

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DEL SISTEMA DE SEGURIDAD PARA UNA
PLANTA DE LLENADO DE AEROSOLES**

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

NOEL ALFREDO ORELLANA MORALES

ASESORADO POR: ING. ÉDGAR ADOLFO REYNOSO ENRÍQUEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, FEBRERO DE 2004.

DL
08
†(5570)

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
VOCAL I	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Álvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

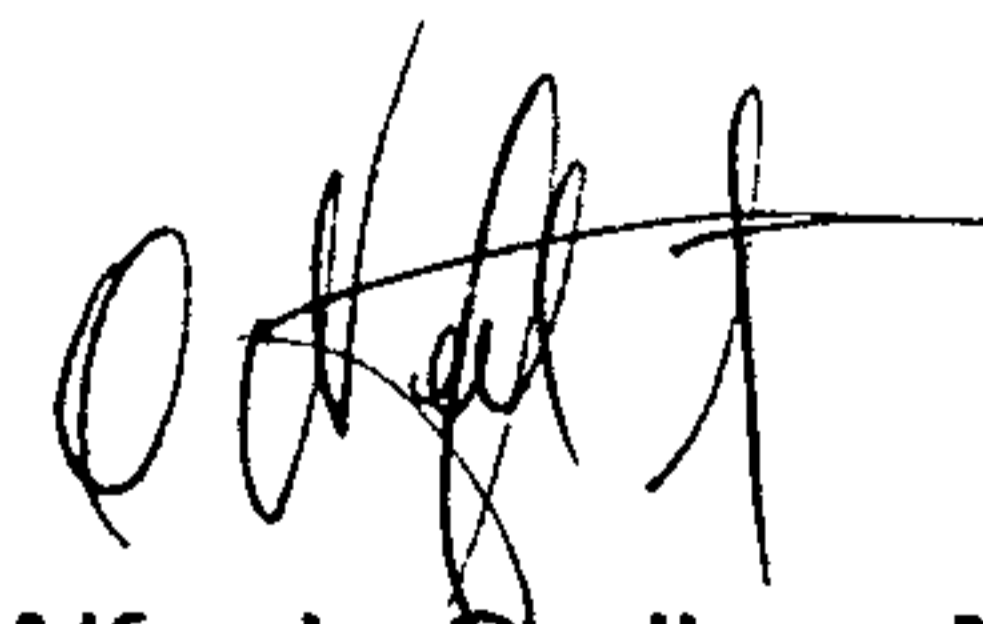
DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. Orlando Posadas Valdez
EXAMINADOR	Ing. Víctor Herbert De León Morales
EXAMINADOR	Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DISEÑO DEL SISTEMA DE SEGURIDAD PARA UNA PLANTA DE LLENADO
DE AEROSOLES**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química con fecha 10 de junio de 2003.



Noel Alfredo Orellana Morales



FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala, 13 de noviembre de 2,003.

Ingeniero
Julio Alberto Rivera Palacios
Director Escuela Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Presente.

Estimado Ingeniero Rivera.

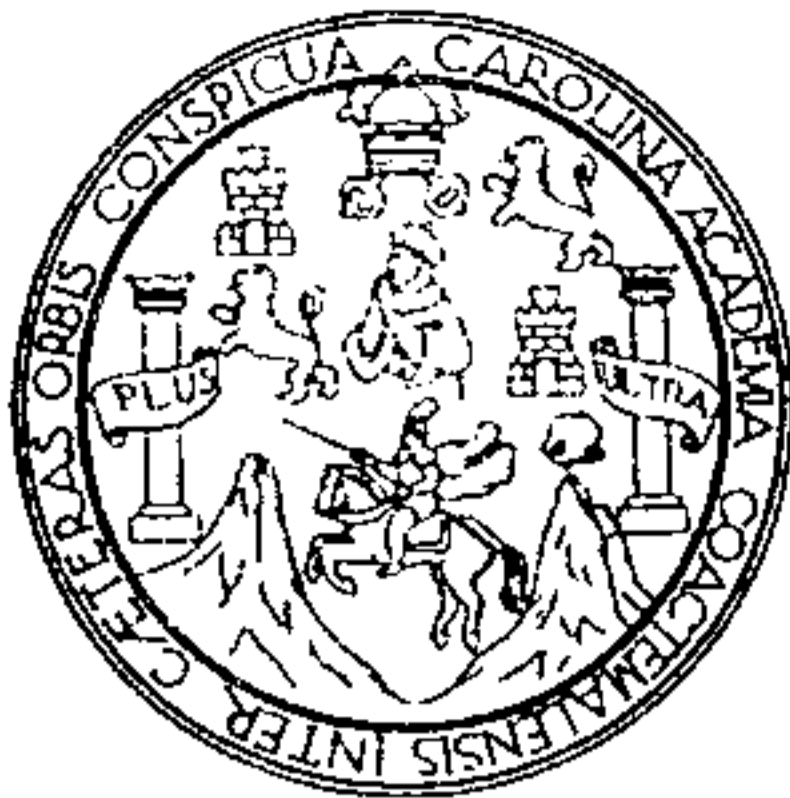
Por este medio hago de su conocimiento que he asesorado el trabajo de Graduación del estudiante Noel Alfredo Orellana Morales titulado: **DISEÑO DEL SISTEMA DE SEGURIDAD PARA UNA PLANTA DE LLENADO DE AEROSOLES**. Considero que el presente informe llena los requisitos por lo que queda aprobado.

Sin otro particular y agradeciéndole la atención que se sirva dar a la presente, le saluda.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Edgar Adolfo Reynoso Enríquez
ASESOR



FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala, 25 de noviembre de 2,003.

Ingeniero
Julio Alberto Rivera Palacios
Director Escuela Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Presente.

Estimado Ingeniero Rivera.

Por este medio hago de su conocimiento que he revisado el trabajo de Graduación del estudiante Noel Alfredo Orellana Morales titulado: **DISEÑO DEL SISTEMA DE SEGURIDAD PARA UNA PLANTA DE LLENADO DE AEROSOLES**, considero que el presente informe llena los requisitos por lo que queda aprobado.

Sin otro particular y agradeciéndole la atención que se sirva dar a la presente, le saluda.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

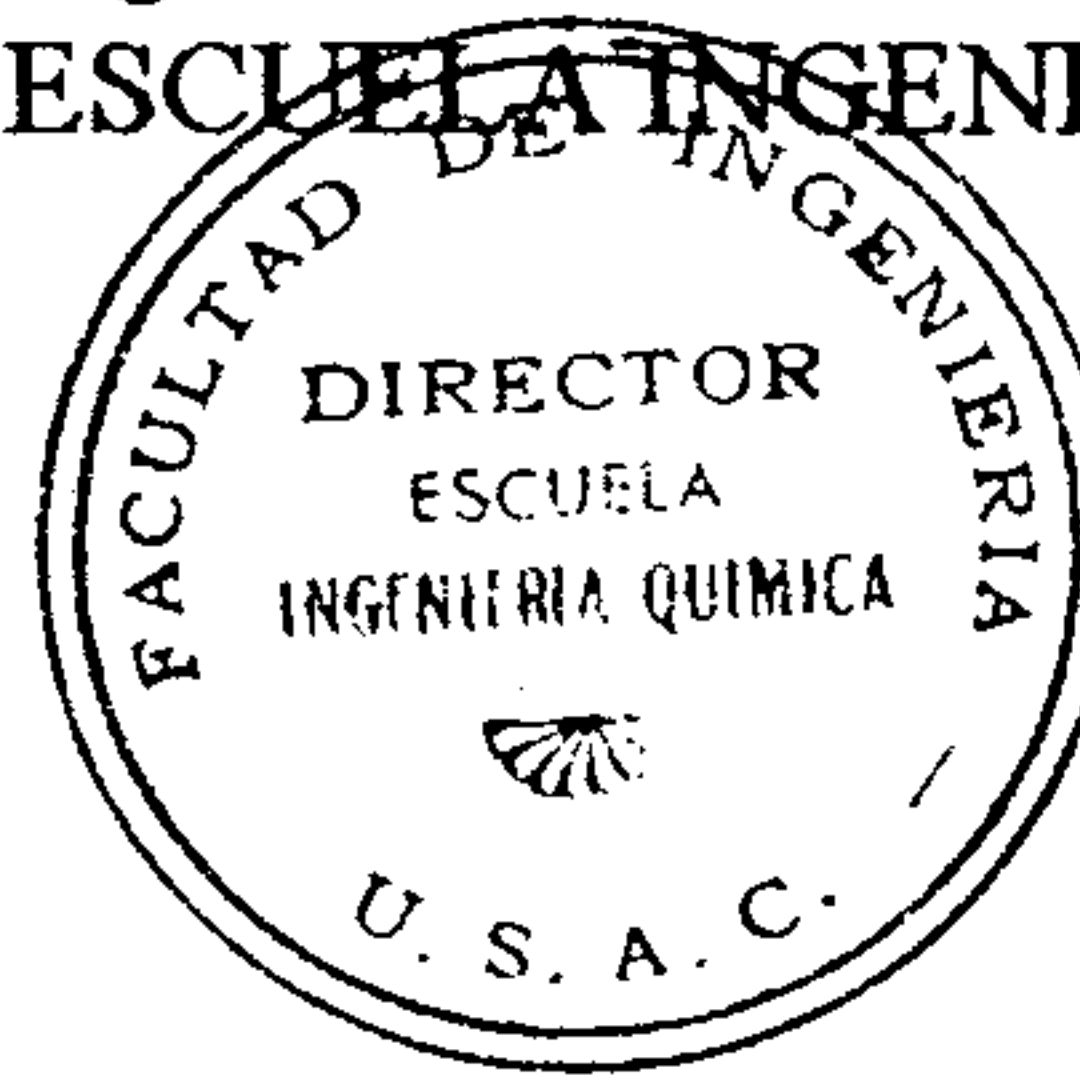

Ing. José Manuel Tay Oroxom
REVISOR



FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Química, Ing. Julio Rivera Palacios, después de conocer el dictamen del Asesor con el Visto Bueno del Jefe de Departamento al trabajo de Graduación del estudiante Noel Alfredo Orellana Morales titulado: **DISEÑO DEL SISTEMA DE SEGURIDAD PARA UNA PLANTA DE LLENADO DE AEROSOLES**, procede a la autorización del mismo.

Ing. Julio Rivera Palacios
DIRECTOR ESCUELA INGENIERIA QUIMICA



Guatemala, enero de 2,004.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA

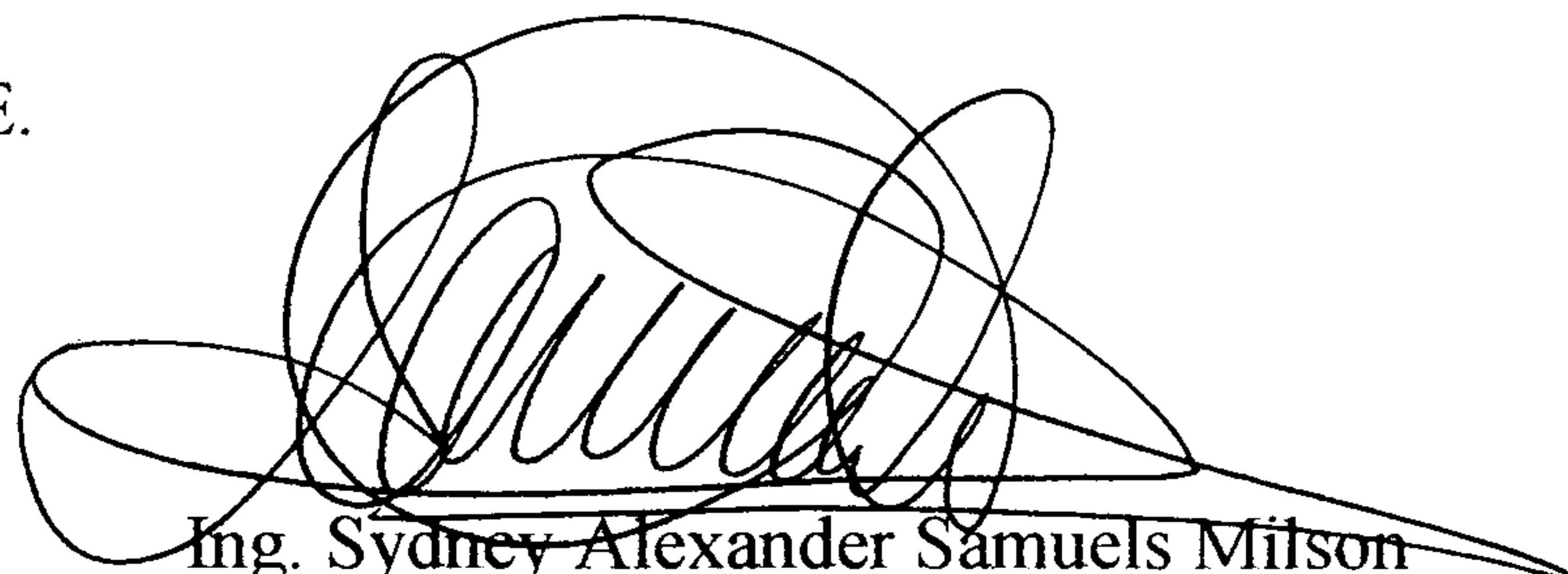


FACULTAD DE INGENIERIA
DECANATO

Ref. DTG. 30-2004.

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de graduación titulado: **DISEÑO DEL SISTEMA DE SEGURIDAD PARA UNA PLANTA DE LLENADO DE AEROSOLES**, presentado por el estudiante universitario **Noel Alfredo Orellana Morales** procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.



Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
DECANO



Guatemala, febrero 3 de 2,004

/gdech

AGRADECIMIENTOS

A DIOS

Por ser mi Padre, mi amigo y por darme la inteligencia y acompañarme día con día durante mis estudios universitarios, enseñándome que junto a Él puedo lograr todo lo que me proponga.

A MIS PADRES

Por brindarme su amor, paciencia, dedicación, apoyo, entusiasmo, ánimo y por estar siempre conmigo ante cualquier situación, demostrándome que siempre puedo contar con ellos.

A MI HERMANA CLAUDINE, ABUELOS Y TÍA SANDRY

Por su constante apoyo, por confiar y creer en mí y por todas sus colaboraciones que hicieron posible que esté alcanzando esta nueva meta.

A LA EMPRESA AFA INTERNACIONAL

Por darme la oportunidad de seguir creciendo como profesional, por haberme abierto sus puertas entusiasmándome siempre a seguir adelante alcanzando mis metas. Además allí he conocido personas a las que admiro y quiero mucho.

A MIS COMPAÑEROS Y AMIGOS DE UNIVERSIDAD

Fagiani (Julio), Karen, Vilma, Byron y Gloria por haber pasado 5 años juntos apoyándonos y ayudándonos en todo momento; esta meta hubiera sido mucho más difícil de alcanzar sin la ayuda de todos ustedes.

A LA UNIVERSIDAD

Por enseñarme a ser un profesional responsable, capaz y con las armas necesarias para ejercer mi profesión de una manera digna.

AL MOVIMIENTO *SEGUIDORES DE CRISTO*

Especialmente a mi comunidad, Vida Joven, y al Grupo de San Francisco, por ayudarme a ser la persona que Dios quiera que yo sea y siempre recordarme que todo lo que Dios nos ayuda a alcanzar debe ser puesto al servicio de los demás.

A MIS AMIGOS DE SIEMPRE

Alex, Susy y Hansel, porque siempre confiaron en mí y me demostraron su cariño en cada momento difícil, así como se alegraron en mis momentos de logros.

DEDICATORIA

A DIOS

Porque este triunfo no es mío sino suyo, porque es Dios quien me trajo hasta aquí,
Porque le he entregado mi vida y cada éxito que alcance es porque Él esta presente. De
la misma manera que quiero dedicarle mi vida, quiero dedicarle este trabajo de
graduación.

A MIS PADRES

Por haberme dado los valores y principios que hoy me hacen alcanzar esta meta
profesional. Por ser mi motivación para seguir superándome y creciendo cada día.

