energía

2.1.2.2. Características de la cerámica

En general, el término «cerámica» (productos cerámicos) se utiliza para materiales inorgánicos (que pueden tener parte de contenido orgánico) formados por compuestos no metálicos y estabilizados mediante un proceso de cocción. Además de los materiales a base de arcilla, en cerámica existen hoy en día multitud de productos con una pequeña porción de arcilla o sin ningún contenido de la misma. La Cerámica puede ser esmaltada o no esmaltada, porosa o vitrificada (MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y MEDIO RURAL Y MARINO DE ESPAÑA, 2011).

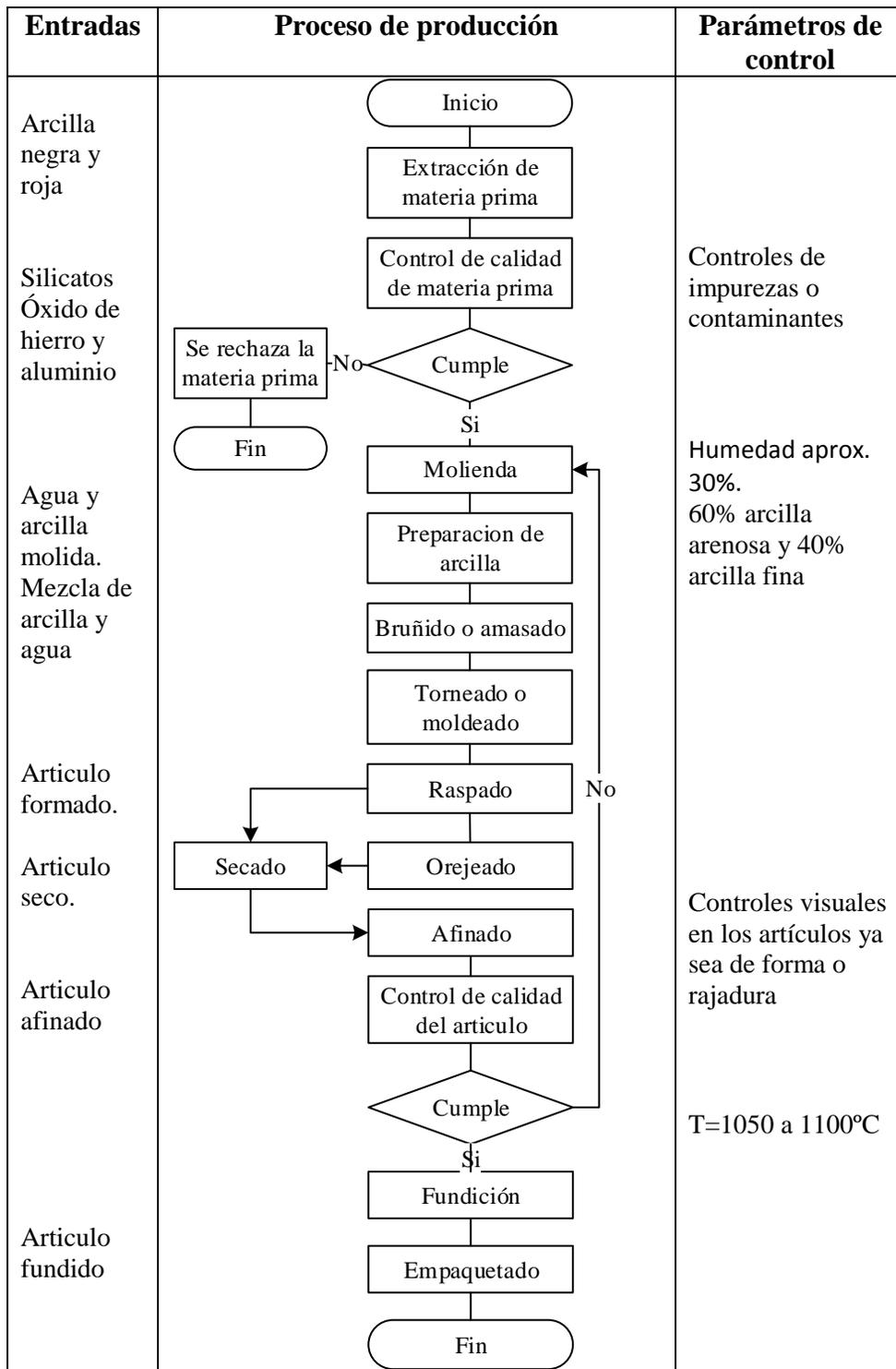
La cocción de cuerpos cerámicos produce una transformación de los minerales constituyentes, que depende del tiempo y de la temperatura, y que, en general, da lugar a una mezcla de

nuevos minerales y fases vítreas. Entre las propiedades más características de los productos cerámicos figuran la elevada resistencia, la resistencia al desgaste, una larga vida útil, la inercia química y la inocuidad, la resistencia al calor y al fuego, la resistencia eléctrica (generalmente) y a veces también una porosidad específica (MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y MEDIO RURAL Y MARINO DE ESPAÑA, 2011).

Los principales pasos en la fabricación de productos de cerámica suelen ser bastante independientes de los materiales utilizados y del producto final. La siguiente figura 8 muestra de forma esquemática el proceso típico y los medios de suministro y de eliminación posible o necesaria.

Figura 9

Flujo grama de Proceso para la producción de artículos de arcilla



2.1.2.1. Consumo de energía

En la industria cerámica la energía se utiliza principalmente para la cocción en el horno. En numerosos procesos también se consume mucha energía con el secado de productos semielaborados o artículos moldeados. En el proceso de fundición se requiere alcanzar una temperatura máxima de 1300°C para lograr fundir la arcilla.

En cuanto a los quemadores de GLP usados en el horno de fundición, la mayoría de los quemadores atmosféricos utilizados en los hornos están ajustados a aproximadamente 38000 calorías (Lozano Hernandez & Ramirez Osorio, 2014).

“En la regla practica aproximada para cada metro cubico de horno se necesita como mínimo una capacidad de 270000 calorías” (Rhodes, 1987, pág. 173).

El consumo de energía para el proceso de cocción es aproximadamente de 900 a 1300 MJ/m³, según la materia prima (contenido en humedad de la arcilla) (UBA, 2005, pág. 26, citado en Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino de España, 2011, pág. 18). Los requisitos energéticos específicos en la cocción esta entre 1250KJ/kg 3500 KJ/kg (MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y MEDIO RURAL Y MARINO DE ESPAÑA, 2011, pág. 59).

2.1.2.2. Consumo de leña

Para la obtención de la leña se realiza la compra por equipo completo de 20000 kg o 20 ton a un precio de 19000 bs. Se usa el quebracho como principal fuente de energía.

Tabla 5

Consumo de leña por horneada

Consumo de leña por horneada (kg)	Precio de leña (Bs/kg)	Precio total por horneada (bs)	Tiempo de fundición (hr)
1200	1.053	1263.5	5 a 6

Fuente: Elaborado en base a datos de (El Arte en Tus Manos)

Tabla 6

Consumo de leña por mes

Numero de horneadas mes	Consumo de leña (kg/mes)	Precio de leña (Bs/mes)	Tiempo de fundición media (h)
4	4800	5054.4	22

Fuente: Elaborado en base a datos de (El Arte en Tus Manos)

Tabla 7*Consumo de leña anual*

Numero de horneadas mes	Consumo de leña (kg/año)	Precio de leña (Bs/año)	Tiempo de fundición media (h)
48	57600	60652.8	264

Fuente: Elaborado en base a datos de (El Arte en Tus Manos)

➤ **Características de la leña quebracho**

El poder calorífico es afectado por el tiempo de secado de la leña desde el corte hasta la fundición.

Tabla 8*Propiedades del quebracho*

Especie	Poder calorífico (Kcal/kg)	Poder calorífico inferior (kcal/kg)
Quebracho	5051	4100

Fuente: Obtenido de (Latzina, 1987)

➤ **Características del GLP como combustible**

Tabla 9*Características del GLP*

Propiedades	Valor	Unidad
Densidad relativa	1.72	-
Densidad absoluta	2.23	Kg/m3
Poder calorífico	22244	Kcal/m3
Poder calorífico	11739	Kcal/kg

Fuente: Obtenido de Centro de capacitación del gas INFOCAL

“Aproximadamente, 1 kg de propano equivale a la energía proporcionada por: 1.24 m3 de gas natural; 1.20 lt de fuel oil; 3 a 6 kg de leña; 14 kWh de electricidad; a 2 kg de carbón” (Centro de capacitación del gas INFOCAL, 2018)

2.1.2.3. Proceso de fundición en horno a leña

➤ Vista frontal Horno

El taller cuenta con 2 hornos, en la figura se muestra uno de los hornos con dos bocas de alimentación para leña, donde a través de la combustión se logra incrementar el calor para la cocción de los artículos de arcilla, en estos hornos la temperatura aproximada alcanzada es de 1300°C en un tiempo entre 5 a 6 horas para una buena cocción de la cerámica.

Figura 10

Horno de fundición



Fuente: fotografía tomada de (El Arte en Tus Manos)

Este tipo de hornos si son adaptables al uso de GLP como fuente de energía haciendo el uso de una red de distribución hacia unos quemadores de gas realizando una buena distribución de quemadores para lograr una cocción homogénea.

