

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA PETROLERA**



**PROYECTO DE GRADO**

**“ANÁLISIS DE PRESIONES DE EXPANSIÓN EN  
TANQUES ESFÉRICOS DE ALMACENAMIENTO DE GLP  
DEBIDO AL INCREMENTO DE TEMPERATURA EN LA  
PLANTA ENGARRAFADORA DE SENKATA”**

**POSTULANTE:** UNIV. MÓNICA DEISY CHURA QUISPE

**TUTOR:** M.SC. ING. MARIO DAZA BLANCO

**LA PAZ – BOLIVIA**

**2021**



**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS  
FACULTAD DE INGENIERIA**



**LA FACULTAD DE INGENIERIA DE LA UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS AUTORIZA EL USO DE LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO SI LOS PROPÓSITOS SON ESTRICTAMENTE ACADÉMICOS.**

**LICENCIA DE USO**

El usuario está autorizado a:

- a) Visualizar el documento mediante el uso de un ordenador o dispositivo móvil.
- b) Copiar, almacenar o imprimir si ha de ser de uso exclusivamente personal y privado.
- c) Copiar textualmente parte(s) de su contenido mencionando la fuente y/o haciendo la cita o referencia correspondiente en apego a las normas de redacción e investigación.

El usuario no puede publicar, distribuir o realizar emisión o exhibición alguna de este material, sin la autorización correspondiente.

**TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS. EL USO NO AUTORIZADO DE LOS CONTENIDOS PUBLICADOS EN ESTE SITIO DERIVARA EN EL INICIO DE ACCIONES LEGALES CONTEMPLADAS EN LA LEY DE DERECHOS DE AUTOR.**

## **DEDICATORIA**

*Dedicarle a mi madre CRITINA QUISPE AQUICE con mucho amor y cariño, quien me ha brindado su apoyo incondicional, quién me ha enseñado a desafiar los retos, alcanzar mis sueños y a superarme día a día, gracias por enseñarme valores que me ha ayudado a culminar y cumplir mi gran meta.*

## **AGRADECIMIENTO**

*Agradezco a Dios por darme vida, salud, y llenarme de sabiduría y fuerza  
para vencer todo obstáculo.*

*A mi madre y a mis hermanos por su comprensión, paciencia y fortaleza  
para seguir adelante con mi proyecto.*

*A mi tutor Msc. Ing. Mario Daza Blanco, por su valiosa guía y  
asesoramiento a la realización de la misma.*

*A mis docentes que me impartieron sus conocimientos a lo largo de mis  
estudios académicos.*

# INDICE

RESUMEN EJECUTIVO .....	1
CAPÍTULO I:GENERALIDADES .....	2
1.1. INTRODUCCIÓN .....	2
1.2. ANTECEDENTES .....	3
1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	5
1.3.1. Identificación del problema .....	5
1.3.2. Formulación del problema .....	7
1.4. OBJETIVOS .....	7
1.4.1. Objetivo general .....	7
1.4.2. Objetivos específicos .....	7
1.5. JUSTIFICACIÓN .....	8
1.5.1. Justificación técnica .....	8
1.5.2. Justificación económica .....	8
1.5.3. Justificación ambiental .....	9
1.6. ALCANCES .....	9
1.6.1. Alcance temático .....	9
1.6.2. Alcance temporal.....	9
1.6.3. Alcance geográfico.....	10
CAPÍTULO II:DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA ENGARRAFADORA DE SENKATA .....	11
2.1. GENERALIDADES DE LA PLANTA ENGARRAFADORA DE SENKATA ...	11
2.2. CARACTERÍSTICAS DE LA EMPRESA.....	11
2.3. UNIDADES DE PROCESO .....	13

2.4. TANQUES DE ALMACENAMIENTO .....	14
2.5. PROCESO DE ENGARRAFADO .....	15
2.6. PRODUCCIÓN EN LA PLANTA ENGARRAFADORA DE SENKATA .....	17
2.6.1. Vaciado del gas residual .....	17
2.6.2. Control de fugas .....	17
CAPÍTULO III:TEORÍA DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO ESFÉRICOS..	19
3.1. DEFINICIÓN.....	19
3.2. TIPOS DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO .....	21
3.2.1. Clasificación de los Tanques según la Presión de Operación.....	22
3.2.2. Clasificación de los Tanques según su Forma Geométrica .....	23
3.3. PARTES DE UN TANQUE DE ALMACENAMIENTO .....	27
3.4 PROCESO DE ALMACENAMIENTO DE GLP .....	28
3.4.1 Descripción del proceso .....	28
3.4.2 Requerimientos generales de la planta de almacenamiento .....	31
3.5 NORMATIVA PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE GLP.....	32
3.5.1 API Standard 2510.- Diseño y Construcción de instalaciones de GLP .....	32
3.5.2 NFPA 58.- Código de Gas Licuado de Petróleo .....	33
3.5.3 Normas para recipientes a presión.....	33
3.5.3.1 ASME Sección VIII.-Reglas para la Construcción de Recipientes a Presión .....	33
3.5.3.2 ASME Sección VIII:División 1.....	34
3.5.3.3 ASME Sección VIII:División 2-Reglas Alternativas.....	34
3.6 PRUEBAS EN RECIPIENTES A PRESIÓN .....	35
3.6.1 Prueba Hidrostática.....	35

3.6.2 Pruebas Neumáticas .....	36
3.7 SEGURIDAD CONTRA INCENDIOS .....	37
3.7.1 Diques .....	37
3.7.2 Distancias Mínimas entre Tanques e Instalaciones .....	38
3.7.3 Corrosión en Tanques de Almacenamiento .....	40
3.8. MÉTODOS DE PROTECCIÓN .....	40
3.8.1 Inhibidores.....	40
3.8.2 Recubrimiento .....	41
CAPÍTULO IV:ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN DEL CAMPO DE TEMPERATURA DE LA FUGA DE UN TANQUE ESFÉRICO.....	42
4.1. PRINCIPIOS MECÁNICOS DEL MODELO .....	42
4.2. EL MODELO MATEMÁTICO Y LA ECUACIÓN BÁSICA PARA LA PREDICCIÓN DE EXPLOSIONES .....	54
4.2.1. Ecuación básica de conservación .....	54
4.2.2. Modelo de turbulencia .....	56
4.3. Parámetros del dispositivo y condición simulada .....	57
4.3.1. Parámetros del dispositivo .....	57
4.3.2. Condición simulada .....	58
4.3.3. Generación de malla .....	58
CAPÍTULO V: APLICACIÓN PRÁCTICA .....	59
5.1. DISEÑO DE UN TANQUE ESFÉRICO PARA EL ALMACENAMIENTO DE GLP .....	59
5.1.1. Cálculo de los espesores .....	63
5.2. DETERMINACIÓN DE LA TASA DE DISMINUCIÓN DE TEMPERATURAS .....	64
5.3. CAMBIO DE TEMPERATURA INTERNA DEL TANQUE ESFÉRICO .....	72

5.4. EL TIEMPO NECESARIO PARA ALCANZAR LA TEMPERATURA ESFÉRICA .....	77
5.5. ANÁLISIS DE RIESGOS PARA ENCONTRAR LAS ZONAS Y ÁREAS DE FUGA EN LOS TANQUES ESFÉRICOS .....	79
5.5.1. Análisis de riesgos potenciales en el almacenaje de líquidos .....	79
5.5.2. Tanques de almacenaje .....	81
5.6. NORMAS DE SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE .....	83
5.6.1. Diagrama de P&ID .....	84
5.6.2. Dispositivos de seguridad .....	84
5.7. PLAN DE CONTINGENCIA .....	86
5.7.2. Comité de seguridad .....	86
5.7.3. Brigadas .....	87
5.7.3.1. Estructura típica de una brigada.....	87
5.7.3.2. Funciones de las brigadas .....	88
5.7.3.3. Pautas para las brigadas.....	90
5.7.3.4. Pautas para el personal que se encuentra en la zona de emergencia...91	
5.7.4. Equipamiento .....	92
5.7.4.1. Métodos de protección .....	92
5.7.4.2. Listado de elementos básicos de dotación para el botiquín de primeros auxilios .....	92
5.7.5. Sistema de comunicación de emergencia .....	93
5.7.6. Acciones de respuesta frente a:.....	93
5.7.6.1. Incendios.....	93
5.7.6.2. En casos de fugas.....	95
5.7.6.3. Consideraciones especiales.....	96
5.8. NORMAS AMBIENTALES .....	96



CAPÍTULO VI:ANÁLISIS DE COSTOS.....	101
6.1. GENERALIDADES.....	101
6.2. COSTO DE INSTALACIÓN DE TANQUE DE ALMACENAMIENTO ESFÉRICO Y LÍNEA DE CARGA .....	102
6.3. COSTO DE INSTALACIÓN DE ACOMETIDA Y ACCESORIOS .....	105
6.4. ANÁLISIS TIR/VAN .....	112
6.5.1. Cálculo del VAN: .....	113
6.5.2. Cálculo del TIR.....	113
6.5.ANÁLISIS FODA .....	117
CAPÍTULO VII:CONCLUSIONES Y RECOMENDACIÓN.....	118
7.1. CONCLUSIONES.....	118
7.2. RECOMENDACIONES .....	119
BIBLIOGRAFÍA .....	120
ANEXOS .....	126
A.1. Código de simulación en Matlab .....	126
A.2. Vista del Plano Superior del Tanque Esférico.....	128

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Taques esféricos de la Planta Engarrafadora de Senkata</i> .....	4
Figura 2 <i>Ubicación de la Planta Engarrafadora de Senkata</i> .....	5
Figura 3 <i>Vista satelital de la Planta Engarrafadora de Senkata</i> .....	10
Figura 4 <i>Vista de los camiones de la Planta engarrafadora</i> .....	12
Figura 5 <i>Vista de los tanques instalados en Planta de Senkata</i> .....	14
Figura 6 <i>Área de despacho de la Planta de Senkata</i> .....	16
Figura 7 <i>Tanque Esférico de Almacenamiento de GLP</i> .....	19
Figura 8 <i>Manejo del Petróleo</i> .....	20
Figura 9 <i>Clasificación de los Tanques de Almacenamiento</i> .....	21
Figura 10 <i>Tanque Atmosférico</i> .....	22
Figura 11 <i>Tanque a Altas Presiones</i> .....	23
Figura 12 <i>Cilíndricos con techo cónico</i> .....	24
Figura 13 <i>Tanque Cilíndrico con Techo Flotante</i> .....	25
Figura 14 <i>Tanque Esférico</i> .....	26
Figura 15 <i>Partes de un tanque</i> .....	27
Figura 16 <i>Diagrama de Líneas de Tubería</i> .....	29
Figura 17 <i>Referencia geométrica del Tanque esférico</i> .....	42
Figura 18 <i>Análisis de resistencia de la esfera frente a una fuga</i> .....	44
Figura 19 <i>Análisis del punto de equilibrio M para la fuga</i> .....	47
Figura 20 <i>Análisis de esfuerzos respecto al centro de inercia</i> .....	51
Figura 21 <i>Distribución de las fuerzas ante la presión interna de la esfera</i> .....	52
Figura 22 <i>Análisis de esfuerzos para una fuga</i> .....	53
Figura 23 <i>Alturas de un tanque esférico</i> .....	60
Figura 24 <i>Análisis para determinar las alturas</i> .....	60
Figura 25 <i>Entorno del programa para realizar la simulación</i> .....	65
Figura 26 <i>Simulación del tanque esférico</i> .....	65
Figura 27 <i>Especificaciones del tanque esférico</i> .....	66
Figura 28 <i>Simulación de la fuga inicial a 0 segundos</i> .....	67
Figura 29 <i>Simulación de la fuga a 1 segundo</i> .....	68

Figura 30 <i>Simulación de la fuga a 5 segundos</i> .....	69
Figura 31 <i>Simulación de la fuga a 35 segundos</i> .....	70
Figura 32 <i>Simulación de la fuga a 55 segundos</i> .....	71
Figura 33 <i>Simulación de la fuga a 35 segundos</i> .....	72
Figura 34 <i>Resultados de la simulación al inicio de la fuga</i> .....	73
Figura 35 <i>Resultados de la simulación a los 5 segundos de la fuga</i> .....	73
Figura 36 <i>Resultados de la simulación a los 10 segundos de inicio de la fuga</i> ....	75
Figura 37 <i>Resultados de la simulación a los 15 segundos de la fuga</i> .....	76
Figura 38 <i>Estructura típica de una brigada</i> .....	87
Figura 39 <i>Análisis de sensibilidad</i> .....	116

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Normas en Estación de Bombeo Continuo</i> .....	38
Tabla 2 <i>Distancia Mínima entre Tanques</i> .....	39
Tabla 3 <i>Distancia del punto de fuga del tanque esférico</i> .....	78
Tabla 4 <i>Riegos potenciales del tanque esférico</i> .....	81
Tabla 5 <i>Lista de equipos e implementos de seguridad</i> .....	92
Tabla 6 <i>Costo de instalación del tanque y línea de carga</i> .....	103
Tabla 7 : <i>Costo de instalación del tanque y línea de carga</i> .....	103
Tabla 8 <i>Costo mano de obra instalación del tanque</i> .....	104
Tabla 9 <i>Costos mano de obra</i> .....	105
Tabla 10 <i>Costo de instalación de acometida</i> .....	106
Tabla 11 <i>Costo de instalación de acometida</i> .....	107
Tabla 12 <i>Costo de instalación de acometida</i> .....	109
Tabla 13 <i>Costo de instalación de acometida</i> .....	110
Tabla 14 : <i>Costo de mano de obra en acometida</i> .....	111
Tabla 15 <i>Cálculo TIR de manera analítica</i> .....	114
Tabla 16 <i>Estado de situación financiera</i> .....	115
Tabla 17 <i>Flujo de caja libre</i> .....	116
Tabla 18 <i>Análisis FODA</i> .....	117

## RESÚMEN EJECUTIVO

Este proyecto presenta un análisis de presiones de expansión en tanques esféricos de almacenamiento de GLP debido al incremento de temperatura en la planta engarrafadora de Senkata. El objetivo es analizar mediante métodos numéricos simulados en el software Matlab la tasa de reducción de temperaturas y predecir el tiempo suficiente del tanque esférico para alcanzar ciertas temperaturas críticas en diferentes condiciones.

El hidrocarburo licuado se almacena normalmente bajo alta presión en estado de sobrecalentamiento en el tanque esférico. Una vez que se produce la fuga, el hidrocarburo licuado gasificará y absorberá rápidamente una gran cantidad de calor, haciendo que la temperatura del tanque esférico disminuya bruscamente.

Para investigar este proceso en este Proyecto de Grado, se establecerá el modelo físico, y el número de Reynolds promediará la ecuación Navier-Stokes y el modelo turbulento como el método de simulación de la Distribución del Campo de la Temperatura (DCT) será aplicado.

Se analizan las influencias de la ubicación de fugas y el área de fugas en la distribución de la temperatura del tanque esférico, y se obtendrá una conclusión significativa. Este estudio podría proporcionar una base teórica y apoyo técnico para el control de seguridad de las fugas de tanques esféricos de hidrocarburos licuados en las instalaciones de la "Planta Engarrafadora de Senkata".

# CAPÍTULO I. GENERALIDADES

## 1.1. INTRODUCCIÓN

Uno de los derivados del petróleo más importantes en el consumo interno energético, lo constituye el gas licuado de petróleo (GLP), el cual tiene un uso: industrial, doméstico, entre otros.

Como una instalación importante en el almacenamiento de este combustible, el número de tanques esféricos de hidrocarburos licuados aumenta rápidamente. Con las características de inflamabilidad, explosión y toxicidad, los hidrocarburos licuados tienen riesgos potenciales en el proceso de producción, utilización, almacenamiento y transporte, por lo que es pertinente prestar atención a la parte de seguridad.

El dispositivo puede presentar condiciones anormales que pueden conllevar a una explosión súbita debido a la energía concentrada, resultando en pérdidas: humanas, materiales y afcción al medio ambiente; lo que conducirá a consecuencias catastróficas y un daño económico para la empresa operadora.

Por ejemplo, en 1998, la explosión de gas licuado en Xi'an causó siete bomberos y cinco empleados muertos, 32 personas heridas y 4,8 millones de pérdidas económicas de RMB<sup>1</sup>; En 2010, el incendio de hidrocarburos licuados y el accidente de explosión de Lanzhou causaron seis muertos y seis resultaron heridas, ocho tanques de almacenamiento verticales y dos tanques esféricos resultaron dañados en este accidente.

---

1 Lu Chaorong, Zhang Yongguo, 1999. Xian Liquefied Gas Explosion Accident Process and Analysis, Oil & Gas Storage and Transportation 10.

El material de algunos tanques esféricos de propileno y propano en servicio es de 16MnR o el acero equivalente a 16MnR. El límite de baja temperatura de 16MnR es de  $-20^{\circ}\text{C}$ . En comparación con esto, el punto de ebullición del propileno y el propano son respectivamente  $-47,7^{\circ}\text{C}$  y  $-42,1^{\circ}\text{C}$ . Una vez que se produce la fuga, el hidrocarburo de licuefacción sobrecalentada se descarga y gasifica bruscamente, haciendo que la temperatura del tanque esférico disminuya rápidamente. Si la temperatura de la cáscara del tanque disminuye por debajo del límite de baja temperatura, el tanque esférico sufrirá fractura frágil y causará accidentes graves.

Con el fin de valorar la evaluación del riesgo de accidentes de fuga y mejorar las medidas de protección, se lleva a cabo un modelo de fuga de hidrocarburos licuados, y se simula el cambio de temperatura del tanque con diferentes áreas de fuga utilizando el método DCT.

## **1.2. ANTECEDENTES**

La Planta engarrafadora de Senkata es la planta de mayor capacidad engarrafado en Bolivia, teniendo un promedio de producción de 42000 garrafas al día, se caracteriza porque no solamente la ciudad del El Alto y la ciudad de La Paz son beneficiadas con su abastecimiento, sino también localidades las que no pueden contar con su propia capacidad de engarrafado.

Se debe considerar que las operaciones que se realizan en la Planta Engarrafadora no solamente comprende la recepción y despacho del producto de interés que es el GLP, sino también entre otras operaciones que se realizan son las de la respectiva fiscalización a la empresa CLHB (Compañía Logística de Hidrocarburos Boliviana), es decir se realiza la fiscalización tanto en la recepción de productos provenientes por el poliducto OCOLP y por cisternas que vienen de distintos países en el caso de la importación de diésel y la gasolina especial, y también en el despacho de los mismos en los respectivos

puntos de carga y descarga en la misma planta de almacenamiento de YPFB Logística, esto en el caso de los derivados líquidos, y a la vez se realizará la fiscalización en la recepción de GLP en los tanques esféricos de la empresa.

La Planta Engarrafadora de Senkata se encuentra ubicada en la ciudad de El Alto, en la Avenida 6 de marzo km. 8 de la red vial boliviana, ruta conecta al departamento de La Paz con los departamentos de Oruro, Chuquisaca, Potosí y Tarija.

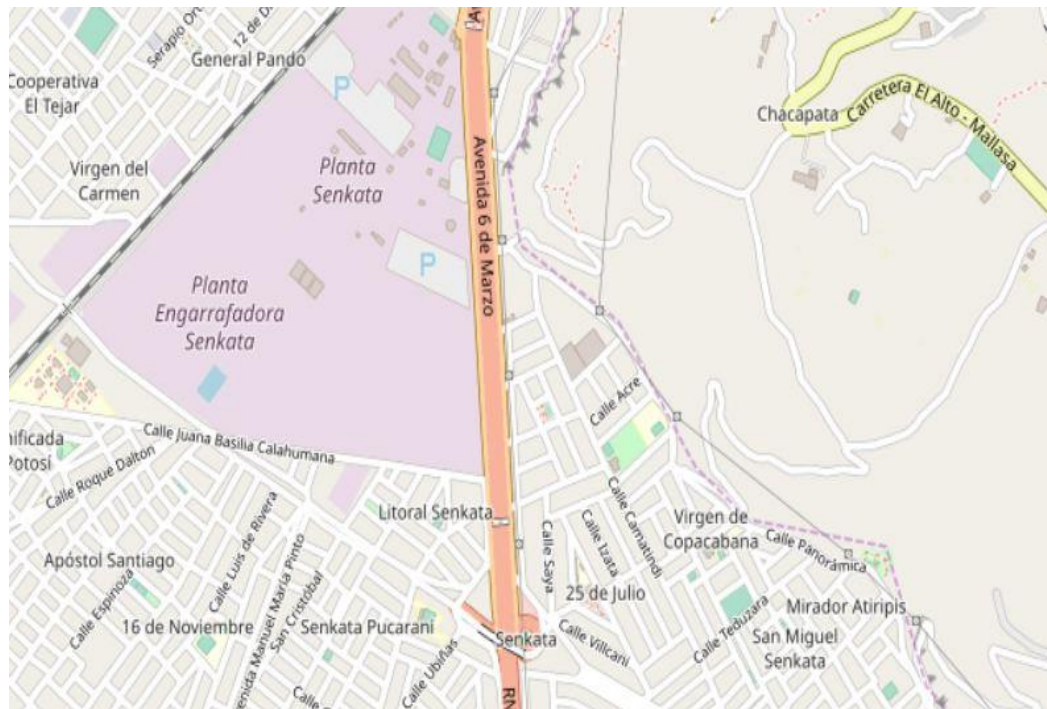
**Figura 1** *Taques esféricos de la Planta Engarrafadora de Senkata*



**Fuente:** Tomada de informe YPFB logística Planta Senkata, 2017

La locación en particular donde se encuentra la planta engarrafadora, es debido al amplio espacio que brinda la misma, otra razón especial de la ubicación de la planta es debido a que justamente en los predios colindantes a ésta, se encuentra la planta de almacenamiento de combustible de la empresa nacionalizada YPFB Logística, (anteriormente la Compañía Logística de Hidrocarburos Boliviana "CLHB").

**Figura 2** Ubicación de la Planta Engarrafadora de Senkata



**Fuente:** Tomada de informe YPFB Logística Planta Senkata, 2017

Esta empresa está encargada del almacenamiento y distribución de derivados del petróleo como ser: gasolina especial, diésel, kerosene, gasolina Premium, Jet fuel y GLP. La planta es abastecida por el Poliducto Oruro - Cochabamba - La Paz "OCOLP" mediante el cual son transportados todos estos derivados mencionados, por tal razón esto facilita el rápido almacenamiento y entrega de los productos las empresas mayoristas, y por ende una óptima y rápida entrega en el caso del GLP a la planta engarrafadora.

### **1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.3.1. Identificación del problema**

Los tanques esféricos presentan en su mayoría una inestabilidad termodinámica, debido al proceso diario que se maneja dentro de las refinerías.



El almacenamiento y extracción de GLP permite que las temperaturas sufran cambios bruscos y generen un riesgo de explosión.

La empresa operadora de la Planta Engarrafadora de Senkata realiza operaciones de mantenimiento en tanques esféricos, pero carece de un control cuantitativo y sólo se basan en normativas de seguridad industrial que es estipulado por la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH), y no permite analizar el comportamiento real de la operación.

Las fugas se presentan en su mayoría en los tanques esféricos y sobre todo en aquellos tanques que ya se han realizado mantenimiento. Por lo tanto, es necesario realizar un análisis cuantitativo que permita determinar las áreas donde exista una mayor probabilidad de presentarse una fuga con el fin de evitar consecuencias nefastas.

Es necesario establecer modelos físicos, de acuerdo con el proceso, de fugas del tanque esférico, y se debe analizar la distribución de la temperatura del tanque esférico y la del medio ambiente después de un suceso de fuga de tuberías del tanque con un método de simulación cuantitativo adecuado.

Se debe proceder analizar la tasa de reducción de temperatura del tanque esférico debido a que es proporcional al área de fuga, e inversamente proporcional a la distancia del punto de fuga desde el tanque esférico.

También es necesario predecir el tiempo suficiente para que el tanque esférico alcance cierta temperatura en condiciones diferentes, lo que podría proporcionar una base teórica y soporte técnico para el control de seguridad de fugas de tanques esféricos de hidrocarburos licuados en la Planta Engarrafadora de Senkata.

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

En función a la anterior explicación y análisis se puede formular el siguiente problema:

¿Existe algún método cuantitativo adecuado que pueda proceder a analizar la tasa de reducción de temperatura del tanque esférico, proporcionando una base teórica y soporte técnico para el control de seguridad de fugas de tanques esféricos de hidrocarburos licuados en la Planta Engarrafadora de Senkata?

### **1.4. OBJETIVOS**

#### **1.4.1. Objetivo general**

Analizar mediante métodos numéricos las presiones en tanques esféricos de almacenamiento de GLP debido al incremento de temperatura en la Planta engarrafadora de Senkata.

#### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Describir las características de los tanques esféricos y su función dentro del proceso de almacenamiento en la Planta Engarrafadora de Senkata.
- Desarrollar el cálculo y diseño del modelo de turbulencia en la mecánica de fluidos dentro de un tanque esférico.
- Proporcionar una base teórica y soporte técnico para el control de seguridad de fugas de tanques esféricos de hidrocarburos licuados en la Planta Engarrafadora de Senkata.

- Aplicar una simulación computacional para determinar la tasa de reducción de temperaturas y predecir el tiempo suficiente para que el tanque esférico alcance cierta temperatura en condiciones diferentes utilizando el Software Matlab.

## **1.5. JUSTIFICACIÓN**

### **1.5.1. Justificación técnica**

Realizar un estudio analítico y cuantitativo respecto a la tasa de disminución de temperaturas dentro de los tanques esféricos, permite determinar el área de una fuga que se podría presentar bajo ciertas condiciones de operación dentro de la planta, para tomar decisiones y controlar la seguridad de operación de la misma.

Una simulación cuantitativa facilita el trabajo de los ingenieros encargados del área de seguridad industrial y permite planificar los periodos de mantenimiento necesarios para evitar todo tipo de accidentes y disminuir el riesgo de una explosión.

### **1.5.2. Justificación económica**

La prevención de accidentes dentro de instalaciones de almacenamiento de hidrocarburos tiene una importancia sustancial, pues un suceso inesperado conlleva pérdidas de tipo económica, material y humana. El análisis y estudio respecto a la evaluación de la seguridad industrial reduce toda probabilidad de sucesos que concluyan en daños económicos a la empresa operadora.

Conociendo los parámetros a ser sometidos a evaluación permitirá la programación en la etapa de mantenimiento incidiendo en un mejor manejo del presupuesto de Operación y Mantenimiento de la Planta.

### **1.5.3. Justificación ambiental**

Es de conocimiento que los hidrocarburos provocan un daño ambiental considerable según sea su exposición con el medio ambiente. Un suceso como la explosión súbita de un tanque de almacenamiento generaría un daño ambiental de consideración, pues la exposición del GLP con el ambiente generaría un grueso daño ambiental.

Es pertinente tener una herramienta cuantitativa de control de fugas de los tanques esféricos, pues el objetivo es reducir el impacto ambiental al mínimo.

## **1.6. ALCANCES**

### **1.6.1. Alcance temático**

Los temas que se logran alcanzar en este proyecto, principalmente son los temas de riesgos y control de accidentes, junto con los temas de mecánica de fluidos y flujos turbulentos.

Por otra parte, las materias que se llegan a abarcar son principalmente Operaciones Unitarias, simulación numérica, seguridad industrial y programación aplicada, las cuales son los fundamentos principales de este proyecto. También se considera pieza fundamental a la materia de Transporte y Almacenamiento de Hidrocarburos.

### **1.6.2. Alcance temporal**

El proyecto se realizará con datos de gestión de 2017 a 2019, y el mismo proyecto será realizado y defendido en la gestión 2021.

### 1.6.3. Alcance geográfico

El proyecto se llega a aplicar en las instalaciones de la Planta Engarrafadora de Senkata el cual se ubica en la ciudad de El Alto.

**Figura 3** Vista satelital de la Planta Engarrafadora de Senkata



**Fuente:** Tomada de [Googleearth.com/Planta de Senkata](https://www.google.com/earth/@16.658333,-68.883333,15z), 2020

## **CAPÍTULO II. DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA ENGARRAFADORA DE SENKATA**

### **2.1. GENERALIDADES DE LA PLANTA ENGARRAFADORA DE SENKATA**

Actualmente, la Planta de Senkata, tiene una capacidad de almacenaje de 4.080 a 5.580 metros cúbicos (m<sup>3</sup>) de GLP. El rango de la seguridad energética actualmente es de cinco días.

Coronado (2015) que es encargado de operaciones de la planta de Senkata cito:

“Cuando se tiene mayor capacidad de almacenaje y hay más disponibilidad de producto, se garantiza el abastecimiento de GLP y la seguridad energética “

### **2.2. CARACTERÍSTICAS DE LA EMPRESA**

La estatal Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos amplió la capacidad de almacenaje de Gas Licuado de Petróleo (GLP) en la planta de Senkata, ubicada en la ciudad de El Alto, aledaña a La Paz, para brindar un servicio eficiente a la población del departamento de La Paz y otras regiones occidentales del país.