A TODOS MIS AMIGOS QUE CONFÍAN EN MÍ

Porque sé que existen muchas personas que siempre han confiado en mí y sé que esa
confianza que me tienen me ha ayudado a alcanzar las metas que me propongo.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	IV
GLOSARIO	VI
RESUMEN	IX
OBJETIVOS	X
INTRODUCCIÓN	XI
1. ASPECTOS GENERALES	1
1.1. Tipos de propelentes utilizados.....	2
1.1.1. Propelente GLP.....	3
1.1.2. Características fisicoquímicas del GLP.....	4
1.1.3. Propiedades termodinámicas del GLP.....	5
1.2. Proceso de producción en la planta.....	6
1.2.1. Diagrama de flujo del proceso.....	6
1.2.2. Área de llenado y formulado (sólidos y líquidos).....	6
1.2.3. Área de sellado neumático de la válvula.....	7
1.2.4. Área de gasificado.....	7
1.2.5. Área de control de fugas y secado.....	8
1.2.6. Área de empaque.....	9
1.2.7. Área de bodegas.....	9

2.	SEGURIDAD EN LAS INSTALACIONES DE LA PLANTA.....	11
2.1.	Ubicación de la planta.....	11
2.2.	Infraestructura.....	13
2.3.	Distribución de las áreas de trabajo.....	14
2.4.	Tuberías e instalaciones eléctricas.....	16
2.4.1.	Tuberías para propelentes.....	16
2.4.2.	Tuberías conductoras de vapor.....	18
2.4.3.	Instalaciones eléctricas.....	19
3.	SEGURIDAD EN LA MAQUINARIA Y EQUIPO UTILIZADO.....	21
3.1.	Máquina gasificadora y selladora neumática de válvulas.....	21
3.2.	Tanques de almacenamiento de propelente.....	23
3.2.1.	Normas de instalación.....	24
3.2.2.	Normas de seguridad.....	26
3.2.3.	Trasiego de propelente a los tanques.....	27
3.2.4.	Aspectos generales de seguridad.....	29
3.3.	Equipo para trasladar fluidos (bombas).....	30
3.4.	Otros equipos y máquinas utilizados.....	31
4.	SEGURIDAD EN EL PROCESO PRODUCTIVO DE LA PLANTA.....	33
4.1.	Descarga y almacenamiento de materia prima.....	33
4.2.	Llenado y formulación de productos.....	34
4.3.	Gasificado de los botes.....	35
4.4.	Comprobación de fugas y secado.....	37
4.5.	Empaque y almacenaje de producto terminado.....	38

5. SEGURIDAD INDUSTRIAL	39
5.1. Equipo de seguridad.....	39
5.2. Normas de seguridad para el personal.....	41
5.3. Aspectos preventivos y correctivos	
5.3.1. Control de desastres.....	42
5.3.2. Plan de contingencia.....	43
5.3.3. Señalización.....	45
5.3.4. Rutas de evacuación y capacitación del personal.....	46
6. SEGURIDAD AMBIENTAL	49
6.1. Manejo de desechos.....	49
6.1.1. Control de emisiones gaseosas.....	49
6.1.2. Desechos sólidos y líquidos.....	50
6.2. Impacto al medio ambiente.....	51
6.3. Plan de seguridad ambiental.....	52
6.4. Alternativas de solución para el problema de la disposición final de los botes de aerosol vacíos.....	54
7. ESTUDIO DE COSTOS	57
7.1. Costo del equipo de seguridad.....	57
7.2. Gastos de instalación.....	58
7.3. Costo Anual Uniforme del Proyecto de Seguridad.....	58
CONCLUSIONES	61
RECOMENDACIONES	63
REFERENCIAS	64
BIBLIOGRAFÍA	65
APÉNDICE	66
ANEXOS	67

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Partes de un aerosol y su funcionamiento	1
2.	Distribución de áreas de trabajo en una planta de llenado de aerosoles	15
3.	Densidad del GLP vrs temperatura	68
4.	Presión del GLP vrs. temperatura para mezcla con bajo contenido de butano	69
5.	Presión del GLP vrs. temperatura para mezcla con alto contenido de butano	70
6.	Diagrama de flujo del proceso de fabricación de un desmanchador de tela en aerosol, conteniendo sólidos quelantes y solventes líquidos	71
7.	Tanque para comprobación de fugas de 5 canastas	72
8.	Aumento de la presión dentro de un tanque de propelente vrs. temperatura	72
9.	Tanques de almacenamiento de propelente	73
10.	Máquina gasificadora semiautomática	73

TABLAS

I.	Costos del equipo de seguridad para la planta de llenado de aerosoles	66
II.	Presiones de diferentes mezclas de butano, propano e isobutano	67

GLOSARIO

Actuador o Activador	Dispositivo que se coloca en la salida de la válvula del bote y permite la salida a presión del aerosol.
Botes de latón	Botes para aerosoles hechos de una aleación de cobre y estaño.
Butano	Hidrocarburo saturado con 4 carbonos lineales en su estructura molecular.
CAUE	Costo Anual Uniforme Estimado. Este cálculo proporciona información sobre los pagos anuales que se deben hacer en un proyecto al realizar una inversión inicial determinada con un interés específico.
CFC'S	Compuestos orgánicos denominados fluoroclorocarbonados por poseer en su estructura átomos de cloro y fluor; son dañinos a la capa de ozono.
Corriente estática	Corriente que se genera por la electricidad estática, la cual se produce por frotamiento o rozamiento de cuerpos que fácilmente excitan los átomos exteriores de su estructura.

Fuentes de ignición	Cualquier objeto o material que produzca el calor suficiente para iniciar una flama.
Gasificado	Proceso por el cual se introduce el propelente GLP al bote para aerosol, logrando con esto el gasificado interno del bote y la generación de presión de propulsión del producto.
GLP	Gas licuado del petróleo, LPG por sus siglas en inglés. Mezcla de hidrocarburos de bajo peso molecular utilizado como propelente en la industria de los aerosoles.
Isobutano	Hidrocarburo saturado que tiene 4 átomos de carbono en su estructura, estando uno de ellos como ramificación dentro de su composición molecular.
Límite inferior de explosividad	Porcentaje mínimo en volumen de un gas mezclado con aire en el cual un compuesto puede llegar a provocar explosiones o autoinflamarse.
Material combustible	Todo aquel material que puede ser quemado en presencia de oxígeno y calor.
Propano	Hidrocarburo saturado que tiene 3 carbonos lineales en su estructura molecular.
Propelente	Fluido bajo presión destinado a vehicular la salida al exterior de un producto determinado que se encuentra dentro de un bote herméticamente sellado.

Válvula *By-Pass*

Válvula que se encarga de desviar el flujo dentro de una tubería en otra dirección, cuando la dirección requerida se encuentra bloqueada o parcialmente fuera de servicio.

Válvula para aerosol

Dispositivo encargado de activar y bloquear la salida del propelente que se encuentra dentro del bote.

RESUMEN

El presente trabajo de graduación diseña el sistema de seguridad que debe tener una planta de llenado de aerosoles, partiendo de los conocimientos generales de los propelentes utilizados, sus propiedades, características y riesgos. El informe incluye normas de seguridad nacionales, COGUANOR, e internacionales en las instalaciones (estructura civil, tuberías de vapor y propelente, electricidad y distribución de áreas de trabajo dentro de la planta), la seguridad en los diferentes equipos que se utilizan, tanques de almacenamiento de propelentes, bombas, maquinaria de llenado, maquinaria de empaque y de seguridad.

El informe incluye además aspectos de seguridad industrial y la protección del medio ambiente, siendo este último una prioridad para el diseño del sistema de seguridad en la planta. Se plantean alternativas para disminuir o minimizar el problema de la disposición final, compactación y transporte de los botes de aerosol vacíos, que actualmente constituyen un contaminante del ambiente.

Finalmente, se hace un estudio de costos y de la inversión necesaria para llevar a cabo este proyecto, desglosando los diferentes costos involucrados tanto en la adquisición de los diversos equipos como los gastos de instalación y mantenimiento mensual estimado. Se plantea el impacto que representa la instalación del sistema de seguridad en los costos totales de la planta.

Este trabajo será realizado con base en el anteproyecto de *diseño de una planta de llenado de aerosoles* realizado por una empresa fabricante de químicos desmanchadores de tela instalada en Guatemala.

OBJETIVOS

General:

- Diseñar y proponer el sistema de seguridad para una planta de llenado de aerosoles a instalarse en Guatemala

Específicos:

1. Estudiar las áreas de trabajo dentro de una planta de llenado de aerosoles y recomendar el sistema de seguridad en las instalaciones de la planta
2. Conocer la maquinaria y equipo utilizado en la planta de llenado de aerosoles tomando en cuenta sus normas de instalación, funcionamiento y seguridad
3. Mostrar los diversos factores y procedimientos que afectan la seguridad en el área de producción de una planta de llenado de aerosoles y encontrar métodos preventivos y correctivos
4. Analizar algunos impactos al ambiente que provoca la instalación y funcionamiento de una planta de llenado de aerosoles, proponiendo medidas de control
5. Elaborar un estudio de costos del equipo para la seguridad de la planta y evaluar los gastos que representa su implementación

INTRODUCCIÓN

Una planta de llenado de aerosoles cuenta con una variedad de procesos que involucran la manipulación directa de compuestos químicos volátiles, inflamables, tóxicos y de cuidados especiales. Por eso, el sistema y las medidas de seguridad con que debe contar una planta de este tipo deben ser muy rigurosos, desde la compra de los químicos propelentes, hasta el despacho final de los diferentes productos terminados en aerosol. Actualmente en Guatemala las plantas de llenado de aerosoles utilizan gases licuados de petróleo (GLP) como propelente para el llenado de sus productos, existiendo estos propelentes en combinaciones diversas de alcanos de relativo bajo peso molecular, especialmente mezclas de butano, isobutano y propano.

El sistema de seguridad debe estar ubicado y controlado a lo largo de todo el proceso de la planta, para poder evitar así cualquier riesgo tanto para la planta como para la seguridad humana. Es importante que los procesos realizados en la planta sean perfectamente conocidos, para poder prevenir y detectar cualquier peligro dentro de la planta. Además, el conocimiento de las propiedades fisicoquímicas y termodinámicas de los propelentes utilizados ayuda a establecer controles específicos y planes de contingencia eficientes.

Por medio del presente informe se pretende establecer un sistema de seguridad eficiente, fácilmente manejable y controlable, de tal manera que las empresas de llenado de aerosoles o industrias similares puedan hacer uso de este sistema y ajustarlo a sus diferentes necesidades específicas, partiendo de los conceptos generales que este informe proporciona.

El análisis de los diferentes componentes esenciales en una planta de llenado de aerosoles y las diferentes distribuciones óptimas de las áreas de trabajo que presenta este informe, permite observar un panorama amplio para el conocimiento general de una planta de llenado de aerosoles y los diferentes aspectos de seguridad que involucra el diseño y la instalación de la misma.

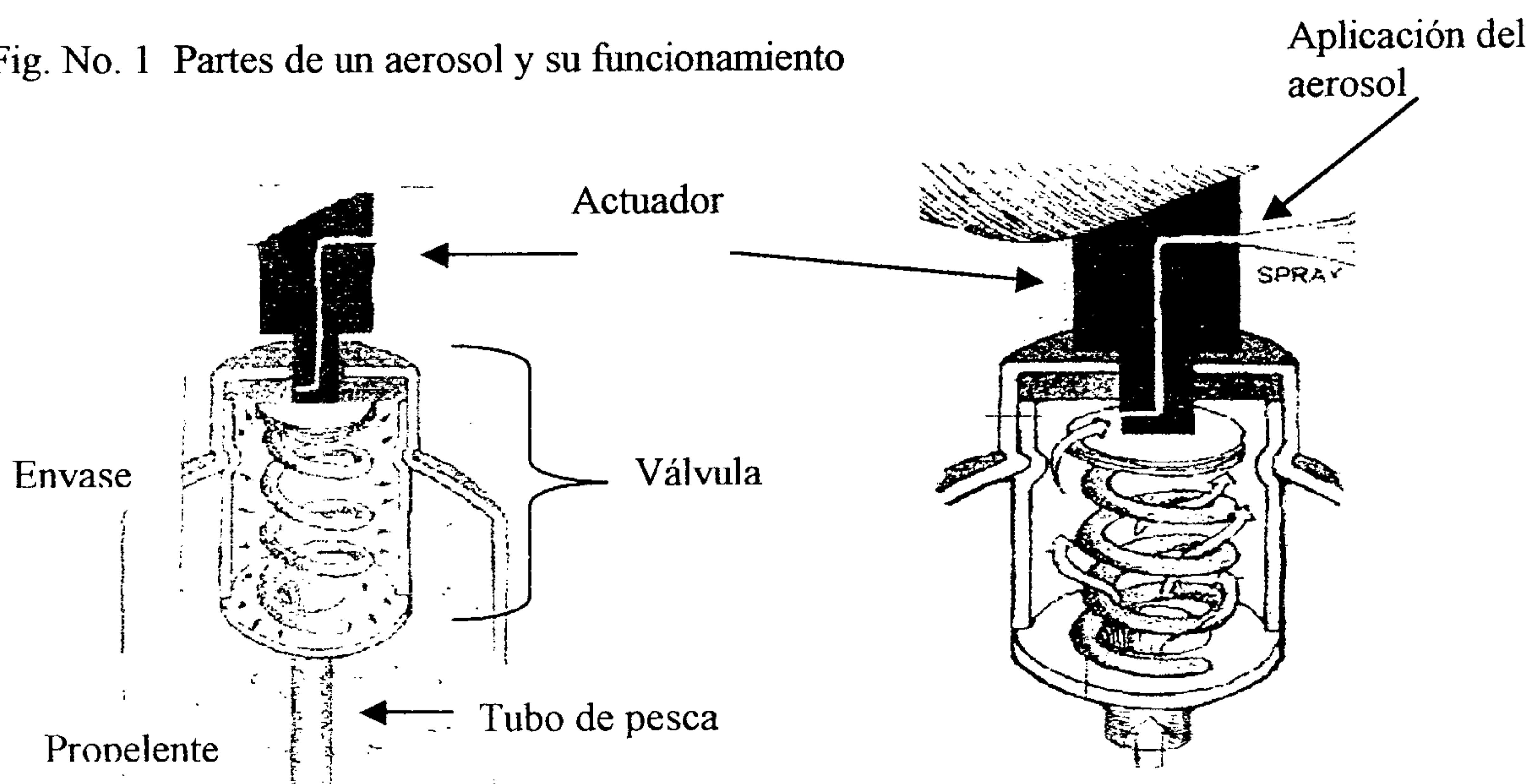
1. ASPECTOS GENERALES

En su acepción general, un aerosol es la dispersión de pequeñas partículas de un sólido o de un líquido suspendidas en un gas. Sin embargo, en la industria se entiende por aerosol un sistema de empaque por el cual diversos elementos activos contenidos en un envase herméticamente cerrado, son expelidos al exterior por la acción de un gas que actúa como propelente, controlándose la salida por medio de una válvula actuadora. (2-

1) Un aerosol consta de los siguientes elementos (figura No. 1):

- Actuador o activador
- Válvula
- Tubo de pesca
- Envase
- Propelente
- Ingrediente activo disuelto o en suspensión

Fig. No. 1 Partes de un aerosol y su funcionamiento



Una planta de llenado de aerosoles se caracteriza principalmente por la fabricación de una gran variedad de productos en aerosol, es decir, con las propiedades antes descritas.

El propelente es un fluido bajo presión destinado a vehicular la salida al exterior del producto activo contenido en el aerosol a través de una válvula cuando esta es activada. Los propelentes utilizados por las plantas de llenado de aerosoles deben cumplir con ciertos requisitos para su utilización dentro de las diferentes industrias que utilizan los productos en aerosol. Las principales características que deben tener los propelentes son las siguientes:

- No tóxicos
- Altamente estables
- No corrosivos
- No inflamables
- No reaccionar con los productos en la mezcla
- No presentar efectos secundarios al ser inhalados

1.1. Tipos de propelentes utilizados

En años pasados los propelentes más utilizados en numerosas industrias eran los CFC's (compuestos orgánicos halogenados denominados Cloro-fluoro-carbonos) por sus grandes virtudes para la formación de aerosoles y su relativo bajo costo. Estos compuestos fueron adoptados inicialmente por las industrias de higiene personal, pero luego se utilizaron en muchos otros tipos de industrias; sin embargo, debido a los problemas que estos compuestos orgánicos causan a la capa de ozono, hoy en día su utilización está altamente controlada y prohibida en muchos países del mundo (2-2).

Después de los CFC's, surgieron otros propelentes muy utilizados en las diferentes industrias, siendo el más usado el denominado GLP, que es una mezcla de gases hidrocarburos, especialmente butano y propano; también se pueden mencionar el dióxido de carbono (CO₂), el nitrógeno molecular (N₂), el dimetileter (DME), entre otros.

En Guatemala se utiliza mayoritariamente el GLP como propelente para los distintos productos en aerosol. Por eso, el presente informe se basa en el GLP como el propelente utilizado en las plantas de llenado de aerosol y sobre este se fundamenta el estudio del diseño del sistema de seguridad. Sin embargo, es importante mencionar que la tendencia mundial en el uso de los propelentes ha tenido un cambio con el surgimiento de los denominados HFC's, que son los compuestos fluorocarbonados que han resultado de gran aceptación por sus grandes cualidades propelentes y su relativo bajo costo.

1.1.1. Propelente GLP (Gas Licuado del petróleo)

El propelente GLP está compuesto principalmente de una mezcla de butano y propano, aunque en algunos casos se le puede agregar isobutano y otros hidrocarburos de peso molecular muy similar. La mezcla de butano con propano puede variar de acuerdo a la presión final que se quiera en el producto que se desea fabricar. Para conocer las diferentes presiones que se obtienen de las distintas mezclas puede observarse la tabla II en la sección del anexo, en donde se observan las presiones de vapor de las mezclas que contienen n-butano, propano e isobutano.

La mezcla de hidrocarburos en el GLP puede tener presiones desde 17 psi hasta 110 psi, de acuerdo a la cantidad de cada componente en la mezcla. Además, es un propelente no corrosivo, inodoro, tiene bajo costo comparado con otros propelentes, es estable a largo tiempo, fácilmente almacenable y bombeable por sus condiciones

termodinámicas y fisicoquímicas, no contamina la capa de ozono ni los suelos, no es cancerígeno, no es tóxico y es una sustancia reconocida por la FDA (Food & Drug Administration) como seguras si están en contacto con los comestibles. Es importante mencionar también que el GLP se puede obtener con un alto grado de pureza, es natural y muestra mucha versatilidad y eficiencia en la utilización como propelente. (2-2)

1.1.2. Características fisicoquímicas del GLP

Algunas de las propiedades fisicoquímicas del GLP son las que lo hacen un propelente altamente eficiente en la industria de los aerosoles. Estas características son las siguientes (1-125):

- Es soluble en alcohol, cloroformo, cloruro de metileno y éter y tiene muy buen comportamiento con muchos otros solventes orgánicos.
- Tiene buenas propiedades dispersoras, por lo que al cambiar de un estado de alta presión a uno de baja presión tiende a dispersarse ampliamente cargando consigo el producto activo que se desea aplicar.
- Es de baja tensión superficial, por lo que mejora aún más la atomización de las sustancias activas.
- Es de baja densidad y peso molecular. figura No. 3 (Anexos).
- Aunque es inflamable, no es altamente inflamable y se puede trabajar en ambientes seguros con corrientes de aire de hasta 15 m/min.
- Tiene un poder disolvente alto.
- Posee cero de coeficiente de calentamiento global.

1.1.3. Propiedades termodinámicas del GLP

La mezcla de hidrocarburos, butano, propano e isobutano, en el GLP, hacen que sus propiedades termodinámicas puedan ser ligeramente variadas al cambiar el porcentaje de mezcla. Esta característica especial hace muy versátil al GLP en relación con otros tipos de propelentes. La presión final de equilibrio de los botes sellados es una de las variables más controladas en la industria de llenado de aerosoles, debido a que determinados productos pueden ser atomizados a mayores presiones que otros productos que necesitan una presión interna del bote mucho menor. Las presiones óptimas que deben tener los botes en los diferentes productos, puede ser calculada por medio del conocimiento de las presiones parciales de cada compuesto en la mezcla y su presión parcial ejercida en el bote. De esta manera se puede tener una variedad de presiones interiores en los botes y utilizar la que mejor se adapte al producto al que se está aplicando.