➤ **Parte interna y boca de carguío de producto al horno**

Figura 11

Boca de carguío de producto y parte interna del horno



Fuente: Toma de fotografías en el taller (El Arte en Tus Manos)

De acuerdo a la figura observada es aquí donde se almacena el calor y distribuye en este almacén para lograr alcanzar la temperatura deseada para una buena cocción de la cerámica. Se puede apreciar en la figura que las paredes internas son de ladrillo normal lo cual no es buen aislante de calor en cambio haciendo el uso de ladrillo refractario permitiría mejor almacenamiento de calor.

➤ **Llama generada en el proceso de fundición de artículos de arcilla**

Figura 12

Llama generada en el proceso de fundición



- Generación de dióxido de carbono y monóxido de carbono

Figura 13

Generación de contaminantes al medio ambiente



Fuente: Toma de fotografías de “El Arte en Tus Manos”

- Uso de GLP en garrafas de volumen reducido

Figura 14

Horno con alimentación de GLP almacenado en garrafa de capacidad pequeña



Fuente: Toma de fotografías en el taller (El Arte en Tus Manos)

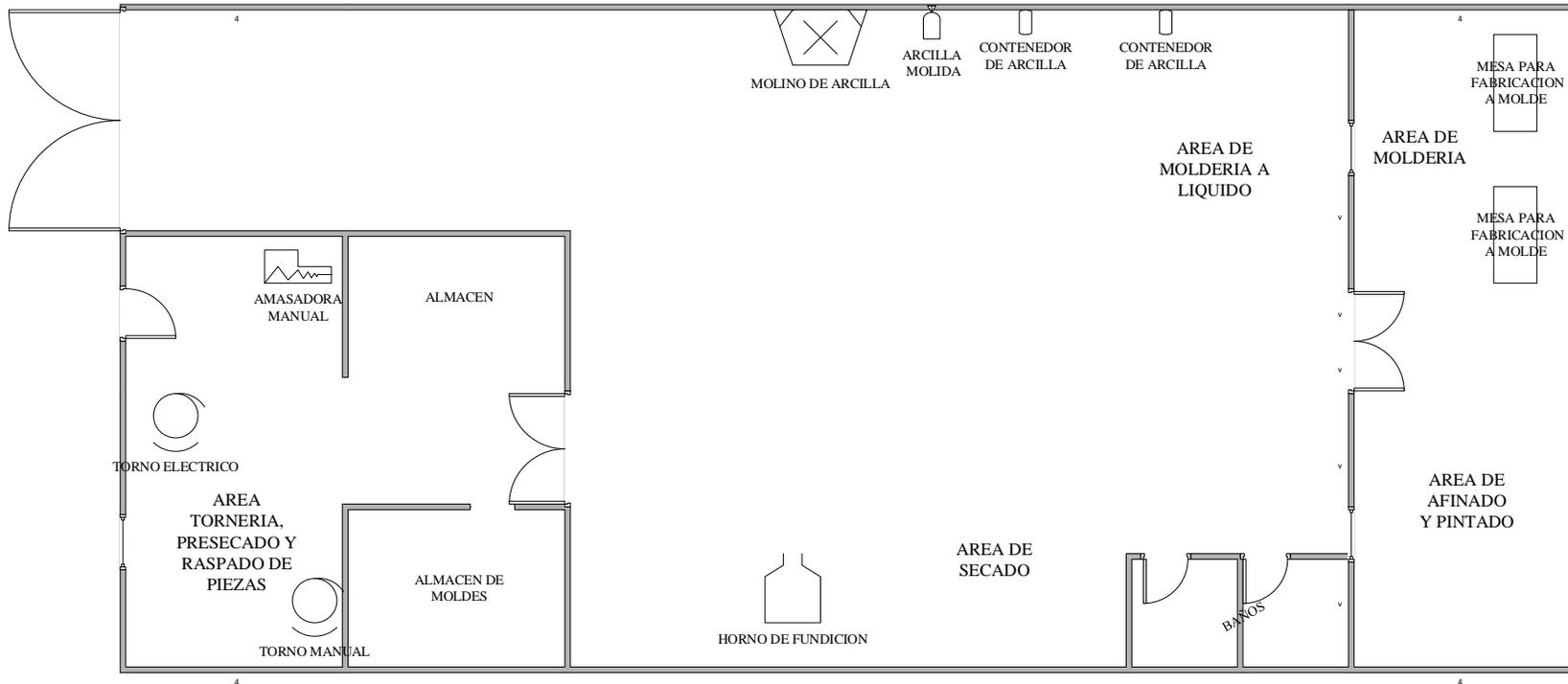
Nota. En cada pre cocción realizada se usa GLP almacenada en garrafas de 45Kg, realizándose la fundición una vez por semana. La temperatura de a la que se llega alcanzar es de 800°C en cada pre cocción en un tiempo de 4 horas.

2.1.3. Distribución espacial

En la figura 14 se muestra la distribución de equipos incluyendo la ubicación del proceso de cocción aplicado a la siguiente investigación.

Figura 15

Distribución de Planta



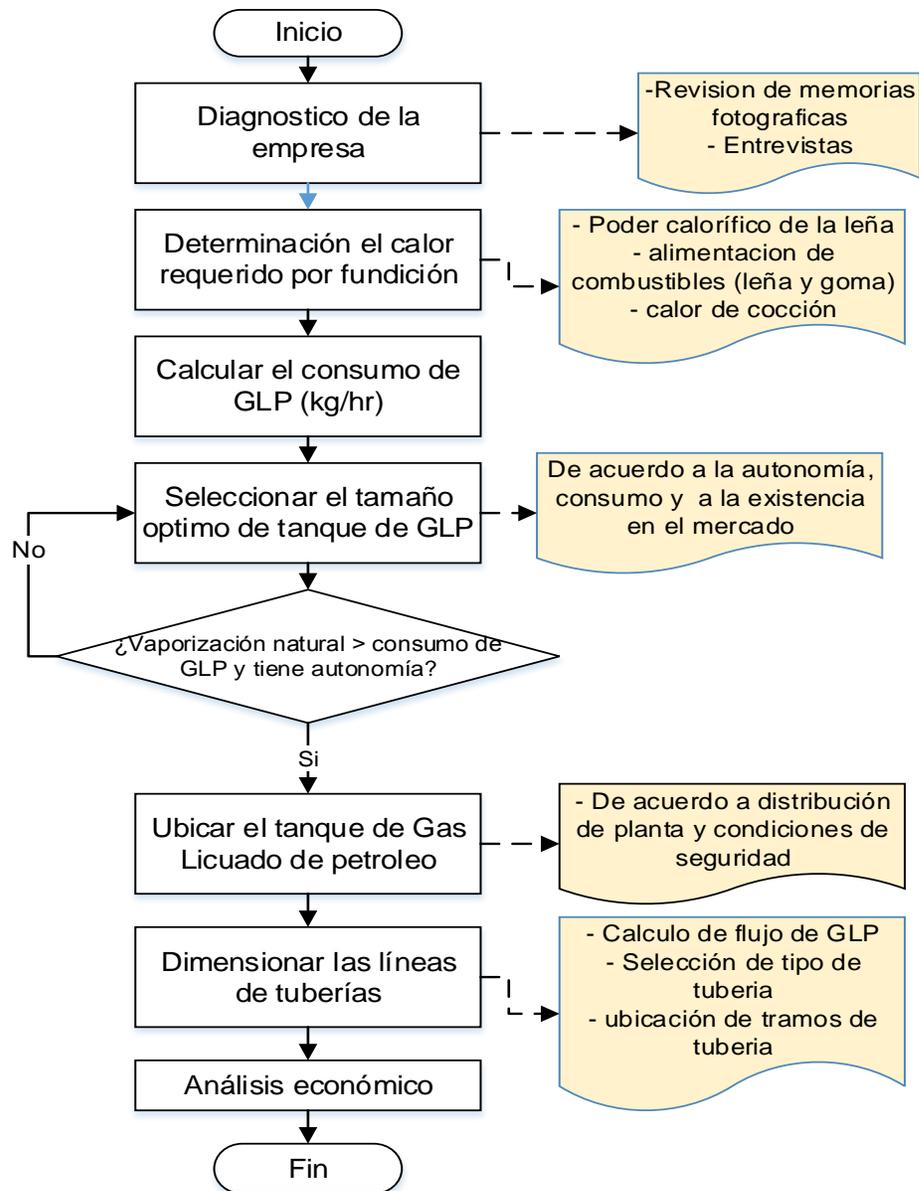
Fuente: Obtenido de la empresa El Arte en tus Manos

2.2. INFORMACIÓN Y DATOS OBTENIDOS

Con el fin de garantizar un desarrollo metódico y efectivo de la investigación, se ha diseñado un esquema que servirá como hoja de ruta para alcanzar cada uno de los objetivos establecidos. Este esquema, representado en detalle en la Figura 15. Su estructura proporciona una guía clara para la recopilación, análisis e interpretación de datos, asegurando así la coherencia y consistencia en el proceso de investigación.