YPFB amplió en un 40 por ciento la capacidad de almacenaje de Gas Licuado de Petróleo (GLP) de la Planta Engarrafadora de Senkata para brindar un servicio más eficiente a la población del departamento de La Paz (ABI, 2014).

La ampliación incrementó de 1.500 metros cúbicos de combustible GLP<sup>2</sup> que incrementara el stock de seguridad energética, de al menos siete días para

---

2 Según información oficial, actualmente la Planta de Senkata tiene una capacidad de almacenaje de 4.080 metros cúbicos (m<sup>3</sup>) de GLP y el rango de seguridad energética es de cinco días.

cubrir cualquier contingencia. Esa ampliación se enmarca en el Plan Quinquenal de Inversiones de YPF, que busca prioritariamente optimizar la calidad de los servicios esenciales a la población nacional.

**Figura 4** Vista de los camiones de la Planta engarrafadora



*Fuente: Tomada de YPF, 2014*

Los trabajos de ampliación de esa planta se cumplieron en tres etapas: la primera, que concluyó en noviembre de 2014; la segunda, la parte técnica-mecánica, es decir, el montaje de las "salchichas" (tanques de almacenamiento) que son importadas de España y la tercera que tiene que ver con la regulación de los medidores de temperatura, entre otros instrumentos. (ABI, 2014).

Se verificó las nuevas construcciones en la planta de Senkata con una buena inversión. Se incrementó el engarrafado de 3.700 (unidades) por hora y con la nueva engarrafadora se tiene un logro de 5.500 (unidades) de garrafas por hora.

YPFB inició en noviembre de 2012 la modernización de la planta engarrafadora de Senkata a cargo de la empresa danesa *Kosan Crisplant* con la finalidad de garantizar la continuidad de las operaciones de engarrafado en beneficio de toda la ciudad.

La planta cuenta con dos carruseles con tecnología última que incrementa la velocidad de engarrafado y a su vez se adecua automáticamente al trabajo mismo de los operadores, pues nos va permitir optimizar los tiempos de engarrafado y dar mayor seguridad a nuestros trabajadores en el desarrollo de sus funciones”, manifestó el Gerente Nacional de Comercialización de YPFB, Mauricio Marañón.

### **2.3. UNIDADES DE PROCESO**

La Planta de almacenamiento de YPFB Logística, comprende un área mayor a la de la Planta Engarrafadora, ya que ésta tiene la función del respectivo producto tanto líquida como gaseosa (GLP), contiene una cantidad total de 27 tanques de almacenamiento, de los cuales 18 son de combustibles líquidos (gasolina especial, diésel, GLP).

Conjuntamente con la empresa YPFB Logística, se cuentan en total con 3 tanques esféricos de almacenamiento de GLP, de los cuales los tanques 22 y 23, corresponden a la empresa YPFB Logística, mientras que el tercer tanque esférico el número 24 es propiedad de la Planta Engarrafadora. Cada uno de estos tanques con una capacidad de 1.220.500 litros



**Figura 5** Vista de los tanques instalados en Planta de Senkata



**Fuente:** Tomada de informe YPFB logística Planta Senkata, 2017

#### **2.4. TANQUES DE ALMACENAMIENTO**

La Planta de Senkata cuenta con ocho tanques (salchichas) de almacenamiento de GLP, cada uno con una capacidad de 90m<sup>3</sup> (720m<sup>3</sup> en total), diez tanques de 36m<sup>3</sup> cada uno (360m<sup>3</sup>) y tres esferas; dos de YPFB Logística y una de YPFB Corporación con una capacidad de 1.000 m<sup>3</sup> cada una (3.000m<sup>3</sup>, en total). Lo que hace una capacidad total de 4.080 metros cúbicos de capacidad de almacenaje, según precisó Edwin Cruz, de la Gerencia Nacional de Comercialización

Senkata registra envíos diarios de 39 a 40 mil garrafas al día para el abastecimiento de La Paz y El Alto y, entre 7.000 y 7.500 garrafas para Oruro, según Germán Cutili, encargado de estadísticas del Distrito Comercial Occidente.

“Durante el ciclo estacional de invierno, la demanda de Gas Licuado de Petróleo crece entre 30 a 40 por ciento aproximadamente, lo que obliga a redoblar esfuerzos a fin de atender adecuadamente a la población paceña.

Al día salen de Senkata cien cisternas (con combustibles líquidos) y 400 camiones distribuidores de gas licuado de petróleo para abastecer a la población de La Paz y El Alto, urbes que consumen en forma diaria un millón de litros de gasolina y 700 mil litros de diésel.

Los trabajos de ampliación deben cumplir tres etapas: la primera, referida a las obras civiles que concluirán en noviembre de este año; la segunda, la parte técnica-mecánica, es decir lo que es el montaje de las “salchichas” (tanques de almacenamiento) que serán importadas de España y la tercera tiene que ver con la regulación de los medidores de temperatura entre otros instrumentos.

A la fecha, ya se efectuaron refacciones a las oficinas donde se realizan operaciones de facturación, las mismas que ofrecen mayor comodidad a la gente de las estaciones de servicios y GLP, asimismo, ya cuenta con una torre de control para el recuento de garrafas lo que facilita el tema de seguridad del personal que presta sus servicios en la planta.

## **2.5. PROCESO DE ENGARRAFADO**

Proceso de engarrafado en la planta de Senkata los Sistemas externos están involucrados durante el engarrafado. Una vez que el GLP es despachado de los tanques salchicha hacia las distintas plantas de engarrafado, previamente se realiza el respectivo bombeo del producto mediante bombas de desplazamiento positivo, las cuales realizan la circulación del producto a una determinada presión y caudal ya establecidos a las respectivas plantas.

El sistema de tuberías del equipo está diseñado para cualquier tipo de situación imprevista, por ejemplo, el equipo puede apagarse debido a varios factores, como el mantenimiento de la plataforma giratoria, el mantenimiento de la cinta transportadora y la limpieza de la, misma. Equipos, accidentes que puedan ocurrir en estas instalaciones, etc. Luego el caudal y funcionamiento desde el

tanque de embutidos a la fábrica debido a esta parada se devuelven automáticamente al tanque a través de la línea de retorno, para evitar posibles problemas o accidentes.

Todo el sistema de línea de alimentación del equipo de engarzado está equipado con instrumentos de medición de temperatura, presión y flujo, ya que, en el caso de empacar una botella de agua de 45 kg, estos instrumentos irán dirigidos al plato giratorio y báscula fija.

Una vez que el proceso de prensado se acompaña de inyección de aire, esta se realiza a través de una estación de compresión que suministra aire comprimido al equipo de prensado durante toda la operación.

**Figura 6** Área de despacho de la Planta de Senkata



**Fuente:** Tomada de informe YPFB logística Planta Senkata, 2017

## **2.6. PRODUCCIÓN EN LA PLANTA ENGARRAFADORA DE SENKATA**

El Proceso de engarrado es continuo por tratarse de un producto, así como es el GLP de alta presión sin intermitencias, tanto rendimiento de bombas y compresores y altura de los tanques horizontales y esferas de almacenamiento no pueden ser detenidos, por tanto, el carrusel de llenado debe trabajar todo el tiempo.

### **2.6.1. Vaciado del gas residual**

En la etapa inicial de este proceso, las botellas de GLP llegan con mayor porcentaje de propano y el gas residual del ciclo ISO derivado de propano y butano, las botellas sin producto se almacenan en la plataforma y se espera a a colocar en la cinta transportadora El operador de GLP abre la válvula con una llave para descargar todo el gas en el contenedor de tara 10, 11, 11,5, 12 y 12,5 Kg.

Esta operación se completa cuando la cinta transportadora está en movimiento. Debe observar que la botella de agua está en buen estado y que no hay elementos en la válvula, como sellos, bolsas, etc. El proceso previo de purga previa de gas licuado de petróleo.

### **2.6.2. Control de fugas**

En el caso de detección de fugas, existe un dispositivo especial a la salida de cada plato giratorio, que ayudará a detectar fácilmente posibles fugas en la botella de agua. Este dispositivo se denomina "Plato giratorio hermetizado", y se ha instalado todo el lote en el tanque lleno de producto e introducido en el dispositivo, el paso del fluido ayudará a determinar la posibilidad de fuga de GLP, el único hecho es observar si hay burbujas, en este caso el operador aislará la botella defectuosa y continuará verificando el ciclo.

Esto ya no es necesario, porque afectará las horas de trabajo y la eficiencia del trabajo, y también se reducirá. El procedimiento que se sigue actualmente es muy sencillo y rústico a la vez, es decir, el operario utiliza un cepillo para poner un poco de espuma (agua-jabón) en la boquilla de la válvula de cada botella, y luego si se produce una fuga se observará burbujeo en la espuma.

Este es el circuito encapsulado por el procedimiento seguido por toda la botella. Cabe señalar que el tiempo de trabajo del personal y la máquina del tiempo se optimizan en este proceso. Cancele temporalmente la plataforma giratoria sellada que involucra al operador.



# CAPÍTULO III. TEORÍA DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO ESFÉRICO

## 3.1. DEFINICIÓN

Un tanque de almacenamiento se define como cualquier contenedor con una capacidad de líquido superior a 277 litros (60 galones estadounidenses) que se utiliza para instalaciones estacionarias y no para procesamiento.

El tanque de almacenamiento se utiliza como depósito para contener reservas suficientes de algunos productos para uso posterior y / o uso comercial.

Teniendo en cuenta la demanda actual, las reservas, los futuros descubrimientos de petróleo, etc., se lleva a cabo una adecuada investigación sobre el almacenamiento para hacer de los tanques de almacenamiento una parte esencial de la industria del petróleo.

**Figura 7** *Tanque Esférico de Almacenamiento de GLP*



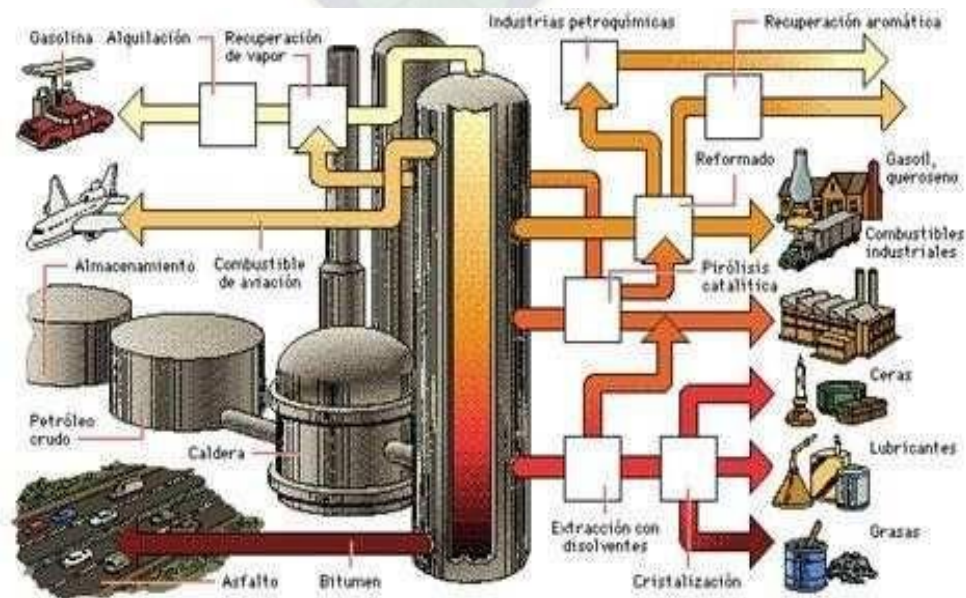
**Fuente:** Tomada de YPFB Transporte, 2018

La necesidad de almacenar recursos energéticos para controlar, transportar y distribuir es evidente en la medida en que se desea asegurar un abastecimiento abundante y seguro, para mejorar la producción y así, disminuir también la afectación al medio ambiente.

El almacenamiento de líquidos combustibles tales como petróleo, fuel oil, diésel, kerosene y otros derivados petroquímicos considerados como productos limpios que se pueden conservar a presión atmosférica y temperatura ambiente, se realiza normalmente en tanques cilíndricos de fondo plano, techo fijo, o flotante, a fin de evitar la acumulación de gases inflamables dentro de los mismos

Para proveer y contrarrestar el daño que pudiera ocasionar la rotura o rebose de un tanque, se construye un cubeto de contención alrededor de cada tanque o de un grupo de tanques, dependiendo de su volumen instalados en el sitio, aislado de las capas del suelo por una geo membrana, garantizando de esta manera la mínima contaminación por absorción.

**Figura 8 Manejo del Petróleo**



**Fuente:** Tomada de *Procesamiento del petróleo*, Eguivar (2012)

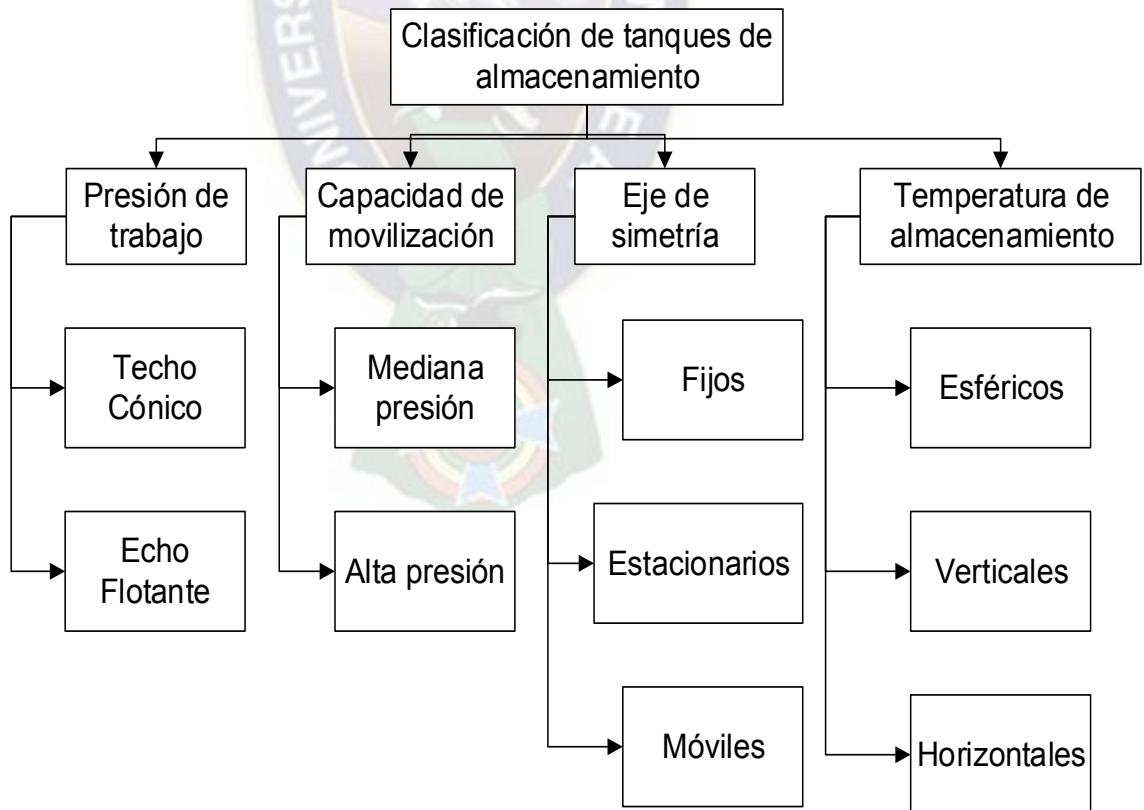
### 3.2. TIPOS DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO

Generalmente el primer paso en el diseño de cualquier recipiente de almacenamiento, es la determinación del tipo de tanque a utilizar.

Los principales factores que influyen en esta decisión son: la función y ubicación del tanque, tipo de fluido, temperatura y presión de operación, y el volumen necesario de almacenamiento o la capacidad para procesamiento.

Los tanques de almacenamiento se los puede clasificar de acuerdo a las necesidades o restricciones tales como: presión de operación, capacidad de movilización, según los ejes de simetría, temperatura de almacenamiento y tiempo de operatividad.

**Figura 9** Clasificación de los Tanques de Almacenamiento



*Fuente: Adaptada de Procesamiento del petróleo, Eguivar (2012)*



### 3.2.1. Clasificación de los Tanques según la Presión de Operación

Existen numerosos tipos de recipientes que se utilizan en las plantas industriales o de procesos. Los diferentes tipos de tanques que existen, se clasifican de la siguiente manera:

a) Tanques atmosféricos

El llamado tanque atmosférico generalmente opera a una presión interna ligeramente superior a la presión atmosférica. La especificación define un tanque atmosférico como un tanque que opera a una presión  $\frac{1}{2}$  Psig mayor que la presión atmosférica.

**Figura 10** Tanque Atmosférico



*Fuente: Tomada de informe de anual de PEMEX, 2021*

b) Tanques a altas presiones

Como es sabido, muchos de los productos requeridos o producidos en las industrias requieren para su almacenaje y utilización de presiones

superiores a la atmosférica, dando lugar así a los llamados receptores a presión.

Estos equipos deberán ser capaces de contener productos de diferente naturaleza química bajo las condiciones de operación requeridas (presiones, temperaturas, concentraciones, etc.).

**Figura 11** *Tanque a Altas Presiones*



*Fuente: Tomada de informe de anual de PEMEX, 2021*

Otras clasificaciones de tanques son las siguientes:

### **3.2.2. Clasificación de los Tanques según su Forma Geométrica**

- a) Cilíndricos con techo cónico

Estos tanques son diseñados con el fin de almacenar productos con presión de vapor relativamente baja, la presión de vapor se conoce

como la presión que ejerce los vapores de un producto sobre las paredes internas de un recipiente, a mayor dificultad de menor presión se ejerce sobre las paredes de dicho recipiente por lo tanto los productos almacenados en estos tanques no tienen la tendencia a producir vapores a temperatura medio ambiente.

**Figura 12** *Cilíndricos con techo cónico*



*Fuente: Tomada de informe de anual de PEMEX, 2021*

b) Tanques cilíndricos con techo flotante:

Se asemejan en su construcción a los tanques cilíndricos con tecnología ocasionar daños debido a las altas presiones de vapor, la presión nunca es mayor a la presión atmosférica.

El techo flotante se desplaza verticalmente de acuerdo al nivel del producto que almacena. Los tanques de techo flotantes más comunes son de tipo pontón anular con una cubierta central sencilla. En el centro de la cubierta, está colocado un sumidero para drenaje de agua el cual tiene conectada una manguera que está conectada a una línea con su

válvula en la parte menor del tanque. Esta manguera está provista de una válvula de retención.

Este tipo de tanque es adecuado para almacenar productos con flash point menores a 150°F y presiones de vapor relativamente altas tales como las gasolinas livianas.

**Figura 13** *Tanque Cilíndrico con Techo Flotante*



**Fuente:** Tomada de informe de anual de PEMEX, 2021

c) Tanques cilíndricos con membrana

Con estos tanques se logra minimizar la formación de gas y las pérdidas por evaporación. Son diseñados especialmente para almacenar productos livianos. La membrana de estos tanques está en contacto directo y se coloca en la parte interna del tanque, diseñada y construida de tal forma que flote sobre el producto almacenado. Así se disminuye la formación de gas disminuyendo la evaporación del producto almacenado.

Existen diferentes tipos de membranas entre ellas están:

- Membranas de uretano rígida.
- Membranas de material flexible recubierto.
- Paneles de aluminio con tubería de aluminio.
- Pontones de aluminio en la periferia.

d) Tanques esféricos

Son utilizados para almacenar productos que poseen una presión de vapor muy alta (25 a 200 psi), tales como butanos, propanos, amoniaco, hidrogeno, oxígeno, y nitrógeno. La principal propiedad de este tipo de tanques es que son tanques construidos herméticamente lo cual elimina las perdidas cuando se llenan o desocupan.

Cuando una masa dada de gas esta almacenada bajo presión es obvio que el volumen de almacenamiento requerido será inversamente proporcional a la presión de almacenamiento. En general cuando para una masa dada, el tanque esférico es más económico para grandes volúmenes y bajas presiones de operación.

**Figura 14** *Tanque Esférico*



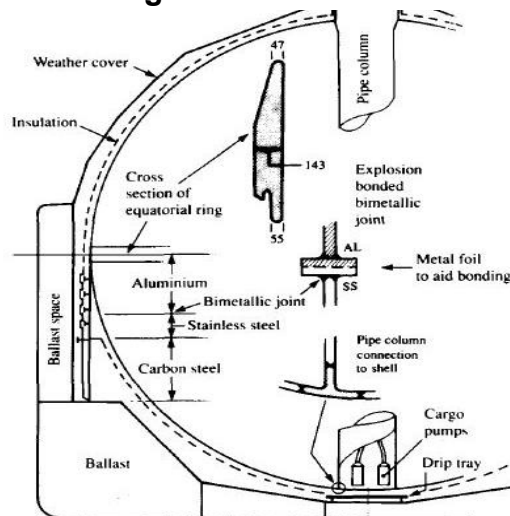
**Fuente:** Tomada de informe de anual de PEMEX, 2021

### 3.3. PARTES DE UN TANQUE DE ALMACENAMIENTO

Además del tanque en si (base, cuerpo, y techo) se encuentran los siguientes accesorios los cuales son muy importantes para el buen funcionamiento y manejo del mismo:

1. Escalera: para tener acceso al techo, realizar y verificar mediciones.
2. Indicadores de nivel: muestra el nivel del producto almacenado.
3. Válvulas: generalmente de compuerta, ya que permiten una apertura parcial.
4. Venteo: para evacuar vapores que se acumulan en el tanque.
5. Orificio del techo: para hacer mediciones con cinta.
6. Agujero de inspección: para acceso del operador con el fin de realizar mantenimiento o reparaciones.
7. Entradas de producto: generalmente se encuentran en la parte Superior del tanque, y están unidas a un dispersor con el fin de evitar el flujo turbulento del fluido cuando ingresa al tanque
8. Boca de salida: para evacuar el fluido almacenado a las líneas de transporte

**Figura 15** Partes de un tanque



**Fuente:** Tomada de Diseño de un tanque de almacenamiento de alta presión, Sánchez (2008)

### **3.4 PROCESO DE ALMACENAMIENTO DE GLP**

#### **3.4.1 Descripción del proceso**

El objetivo de la planta de almacenamiento es recibir el GLP que llega por el ducto, almacenarlo en receptores esféricos o tipo salchicha y luego evacuarlo hacia el ducto.

En comparación con los cilindros, la ventaja de las esferas es que generan la mitad de la tensión debido a la presión interna, por lo que el espesor requerido es mucho menor. En comparación con cualquier otro receptor, la superficie de la esfera en contacto con la atmósfera es más pequeña y la temperatura del líquido cambia más lentamente, lo que ayuda a la tasa de evaporación.

La instalación de almacenamiento no necesita una bomba para recibir gas licuado de petróleo porque viene a través del gasoducto, incluso si la presión es mayor que la presión de operación requerida, por lo que se debe usar la bomba requerida.

Una vez que cae la presión, es necesario cuantificar el volumen de gas licuado de petróleo recibido por la fábrica y el equipo de medición utilizado debe ser de alta precisión. También se necesita equipo para cuantificar la cantidad entregada.

Para cuantificar el volumen, el gas licuado de petróleo ingresa a la esfera a través del tubo de admisión. Los principales oleoductos que maneja la fábrica son:

a) Tubería de entrada. -Permita que el gas licuado de petróleo líquido entre en la bola de almacenamiento.

b) Tubería de salida. -Permitir que se descargue gas licuado de petróleo líquido de la esfera a la tubería.

c) Tubo de alivio de presión. -Recoger gas licuado de petróleo de diferentes válvulas reductoras de presión que se activan por sobrepresión.

d) Tubería de vapor. -Recoger el vapor de la mezcla líquido-gas en el recipiente y volver a licuarlo.

e) Tubería de drenaje. -Utilizado para descargar sustancias no deseadas distintas del gas licuado de petróleo, como componentes pesados (pentano).

f) Línea Slop-Bullet. -Permitir que se descargue el líquido del tanque de balas a las aguas residuales y permitir que se descargue el tanque de aguas residuales.

**Figura 16** Diagrama de Líneas de Tubería



**Fuente:** Tanque esférico T-609M utilizado para almacenamiento de GLP,  
Tomado de *Diseño de un sistema de tanque esférico*, Calvo (2013)



La descarga de GLP de la esfera es para aumentar la presión en la tubería en la salida del terminal a un valor definido por una bomba a un caudal predeterminado.

Para mantener la presión en el recipiente de almacenamiento dentro de los límites operativos, se utiliza un dispositivo de re licuefacción para convertir parcialmente el vapor en líquido y luego volver a entrar en la esfera. Bajo diversas condiciones, la planta de re licuefacción comenzó a operar:

- Cuando la temperatura ambiente aumenta, hará que la presión en el tanque aumente a medida que aumenta la presión de vapor de la mezcla.
- Cuando se introduce GLP líquido, dado que el GLP es reemplazado por el vapor que ocupa el espacio de la esfera, si no se vacía a través del dispositivo de re licuefacción, gradualmente se comprimirá y aumentará la presión.
- Vuelva a licuar el vapor de GLP existente en el tanque de balas.

El funcionamiento de la unidad de re licuefacción se divide en dos partes:

a) Compresión. -La fracción de vapor ingresa al compresor después de pasar por el separador de fase líquido-vapor para aumentar su presión y temperatura.

b) Más fresco. -El vapor sobrecalentado entregado por el compresor ingresa al intercambiador de calor, lo enfría, condensa la mayor parte y luego las dos fases ingresan al separador de fase líquido-vapor, donde la fase vapor ingresa nuevamente al proceso de re licuefacción y la fase líquida ingresa a la esfera de nuevo.

Hay un dispositivo evaporador en la planta de almacenamiento. Cuando se evacúa el GLP líquido, se debe mantener la presión en el recipiente esférico, utilizando una pequeña cantidad de GLP líquido de la línea de descarga para que se evapore y reingrese por la línea de vapor.

Cuando el vapor de GLP se vuelve a licuar, la presión en el tanque de la bala se reduce hasta el punto de que se evacua casi todo el GLP y solo queda gasolina (si está presente) o solo el vapor de GLP.

El equipo o sistema clave en la operación de la fábrica debe estar siempre apoyado por otro paralelo de las mismas características, estos equipos o sistemas permanecen en espera para comenzar a operar cuando el equipo principal falla o necesita mantenimiento. Esta situación se considera en salas de bombas, sistemas de medición y descompresión de presión, sistemas de relicuefacción y sistemas de vaporización.

### **3.4.2 Requerimientos generales de la planta de almacenamiento**

Los requisitos generales que deben tenerse en cuenta al diseñar cualquier dispositivo de almacenamiento se detallan a continuación:

- Capacidad de almacenamiento nominal requerida
- El gas licuado de petróleo almacenado en el tanque de almacenamiento está compuesto por peso.
- La presión y el caudal de GLP a la entrada de la fábrica.
- La presión del GLP y el caudal del producto desde el tanque de almacenamiento hasta la línea de entrega.

- La ubicación de la planta de almacenamiento considerando la presión atmosférica.
- La temperatura ambiente en la ubicación de la instalación de almacenamiento.
- La vida útil del equipo generalmente debe cubrir una vida útil de 20 años.

### **3.5 NORMATIVA PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE GLP**

Existen numerosos códigos y normas relativos al manejo de GLP que se aplican en diferentes países dependiendo de sus leyes o de las tendencias que han hecho que determinado código o norma sea de uso general en dicho país.

En nuestro país, la Agencia Nacional de Hidrocarburos ha dispuesto una serie de normas con notable influencia de las normas estadounidenses que disponen el dimensionamiento de tanques de almacenamiento de GLP, la medición de los tanques y medidas preventivas, entre otros.

#### **3.5.1 API Standard 2510.- Diseño y Construcción de instalaciones de GLP**

Es una norma del Instituto Americano de Petróleo (American Petroleum Institute) que cubre el diseño, construcción y localización de terminales marinas de GLP, plantas de procesamiento de gas natural, refinerías, plantas petroquímicas y grupos de tanques. Esta normativa Standard cubre tanques de almacenamiento, sistemas de carga y descarga, tubería o equipo relacionado, todo esto de una manera muy general, sin procedimientos de cálculo que incluyan fórmulas o tablas, sino lineamientos explicativos en muchos de los cuales hacen referencia a otros códigos o estándares más específicos.

A pesar de que esta normativa incluye dentro de su tanque de almacenamiento de GLP, uno de sus párrafos indica que no debe ser aplicado en aquellas instalaciones cubiertas por la NFPA 58.

### **3.5.2 NFPA 58.- Código de Gas Licuado de Petróleo**

Es una norma de la Asociación Nacional de Protección contra el Fuego (National Fire Protection Association) que se aplica a la operación de todos los sistemas de GLP entre los que está el diseño, construcción, instalación y operación de terminales cuyo principal propósito es el almacenaje de GLP para la entrega a transportistas, distribuidores o usuarios.

Esta norma permite definir entre otras cosas presiones de diseño, accesorios y distancias mínimas de los tanques; parámetros de diferentes equipos como bombas y compresores y de sistemas de tuberías; dispositivos de seguridad como: válvulas de alivio y sistemas de venteo; límites de llenado de tanques.