Otra propiedad que hace del GLP un propelente excelente en la industria de los aerosoles es su capacidad de mantener la presión constante dentro de los botes de aerosoles. A diferencia de otros propelentes, como el dióxido de carbono y el nitrógeno, los cuales son gases incompresibles, el GLP mantiene el equilibrio líquido-vapor dentro del bote a medida que este se va vaciando, lo que hace que todo el producto que se desea aplicar pueda salir atomizado en cualquier momento mientras el GLP permanezca en la mezcla dentro del bote (1-130). Otros propelentes, como los mencionados anteriormente, pierden la presión a medida que avanzan las aplicaciones, por lo que la presión de un bote en sus aplicaciones iniciales es mayor que la presión en las aplicaciones finales y muchas veces el producto no logra salir completamente por la escasa presión que estos propelentes le dan a la mezcla después de algunas aplicaciones.

El comportamiento de la presión del GLP respecto a la temperatura puede observarse en las figuras No.4 y No. 5 del Anexo, en donde se representan dos diferentes tipos de mezclas de hidrocarburos y las variaciones de presión respecto a la temperatura.

1.2. Proceso de producción en la planta

El proceso de producción en una planta de llenado de aerosoles puede variar de acuerdo al producto que se está fabricando. Sin embargo, existen ciertos procesos que son comunes dentro de este tipo de plantas. Dentro de una planta de llenado de aerosoles, las diferentes áreas de trabajo que componen el proceso general de la misma están ordenadas en secuencia lógica, de manera que se optimicen todos los procesos y se eviten las pérdidas por factores diversos.

1.2.1. Diagrama de flujo del proceso

En la figura No. 6 del Anexo se presenta el diagrama de flujo para la producción de un desmanchador de tela en aerosol, el cual, dentro de su formulación activa, lleva un solvente orgánico y uno sólido quelante en polvos finos (7-15).

1.2.2. Área de llenado y formulado (sólidos y líquidos)

En el área de llenado y formulado se agrega a los botes o latas para aerosoles, el producto activo que se quiere atomizar por medio del propelente. Aquí se agregan a los botes los componentes químicos en las cantidades exactas para su aplicación en aerosol. En algunos productos la formulación incluye algunos sólidos en polvos o soluciones

coloidales de sólidos suspendidos en líquidos. Esta área es de gran cuidado e importancia en el proceso, ya que si algunos botes no llevan la fórmula correcta, los productos no tendrán los resultados deseados (7-6).

El llenado de los sólidos y líquidos en los botes de aerosoles generalmente se realiza manualmente o en máquinas dosificadoras por peso. En el caso de los procesos manuales se debe tener un control de pesos por medio de una balanza especial, para que las cantidades agregadas sean las exactas de acuerdo a la formulación del producto.

1.2.3. Área de sellado neumático de la válvula

Esta área del proceso es posterior al área de llenado y formulado de la mezcla activa, y consiste inicialmente en la colocación de la válvula en el bote y, luego, en el sellado neumático de las válvulas en los botes de aerosol. El sellado neumático puede realizarse con maquinaria que sea manual, semiautomática o automática, de acuerdo a los niveles de producción de la planta. Generalmente en este proceso se utiliza maquinaria con compresores de aire que son capaces de producir mas de 120 psi de presión.

1.2.4. Área de gasificado

El área de gasificado consiste en el llenado de los botes con el propelente, lo cual se hace por medio de equipo especial que trabaja a presiones altas. El proceso de llenado del propelente se realiza inmediatamente después del sellado neumático de los botes, y proporciona la presión dentro del bote para que el producto sea atomizado en forma de aerosol cuando sea activada la válvula.

Este es el proceso que identifica a las plantas de llenado de aerosoles, pero también es el proceso que debe tener mayor control y cuidados. La forma incorrecta de manipulación del equipo de gasificado y el empleo de malos métodos de control de fugas pueden generar incendios y explosiones en esta parte del proceso.

1.2.5. Área de control de fugas y secado

Después de gasificado, el bote debe ser sometido a una prueba de control de calidad, que consiste en sumergir los botes para aerosol dentro de un tanque de 0.4 a 0.6 metros de profundidad por 1 metro de largo (figura No. 7) que contiene agua a 55 – 60 C. A este tipo de procedimiento se le denomina “Baño María”. Los botes son sumergidos 1 a 2 minutos, y durante este tiempo en los botes aumenta la presión interna por el calentamiento del propelente. Si alguna unidad comienza a sacar burbujas, es señal de que tiene fugas, las cuales se pueden presentar por mal sellado de la válvula, envase perforado o ensamblado defectuoso del envase (7-6).

Esta inspección se toma como parte del proceso de llenado porque es una inspección al 100%, es decir, todas las unidades producidas pasan por esta inspección.

Después de revisados los botes en el tanque con agua caliente se procede a secarlos por medio de secadores convencionales de resistencias eléctricas o mediante procesos manuales con telas absorbentes. El objetivo es eliminar la humedad en los botes causada por el proceso de control de fugas.

1.2.6. Área de empaque

Después de secar el bote se procede a colocar los activadores, que son los dispositivos plásticos que activan la válvula y proporcionan la salida del producto en aerosol. Actualmente existen activadores especializados para las diferentes tipos de industrias, presentando variaciones en el tamaño, forma y diámetro de salida del aerosol. Cada tipo de activador tiene ventajas para la industria que los está utilizando.

Después de colocar el activador se procede a etiquetar el bote, si este no tiene la información impresa en el bote. Luego, se coloca la tapadera protectora, la cual evitará que el producto sea aplicado accidentalmente al tocar el activador. Después se coloca en cajas de cartón corrugado y se procede a su estibación y conteo para controles internos de la empresa.

1.2.7. Área de bodegas

El producto que ha sido contado e inventariado, se procede a almacenarlo hasta el despacho final a los clientes. Las bodegas de almacenamiento deben estar bien ventiladas y con espacio suficiente para el despacho de los diferentes productos que se encuentren almacenados.

2. SEGURIDAD EN LAS INSTALACIONES DE LA PLANTA

Una planta de llenado de aerosoles debe cumplir con ciertos requisitos legales para su instalación y funcionamiento dentro del territorio nacional. Estas normas y leyes para las plantas de llenado de aerosoles se basan en los principios de seguridad tanto de la planta como de los alrededores de la misma. Por ello, el diseño de un sistema de seguridad para una planta de llenado de aerosoles debe comprender aspectos de seguridad en la estructura civil de la planta, así como seguridad en las áreas de trabajo, en la ubicación de la planta y en otros aspectos importantes. En el presente capítulo se describen aspectos importantes de la seguridad en las instalaciones de la planta.

2.1. Ubicación de la planta

La ubicación de una planta de llenado de aerosoles es de suma importancia tanto para la logística de producción como para aspectos legales que la restringen a determinadas zonas y bajo lineamientos muy específicos. Las normas de ubicación y procedimientos de instalación de este tipo de plantas están regidas principalmente por la Dirección General de Hidrocarburos del Ministerio de Energía y Minas, de donde emanan todos los requisitos a cumplir para la ubicación e instalación de una planta de llenado de aerosoles.

En aspectos de logística de producción, es importante indicar que una planta debe estar ubicada en el mejor lugar posible para su óptimo funcionamiento. Esto indica que el lugar debe tener una serie de recursos específicos que faciliten la buena operación de la planta. Entre estos recursos se encuentran los siguientes:

- Servicios públicos (agua, energía eléctrica, teléfono, etc.)
- Accesibilidad (Rutas de acceso en buen estado)
- Mano de obra disponible
- Cercana a fuentes de materia prima
- Espacio para futuro crecimiento
- Buena disposición de desechos sólidos y líquidos

Cubriendo estos recursos básicos en la planta, se puede encontrar el lugar óptimo para su ubicación dentro de un determinado territorio.

Las leyes de ubicación de una planta de llenado de aerosoles para Guatemala proporcionan otras directrices a tomar en cuenta para la toma de la decisión final en cuanto a dónde ubicar la planta. El decreto No. 109-97 y acuerdo gubernativo No. 522-99 señala las siguientes normativas: (3-5)

- La planta deberá estar ubicada a una distancia mayor de 100 m de locales públicos como escuelas, hospitales, cines, iglesias, centros comerciales y otros donde se realicen concentraciones de público, ya sea que existan o estén provistos en planos urbanos.
- La planta en ningún caso podrá ubicarse a una distancia menor a 50 metros de estaciones o subestaciones eléctricas.
- La planta se deberá ubicar en lugares abiertos con suficiente ventilación y asegurándose, por medio de estudios ambientales, que el viento no se dirija hacia zonas con gran movimiento de personas, como escuelas, colonias, áreas de recreación, etc.
- No se debe instalar la planta en áreas protegidas ni en reservas naturales.

2.2. Infraestructura

La infraestructura de una planta de llenado de aerosoles contempla, en aspectos generales, los mismos factores que otro tipo de plantas, es decir, se busca una buena distribución de las áreas de trabajo. Sin embargo, las plantas de llenado de aerosoles deben tener características especiales de acuerdo a las normas internacionales, que contribuyen a la construcción de una planta eficiente y segura. Estas normas internacionales son aceptadas e impuestas por el Ministerio de Energía y Minas de Guatemala ante la construcción de una planta de llenado de aerosoles. Las características principales que debe tener una planta de llenado de aerosoles son las siguientes:

- Las diferentes áreas del proceso deben tener suficiente ventilación para evitar acumulaciones altas de GLP; especialmente el área de gasificado deberá tener buena ventilación.
- Los tanques de almacenamiento de propelente deberán estar ubicados fuera del proceso general de fabricación de aerosoles, estando conectados al proceso por tubería especial.
- Las zonas de circulación interna de las plantas de llenado de aerosol tendrán una amplitud suficiente para asegurar el fácil desplazamiento de vehículos y personas.
- Las plantas de llenado de aerosol cuya capacidad de almacenamiento de GLP sea de 40,000 kg o más, deberán contar con dos puertas, una de ingreso y otra de salida, con un ancho no menor a cuatro metros.
- Todas las zonas de estacionamiento, circulación, protección y almacenamiento de las plantas de llenado de aerosol, deben despejarse y mantenerse libres de pastos, plantas, desechos y cualquier otra materia fácilmente combustible.

- Las plataformas de envasado en recipientes portátiles deberán construirse con materiales incombustibles y tener una adecuada y natural ventilación.
- Las paredes de la planta deberán ser preferiblemente de ladrillo o block, no de madera ni materiales fácilmente combustibles.
- Las tuberías deberán ser instaladas bajo lineamientos especiales, que se tratarán mas adelante.
- El sistema de energía eléctrica estará altamente protegido y con utilización de cableado a prueba de explosión, además de otras normas que se tratarán más adelante.

Para la construcción de una planta de llenado de aerosoles, es necesario cumplir con estas normas. De lo contrario, el Ministerio de Energía y Minas no aprobará el funcionamiento de la planta. Además, si no se cumplen estas normas, existen riesgos de que ocurran explosiones, incendios y otros incidentes que pueden afectar la seguridad del personal de la planta.

2.3. Distribución de las áreas de trabajo

Las áreas de trabajo en la planta de llenado de aerosoles deben estar distribuidas de tal manera que sigan un proceso lógico y eficaz, procurando que los diferentes pasos del proceso se beneficien entre sí y no se entorpezcan, creando dificultades entre un proceso y el siguiente. La seguridad dentro de una planta depende de gran manera del proceso general de la misma y la buena distribución de sus áreas de trabajo.

Descripción de áreas de la figura No. 2

1. Estación de pesado de sólidos y colocación de canicas o perliglass
2. Estación de llenado de líquidos
3. Sellado neumático de la válvula
4. Área de gasificado
5. Estación de control de pesos
6. Área de control de fugas y secado
7. Colocación de activadores, tapaderas, etiquetado y empacado
8. Área de bombas
9. Área de almacenamiento de propelentes
10. Área de carga y descarga

2.4. Tuberías e instalaciones eléctricas

Una planta de llenado de aerosoles cuenta con una serie de tuberías y accesorios que deben estar correctamente instalados y bajo lineamientos de seguridad muy estrictos, de manera que contribuyan a la seguridad de la planta.

Las instalaciones eléctricas también necesitan materiales especiales e instalaciones que cumplan normas de seguridad específicas. (Ley General de Electricidad- Ministerio de Energía y Minas)

2.4.1. Tuberías para propelente

Las sistemas de tuberías para propelente deben estar diseñadas para máxima presión, tomando en consideración la presión de vapor ejercida por el propelente, las presiones que se generan por las bombas y las presiones que se generan en la descarga.

Generalmente se recomienda el uso de tuberías de acero, debiendo ser cédula 40 o más en el caso de ser soldadas, y cédula 80, si su instalación es roscada. Además, los accesorios utilizados a lo largo de las tuberías deberán resistir a la acción solvente de los propelentes de hidrocarburos. Las secciones de la tubería que se encuentren entre válvulas de cierre del paso deberán estar protegidas contra la presión hidrostática, colocando válvulas de alivio. Las mangueras o dispositivos finales de descargas deberán ser químicamente resistentes al propelente GLP. Las tuberías que se encuentren muy cercanas a las áreas de producción dentro de la planta se recomiendan que no deben tener un largo mayor a 2 m o 6 pies (1-115).

Las normas de instalación, funcionamiento y seguridad de las tuberías para las plantas de llenado de aerosoles se presentan a continuación:

- En las tuberías que transportan propelente GLP dentro de las plantas está prohibido el uso de válvulas y accesorios de hierro fundido, bronce o cobre. No está permitido el reemplazo de tuberías por mangueras.
- Cuando se instalen tuberías soterradas, la profundidad mínima será de 0.6 m bajo el nivel del piso y contarán con recubrimiento anticorrosivo. Estas tuberías deberán ser soldadas (no roscadas) y no se usarán bridas.
- En el caso de tuberías subterráneas que pasen bajo caminos o calles, la profundidad se determinará considerando el efecto que pueden tener en ellas las cargas originadas por el tráfico.
- Las empaquetaduras de las tuberías roscadas o soldadas deberán ser de material resistente al fuego y al GLP, en su fase líquida, y que garantice hermeticidad.
- Las válvulas de paso podrán ser de tipo macho, tapón autolubricado, de ¼ de vuelta, globo, esférico o similar con bridas o roscadas y con accionamiento a palanca o volante.

- Toda tubería, accesorios y válvulas deberán ser probadas luego de su montaje y en las pruebas se aplicarán presiones que no sean inferiores 1.5 veces a las de operación normal, libre de fugas.

2.4.2. Tuberías conductoras de vapor

El vapor se utiliza dentro de una planta de llenado de aerosoles como parte del calentamiento del tanque para el control de fugas que se utiliza en el proceso de fabricación de aerosoles, ya que la utilización de resistencias eléctricas pueden causar incendios al ponerse en contacto con el propelente. En algunas plantas se utilizan las resistencias eléctricas, pero aisladas del paso de los botes de prueba para que no se produzca ningún contacto entre las resistencias y el propelente que puede salir de un bote en mal estado. Sin embargo debido a que el vapor aún se utiliza en muchas plantas, los siguientes aspectos importantes se deben acatar en las tuberías de vapor.

(1-118)

- Las tuberías de vapor deben estar claramente señalizadas y colocadas en lugares con gran ventilación y lejos del área de gasificado.
- La caldera deberá encontrarse a una distancia mayor de 30 m de la planta de llenado de aerosoles, lejos de los tanques de almacenamiento de propelente, y deberá tener una construcción de block o ladrillo a su alrededor para minimizar cualquier efecto de explosiones.
- La tubería deberá tener recubrimiento de aislantes no inflamables.
- Se colocarán válvulas de alivio en la tubería y la caldera para evitar presiones elevadas. Estas válvulas estarán en lugares especiales que no tengan cercanía con el proceso de gasificado ni con los tanques de almacenamiento de propelente.

2.4.3. Instalaciones eléctricas

Dentro de una planta de llenado de aerosoles, las instalaciones eléctricas deben ser altamente seguras para evitar cualquier riesgo de explosión por fallas, sobrecargas, calentamientos y otros problemas; además, los equipos eléctricos que se manejan dentro de la planta deberán tener medidas de seguridad estrictas y cumplir con ciertos requisitos de instalación y operación. Las normas de instalación y funcionamiento de equipos e instalaciones eléctricas se presentan a continuación:

- Las bombas, compresores y sus motores deberán instalarse sobre bases de concreto de dimensiones apropiadas, exceptuándose el caso de bombas directamente acopladas a recipientes.
- Todos los equipos eléctricos deberán tener conexión a tierra para descarga de la corriente estática.
- Los motores eléctricos deberán ser blindados y a prueba de explosión y tener interruptor automático de sobrecarga.
- Los equipos y materiales antiexplosivos utilizados en este tipo de instalaciones deberán tener inscripciones o certificaciones que indiquen la clase, división y grupo correspondiente a la clasificación de áreas y temperatura de operación y el nombre del laboratorio o entidad que aprobó su uso.
- Los motores eléctricos, utilizados como unidad motriz de bombas o cadenas transportadores en las plataformas de llenado, podrán estar colocados a un nivel diferente al piso de la plataforma siempre y cuando cuenten con ventilación, desagüe y espacio para el mantenimiento adecuado.
- Los equipos eléctricos deberán estar protegidos mediante una zona de seguridad que evite el contacto con vehículos o montacargas.

3. SEGURIDAD EN LA MAQUINARIA Y EQUIPO UTILIZADO

Toda planta de llenado de aerosoles debe cumplir con las normas internacionales de instalación y operación de la maquinaria y del equipo que se utiliza en el proceso de fabricación de los productos en aerosol, debido a que el riesgo de explosión o incendio que se tiene en este tipo de plantas es alto.

La maquinaria y equipo que tienen en común todas las plantas de llenado de aerosoles son las siguientes: máquina gasificadora, maquina selladora neumática de válvulas, tanques de almacenamiento, equipo para trasladar fluidos (bombas). Además, algunas plantas pueden contar con otras máquinas, tales como etiquetadoras de botes, engrapadoras de corrugado, y otras.