Figura 16

Esquema para el desarrollo de la investigación



2.2.1. Parámetros para determinar la energía usada en el horno

Inicialmente para la cremación en el horno es necesario identificar la temperatura máxima de fundición con el funcionamiento de las cámaras de combustión,

“Temperatura promedio requerido para cocción de piezas de arcilla es de 1100°C llegando en la cámara de combustión hasta los 1250°C” (El Arte en Tus Manos, 2024)

“Temperatura promedio anual en la ciudad de Villazón es de 11°C” (Biocultura Prorural, 2022)

Producción de artículos de arcilla

Para el diseño u obtención del tanque de almacenamiento de GLP requerimos la producción para así determinar la demanda de combustible, en la fábrica la producción alcanza los 380 piezas en tachos de 12 litros por semana, la producción puede variar en cantidad debido a que también se realiza otras piezas como ser macetas, adornos y ollas de diferente medida para efectos de cálculo se tomó en cuenta solo la producción de tachos.

Figura 17

Tachos de arcilla



Fuente: Obtenido del taller El Arte en Tus Manos

➤ **Masa de artículos crudo y cosido**

Tabla 10

Masa del tacho de arcilla

Producto	Masa (g)	Masa (kg)
Tacho crudo	4030	4.03
Tacho cosido	3950	3.95
Diferencia (contenido de humedad)	80	0.08

Fuente: elaborado en base al peso del tacho de El Arte en Tus Manos

2.2.2. Determinación del calor necesario para la cocción

Teniendo en cuenta que el ingreso al horno no será completamente libre de humedad mediante la ecuación 1 se determina el calor

$$Q_{agua} = 0.08kg * \frac{1kcal}{kg^{\circ}C} * (65 - 11)^{\circ}C$$

$$Q_{agua} = 4.32kcal$$

Para evaporar 80 gramos de agua se necesita 4.32 kcal por pieza, para 380 piezas se requiere:

$$Q_{requerido} = 4.32 * 380 = 1641.6 kcal$$

➤ **Calor necesario para la cocción de las piezas**

Mediante la ecuación 2 calculamos el calor necesario para la cocción del artículo de arcilla.

$$m_{total} = 4.03 kg * 380 unidades = 1531.4 kg$$

$$Q_{coccion} = 1531400g * 0.37 \frac{cal}{g^{\circ}C} * (1100 - 11)^{\circ}C$$

$$Q_{coccion} = 617047002 cal = 617047.002 kcal$$

Teniendo en cuenta que la cocción se realiza en 4,5 horas tenemos:

$$\dot{Q}_{coccion} = 137121.556 kcal/h$$

2.2.3. Determinación de energía de alimentación al horno

Tabla 11

Propiedades del combustible

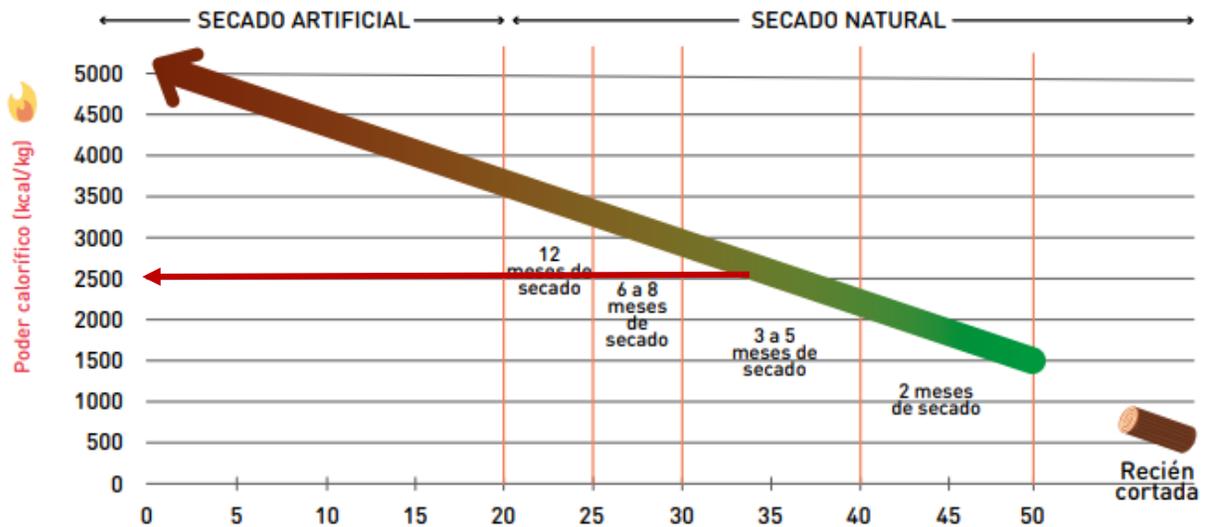
Combustible	Masa (kg)	Poder calorífico (Kcal/kg)
Goma	11	7000
Quebracho	1200	4100

Fuente: Elaborado en base a (Latzina, 1987)

“El poder calorífico varía según cada especie, pero es el porcentaje de humedad la variable que más influye en la cantidad de calor que entrega. La leña con menor contenido de humedad, garantiza un mayor poder calorífico, y por lo tanto, un menor consumo para alcanzar los mismos niveles de confort” (Ministerio de Industria Energía y Minería de Uruguay, 2021).

Figura 18

Poder calorífico según humedad



Fuente: Obtenido de (Ministerio de Industria Energía y Minería de Uruguay, 2021)

De acuerdo a la figura para el estudio de la siguiente investigación y tomando en cuenta de que el uso de la leña en el horno se da aproximadamente después de 3 a 5 meses desde que la leña es cortada para lo cual se toma un poder calorífico de 2500 kcal/kg.

Mediante la ecuación 3 calculamos el calor total que ingresa al horno por cada fundición

$$Q_{total} = \frac{7000 \text{ kcal}}{\text{kg}} * 7 \text{ kg} + \frac{2500 \text{ kcal}}{\text{kg}} * 1200 \text{ kg}$$

$$Q_{total} = 2896391.52 \text{ kcal}$$

El tiempo promedio usado por fundición es de 4,5 horas se tiene un flujo de calor de:

$$\dot{Q} = 680666.667 \text{ kcal/h}$$

“De acuerdo al uso del tipo de combustible el tiempo de fundición varía. En hornos con capacidad de 7 m³ dependiendo del requerimiento del quemador el tiempo de cocción aproximado es de 8 horas” (Pinto Gonzales, 2016).

Entonces el calor requerido para 8 horas es de:

$$Q_{total} = 2896391.52 \text{ kcal}$$

$$Q_{total} = 362048.940 \text{ kcal/h}$$

➤ Eficiencia del horno de fundición

$$\mu_{horno} = \frac{Q_u}{q_{co}} * 100\%$$

Q_u = calor útil para cocción del artículo

Q_{co} = calor liberado por combustión

$$\mu_{horno} = \frac{618688.602}{3063000} * 100\%$$

$$\mu_{horno} = 20.199\%$$

De acuerdo al cálculo realizado, la eficiencia del horno es baja debido a varios factores entre ellas, el horno no cuenta con aislantes que eviten el flujo de calor por las paredes por lo que se recomienda el uso de ladrillos refractarios para aumentar la eficiencia del horno así como también reducir el gradiente de temperatura entre la parte alta y baja de la cámara de carguío, logrando de esta manera el uso eficiente de la energía en la cámara de combustión.

2.2.4. Consumo de gas licuado de petróleo (GLP)

Utilizando la ecuación 4 calculamos el consumo de GLP por el horno de fundición. El poder calorífico del GLP 11082 kcal/kg (OSINERGMIN, 2011, citado en Luque Huanca, 2019).

$$\dot{m}_c = \frac{362048 \text{ kcal/h}}{11082 \text{ kcal/kg}}$$

$$\dot{m}_c = 32.67 \text{ kg/h}$$

Consumo en kcal/h de GLP

$$\dot{m}_c = 362048.94 \text{ kcal/h}$$

Una vez obtenida la energía requerida por cada cocción o fundición se procede al cálculo del contenido en GLP necesario para satisfacer de energía al horno.

$$m_c = 32.67 \frac{\text{kg}}{\text{hr}} * 8 \text{ h} = 260.925 \text{ kg}$$

Obtenido la energía requerida por el horno grande lo sumamos la energía requerida por horno pequeño que sería de 45 kg utilizada en promedio una vez por semana

$$m_c = 260.925 \text{ kg} + 45 \text{ kg} = 305.925 \text{ kg}$$

2.2.5. Cálculo y dimensionamiento del tanque

2.2.5.1. Autonomía del tanque estacionario

“El término autonomía se refiere al tiempo mínimo de funcionamiento normal hasta la siguiente recarga, y por sus condiciones físicas del o los tanques de peso y dimensiones su recarga debe ser in situ” (Salazar & Martínez, 2011, citado en Ortiz, 2018, pág. 30).

Las indicaciones porcentuales de llenado de estos tanques sólo se recomiendan hasta un 85% por seguridad en la presión de vaporización, y para el vacío el stock mínimo que debe poseer el tanque es de 30%, así el tanque se llena un 55% en cada recarga lo que sería la capacidad del tanque.