### **3.5.3 Normas para recipientes a presión**

Las normas empleadas para el diseño de recipientes a presión son especificadas en las normas para el diseño de plantas de GLP, específicamente la NFPA 58 que indica que los recipientes deben ser diseñados de acuerdo a la Sección VIII del Código de Calderas y Recipientes a Presión de la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (American Society of Mechanical Engineers, ASME).

#### **3.5.3.1 ASME Sección VIII.- Reglas para la Construcción de Recipientes a Presión**

La Sección VIII consta de 3 divisiones, de las cuales sólo las dos primeras son aplicables en el diseño de recipientes en plantas de GLP, debido a que la división 3 trata de Recipientes de Alta Presión (mayores a 10000 psi). El código

ASME Sección VIII establece que es decisión del cliente bajo que división se hará el diseño y construcción (en nuestro caso diseño) del recipiente.

El usuario o su agente designado deben establecer los requerimientos de diseño para recipientes a presión.

### **3.5.3.2 ASME Sección VIII: División 1**

El código ASME Sección VIII División 1 es el código de recipientes a presión trata las Reglas para la Construcción de Recipientes a Presión, y contiene los requerimientos mandatorios, prohibiciones específicas y guías no mandatorios para actividades de construcción, entendiéndose como construcción un término que comprende materiales, diseño, fabricación, examinación, inspección, prueba, certificación y alivio de presión.

### **3.5.3.3 ASME Sección VIII: División 2 - Reglas Alternativas**

El código ASME Sección VIII División 2 establece las Reglas Alternativas para la Construcción de Recipientes a Presión. En relación con las reglas de la División 1 de la Sección VIII, las reglas de la División 2 son más restrictivas en la selección de materiales que pueden ser usados pero permiten mayores valores de intensidad de esfuerzo de diseño a ser empleados en el rango de temperaturas sobre el cual el valor de intensidad de esfuerzo de diseño es controlado por el esfuerzo último o el esfuerzo de fluencia; son requeridos procedimientos de diseño más precisos y algunos detalles comunes de diseño son prohibidos; procesos de fabricación aceptables son delineados específicamente, y son requeridas examinación, prueba e inspección más completas.

La División 2 al ser más estricta permite determinar si es que un análisis de fatiga es necesario, y si lo es, da los pasos para diseñar bajo esta consideración. La teoría de falla utilizada en esta división es la teoría del esfuerzo cortante máximo, excepto en algunos casos específicos.

### **3.6 PRUEBAS EN RECIPIENTES A PRESIÓN**

En el proceso de fabricación de cualquier recipiente a presión se llevan a cabo diferentes pruebas para un control de calidad aceptable, que incluyen rayos X, prueba de partículas magnéticas, ultrasonidos, prueba de penetración de líquidos, etc.

Como se mencionó anteriormente, este tipo de pruebas se realizan durante el proceso de fabricación, siendo el departamento de control de calidad de cada empresa el responsable de realizar estas pruebas.

En este capítulo describiremos de forma muy breve la prueba que se debe realizar una vez fabricado el recipiente a presión, esta prueba se denomina prueba hidráulica porque suele ser el tipo de prueba que se aplica, aunque existen pruebas neumáticas.

#### **3.6.1 Prueba Hidrostática**

Implica someter el recipiente a una presión de 1,5 veces la presión de diseño después de la finalización y mantener esa presión el tiempo suficiente para verificar que no haya fugas en ninguna soldadura. Como su nombre indica, la prueba se realiza con un líquido, generalmente agua.

Al realizar una prueba hidráulica en un recipiente a presión, se recomiendan las siguientes precauciones:

- 1.- No se debe superar la presión de prueba indicada en la placa de características.

2.- En el recipiente a presión usado, si alguna parte del mismo se corroe, la presión de prueba deberá reducirse proporcionalmente.

3.- Evite en lo posible las pruebas neumáticas, porque además de peligrosas, pueden dañar el equipo.

### **3.6.2 Pruebas Neumáticas**

La diferencia básica entre este tipo de prueba y la prueba de presión hidrostática radica en el valor de la presión de prueba y el fluido utilizado en ella. La presión de prueba neumática se logra mediante la inyección de gas. Como dijimos antes, no es recomendable realizar pruebas aerodinámicas, pero cuando la práctica de dichas pruebas se vuelve imprescindible, se deben tomar las siguientes precauciones:

1.- La prueba neumática rara vez debe exceder la presión de trabajo. El Código A.S.M.E. recomienda que la presión máxima de prueba neumática sea 1,25 veces la presión máxima de trabajo permitida, lo que definitivamente debe evitarse en recipientes a presión usados.

2.- Cuando se utilice un gas distinto del aire para la prueba aerodinámica, se deberá utilizar un gas que no sea corrosivo, no tóxico, no inflamable y fácil de identificar cuando se escape. El freón es el gas recomendado para las pruebas de presión de gas.

3.- La mayoría de los gases utilizados para la prueba de presión de gas se encuentran en recipientes de muy alta presión, por lo que se deben tomar precauciones al transferirlos al recipiente a ensayar, ya que la presión de prueba puede aumentar excesivamente y es extremadamente peligrosa.

### **3.7 SEGURIDAD CONTRAINCENDIOS**

Se pueden distinguir tres situaciones de emergencia:

1. El tanque de almacenamiento está roto debido al producto almacenado.
2. El llenado se desborda accidentalmente.
3. El producto está en llamas.

Las dos primeras situaciones pueden dar lugar a una tercera situación de incendio, pero este no es el caso en todos los casos. Cuando se rompe el tanque de almacenamiento, para limitar los productos vaciados, se ha planificado un cortafuego. El dique puede lograr dos objetivos principales: no contaminar el medio ambiente y reciclar la mayor cantidad posible de productos derramados.

Para la segunda situación de emergencia, el desbordamiento puede ser causado por el indicador de nivel, el flotador y la válvula defectuosa que se apaga. Otra razón es que la señal electrónica o la placa de circuito incorrecto y sin calibrar hacen que el volumen de llenado sea mayor de lo normal o solo debido a un error humano.

#### **3.7.1 Diques**

Una presa es una barrera construida alrededor del tanque de almacenamiento para prevenir (en caso de un mal funcionamiento y es probable que el producto contenido se desborde) la propagación y contaminación del producto, exponiendo así la seguridad e integridad del personal, así como de las instalaciones y equipo a su alrededor.

Los aspectos más importantes de las presas construidas alrededor de los tanques de almacenamiento son:



1. La capacidad máxima del tanque de almacenamiento cuando su producto está completamente desbordado.
2. Debe ser capaz de soportar las condiciones de temperatura más extremas del líquido contenido, incluida la llama o el fuego real.
3. Las presas en tierra deben ser lo suficientemente densas para evitar fugas.
4. La altura mínima del área del piso interior debe ser de 1 pie (30 cm) y la presa debe ser de 1 ½ pies.
5. La altura máxima del concreto y el relleno no debe exceder los 6 pies (2 metros).
6. Las bombas y el equipo deben mantenerse alejados de la presa.
7. La distancia mínima entre la presa y la pared del tanque debe ser de 10 pies.

### 3.7.2 Distancias Mínimas entre Tanques e Instalaciones

Según las normas ASME se deben cumplir las siguientes distancias mínimas entre tanques y otras instalaciones.

**Tabla 1** Normas en Estación de Bombeo Continuo

ESTACIÓN DE BOMBEO CONTINUO DE GLP	
INSTALACIÓN	DISTANCIA (pies)
Cuarto de compresores	200
Cuarto de generación	200
Talleres	200
Torres de enfriamiento	200
Hidrantes	100
Tanques	2 veces el diámetro más pequeño

Válvulas manuales	100
Teas y llamas abiertas	100

**Fuente:** Adaptada de Pruebas de integridad en tanques de almacenamiento, 2020

Para refinerías:

**Tabla 2** *Distancia Mínima entre Tanques*

REFINERIA	
INSTALACIÓN	DISTANCIA (pies)
Talleres, salas de descanso, comedores	200
Calderas	250
Tanques > 10.000 Bls 250	250
Tanques < 10.000 Bls 150	150
Compresores de gas	250
Torres enfriadoras	250
hidrantes	50-100
Almacenes contra incendio	300

**Fuente:** Adaptada de Pruebas de integridad en tanques de almacenamiento, 2020

### **3.7.3 Corrosión en Tanques de Almacenamiento**

El tanque de almacenamiento es una estructura de gran tamaño con diferentes ambientes corrosivos, por lo que podemos mencionar los siguientes:

- Superficies externas expuestas a la atmósfera.
- Encuentra la superficie del vapor.
- La superficie exterior expuesta al suelo debajo del tanque.
- Superficies sumergida en líquido.

Dependiendo de la complejidad de la aplicación y el sistema de protección, la prevención y el control de la corrosión pueden tener diferentes formas o diseños.

### **3.8. MÉTODOS DE PROTECCIÓN**

A pesar de la alta calidad del producto combustible, no puede evitar la formación de depósitos dañinos en el tanque de combustible durante un período de tiempo, lo que incluso puede causar corrosión en el tanque de combustible de acero.

Para evitar averías o incluso interrupciones del almacenamiento, las instalaciones de los tanques de almacenamiento deben limpiarse a tiempo y con regularidad.

#### **3.8.1 Inhibidores**

Los inhibidores de la corrosión son sustancias químicas orgánicas o inorgánicas, que se pueden agregar en pequeñas cantidades para reducir, limitar, inhibir o prevenir los efectos de los corrosivos.

- Administrar inhibidores.
- Inhibidor de decapado u orgánico.

- Inhibidor de fase gaseosa.
- Inhibidor catódico.
- Inhibidor de la inducción de precipitación.

### **3.8.2 Recubrimiento**

Cuando su superficie tenga un cierto grado de limpieza de metal blanco, el recubrimiento se aplicará de la siguiente manera:

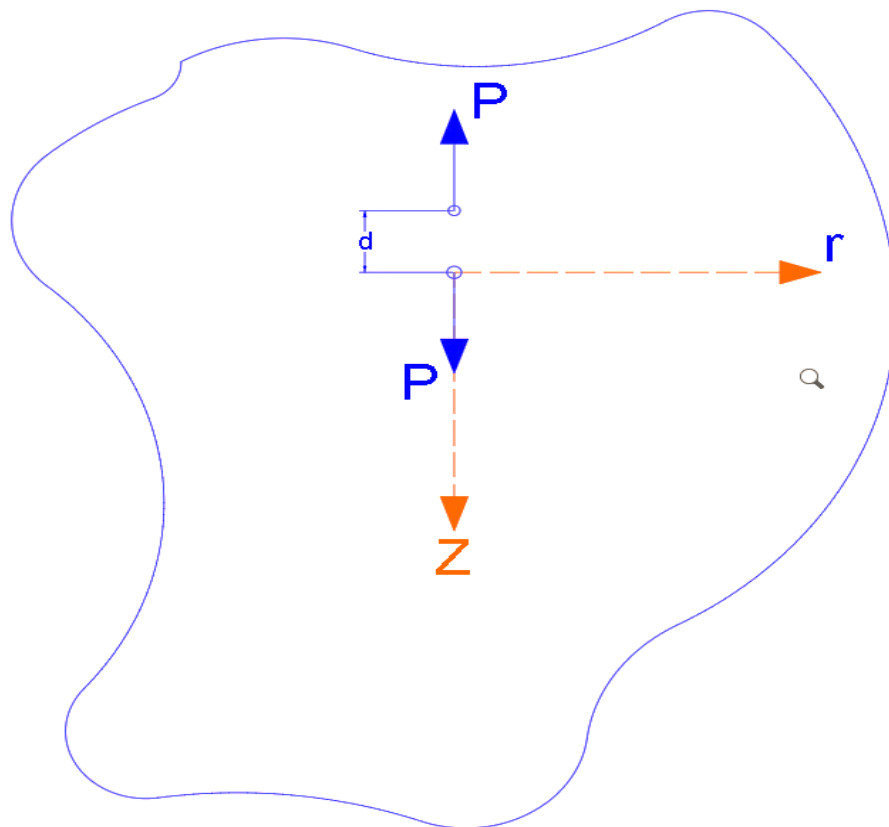
1. El encargado de la revisión registrará una tabla de control de aplicación de limpieza y recubrimiento, que incluye el área preparada (aceptada o rechazada), el tipo de recubrimiento, la cantidad de recubrimiento utilizado, el tiempo que se tarda en realizar el trabajo y el trabajo de la persona que debe realizar el trabajo.
2. El inspector será responsable de aceptar o rechazar el área revestida. Cuando un área no cumple con las especificaciones requeridas, debe limpiarse nuevamente usando este procedimiento.
3. El inspector proporcionará información sobre el área a recubrir, el tipo y mezcla de ingredientes, mantenimiento y condiciones de aplicación.
4. El espesor del revestimiento debe ser el recomendado por el fabricante.
5. Después de aplicar la pintura, el tiempo de limpieza para la nueva área adyacente debe basarse en el tiempo de secado de la pintura, y el tiempo más corto es de media hora.
6. De igual forma, se recomienda cubrir el área donde se ha aplicado el recubrimiento con una lona o manta plástica para evitar daños causados por arena y suciedad.

# CAPÍTULO IV. ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN DEL CAMPO DE TEMPERATURA DE LA FUGA DE UN TANQUE ESFÉRICO

## 4.1. PRINCIPIOS MECÁNICOS DEL MODELO

Se asumirá un cuerpo de placa delgada, por convención y resultados empíricos la relación entre el radio y el espesor debe ser mayor del 10%. Consideramos dos fuerzas iguales y opuestas que actúan sobre el siguiente cuerpo elástico cuya extensión es indefinida, ambas fuerzas están separadas una distancia “d” (ver figura 17)

**Figura 17** Referencia geométrica del Tanque esférico



**Fuente:** Tomada de Resistencia de Materiales, Ignacio Herrera Navarro, 2011

A continuación, vamos de detallar las ecuaciones involucradas a la acción de la fuerza “P” sobre el origen. Como el desarrollo será un diferencial en el espacio es conveniente utilizar las coordenadas cilíndricas o esféricas, para este trabajo utilizaremos las coordenadas cilíndricas de forma que la ecuación del esfuerzo en coordenadas cilíndricas de “P” serán:

$$\sigma_r = B \left[ (1 - 2\mu)z(r^2 + z^2)^{-\frac{3}{2}} - 3r^2z(r^2 + z^2)^{-\frac{5}{2}} \right] \quad (1)$$

$$\sigma_\theta = B[1 - 2\mu]z(r^2 + z^2)^{-3/2} \quad (2)$$

$$\sigma_z = -B \left[ (1 - 2\mu)z(r^2 + z^2)^{-\frac{3}{2}} + 3z^3(r^2 + z^2)^{-\frac{5}{2}} \right] \quad (3)$$

$$\tau_{rz} = -B \left[ (1 - 2\mu)r(r^2 + z^2)^{-\frac{3}{2}} + 3rz^2(r^2 + z^2)^{-\frac{5}{2}} \right] \quad (4)$$

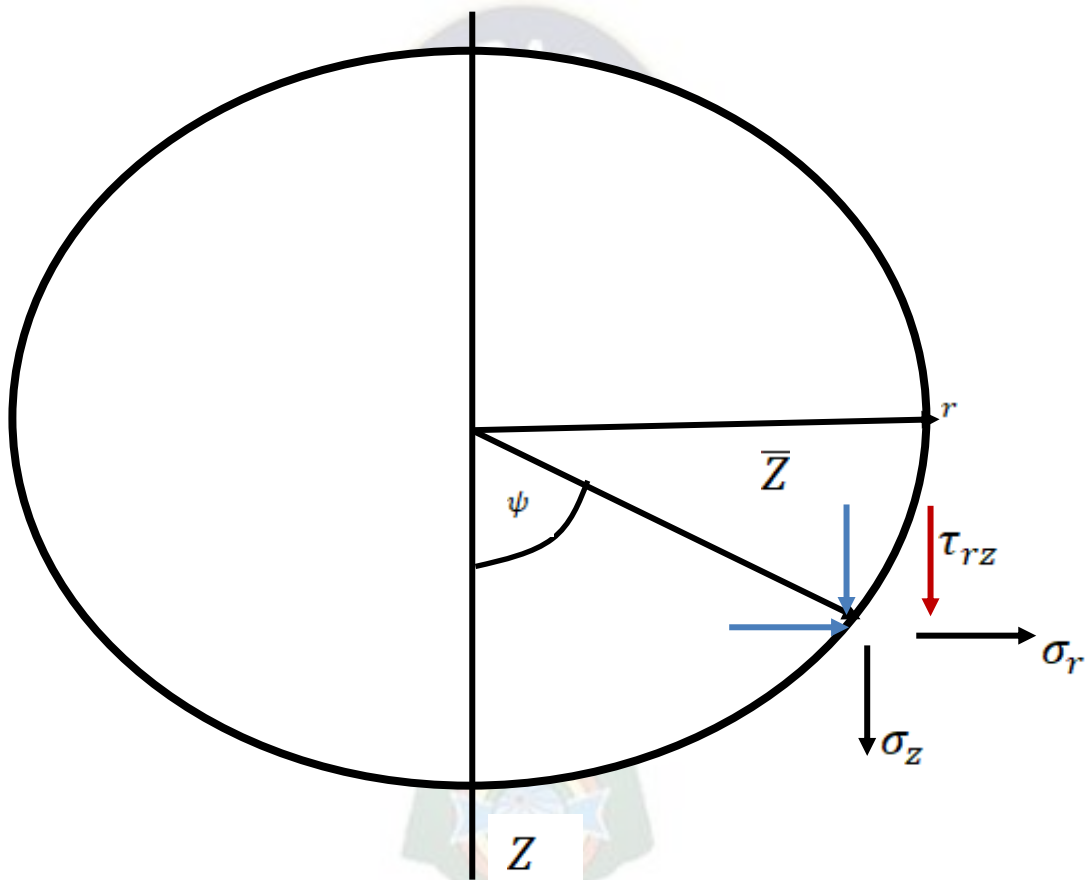
Donde:

- $\sigma_r$ : Esfuerzo de radio [KPa/m<sup>2</sup>]
- $\sigma_\theta$ : Esfuerzo angular [KPa/m<sup>2</sup>]
- $\sigma_z$ : Esfuerzo respectivo a una altura “z” [KPa/m<sup>2</sup>]
- $\mu$ : Coeficiente de resistencia del material [N/m<sup>2</sup>]
- $r$ : Radio del tanque esférico [m]
- $z$ : Altura donde se presenta la fuga [m]
- $\tau_{rz}$ : Tensión entre radio y altura [KPa]

Siendo “B” una constante de Integración. Ahora vemos claramente que estas tenciones al estar en el denominador, tienen a infinito al ser cero, esto es cuando nos acercamos al origen.

Está claro que debemos evitar tensiones infinitas por lo que aplica una restricción en la frontera de forma tal que nuestro origen será una esfera hueca muy pequeña, sobre esta superficie actúan varias fuerzas.

**Figura 18** Análisis de resistencia de la esfera frente a una fuga



**Fuente:** Tomada de Resistencia de Materiales, Ignacio Herrera Navarro, 2011

Se ha demostrado que las resultantes de esas fuerzas pueden ser representadas por una única fuerza localizada en el origen, se descomponer esa fuerza en dirección de "Z"

$$Z = -((\tau_{rz} \times \sin \psi) + \sigma_z \times \cos \psi) \quad (5)$$

$$\sin \psi = r(r^2 + z^2)^{-1/2} \quad (6)$$

$$\cos \psi = z(r^2 + z^2)^{-1/2} \quad (7)$$

Donde:

$\sigma_z$ : Esfuerzo respectivo a una altura "z" [KPa/m<sup>2</sup>]

$\psi$ : Angulo del esfuerzo [°]

r: Radio del tanque esférico [m]

z: Altura donde se presenta la fuga [m]

$\tau_{rz}$ : Tensión entre radio y altura [KPa]

Reemplazamos las ecuaciones N°1,2,4,5 en la ecuación N°3, y se obtiene el componente para la fuerza superficial en dirección de Z:

$$Z = B[(1 - 2\mu)(r^2 + z^2)^{-1} + 3z^2 \times (r^2 + z^2)^{-2}] \quad (8)$$

Se calcula una integral que reflejará el sumatorio total de las fuerzas sobre la superficie, sin embargo, sabemos que la resultante final será cero.

$$2 \int_0^{\pi/2} Z \sqrt{r^2 + z^2} \times d\psi \times 2\pi r = 8B\pi(1 - \mu) \quad (9)$$

Solo para una única fuerza aplicada:

$$P = 8B\pi(1 - \mu) \quad (10)$$

$$B = \frac{P}{8\pi(1 - \mu)} \quad (11)$$



Donde:

$\mu$ : Coeficiente de resistencia del material [N/m<sup>2</sup>]

$P$ : Presión ejercida por la fuga [KPa]

$B$ : Constante de integración

Ahora que sabemos las condiciones en el origen, podemos desplazarnos una distancia diferencia “d” hacia O1 de manera tal que la componente del esfuerzo tiene las siguientes formas:

$$\sigma_r = -A \frac{\partial}{\partial z} \left[ (1 - 2\mu)z(r^2 + z^2)^{-\frac{3}{2}} - 3r^2z(r^2 + z^2)^{-\frac{5}{2}} \right] \quad (12)$$

$$\sigma_\theta = -A \frac{\partial}{\partial z} \left[ (1 - 2\mu)z(r^2 + z^2)^{-\frac{3}{2}} \right] \quad (13)$$

$$\sigma_z = A \frac{\partial}{\partial z} \left[ (1 - 2\mu)z(r^2 + z^2)^{-\frac{3}{2}} + 3z^3(r^2 + z^2)^{-\frac{5}{2}} \right] \quad (14)$$

$$\tau_{rz} = A \frac{\partial}{\partial z} \left[ (1 - 2\mu)r(r^2 + z^2)^{-\frac{3}{2}} + 3rz^2(r^2 + z^2)^{-\frac{5}{2}} \right] \quad (15)$$

Donde:

$A$ : Área de fuga de la esfera [m<sup>2</sup>]

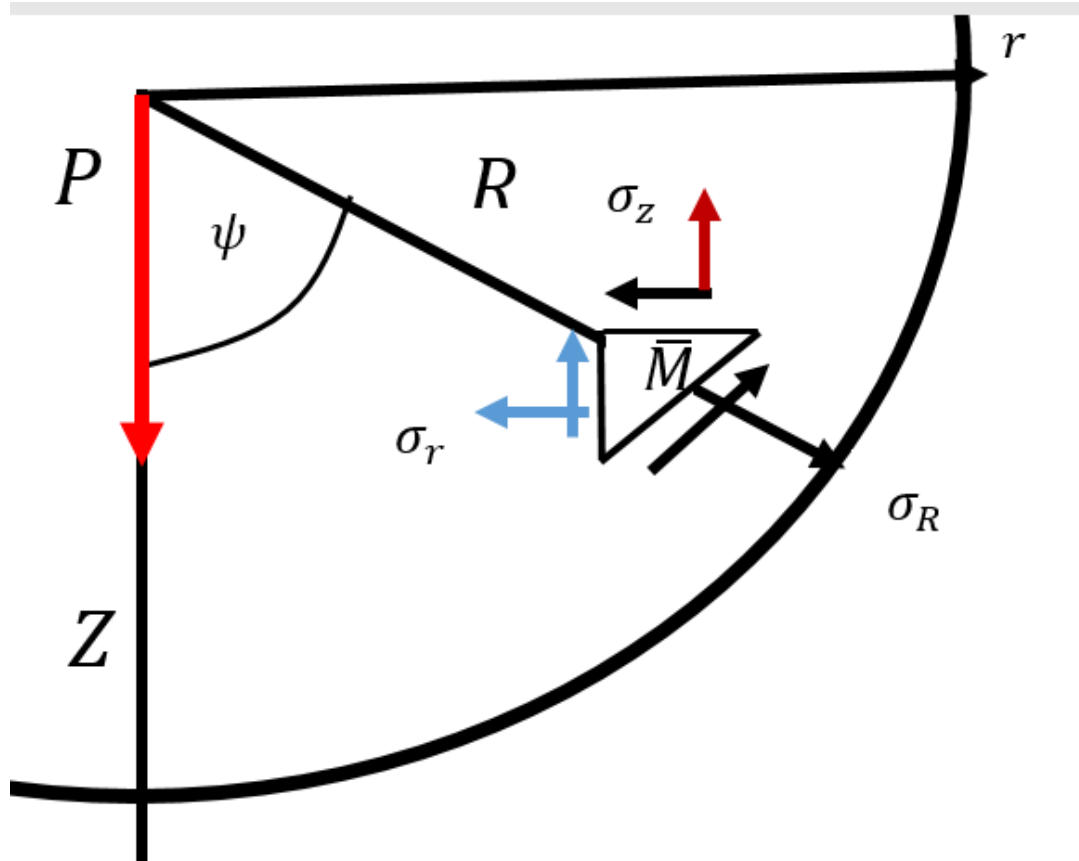
$\sigma_r$ : Esfuerzo de radio [KPa/m<sup>2</sup>]

$\sigma_\theta$ : Esfuerzo angular [KPa/m<sup>2</sup>]

$\sigma_z$ : Esfuerzo respectivo a una altura “z” [KPa/m<sup>2</sup>]

Vemos en la imagen, una sección en el entorno del punto O y O'. que definiremos como M, se distingue dos esfuerzos, uno en la dirección de R y otro un cortante en la dirección psi”

**Figura 19** Análisis del punto de equilibrio M para la fuga



**Fuente:** Tomada de Resistencia de Materiales, Ignacio Herrera Navarro, 2011

Con este nuevo punto M, determinamos sus condiciones de equilibrio que se pueden expresar de la siguiente forma:

$$\sigma_R = \sigma_r \times \sin^2 \psi + \sigma_z \cos^2 \psi + 2\tau_{rz} \sin \psi \times \cos \psi \quad (16)$$

$$\tau_{R\psi} = (\sigma_r - \sigma_z) \sin \psi \times \cos \psi - \tau_{rz}(\sin^2 \psi - \cos^2 \psi) \quad (17)$$

Donde:

$\sigma_r$ : Esfuerzo de radio R [KPa/m<sup>2</sup>]

$\tau_{R\psi}$ : Tensión entre radio y ángulo de esfuerzo [KPa]

Basados en la imagen N°2 también tenemos las siguientes igualdades.

$$\sin \psi = r(r^2 + z^2)^{-1/2} = r/R \quad (18)$$

$$\cos \psi = z(r^2 + z^2)^{-1/2} = z/R \quad (19)$$

Reemplazamos (16) y (17) en (18) y (19) para obtener lo siguiente:

$$\sigma_R = -\frac{2(1+\mu)A}{R^3} \left[ -\sin^2 \psi + \frac{2(2-\mu)\cos^2 \psi}{1+\mu} \right] \quad (20)$$

$$\tau_{R\psi} = -\frac{2(1+\mu)A}{R^3} \sin \psi \times \cos \psi \quad (21)$$

Donde:

$\sigma_r$ : Esfuerzo de radio R [KPa/m<sup>2</sup>]

$\tau_{R\psi}$ : Tensión entre radio y ángulo de esfuerzo [KPa]

$\psi$ : Angulo del esfuerzo [°]

$\mu$ : Coeficiente de resistencia del material [N/m<sup>2</sup>]

$A$ : Área de fuga de la esfera [m<sup>2</sup>]

Consideremos ahora un Sistema de fuerzas similar, pero en el eje “r” y uno más en el eje perpendicular al plano formado por “rz”, la obtención de las ecuaciones (15) y (16) son las mismas.

Esto sustenta la simetría que existe de esfuerzos que al inicio se había supuesto. Si se combina la acción de las 03 fuerzas dobles perpendiculares se obtiene la tensión normal sobre la superficie de la esfera que se expresa de la siguiente manera:

$$\sigma_R = -\frac{4(1+\mu)A}{R^3} \quad (22)$$

Donde:

$\sigma_R$ : Esfuerzo de radio R [KPa/m<sup>2</sup>]

$\mu$ : Coeficiente de resistencia del material [N/m<sup>2</sup>]

$A$ : Área de fuga de la esfera [m<sup>2</sup>]

$R$ : Radio de la esfera de la esfera [m]

Esta ecuación (22) define lo que se llama **centro de compresión**, y para entender su significado es importante analizarlos de la siguiente manera:

- a) La compresión en la dirección radial de la esfera depende de la longitud de su centro.
- b) Mientras más cerca estamos del centro de compresión el esfuerzo se incrementa, mientras nos alejamos el esfuerzo normal decrece.

Esta es la ecuación que se emplea para recipientes sometidos a presión interna o externa.

Ahora se desarrolla de forma práctica esa ecuación con datos reales de un recipiente esférico real.