A continuación se estudia el sistema de seguridad en las maquinarias y equipos utilizados en la planta de llenado de aerosoles.

3.1. Máquina gasificadora y selladora neumática de válvulas

La máquina gasificadora es la parte central o principal en una planta de llenado de aerosoles debido a que esta es la que introduce el GLP en los botes de aerosol a los que previamente se les ha agregado la fórmula activa. La máquina gasificadora debe ser de funcionamiento electrónico, por lo que las medidas de seguridad para los cables y el motor de acción de esta se pueden observar en la sección 2.4.3. de este informe.

Esta maquinaria es la que se encuentra en contacto directo con el GLP que, como ya se ha indicado antes, es altamente inflamable. Esto hace que la máquina deba tener una máxima seguridad en su funcionamiento para evitar, así, errores que puedan causar explosiones o incendios en la planta. Las principales consideraciones a tomar en cuenta para el diseño de la instalación de esta maquinaria y su buen funcionamiento se presentan a continuación:

- La máquina debe estar ubicada en un área específica de la planta de llenado de aerosoles, perfectamente diseñada, con mucha ventilación y cercana a la tubería de distribución de propelente.
- La máquina gasificadora deberá ser de materiales que no ocasione chispas fácilmente. Además, deberá estar conectada a tierra, de acuerdo a las normas técnicas, para evitar chispas ocasionadas por la electricidad estática.
- Los accesorios de la máquina gasificadora deberán cumplir con las normas internacionales de calidad. Cualquier reparación de esta máquina deberá incluir repuestos de alta calidad y con las especificaciones exactas de diseño original.
- La máquina debe estar instalada en bases sólidas y rígidas que no permitan el fácil movimiento de la misma y su posible caída.
- Se debe chequear constantemente el estado de la máquina gasificadora y detectar posibles fuentes de fuga. Para esto se recomienda un chequeo diario al inicio de la jornada y al final de la misma. Además, se recomienda el uso de detectores de fugas electrónicos para tener una buena detección de problemas de fugas en la máquina.
- Únicamente personal perfectamente entrenado deberá utilizar la máquina gasificadora, siguiendo las normas de seguridad industrial para el manejo de maquinaria de alto riesgo.

La máquina selladora neumática de válvulas utiliza aire comprimido para lograr la presión de cierre de las válvulas en los botes de aerosoles. Este aire comprimido se logra por medio de un compresor que puede estar ubicado fuera del área de proceso de la planta y bajo las mismas normas de seguridad de las bombas e instalaciones eléctricas estudiadas en la sección 2.4.3. Esta máquina debe cumplir con las normas indicadas para la máquina gasificadora, aunque su control no es tan riguroso, debido a que esta máquina no está en contacto con el propelente GLP.

3.2. Tanques de almacenamiento de propelente

Los tanques de almacenamiento proporcionan el abastecimiento de propelente GLP en una planta de llenado de aerosoles. Estos tanques están estrictamente controlados por las autoridades del país, y su adquisición, instalación y utilización en procesos deben ser autorizadas por la Dirección General de Hidrocarburos, del Ministerio de Energía y Minas.

Antes de instalar un tanque de almacenamiento de propelente se deben cumplir con los requisitos legales que el Ministerio de Energía y Minas tiene estipulado en el decreto No. 109-97 en el acuerdo gubernativo No. 522-99, en donde se contemplan los siguientes requisitos:

- Solicitud por escrito dirigida al Director General de Hidrocarburos indicando los datos generales de la empresa que solicita el permiso, localización y dirección exacta del lugar a ubicar el depósito o tanque de almacenamiento, número de depósitos y capacidad de almacenamiento de cada uno.
- Llenar un formulario emitido por la Dirección General de Hidrocarburos.
- Copia legalizada del título de propiedad del terreno donde se va a instalar el tanque de almacenamiento.

- Copias legalizadas de patente de comercio, nombramiento de representante legal, patente de sociedad, constante de inscripción como contribuyente ante el Ministerio de Finanzas Públicas.
- Plano de ubicación del terreno indicando accesos al lugar, colindancias, fuentes de servicios públicos, áreas verdes, ríos cercanos, etcétera, en formato ICAITI A-4 firmado por un técnico en construcción con el número de registro que lo identifique.
- Plano de localización indicando las construcciones ya existentes y las planificadas, distribución de áreas de trabajo, áreas de iluminación, ventilación, dimensiones generales de la planta, etc. Todo esto en formato ICAITI A-1 firmado por un técnico en construcción con el número de registro que lo identifique.
- Plano de instalaciones eléctricas que indique las redes de suministro de energía eléctrica a las diversas áreas que conforman el expendio de GLP en formato ICAITI A-1, firmado por un técnico electricista con el número de registro que lo identifique.

Después de cumplidos los requisitos de la Dirección General de Hidrocarburos del Ministerio de Energía y Minas, se puede proceder a la instalación de los tanques de almacenamiento, siguiendo las normas de seguridad internacionales. (5-10).

3.2.1. Normas de instalación

La instalación de los tanques de almacenamiento de propelente está regida por las leyes internacionales que se aplican a nuestro país. En el caso de Guatemala la autoridad encargada de la supervisión del cumplimiento de estas leyes o normas es la Dirección General de Hidrocarburos del Ministerio de Energía y Minas. La instalación de estos tanques de almacenamiento debe considerar las siguientes normas para su seguro funcionamiento dentro de la planta (3-12):

- Los tanques de almacenamiento deben soportar presiones muy superiores a la alcanzada por el propelente a temperatura normal. Se recomiendan tanques preparados para soportar presiones de 250 psi.
- Deben tener suficiente iluminación y ventilación natural que permita la recirculación continua de aire en la parte inferior y superior de los mismos.
- Si se tiene mas de 1 cilindro, se deberán dejar más de 90 centímetros entre la instalación de cada tanque.
- Los tanques de almacenamiento deberán instalarse dentro de una zona de protección, delimitada por medios de seguridad, como cercos, barreras o topes, cuyo diseño y materiales deberán proteger a los tanques, accesorios, maquinarias y tuberías contra daños mecánicos que pudiera causar algún vehículo.
- Los tanques se instalarán sobre bases de concreto armado. Los soportes deberán diseñarse considerando todos los esfuerzos que puedan existir, tales como efectos sísmicos, térmicos, vibraciones, etc.
- La altura a la que deberán instalarse los tanques no será menor a 1 m desde el nivel del suelo al nivel inferior del recipiente.
- Los tanques de almacenamiento, antes de su instalación, deberán ser autorizados por la Dirección General de Hidrocarburos.
- Los tanques tendrán sistemas de refrigeración con agua que circule, de ser necesario, cubriendo la carcasa del tanque.
- Para prevenir sobrecargas en la presión interna del tanque, se deben colocar válvulas hidrostáticas o térmicas instaladas entre las válvulas de cierre, en donde el líquido propelente pueda quedar atrapado.

3.2.2. Normas de seguridad

Además de las normas de instalación de un tanque de almacenamiento de propelente, también se deben considerar las siguientes normas de seguridad para su buen funcionamiento (3-16):

- Colocar extintores de polvo químico seco tipo ABC cerca de los tanques de almacenamiento de propelente.
- Los tanques deberán contar con los siguientes accesorios: medidor de nivel con indicador local, manómetro ubicado en el nivel mínimo del líquido, manómetro en la parte superior, válvulas de exceso de flujo en todas las conexiones de ingreso y salidas del GLP, válvulas de seguridad de acuerdo al diseño del tanque y calibrados a presión de diseño, conexión de drenaje con doble válvula.
- Debido a que la presión dentro de un tanque de propelente aumenta considerablemente con la temperatura (Ver figura 8) es importante evitar que el tanque alcance temperaturas altas.
- Los tanques en las plantas deberán someterse a pruebas de presión hidrostática así como de medición de espesores, de acuerdo a la norma técnica vigente.
- Los tanques de almacenamiento deberán estar pintados en forma adecuada y protegidos de la acción de los elementos atmosféricos. Los colores elegidos internacionalmente son los claros, para evitar que por absorción del calor se eleve la presión interna del tanque.
- Las válvulas de seguridad en los tanques deberán ser de materiales anticorrosivos y deberán estar entubadas y protegidas del ingreso de elementos extraños.
- Los manómetros deberán estar colocados de manera que se pueda hacer la lectura fácilmente y con números claros.

- Se deberá colocar una escalera de metal fija unida al tanque, para facilitar la lectura de indicadores de nivel, verificaciones de manómetros y válvulas.
- El GLP almacenado no podrá compartirse con otros productos susceptibles de contaminarse con GLP, principalmente alimenticios.

3.2.3. Trasiego de propelente a los tanques

El propelente GLP es comúnmente trasladado y entregado en planta por dos métodos. El primero, por carros cisterna que tienen un tanque incorporado a la estructura del camión, y el segundo por medio de tanques individuales que se pueden anclar a cabezales. Normalmente la capacidad de estos tipos de transporte es desde 4,000 galones hasta 30,500 en tanques de gran capacidad.

Los carros o camiones para trasladar el propelente hasta la planta deben tener capacidad de almacenamiento menor a la capacidad de tanque instalado en planta. Esto es debido a que la descarga de estos tanques se hace en una operación continua, sin detener el proceso, lo cual puede ser altamente peligroso por la posibilidad de fuga de vapores inflamables; si el tanque que traslada el propelente es más grande que el depósito, puede darse el caso de que no quepa la totalidad del propelente en un solo depósito y haya que trasladar una parte a otro depósito, corriéndose los riesgos antes indicados.

El tanque que transporta el propelente debe contar con licencia para realizar este tipo de operación. Además, debe tener pintura general en buen estado, el tanque asegurado al chasis, salpicaderos y loderas, conexiones eléctricas aisladas, rótulos y luces preventivas, escalera, plataforma antideslizante, conexión a tierra, identificación correcta de los compartimientos, válvulas de descarga protegidas, tapones de seguridad con empaque, mangueras, codos de descarga y válvulas de seguridad en todos los compartimientos.

El cabezal o vehículo debe cumplir con las siguientes especificaciones: pintura general, luces delanteras altas y bajas, luces para pedir vía, luces de freno, luces de emergencia, retrovisores, vidrio frontal y limpiaparabrisas, posición y protección del escape, estado y protección aislante de la batería, herramientas, dos extinguidores ABC con capacidad para diez libras de polvo químico seco con carga y revisión reciente, cinturones de seguridad, lámpara de mano a prueba de explosión. Las llantas deben ser especiales, con grosor mínimo de labor de cuatro décimas de centímetro (0.4 cm).

El trasiego del propelente desde los tanques de transporte hasta los tanques de almacenamiento en la planta debe hacerse por medio de bombas o compresores. La forma de trasiego funciona inicialmente conectando con mangueras especiales el vehículo con el depósito, para luego, remover el vapor del tanque de almacenamiento y licuarlo dentro del tanque del vehículo, creando una diferencia de presiones. Esta diferencia ayuda en el trasiego del propelente. Además, junto con la bomba se puede lograr un flujo de 50 a 125 galones por minuto. La conexión entre el vehículo y el tanque de almacenamiento debe contar con válvulas de emergencia cerradas manualmente, conexiones de mangueras de retorno al vehículo, válvulas antiretorno del flujo y válvulas de seguridad a lo largo de la manguera y en las conexiones de salida del vehículo y de entrada del tanque de almacenamiento. Las normas y cuidados especiales que se debe tener en el trasiego de propelente son los siguientes:

- El proceso de descarga debe estar a cargo de personal calificado y se debe estar pendiente del mismo durante el proceso.
- Se debe colocar un aviso de descarga de líquido inflamable en el lugar donde se esté realizando esta operación.
- Está prohibido fumar o estar cerca de fuentes de calor durante el proceso de trasiego de propelente. Se deben colocar señalizaciones al respecto.
- Se debe colocar cerca extinguidores de fuego durante el proceso de trasiego.

- El transporte se debe colocar a un mínimo de 10 pies de los tanques de almacenamiento.
- Las llantas del vehículo deben estar aseguradas firmemente en el suelo para evitar que el vehículo se mueva.
- Las mangueras para el trasiego deberán tolerar la acción del GLP y deben tener un largo de 10 pies como mínimo.
- Las mangueras deberán soportar presiones mayores a 750 psi.

3.2.4. Aspectos generales de seguridad

Es importante considerar también los siguientes aspectos de seguridad que deben tener los tanques de almacenamiento de propelente (1-150;156):

- No se deben tener fuentes de calor o ignición cercanas a los tanques de almacenamiento de propelente.
- Colocar rótulos de NO FUMAR e INFLAMABLE pintados en la pared, en madera o lamina, en color rojo sobre fondo blanco, ubicados en lugares visibles.
- Solamente personal calificado revisará los manómetros y controlará las válvulas de los tanques de almacenamiento.
- Los tanques de almacenamiento no deberán llenarse al 100% de su capacidad, sino a un 90% de capacidad, a manera de permitir la evaporación y alcanzar el equilibrio líquido- vapor.
- Los tanques de almacenamiento tendrán pintados en letras rojas la palabra INFLAMABLE, con dimensiones de 134 por 20 centímetros y letras de 3 centímetros de grosor.

- El personal que se encuentre a cargo del área de almacenamiento de propelentes debe estar perfectamente uniformado y contar con medidas de seguridad en caso de fugas o emergencias varias.
- Es prohibido el ingreso al área de tanques de almacenamiento a personal que no corresponde a esa área.

3.3. Equipo para trasladar fluidos (bombas)

En la planta de aerosoles se necesita de equipo para el traslado del propelente, no solamente desde el vehículo que lo transporta hacia el tanque de almacenamiento, sino también dentro de la planta para llevarlo al proceso. El equipo más comúnmente utilizado en las plantas de llenado de aerosoles son las bombas, aunque algunas empresas utilizan compresores especializados. En la mayoría de aplicaciones el propelente es transportado desde el tanque de almacenamiento hasta el área de gasificado en estado líquido, con presiones de 50 hasta 250 psi. Son comúnmente utilizadas las bombas de desplazamiento positivo, tales como la de pistón, rotatoria y del tipo turbina.

El movimiento del propelente provocado por las bombas es constantemente interrumpido a causa del tiempo de gasificado de cada bote. Debido a este periodo de cero demanda de propelente es aconsejable colocar válvulas *by-pass* que regresen el líquido hacia el tanque de almacenamiento, permitiendo así que la operación de bombeo se siga efectuando sin la gran liberación de calor que provocaría la evaporación de una parte del propelente, afectando la bomba en el sistema. Es aconsejable que otra bomba alternativa esté lista para su utilización en caso de que la bomba que se está utilizando tenga alguna falla mecánica. De esta manera se evitan paros en la producción por reparación del equipo.

El sistema de bombeo del propelente debe tener incorporado, en la parte de succión, un tamiz que tenga una mesh 40. Además, debe tener en la parte de la descarga un filtro con capacidad para detener partículas mayores a 25 micrones, esta última con cartuchos intercambiables para su fácil mantenimiento y servicio.

Las normas internacionales para la instalación y buen funcionamiento de las bombas dentro de la planta de aerosoles se presentan a continuación:

- Mantener las bombas a una distancia mayor de 2 metros del área de gasificado.
- Las bombas deberán estar colocadas en cuartos especiales con paredes capaces de resistir presiones de mas de 100 psi.
- Los cuartos de bombas deberán estar constantemente controlados por dispositivos detectores de fugas y derramamientos.
- Las bombas deberán estar protegidas en sus partes eléctricas de acuerdo a lo indicado en la sección 2.4.3.

3.4. Otros equipos y máquinas utilizados

Existen otros equipos y máquinas que las plantas de llenado de aerosoles tienen dentro de sus instalaciones, tales como etiquetadoras de botes, removedoras neumáticas de válvulas, engrapadoras de corrugado, clasificadoras, etc. Sin embargo, las normas que deben aplicarse a estas máquinas y equipos se ajustan a las estudiadas en la sección 3.1 del presente informe.

4. SEGURIDAD EN EL PROCESO PRODUCTIVO DE LA PLANTA

La seguridad en el proceso productivo de la planta es tan importante como la seguridad de los diferentes equipos y maquinarias, ya que aunque se tenga un sistema muy seguro, si los procesos no se efectúan correctamente se pueden producir accidentes, incendios o explosiones dentro de la planta.

En el presente capítulo se estudia la seguridad que deben tener los procesos dentro de una planta de llenado de aerosoles, tomando en cuenta el proceso en sí y las posibles causas de accidentes, para así poder operar la planta de una manera eficiente, confiable, pero, sobre todo, segura. Se incluyen recomendaciones en las diferentes áreas del proceso y algunas normas de acción en caso de incidentes imprevistos.

4.1. Descarga y almacenamiento de materia prima

La materia prima consiste en todos los químicos líquidos y sólidos que son los ingredientes activos para los diversos productos en aerosol que se producen en la planta. Algunos de estos productos pueden ser inflamables, levemente tóxicos, corrosivos, etc, por lo que se debe tener control especial en la manipulación y manejo de los mismos.

Las recomendaciones que se deben seguir en este tipo de proceso se indican a continuación:

- Los bordes de las plataformas de descarga de materia prima deberán protegerse con material que impida la producción de chispas por impacto o por acercamiento de los vehículos.
- La altura de las plataformas de descarga deberá ser la apropiada para facilitar las operaciones que se llevan a cabo.
- Queda prohibido el uso de plataformas metálicas.
- El área de descarga y almacenamiento de materia prima es recomendable que esté a una distancia mayor a 25 metros de los tanques de almacenamiento de propelente.
- El área de descarga es recomendable que se localice dentro de la planta en un sector que facilite su funcionamiento y que no entorpezca el proceso productivo.
- La bodega de almacenamiento deberá tener ventilación adecuada y no permitir que alcance temperaturas mayores a 40 – 45 C.
- Dentro de la bodega de materia prima todo deberá estar perfectamente identificado y diferenciado para no cometer errores o equivocaciones respecto de los diferentes ingredientes activos.