El cálculo de contenido en masa de GLP se determina mediante la ecuación 5 que está en función del consumo por fundición y el número de fundiciones entre recargas, expresado en días sería tiempo entre recargas de 28 días.

$$\text{Contenido} = \frac{305.925 \text{ kg}}{\text{fundicion}} * 4 \text{ fundicion} = 1223.7 \text{ kg}$$

Para conocer la cantidad volumétrica se utiliza la masa en volumen en fase líquida del gas al vaporizarse un metro cúbico, que se encuentra en la Tabla 1 (504 Kg por metro cúbico de GLP en fase líquida). De acuerdo a la ecuación 6 se tiene:

$$Volumen = \frac{1223.7 \text{ kg}}{504 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 2.428 \text{ m}^3$$

➤ Volumen del depósito

Autonomía resultante: Considerando lo anterior dicho que por cuestiones de seguridad sólo se puede disponer del 65% del depósito, el volumen del depósito se puede definir por la ecuación 7:

$$Volumen \text{ del depósito} = \frac{2.428 \text{ m}^3}{0.65} = 3.735 \text{ m}^3$$

Se necesita 3.735 m³ de volumen de GLP para que exista una autonomía de 28 días, pero esto se debe revisar si el recipiente contenedor que se ha de seleccionar satisface la vaporización de gas necesaria para todos los aparatos de consumo.

➤ Vaporización natural

El caudal de vaporización de los tanques se calcula en función de la temperatura más baja del entorno y en una temperatura media en condiciones ambientales

“La temperatura mínima registrada en la ciudad de Villazón fue de: 5 °C.” (Alavia, 2023)

Para determinar el caudal másico de vapor de gas del tanque se utiliza la ecuación 8

Tabla 12

Variables de vaporización para tanque de 4m3

Variable	P	S (m2)	K (kcal/hm2°C)	CLV (kcal/kg)	Ti (°C)
Dato	0.397	15.3	8.4	94	-26

Nota: las constantes P, K, CLV y Ti son parámetros de diseño lo cual el grupo empresarial Lapesa dedicada a la fabricación de tanques para almacenar GLP lo usa y S es la superficie del tanque, su variación de las constantes utilizadas por otras bibliografías es similar (LAPESA, S.F.).

$$Q = 0.367 * 15.3 * 8.4 * \frac{(5 - (-26))}{94} = 15.55 \frac{kg}{h}$$

De acuerdo al consumo de GLP por hora consumido por el horno (vaporización mínima requerida) anteriormente calculada, a través del cálculo de vaporización natural debe ser mayor a la mínima requerida

De acuerdo a la vaporización natural del gas licuado de petróleo no logra abastecer la necesidad de energía requerida al 30% de llenado.

$$15.55 \frac{kg}{h} < 32.67 \frac{kg}{h} \text{ no cumple}$$

Por lo cual se debe seleccionar otro tamaño de tanque de acuerdo a la vaporización como parámetro guía, de acuerdo a la tabla en el anexo A, lo cual se toma como alternativas el tanque de 10 m³ y 7.5 m³

En el anexo B se encuentra los cálculos a detalle para los tanques de 10 y 7 m³ respectivamente

Para el tanque de 10 m³ hay una vaporización de 46.97 kg/h a una temperatura mínima en el ambiente de 5°C a un nivel de carga del tanque del 30%. Y en función de diferentes temperaturas y los niveles de llenado se elaboró las tablas 14 y 15 para un tanque de 10 m³ y 7 m³, respectivamente.

Tabla 13

Vaporización natural del tanque de 10 m3, en función del llenado y temperatura

Condición	Vaporización natural (Kg/h) en función a la temperatura				
	5°C	10°C	15°C	20°C	25°C
30% llenado	46.97	54.55	62.13	69.71	77.28

De acuerdo a la vaporización natural a diferentes temperaturas todas las variables son superiores a la vaporización mínima requerida (32.67 kg/h), con autonomía de 70 días con recarga de cada 10 semanas y 5 veces al año.

Tabla 14

Vaporización natural del tanque de 7 m³, en función del llenado y temperatura

Condición	Vaporización natural (Kg/h) en función a la temperatura				
	5°C	10°C	15°C	20°C	25°C
30% llenado	34.09	39.59	45.09	50.59	56.09

De acuerdo a la vaporización natural a diferentes temperaturas todas las variables son superiores a la vaporización mínima requerida (32.67 kg/h), con autonomía de 49 días con recarga de cada 7 semanas y 7 veces al año.

2.2.5.2. Selección del tanque

La capacidad de almacenamiento del tanque está definida por la cantidad de combustible de GLP requerido en inventario para mantener una operación segura estableciendo un número de recargas ideales, el abastecimiento genera la autonomía necesaria para operar sin riesgo de paradas.

Al realizar una comparación entre el volumen requerido de almacenamiento del tanque de 10m³ y tanque de 7m³ (peso 5040kg y 3528kg) el volumen respectivo requerido es de 9.338 y 6.537 m³ respectivamente, se puede apreciar que en el tanque de 7 m³ existe una sobra de 0.473 m³ de GLP lo cual puede ser aprovechado para la pre cocción ese remanente ya que es en menor proporción que en el otro tanque.

En relación a la autonomía del tanque existe una diferencia de recargas siendo para el tanque de 7m³ dos veces más que el otro.

“En relación al precio del combustible es de 2.25 bs/kg y el costo de transporte 0,60 bs/kg dependiendo de la distancia de transporte” (ANH, S.F.)

- Para primera ves

$$\text{Costo trans, y GLP} = \text{precio de venta} * m_{GLP} * N^{\circ} \text{ rec.} + \text{costo de trans} * m_{GLP} * N^{\circ} \text{ rec.}$$

$$\text{Costo trans, y GLP} = 2.25 * 5040 * 1 + 0.6 * 5040 * 1 = 14364 \text{ Bs.}$$

- Sigüientes recargas anual

$$\text{Costo trans, y GLP} = 2.25 * 305.925 * 10 * 4 + 0.6 * 305.925 * 10 * 4 = 34875.45 \text{ Bs.}$$

➤ Costo total de alimentación y transporte

$$\text{Costo trans, y GLP Tk } 10\text{m}^3 = 14364 + 34875.45 = 49239.45 \text{ Bs.}$$

Para el tanque de 7m^3 se procede de misma forma cambiando la masa de GLP y el número de veces para la recarga anual.

$$\text{Costo trans, y GLP} = 2.25 * 3528 * 1 + 0.6 * 3528 * 1 = 10054.8 \text{ Bs}$$

$$\text{Costo trans, y GLP} = 2.25 * 305.925 * 7 * 6 + 0.6 * 305.925 * 7 * 6 = 36619.222 \text{ Bs}$$

$$\text{Costo trans, y GLP Tk } 10\text{m}^3 = 10054.8 + 36319.222 = 46675.022 \text{ Bs}$$

En relación al precio del combustible es de 2.25 bs/kg y el costo de transporte 0,60 bs/kg dependiendo de la distancia de transporte sería para tanque de 10m^3 de 49239.45 Bs. y para el tanque de 7m^3 sería 46675.022 Bs.

De acuerdo al remanente que se tiene y el costo de transporte y precio de adquisición de GLP en cada tamaño de tanque se selección el de menor remanente y costo que sería el tanque de 7m^3 tomando en cuenta los puntos anteriores expuestos

2.2.5.3. Ubicación del tanque de GLP

Esta investigación contará con 1 tanques de 7 m^3 clasificado como tanque aéreo, por lo tanto debe tomarse en consideración el reglamento para la distribución de GLP a granel e instalación aplicado por la Agencia Nacional de Hidrocarburos y la norma NFPA 58.

En la tabla 3-2.2.2. la distancia mínima en el sitio de consumo para tanques en capacidad de agua por recipiente entre 1.9 a 7.6 m^3 para recipientes en superficie debe ser 7.6 m . lo cual en nuestro caso debe cumplirse (AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS, 2016).

“Los tanques estacionarios de GLP a granel no podrán estar situados en el interior o debajo de las edificaciones salvo excepciones indicadas en la norma NFPA 58” (AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS, 2016).

“Los materiales combustibles no se deben acumular ni almacenar dentro de los 3 m de un recipiente” (Organizacion Internacional de Codigos y Normas NFPA 58, 2014).

“Los recipientes de 2000 gal (7.6 m^3) o menos de capacidad de agua se deben instalar en cimientos de concreto o mampostería moldeados para seguir el contorno del recipiente” (Organizacion Internacional de Codigos y Normas NFPA 58, 2014, págs. 58-39)

El taller de artesanías de arcilla cuenta con dos predios en el manzano por cual lograría cumplir con las distancias mínimas del tanque de almacenamiento con las colindancias vecinales, el plano se muestra en el anexo C.

2.2.6. Selección de reguladores de presión

“Se debe exigir un sistema de regulación de dos etapas obligatoriamente no permitiéndose el uso de un regulador de una etapa para baja hasta 50 mbar, media desde 50 mbar hasta 4 bar y alta desde 4 bar en delante de presión respectivamente” (Organización Internacional de Codigos y Normas NFPA 58, 2014, págs. 58 - 44).

2.2.7. Dimensionamiento de tuberías

Para el diseño de las tuberías primero se deben tener en cuenta los siguientes puntos:

- Selección del material base del que está compuesta la tubería
- Selección del diámetro de la tubería a utilizar

Es importante realizar una selección correcta del tipo de tubería y sus accesorios para el funcionamiento óptimo del quemador, ya que esta es la encargada de transportar todo el vapor de GLP en las cantidades mínimas requeridas y adecuadas de acuerdo a la demanda del equipo y durante los tiempos de operación.

Las tuberías deben estar tendidas superficiales o enterradas de tal forma que no queden expuestas al maltrato accidental, por lo cual deben ser colocadas a nivel debidamente protegidas.

Las tuberías y accesorios utilizados para conducir vapor de GLP a media presión deben ser de acero inoxidable, acero al carbono con o sin costura, cobre rígido, o polietileno.