Una mejor forma de representar a la ecuación 22 es mediante la forma general:

$$\sigma_R = \frac{C}{R^3} + D \quad (23)$$

Donde C y D son constantes los cuales se describen.

$$C = \frac{(P_i - P_0)a^3b^3}{a^3 - b^3} \quad (24)$$

$$D = \frac{P_0b^3 - P_ia^3}{a^3 - b^3} \quad (25)$$

$$\sigma_R = -\frac{C}{R^3} + D \quad (26)$$

Finalmente, la ecuación de esfuerzo se transforma en:

$$\sigma_R = \frac{P_0b^3}{R^3} \frac{(P_i - P_0)a^3b^3}{a^3 - b^3} + \frac{P_ia^3(b^3 - R^3)}{R^3(a^3 - b^3)} \quad (27).$$

Donde:

$a$ : radio interior de esfera [m]

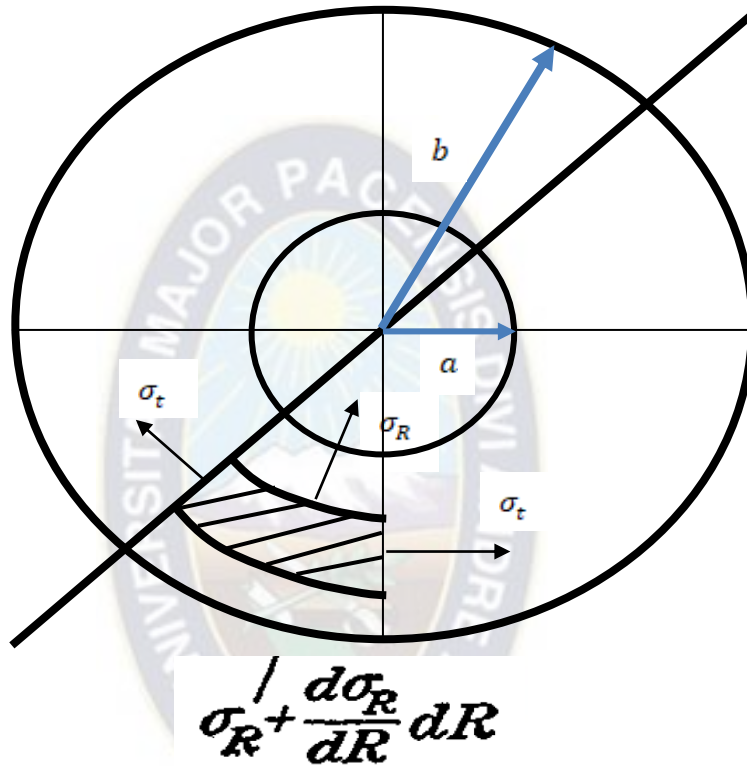
$b$ : radio exterior de esfera [m]

$P_i$ : Presión interior de tanque [KPa]

$P_0$ : Presión exterior de tanque [KPa]

Las presiones P0 y P1 producen en el cuerpo de la esfera tensiones tangenciales, para hallar estas tensiones debemos partir de las condiciones de equilibrio de un elemento de esfera.

**Figura 20** Análisis de esfuerzos respecto al centro de inercia



*Fuente: Tomada de Resistencia de Materiales, Ignacio Herrera Navarro, 2011*

En la figura 20 se ha seleccionado un segmento que se ha incrementado en la dirección de R.

$$\sigma_t = \frac{P_0 b^3 (2R^3 + a^3)}{2R^3 (a^3 - b^3)} + \frac{P_i a^3 (2R^3 + b^3)}{2R^3 (a^3 - b^3)} \quad (28)$$

En muchas aplicaciones los tanques esféricos se encuentran en el medio ambiente, ósea a presión atmosférica, es válido decir que hay presión

manométrica cero en el exterior y presión interna en el tanque como  $P_i$ . Consideramos la presión externa ( $P_0$ ) del tanque igual a cero bajo esta premisa.

$$\sigma_t = \frac{P_i \alpha^3 (2R^3 + b^3)}{2R^3 (b^3 - \alpha^3)} \quad (29)$$

Donde:

$\sigma_t$ : Esfuerzo de espesor  $t$  [KPa/m<sup>2</sup>]

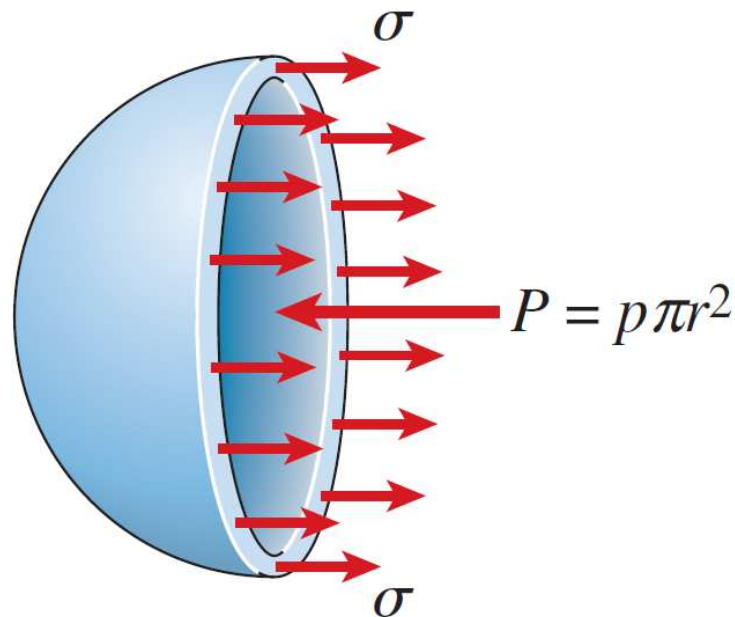
$\alpha$ : radio interior de esfera [m]

$b$ : radio exterior de esfera [m]

$P_i$ : Presión interior de tanque [KPa]

$R$ : Radio de la fuga [m]

**Figura 21** Distribución de las fuerzas ante la presión interna de la esfera



**Fuente:** Tomada de Resistencia de Materiales, Ignacio Herrera Navarro, 2011

Autores como James R. en su libro Mecánica de Materiales, siguen reduciendo la ecuación (30) a otra ecuación más práctica para su aplicación en ingeniería, de esta forma la tensión en cualquier segmento de la esfera se reduce a:

$$\sigma_t = \frac{p \times r}{2 \times t} \quad (30)$$

Donde:

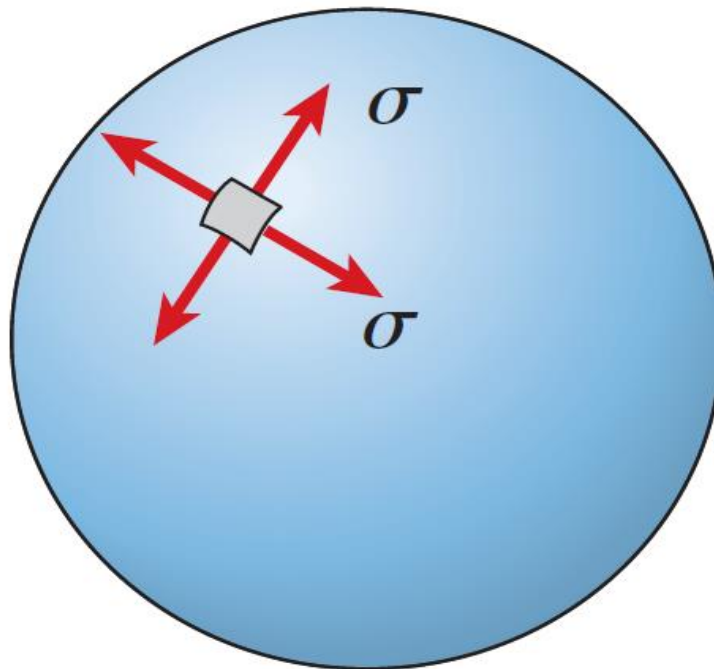
$\sigma_t$ : Esfuerzo de espesor  $t$  [KPa/m<sup>2</sup>]

$r$ : radio de fuga de esfera [m]

$p$ : Presión interior de tanque [KPa]

$t$ : Espesor del tanque [m]

**Figura 22** Análisis de esfuerzos para una fuga



**Fuente:** Tomada de Resistencia de Materiales, Ignacio Herrera Navarro, 2011



La fórmula (30) incluye un cambio de ejes de referencia haciendo coincidir estos con los esfuerzos principales, por lo que la ecuación 30 me dan los esfuerzos principales en la superficie de la esfera.

Para obtener el Esfuerzo cortante máximo, mediante el círculo de Mohr sabemos que a 45° el cortante se hace máximo, por lo que genera:

$$\sigma_t = \frac{p \times r}{4 \times t} \quad (31)$$

Donde:

$\sigma_t$ : Esfuerzo de espesor  $t$  [KPa/m<sup>2</sup>]

$r$ : Radio de fuga de esfera [m]

$p$ : Presión interior de tanque [KPa]

$t$ : Espesor del tanque [m]

## 4.2. EL MODELO MATEMÁTICO Y LA ECUACIÓN BÁSICA PARA LA PREDICCIÓN DE EXPLOSIONES

### 4.2.1. Ecuación básica de conservación

El hidrocarburo licuado está muy presurizado en el tanque esférico, una vez que se produce la fuga, el flujo de hidrocarburos licuados que sopla a través del punto de fuga era turbulento, por lo tanto, la ecuación de control de flujo de hidrocarburos licuados para el método de reducción del tiempo de Reynolds son las siguientes: La ecuación de continuidad:

$$\frac{\partial y}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho \mu) = 0 \quad (32)$$

Donde:

$\rho$ : Densidad del líquido del interior de la esfera [Kg/m<sup>3</sup>]

$\mu$ : Coeficiente de esfuerzo del interior del tanque esférico [N/m<sup>2</sup>]

La ecuación del momento

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho v_i) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho v_i v_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \mu \frac{\partial v}{\partial x_i} - \rho \mu_i \mu_j \right) \quad (33)$$

La ecuación de la energía

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho E) + \frac{\partial}{\partial x_j}(v_j \rho E) = + \frac{\partial}{\partial x_i} \left( K_{eff} \frac{\partial T}{\partial x_i} - \sum h_i J_j \right) \quad (34)$$

Por otra parte:

$$E = h - \frac{P}{\rho} + \frac{v_i^2}{2} \quad (35)$$

$$h = \sum h_i m_j \quad (36)$$

$$h_i = \int_{T_{ref}}^T c_{p,j} dT \quad (37)$$

Donde:

$\rho$ : Densidad del líquido del interior de la esfera [Kg/m<sup>3</sup>]

$E$ : Energía de fluido dentro del tanque [Joules]

$P$ : Presión interior de la esfera [N/ m<sup>2</sup>]

$h_i$ : Entalpía específica del fluido [Joules]

$C_{p,j}$ : Calor específico del fluido [Joules]

$m_j$ : masa de líquido dentro de la esfera [kg]

$v_i$ : Velocidad de la fuga [m/s]

$K_{eff}$ : Constante de flujo

$J_j$ : Energía de flujo [Joules]

$T$ : Temperatura [Kelvin]

Las ecuaciones anteriores constituyen las ecuaciones de control del flujo de hidrocarburos licuados y del proceso de transferencia de calor. Las ecuaciones contienen un término de correlación desconocido y no constituyen un sistema cerrado. Con el modelo de turbulencia adecuado las ecuaciones podrían cerrarse.

#### 4.4.2. Modelo de turbulencia

Las variables de las ecuaciones de control representan la velocidad instantánea en el campo de flujo. Para el flujo turbulento, el valor instantáneo no es medible. Sólo se puede obtener un valor medio de tiempo, que se refiere a la ingeniería práctica. Así que el método de promedio de tiempo de Reynolds simplifica las ecuaciones instantáneas.

El término de correlación desconocido de orden alto se puede reemplazar por un término de correlación desconocido de orden bajo o un valor de media temporal. De esta manera, la ecuación de horario de Reynolds se puede cerrar y resolver. El modelo de turbulencia más popular es el k-ε modelo de turbulencia de dos ecuaciones, que utiliza propiedades mixtas y velocidad mixta para capturar las características importantes de la turbulencia [6].

Las ecuaciones del modelo k-ε son las siguientes:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho_m K) + \nabla(v_m \rho_m K) = \nabla\left(\frac{\partial T}{\partial x_i} - \nabla K\right) + G_{k,m} - \rho_m E \quad (38)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho_m E) + \nabla(v_m \rho_m E) = \nabla\left(\frac{\mu_{t,m}}{\sigma_i} \nabla E\right) + \frac{E}{K}(C_{1E} G_{k,m} - C_{2E} \rho_m) \quad (39)$$

Donde:

$\rho_m$ : Densidad del líquido del interior de la esfera [Kg/m<sup>3</sup>]

$E$ : Energía de fluido dentro del tanque [Joules]

$v_i$ : Velocidad de la fuga [m/s]

$K$ : Coeficiente de esfuerzo del interior del tanque esférico [N/m<sup>2</sup>]

$G_{k,m}$ : Coeficiente de esfuerzo del interior del tanque esférico [N/m<sup>2</sup>]

$C_{1E}$ : Coeficiente de esfuerzo del líquido [N/m<sup>2</sup>]

$t$ : Tiempo de fuga [min]

### 4.3. PARÁMETROS DEL DISPOSITIVO Y CONDICIÓN SIMULADA

#### 4.3.1. Parámetros del dispositivo

Se estudiará un tanque esférico de hidrocarburo licuado en una zona de tanque esférico, y la capacidad de este tanque esférico es de 1000 m<sup>3</sup>, con 12,3 m de diámetro interno, lleno de propano, temperatura interna de 36o y presión interna de 1,4 MPa.

### **4.3.2. Condición simulada**

Según los datos obtenidos del campo, 12 escenas de fugas diferentes formadas por tres tipos de área de fuga y cuatro puntos de fuga diferentes se diseñaron de la siguiente manera:

Tres áreas de fuga: Los porcentajes del área de fuga explican el área transversal de la tubería son 10%, 20%, 100%, respectivamente.

Cuatro puntos de fuga diferentes: se suponía que la fuga se produce en la tubería de exportación, y las distancias desde el punto de fuga hasta el tanque esférico son 0,25 m, 0,50 m, 0,75 m y 1,00 m, respectivamente.

### **4.3.3. Generación de malla**

Todos los modelos físicos de fugas de tanques esféricos de hidrocarburos líquidos que se procesaron discretamente con rejillas estructuradas y no estructuradas que combinaban el método de generación de malla.

Usando las rejillas no estructuradas, el tamaño de la rejilla alrededor del punto de fuga es mucho menor que el tamaño de la otra parte del modelo con el fin de obtener una malla de buena calidad. Para el área no crítica, el uso de rejilla estructurada puede obtener malla de alta calidad con bajo grado de deformación y menor cantidad.

## CAPITULO V. APLICACIÓN PRÁCTICA

### 5.1. DISEÑO DE UN TANQUE ESFÉRICO PARA EL ALMACENAMIENTO DE GLP

En una planta de almacenamiento de GLP se debe contar con áreas que están establecidas en los siguientes puntos:

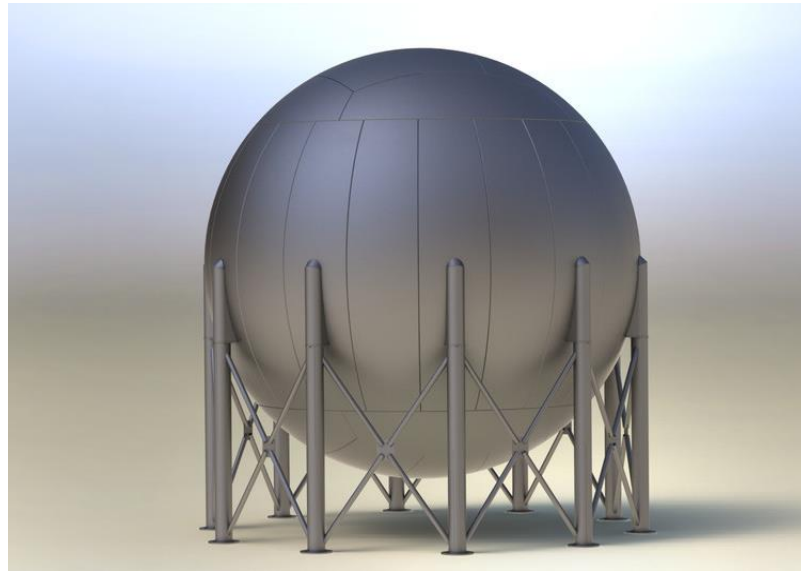
- Reducción de presión y dispositivos de medición de entrada.
- Recipientes esféricos y tipo salchicha para almacenar GLP.
- Sala de bombas.
- Sistema de re licuefacción.
- Sistema de vaporización.
- Dispositivo de medición de salida.
- Recipientes adicionales Bullet y Slop.

Además, en la infraestructura de una planta de almacenamientos requiere construcciones civiles como son: cuarto de control, bodegas, parqueaderos y oficinas.

Las alturas  $H$  y  $h$  se realizan considerando el tipo de suelo, columnas y las diferentes cargas a las que estará sometido el recipiente.

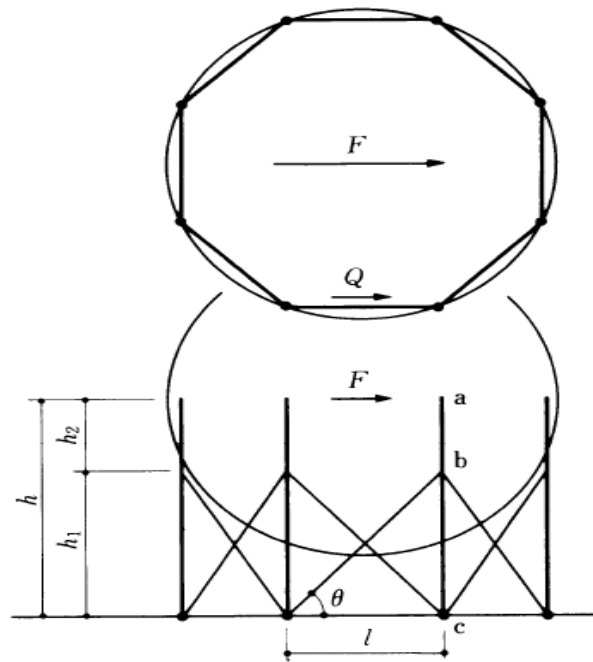
Para el cálculo de las alturas de los anillos se realiza comparando con un polígono cerrado, para efectos de diseño en este caso se realiza con un octágono inscrito en una circunferencia.

**Figura 23** Alturas de un tanque esférico



*Fuente: Tomada de Diseño de un tanque de almacenamiento de alta presión, Sanchez (2008)*

**Figura 24** Análisis para determinar las alturas



*Fuente: Tomada de Diseño de un tanque de almacenamiento de alta presión, Sanchez (2008)*

Para el cálculo de la presión interna del tanque:

$$P_o = 300 \text{ lb/plg}^2$$

$$P_{\text{diseño}} = P_o + 30 \text{ lb/plg}^2 = 330 \text{ lb/plg}^2$$

Para el cálculo del volumen nominal:

$$V_N = 1500 \text{ m}^3$$

$$V_E = 1,2 * 1500 = 1800 \text{ m}^3$$

$$V_E = \frac{4}{3} \pi R^3 \quad \rightarrow \quad R_E = \frac{3V}{4\pi}$$

$$R_E = \frac{3 * 1800}{4\pi} \quad \rightarrow \quad R_E = 7,546 \text{ m}$$

Tenemos las siguientes relaciones para realizar el cálculo de las alturas

$$z = 0,0742 * R$$

$$z = 0,56 \text{ m}$$

$$y = 0,5412 * R$$

$$y = 4,084 \text{ m}$$

$$x = R - 1,746$$

$$x = 5,80 \text{ m}$$

Con esas relaciones podemos hallar las alturas

$$h_1 = z$$

$$h_2 = z + y$$

$$h_3 = z + y + x$$

$$h_3 = z + 2y + x$$

$$h_3 = 2z + 2y + x$$

Realizando el cálculo

$$h_1 = 0,56 \text{ m}$$

$$h_2 = 0,56 + 4,084$$

$$h_2 = 4,644 \text{ m}$$



$$h_3 = 0,56 + 4,084 + 5,80$$

$$h_3 = 10,444 \text{ m}$$

$$h_4 = 0,56 + 2 * 4,084 + 5,80$$

$$h_4 = 14,528 \text{ m}$$

$$h_5 = 2 * 0,56 + 2 * 4,084 + 5,80$$

$$h_5 = 15,088 \text{ m}$$

Las presiones a diferentes alturas, serán calculadas por medio de la siguiente ecuación:

$$P = P_{DISEÑO} + P_s$$

El cálculo de  $P_s$  se realiza para cada altura.

$$P_s = g * \rho_{PRODUCTO(glp)} * h_x$$

Dónde:

$g = 9.775 \text{ m/s}^2$  en la ciudad de La Paz.

$h_x$  = es la altura a considerar respecto de la base del tanque.

Realizando algunos cambios en la fórmula:

$$P_s = 9.775 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 540 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * h_x$$

$$P_s = 5278,5 * h_x$$

Para cada altura se utilizarán:

$$P_{s1} = 5278,5 * h_1$$

$$P_{s2} = 5278,5 * h_2$$

$$P_{s3} = 5278,5 * h_3$$

$$P_{s4} = 5278,5 * h_4$$

$$P_{s5} = 5278,5 * h_5$$

Realizando el cálculo

$$P_{s1} = 5278,5 * 0,56 Pa * \frac{14,7 Psi}{1,013 * 10^5 Pa} \quad P_{s1} = 0,429 Psi$$

$$P_{s2} = 5278,5 * 4,644 Pa * \frac{14,7 Psi}{1,013 * 10^5 Pa} \quad P_{s2} = 3,557 Psi$$

$$P_{s3} = 5278,5 * 10,444 Pa * \frac{14,7 Psi}{1,013 * 10^5 Pa} \quad P_{s3} = 8,001 Psi$$

$$P_{s4} = 5278,5 * 14,528 Pa * \frac{14,7 Psi}{1,013 * 10^5 Pa} \quad P_{s4} = 11,128 Psi$$

$$P_{s5} = 5278,5 * 15,088 Pa * \frac{14,7 Psi}{1,013 * 10^5 Pa} \quad P_{s5} = 11,557 Psi$$

Hallando la presión en cada altura

$$P_1 = 330 + 0,429 \quad P_1 = 330,429 Psi$$

$$P_2 = 330 + 3,557 \quad P_2 = 333,557 Psi$$

$$P_3 = 330 + 8,001 \quad P_3 = 338,001 Psi$$

$$P_4 = 330 + 11,128 \quad P_4 = 341,128 Psi$$

$$P_5 = 330 + 11,557 \quad P_5 = 341,557 Psi$$

### 5.1.1. Cálculo de los espesores

Calcularemos ahora los espesores requeridos en las siguientes zonas: casquete superior, anillo superior, anillo central, anillo inferior y casquete inferior.

Del Código A.S.M.E., Sección VIII, División 1, usaremos la ecuación:

$$e = \frac{P * R_{DISEÑO}}{2SE - 0.2P}$$

Donde:

e: espesor de pared.

P: presión total en el punto requerido.

R: radio de diseño (interno) de la esfera.

S: esfuerzo a la tensión 17500 psi

E: eficiencia de la soldadura Tomamos igual a 1

Los espesores requeridos en las distintas zonas resultarían:

Casquete superior:  $e_1 = 71,38 \text{ mm}$

Anillo superior:  $e_2 = 72,05 \text{ mm}$

Anillo central:  $e_3 = 73,01 \text{ mm}$

Anillo inferior:  $e_4 = 74,49 \text{ mm}$

Casquete inferior:  $e_5 = 75,78 \text{ mm}$

## 5.2. DETERMINACIÓN DE LA TASA DE DISMINUCIÓN DE TEMPERATURAS

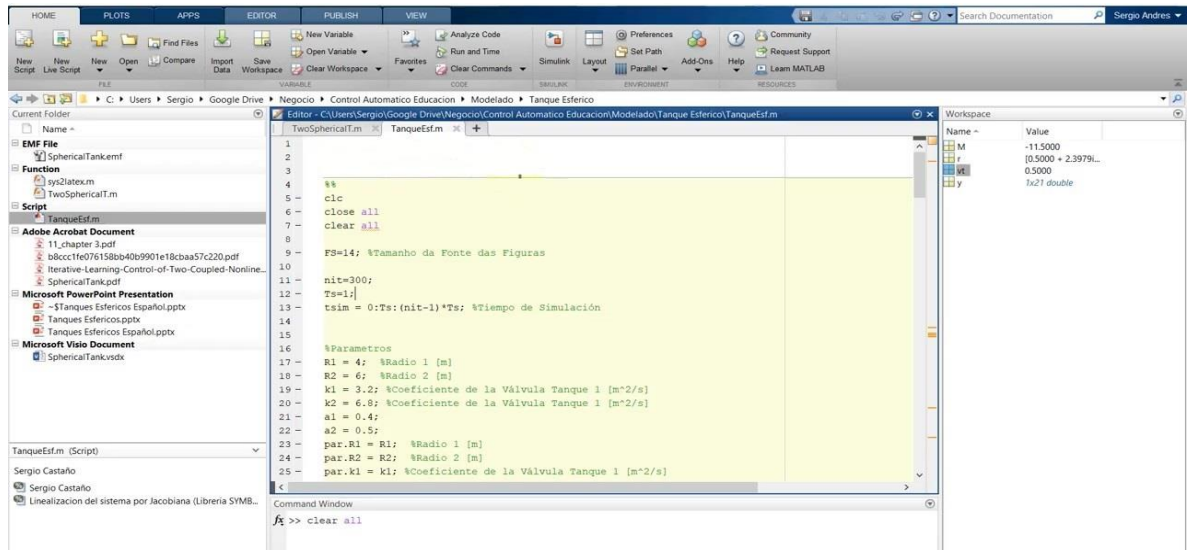
Para desarrollar el algoritmo y realizar la simulación del tanque de almacenamiento esférico y la determinación de la tasa de disminución de temperatura, se escogió Matlab 2009a (versión 7.8.0 – 64 Bits) como herramienta para el desarrollo e implementación de los algoritmos. Matlab es un programa orientado a la implementación de algoritmos numéricos, con rutinas eficientes de manejo de operaciones matemáticas utilizando matrices, considerado un lenguaje de alto nivel en un ambiente interactivo que permite la implementación de desarrollos con alto requerimiento computacional.

Adicionalmente, Matlab dispone de un gran número de funciones repartidas en distintos *toolboxes* para la identificación y optimización de funciones. También ofrece una herramienta gráfica llamada Simulink el cual contiene todos los elementos básicos que se necesitan para la construcción de diagramas de bloques de un modelo. Posee una librería con bloques de operaciones matemáticas básicas, conmutadores, conectores, elementos de simulación y control, entre otros.

El simulador permitió realizar cálculos de la tasa de disminución de temperaturas mediante una relación que posteriormente fue graficada.

En la figura 25 se observa el entorno del programa.