4.2. Llenado y formulación de productos

Esta área consiste en el llenado de los ingredientes activos en los botes de aerosol antes de colocarles la válvula, sellarla y gasificar el producto con el propelente. Debido a la diferente naturaleza química de los ingredientes activos de los distintos productos que se elaboran en la planta de llenado de aerosoles, se deben tener algunos cuidados especiales para su manipulación dentro del área de llenado y formulado. A continuación se presentan algunas recomendaciones a seguir dentro de esta parte del proceso:

- Utilizar equipos de dosificado altamente seguro y a prueba de explosión.
- Manipular la maquinaria con equipo de seguridad industrial para evitar consecuencias de derrames, salpicaduras, generación de vapores, etc.
- Utilizar balanzas analíticas que sean de material que no produzca chispas y que sean de fácil manipulación.
- Todas las básculas y mesas de trabajo deberán tener conexión a tierra, para descarga de la corriente estática.
- Instalar detectores de gases y vapores en esta área, para lograr prevenir la acumulación de gases que puedan producir algunos ingredientes activos de los productos en aerosol.

4.3. Gasificado de los botes

En el cuarto de gasificado el propelente GLP se agrega al bote que contiene los ingredientes activos. Durante el proceso de gasificado puede ocurrir derramamiento del propelente. Por ello el cuarto de gasificado es el lugar dentro de la planta con el mayor enfoque de seguridad y debe tener una construcción con ventilación adecuada.

La ventilación del cuarto de gasificado es extremadamente importante. El aire dentro de la habitación no debe recircular dentro del mismo cuarto y se debe inducir a un efecto de barrido en todo el volumen del cuarto, de manera que todo el gas que se encuentre dentro del cuarto pueda salir constantemente y ventilarse todo el recinto indefinidamente. No deben quedar espacios dentro del cuarto de gasificado con insuficiente ventilación, para evitar la acumulación de vapores inflamables.

El caudal de aire requerido en un cuarto determinado está dado por la siguiente ecuación: (1-128)

$$VR = \frac{(100 - LIE)(V)(R.)}{(ND)(LIE)}$$

En donde:

VR = Volumen requerido de flujo de aire (m³/h).

LIE = Límite inferior de explosividad para el propelente GLP en porcentaje en volumen.

En el GLP, siendo una mezcla de hidrocarburos, se utiliza el límite del componente con un LIE menor a los demás. Normalmente se utiliza el del isobutano que es 1.8% a 20 C.

V = Volumen de vapor producido por unidad de volumen del líquido propelente utilizado (m³/L)

R = Volumen estimado del líquido propelente perdido durante la operación normal de gasificado más 20% para amortiguar derrames ocasionales (L/h).

ND = Constante que indica el porcentaje máximo permitido del límite inferior de explosividad en condiciones normales de operación. Es recomendable que este nivel de diseño no exceda el 10% del LIE, es decir ND = 0.1

Bajo ninguna circunstancia se permitirá que el flujo de ventilación sea menor a lo calculado utilizando la fórmula anterior.

Cuando la concentración de propelente en el cuarto de gasificado alcance el 20% del LIE, se debe proceder a aumentar la corriente de aire de ventilación a un 150%, hasta que disminuya el nivel de concentración. El aire de ventilación, junto con los vapores que acarree con él, deben ser expulsados de la planta al menos a 4 metros sobre el nivel del techo de el cuarto de gasificado. Además, es importante mencionar que el equipo dentro del cuarto debe tener las medidas de seguridad que se indicaron en la sección 3.1 del presente informe.

A continuación se presentan las normas y recomendaciones que se deben seguir para tener una máxima seguridad en el área de gasificado:

- Adecuada ventilación.
- Válvulas de seguridad de cierre del propelente en las tuberías.
- Seguros internos en las puertas.
- Sistemas de detección de gases conectados con el sistema de ventilación, calibrando y comprobando su buen funcionamiento periódicamente.
- Tener aislado el cuarto de gasificado del proceso general de producción, o tenerlo alejado de los otros procesos y únicamente conectado por tuberías y transportadores de bandas y otros.
- Las paredes del cuarto de gasificado deben ser resistentes a presiones elevadas.
- Colocar sistemas de rociado contra incendios dentro del cuarto.
- La instalación debe ser completamente a prueba de explosión.
- Colocar botones de pánico dentro y fuera del cuarto de gasificado para avisar rápidamente en caso de emergencia.

4.4. Comprobación de fugas y secado

Esta parte del proceso se encarga de revisar si los botes de aerosol que fueron gasificados están en buen estado y pueden soportar la presión interna que se genera al aumentar la temperatura hasta 55 – 60 C. En esta parte del proceso se pueden dar explosiones de los botes dentro del tanque, por lo que de deben tener medidas de seguridad muy rigurosas para evitar accidentes. Las principales normas de seguridad para este proceso son las siguientes:

- Evitar que el agua dentro del tanque sobrepase valores de temperatura arriba de 65 C, ya que esto puede provocar incrementos excesivos de la presión en los botes y pueden estallar.

- Asegurarse de que los botes sean sumergidos totalmente dentro del nivel del agua, dejando una distancia mayor a 20 cm desde la superficie del agua hasta la parte superior del bote.
- El personal a cargo de esta área deberá siempre portar uniforme especial y con accesorios de seguridad (guantes, lentes, casco, etc).
- Secar rápidamente los botes después de sumergidos en el tanque para disminuir el ataque de la corrosión a los mismos.
- Cambiar el agua del tanque constantemente para mantenerlo limpio y con fácil visibilidad cuando se detecten botes defectuosos.
- No colocar en el tanque botes que previamente se detectaron como defectuosos.

4.5. Empaque y almacenaje de producto terminado

En esta área de trabajo se finaliza el proceso productivo de la planta. Aquí se empacan los diferentes productos en aerosol y se almacenan para su posterior despacho. El empaque en el corrugado no tiene cuidados especiales diferentes a los normales de cualquier planta de producción, o sea que se debe trabajar con responsabilidad y seriedad, manipulando el producto de manera adecuada y evitando estibar demasiadas cajas en una misma tarima, para evitar el exceso de peso en los botes inferiores. Las normas generales de seguridad para el personal de la planta se indicarán mas adelante, en la sección 5.2 del presente informe.

El almacenamiento del producto terminado debe cumplir con las normas especificadas en la sección 4.1 de este informe.

5. SEGURIDAD INDUSTRIAL

La seguridad industrial dentro de una planta de llenado de aerosoles consiste en un proceso confiable de actividades, normas, instalación de equipo y control del ambiente de trabajo con el fin de crear un medio seguro dentro de la planta. La seguridad industrial es parte importante en la buena operatividad y productividad de toda planta, facilitando y creando herramientas que contemplen aspectos generales de seguridad para el trabajador y seguridad en el trabajo. En esta sección se estudian los aspectos más importantes de la seguridad industrial dentro de una planta de llenado de aerosoles.

5.1. Equipo de seguridad

El equipo de seguridad que debe tener una planta de llenado de aerosoles es principalmente contra incendios, fugas y derrames del propelente, y equipo contra explosiones. A continuación se presentan los diferentes equipos que, de acuerdo a las leyes del país, se deben tener en una planta de llenado de aerosoles.

- Detectores continuos de presencia de gases combustibles o de atmósferas explosivas, los cuales estarán dotados de alarmas sonoras o remotas, ubicadas adecuadamente respecto al equipo o instalación a protegerse.
- Explosímetros con certificación de calibración periódica para detectar concentraciones de GLP en el ambiente y medir al 100% el límite inferior de explosividad.
- Extinguidores contra fuego de polvo químicos clase ABC, que se colocarán en diversas áreas de la planta, especialmente en donde se tengan mas riesgos de

incendios y explosiones, revisándolos periódicamente y comprobando el buen estado de los mismos.

- Sistemas rociadores diseñados con base en normas internacionales se deberán instalar en toda la planta, con detectores de humo y activación tanto automática como manual.
- Tanque de almacenamiento de agua con un mínimo de reserva para 2 horas de abastecimiento en caso de ser una planta pequeña y 4 horas de abastecimiento para plantas grandes.
- Colocar hidrantes de la red de agua pública para que, en caso de incendios, los bomberos puedan utilizar el agua pública y no solamente su propio abastecimiento.
- Bombas de agua contra incendio que sean accionadas por motor eléctrico y con alimentación independiente del interruptor general de la instalación, con generadores eléctricos que permitan su operación en caso de corte o suspensión del suministro de energía eléctrica.
- Sistema de alarmas para caso de incendio, mediante el cual se avise en forma efectiva y oportuna a todo el personal de la iniciación de una emergencia. La instalación debe estar conectada, por línea telefónica directa u otro sistema de alarma a distancia, con los bomberos de la localidad.

5.2. Normas de seguridad para el personal

El personal de la planta de llenado de aerosoles debe regirse por las siguientes normas de seguridad (4-3,24):

- Evitar inhalación directa de excesivas concentraciones de vapores de propelente en el aire.
- Evitar el contacto directo del líquido propelente con la piel y los ojos; deberán siempre utilizarse guantes de hule y lentes para disminuir riesgos.
- Antes de desconectar mangueras y tuberías, verificar que estas no contengan en el interior propelente.
- Evitar la producción de chispas y flamas en áreas en donde el propelente está almacenado o es utilizado en el proceso. Toda fuente de ignición debe ser eliminada.
- Está terminantemente prohibido fumar dentro de la planta.
- Está prohibido comer en zonas de producción dentro de la planta, para evitar contaminación de los alimentos.
- Únicamente personal autorizado podrá estar en las áreas en donde el propelente se encuentre almacenado o en proceso.
- La ropa que se utiliza adentro de la planta será de fabricación especial, de manera que prevenga la generación de energía estática.
- Se utilizarán listados de control de la seguridad para operaciones de encendido y apagado de equipos, especialmente los equipos que se encuentren cercanos al almacenaje o utilización del propelente.

5.3. Aspectos preventivos y correctivos

5.3.1. Control de desastres

El control de desastres consiste en la elaboración de procedimientos a seguir cuando se tiene una emergencia dentro de una planta. En el caso de las plantas de llenado de aerosoles las emergencias que mayormente se pueden presentar son los incendios, explosiones y derramamientos. En esta sección se indican varios aspectos a considerar como control de desastres.

Inicialmente se puede decir que algunos de los problemas que se pueden dar dentro de la planta de llenado de aerosoles que pueden provocar las emergencias antes indicados son las siguientes:

- Ruptura de los tanques de almacenamiento de propelente.
- Fallas de las bombas en el trasiego y traslado del propelente.
- Explosiones en los botes de aerosol en lugares con alta concentración de vapores de propelente.
- Desconexión de las mangueras durante el trasiego de propelente.
- Malas prácticas de operación del personal dentro de las áreas de mayor riesgo.
- Mal sistema de seguridad en la planta.

En caso de incendios y explosiones, es importante, inicialmente, salvaguardar la seguridad humana, por lo que se debe activar la alarma de emergencias y dar aviso a los bomberos locales. En caso de que se tengan personas heridas se les deben dar los primeros auxilios y mantenerlos alejados lo más posible del peligro. Se debe intentar evitar que el fuego se propague a otras áreas diferentes de donde se inició, y sobre todo, que no se acerque a lugares de mayores potenciales de explosión, para minimizar los riesgos y evitar un estado de emergencia mayor.

Si el fuego no es de gran intensidad, se deben utilizar los extinguidores para tratar de detenerlo o el agua contra incendio por medio de la bomba especial para estos casos; pero si el fuego o explosión es de magnitudes muy grandes, se debe hacer lo explicado anteriormente y dejar que los bomberos se encarguen de controlar la situación.

Si existe derramamiento del propelente se debe inicialmente activar la alarma de emergencia y desalojar a todo el personal de la planta, llamar a los bomberos y, sobre todo, evitar cualquier fuente de calor cercana al derramamiento, ya que fácilmente se puede iniciar un incendio. Si el derramamiento es pequeño, se puede proceder a ventilar el área en donde ocurrió el mismo y no iniciar operaciones hasta que se tenga la completa seguridad de que la concentración de propelente es menor al 5% de su límite inferior de explosividad. Si el derramamiento es grande, se debe dejar a las autoridades pertinentes que lo controlen.

En caso de otro tipo de desastres, como terremotos, huracanes, inundaciones, etc., se debe avisar a las autoridades y revisar cuidadosamente el equipo y los tanques de propelente para asegurarse de que todo se encuentre bien y así evitar cualquiera de las emergencias indicadas previamente.

5.3.2. Plan de contingencia

En este plan se incluyen todos los métodos y prácticas creados e instalados para evitar de la mejor manera posible los accidentes y emergencias dentro de la planta. Se pretende minimizar cualquier riesgo de daño contra la seguridad humana y la seguridad de la planta. Los aspectos a considerar en el plan de contingencia para una planta de llenado de aerosoles son los siguientes:

- Se debe instalar un sistema de protección contra incendio, planificado desde el inicio del proyecto de construcción de la planta, evaluando sus riesgos y posibles fallas.
- La planta debe tener servicio de vigilancia en las instalaciones de GLP, con personal adecuadamente entrenado.
- Debe disponerse de rutas y medios de acceso para el equipo extintor del fuego.
- Los extinguidores deben ser inspeccionados periódicamente y darles mantenimiento.
- Se dispondrá de equipo especial para manejo de incendios, el cual será manejado por personal calificado.
- Se deberá mantener un rol actualizado conteniendo los números telefónicos para casos de emergencia, así como dar aviso en forma oportuna a las instalaciones vecinas que puedan ser expuestas a los incendios o fugas en la instalación.
- El personal, debe contar con una ruta de evacuación establecida y estar entrenado en qué hacer en caso de emergencia.
- Contar con un botiquín de primeros auxilios que contenga los elementos adecuados y en cantidades necesarias.
- Contar con un buen sistema de seguridad para la planta y llevarlo a cabo estrictamente.

5.3.3. Señalización

Un buen sistema de seguridad para una planta de llenado de aerosoles debe tener una buena señalización, de manera que el personal de la planta pueda fácilmente ubicar las rutas de evacuación y los lugares con potencial peligro dentro de la planta. A continuación se detallan las diferentes señalizaciones que se deben tener (4-47):

- Las rutas de evacuación deben estar perfectamente señalizadas; se deben colocar los carteles de información en lugares visibles y sin obstáculos.
- Los tanques de almacenamiento de propelente deberán tener la palabra *Inflamable*, en letra grandes pintadas de color rojo.
- El área de gasificado y el área donde se encuentren las bombas deberán estar identificados por letreros que informen sobre el peligro de esa área.
- Las rutas de acceso por automóviles o camiones a la planta deberán estar perfectamente señalizadas, indicando en qué lugares se puede transitar libremente y los lugares en donde la maniobra de los automóviles debe hacerse con mayor cuidado.
- El área de los tanques de almacenamiento de propelente deberá estar identificada y se deben colocar carteles que informen sobre la permanencia únicamente de personal autorizado.
- Es obligatorio, en todas las áreas de la planta, colocar información pertinente sobre normas de seguridad, asegurándose de colocarlas en lugares visibles para todo el personal.
- Se colocarán carteles que indiquen NO FUMAR, en varios puntos de la planta.

5.3.4. Rutas de evacuación y capacitación del personal

Las rutas de evacuación dentro de la planta deben estar perfectamente definidas y ser respetadas, de manera que nunca se coloquen obstáculos que puedan impedir la salida rápida y segura del personal en casos de emergencia. Estas rutas de salida deberán mantenerse siempre despejadas y libres de acumulación de corrugados, latas, químicos, toneles o cualquier otro producto que bloquee las salidas. Deben estar señalizadas y el personal debe estar informado de las mismas y capacitado para un buen accionar en caso de emergencias.

Todo el personal de la planta de llenado de aerosoles debe estar entrenado para cualquier situación de emergencia. Además, debe estar capacitado para utilizar los diferentes equipos en caso de emergencia. La capacitación y entrenamiento del personal debe comprender los siguientes aspectos:

- El personal debe conocer los efectos de ponerse en contacto con el propelente, el daño a los ojos y a la piel que este produce, así como conocer medidas a seguir en caso de ponerse en contacto directo con el propelente, tanto en la piel como en los ojos.
- El personal debe conocer perfectamente la forma segura de hacer su trabajo dentro de la planta y las posibles causas de accidentes.
- Debe darse entrenamiento para el reconocimiento de los riesgos que se pueden presentar en la planta y las formas de evitar el peligro.
- Ha de hacerse conciencia de que las buenas prácticas de seguridad industrial minimizan los accidentes y aseguran una mejor calidad de vida para todos.
- Debe capacitar al personal sobre los procedimientos específicos a seguir en caso de incendios, explosiones, derramamientos y otros accidentes que se puedan presentar en la planta.

- Sancionar a los infractores de las reglas y normas de seguridad dentro de la planta.
- Entrenar a los trabajadores para que utilicen todo su equipo de trabajo correctamente.
- Favorecer y estimular la continua participación de los empleados en la seguridad.
- Permitir la ayuda de los empleados para preparar, utilizar y actualizar el análisis de los peligros del trabajo.

6. SEGURIDAD AMBIENTAL

El tema de la seguridad ambiental es de gran importancia para todo el mundo hoy en día. Todas las empresas, de cualquier índole, deben contribuir con la protección del ambiente creando productos y servicios que sean ambientalmente amigables. Debido a esta gran necesidad actual de todas las empresas, las plantas de llenado de aerosoles deben incluir dentro de su sistema de seguridad un plan de seguridad ambiental, comprendiendo todos los aspectos posibles en cuanto al impacto que puedan tener en el medio en donde se desarrollan, el control de sus desechos gaseosos, líquidos y sólidos, además de brindar alternativas de solución para problemas que este mismo tipo de plantas generan en el mundo, como lo es la disposición final de los botes de aerosoles vacíos. En el presente capítulo se trata de temas de importancia para la seguridad ambiental dentro de la planta de llenado de aerosoles.

6.1. Manejo de desechos

6.1.1. Control de emisiones gaseosas

Las plantas de llenado de aerosoles no liberan desechos gaseosos a gran escala dentro de su proceso normal de producción. Las emisiones que pueden liberar en el proceso productivo de la planta son las que se producen en la caldera que se utiliza para calentar el agua de los tanques de verificación de fugas. Sin embargo, muchas plantas de llenado de aerosoles utilizan resistencias eléctricas protegidas sustituyendo así la caldera y, con ello, la emisión de los gases de combustión que se generan dentro de la misma.