El horno se cataloga como equipo de alto consumo siendo esto 32.67 kg/h

Para llevar de kg a m³ se utiliza la siguiente relación de acuerdo a (Yunga Herrera & Torrez Gonzales, 2010)

$$1\text{kg de GLP liquido} = 0.5\text{m}^3/\text{h en fase vapor}$$

$$1\text{kg liq} * \frac{0.5 \frac{\text{m}^3}{\text{h vapor}}}{1 \text{kg liq}} = 0.5\text{m}^3/\text{h vapor}$$

Consumo en m³/h en fase vapor

$$\text{Consumo} = 16.335 \text{ m}^3/\text{h}$$

➤ Presiones de trabajo en el sistema de media presión

“La presión de salida del regulador del depósito es de 1.25 bar. Al ser instalación industrial no se limita las presiones como es el caso de gas canalizado, por lo que el diseño se simplifica con solo dos escalonamientos. El primero impuesto por la vaporización deseada, y el segundo mediante reguladores de MPB a 300 mbar cuya presión mínima de entrada es 0.689 mbar” (Compañía Española de Petroleos, 1996).

“Presión atmosférica en Villazón 1008.47 mbar = 1.00847 bar” (Biocultura Prorural, 2022)

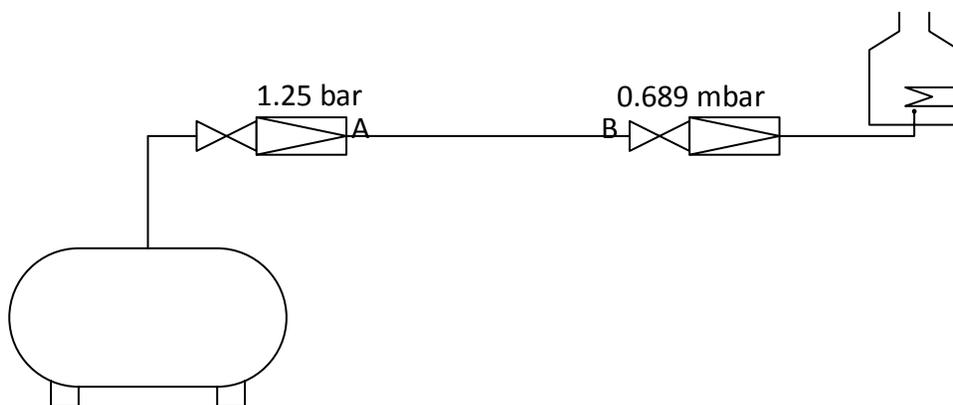
Presión requerida manométrica 300 mbar, se encuentra en las especificaciones del quemador en el anexo D.

Longitud total aproximada de la instalación 14 m; “Como no existe un valor exacto de pérdidas de carga en el sistema, existe un método rápido, haciendo presunción de una longitud directa equivalente, que se trata de aumentar un 20% a la longitud real como se muestra a continuación” (Pillajo Lugmana & Cox Flores, 2022).

$$L_c = 1.2 \cdot 15 = 18 \text{ m}$$

Figura 19

Esquema de instalación de red de GLP



De acuerdo a la ecuación 8 se procede al cálculo diámetro de tubería.

$$P_A^2 - P_B^2 = 51.5 * dc * Lc * \frac{Q^{1.82}}{(1000 * D)^{4.82}}$$

$$D^{4.82} = 59.74 * Lc * Q^{1.82} / (P_A^2 - P_B^2)$$

$$D^{4.82} = 59.74 * 18 * 16.335^{1.82} / ((1.25 + 1.00847) - (0.689 + 1.00847))$$

$$D = 13.77 \text{ mm}$$

De tablas de tubería de acero al carbón en el anexo F el diámetro nominal sería de 15 mm, 1/2"

De acuerdo a la ecuación 9 se calcula la velocidad de conducción

$$v = 378.04 * \frac{16.335}{(1.00847 + 0.689) * (15)^2} = 16.17 \text{ m/s}$$

La velocidad no debe exceder los 20 m/s en instalaciones industriales.

2.2.8. Análisis económico

➤ Costo de materiales

Se desglosaron los valores correspondientes a los materiales utilizados para la implementación del tanque de Gas Licuado de Petróleo según se muestra en la Tabla 15 y 16, manejando precios estándar del mercado actual, plasmándose de la siguiente manera.

Tabla 15

Costo de adquisición de tanque

Denominación	Cantidad	Precio unitario (bs)	Precio total (bs)
Tanque de 10 m3	1	41256.91	41256.91
		Subtotal	41256.91

Fuente: Obtenido de (precios vigentes de una empresa comercializadora de GLP en el Ecuador citado en Salazar Villalva & Martinez Urdiales, 2011).

Tabla 16*Costo de materiales*

Denominación	Cantidad	Unidades	Valor unitario (bs)	Valor total (bs)
Regulador de presión (PMA)	1	-	280	280
Regulador de presión (PMB)	1	-	243.6	243.6
Manómetro de 0 a 4 bar	2	-	40.70	81.4
Medidor de consumo	1	-	404.26	404.26
Tubería de acero	18	m	7	878.22
Codo	3	-	7	21
			Subtotal	1908.48

Fuente: Realizado en base a (Pillajo Lugmana & Cox Flores, 2022)

➤ Mano de obra

Se considera el trabajo de instalación realizada por una instaladora de GLP autorizada por la ANH

Tabla 17*Gastos en mano de obra*

Descripción	Subtotal
Instalación del tanque	2105.64
Tendido de tubería	4391.1
Prueba de tanque	1010.65
Instalación de elementos de red	4391.1
Subtotal	11898.49

Fuente: Obtenido de (Ortiz Caaspa, 2018)

Tabla 18*Costos de mantenimiento*

Descripción	Subtotal (Bs)
Mantenimiento	2439
Subtotal	2439

Fuente: Obtenido de (Salazar Villalva & Martínez Urdiales, 2011)

- Costos de transporte de GLP

Tabla 19*Costo de transporte*

Descripción	Costo unitario (bs/kg)	Subtotal (bs)
Costo de transporte	0.60	2116.8

Fuente: Obtenido de (ANH S.F.)

El transporte de GLP solo se toma en cuenta para la Primera recarga

- Inversión total

Tabla 20*Costo de inversión*

Descripción	Subtotal (bs)
Materiales para el sistema	43165.39
Transporte	2110.8
Mano de obra	11898.49
Mantenimiento	2439
Total	59613.68

De acuerdo a los resultados obtenidos en la tabla 20 se tiene una inversión en los equipos de 59613 Bs. para la implementación del tanque y el sistema de tuberías con todos sus accesorios para el funcionamiento del horno en el taller de artesanías de arcilla.

2.3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

Mediante el cálculo de energía consumida por el horno, se logró determinar el consumo teórico de GLP para alimentar de energía al horno, de esta manera poder determinar el tamaño de tanque de almacenamiento de GLP cumpliendo una de las condiciones más importantes que sería la vaporización del GLP y la autonomía del tanque.

A través de esto se pudo apreciar que la capacidad de almacenamiento y selección del tamaño de tanque depende mucho del consumo por hora del horno, para cumplir con la vaporización natural del GLP. En la investigación se puede apreciar que un tanque de 2m³ no logra cumplir con la vaporización natural por lo que el fluido en este tanque su temperatura de almacenamiento bajaría más. Es por ese motivo la selección de otro tanque de mayor capacidad.

En cuanto al funcionamiento del horno de fundición utilizando un quemador de GLP se logra abastecer la energía requerida por el horno hasta llegar a la temperatura máxima de fundición, mediante las características técnicas del quemador su presión de trabajo es de 300 mbar logrando quemar la cantidad requerida de GLP de esta manera se seleccionó reguladores de presión de trabajo a media alta y media baja presión de dos etapas cumpliendo la norma NFPA 58

De acuerdo a la investigación realizada podemos determinar que en el sector de la mediana y pequeña unidades productivas dedicadas a las artesanías de arcilla en este municipio, es necesario contar con un sistema de almacenamiento y conducción de GLP para garantizar seguridad, eficacia y confiabilidad del sistema, ya que la leña usada por este sector es primordialmente contaminante y responsable de la tala indiscriminada de la naturaleza, además del precio que estos últimos tiempos fue en suba.

Mediante el uso del código del gas licuado de petróleo, la NFPA 58, reglamento para la distribución de GLP a granel de BOLIVIA y el Manual de Instalaciones de GLP se logró determinar los parámetros para la propuesta de implementación de un tanque de GLP.

CAPÍTULO III: CONCLUSIONES

Mediante el diagnóstico se determinó el consumo de energía necesaria para una fundición siendo 1209 kg (2896391.52 *kcal*) de leña, durante 4.5 horas de fundición aproximadamente, logrando de esta manera relacionar con el poder calorífico de GLP y determinar el flujo de gas necesario por cada fundición que es 261.36 kg de GLP durante 8 horas de fundición aproximadamente.

La instalación centralizada de GLP para el taller de artesanías es factible técnicamente ya que cumple con los parámetros y requisitos de diseño exigidos en la norma NFPA 58 en referencia al sector de almacenamiento, manipulación, transporte y uso seguro del GLP, así como también el reglamento para transporte de GLP a granel

Se logró determinar el tamaño de tanque óptimo del tanque siendo este 7 m³ de acuerdo a variables como ser la autonomía de 49 días y el factor de vaporización de GLP para lograr abastecer el requerimiento de 32.67 kg/h necesarios por el quemador. Las presiones de diseño que se utilizarán están calculadas para un rango de presión media alta y media baja, que va desde 1.25 bar que es la salida del primer regulador de presión hasta 0.689 mbar entrada al regulador de presión de MB (presión media baja) que es lo que comúnmente se puede encontrar los reguladores de dos etapas.