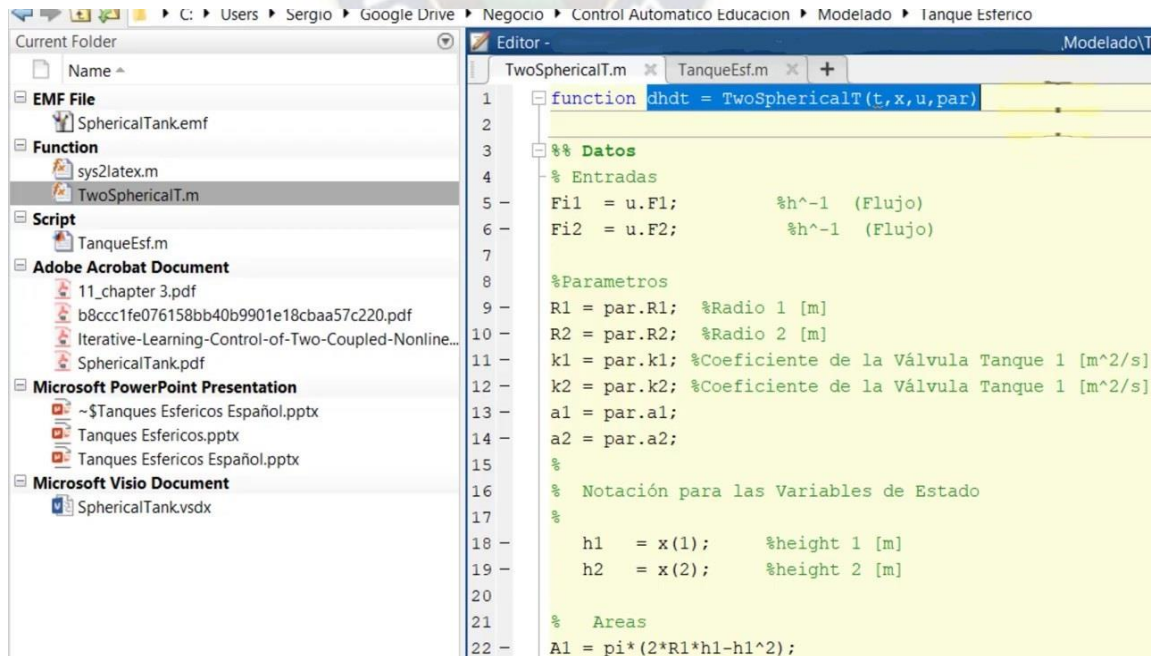
**Figura 25 Entorno del programa para realizar la simulación**



**Fuente:** En base a datos de investigación utilizando el Software Matlab

Primeramente, se procedió a simular condiciones descritas en el apartado 5.1 (Ver figuras 26 y 27)

**Figura 26 Simulación del tanque esférico**



**Fuente:** En base a datos de investigación utilizando el Software Matlab

**Figura 27** Especificaciones del tanque esférico

```

55 %Grafico estacionario
56 Flx=0:0.1:3;
57 F2x=1;
58 H1x=(Flx/(k1*a1)).^2;
59 H2x=(F2x/(k2*a2)).^2+(Flx/(k2*a2)).^2+((2*Flx*F2x)/(a2*k2)^2);
60
61 figure
62 subplot(2,1,1);
63 plot(Flx,H1x),grid
64 title('Variación de nivel h1');
65 ylabel('Altura (h)');
66 xlabel('Variação F1 com F2=1');
67 subplot(2,1,2);
68 plot(Flx,H2x),grid
69 title('Variación de nivel h2');
70 ylabel('Variação F1 com F2=1');
71 xlabel('Abertura de Valvula a1');
72
73 %Encuentra el estado Estacionario
74 X = fsolve(@(x)TwoSphericalT(t,x,u,par),x0); %X=[h1 h2]
75
76 %Establesco los Estados en el Estado Estacionario
77 X1 = X(1);

```

**Fuente:** En base a datos de investigación utilizando el Software Matlab

Una vez configurado los parámetros del tanque de almacenamiento, se simulo las condiciones en el cambio de las distribuciones de temperatura de hidrocarburos líquidos y del entorno circundante con el tiempo. (Ver figura 28)

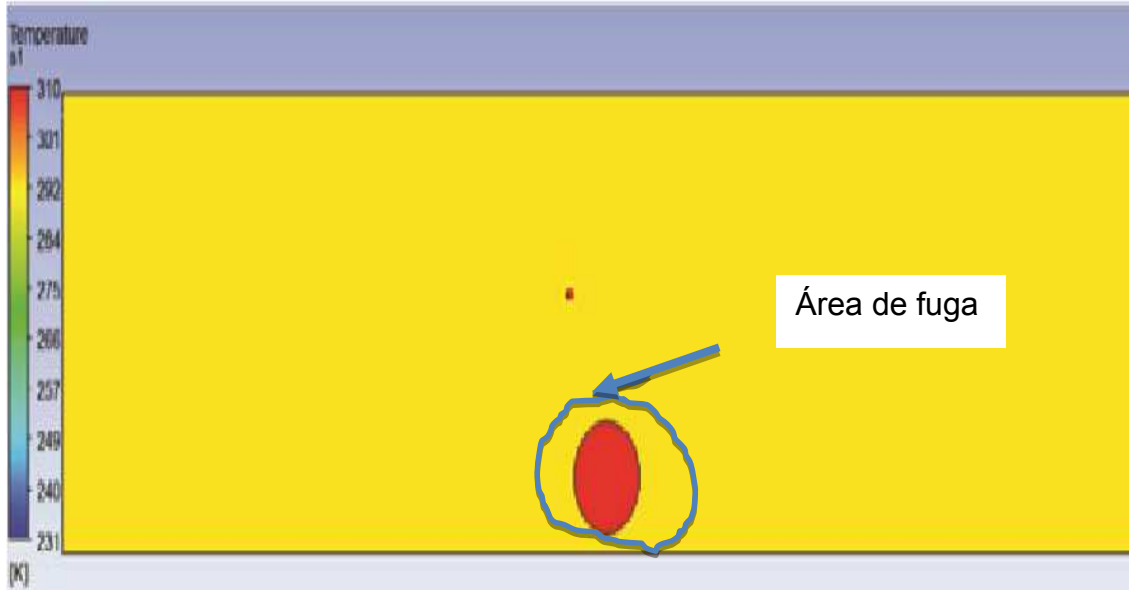
El porcentaje del área de fuga representa el área transversal de la tubería es del 100%, y la distancia del punto de fuga del tanque esférico es de 0,25 m. De acuerdo con los resultados de cálculo anteriores, la temperatura interna del tanque esférico era de 36°C, mientras que el exterior del tanque esférico es de 20°C al comienzo de la fuga.

Se utiliza la siguiente relación:

$$\frac{\partial}{\partial t}(2,44 K) + \nabla(1,23 * 2,44K) = \nabla \left( \frac{\partial T}{\partial x_i} - \nabla K \right) + G_{k,m} - \rho_m E \quad (7)$$

Graficando en Matlab

**Figura 28** Simulación de la fuga inicial a 0 segundos



*Fuente: En base a datos de investigación utilizando el Software Matlab*

Un segundo más tarde, se formó un área de 35 metros de largo y 15 metros de altura con baja temperatura cerca del punto de fuga. La temperatura más baja de esta área fue de 231K (-42 grados Celsius), y el gradiente de temperatura se pudo observar a lo largo de la fuera borda de la zona.

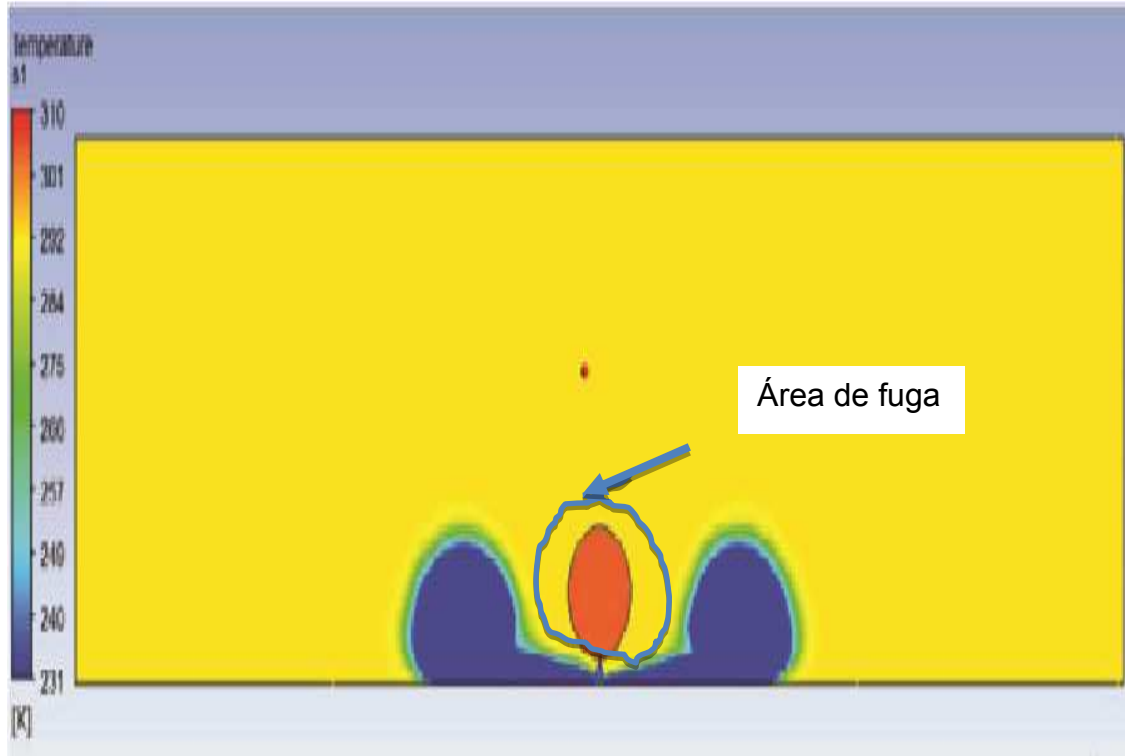
Y también el gradiente de temperatura se puede observar cerca del punto de fuga. La temperatura del tanque esférico también se redujo, y la temperatura del punto de fuga es de aproximadamente 304K (30 grados Celsius). (ver figura 28)

Se utiliza la siguiente relación:

$$\frac{\partial}{\partial t}(2,44 K) + \nabla(1,23 * 2,44K) = \nabla\left(\frac{\partial T}{\partial x_i} - \nabla K\right) + G_{k,m} - \rho_m E \quad (7)$$

Graficando en Matlab:

**Figura 29** Simulación de la fuga a 1 segundo



*Fuente: En base a datos de investigación utilizando el Software Matlab*

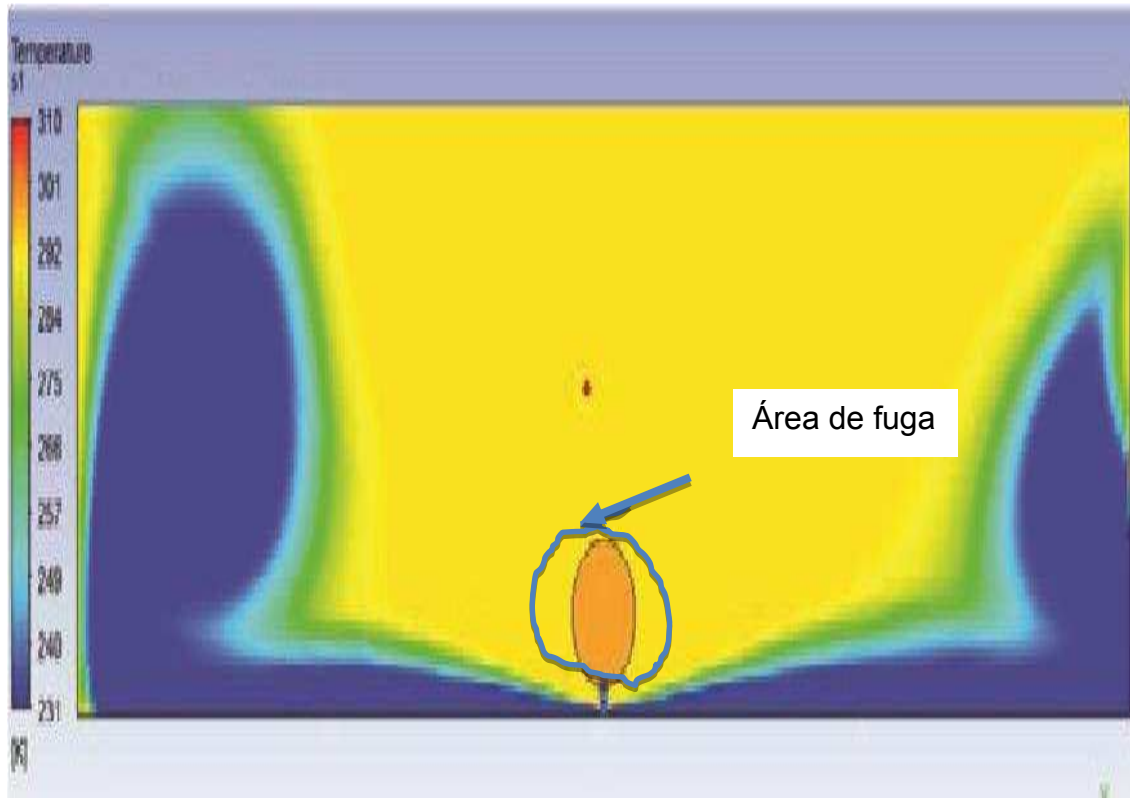
Cinco segundos más tarde, el área de baja temperatura se extendió significativamente, alcanzando una altura de 50 metros y una anchura de 100 metros, y la temperatura del tanque alcanzó 298K (25 grados Celsius).

Se utiliza la siguiente relación:

$$\frac{\partial}{\partial t}(2,44 K) + \nabla(1,23 * 2,44K) = \nabla\left(\frac{\partial T}{\partial x_i} - \nabla K\right) + G_{k,m} - \rho_m E \quad (7)$$

Graficando en Matlab:

**Figura 30** Simulación de la fuga a 5 segundos



*Fuente: En base a datos de investigación utilizando el Software Matlab*

Unos 35 segundos más tarde, el área de baja temperatura siguió expandiéndose, y la temperatura dentro del tanque esférico continuó cayendo, alcanzando 254K (-19 grados Celsius) que era menor que el límite de temperatura del acero ordinario. Si el tanque esférico se escandaliza o se golpeaba en este momento, se produciría una fractura frágil.

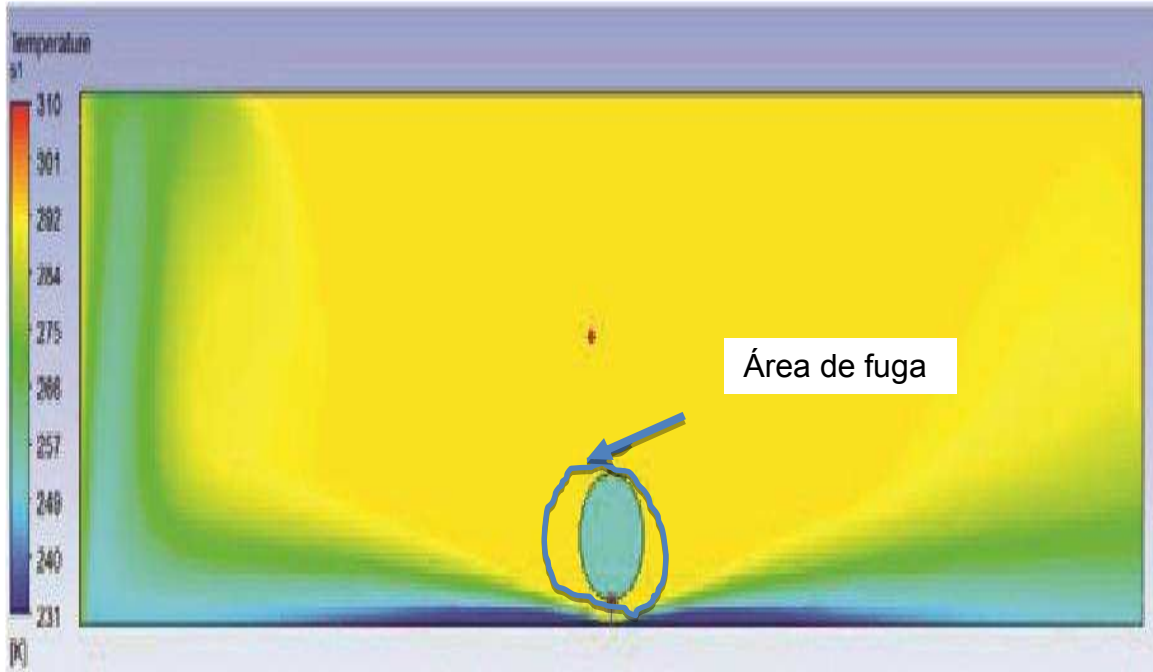
Se utiliza la siguiente relación:

$$\frac{\partial}{\partial t}(2,44 K) + \nabla(1,23 * 2,44K) = \nabla\left(\frac{\partial T}{\partial x_i} - \nabla K\right) + G_{k,m} - \rho_m E \quad (7)$$



Graficando en Matlab:

**Figura 31** Simulación de la fuga a 35 segundos



*Fuente: En base a datos de investigación utilizando el Software Matlab*

Después de 55 segundos, la zona de baja temperatura fuera del tanque esférico se redujo gradualmente, y sólo cerca del punto de fuga y el suelo se dejó una pequeña zona de zona de baja temperatura.

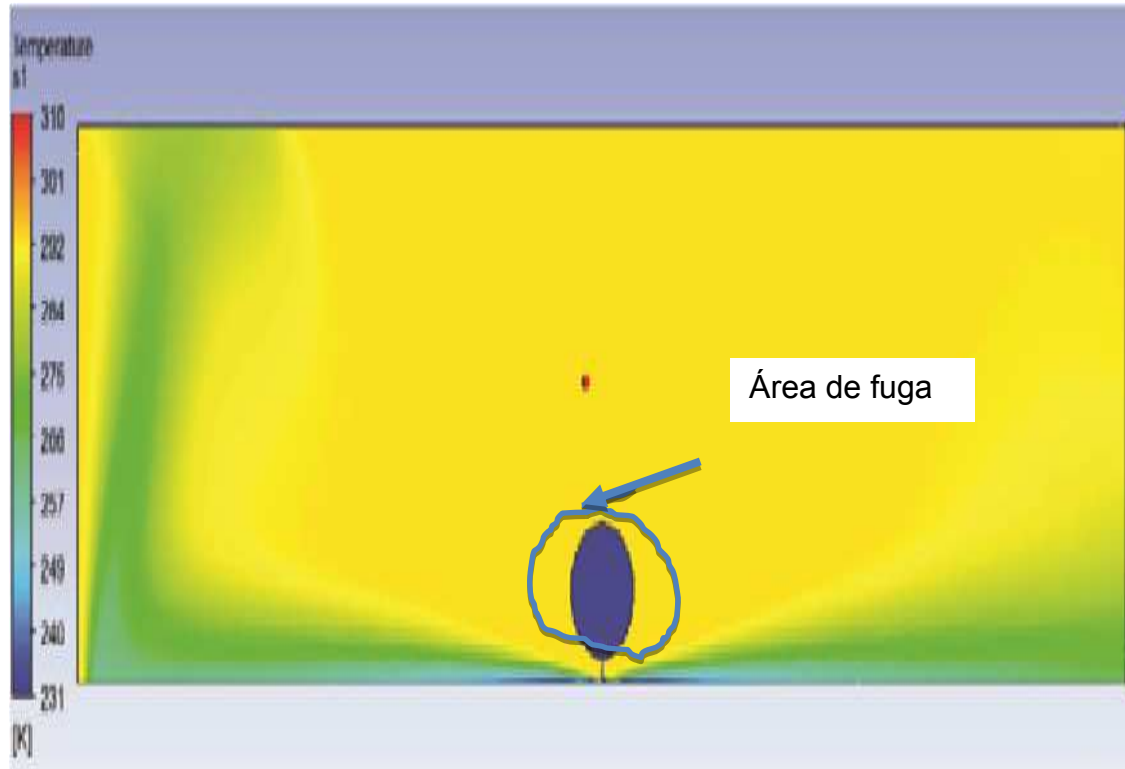
Mientras que la temperatura en el tanque esférico todavía disminuyó gradualmente, y la temperatura en la mayor parte del tanque se redujo a 231K (-42 grados Celsius) que era sólo la temperatura de condensación de propano a la presión atmosférica.

Se utiliza la siguiente relación:

$$\frac{\partial}{\partial t}(2,44 K) + \nabla(1,23 * 2,44K) = \nabla\left(\frac{\partial T}{\partial x_i} - \nabla K\right) + G_{k,m} - \rho_m E \quad (7)$$

Graficando en Matlab:

**Figura 32** Simulación de la fuga a 55 segundos



*Fuente: En base a datos de investigación utilizando el Software Matlab*

100 segundos más tarde, la temperatura externa gradualmente vuelve a la temperatura inicial debido a la enorme capacidad de calor de la atmósfera, mientras que la temperatura del tanque esférico se mantuvo baja.

Se utiliza la siguiente relación:

$$\frac{\partial}{\partial t}(2,44 K) + \nabla(1,23 * 2,44K) = \nabla\left(\frac{\partial T}{\partial x_i} - \nabla K\right) + G_{k,m} - \rho_m E \quad (7)$$

Graficando en Matlab:

**Figura 33** Simulación de la fuga a 35 segundos



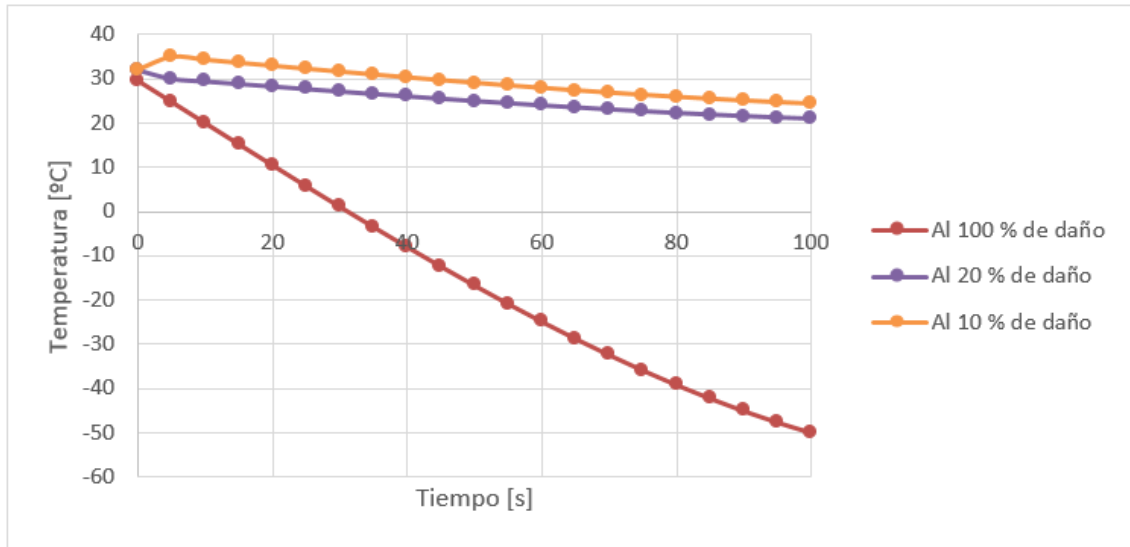
*Fuente: En base a datos de investigación utilizando el Software Matlab*

### 5.3. CAMBIO DE TEMPERATURA INTERNA DEL TANQUE ESFÉRICO

También se estudiaron otras distribuciones de temperatura de las escenas de fugas de tanques esféricos. Con el fin de obtener la curva de variación de temperatura del tanque esférico, se establecieron puntos de monitoreo en la parte inferior del tanque esférico.

Los resultados de la simulación mostraron que, la tasa de reducción de temperatura en el tanque esférico con la misma posición de fuga era proporcional al área de fuga, y cuanto menor era la distancia desde el tanque esférico hasta el punto de fuga, más rápido de la reducción de temperatura del tanque esférico.

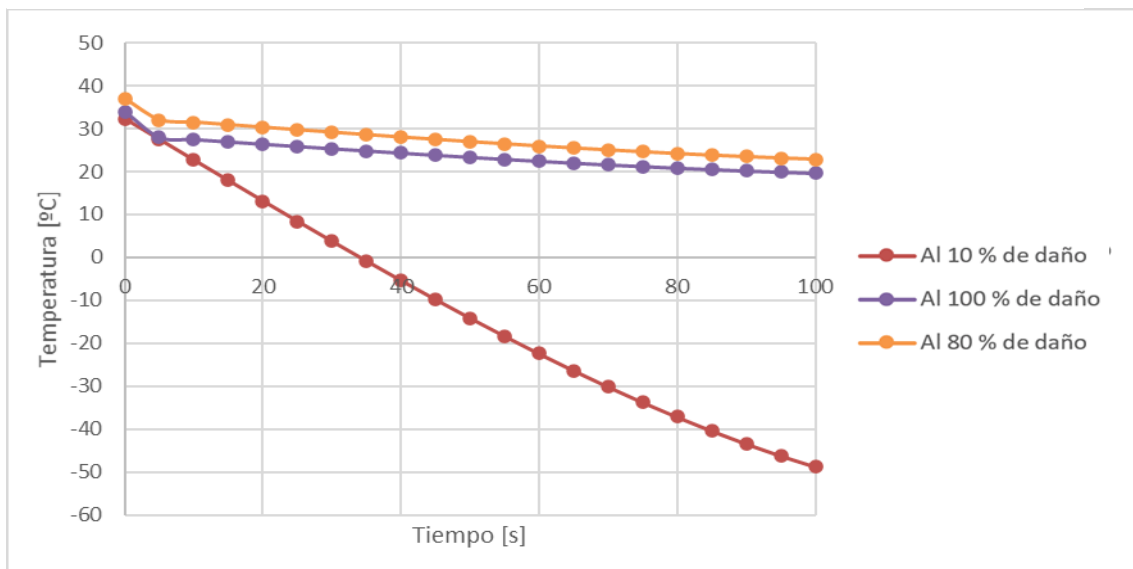
**Figura 34** Resultados de la simulación al inicio de la fuga



*Fuente: En base a datos de investigación utilizando el Software Matlab*

Cuando la temperatura del tanque esférico bajó a  $-42^{\circ}\text{C}$ , que era la temperatura de condensación de propano a presión atmosférica, el propano no gasificaba ni absorbía calor, por lo que la temperatura interna del tanque esférico no cambió.

**Figura 35** Resultados de la simulación a los 5 segundos de la fuga



*Fuente: En base a datos de investigación utilizando el Software Matlab*

En la figura 35 tenemos los resultados de la simulación para poder determinar la temperatura en un rango de (-60 a 50 °C) con relación al tiempo (1 a 5 segundos), representado en porcentaje. La simulación se hizo a los 5 segundos de fuga y se aplicó tres posibles escenarios de daño el primero a 10% de daño el segundo al 80% de daño y el tercero a 100% de daño aplicado.

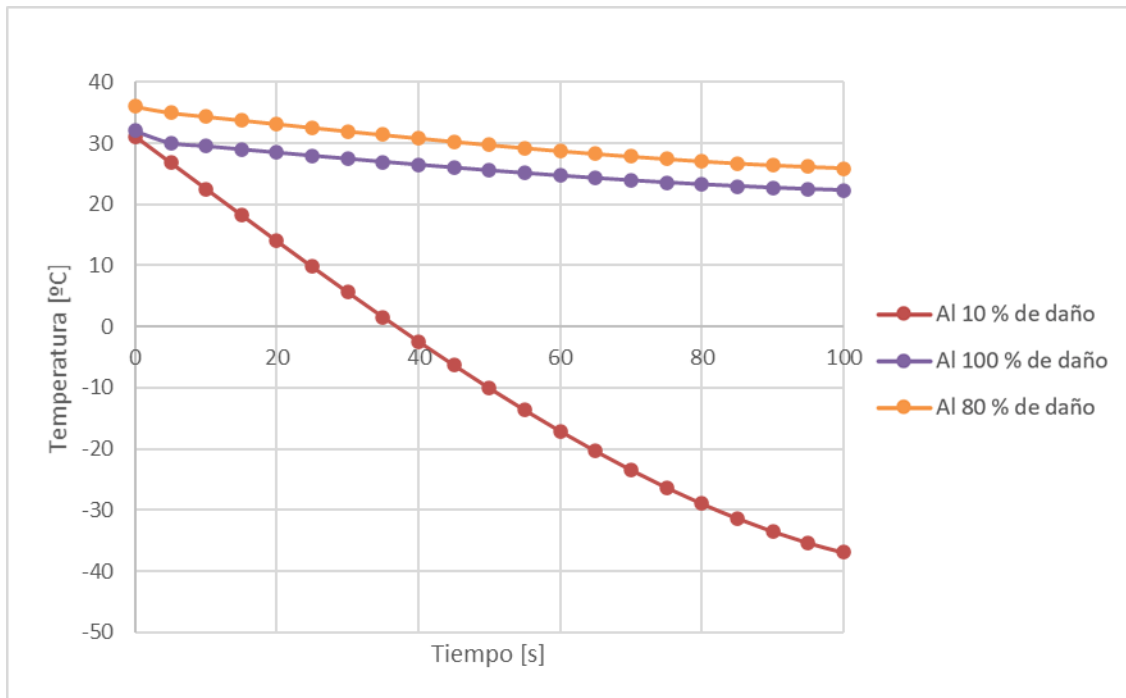
El primer escenario con el 10% de daño al primer segundo se observa un cambio brusco de temperatura de 32 °C a 13 °C, al siguiente segundo se observa el mismo cambio decreciente de 13 °C a 0 °C, los restantes segundos son decrecientes con el mismo cambio de temperatura.

El segundo escenario con el 80% de daño al primer segundo no hay un cambio brusco de temperatura ya que la temperatura varia de 39 °C a 30 °C, al siguiente segundo se observa el mismo un cambio no tan decreciente ya que el cambio de temperatura varia de 30 °C a 29 °C, los restantes segundos son decrecientes con una reducción de temperatura de 1 °C.

El tercer escenario con el 100% de daño al primer segundo es similar al segundo escenario con un 80% de daño, no hay un cambio brusco de temperatura ya que la temperatura varia de 37,5 °C a 27 °C, al siguiente segundo se observa el mismo un cambio no tan decreciente ya que el cambio de temperatura varia de 27 °C a 25 °C, los restantes segundos son decrecientes con una reducción de temperatura de 2 °C.

Las curvas de temperatura varían con el tiempo cuando la distancia de distancia desde el punto de fuga hasta el tanque esférico era de 0,25 m. desde el punto de fuga hasta el tanque esférico fue de 0,50 m.

**Figura 36** Resultados de la simulación a los 10 segundos de inicio de la fuga



**Fuente:** En base a datos de investigación utilizando el Software Matlab

En la figura 36 tenemos los resultados de la simulación para poder determinar la temperatura en un rango de (-50 a 40 °C) con relación al tiempo (1 a 10 segundos), representado en porcentaje. La simulación se hizo a los 10 segundos de fuga y se aplicó tres posibles escenarios de daño el primero a 10% de daño el segundo al 80% de daño y el tercero a 100% de daño aplicado.