La otra fuente importante de liberación de gases dentro de la planta la constituyen los derramamientos que se pueden producir en las maquinarias de gasificado, o en el traslado del propelente de los tanques de almacenamiento hacia el área de producción. En estos procesos se pueden observar fugas del propelente que es liberado directamente a la atmósfera. Sin embargo, las fugas que se tienen en estos procesos no son significativas como para considerarse una emisión de gases directa en la planta. Además, las fugas están controladas y se evitan al máximo, debido al costo que representa dejar escapar al propelente a la atmósfera y no utilizarlo en los productos de aerosoles.

Es importante considerar que el propelente que se puede liberar en la atmósfera por derramamientos o por problemas en la maquinaria, no constituye un problema para el ambiente, ya que el vapor del GLP, de acuerdo a lo estudiado en la sección 1.1 de este informe, no es dañino para la capa de ozono, no es un gas que contribuya al calentamiento global del planeta y no contribuye al efecto invernadero; a todo esto le agregamos que no es tóxico para la vida salvaje y se dispersa rápidamente en la atmósfera, por lo que no permanece mucho tiempo en altas concentraciones en lugares abiertos.

6.1.2. Desechos sólidos y líquidos

El proceso normal de producción en una planta de llenado de aerosoles no produce desechos sólidos directos, es decir, todo el producto que se ingresa a la planta sale como producto terminado. Sin embargo, existe una cantidad mínima de generación de desperdicios o desechos sólidos, como en el caso de los empaques plásticos de algunas cajas que contienen botes vacíos de aerosoles o bolsas en donde puedan venir los ingredientes activos de los distintos productos que se produzcan en la planta. Estos desechos sólidos son recolectados por el sistema local de recolección de basura y deben ser destinados a un relleno sanitario o basurero público autorizado por la municipalidad.

Los desechos líquidos dentro de la planta de llenado de aerosoles se producen principalmente por servicios sanitarios, ya que el proceso productivo no involucra el desechar líquidos. Todos los ingredientes activos que ingresan a la planta para ser envasados en aerosol se utilizan en su totalidad para la producción de cada producto específico, por lo que no se tienen desechos de este tipo. Además, si algún ingrediente activo es sobrante de la producción requerida, este se almacena y se utiliza en futuras producciones o se devuelve a la empresa que solicitó la fabricación de sus productos.

Los desechos líquidos provenientes de los servicios sanitarios que funcionan en la planta pueden ser tratados antes de su disposición final en los desagües municipales. Esto se deberá hacer si la municipalidad correspondiente al lugar en donde está instalada la planta así lo exigiera de acuerdo a la cantidad de desechos que la planta este generando.

6.2. Impacto al ambiente

El efecto que puede tener una planta de llenado de aerosoles sobre el ambiente en que se desarrolla se denomina impacto al medio ambiente, tomándose en cuenta los posibles daños a los ecosistemas circundantes, la fauna, flora y la población que se encuentra ya establecida. El impacto al medio ambiente que tiene una planta de llenado de aerosoles puede ser evaluado por medio de un estudio de impacto ambiental, el cual es requisito fundamental de toda planta antes de la instalación de la misma en cualquier zona del país. Este estudio de impacto ambiental está contemplado en la legislación del país y está estrictamente controlado por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN). Se le solicita a la Secretaría de Planificación y Programación SEGEPLAN, la cual sugiere un listado de empresas y profesionales que pueden hacer el estudio de acuerdo al tipo de empresa con el cual se está trabajando, para después ser aceptado o rechazado por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (6-4).

Una planta de llenado de aerosoles con las dimensiones presentadas en este informe, trabajando con un ritmo normal de operación, no representa un impacto al medio ambiente significativo ya que, como se ha indicado antes en este capítulo, esta planta utiliza todos los insumos que ingresan a la misma, por lo que la generación de desechos es mínima, las emisiones gaseosas casi nulas y no se tiene contaminación auditiva ni visual, de ser instalada en lugares apropiados dentro de la capital o en el perímetro de la misma.

6.3. Plan de seguridad ambiental

Este consiste en la elaboración de una planificación preventiva de posibles daños al medio ambiente que pueda ocasionar la planta de llenado de aerosoles, tanto en producción normal como en casos de emergencia. Este plan debe tomar en cuenta todos los factores y variables fuera de la planta que puedan ser afectados de una u otra manera por el proceso productivo de la planta, considerando los riesgos grandes que se tienen en la misma por el potencial de incendio y explosión que se tienen en ella. Los aspectos más importantes a considerar dentro de este plan de seguridad ambiental son los siguientes (6-5,6):

- Conocer el ecosistema en el cual se encuentra ubicada la planta de llenado de aerosoles.
- Sujetarse a las normas y reglamentos sobre la descarga y emisión de contaminantes que afecten a los sistemas y elementos del ecosistema circundante.
- El suelo, subsuelo y límites de aguas nacionales no podrán servir de reservorio de desperdicios que contaminen el medio ambiente.

- Promover el empleo de métodos adecuados para reducir las emisiones de contaminantes.
- Conocer el proceso productivo detenidamente y localizar posibles fuentes de contaminación para eliminarlas o sustituirlas por procesos mas ecológicamente amigables.
- Evaluar la fauna y flora que se encuentra cerca de la planta y analizar el potencial riesgo que la planta puede representar para ellas.
- Conocer la infraestructura y las construcciones cercanas a la planta.
- Realizar tratamiento a los desechos líquidos y sólidos dentro de la planta para evitar contaminación en las afueras de la misma.
- Evitar acumulaciones de hierba y maleza seca en los límites de la planta para minimizar el riesgo de expansión del fuego en caso de incendio.
- Tener planes de contingencia en caso de emergencias.
- Poseer estrictos planes de seguridad en la planta.
- Instalar detectores de GLP en el ambiente para evitar las acumulaciones excesivas de aquel, disminuyendo así el riesgo de incendio y/o explosión.
- Localizar los efluentes naturales cerca de la planta y evitar cualquier contaminación que provenga de las instalaciones de la planta.

Tomando en cuenta estos aspectos importantes se puede realizar un plan de seguridad ambiental que se ajuste a las necesidades propias de cada planta de llenado de aerosoles.

6.4. Alternativas de solución para el problema de la disposición final de los botes de aerosol vacíos

Una planta de llenado de aerosoles se considera como una industria “limpia”, que tiene pocas emisiones gaseosas y con niveles aceptables de desechos líquidos y sólidos. Sin embargo, en los últimos años se ha analizado el impacto real que tiene una planta de llenado de aerosoles, no en su proceso productivo sino en la producción de desperdicios que se tienen después de que los consumidores finales desechan las latas de aerosol.

Las latas o botes de aerosol son productos que necesitan más de 100 años para poderse degradar parcialmente. Estos botes no deben ser comprimidos, perforados o incinerados sin tener riesgo de explosión por el propelente que aún pueda permanecer dentro del bote. Además, su reutilización en otras industrias es muy limitada debido a su poca flexibilidad para ser aprovechados en otros procesos. El bote de aerosol también presenta el problema de no poder ser fácilmente utilizado por la misma industria de llenado de aerosoles debido al excesivo costo de recolección, tratamiento, preparación, manejo y readecuación que representa su reutilización en esta industria.

Actualmente no existe una solución 100% efectiva para el problema de la disposición final de los botes de aerosol vacíos. Sin embargo, países desarrollados ya se encuentran planteando soluciones a esta problemática, teniendo que enfrentar problemas alternos como los costos de reciclaje, la presentación final de los botes reutilizados, las formas de recolección, etc. En el presente informe incluimos dos alternativas de solución para resolver este problema, indicando los aspectos positivos y negativos de cada alternativa, así como todos los elementos y factores a considerar antes de optar por cualquiera de las dos alternativas presentadas.

La primera alternativa la constituye la reutilización de los botes dentro de la industria de aerosoles, un fenómeno que ya se observa en muchos países del mundo. Esta alternativa implica un control sobre sus clientes por parte de las empresas que venden productos en aerosol y la recolección de los botes que se encuentren en buenas condiciones para su reutilización. Las desventajas que tiene esta alternativa principalmente son, entre otras, las siguientes: la calidad de los productos disminuye al reutilizar los botes; se necesita comprar una máquina que quite las válvulas de los botes sin dañar los mismos, la cual representa un costo extra para la planta; únicamente pueden reutilizarse los botes que se encuentren en perfecto estado; las probabilidades de que un bote no pase la inspección de fugas aumentan cuando el bote ya ha sido utilizado anteriormente; existe un costo de recolección para la empresa fabricante; el bote sufre corrosión rápidamente después de removida la válvula; esta alternativa no se puede utilizar en productos farmacéuticos o alimenticios.

La reutilización de los botes presenta la ventaja de disminuir el costo final del producto, ya que los botes pueden ser utilizados en muchos casos hasta 4 veces. Además, un buen control sobre los botes que tienen los clientes y su eficiente recolección disminuye la posibilidad de que otras empresas que fabriquen productos en aerosol los utilicen para la producción de sus propios productos. Esta alternativa reduce considerablemente la disposición final de los botes vacíos, por lo que es una alternativa ecológicamente amigable y puede representar una buena opción en la solución de la problemática de contaminación del medio ambiente.

La segunda alternativa consiste en crear un sistema de reciclaje de los botes de aerosol, en el cual los botes puedan ser recolectados, procesados, y reutilizada la materia prima de los mismos para otras industrias. Creando el sistema de reciclaje se puede reducir considerablemente la cantidad de botes de aerosol que contaminan el medio ambiente. Sin embargo, esta alternativa presenta ciertas desventajas como las siguientes: el sistema de reciclaje aún no es aplicado en países subdesarrollados y representa costos muy altos para los países que son capaces de llevarlo a cabo; la mayoría de botes de aerosol son de latón, por lo que su reutilización en otras industrias aún no es un tema totalmente resuelto; los costos de reciclaje de los botes de aerosol son demasiado altos como para que una empresa desee invertir en el procesamiento de estos; existe el costo de recolección de los botes; hay necesidad de crear el procedimiento para abrir los botes vacíos sin riesgos de explosiones de los mismos; la inversión para iniciar un proyecto de esta magnitud es alta.

El reciclaje de los botes permitiría la eliminación casi total de estos como factores contaminantes del medio ambiente. Se puede utilizar la materia prima para crear otros productos que pueden ser de beneficio para la industria y la población, se crean nuevas fuentes de trabajo para una industria de reciclaje de estos botes, se evita la acumulación excesiva de los botes en los basureros municipales, entre otras cosas. La aplicación de esta alternativa puede repercutir en avances tecnológicos que utilicen en el futuro botes de materiales diferentes al latón, como el aluminio, y adaptar el sistema de reciclaje a estos nuevos materiales que son fácilmente reciclables y utilizables en otros procesos.

7. ESTUDIO DE COSTOS

El estudio de costos de este informe está enfocado al diseño del sistema de seguridad de una planta de llenado de aerosoles, tomando en cuenta los diferentes equipos de seguridad que se deben instalar, los controles específicos de los diferentes procesos y todo lo relacionado con el tema de seguridad. Se incluyen costos de los equipos e instalación de los mismos, consultados a empresas que actualmente proporcionan estos servicios y equipos, y finalmente se incluye un análisis del costo anual uniforme del proyecto de seguridad para 5 años, que es la vida útil estimada de algunos equipos dentro de la planta.

7.1. Costo del equipo de seguridad

En esta sección se incluye todo el equipo de seguridad para la planta, es decir, equipo que debe instalarse específicamente para salvaguardar la seguridad del personal y de la planta. No se incluye la maquinaria y equipo que una planta de llenado de aerosoles tiene dentro de sus instalaciones para un proceso de operación normal.

Los diferentes equipos aquí indicados presentan el costo actual para el año 2003 proporcionado por las diferentes compañías que los venden. (Ver tabla I del apéndice).

7.2. Gastos de instalación

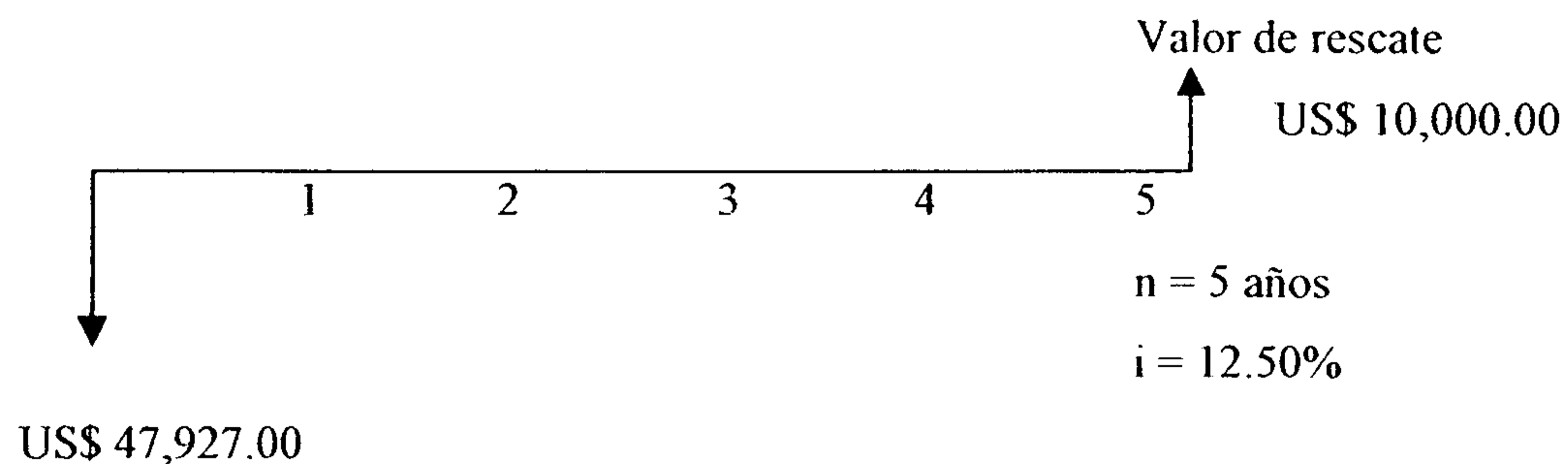
Los gastos de instalación comprenden todos los materiales extras necesarios para la colocación y el buen funcionamiento del equipo de seguridad, incluyéndose también la mano de obra del proyecto.

Los gastos de instalación totales del equipo de seguridad indicado en el capítulo 7.1. se resumen de la siguiente manera:

Instalación del equipo de la empresa Terco, Inc	US\$ 2,000.00
Instalación del equipo de la empresa BWI	US\$ 300.00
Instalación del equipo de la empresa Kartdrig pak	US\$ 1,000.00
Instalación de los tanques para agua	US\$ 600.00
TOTAL EN GASTOS DE INSTALACIÓN	<u>US\$3,900.00</u>

7.3. Costo anual uniforme del proyecto de seguridad

Conociendo los costos estimados de los diferentes equipos de seguridad y los gastos de instalación, se puede calcular el costo anual uniforme (CAUE) del proyecto de seguridad para una planta de llenado de aerosoles. Se toma como base una tasa de interés de préstamo del 12.5%, de acuerdo al promedio de tasas de interés de los bancos locales. Además, se estima una vida útil de 5 años a los diferentes equipos, proponiendo un valor de rescate total de US\$ 10,000.00. El flujo efectivo o flujo de caja es el siguiente:



Costo equipo = US\$ 44,027.00

Gastos instalación = US\$ 3,900.00

Total inversión = **US\$ 47,927.00**

El costo anual uniforme se obtiene haciendo un cálculo de los pagos anuales que se deben hacer durante cinco años para cubrir la inversión inicial. Sumando estos pagos y restándoles el valor de rescate que se tendrá al final del periodo de 5 años que se ha establecido, el cálculo del CAUE para este proyecto es el siguiente:

$$\text{CAUE} : 47,927.00 (A/P, 12.5\%, 5 \text{ años}) - 10,000 (A/F, 12.5\%, 5 \text{ años})$$

$$\text{CAUE} : 47,927.00 (0.280855) - 10,000 (0.155855)$$

$$\text{CAUE} : 13,460.54 - 1,558.55$$

CAUE: US\$ 11,902.00

Este valor indica que se deben cancelar anualmente 11,902.00 dólares para pagar anualmente al banco y cubrir la inversión inicial; esta cantidad debe ser generada por la producción de la planta, además de los gastos de producción que se tienen.

CONCLUSIONES

1. La buena ubicación de una planta de llenado de aerosoles y su infraestructura eficientemente diseñada, colaboran con la seguridad dentro de la planta.
2. La maquinaria y equipo operativo en una planta de llenado de aerosoles debe cumplir con estrictas normas de seguridad. Especialmente los tanques de almacenamiento y la operación de trasiego deben estar perfectamente controlados.
3. El proceso productivo en una planta de llenado de aerosoles debe ser cuidadosamente controlado y normado para evitar accidentes y emergencias en la planta. La seguridad industrial debe estar claramente definida, estableciendo planes y procedimientos que puedan ayudar al personal de la planta en caso de emergencias.
4. Todo el personal de la planta de llenado de aerosoles debe estar capacitado para la eficiente realización de su trabajo, y debe estar conciente de los riesgos existentes en la planta y de las formas de evitarlos.
5. Una planta de llenado de aerosoles debe adoptar procedimientos y tecnologías modernas que sean ambientalmente amigables, así como buscar alternativas de solución a problemas que se puedan generar contra al ambiente, como lo es la disposición final de los botes de aerosol vacíos.
6. La evaluación de los costos del equipo de seguridad y su aplicación debe ser financieramente factible, determinando esto por medio del CAUE.

RECOMENDACIONES

1. Los inspectores de seguridad y los encargados de la planta deben comprender las propiedades químicas y fisicoquímicas del propelente GLP que se almacena y se utiliza en producción de la planta.
2. Debe concienciarse al personal sobre los riesgos del propelente GLP, especialmente su alta inflamabilidad.
3. Utilizar instalaciones seguras dentro de la planta y evitar hacer cambios en las estructuras sin notificar al personal que labora en las diferentes áreas.
4. Utilizar accesorios, tuberías e instalaciones eléctricas que sean seguros para las plantas de llenado de aerosoles.
5. Conocer las normas internacionales que rigen la instalación y operación de las máquinas y equipos que se utilizan en una planta de llenado de aerosoles y aplicarlas a sus procesos.
6. Optimizar los procesos dentro de la planta haciéndolos lo más seguros posible, sin perder la productividad.
7. Incorporar códigos aplicables y normas cuando se deban hacer modificaciones de cualquier índole dentro de la planta.