Además siendo necesario el diseño de tubería para alimentar al horno desde el tanque estacionario de GLP se logró determinar el uso de tubería de acero al carbón, logrando de esta manera determinar el diámetro de tubería de 15 mm y la velocidad de flujo de 16.17 m/s cumpliendo los parámetros y normas que lo exigen.

Desde el punto de vista económico la inversión mínima aproximada en el sistema centralizado de GLP es de 59613 Bs. Para la implementación del sistema contando el tanque sus accesorios y el sistema de tuberías hasta llegar al quemador.

RECOMENDACIONES

Realizar un mantenimiento periódico de inspección en las líneas de conducción con el fin de evitar posibles fugas que podrían afectar a la vida útil del proyecto o aumentar el consumo de GLP.

Se recomienda la implementación del siguiente trabajo en la fábrica, logrando de esta manera reducir la contaminación ambiental, logrando de esta manera reducir la tala de los bosques cumpliendo con la norma ambiental y protección al medio ambiente, así también evitar las enfermedades ocupacionales y reducir los costos por fundición

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1) Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH). (27 de 3 de 2014). *Precio del combustible*. Obtenido de <http://www.anh.gob.bo>
- 2) AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS. (24 de Febrero de 2016). *Reglamento para la distribucion de GLP a granel*. Obtenido de ANH: <https://www.anh.gob.bo/g.php?myfile=InsideFiles/Actividad/Dj/RA-2016/RAN-ANH-UN-0006-2016.pdf>
- 3) Agencia Nacional de Hidrocarburos. (2017 de Agosto de 2017). Procedimiento tecnico para el calculo de volumen de gas licuado de petroleo en tanques presurizados estacionarios. La Paz, Bolivia. Obtenido de <https://www.anh.gob.bo/g.php?myfile=Actividad/Comite/Procedimiento.pdf>
- 4) Alavia, S. (Junio de 2023). Plan de Gestion Ambiental y Social. *Hospital de segundo nivel del municipio de Villazon*. Villazon, Modesto Omiste, Bolivia: Consorcio Austral.
- 5) Arias Castellanos, R. R. (2019). Aplicacion y estandarizacion del metodo de calculo volumetrico en tanques estacionarios de plantas de almacenamiento y envasado de GLP. *Escuela Politecnica Nacional*. Quito, Ecuador.
- 6) Biocultura Prorural. (10 de Noviembre de 2022). SISTEMA DE VIDA VILLAZON - POTOSI. *Biocultura y cambio climatico*. Villazon, Modesto Omiste, Bolivia.
- 7) Compañía Española de Petroleos. (1996). MANUAL DE INSTALACIONES DE GLP. Madrid, España.
- 8) El Surtidor. (2023). Tanques estacionarios. Mexico. Obtenido de <https://www.surtidor.com/tanques-tinacos-cisternas-tanque-estacionario-accesorios/>
- 9) ITESA. (13 de Octubre de 2015). *Que es un tanque estacionario*. Obtenido de Tanques ITESA: <https://tanquesitesa.com/2015/10/13/a-simple-blog-post/>
- 10) LAPESA. (S.F.). DEPOSITOS ESTATICOS PARA ALMACENAMIENTO DE GLP. *TABLAS DE VAPORIZACION NATURAL EN DEPOSITOS DE GLP*. Barcelona, España.

- 11) Latzina, E. (1987). *Calorimetria de maderas*. Escuel Industriasl de la Nacion. Tucuman: Index de la flora dendrologica Argentina.
- 12) Lomas Paez, C. R. (2012). DISEÑO E IMPLEMENTACION DE SISTEMAS CENTRALIZADOS DE GLP EN EDIFICACIONES DE USO RESIDENCIAL, COMERCIAL E INDUSTRIAL. Quito, Ecuador.
- 13) Lozano Hernadez, M. N., & Ramirez Osorio, J. A. (10 de Enero de 2014). Hornos de Gas para Ceramistas. *Uso de tecnologias apropiadas para aplicar en el campo laboral*. El Salvador.
- 14) Luque Huanca, B. A. (2019). ESTUDIO, ANÁLISIS E IMPLEMENTACIÓN DE PUESTOS DE VENTA MÓVILES DE GLP EN LAS COMUNIDADES LEJANAS DEL DEPARTAMENTO DE LA PAZ (PILOTO-TIPUANI) . La Paz, Bolivia.
- 15) Ministerio de Industria Energia y Minería de Uruguay. (2021). Mejor leña al fuego. *Manual para el uso responsable de la leña*, 5.
- 16) MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y MEDIO RURAL Y MARINO DE ESPAÑA. (2011). *Mejores tecnicas disponibles de referencia Europea sector de la fabricacion de la ceramica*. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Secretaria General Tecnica.
- 17) Monago Torrez, K. S., Muños Maravi, L. B., & Romero Asto, Y. F. (2022). Evaluacion de combustibles alternos para la reduccion de emisiones en la produccion artesanal de ladrillos de distrito de San Jeronimo de Tunan Huancayo. Huancayo, Peru.
- 18) Montañez Oviedo, E. R., & Sinning, C. (2013). ANALISIS TECNICO FINANCIERO PARA CONTRATO DE SUMINISTRO DE GLP A PLANTA PROCESADORA DE LECHE. Bucaramanga, Colombia.
- 19) Moscoso, X. (2007). Diseño e implementacion de un modelo tarifario para la transportacion terrestre. *Tesis de grado de la facultad de Ingenieria Mecanica y Ciencias de la Produccion de ESPOL*. Guayaquil, Ecuador.
- 20) Organizacion Internacional de Codigos y Normas NFPA 58. (2014). CODIGO DEL GAS LICUADO DE PETROLEO NFPA 58. Estados Unidos.
- 21) Ortega, C. (2023). *Método analítico: Qué es, para qué sirve y cómo realizarlo*. Obtenido de <https://www.questionpro.com/blog/es/metodo-analitico/>

- 22) Ortiz Caaspa, C. J. (2018). DISEÑO DE UNA INSTALACION CENTRALIZADA DE GLP PARA ABASTECIMIENTO DE LA HOSTERIA . SPA MIRAMELINDO EN LA CIUDAD DE BAÑOS DE AGUA SANTA. AMBATO, ECUADOR.
- 23) Pillajo Lugmana, M. B., & Cox Flores, L. A. (2022). DISEÑO DE SISTEMA CENTRALIZADO DE GLP MEDIANTE UN TANQUE ESTACIONARIO DE 0.45 m³ PARA EL USO DEL LABORATORIO DE INGENIERÍA MECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA DEL BLOQUE G DESTINADO AL FUNCIONAMIENTO DE LA CALDERA DE VAPOR . Quito, Ecuador.
- 24) Pinto Gonzales, D. G. (2016). Diseño de horno a gas para fabrica de ladrillos en ALPACOMA. La Paz, Bolivia.
- 25) Ramírez Martínez, I. F. (2013). *APUNTES DE METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN. Un Enfoque Crítico*. Sucre: Servicios Gráficos PRISMA - 6465261. Obtenido de https://usfx.bo/Documentos/RepositorioLibros/APUNTES_DE_METODOLOGIA_DE_LA_INV.pdf
- 26) Reyes Martinez, I., Cadena Martínez, L., & De León Vázquez, I. (s.f.). *La importancia del análisis de los estados financieros en la toma de decisiones. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo*. Obtenido de <https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/tlahuelilpan/n4/e2.html>
- 27) Salazar Villalva, V. M., & Martinez Urdiales, G. E. (2011). Modela para la determinacion del tamaño optimo de un tanque estacionario de almacenamiento de GLP aplicado al negocio de comercializacion a granel. Guayaquil, Ecuador.
- 28) Sánchez Ruiz, E. E. (1991). *Apuntes sobre una metodología histórico-estructural (con énfasis en el análisis de medios de difusión)*. Obtenido de <http://biblioteca.udgvirtual.udg.mx/jspui/handle/123456789/2613>
- 29) Tamayo, T. y. (2003). *El proceso de la investigación científica*. México D.F. : Limusa.
- 30) Yunga Herrera, L. A., & Torrez Gonzales, S. T. (2010). DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA CENTRALIZADO PARA EL TALLER MECANICO DEL AEIRNNR DE LA UNL. Loja, Ecuador.

ANEXOS

Anexo A: Caudal de vaporización natural de GLP

TABLAS DE VAPORIZACIÓN NATURAL EN DEPÓSITOS DE G.L.P.

La vaporización natural de un depósito de propano se puede obtener mediante la expresión: $D = aSK (T_e - T_i)/q$ donde D es la capacidad de vaporización del propano en kg/h.

Las tablas siguientes muestran el caudal de vaporización de modelos LAPESA para distintas presiones de servicio y los valores utilizados para su elaboración son:

a= porcentaje de la superficie del depósito que está en contacto con el líquido. Depende del porcentaje de llenado del depósito. Para los depósitos en posición horizontal y un porcentaje de llenado del 20%, a=0.336, para un porcentaje de llenado del 30%, a=0.397. Los valores de las tablas están calculados para un 20% de llenado del tanque. Así pues para obtener los valores correspondientes al 30% de llenado, se multiplicarán los valores de la tabla por 1,18 (solo para depósitos horizontales).