El primer escenario con el 10% de daño al primer segundo se observa un cambio brusco de temperatura de 30 °C a 14 °C, al siguiente segundo se observa el mismo cambio decreciente de 14 °C a -2 °C, los restantes segundos son decrecientes con el mismo cambio de temperatura.

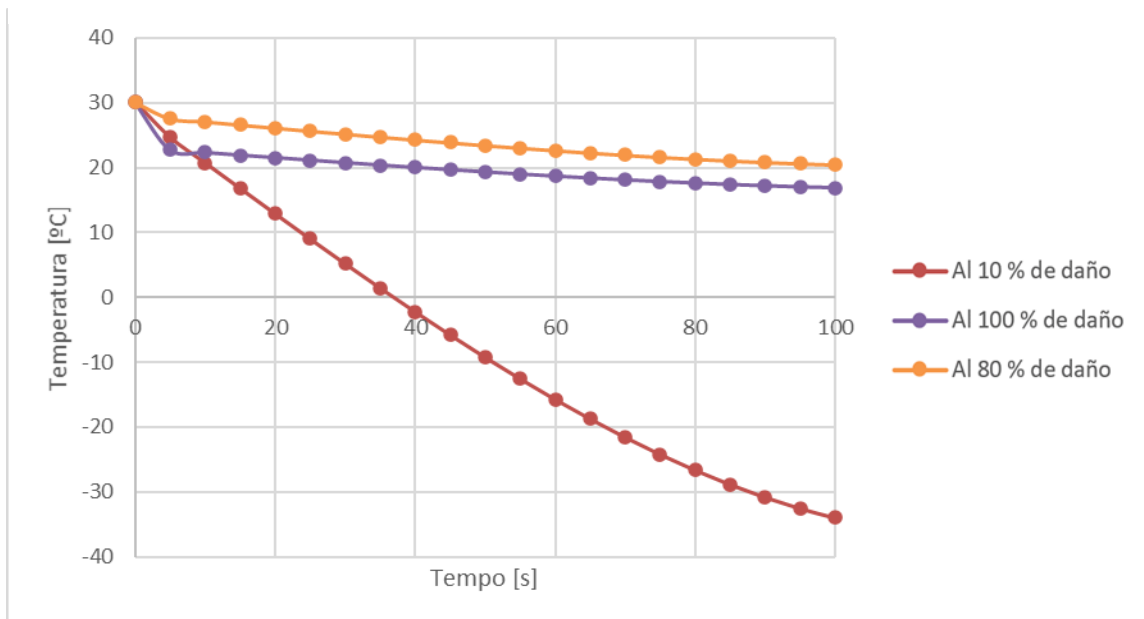
El segundo escenario con el 80% de daño al primer segundo no hay un cambio brusco de temperatura ya que la temperatura varia de 36 °C a 34 °C, al siguiente segundo se observa el mismo un cambio no tan decreciente ya que el

cambio de temperatura varia de 34 °C a 32 °C, los restantes segundos son decrecientes con una reducción de temperatura de 2 °C.

El tercer escenario con el 100% de daño al primer segundo es similar al segundo escenario con un 80% de daño, no hay un cambio brusco de temperatura ya que la temperatura varia de 31 °C a 29,5 °C, al siguiente segundo se observa el mismo un cambio no tan decreciente ya que el cambio de temperatura varia de 29,5 °C a 29 °C, los restantes segundos son decrecientes con una reducción de temperatura de 0,5 °C.

Las curvas de temperatura varían con el tiempo cuando la distancia desde el punto de fuga hasta el tanque esférico era de 0,75 m. desde el punto de fuga hasta el tanque esférico fue de 1,00 m.

**Figura 37** Resultados de la simulación a los 15 segundos de la fuga



**Fuente:** En base a datos de investigación utilizando el Software Matlab

En la figura 37 tenemos los resultados de la simulación para poder determinar la temperatura en un rango de (-40 a 40 °C) con relación al tiempo (1 a 15 segundos), representado en porcentaje. La simulación se hizo a los 15 segundos de fuga y se aplicó tres posibles escenarios de daño el primero a 10% de daño el segundo al 80% de daño y el tercero a 100% de daño aplicado.

El primer escenario con el 10% de daño al primer segundo se observa un cambio brusco de temperatura de 30 °C a 12 °C, al siguiente segundo se observa el mismo cambio decreciente de 12 °C a -1 °C, los restantes segundos son decrecientes con el mismo cambio de temperatura.

El segundo escenario con el 80% de daño al primer segundo no hay un cambio brusco de temperatura ya que la temperatura varia de 30 °C a 27 °C, al siguiente segundo se observa el mismo un cambio no tan decreciente ya que el cambio de temperatura varia de 27 °C a 25 °C, los restantes segundos son decrecientes con una reducción de temperatura de 2 °C.

El tercer escenario con el 100% de daño al primer segundo es similar al segundo escenario con un 80% de daño, no hay un cambio brusco de temperatura ya que la temperatura varia de 30 °C a 21 °C, al siguiente segundo se observa el mismo un cambio no tan decreciente ya que el cambio de temperatura varia de 21 °C a 20 °C, los restantes segundos son decrecientes con una reducción de temperatura de 1 °C.

#### **5.4. EL TIEMPO NECESARIO PARA ALCANZAR LA TEMPERATURA ESFÉRICA**

De acuerdo con los resultados de cálculo anteriores, la caída de temperatura fue lineal con tiempo de fuga antes de alcanzar la temperatura del condensado de propano.



**Tabla 3** *Distancia del punto de fuga del tanque esférico*

Distancia del punto de fuga		
10%	20%	100%
182.4	128.7	22.5
292.8	206.6	34.9
414.4	292.5	50.0
204.3	134.8	34.8
327.8	215.3	58.1
463.6	304.0	83.6
224.3	137.9	45.2
352.5	217.1	74.3
493.4	304.1	106.3
220.5	142.4	47.7
353.5	224.1	76.4
500	313.9	108.1

*Fuente: En base a datos de investigación*

Tiene una importancia práctica importante para la tecnología real de control de seguridad de hidrocarburos licuados para saber el tiempo requerido para que el tanque esférico alcance las siguientes tres temperaturas clave. Un método importante para detener la fuga esférica del tanque es la tecnología de taponamiento por inyección de agua.

Cuando la temperatura del tanque esférico de licuefacción está por encima de 0o, este método funcionará correctamente. Si la temperatura del tanque esférico disminuyera por debajo de 0o, el agua se congelaría y no habría liquidez, este método fallará.

La mayor parte del material de los tanques esféricos de propano en servicio son 16MnR, y el límite de baja temperatura de 16MnR es de 20°C. Cuando el tiempo

de fuga del tanque esférico es mayor que el tiempo requerido para que el tanque esférico alcance los  $-20^{\circ}\text{C}$ , la ductilidad del tanque esférico disminuya, puede producirse una fractura quebradiza.

El punto de ebullición del propano es de  $-42^{\circ}\text{C}$ , si la temperatura en el interior del tanque esférico se reduce a  $-42^{\circ}\text{C}$ , el propano dentro del tanque esférico ya no será gasificado, este es el límite de baja temperatura de la fuga de propano.

## **5.5. ANÁLISIS DE RIESGOS PARA ENCONTRAR LAS ZONAS Y ÁREAS DE FUGA EN LOS TANQUES ESFÉRICOS**

### **5.5.1. Análisis de riesgos potenciales en el almacenaje de líquidos**

En las plantas industriales al almacenar productos químicos existen riesgos potenciales de accidentes. Estos riesgos pueden originarse o provenir de muy diversas fuentes, a saber:

1. Sobrepresión o vacío (roturas de recipientes por explosión o implosión)
2. Fugas y derrames.
3. Mezclas de productos incompatibles químicamente.
4. Alteración de las condiciones de almacenamiento (temperatura y presión), entre otras.
5. Cargas eléctricas.
6. Causas naturales (terremotos, ciclones, alta temperatura ambiental, rayos, etc.).
7. Errores operativos o fallas de componentes, etc.

Debido a sus propiedades físicas y químicas, un mismo producto puede generar diferentes riesgos y problemas. En este sentido es importante recordar que no es necesario que un producto se encuentre en grandes cantidades como para generar un accidente de importantes consecuencias.

Los accidentes posibles de ocurrir pueden afectar gravemente la salud del hombre, provocar daños materiales en la planta industrial y perjudicar al medio ambiente.

Los riesgos principales enumerados a continuación, tienen una fuerte interrelación entre sí, y la mayoría de las veces la consecuencia de una falla se transforma en causa de otra, dándose el fenómeno de reacciones en cadena o efecto dominó que potencia el problema inicial. El orden de prioridad para ponderar los riesgos es:

Los que afectan directamente a las personas dentro y fuera de la fábrica.

- Incendio / explosión
- Emisiones tóxicas
- Corrosividad

Los que dañan seriamente al medio ambiente

- Fugas / derrames
- Corrosión
- Emisiones tóxicas

Los que ocasionan pérdidas materiales

- Incendio / explosión
- Corrosividad
- Pérdidas por evaporación

Cada familia de productos tiene en general un grado de riesgo característico que lo diferencia o asocia a otros, razón por la que los accidentes pueden derivarse de cualquier de ellos y están analizados en la tabla siguiente.

**Tabla 4 Riegos potenciales del tanque esférico**

Riesgos potenciales	Combustibles	Ácidos inorgánicos	Ácidos orgánicos	Alcalinos	Oxidantes	Solventes	Reductores	Fluidos criogénicos
Fugas	X	X	X	X	X	X	X	X
Derrames	X	X	X	X	X	X	X	X
Contaminación Ambiental	X	X	X	X	X	X	X	
Pérdidas por evaporación	X					X	X	X
Incendio	X	X	X	X	X	X	X	
Explosión	X	X	X	X	X	X		X
Auto ignición		X						
Auto descomposición				X		X		
Reacciones exotérmicas		X				X	X	X

*Fuente: En base a datos de investigación*

Esta matriz junto a las posteriores constituirá verdaderas herramientas para el análisis de problemas potenciales en el almacenamiento y para el proyecto de las medidas preventivas para eliminarlos o contenerlos.

### 5.5.2. Tanques de almacenaje

La mayor parte de los líquidos manejados en las industrias de procesos se almacena a granel en tanques que operan en el entorno de la presión atmosférica. La necesidad de stock en las plantas puede presentarse tanto en el

aprovisionamiento como en el despacho de productos elaborados, sean estos intermedios o finales del proceso. La capacidad total de almacenaje como la individual de cada tanque dependerá según el caso analizado de:

1. El balance entre el flujo producido y demandado por el consumidor
2. La reserva fijada como crítica, expresada en días de marcha o volumen mínimo
3. Los medios, capacidad y costos de transporte (logística)
4. Las distancias al proveedor / cliente y los tiempos de entrega
5. Costo y grado de importancia del producto en el proceso productivo o servicio
6. Espacio disponible en planta
7. Requisitos de las Normas de Cuidado Ambiental (EPA) y otras aplicables en el país
8. Exigencias de las Normas de Seguridad (NFPA y OSHA) y otras vigentes en el país
9. Requisitos de las compañías aseguradoras (ART)

Como viéramos anteriormente en el análisis de problemas potenciales, el proyecto de estos equipos exige la consideración simultánea de múltiples aspectos a fin de lograr un proyecto confiable tanto en lo operativo como en los temas que hacen a la seguridad industrial y ambiental como así también a las inversiones requeridas.

Esta etapa del proyecto es muy importante ya que exige la consideración y aplicación de algunas herramientas tales como:

**Intensificación:** esta técnica implica minimizar el stock de productos peligrosos a un nivel tal que su peligro sea reducido en el caso de algún accidente

**Sustitución:** esta técnica implica analizar las posibles sustituciones de materiales peligrosos por otros más seguros o bien por operaciones más confiables

**Atenuación:** consiste en evaluar el manejo de productos peligrosos, pero bajo condiciones más seguras. Ejemplo, el GLP puede ser almacenado como líquido refrigerado a presión atmosférica en vez de a presión a temperatura ambiente

**Simplificación:** consiste en desarrollar diseños sencillos, amigables y seguros que minimicen los errores operativos. Es decir, evitar instalaciones complejas

**Efecto dominó (Knock-on effects):** las instalaciones deberán ser proyectadas de modo tal de reducir la posibilidad de que se propague hacia otras áreas

**Poka Yoke:** esta técnica consiste en diseñar los componentes críticos de modo tal de evitar que se puedan producir conexiones o derivaciones de manera incorrecta por parte de los operadores. Por ejemplo, evitar la conexión de tanques donde debe impedirse la mezcla de productos por su incompatibilidad química.

Los tanques de almacenaje pueden clasificarse según distintos criterios y su selección dependerá del análisis global de la instalación y de su impacto sobre los procesos asociados. Así encontramos los siguientes diseños:

## **5.6. NORMAS DE SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE**

Cumplidos los requisitos de los códigos de diseño, el proyecto se completará teniendo en cuenta las exigencias de las Normas y Códigos de Seguridad Medio Ambiente vigentes, para lo cual nos tendremos que basar en la matriz de causas potenciales de fallas analizada anteriormente. Esto permitirá definir los elementos tanto de medición y control de las variables críticas como seleccionar los dispositivos de seguridad que correspondieren aplicarse en cada caso

analizado. También se deberá en esta etapa definir el control y manejo del stock de productos. Encontramos así las siguientes etapas de ingeniería:

### **5.6.1. Diagrama de P&ID**

Deberá contemplar el esquema de piping, instrumentación y control. En estas instalaciones es frecuente medir y controlar

- Niveles: valores máximos, mínimos y normales
- Temperatura: valores máximos, mínimos y normales
- Presión / vacío: valores máximos, mínimos y normales
- Densidad, concentración, interfase
- Masa o volumen
- Alarmas: para detección de sobrellenado, vaciado, fugas, sobrepresión, etc.

### **5.6.2. Dispositivos de seguridad**

La sobrepresión o vacío dentro de los tanques que pueden generarse por distintas causas, sumadas al hecho que muchos de los líquidos almacenados pueden ser volátiles y emitir en consecuencia gases inflamables, tóxicos y contaminantes, hacen que deban preverse dispositivos para alivio y contención.

También muchos productos requieren ser almacenados en atmósferas inertes debido a que su contacto con el oxígeno o vapor de agua pueden no solo contaminarlos sino ser peligroso. Este hecho será tanto más importante cuanto mayor sea el precio del producto, sea comprado o para venderse.

Dentro de los dispositivos de seguridad encontramos los siguientes:

- Válvulas de seguridad y alivio
- Discos de ruptura

- Arrestallamas
- Válvulas de presión y vacío / blanketing
- Venteos y paneles supresores de explosión
- Scrubbers (limpieza de gases tóxicos)
- Flaring (quemadores de antorcha para gases inflamables y tóxicos)

El cálculo, diseño, construcción, operación y mantenimiento de estos dispositivos están regidos por los estándares de la API, NFPA y BSI, entre los que encontramos:

- a) **BS EN 1127-1:** atmósferas explosivas, prevención y protección. Parte 1
- b) **BS 5908:** código de prácticas para precaución de fuego en la industria química
- c) **BS 6713, parte 4:** sistemas de protección contra explosiones
- d) **BS 6759:** válvulas de seguridad
- e) **API Std 2000:** venteo atmosférico y a baja presión de tanques de almacenaje
- f) **API RP 520:** selección, dimensionado e instalación de dispositivos de alivio de presión en refinerías
- g) **API RP 521:** guía para alivio de presiones y despresurización de sistemas
- h) **API RP 576:** inspección de dispositivos de alivio de presión
- i) **API RP 526:** válvulas de seguridad y alivio bridadas
- j) **API RP 527:** tensión de asiento para válvulas de seguridad
- k) **NFPA 68:** guía para venteo y deflagración
- l) **NFPA 30:** código de Líquidos Inflamables y Combustibles
- m) **NFPA 58:** código para almacenaje de GLP
- n) **NFPA 69:** Estándar Sobre sistemas de Prevención de Explosiones
- o) **NFPA 491:** guía de reacciones químicas peligrosas



## **5.7. PLAN DE CONTINGENCIA**

### **5.7.1. Objetivos**

Los objetivos del plan de contingencia de Snack Karaoke “PRINCE” están basados en el cumplimiento de los siguientes:

- Evaluar, analizar y prevenir los riesgos en nuestro establecimiento
- Evitar o mitigar las lesiones que las emergencias puedan ocasionar a nuestro personal y a terceros.
- Evitar o minimizar el impacto de los siniestros sobre la salud y el medio ambiente.
- Reducir o minimizar las pérdidas económicas y daños que puedan ocasionar a nuestra unidad operativa por afectación a su infraestructura.
- Capacitar permanentemente a todo nuestro personal en prevención de riesgos y entrenamientos en acciones de respuestas ante situaciones de emergencias.
- Contar con los procedimientos a seguir durante las operaciones de respuestas a la contingencia, otros.

### **5.7.2. Comité de seguridad**

El comité de seguridad es el organismo responsable del plan de contingencia. Sus funciones básicas son: programar. Dirigir, ejecutar y evaluar el desarrollo del Plan, organizando asimismo las brigadas.

El comité de seguridad está constituido por:

- Director de Emergencia
- Jefe de Mantenimiento.
- Jefe de Seguridad.

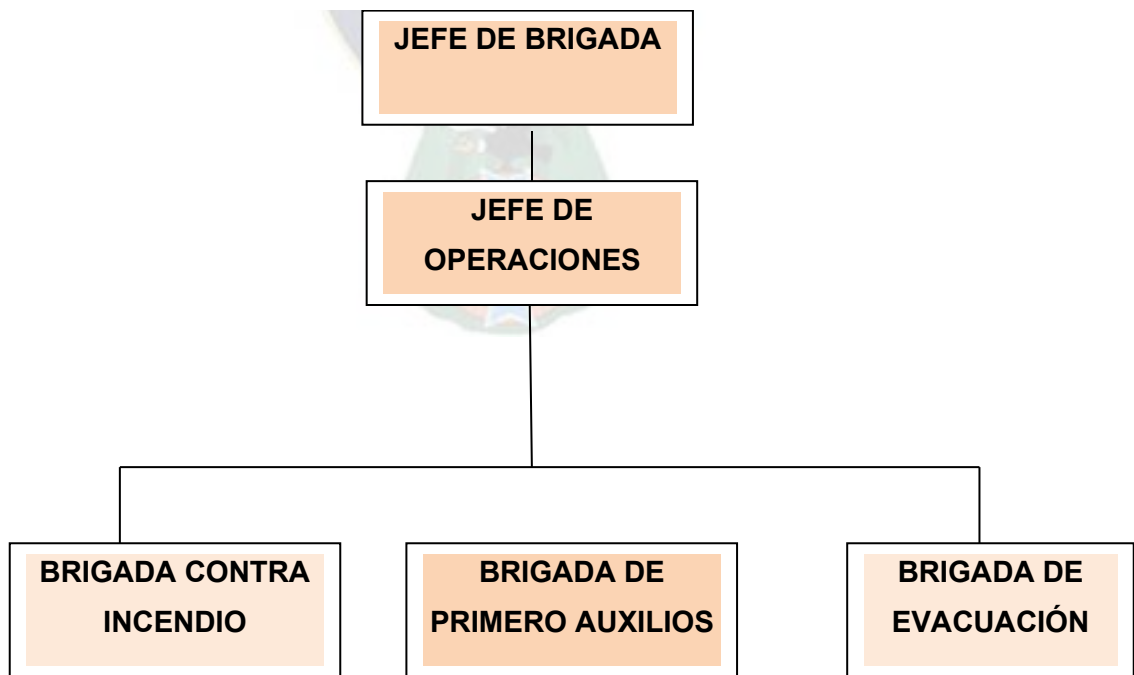
Al producirse la emergencia, los miembros del comité de seguridad que se encuentran en el establecimiento, dirigirán la evacuación del personal y la atención de la emergencia.

### 5.7.3. Brigadas

El aspecto más importante de la organización de emergencia es la creación y entrenamiento de las brigadas.

#### 5.7.3.1. Estructura típica de una brigada

**Figura 38** Estructura típica de una brigada



*Fuente: Adaptada de Seguridad Industrial y Salud Ocupacional, Ayala, 2020*

### **5.7.3.2. Funciones de las brigadas**

#### **A. JEFE DE BRIGADAS**

1. Comunicar de manera inmediata al propietario del establecimiento de la ocurrencia de una emergencia.
2. verificar si los integrantes de las brigadas están suficientemente capacitados y entrenados para afrontar las emergencias.
3. estar al mando de las operaciones para enfrentar la emergencia cumpliendo con las directivas encomendadas por el comité.
4. comunicar de la emergencia al cuerpo General de Bomberos Voluntarios del Perú, Defensa Civil, Policía Nacional del Perú etc.
5. iniciado el fuego se evaluará la situación, la cual si es crítica se informará en el punto de reunión preestablecido, para que se tomen las acciones de evacuación.
6. se adoptará las medidas de ataque que considere conveniente para combatir el incendio.

#### **B. JEFE DE OPERACIONES**

1. Toma el mando y dirige las acciones que se deberán tomar como primera respuesta ante un accidente o desastre.

#### **C. BRIGADAS CONTRA INCENDIO**

1. Comunicar de manera inmediata al jefe de Brigada de la ocurrencia de un incendio y actuar de inmediato haciendo uso de los equipos contra incendio (extintores portátiles), si se trata de una fuga de gas encendida no apagarla, solo enfriar los cilindros circundantes.
2. Estar lo suficientemente capacitado y entrenados para actuar en caso de incendio.

3. Activar e instruir en el manejo de la alarma contra incendio colocado en lugares estratégicos de las instalaciones, si lo hubiera.
4. Recibida la alarma, el personal de la citada brigada se constituirá con urgencia en el lugar del siniestro.
5. Se utilizará de manera adecuada los equipos de protección personal para que los integrantes realicen las tareas de extinción.
6. Al arribo de la compañía de Bomberos informará las medidas adoptadas y las tareas que se están realizando, entregando el mando a los mismos y ofreciendo la colaboración de ser necesario.

#### **D. BRIGADAS DE PRIMEROS AUXILIOS**

1. Conocer las ubicaciones de los botiquines en la instalación y estar pendiente del buen abastecimiento con medicamento de los mismos.
2. Brindar los primeros auxilios a los heridos leves en las zonas seguras.
3. Evacuar a los heridos de gravedad a los establecimientos de salud más cercanos a las instalaciones.
4. Estar suficientemente capacitados y entrenados para afrontar las emergencias.

#### **E. BRIGADAS DE EVACUACIÓN**

1. Comunicar de manera inmediata al jefe de brigada de inicio del proceso de evacuación.
2. Reconocer las zonas de seguras, zona de riesgo y las rutas de evacuación de las instalaciones a la perfección.
3. Abrir las puertas de evacuación del local inmediatamente si ésta se encuentra cerrada.
4. Dirigir al personal y visitantes en la evacuación de las instalaciones.
5. Verificar que todo el personal y visitantes hayan evacuado las instalaciones.

6. Conocer la ubicación de los tableros eléctricos, llaves de suministro de agua y tanques de combustible.
7. Estar suficientemente capacitado y entrenados para afrontar las emergencias.

### **5.7.3.3. Pautas para las brigadas**

- En caso de siniestro, el responsable del establecimiento, informara en el punto de reunión preestablecido, por medio de telefonía de emergencia o alarmas de incendio. Si la situación lo permite, intentara dominar el incendio con los elementos disponibles en el área (extintores) con el apoyo de la brigada de emergencia, sin poner peligro la vida de las personas.
- Si el siniestro no puede ser controlado deberá evacuar el personal conforme lo establecido, disponiendo que todo el personal forme frente al punto de reunión preestablecido.
- Mantendrá informado en todo momento al director de la emergencia de lo que acontece en el establecimiento.
- Revisaran los compartimientos de baños y lugares cerrados, a fin de establecer la desocupación del lugar.
- No se permitirá la utilización de ascensores.
- Mantendrá el orden de evacuación evitando actos que puedan generar pánico, expresándose en forma enérgica, pero prescindiendo de gritar a fin de mantener la calma.

- La evacuación será siempre hacia las rutas de escape, siempre que sea posible. Posteriormente aguardarán las indicaciones del director de la emergencia a efecto de poder evacuar a los visitantes y empleados del lugar

#### **5.7.3.4. Pautas para el personal que se encuentra en la zona de la emergencia**

- Todo el personal estable del establecimiento debe conocer las directivas generales del plan de evaluación.
- El personal que observe una situación anómala en donde desarrolla sus tareas, deberá dar aviso en forma urgente de la siguiente manera:
  - 1) Avisar al jefe inmediato
  - 2) Accionar el pulsador de alarma o dar a viva voz la alarma.
  - 3) Utilizar el teléfono de emergencia.
- Seguir las instrucciones que se impartan
- No perder tiempo recogiendo otros objetos personales.
- Caminar hacia la salida asignada.
- Bajar las escaleras caminar, sin hablar, sin gritar ni correr, espirando por la nariz.
- Una vez efectuado el descenso a la parte baja, se retirará en orden a la vía pública donde se dirigirá hacia el punto de reunión preestablecido.

## 5.7.4. Equipamiento

### 5.7.4.1. Métodos de protección

A continuación, se listan los equipos e implementos de seguridad con que cuentan nuestro local de venta para combatir emergencias.

**Tabla 5** Lista de equipos e implementos de seguridad

N°	LISTA DE LOS EQUIPOS E IMPLEMENTOS DE SEGURIDAD
1	Silbato
2	Extintor portátil de 4 kg. De P.Q.S. con indicaciones de fecha de ultima recarga.
3	Señalización de rutas de evacuación.
4	Guantes de cuero para manipuleo de cilindros
5	Linternas
6	Botiquín de primero auxilios

*Fuente: Adaptada de Seguridad Industrial y Salud Ocupacional, Ayala, 2020*

### 5.7.4.2. Listado de elementos básicos de dotación para el botiquín de primeros auxilios

A continuación, se listan, a modo referencial, los elementos básicos de dotación para el botiquín de primeros auxilios, teniendo en consideración que en ellos existen medicamentos, pues estos solo se deben suministrar con la autorización del médico:

Ungüentos para quemaduras, vendas especiales para quemaduras, depósitos de diferentes tamaños, alcohol yodado, aceptil, baja lenguas, Venditas de tela, esparadrapo de tela, gasa en paquetes independientes, agua oxigenada. etc.

### **5.7.5. Sistema de comunicación de emergencia**

Se han definido los tipos de Señal de Alerta y de Alarma a utilizar en cada caso según los medios disponibles:

- El uso de silbato de duración continua y prolongada indica que se trata de Señal de Alerta y si oyen silbatos de duración breve e intermitente indica que se trata de Señal de Alarma.
- Cuando se use altavoces o altoparlantes, se prolongará mensajes claros y concisos a emitirse sin provocar pánico en los ocupantes.
- Dado a que nuestro establecimiento es relativamente pequeño, las señales pueden ser verbales.

Para evitar el pánico, se ha planificado la evacuación para que la salida se realice de la misma forma que se hace habitualmente para las actividades comunes.

### **5.7.6. Acciones de respuesta frente a:**

#### **5.7.6.1. Incendios**

##### **A. Durante el incendio**

En caso de que el incendio se produzca se debe evitar que el fuego se extienda rápida y libremente, es decir solamente deberá causar el menor daño posible.

En caso de incendios, estas son las indicaciones mínimas que se deben considerar:

- Todas las personas que detecten fuego intentaran extinguirlo (siempre y cuando no sea una fuga encendida), o contener las llamas para que no se expanda, con los medios disponibles (extintores, arena, agua etc.)



- El personal que se encuentre en el área de ocurrencia del incendio, notifica de inmediato a la Supervisión, para coordine las acciones a seguir en la extinción del fuego.
- Se solicitará la presencia de Bomberos en áreas próximas a centros urbanos, para ello se dispondrá en lugares visibles los números telefónicos de emergencia, a efectos de obtener una pronta respuesta al acontecimiento.
- La Supervisión del área deberá evacuar a todo el personal ajeno a la emergencia, destinándolo a lugares seguros preestablecidos (Puntos de reunión).
- La brigada de emergencia realizará, instruirá e implementará el plan de respuesta ante emergencias de fuego acorde a las características del área comprometida.

### **B. Después del incendio**

- Mantener la calma y cerciorarse que se haya sofocado todo tipo de llamas asegurándose que no existan focos de reinicio de llamas o fuego.
- Realizar labores de rescate de personas si las hubiese brindándoles los primeros auxilios de ser el caso o transportándolas al centro médico más cercano.
- Acordonar o restringir el acceso a personas no autorizadas al establecimiento.
- Realizar trabajos de remoción o retiro de escombros y limpieza.

- Evaluar los daños ocasionados al entorno, viviendas y medio ambiente, así como evaluar las pérdidas sufridas nivel humano, de infraestructuras y patrimonial.
- Elaborar un informe preliminar del incendio y remitirlo a la instancia correspondiente. dentro de las 24 horas de producido de acuerdo a los procedimientos y a los formatos establecidos.
- Informar a otras autoridades locales o centrales según corresponda.