8. Crear y seguir procedimientos escritos sobre seguridad en la producción y mantenimiento.
9. Capacitar constantemente al personal de la planta y motivarlo para que trabaje de una manera eficiente y segura.

REFERENCIAS

1. Aeron. Propellants. **Liquefied gas propellant Handbook** (Estados Unidos: Diversified CPC interntational, 2,002)
2. Cadea. "Propelentes" www.cadea.org.ar/propelentes (Enero del 2.000)
3. Decreto Número 109-97. www.mem.gob.gt/hidrocarburos/index Dirección general de Hidrocarburos, Ministerio de Energía y Minas. Vigencia 26 de Noviembre de 1997
4. Denton, D. Keith. **Seguridad Industrial. Administración y métodos** Primera edición. México: Mc-Graw Hill, 1990.
5. Ministerio de Energía y minas **Dirección General de Hidrocarburos** Base legal decreto No. 109-83 Guatemala Septiembre de 1983.
6. Ministerio del Medio Ambiente **Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente** Decreto No. 68-86 Congreso de la República de Guatemala. diciembre 5 de 1986.
7. Solórzano, F. Marco "Anteproyecto de diseño de una planta de llenado de aerosoles" (Guatemala: s.e., 2,002) 30 páginas.

BIBLIOGRAFÍA

1. CONAMA www.ecouncil.ac.cr/centroam/conama (22 de octubre del 2003)
2. Couldson, J.M. et al. **Ingeniería química** 3ª. ed. (Tomo 1) Madrid: Editorial Reverté, S.A., 1979. 645 pp
3. Fessenden, Ralph J. & Fessenden, Joan S. **Química Orgánica** 2ª. ed. México: Grupo Editorial Iberoamerica, 1983. 1,060 pp
4. Geankoplis, Christie J. **Procesos de transporte y operaciones unitarias** 3ª. ed. México: Compañía Editorial Continental, S.A. de C.V., 1998. 1007 pp
5. Kern, D. **Procesos de transferencia de calor** 3ª. ed. México: CECOSA, 1982 895 pp.
6. McCabe W. & Smith J. **Operaciones básicas de ingeniería química** 4ª. ed. México: editorial Reverté 1971 1495 pp.
7. NFPA www.nfpacatalog.org (6 de Octubre del 2003)
8. OSHA www.osha-safety-training.net/safetyprod (6 de Octubre del 2003)
9. Perry, Robert H. **Manual del ingeniero químico** 6ª. ed. (tomo 1) México: Mc Graw Hill 1992
10. Seguridad Industrial www.prevension-riesgos-laborales.com (7 de Octubre del 2003).
11. Van Wylen, Gordon J. **Fundamentos de termodinámica** 2ª. ed. México: Editorial Limusa S.A., 1999 892 pp.
12. W. Canter, Larry **Manual de evaluación de impacto ambiental, técnicas para la elaboración de estudios de impacto ambiental** 1ª. ed. Madrid: Mc Graw-Hill, 1998 841 pp.

APÉNDICE

Tabla I: Costos del equipo de seguridad para una planta de llenado de aerosoles

Cantidad	Descripción	Marca	Costo US\$
5	Detectores de presencia de gases combustibles dotados de alamas sonoras – visuales	Terco, Inc	3,000.00
3	Medidores de GLP con indicador del Nivel Inferior de explosividad	Terco, Inc	1,800.00
15	Extintidores con polvo químico clase ABC capacidad 20 libras	Fabrigas	1,412.00
15	Rociadores de agua activados con detectores De humo, activación automática	Terco, Inc	1,200.00
2	Tanques de almacenamiento para agua de abastecimiento en caso de incendios (4,000 galones)	Nacional	8,000.00
3	Hidrantes en caso de incendio	Terco, Inc	450.00
4	Bombas de agua centrífuga contra incendio, Eléctricas	BWI packaging Technologies	8,000.00
1	Generador eléctrico en caso de corte de suministro de energía eléctrica	BWI packaging Technologies	5,000.00
2	Alarmas en caso de incendio con sirena y luz Incorporada	Golán	500.00
1	Sistema de comprobación de fugas semiautomático con 4 canastas	Terco, Inc	10,665.00
2	Extractores de gases	Kartridg Pak Co.	4,000.00
TOTAL EN EQUIPO DE SEGURIDAD			44,027.00

ANEXOS

Tabla II: Presiones de diferentes mezclas de butano, propano e isobutano.

Aeron® A-Blends

Figure 5

Vapor Pressure	Weight%			Mole%			Liquid Volume % (60 °F)		
	n-Butane	Isobutane	Propane	n-Butane	Isobutane	Propane	n-Butane	Isobutane	Propane
17	100.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00
20	80.00	20.00	0.00	80.00	20.00	0.00	79.44	20.56	0.00
24	50.00	50.00	0.00	50.00	50.00	0.00	49.14	50.86	0.00
28	25.00	75.00	0.00	25.00	75.00	0.00	24.36	75.64	0.00
31	0.00	100.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	100.00	0.00
32	0.00	99.12	0.88	0.00	98.84	1.16	0.00	99.02	0.98
33	0.00	98.15	1.85	0.00	97.58	2.42	0.00	97.95	2.05
34	0.00	97.16	2.84	0.00	96.29	3.71	0.00	96.86	3.14
35	0.00	96.17	3.83	0.00	95.01	4.99	0.00	95.77	4.23
36	0.00	95.17	4.83	0.00	93.73	6.27	0.00	94.67	5.33
37	0.00	94.17	5.83	0.00	92.46	7.54	0.00	93.57	6.43
38	0.00	93.16	6.84	0.00	91.18	8.82	0.00	92.47	7.53
39	0.00	92.14	7.86	0.00	89.89	10.11	0.00	91.35	8.65
40	0.00	91.12	8.88	0.00	88.62	11.38	0.00	90.24	9.76
41	0.00	90.09	9.91	0.00	87.34	12.66	0.00	89.12	10.88
42	0.00	89.06	10.94	0.00	86.06	13.94	0.00	88.00	12.00
43	0.00	88.01	11.99	0.00	84.78	15.22	0.00	86.87	13.13
44	0.00	86.97	13.03	0.00	83.51	16.49	0.00	85.74	14.26
45	0.00	85.91	14.09	0.00	82.22	17.78	0.00	84.60	15.40
46	0.00	84.85	15.15	0.00	80.95	19.05	0.00	83.46	16.54
47	0.00	83.78	16.22	0.00	79.67	20.33	0.00	82.31	17.69
48	0.00	82.70	17.30	0.00	78.39	21.61	0.00	81.16	18.84
49	0.00	81.62	18.38	0.00	77.11	22.89	0.00	80.01	19.99
50	0.00	80.53	19.47	0.00	75.83	24.17	0.00	78.84	21.16
51	0.00	79.43	20.57	0.00	74.55	25.45	0.00	77.68	22.32
52	0.00	78.33	21.67	0.00	73.28	26.72	0.00	76.51	23.49
53	0.00	77.21	22.79	0.00	71.99	28.01	0.00	75.32	24.68
54	0.00	76.09	23.91	0.00	70.71	29.29	0.00	74.14	25.86
55	0.00	74.97	25.03	0.00	69.44	30.56	0.00	72.96	27.04
56	0.00	73.83	26.17	0.00	68.16	31.84	0.00	71.77	28.23
57	0.00	72.69	27.31	0.00	66.88	33.12	0.00	70.57	29.43
58	0.00	71.54	28.46	0.00	65.60	34.40	0.00	69.37	30.63
59	0.00	70.38	29.62	0.00	64.32	35.68	0.00	68.16	31.84
60	0.00	69.22	30.78	0.00	63.05	36.95	0.00	66.96	33.04
61	0.00	68.04	31.96	0.00	61.76	38.24	0.00	65.73	34.27
62	0.00	66.86	33.14	0.00	60.48	39.52	0.00	64.51	35.49
63	0.00	65.67	34.33	0.00	59.20	40.80	0.00	63.28	36.72
64	0.00	64.47	35.53	0.00	57.92	42.08	0.00	62.05	37.95
65	0.00	63.27	36.73	0.00	56.65	43.35	0.00	60.82	39.18
66	0.00	62.05	37.95	0.00	55.37	44.63	0.00	59.57	40.43
67	0.00	60.83	39.17	0.00	54.09	45.91	0.00	58.32	41.68
68	0.00	59.60	40.40	0.00	52.81	47.19	0.00	57.07	42.93
69	0.00	58.36	41.64	0.00	51.53	48.47	0.00	55.81	44.19
70	0.00	57.11	42.89	0.00	50.25	49.75	0.00	54.54	45.46
71	0.00	55.85	44.15	0.00	48.97	51.03	0.00	53.27	46.73
72	0.00	54.59	45.41	0.00	47.70	52.30	0.00	52.00	48.00
73	0.00	53.31	46.69	0.00	46.42	53.58	0.00	50.71	49.29
74	0.00	52.03	47.97	0.00	45.14	54.86	0.00	49.43	50.57
75	0.00	50.74	49.26	0.00	43.87	56.13	0.00	48.14	51.86

Figura No. 3: Densidad del GLP vrs. temperatura.

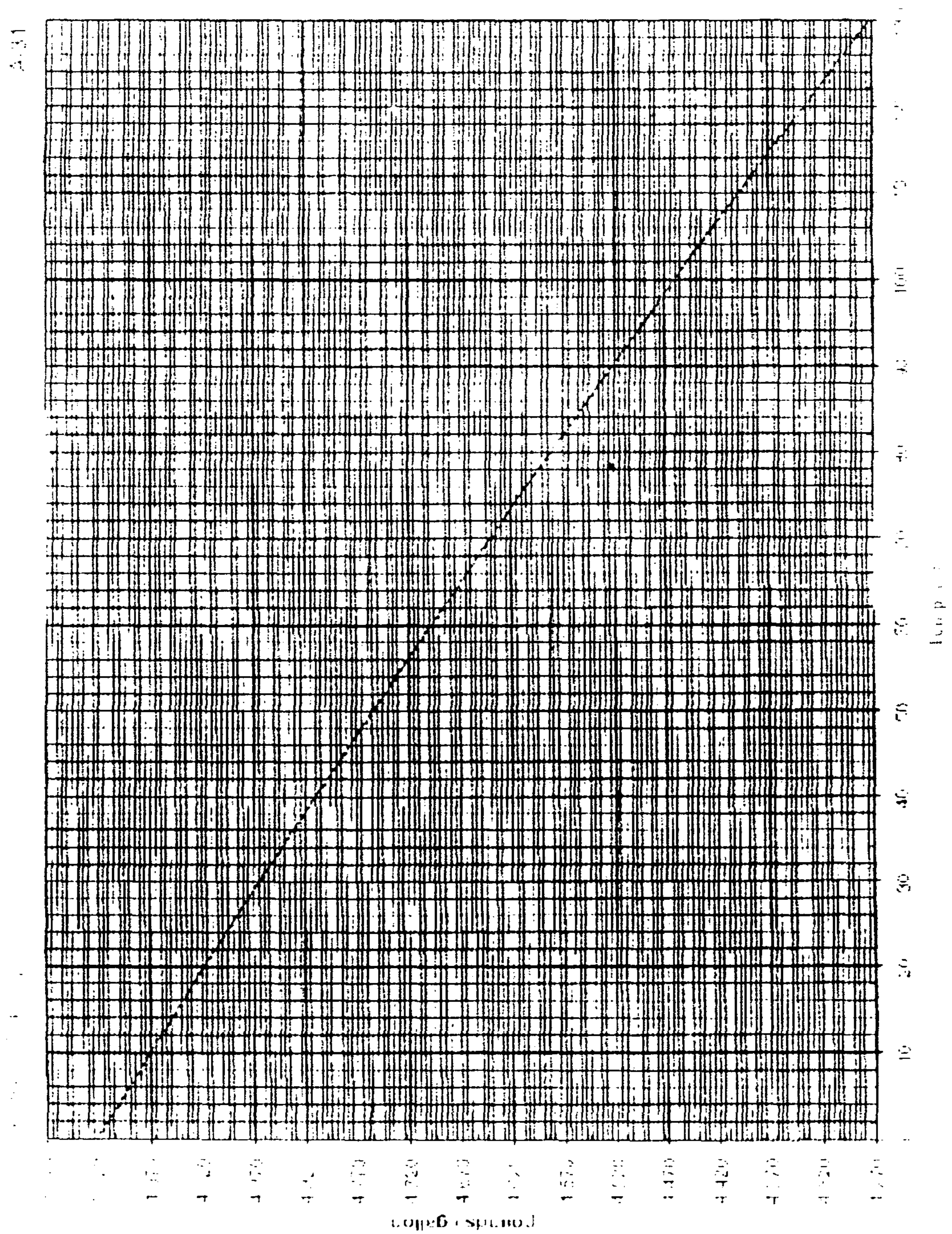


Figura No. 4: Presión del GLP vs. temperatura para mezcla con bajo contenido de butano.

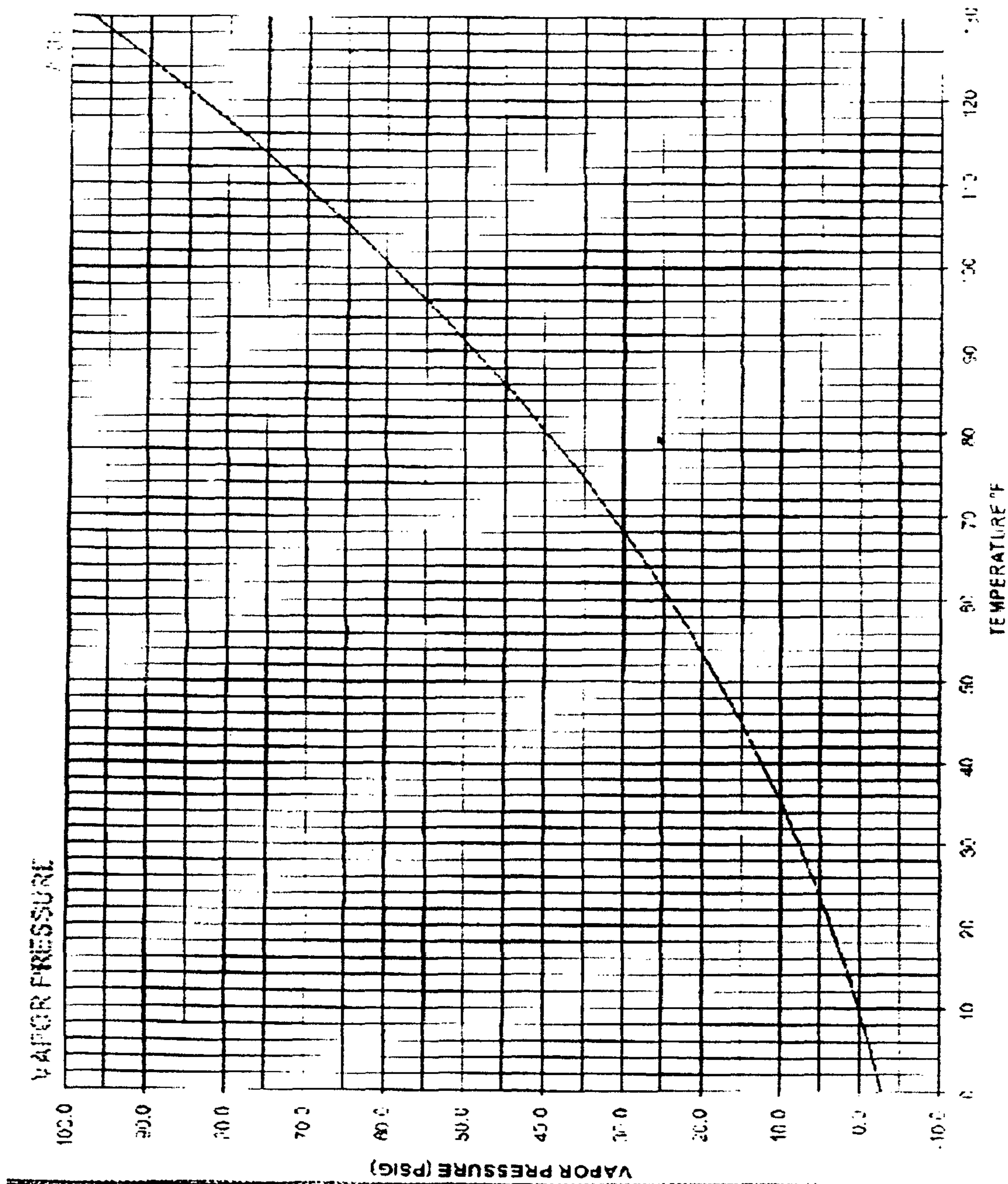


Figura No. 5: Presión del GLP vrs. temperatura para mezcla con alto contenido de butano.