S= superficie del depósito en m².

K= coeficiente de intercambio de calor con el exterior. Depende de varios factores. En las tablas se ha considerado K= 12 Kcal./hm²°C (En depósitos enterrados, este valor se reduce en un 30%, K= 8,4 Kcal./hm²°C).

T_e= temperatura mínima del ambiente en donde está instalado el depósito (5°C para dep. enterrados).

T_i= temperatura de equilibrio líquido-gas del propano. Depende del tipo de mezcla. Se han tomado los siguientes valores:

Presión de red:	1,25	1,50	1,75	2,00
Temperatura interior:	-26	-22	-20	-17

q= calor latente de vaporización del propano. Se puede tomar el valor: q= 94 Kcal./kg.

Modelo Ref.		Capac. nominal (l.)	Diám. (mm)	Superf. (m ²)	CAUDAL DE VAPORIZACIÓN NATURAL (Kg. de propano por hora)																							
					Presión de servicio: 125 bar						Presión de servicio: 150 bar						Presión de servicio: 175 bar						Presión de servicio: 200 bar					
					Depósitos aéreos					Depósitos enterrados	Depósitos aéreos					Depósitos enterrados	Depósitos aéreos					Depósitos enterrados	Depósitos aéreos					Depósitos enterrados
					Temperatura min. ext. (°C)						Temperatura min. ext. (°C)						Temperatura min. ext. (°C)						Temperatura min. ext. (°C)					
-10	-5	0	5	10	-10	-5	0	5	10	-10	-5	0	5	10	-10	-5	0	5	10	-10	-5	0	5	10				
LP1000A	1.000	1.000	5,2	3,6	4,7	5,8	6,9	8,0	4,8	2,7	3,8	4,9	6,0	7,1	4,2	2,2	3,3	4,5	5,6	6,7	3,9	1,6	2,7	3,8	4,9	6,0	3,4	
LP1450	1.450	1.200	6,7	4,6	6,0	7,5	8,9	10,3	6,2	3,4	4,9	6,3	7,8	9,2	5,4	2,9	4,3	5,7	7,2	8,6	5,0	2,0	3,4	4,9	6,3	7,8	4,4	
LP1825	1.825	1.200	7,9	5,4	7,1	8,8	10,5	12,2	7,4	4,1	5,8	7,5	9,1	10,8	6,4	3,4	5,1	6,8	8,5	10,2	5,9	2,4	4,1	5,8	7,5	9,1	5,2	
LP2250*	2.250	1.200	9,4	6,5	8,5	10,5	12,5	14,5	8,7	4,8	6,9	8,9	10,9	12,9	7,6	4,0	6,0	8,1	10,1	12,1	7,1	2,8	4,8	6,9	8,9	10,9	6,2	
LP2450*	2.450	1.200	10,1	6,9	9,1	11,3	13,4	15,6	9,4	5,2	7,4	9,5	11,7	13,9	8,2	4,3	6,5	8,7	10,8	13,0	7,6	3,0	5,2	7,4	9,5	11,7	6,7	
LP2670*	2.670	1.200	10,9	7,5	9,8	12,2	14,5	16,8	10,1	5,6	7,9	10,3	12,6	15,0	8,8	4,7	7,0	9,4	11,7	14,0	8,2	3,3	5,6	7,9	10,3	12,6	7,2	
LP4000*	4.000	1.200	15,3	10,5	13,8	17,1	20,3	23,6	14,2	7,9	11,2	14,4	17,7	21,0	12,4	6,6	9,8	13,1	16,4	19,7	11,5	4,6	7,9	11,2	14,4	17,7	10,1	
LP4440*	4.440	1.200	16,8	11,5	15,1	18,7	22,3	25,9	15,6	8,6	12,3	15,9	19,5	23,1	13,6	7,2	10,8	14,4	18,0	21,6	12,6	5,0	8,6	12,3	15,9	19,5	11,1	
LP4660*	4.660	1.200	17,6	12,1	15,9	19,6	23,4	27,2	16,4	9,1	12,8	16,6	20,4	24,2	14,3	7,5	11,3	15,1	18,9	22,6	13,2	5,3	9,1	12,8	16,6	20,4	11,6	
LP4880*	4.880	1.200	18,4	12,6	16,6	20,5	24,5	28,4	17,1	9,5	13,4	17,4	21,3	25,3	14,9	7,9	11,8	15,8	19,7	23,7	13,8	5,5	9,5	13,4	17,4	21,3	12,2	
LP6430*	6.430	1.200	23,5	16,1	21,2	26,2	31,2	36,3	21,9	12,1	17,1	22,2	27,2	32,3	19,1	10,1	15,1	20,2	25,2	30,2	17,6	7,1	12,1	17,1	22,2	27,2	15,5	
LP6650*	6.650	1.200	24,3	16,7	21,9	27,1	32,3	37,5	22,6	12,5	17,7	22,9	28,1	33,4	19,7	10,4	15,6	20,8	26,1	31,3	18,2	7,3	12,5	17,7	22,9	28,1	16,1	
LP6870*	6.870	1.200	25,1	17,2	22,6	28,0	33,4	38,8	23,4	12,9	18,3	23,7	29,1	34,5	20,3	10,8	16,1	21,5	26,9	32,3	18,8	7,5	12,9	18,3	23,7	29,1	16,6	
LP7090*	7.090	1.200	25,9	17,8	23,3	28,9	34,4	40,0	24,1	13,3	18,9	24,4	30,0	35,6	21,0	11,1	16,7	22,2	27,8	33,3	19,4	7,8	13,3	18,9	24,4	30,0	17,1	
LP8334*	8.334	1.200	30,3	20,8	27,3	33,8	40,3	46,8	28,2	15,6	22,1	28,6	35,1	41,6	24,6	13,0	19,5	26,0	32,5	39,0	22,7	9,1	15,6	22,1	28,6	35,1	20,0	
LP1900*	1.900	1.200	8,2	5,6	7,3	9,1	10,8	12,6	7,6	4,2	5,9	7,7	9,4	11,2	6,6	3,5	5,2	7,0	8,7	10,5	6,1	2,4	4,2	5,9	7,7	9,4	5,4	
LP3750*	3.750	1.200	14,6	10,0	13,2	16,3	19,4	22,6	13,6	7,5	10,7	13,8	16,9	20,1	11,8	6,3	9,4	12,5	15,7	18,8	11,0	4,4	7,5	10,7	13,8	16,9	9,7	
LP7500*	7.515	1.200	27,3	18,7	24,6	30,4	36,3	42,2	25,4	14,1	19,9	25,8	31,6	37,5	22,1	11,7	17,6	23,4	29,3	35,1	20,5	8,2	14,1	19,9	25,8	31,6	18,0	
LP4950*	4.950	1.500	16,1	11,0	14,5	18,0	21,4	24,9	15,0	8,3	11,7	15,2	18,6	22,1	13,1	6,9	10,4	13,8	17,3	20,7	12,1	4,8	8,3	11,7	15,2	18,6	10,6	
LP7000*	7.000	1.500	21,7	14,9	19,5	24,2	28,9	33,5	20,2	11,2	15,8	20,5	25,1	29,8	17,6	9,3	14,0	18,6	23,3	27,9	16,3	6,5	11,2	15,8	20,5	25,1	14,3	
LP10*	10.000	1.500	29,9	21	27	33	40	46	28	15	22	28	35	41	24	13	19	26	32	38	22	9	15	22	28	35	20	
LP13*	13.000	1.500	38,1	26	34	42	51	59	35	20	28	36	44	52	31	16	25	33	41	49	29	11	20	28	36	44	25	
LP16*	16.000	1.500	46,2	32	42	52	61	71	43	24	34	44	54	63	37	20	30	40	50	59	35	14	24	34	44	54	31	

Fuente: Obtenido de (LAPESA, S.F.)

ANEXO B: Calculo de vaporización natural de GLP en tanques de 7 y 10 m³

➤ Determinación de vaporización natural para tanque de 10 m³

El cálculo de contenido en masa de GLP se determina mediante la ecuación 5 que está en función del consumo por fundición y el número de fundiciones entre recargas, expresado en días sería tiempo entre recargas de 70 días (10 semanas).

$$\text{Contenido} = \frac{305.925 \text{ kg}}{\text{fundicion}} * 10 \text{ fundicion} = 3059.25 \text{ kg}$$

Para conocer la cantidad volumétrica se utiliza la masa en volumen en fase líquida del gas al vaporizarse un metro cúbico, que se encuentra en la Tabla 1 (504 Kg por metro cúbico de GLP en fase líquida). De acuerdo a la ecuación 6 se tiene:

$$\text{Volumen} = \frac{3059.25 \text{ kg}}{504 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 6.070 \text{ m}^3$$

➤ Volumen del depósito

Autonomía resultante: Considerando lo anterior dicho que por cuestiones de seguridad sólo se puede disponer del 65% del depósito, el volumen del depósito se puede definir por la ecuación 7:

$$\text{Volumen del deposito} = \frac{6.070 \text{ m}^3}{0.65} = 9.338 \text{ m}^3$$

Se necesita 9.338 m³ de volumen de GLP para que exista una autonomía de 70 días, si siendo el recipiente contenedor que se ha de seleccionar satisface la vaporización de gas necesaria para todos los aparatos de consumo

➤ Determinación de vaporización natural para tanque de 7 m³

El cálculo de contenido en masa de GLP se determina mediante la ecuación 5 para un tiempo entre recargas de 49 días (7 semanas).

$$\text{Contenido} = \frac{305.925 \text{ kg}}{\text{fundicion}} * 7 \text{ fundicion} = 2141.475 \text{ kg}$$

De acuerdo a la ecuación 6 se tiene:

$$Volumen = \frac{2141.475 \text{ kg}}{504 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 4.249 \text{ m}^3$$

➤ Volumen del depósito

Autonomía resultante: Considerando lo anterior dicho que por cuestiones de seguridad sólo se puede disponer del 65% del depósito, el volumen del depósito se puede definir por la ecuación 7:

$$Volumen \text{ del depósito} = \frac{6.070 \text{ m}^3}{0.65} = 6.537 \text{ m}^3$$

Se necesita 6.537 m³ de volumen de GLP para que exista una autonomía de 49 días, si siendo el recipiente contenedor que se ha de seleccionar satisface la vaporización de gas necesaria para todos los aparatos de consumo.