#### **5.7.6.2. En casos de fugas**

Estas indicaciones son las más generales que existen para el caso de fugas:

- Detener el paso de personas y vehículos a una distancia de 100 m. del establecimiento.
- Retirar los vehículos que se encuentran a menos de 100 m. de la fuga, los cuales deberán ser movilizados con el motor apagado.
- Evacuar a las personas que se encuentran a menos de los 100 m de la fuga de gas.
- Movilizar el extintor y el equipo que fuera necesario para el control de la misma.
- Rociar el agua en forma de neblina (chorros niebla) para dispersar los vapores de GLP.
- Cortar toda posible fuente de ignición. No accionar interruptores eléctricos.

- Sofocar cualquier llama abierta que exista en las inmediaciones.
- De estar encendida la fuga No sofocarla.

### **5.7.6.3. Consideraciones especiales**

En estas consideraciones especiales se tiene los siguientes puntos:

- Las instalaciones eléctricas y/o telefónicas de existir en el local de venta deben ser especiales (a prueba de explosiones), caso contrario deberán ser retiradas.
- La persona que es atrapada por el humo, debe permanecer lo más cerca del suelo (cubrirse la boca y nariz con un pañuelo humedecido), donde el aire es mejor. La respiración debe ser corta y por la nariz
- Si se trata de escapar del fuego, palpe las puertas antes de abrirlas, si siente que están calientes y se filtra humo no abrirla. buscar otra salida
- Si se encuentra atrapado por el fuego y no puede utilizar la vía de escape, cierra la puerta y sella los bordes para evitar el ingreso del humo.
- En el caso de lesiones, quemaduras u otros se deberán aplicar las técnicas de primero auxilios y brindar la atención inmediata de un médico y/o trasladar al accidentado al centro de salud más cercano.

## **5.8. NORMAS AMBIENTALES**

### CAPITULO III: DE LAS INSTALACIONES

Art. 12. Las plantas envasadoras deben contar con:

1. El piso de la planta envasadora debe tener terminación de concreto y contar con un desnivel que permita el desalojo de aguas pluviales.

2. La superficie del terreno bajo los tanques debe terminarse con concreto.
3. El nivel del piso bajo las tuberías que conectan los tanques, debe tener un desnivel en dirección perpendicular al eje de las tuberías y coronando bajo las mismas.

Art. 13. Las edificaciones deben ser de material incombustible en su construcción, ventanas y puertas exteriores, estructura, techos y cobertizos.

Art. 14. La planta debe contar al menos con dos accesos que permitan el fácil desalojo del personal en caso de emergencia.

Art. 15. Las trincheras para tuberías y su cubierta deben ser capaces de resistir el tránsito que se haga sobre ellas, ya sea vehicular o peatonal. Las cubiertas deben ser enrejadas. Deben tener drenajes hacia zonas seguras.

Art. 16. En la instalación de aparatos que produzcan fuego, calor o chispa cuyo uso se considere indispensable para el servicio del personal de la Planta Envasadora, tales como cocinas, calentadores de agua, parrillas y otros, se cumplirá con los siguientes requisitos:

1. La ubicación de los aparatos estarán alejados de las zonas de envasado y almacenamiento y en ningún caso a menos de 30 m. de ellas. Si la Planta cuenta con un almacenamiento en un tanque o grupo de tanques de una capacidad igual o superior a 453 m<sup>3</sup> (120.000 galones), la distancia a dicho almacenamiento será como mínimo de 60 m.
2. Preferentemente se escogerá uno de los frentes de la Planta, para ubicarlos.
3. Los calentadores de agua instalados a la intemperie deberán localizarse en azoteas o patios no comunicados directamente con la Planta Envasadora.

#### CAPITULO IV: DE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO NUEVOS O REEMPLAZOS

Art. 17. Se debe incluir copia del certificado de fabricación de los recipientes, autorización de uso y de funcionamiento, certificación de prueba de hermeticidad y calca de la placa de certificación.

Art. 18. El certificado de fabricación (ficha técnica) debe incluir cómo mínimo:

- a. Presión y temperatura de diseño.
- b. Presión y temperatura de trabajo.
- c. Indicar presión de prueba hidráulica.
- d. Material de fabricación.
- e. Espesores de diseño.
- f. Tolerancias de corrosión.
- g. Norma y edición bajo la cual se diseñó.
- h. Año de fabricación.
- i. Volumen.
- j. Peso del recipiente.
- k. Radiografiado
- l. Tratamiento térmico, si lo hubo.
- m. Número y reglaje (presión de ajuste) de las válvulas de alivio.
- n. Valor numérico del coeficiente sísmico de diseño para el sitio de instalación.
- o. Dimensiones.
- p. Bocas de conexión y accesorios.
- q. Datos del fabricante.

PARRAFO. Es de obligatoriedad que cada recipiente de almacenamiento tenga visible un grabado con el nombre de la sustancia contenida en el, en este caso de glp, así como capacidad de almacenamiento del tanque.

Art. 19. Los recipientes de almacenamiento deben ser colocados sobre las bases de sustentación en la parte de la placa de refuerzo o soporte que exige la norma de fabricación.

La colocación del recipiente sobre las bases debe permitir sus movimientos de expansión y contracción.

La base debe conformarse al recipiente que recibe, de tal forma que la carga se reparta uniformemente.

Art. 20. Los soportes de acero (bases de sustentación) en los recipientes de almacenamiento deberán ser protegidos de la exposición al fuego con un material que presente una calificación de resistencia al fuego no menor que dos horas.

Art. 21. Los recipientes de almacenamiento deberán estar diseñados para ser autoportantes, sin el uso de contravientos e cables de acero, y deberán satisfacer los criterios de diseño adecuados, teniendo en cuenta vientos, fuerzas sísmicas y cargas de ensayos hidrostáticos.

Art. 22. Todo recipiente de almacenamiento de más de 125 GAL (0.5 m<sup>3</sup>) deberán diseñarse con soportes de acero que permitan montarlos y fijarlos a los basamentos o soportes de hormigón. Tales soportes de acero deberán ser diseñados de modo que el recipiente sea auto soportado, sin ningún contraviento, y deben satisfacer los criterios de diseño adecuados, teniendo en cuenta aquellos sobre el viento, fuerzas sísmicas y carga de ensayo hidrostático.

Art. 23. Si antes o durante la maniobra de instalación de un recipiente de almacenamiento se le causan daños que afecten su integridad, sean estos geométricos o físicos, se deben efectuar pruebas para comprobar o verificar la integridad del mismo. Dichas pruebas deben ser realizadas bajo inspección y supervisión de Digenor y remitidas a la Secretaría de Estado de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Art. 24. Todo recipiente de almacenamiento vertical deberá armarse con agarraderas para levantarlo o con algún otro medio adecuado para facilitar su erección in situ.

Art. 25. Todo recipiente destinado al almacenamiento a granel, para venta o consumo interno, debe ser sometido a medición de espesores en el cuerpo y cabezas. Dicha prueba debe ser realizada bianualmente. Asimismo, se debe realizar una prueba de presión, a un 150% de su presión de trabajo o a la que el fabricante recomiende. La prueba de presión se debe realizar de acuerdo con el período establecido por el fabricante.

Art. 26. Todo recipiente cuyo espesor remanente no satisfaga los requisitos del espesor mínimo, necesarios a la presión de diseño de la placa o ficha técnica del mismo, debe ser puesto fuera de servicio.

Art. 27. Todo recipiente destinado al almacenamiento a granel para venta o consumo interno, debe contar con un archivo histórico hasta su retiro de servicio y como mínimo con una copia de la ficha técnica original del fabricante, última calibración de las válvulas de alivio y registros de pruebas e inspecciones efectuadas.

Art. 28. La distancia mínima horizontal de separación entre un tanque de GLP y uno de combustible deberá ser de 6 mts. (20 pies).

Art. 29. La reparación o alteración de los recipientes debe cumplir con las reglamentaciones, reglas o código bajo el cual se haya fabricado el mismo. Solo se permite una nueva soldadura sobre placas de apoyo, agarraderas o soportes unidos al envase por el fabricante del mismo

## CAPÍTULO VI. ANÁLISIS DE COSTOS

### 6.1. GENERALIDADES

Para realizar el análisis del costo que se originará en la instalación total de los elementos de la Planta de Senkata que conforman la instalación centralizada de conducción de GLP, se dividirá la instalación en dos partes. La primera será el análisis del costo en la instalación del tanque de almacenamiento en la terraza, más la instalación de la línea de carga desde el tanque fijo hasta el sitio de carga ubicado en la parte frontal e inferior de los apartamentos.

La segunda parte, la complementarán los costos de los materiales que se requieren para el transporte del GLP, desde el tanque estacionario (excluido este) por medio de las respectivas tuberías, accesorios, contadores y reguladores, hacia cada uno de los equipos gasodomésticos que se ubicarán en cada apartamento.

Considerando que el proyecto se desarrollará en la ciudad de Loja, y que la empresa Lojagas es la única empresa en el medio que cuenta con el equipo y personal para este tipo de labores. Los rendimientos, el tipo de personal y los valores necesarios para el cálculo del costo por mano de obra.

A continuación, se describen las funciones del personal requerido y el costo por hora, datos obtenidos de YPFB:

- **Técnico Instalador 1:** Su función es la de gestionar la adquisición y de los materiales que se requieran en el proyecto, facilitar los equipos para la instalación, supervisa la ejecución de los trabajos bajo las normas técnicas nacionales e internacionales competentes, responsable de



preservar un ambiente totalmente seguro en la instalación, responsable de las pruebas de estanqueidad del sistema, responsable de la correcta calibración de los reguladores, contadores y equipos gasodomésticos, lleva el registro de rendimientos y es responsable de su aplicación, supervisa el seguimiento de los planos y sugiere modificaciones, realiza las devoluciones de los materiales no utilizados, realiza las actas de entrega-recepción de la instalación al fiscalizador o dueño de la obra. La remuneración percibida es de 2.42 USD/h.

➤ **Técnico Instalador 2:** Esta persona es la responsable de la unión entre tuberías o de estas con los accesorios, por medio de soldadura (metal-metal, cobre-cobre, cobre-bronce) o por medio de roscado, es la persona que ejecuta los trabajos bajo normas técnicas nacionales e internacionales competentes, responsable de preservar un ambiente totalmente seguro en la instalación, responsable de la preservación y el manejo seguro de los equipos y herramientas de trabajo. La remuneración percibida es de 1.68 USD/h.

## **6.2. COSTO DE INSTALACIÓN DE TANQUE DE ALMACENAMIENTO ESFÉRICO Y LÍNEA DE CARGA**

En la tabla 6 se detallarán los elementos constitutivos de esta parte de la instalación, se indicará: la descripción del elemento, el rendimiento en el caso de fungibles, cantidad requerida, costo unitario, el costo total, y finalmente en la tabla 8 y tabla 9 se analizará el costo por mano de obra de esta parte de la instalación.

**Tabla 6 Costo de instalación del tanque y línea de carga**

Elementos	Cant.	Unid.	Costo/ unid.	Costo Total \$us
Tanque de 2.8 m <sup>3</sup> con válvulas	1	Unid.	2800.00	2800.00
Tubo 32 mm. Ced.80	29.8	M	3.27	97.45
Codo soldable 32 mm. 300 psi	9	Unid.	5.02	45.18
Sierras Sanflex	1	unid	0.80	0.80
Disco de desbaste	0.235	unid	4.30	1.01
<b>Total</b>				<b>2944,44</b>

Fuente: Pablo Soto Quispe, Tanques esféricos de Almacenamiento de GLP, de la Materia de Resistencia de materiales, 2018

Los elementos constitutivos para la instalación del tanque y línea de carga tendrán un costo total de **\$us 2.944,44** siendo un equivalente a **Bs 20.493,30** (a un cambio de Bs 6.96 por cada dólar americano). El elemento principal (tanque) llega a representar el 95% del costo total.

**Tabla 7 : Costo de instalación del tanque y línea de carga**

Elementos	Rendimiento	Cant.	Unid.	Costo/ unid.	Costo Total \$us
Soldadura 6011 1/8"	0.594 Kg/m soldado	0.838	Kg	2.60	2.18
Pintura esmalte blanca (3.95 m <sup>2</sup> )	19.95 m <sup>2</sup> /Gl.	0.198	Gl.	12.00	2.37
Diluyente	10% de pintura	0.020	Gl.	8.00	0.16
Lija de hierro	0.0255 unid./m <sup>2</sup>	0.101	unid	0.60	0.06

<b>Cepillo de copa</b>	0.011 unid./m2	0.043	unid	24.00	1.04
<b>Cable de cobre N.-4</b>		2	M	1.75	3.50
<b>Grilletes de cobre</b>		2	Unid.	0.45	0.90
<b>Varilla Coperwell</b>		1	M	80.00	80.00
				<b>Total1:</b>	<b>3,034.65</b>

Fuente: Adaptado de tanques esféricos de almacenamiento de GLP, la Materia  
Resistencia de Materiales, Soto P.,2018

En la tabla 7 se muestra el costo de los elementos constitutivos secundarios para la instalación que es **\$us 3,034.65** siendo un equivalente a **Bs 21.121,64** (a un cambio de Bs 6.96 por cada dólar americano).

**Tabla 8 Costo mano de obra instalación del tanque**

<b>INSTALACIÓN DEL TANQUE</b>					
<b>Elementos</b>	<b>horas</b>	<b>Unid.</b>	<b>\$us/hr. sueldo</b>	<b>Costo Total</b>	
<b>Alquiler de pluma</b>	2	Hr.	30	60.00	
<b>Técnico Instalador 1</b>	2.5	Hr.	2.42	6.05	
<b>Técnico Instalador 2</b>	2.5	Hr.	1.68	4.20	
<b>Técnico Instalador 2</b>	2.5	Hr.	1.68	4.20	
	<b>Horas1:</b>	<b>9.5</b>	Hr.	<b>Total 2:</b>	<b>74.45</b>

Fuente: Adaptado de tanques esféricos de almacenamiento de GLP, la Materia  
Resistencia de Materiales, Soto P.,2018

El costo total 2, denominado así al costo total de instalación del tanque es de **\$us 74.45 (Bs 518.17)**.

**Tabla 9 Costos mano de obra**

<b>Línea de carga (32 mm)</b>						
<b>Elementos</b>	<b>Rendimiento m/hr.</b>	<b>metros</b>	<b>Horas (m /Rend.)</b>	<b>Nro de personas</b>	<b>\$us/h sueldo</b>	<b>Costo Total \$us</b>
<b>Técnico Instalador 1</b>	2.25	29.8	13.24	1	2.42	32.05
<b>Técnico Instalador 2</b>	2.25	29.8	13.24	2	1.68	44.50
		<b>Horas2:</b>	<b>35.99</b>		<b>Total3</b>	<b>76.55</b>

**Fuente:** *En base a datos de investigación*

El costo total 3, denominado así al costo total de instalación de la línea de carga es de **\$us 76.55 (Bs 532.78)**.

Tomando en cuenta los costos de instalación del tanque y línea de carga (74.75+76.55 \$us), el costo general total de instalación de **\$us 151 (Bs 1.050,96)**.

### **6.3. COSTO DE INSTALACIÓN DE ACOMETIDA Y ACCESORIOS**

En la tabla 10, se detallarán los elementos constitutivos de esta parte de la instalación, se indicará: la descripción del elemento, el rendimiento en el caso de fungibles, cantidad requerida, costo unitario, el costo total, y finalmente en la tabla 11 se analizará el costo por mano de obra de esta parte de la instalación.

El análisis de los costos de los materiales de la tabla 10, se ha dividido en: costo de los accesorios y el de los materiales fungibles. Así como los costos de la mano de obra en la acometida en la tabla 11, se han dividido en el costo de instalación de los reguladores y contadores, y en el costo de la instalación de las tuberías de cobre.

**Tabla 10 Costo de instalación de acometida**

<b>Elementos</b>	<b>Características</b>	<b>Cant.</b>	<b>Unid.</b>	<b>Costo/ unid.</b>	<b>Costo Total \$us</b>
<b>Limitador de Caudal</b>	REGO 970 AXS Rosca POL LH EXT- NPT M 1/4"	1	Unid.	4.00	4.00
<b>Bushing de bronce</b>	1/2"M NPT-1/4"H NPT	1	Unid.	4.50	4.50
<b>Regulador de primera incluye válvula de alivio</b>	REGO 1584MN 1/2" H NPT	1	Unid.	69.00	82.00
<b>Manómetro</b>	0-2 Kg/cm2 - 1/4M NPT	1	Unid.	11.20	24.20
<b>Cachimba de bronce</b>	POL RH EXT-1/2"M NPT	1	Unid.	3.20	3.20
<b>Unión de bronce</b>	250 PSI, POL RH EXT	1	Unid.	2.50	2.50
<b>Tubo flexible de conexión de cobre</b>	REGO 913PS12G POL M. Longitu 12"	1	Unid.	3.90	3.90
<b>Universal de cobre</b>	SO-HI 3/4"	1	Unid.	3.08	3.08
<b>Tubería de Cobre</b>	Tipo L 3/4"	116.7	m.	3.60	420.12
<b>Codo de Cobre</b>	90° SO-SO 3/4"	119	Unid.	0.48	57.12
<b>Adaptador de Cobre</b>	SO-HE 3/4"	56	Unid.	0.75	42.00
<b>Válvula de retención</b>	3/4" H NPT	1	Unid.	25.00	25.00
<b>Te de Cobre</b>	SO-SO 3/4"	33	Unid.	0.90	29.70

<b>Válvula esférica de corte, bronce</b>		51	Unid.	4.85	247.35
	3/4" H NPT				
<b>Adaptador de acero</b>	1025 12-12 (3/4" NPT)	2	Unid.	6.50	13.00
<b>Tuerca giratoria, acero</b>		2	Unid.	12.98	25.96
	441 12-12 (3/4" NPT)				
<b>Manguera alta presión</b>	213 12-12 (3/4")	1	m.	11.90	11.90
<b>Total</b>					<b>999.53</b>

Fuente: En base a datos de investigación

El costo de instalación de acometida del tanque es de **\$us 999.53 (Bs 6.956,73)**, donde el 24.74% del costo representa la válvula esférica de bronce y el 42% la tubería de bronce.

**Tabla 11 Costo de instalación de acometida**

<b>Elementos</b>	<b>Características</b>	<b>Cant.</b>	<b>Unid.</b>	<b>Costo/ unid.</b>	<b>Costo Total \$us</b>
<b>Adaptador de acero</b>	356 12-12 (3/4" NPT)	2	Unid.	12.98	25.96
<b>Adaptador de Cobre</b>	SO-HI 3/4"	34	Unid.	0.98	33.32
<b>Tubería de Cobre</b>	Tipo L 1/2"	12.1	m.	2.26	27.35
<b>Cruz de cobre</b>	SO 1/2"	3	Unid.	1.44	4.32
<b>Reducción de cobre</b>	SO-SO 1/2"- 3/8"	22	Unid.	0.50	11.00
<b>Tubería de Cobre</b>	Tipo L 3/8"	8.4	m.	1.58	13.27
<b>Codo de Cobre</b>	90° SO-SO 1/2"	48	Unid.	0.48	23.04

<b>Adaptador de Cobre</b>	SO-HE 1/2"	32	Unid.	0.45	14.40
<b>Válvula esférica de corte de bronce</b>		16	Unid.	3.64	58.24
	1/2" H NPT				
<b>Te de Cobre</b>	SO-SO 1/2"	1	Unid.	0.37	0.37
<b>Cruz de cobre</b>	SO 3/4"	1	Unid.	2.39	2.39
<b>Reducción de cobre</b>	SO-SO 3/4"- 3/8"	2	Unid.	0.70	1.40
<b>Reducción de cobre</b>	SO-SO 3/4"- 5/8"	1	Unid.	0.70	0.70
<b>Tubería de Cobre</b>	Tipo L 5/8"	8.7	m.	2.95	25.67
<b>Cruz de cobre</b>	SO 5/8"	2	Unid.	2.10	4.20
<b>Reducción de cobre</b>	SO-SO 5/8"- 3/8"	4	Unid.	0.70	2.80
<b>Te de Cobre</b>	SO-SO 5/8"	1	Unid.	0.62	0.62
<b>Reducción de cobre</b>	SO-SO 5/8"- 1/2"	2	Unid.	0.55	1.10
<b>Universal de cobre</b>	SO-HI 1/2"	16	Unid.	2.35	37.60
<b>Adaptador de bronce</b>	1/2"M NPT-1/2"M NPT	32	Unid.	2.25	72.00
<b>Total</b>					<b>359.75</b>

**Fuente:** En base a datos de investigación

El costo de instalación de acometida es de **\$us 359.75 (Bs 2.503,86)**, donde el 20% del costo representa el adaptador de bronce siendo el principal en relación a los demás elementos.

**Tabla 12 Costo de instalación de acometida**

<b>Elementos</b>	<b>Características</b>	<b>Cant.</b>	<b>Unid.</b>	<b>Costo/ Unid.</b>	<b>Costo Total \$us</b>
<b>Regulador de segunda etapa</b>	REGO LV4403B 1/2" H NPT	16	unid	35.00	573.00
<b>Adaptador de manómetro</b>	REGO 1494-1 1/2"H NPT-1/2"M NPT1/4"H NPT	16	unid	4.00	77.00
<b>Manómetro</b>	0-0.15 bar	16	unid	65.00	1,053.00
<b>Adaptador de Cobre</b>	SO-HI 1/2"	16	unid	0.45	7.20
<b>Universal de cobre</b>	SO-SO 1/2"	16	unid	1.50	24.00
<b>Reducción de cobre</b>	SO-SO 3/4"-1/2"	17	unid	0.58	9.86
<b>Contador de GLP</b>	ELSTER AMCO BK- G1.6	16	unid	70.00	1,120.00
<b>Armario de contadores</b>		16	unid	25.00	400.00
<b>Universal de cobre</b>	SO-SO 3/4"	16	unid	2.45	39.20
<b>Neplo espiga</b>	3/4"M -3/8"M	48	unid	1.80	86.40
<b>Socket-</b>	BFM -625	48	unid	0.79	37.92
<b>GENERAL</b>					
<b>Manguera alta presión</b>	223-6 (3/8")	48	unid	4.80	230.40



<b>Abrazadera</b>	1/2"	48	unid	0.56	26.88
<b>Fungibles</b>	<b>Rendimiento</b>				
<b>Soldadura de Cobre 15% de Ag.</b>	1.12 gr /punto de diámetro 3/8"	32	puntos	0.04/gr	1.43
<b>Soldadura de Cobre 15% de Ag.</b>	1.5 gr /punto de diámetro 1/2"	193	puntos	0.04/gr	8.65
<b>Soldadura de Cobre 15% de Ag.</b>	1.87 gr /punto de diámetro 5/8"	19	puntos	0.04/gr	0.85
<b>Total</b>					3.695,73

Fuente: En base a datos de investigación

El costo de instalación de acometida es de **\$us 3.695,79 (Bs 25.722,69)**, donde el 30% del costo representa el contador de GLP, y 29% el manómetro, siendo los principales en relación a los demás elementos.

**Tabla 13 Costo de instalación de acometida**

<b>Elementos</b>	<b>Características</b>	<b>Cant.</b>	<b>unid</b>	<b>Costo/ unid</b>	<b>Costo Total \$us</b>
<b>Soldadura de Cobre 15% de Ag.</b>	2.25 gr /punto de diametro 3/4"	469	puntos	0.04/gr	\$ 21.01
<b>Lija de hierro</b>	0.0255 unid/m <sup>2</sup>	2.55	m <sup>2</sup>	0.60	0.04
<b>sierra sanflex</b>	0.036unid/corte	279	cortes	0.80	8.04
<b>Loctigas</b>	0.009unid/punto	220	puntos	17.00	33.66
				<b>Total 4:</b>	<b>5,117.81</b>

Fuente: En base a datos de investigación

El costo total 4, denominado así al costo total de instalación de acometida (tabla 12, tabla 13, tabla 14) es de **\$us 5,117.81 (Bs 35,619.96)**.

**Tabla 14 : Costo de mano de obra en acometida**

<b>1.-Instalación de reguladores de segunda etapa y contadores</b>						
<b>Elementos</b>	<b>Rendimiento hr. /contador</b>	<b>Cant</b>	<b>Horas (Cant.xRend.)</b>	<b>Nro. de personas</b>	<b>\$us/hr. sueldo</b>	<b>Costo Total \$us</b>
<b>Técnico Instalador 2</b>	3	16	48.00	2	1.68	161.28
<b>2.-Instalación de tuberías de cobre y accesorios (Se toma en promedio tubería de 3/4")</b>						
<b>Elementos</b>	<b>Rendimiento m/hr.</b>	<b>metros</b>	<b>Horas (m /Rend.)</b>	<b>Nro. de personas</b>	<b>USD/hr sueldo</b>	<b>Costo Total</b>
<b>Técnico Instalador 1</b>	2.31	146	63.20	1	2.42	152.95
<b>Técnico Instalador 2</b>	2.31	146	63.20	2	1.68	212.36
		<b>Horas3:</b>	<b>174.41</b>		<b>Total5:</b>	<b>526.60</b>

*Fuente: En base a datos de investigación*

La suma de cada uno de los costos (materiales y mano de obra) nos da un valor de **\$us 8,830.36**, obteniéndose un costo de **\$us 551.9** por apartamento.

La suma de las horas de trabajo es de 219.9 horas, o igual a 27.5 días de trabajo.

#### **6.4. ANÁLISIS TIR/VAN**

El costo referencial es tomado a partir de diferentes prospectos que puedan brindar los diferentes proveedores.

A continuación, se presenta un listado de todos los rubros donde se señalan únicamente los costos de la parte mecánica del diseño de un taque esférico que están dentro del alcance público. Debido a políticas establecidas y razones de confidencialidad, no se proporcionan datos de gran relevancia.

Realizar el proyecto de simulación y capacitación no afecta al proceso y a la inversión total de la planta.