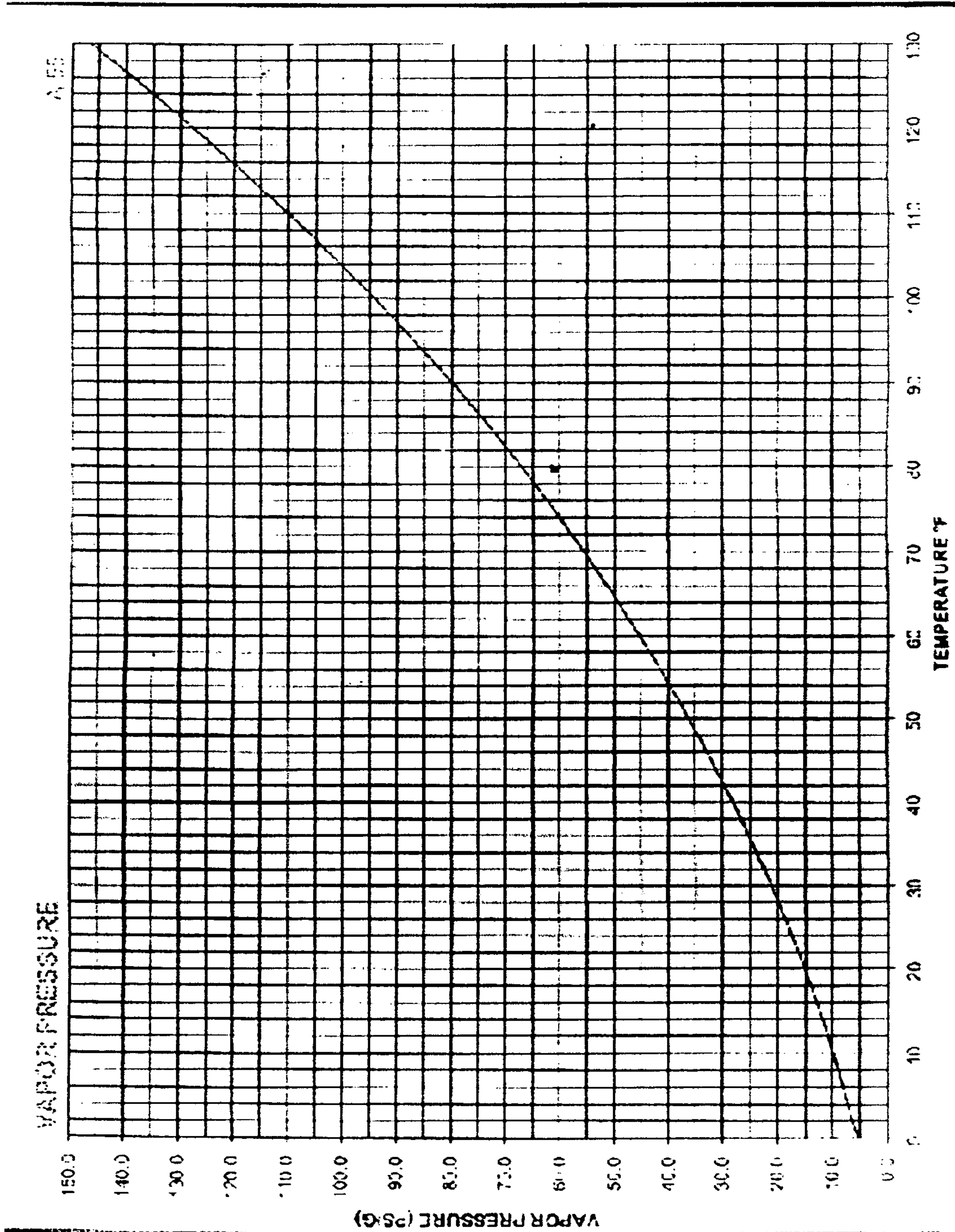


Figura No. 6: Diagrama de flujo del proceso de fabricación de un aerosol.

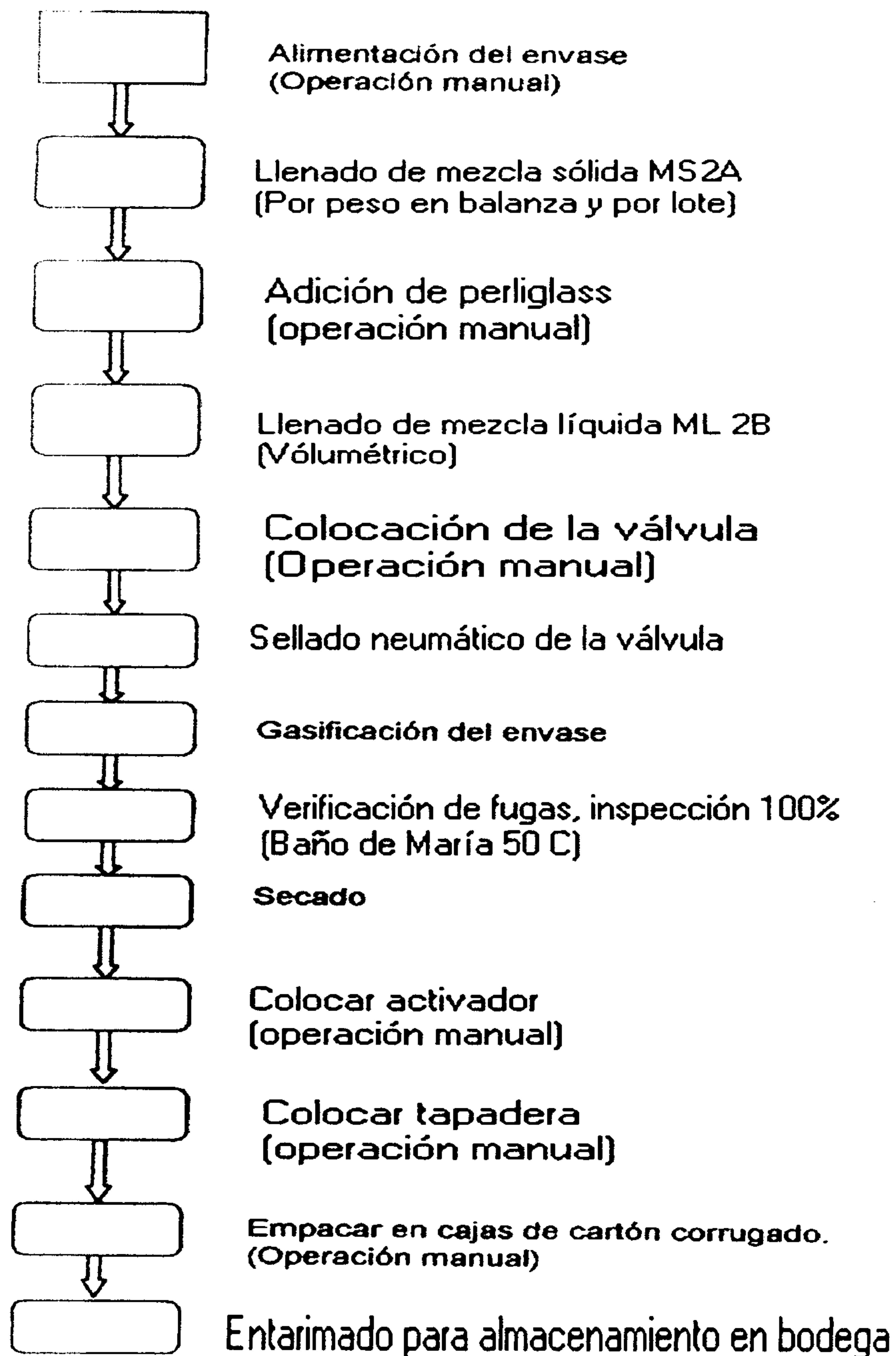


Figura No. 7: Tanque para comprobación de fugas de 5 canastas.

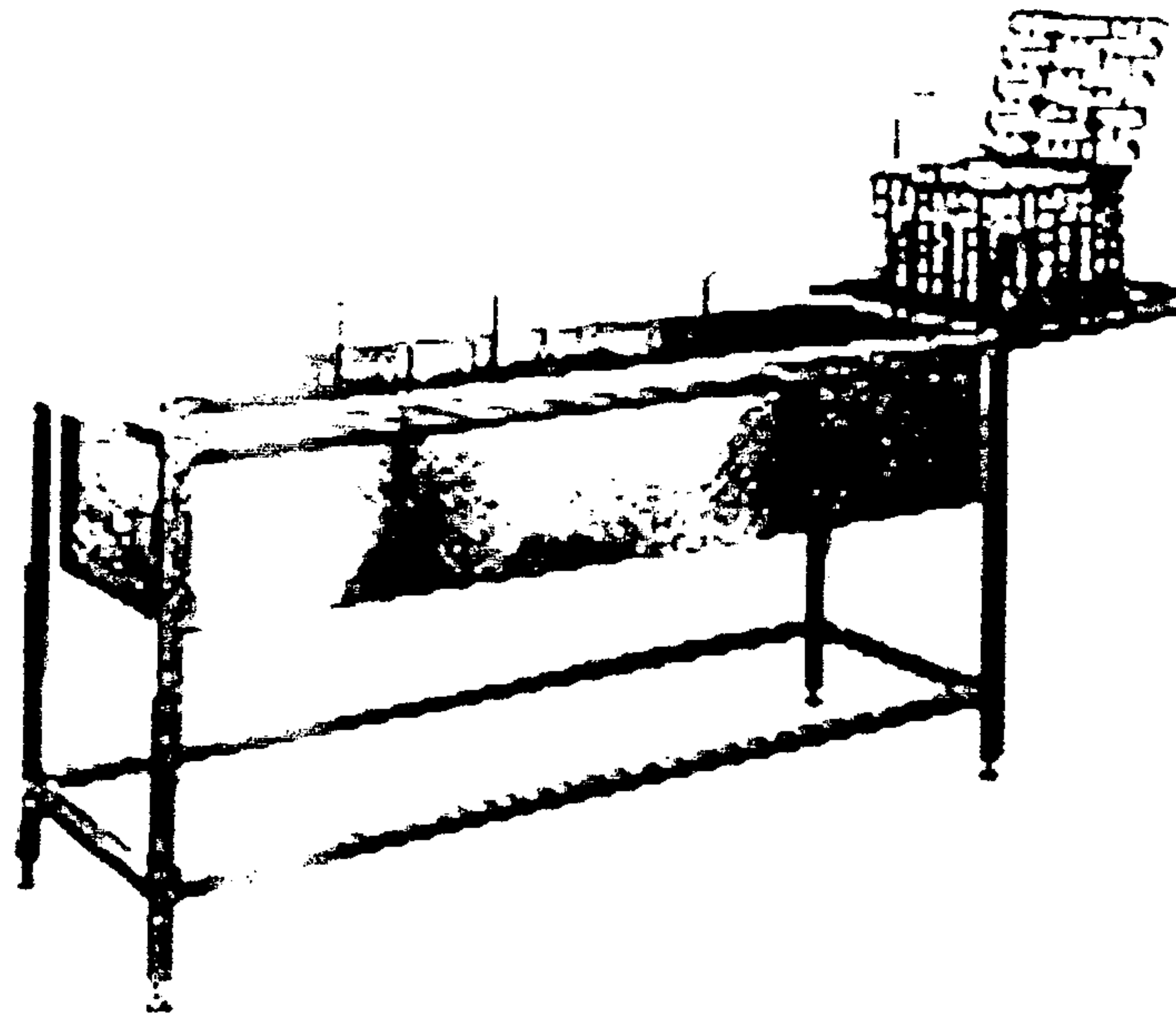


Figura No. 8: Aumento de la presión dentro de un tanque de GLP vs. temperatura

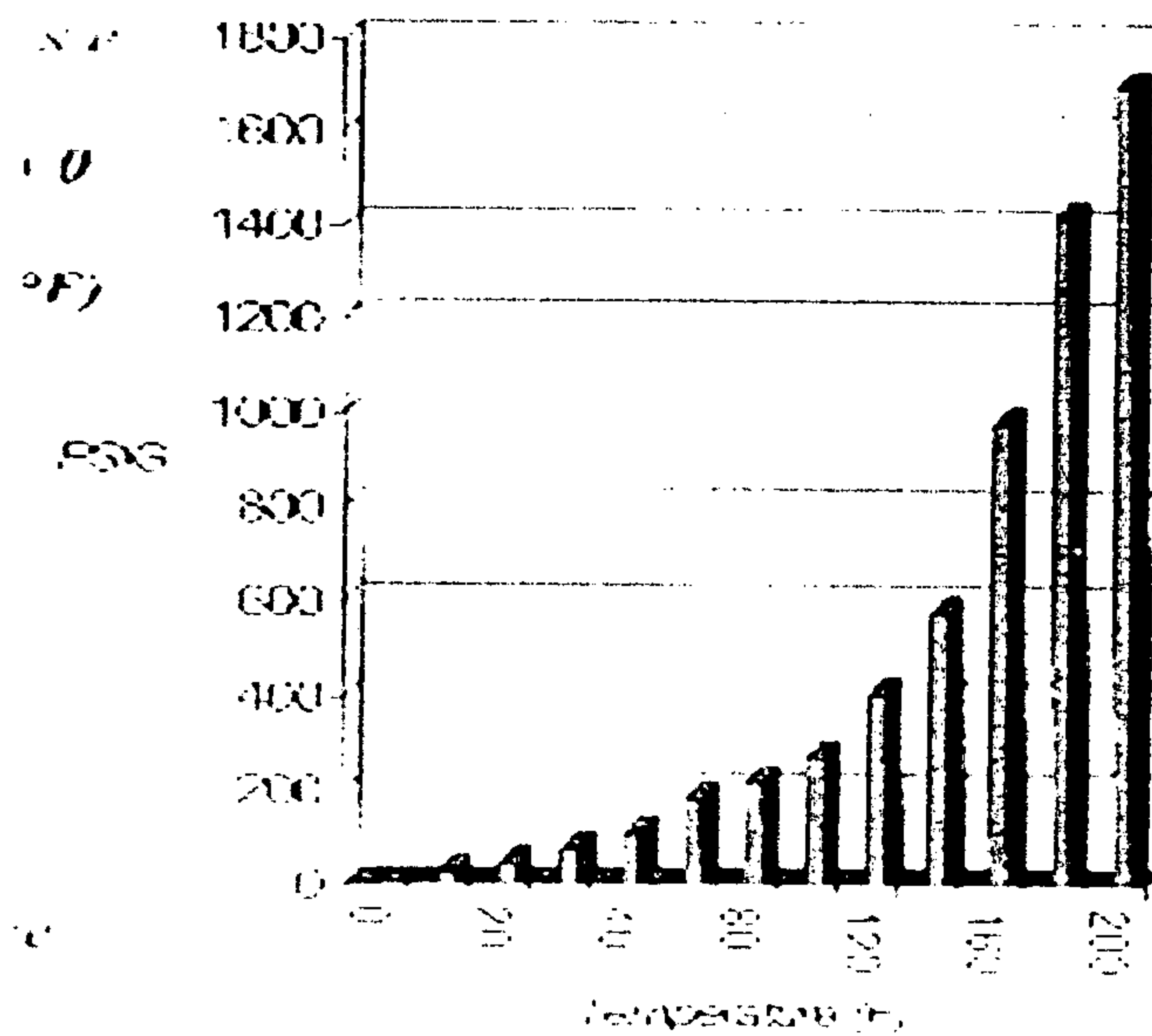


Figura No. 9: Tanques de almacenamiento de GLP.

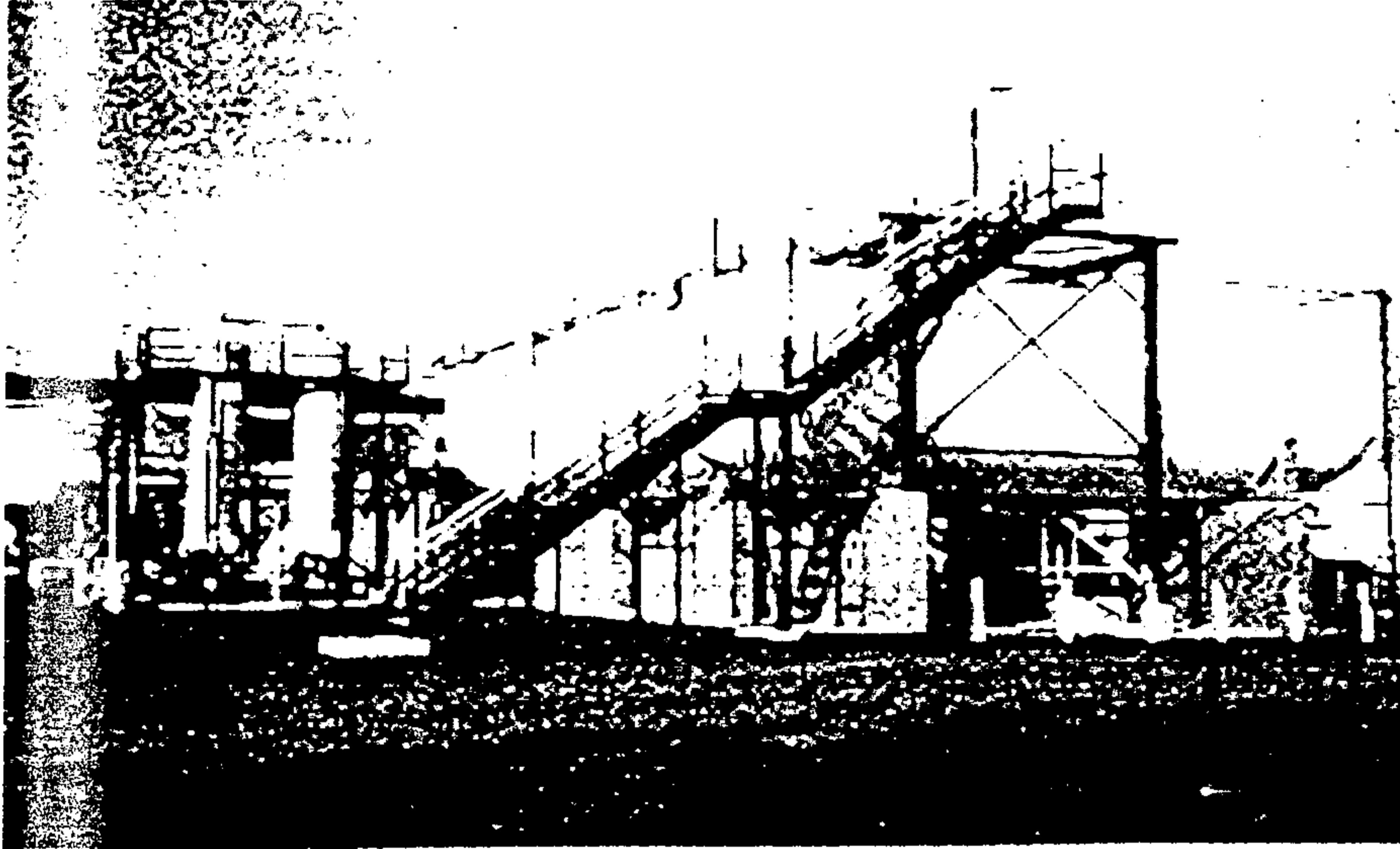


Figura No. 10: Máquina gasificadora semiautomática.