➤ Vaporización natural

Para determinar el caudal másico de vapor de gas del tanque se utiliza la ecuación 8

Tabla

Variables de vaporización natural para tanque de 10 m³

Variable	P	S (m ²)	K (kcal/hm ² °C)	CLV (kcal/kg)	Ti (°C)
Dato	0.397	29.9	8.4	94	-26

Fuente: obtenido de (LAPESA, S.F.)

$$Q = 0.367 * 29.9 * 8.4 * \frac{(5 - (-26))}{94} = 46.97 \frac{\text{kg}}{\text{hr}}$$

De acuerdo a la vaporización natural del gas licuado de petróleo logra abastecer la necesidad de energía requerida al 30% de llenado.

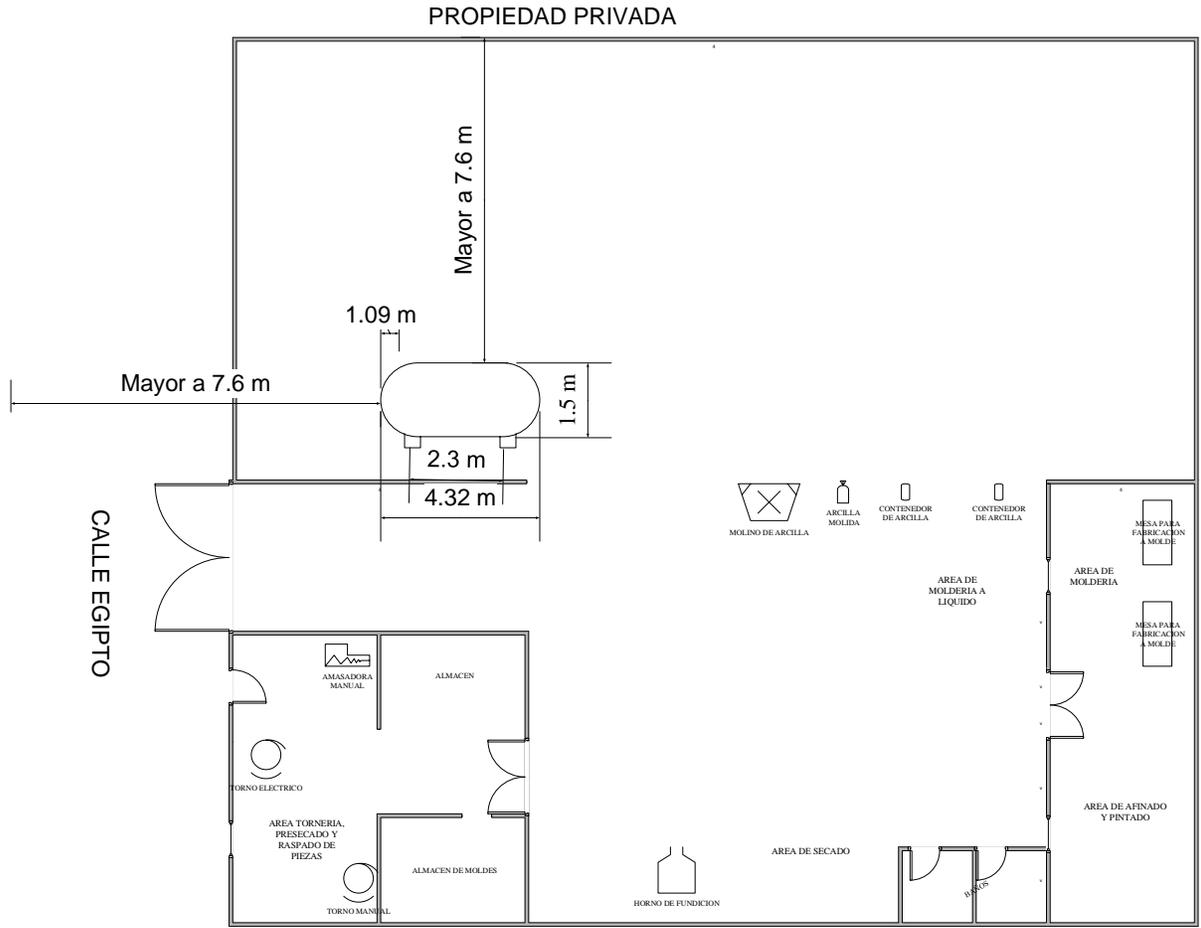
$$46.97 \frac{\text{kg}}{\text{hr}} > 32.67 \frac{\text{kg}}{\text{hr}} \text{ cumple}$$

Por los resultados obtenidos tomando en cuenta la vaporización natural y autonomía de tanque se selecciona un tanque de capacidad 10 m³, lo cual se tomara en cuenta para determinar el tamaño de tanque óptimo en función a costo.

Variable	P	S (m2)	K (kcal/hm2°C)	CLV (kcal/kg)	Te (°C)	Tg (°C)	Q (kg/hr)
30% llenado	0,397	29,9	12	94	5	-26	46,98
	0,397	29,9	12	94	10	-26	54,55
	0,397	29,9	12	94	15	-26	62,13
	0,397	29,9	12	94	20	-26	69,71
	0,397	29,9	12	94	25	-26	77,28

Variable	P	S (m2)	K (kcal/hm2°C)	CLV (kcal/kg)	Te (°C)	Tg (°C)	Q (kg/hr)
30% llenado	0,397	21,7	12	94	5	-26	34,09
	0,397	21,7	12	94	10	-26	39,59
	0,397	21,7	12	94	15	-26	45,09
	0,397	21,7	12	94	20	-26	50,59
	0,397	21,7	12	94	25	-26	56,09

ANEXO C: Ubicación del tanque de GLP



Fuente: Realizado en base a datos de tanques LAPESA S.F.

ANEXO D: Ficha técnica de quemador de GLP acorde a la necesidad de energía del horno

En Bolivia Servicios Técnicos e Importaciones, STI Ltda. Realiza la importación de este tipo de quemadores

	ECOSTAR		Código: 1230045	
	FICHA TECNICA DE EQUIPO		Versión: Página: Fecha de emisión:	
DESCRIPCION: Quemadores forzados de dos etapas para GLP, son equipos de combustión que pueden ser usados en hornos industriales.				
DATOS GENERALES		DESCRIPCION GRAFICA		
EQUIPO	Quemador de GLP			
MODELO	ECO 45 GC 2b - 2 etapas			
PUESTO DE TRABAJO	Fundición			
UBICACIÓN	Sala de combustión			
MARCA	Ecostar			
MODELO	Quemadores forzados			
PROCEDENCIA	Turquía			
ESPECIFICACIONES TECNICAS				
POTENCIA TERMICA	331100 -1075000 Kcal/h			
PRESION DE TRABAJO	300 mbar			
VELOCIDAD MOTOR	2800 RPM			
POTENCIA MOTOR VENTILADOR	1500 W			
ALIMENTACION ELECTRICA	Trifásica			
OBSERVACIONES:				

ANEXO F: Tubería de acero al carbono ASTM A53

Diámetro nominal		Espesor de pared		Identificación	Peso del tubo		ASTM A53 presión de prueba			
<i>in</i>	<i>mm</i>	<i>in</i>	<i>mm</i>		<i>lb/pie</i>	<i>kg/m</i>	Grado A		Grado B	
				<i>Schedule</i>			<i>psi</i>	<i>kg/cm²</i>	<i>psi</i>	<i>kg/cm²</i>
1/2	15	0.109	2.77	40	0.85	1.27	700	49	700	49
		0.147	3.73	80	1.09	1.62	850	60	850	60
3/4	20	0.113	2.87	40	1.13	1.69	700	49	700	49
		0.154	3.91	80	1.47	2.20	850	60	850	60
1	25	0.133	3.38	40	1.68	2.50	700	49	700	49
		0.179	4.55	80	2.17	3.24	850	60	850	60
1-	32	0.140	3.56	40	2.27	3.39	1200	84	1300	91
1/4		0.191	4.85	80	3.00	4.47	1800	127	1900	134
1-	40	0.145	3.68	40	2.72	4.05	1200	84	1300	91
1/2		0.200	5.08	80	3.63	5.41	1800	127	1900	134