Para el análisis TIR y VAN realizamos un flujo de caja del costo del taque y los costos de mantenimiento que se previenen con la simulación

Para el diseño mecánico de la esfera se considera:

- Ingeniería
- Planchas de acero
- Bridas y accesorios
- Válvulas
- Columnas y tensores
- Prefabricación de esferas
- Montaje de esferas
- Suelta
- Pintura
- Mano de obra
- Tratamiento térmico
- Ensayos no destructivos

#### 6.5.1. Cálculo del VAN:

Primero realizamos un esquema del flujo de caja, asumiendo que el proyecto durara 5 años con un interés de 16 %:

$$VAN = \sum_{i=1}^n \frac{F}{(1+i)^t} - I_0$$

$$VAN = \frac{F_1}{(1+i)^1} + \frac{F_2}{(1+i)^2} + \frac{F_3}{(1+i)^3} + \frac{F_4}{(1+i)^4} + \frac{F_5}{(1+i)^5} - I_0$$

$$VAN = \frac{181797}{(1+0,16)^1} + \frac{126512}{(1+0,16)^2} + \frac{153417}{(1+0,16)^3} + \frac{137895}{(1+0,16)^4} + \frac{13456}{(1+0,18)^5} - 10000$$

$$VAN = 4211068,277$$

### 6.5.2. Cálculo del TIR

Para el TIR se utiliza la siguiente relación:

$$0 = \sum_{t=1}^n \frac{F}{(1+TIR)^t} - I_0$$

$$VAN = \frac{F_1}{(1+TIR)^1} + \frac{F_2}{(1+TIR)^2} + \frac{F_3}{(1+TIR)^3} + \frac{F_4}{(1+TIR)^4} + \frac{F_5}{(1+TIR)^5} - I_0$$

$$0 = \frac{181797}{(1+TIR)^1} + \frac{126512}{(1+TR)^2} + \frac{153417}{(1+TIR)^3} + \frac{137895}{(1+TIR)^4} + \frac{13456}{(1+TIR)^5} - 10000$$

$$TIR = 17,87 \%$$

De manera analítica se tiene:

**Tabla 15 Cálculo TIR de manera analítica**

	2021	2022	2023	2024	2025
INGRESOS	-	181797	126.512	153.417	137.895
(-) COSTOS DE VENTAS	-	Bs34.958,16	Bs36.601,19	Bs38.321,45	Bs40.122,56
(=) UTILIDAD BRUTA	-	Bs146.838,84	Bs89.910,81	Bs115.095,55	Bs97.772,44
GASTOS DE VENTAS	-	Bs98,76	Bs103,40	Bs108,26	Bs113,35
GASTOS ADMINISTRACION	-	Bs3.068,17	Bs3.212,38	Bs3.363,36	Bs3.521,44
(-) DEPRECIACION	-	Bs232,14	Bs232,14	Bs232,14	Bs232,14
(+) AMORTIZACION DIFERIDOS	-				
UTILIDAD OPERACIONAL	-	Bs143.439,77	Bs86.362,89	Bs111.391,79	Bs93.905,52
Gastos Financieros	-	Bs1.200,00	Bs960,00	Bs768,00	Bs960,00
UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS	-	Bs142.239,77	Bs85.402,89	Bs110.623,79	Bs92.945,52
Provision de Impuestos 32%	-	Bs27.452,28	Bs16.482,76	Bs21.350,39	Bs17.938,49
UTILIDAD NETA	-	Bs114.787,50	Bs68.920,13	Bs89.273,40	Bs75.007,03
<b>RESERVA LEGAL</b>	-	Bs11.478,75	Bs6.892,01	Bs8.927,34	Bs7.500,70
<b>UTILIDAD DEL EJERCICIO</b>	-	Bs103.308,75	Bs62.028,12	Bs80.346,06	Bs67.506,33

Fuente: En base a datos de investigación

**Tabla 16 Estado de situación financiera**

Periodo	2021	2022	2023	2024
ACTIVO				
<b>EFFECTIVO Y EQUIVALENTES AL EFFECTIVO</b>	181797	(28.839.362)	(28.871.565)	(28.836.588)
<b>ACTIVO FIJO</b>	129.021	129.021	129.021	129.021
<b>DEPRECIACION</b>	-	18.464	36.928	55.392
<b>ACTIVO FIJO NETO</b>	129.021	110.557	92.093	73.629
<b>ACTIVOS DIFERIDOS</b>	-			
<b>TOTAL ACTIVO</b>	<b>310.818</b>	<b>(28.728.805)</b>	<b>(28.779.472)</b>	<b>(28.762.959)</b>
PASIVO				
<b>OBLIGACIONES FINANCIERAS</b>	30.000	24.000	19.200	15.360
<b>TOTAL PASIVO</b>	<b>30.000</b>	<b>24.000</b>	<b>19.200</b>	<b>15.360</b>
PATRIMONIO				
<b>CAPITAL SOCIAL</b>	(28.867.592)	(28.867.592)	(28.867.592)	(28.867.592)
<b>RESERVA LEGAL</b>	-	11.479	6.892	8.927
<b>UTILIDAD DEL EJERCICIO</b>	-	103.309	62.028	80.346
<b>UTILIDADES RETENIDAS</b>	0	-	-	-
<b>TOTAL PATRIMONIO</b>	<b>(28.867.592)</b>	<b>(28.752.805)</b>	<b>(28.798.672)</b>	<b>(28.778.319)</b>
<b>TOTAL PASIVO+PATRIMONIO</b>	<b>(28.837.592)</b>	<b>(28.728.805)</b>	<b>(28.779.472)</b>	<b>(28.762.959)</b>

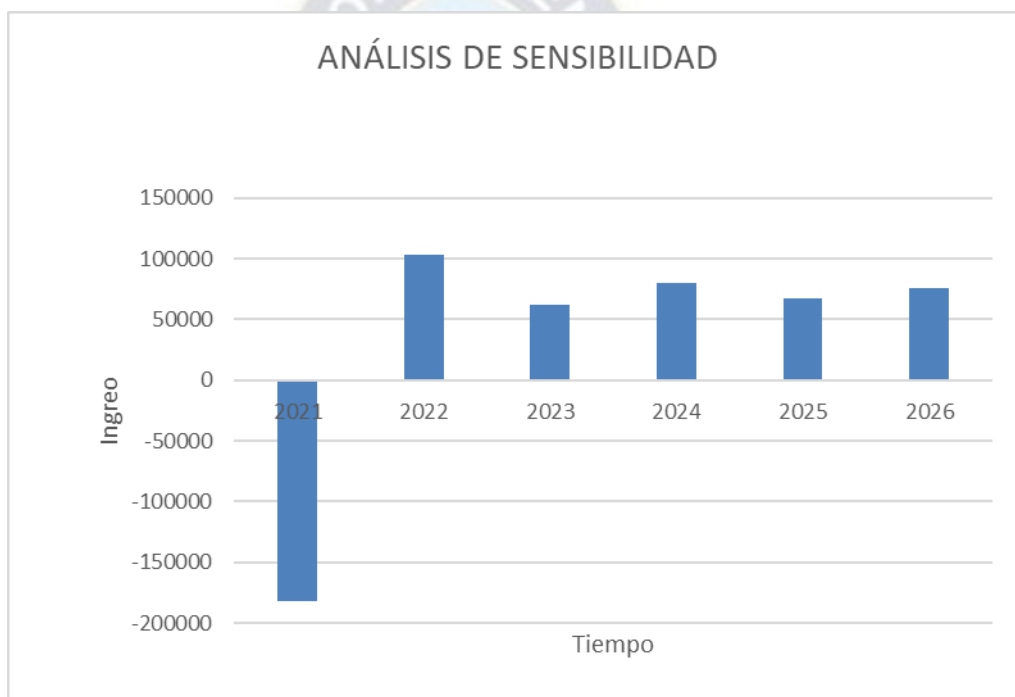
Fuente: En base a datos de investigación

**Tabla 17 Flujo de caja libre**

VALOR PRESENTE NETO	311.419
TIR	18%
Rel Ben / Costo	2,75

Fuente: En base a datos de investigación

**Figura 39 Análisis de sensibilidad**



Fuente: En base a datos de investigación

## 6.5. ANÁLISIS FODA

A continuación, se presenta el análisis FODA del análisis de fuga del TANQUE para poder determinar si el estudio es técnicamente factible

**Tabla 18** *Análisis FODA*

	<b>FORTALEZAS</b>	<b>DEBILIDADES</b>
<b>FACTIBILIDAD INTERNA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se predice mejor lo tiempo de fugas para determinar estrategias de seguridad</li> <li>• Se mejora la prevención de explosiones de tanque esférico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La metodología es nueva, por tanto, es difícil su manejo para todo el personal</li> <li>• La simulación solo maneja las empresas extranjeras y YPFB no está capacitada</li> </ul>
	<b>OPORTUNIDADES</b>	<b>AMENAZAS</b>
<b>FACTIBILIDAD EXTERNA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Al predecir las fugas evitamos accidentes y daño económico I país.</li> <li>• La empresa incrementa su conocimiento y queda mejor ante el control de accidentes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El excesivo manejo de carga y descarga del tanque de GLP incrementa el peligro de fuga</li> </ul>

**Fuente:** En base a datos de investigación



# CAPÍTULO VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIÓN

## 7.1. CONCLUSIONES

- Se pudo describir de manera completa todas las características de los tanques esféricos y su función dentro del proceso de almacenamiento en la Planta Engarrafadora de Senkata.
- Se pudo desarrollar el cálculo y diseño del modelo de turbulencia en la mecánica de fluidos dentro de un tanque esférico.
- Se generó una base teórica y soporte técnico para el control de seguridad de fugas de tanques esféricos de hidrocarburos licuados en la Planta Engarrafadora de Senkata después de haber realizado la simulación.
- Se pudo describir y realizar un análisis de riesgos dentro de los procesos de la Planta Engarrafadora de Senkata, con el fin de encontrar las zonas y áreas de fuga en los tanques esféricos.
- La conservación de energía y explicar el modelo de turbulencia aplicado al comportamiento de fugas en tanques esféricos en base a la relación Temperatura pudo ser analizada con los modelos matemáticos propuestos.
- Se logró realizar una simulación computacional para determinar la tasa de reducción de temperaturas y predecir el tiempo suficiente para que el tanque esférico alcance cierta temperatura en condiciones diferentes utilizando el Software Matlab y obteniendo curvas a diferentes porcentajes de daño.

## 7.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda elaborar un procedimiento de trabajo seguro para realizar cualquier tipo de prueba para certificar recipientes a presión.
- Siempre el principal criterio que debe prevalecer durante el diseño de recipientes a presión, es la seguridad del mismo.
- Se recomienda realizar más programas y software para el control y estimación de fugas y peligros en el almacenamiento de tanques, los cuales ayudan a controlar de manera óptima la presencia de fugas disminuyendo el control técnico y los costos en el mismo ya que son más tediosos en aplicarlos y presentan fallas humanas. Los trabajadores deben capacitarse en el control de peligros mediante el uso de software como es el Matlab, el cual permite estimar a través de modelos matemáticos la presencia de daños y peligros en el tiempo. Es preferible invertir en capacitación que gastar millones de dólares en el pago de reparaciones y remuneraciones laborales.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Liu Xueying, Cui Qibi, Jing Guoxun,2008. Large Liquefaction Hydrocarbon Tank Field Hazard Analysis and Control, Journal of Shanghai Institute of Technology (Natural Science) 4.
2. Lu Chaorong, Zhang Yongguo,1999. Xian Liquefied Gas Explosion Accident Process and Analysis, Oil & Gas Storage and Transportation 10.
3. Liquid Hydrocarbon Spherical Tank Zone Special Assessment Report of Sinopec.
4. Tao Wenquan,2001. The Numerical Heat Transfer, Xi 'an Jiaotong University Press, CHINA.
5. He Xia,2008. The Simulation Study on Gas-solid Flow Behavior in FCC Settlement and the Influence on Cooking (Master's Degree Thesis), China university of petroleum, CHINA.
6. Chen Yonghui. Wang Qiang, Pu Xiangbo,2009. The Development of Turbulence Model and the Present Situation. Energy and environment 2.
7. Wu Ceyu, Liu Yongqiang,2011. Applied Analysis Water Injection System of Liquefied Hydrocarbon Spherical Tank. Safety Health & Environmen 4.

8. Palermoorg/biblioref/2020/05/1096519/covid-19.pdf [www.palermo.edu/ingenieria/pdf2014/14/CyT\\_14\\_11.pdf](http://www.palermo.edu/ingenieria/pdf2014/14/CyT_14_11.pdf)  
/Users/USUARIO/Downloads/proyecto%
9. Presentación <https://es.scribd.com/presentation/330108788/histona-20de-28a-20tributacion-20en-20el-20perc3-9-2c-20mn-2> :
10. \*[www.elconfidencialdigital.com/articulo/politica/nostalgicos-franquismo-preparan-20-nreivindicativo-exhum-elquintanaroo-mx/tren-se-descamia-en-escocia-3-personas-muneron-y-6-resultaron-hendas/](http://www.elconfidencialdigital.com/articulo/politica/nostalgicos-franquismo-preparan-20-nreivindicativo-exhum-elquintanaroo-mx/tren-se-descamia-en-escocia-3-personas-muneron-y-6-resultaron-hendas/)
11. \*[www.debate.com.mx/mundo/Parecian-clientes normales de pronto-sacaron sus-amas-20160609-0025](http://www.debate.com.mx/mundo/Parecian-clientes-normales-de-pronto-sacaron-sus-amas-20160609-0025) H
12. Transporte la industrial [www.ypfb.gob.bo/es/informacion-institucional/noticias/1299-gerente de ypfb transporte la industrial-del-g](http://www.ypfb.gob.bo/es/informacion-institucional/noticias/1299-gerente-de-ypfb-transporte-la-industrial-del-g)
13. Información-institucional [www.yofb.gob.bo/en/informacion-institucional/información-de-contacto/9-ypfb-corporacion/16-ypfb-trang](http://www.yofb.gob.bo/en/informacion-institucional/información-de-contacto/9-ypfb-corporacion/16-ypfb-trang)
14. Información-institucional noticias [www.ypfb.gob.bo/es/informacion-institucional/noticias/1370-aumento de participación de ypfb transporte](http://www.ypfb.gob.bo/es/informacion-institucional/noticias/1370-aumento-de-participación-de-ypfb-transporte)
15. Metodología de la investigación [www.salusplay.com/apuntes/apuntes-metodología de la investigacion/tema-4-disenos de investigacion-cs](http://www.salusplay.com/apuntes/apuntes-metodología-de-la-investigacion/tema-4-disenos-de-investigacion-cs):
  - \*[www.redalyc.org/pdf/3587/358741821004.pdf](http://www.redalyc.org/pdf/3587/358741821004.pdf)
  - \*[https://www.comunicacion.gob bog-20140502/15382](https://www.comunicacion.gob.bog-20140502/15382)

16. Planta engarrafadora senkata, [prezi.com/p/ogSm9oacbmhs](http://prezi.com/p/ogSm9oacbmhs) planta engarrafa adora senkat:

- [\\*www.hoybolivia.com/Noticia.php?idNoticia-84355](http://www.hoybolivia.com/Noticia.php?idNoticia-84355)

17. Recupera 62 mil litros de diésel, <http://www.cuspidemexico.com.mx/2021/07/gn-recupera-62-mil-litros-de-diesel>

18. Recupera 62 mil litros de diesel noticias, y.html <https://cuspide.com/2021/07/09/gn-recupera-62-mil-litros-de-diesel-y-un-tractocamion-y-arresta-a-conduct>

19. Recupera tractocamion <https://www.gob.mx/guardianacional/prensa/en-chihuahua-guardia-nacional-recupera-tractocamion-con-62-mil-litros> :

20. Decomisan 76 mil litros de combustible legal

<https://www.elnorte.com/decomisan-76-mil-litros-de-combustible-legal/ar2221107> :

- <https://computerhoy.com/noticias/fe/esta-botella-de-agua-es-capaz-de-descomponerse-solo>
- [\\*https://www.ingles.com/ejemplos/la-botella-de-agua-lang-es](https://www.ingles.com/ejemplos/la-botella-de-agua-lang-es)
- [\\*https://www.todo-mail.com/content.aspx?emailid-9923](https://www.todo-mail.com/content.aspx?emailid-9923)
- [\\*https://twarren.com/companies/tarsco-mexico](https://twarren.com/companies/tarsco-mexico)
- [\\*https://tware.com/sp/empresas/119-tarsco-welded-tank-ubicaciones/586-tarsco-welded-mexico](https://tware.com/sp/empresas/119-tarsco-welded-tank-ubicaciones/586-tarsco-welded-mexico)

- <https://docplayer.es/174119840-Ceta-4-d-del-gobierno-estado-de-mexico.html>

21. Cotización [www.tfwarren.com/sp/tarsco-mexico-sp2/solicitar-cotizacion-farsco-mexico](http://www.tfwarren.com/sp/tarsco-mexico-sp2/solicitar-cotizacion-farsco-mexico) <https://twarren.com/sp/tarsco-mexico-sp2/contact-tarsco-mexico>

22. Localización de tanques, [www.tfwaren.com/companies/110-tarsco-welded-tank-locations/589-tarsco-welded-mexico-63](http://www.tfwaren.com/companies/110-tarsco-welded-tank-locations/589-tarsco-welded-mexico-63) :

- <https://in.linkedin.com/company/tarsco-mexico> http

23. [tfwarren.com/companies/110tarsco-welded-tank-locations](http://tfwarren.com/companies/110tarsco-welded-tank-locations)

24. Diesel, <http://www.cuspidemexico.com.mx/2021/07/gn-recupera-62-mil-litros-de-diesel> <https://cuspidemexico.com/2021/07/09/gn-recupera-62-mil-litros-de-diesel-y-un-tractocamion-y-arresta-a-conduct>

#### PÁGINAS WEB:

- Guardia Nacional, <https://www.gob.mx/guardianacional/prensa/en-chihuahua-guardia-nacional-recupera-tractocamion-con-62-mil-it>
- Reciclaje <https://www.elnorte.com/decomisan-76-mil-itros-de-combustible-legal/ar2221107> <https://computerhoy.com/noticias/fe/esta-botella-agua-es-capaz-descomponerse-solo-tres-semanas-80035>
- <https://www.ingles.com/ejemplos/la-botella-de-agua-Pang-es>  
<https://www.todo-mail.com/content.aspx?emailid-9923>

- <https://tfwarren.com/companies/tarsco-mexico>  
<https://tfwaren.com/sp/empresas/119-tarsco-weldedtank>  
[ubicaciones/586-tarsco-welded mexco-ubicacion https://docplayer.es/174119840-Ceta-4-d-del-gobierno-estado-de-mexco.html](https://docplayer.es/174119840-Ceta-4-d-del-gobierno-estado-de-mexco.html)
- <https://www.tfwarren.com/sp/tarsco-mexico-sp2/solicitar-cotizacion-farsco-mexico> <https://tfwarren.com/sp/tarsco-mexico-sp2/contact-tarsco-mexico>
- [www.tfwaren.com/companies/110-tarsco-welded-tank /locations/589-tarsco-welded mexico-location](http://www.tfwaren.com/companies/110-tarsco-welded-tank-locations/589-tarsco-welded-mexico-location) in [linkedin.com/company/tarsco mexico](https://www.linkedin.com/company/tarsco-mexico)  
[http https://tfwaren.com/companies/110-tarsco-welded tank](http://https://tfwaren.com/companies/110-tarsco-welded-tank)  
[/www.facebook.com/agcm tarsco](https://www.facebook.com/agcm-tarsco)
- <https://www.gettyimages.es/fotos/membrana-celular>  
[/p.scribd.com/document/405779355/Tanque de Almacenamiento-Esferico-de-GLP pdf](https://p.scribd.com/document/405779355/Tanque-de-Almacenamiento-Esferico-de-GLP-pdf) [www.dgac.gob.bo/wp-content/uploads/2018/05/MIO-1.pdf](http://www.dgac.gob.bo/wp-content/uploads/2018/05/MIO-1.pdf) [www.dgac.gob.bo/wp-content/uploads/2019/11/MIO.pdf](http://www.dgac.gob.bo/wp-content/uploads/2019/11/MIO.pdf)
- [www.proteccioncivil.es/catalogo/carpeta\\_02/carpeta\\_22/guita/015\\_082.pdf](http://www.proteccioncivil.es/catalogo/carpeta_02/carpeta_22/guita/015_082.pdf)  
[www.alamy.es/imagenes/cuerda alquitranada.html?page=2](http://www.alamy.es/imagenes/cuerda-alquitranada.html?page=2)
- [www.alamy.es/imagenes/journey of games-cook.html](http://www.alamy.es/imagenes/journey-of-games-cook.html)
- [www.alamy.es/imagenes tordenskiold.html](http://www.alamy.es/imagenes/tordenskiold.html)
- [www.alamy.es/imagenes/war-on-denmark.html?page=3](http://www.alamy.es/imagenes/war-on-denmark.html?page=3)
- [www.scielo.org bosgao.php?script=sci\\_arttext&pid=51683-07892016000200006](http://www.scielo.org/bosgao.php?script=sci_arttext&pid=51683-07892016000200006) [www.radio.es/s/tomi30](http://www.radio.es/s/tomi30) [www.coursehero.com file pdbeski/El-calor-especifico-ndica-la-cantidad-de-calor-Joules-que-se-debe-age](http://www.coursehero.com/file/pdbeski/El-calor-especifico-ndica-la-cantidad-de-calor-Joules-que-se-debe-age)

- [www.letsanswers.com/el-calor especifico del agua-es-de-41841kg-ken-cuantosjoules-cambia-la-energitsistemared.com/panel/uploads/biblioteca/2016-04-01\\_09-1 /es](http://www.letsanswers.com/el-calor-especifico-del-agua-es-de-41841kg-ken-cuantosjoules-cambia-la-energitsistemared.com/panel/uploads/biblioteca/2016-04-01_09-1_es)
- [wikipedia.org/wiki/Energia\\_de\\_impacto\\_balistica](http://wikipedia.org/wiki/Energia_de_impacto_balistica))agenciab  
12.mx/noticia/diferencia-datos estructurados-y-da
- [https://www.coursehero.com/file/pabeski/El-calor especifico indica la cantidad de calor-Joules que se-debe-sgre /www.letsanswers.com/el-calor especifico-del-agua-es-de-41841 kg-ken-cuantos joules cambia-la-energia stemamid com/panel/uploads/biblioteca pdf es](https://www.coursehero.com/file/pabeski/El-calor-especifico-indica-la-cantidad-de-calor-Joules-que-se-debe-sgre/)
- [wikipedia.org/wiki/Energia\\_de\\_impacto\\_balistica](http://wikipedia.org/wiki/Energia_de_impacto_balistica)) agenciab
- [www.questionpro.com/blog/es/entrevista-estructurada-y-no-estructurada/docplayer es 90947808-Universidad nacional-autonoma de mexico programa de maestra-y-doctorado-en-r https docplayer es/72576785-Diseno de un recipiente a presion eafenco-modificado por instalacion de un tuboy es scribd.com/document 370008613/ Tanques thomeworkhelpers com/mathematics question 14243925](http://www.questionpro.com/blog/es/entrevista-estructurada-y-no-estructurada/docplayer-es-90947808-Universidad-nacional-autonoma-de-mexico-programa-de-maestra-y-doctorado-en-r-https-docplayer-es/72576785-Diseno-de-un-recipiente-a-presion-eafenco-modificado-por-instalacion-de-un-tuboy-es-scribd.com/document-370008613/)
- [scribd.com/document 476351254](http://scribd.com/document-476351254) La figura-que-se-observa es una copa cando com 81/web/departamentos/biogeo/web/departamento 28CH B3 METABOLISMO/132 FOTO https
- [www.iniguee.com/ spanish english/translation las https doctoro ru eskak proyavlyaetsya-solnechny udarkakov repostono unsa edu pe handle UNSA 9329](http://www.iniguee.com/spanish-english/translation-las-https-doctoro-ru-eskak-proyavlyaetsya-solnechny-udarkakov-repostono-unsa-edu-pe-handle-UNSA-9329)



## ANEXOS

### A.1. CÓDIGO DE SIMULACIÓN EN MATLAB

#### CÓDIGO:

```
x = linspace(0,1500,1500);
y = 320*((sqrt(60/pi)).*(1./((x).^(1.5)))).*exp(-60./(x));
plot(x, y, 'r--', 'Linewidth', 2)

hold on
y1 = 420*((sqrt(80/pi)).*(1./((x).^(1.5)))).*exp(-80./(x));
plot(x, y1, 'g', 'Linewidth', 2)
y2 = 540*((sqrt(100/pi)).*(1./((x).^(1.5)))).*exp(-100./(x));
plot(x, y2, 'b', 'Linewidth', 2)
hold off

xlabel('Axial Length (m)',...
       'FontSize',12,'FontWeight','bold','Color','k')
ylabel('Thickness (mm)',...
       'FontSize',12,'FontWeight','bold','Color','k')
axis([0 1500 0 1.6])
```

#### CÓDIGO:

```
x = linspace(0,1000,1000);
y2 = 55*((sqrt(10/pi)).*(1./((x).^(1.5)))).*exp(-10./(x));
plot(x, y2, 'y', 'Linewidth', 2)

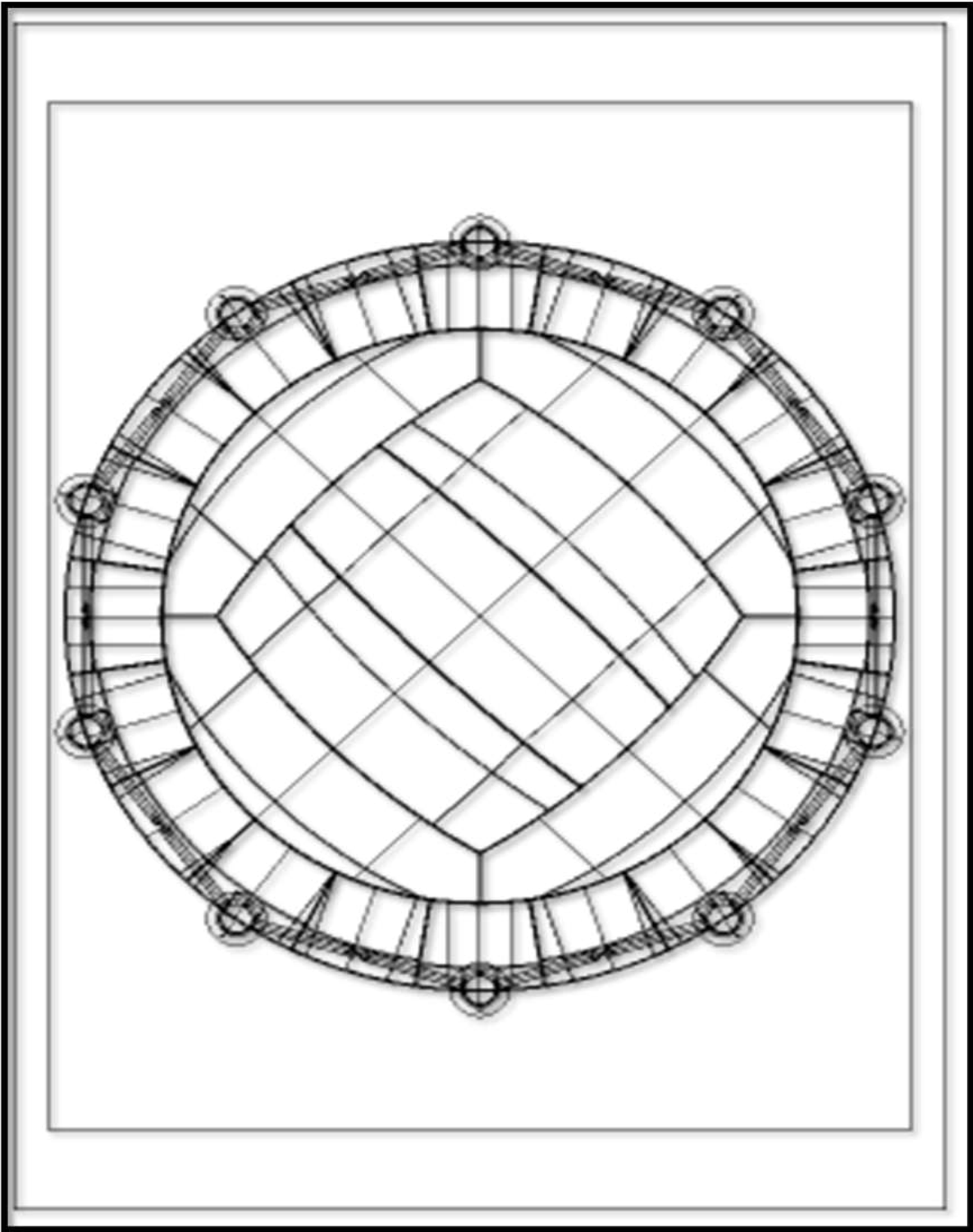
hold on
y1 = 60*((sqrt(10/pi)).*(1./((x+1).^(1.5)))).*exp(-10./(x+1));
plot(x, y1, 'g', 'Linewidth', 2)
y = 45*((sqrt(10/pi)).*(1./((x-10).^(1.5)))).*exp(-10./(x-10));
plot(x, y, 'r--', 'Linewidth', 2)
hold off

xlabel('Axial Length (m)',...
       'FontSize',12,'FontWeight','bold','Color','k')
ylabel('Thickness (mm)',...
       'FontSize',12,'FontWeight','bold','Color','k')
axis([0 1000 0 1.6])
```

## CÓDIGO:

```
x = [0 2 3 6 9 12 15 18 21 24 30];
y = [1 0.944 0.921 0.899 0.885 0.88 0.875 0.873 0.870 0.869 0.867];
plot(x, y,...
     'LineStyle', 'none',...
     'Marker', 'd',...
     'MarkerEdgeColor', [0.65 0.65 0.65],...
     'MarkerFaceColor', [0.65 0.65 0.65],...
     'MarkerSize',10)
hold on
ec = polyfit(x,y,6);
x2 = polyval(ec,x);
plot(x, x2,'k','Linewidth',2)
hold off
xlabel('Time (h)', 'FontSize',12,'FontWeight','bold','Color','k')
ylabel('r_i/R', 'FontSize',12,'FontWeight','bold','Color','k')
axis([0 30 0.8 1])
```

**A.2. VISTA DEL PLANO SUPERIOR DEL TANQUE ESFÉRICO**





**Tarsco**  
a TF Warren Company



**Full service provider for storage tanks and terminals**

Spherical shaped storage in the form of ASME pressure vessels are used in gas and liquid storage in many industries including midstream, downstream, petrochemical, chemical, waste water, and aerospace. Spheres can store many products such as anhydrous ammonia, LPG, NGL, gasoline, naphtha, butadiene, ethylene, hydrogen, oxygen, nitrogen, argon, LNG, biogas, sewage gas and waste water.

A spherical shape offers uniform stress distribution under internal loading resulting in highly efficient pressurized storage. Sphere storage results in the lowest land space for pressurized storage and offers lower costs for foundations, coatings, accessories, and piping than other options.

Tarsco can assist you with sphere storage for ambient, low, or cryogenic temperature applications.

We provide EPC/Turnkey solutions for ASME sphere storage in accordance with our ASME Certificates of Authorization for Section VIII, Divisions 1 and 2 vessels, as well as sphere/vessel repair in accordance with our National Board R Certificate of Authorization. Our team includes numerous industry experts in the design, project engineering, fabrication, construction, coatings, and insulation of spheres with more than 200 man years of proven experience.

Spheres can be built from 1,000 barrels to 75,000 barrels of capacity with the table illustrating typical larger sized spheres based on barrel sizes with sphere diameters, number and sizes of column legs.

# ASME SPHERES

Typical larger sized sphere sizes:

Diameter Ø Feet and Inches	Number Size Of Columns	Capacity / Barrels
54'-0"	9 Ø 32"	15,000
60'-6"	10 Ø 34"	20,000
65'-0"	11 Ø 36"	25,000
69'-0"	11 Ø 40"	30,000
73'-0"	11 Ø 42"	36,000
76'-0"	12 Ø 42"	40,000



Tarsco U.S.  
1400 Woodloch Forest Dr., Ste. 500  
The Woodlands, TX 77380  
(844) 400-8394

Tarsco Canada  
57 Old Onondaga Road West  
Brantford, Ontario N3T 5M1  
(519) 756-8222



**YOUR SINGLE SOURCE  
SOLUTION**  
[www.tfwarren.com](http://www.tfwarren.com)