



UNIVERSIDAD DE CIENFUEGOS
CARLOS RAFAEL RODRÍGUEZ
INGENIERÍA

Facultad de Ingeniería

Trabajo de Diploma

**Propuesta de un banco de comprobación de
dispositivos de alivio de presión y cilindros de GLP
para la empresa CENEX.**

Autora: María Marlen Cuellar Aguilera

Tutor: MSc. Carlos R. Conesa

MSc. Juan Gabriel Noa Águila

Curso 2021-2022



DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

UNIVERSIDAD DE CIENFUEGOS



Sistema de Documentación y Proyecto.

Hago constar que el presente trabajo constituye la culminación de los estudios en la especialidad de Ingeniería Mecánica en la Universidad de Cienfuegos, autorizando a que el mismo sea utilizado por el Centro de Estudio Superior para los fines que estime conveniente, ya sea parcial o totalmente, que además no podrá ser presentado sin la aprobación de dicha institución.

Firma del autor.

Los abajo firmantes certificamos que el presente trabajo ha sido según acuerdo de la dirección del centro y el mismo cumple los requisitos que debe tener un trabajo de esta envergadura, referido a la temática señalada.

Vice Decano.

Firma del Tutor

Nombre y Apellidos. Firma



Sistema de Documentación y Proyecto.

Nombre y Apellido. Firma.

Agradecimientos

Primeramente, a mis padres y hermano, los cuales han sido mi motor impulsor desde que decidí comenzar los estudios como ingeniera mecánica; por su amor, aliento y apoyo incondicional.

A mis tutores, por su comprensión en cada una de las situaciones, sus vastos conocimientos y ayuda incondicional.

A todo el claustro de profesores

A mis compañeros de clases, por estar conmigo siempre incondicionalmente. A mi familia y amigos que son parte de la familia; por su comprensión y entrega para conmigo. A todas esas personas que en algún momento estuvieron a mi lado,

Muchas Gracias

Dedicatoria

A mis padres.



Pensamiento

“De la luz se han de hacer los hombres y deben dar luz”

José Martí

(Político republicano democrático, ensayista, periodista, filósofo)



Resumen

En el trabajo se describe el estudio, cálculo y la propuesta de un banco de comprobación para dispositivos de alivio de presión y cilindros de GLP con un rango de operación de hasta 3 Mpa (30 Bar). El banco de comprobación se utilizará para verificar la integridad de los cilindros de GLP sujetos a presión y funcionamiento de los dispositivos de alivio de presión de seguridad con el objetivo de prevenir la salud del personal y el bienestar de la sociedad evitando accidentes por sobrepresión.

En la investigación se realizaron los cálculos mecánicos necesarios para lograr un trabajo seguro, así como también las distintas técnicas de inspección a realizar en el banco a dispositivo de alivio de presión y a las botellas portátiles rellenables de GLP. Se tuvo en cuenta la confección del manual de operación con sus correspondientes instrucciones de seguridad, materiales empleados y sus costos.

Summary

The work describes the study, calculation and proposal of a test bench for pressure relief devices and LPG cylinders with an operating range of up to 3 Mpa (30 Bar). The test bench will be used to verify the integrity of the LPG cylinders subject to pressure and the operation of the safety pressure relief devices with the aim of preventing the health of personnel and the well-being of society by avoiding accidents due to overpressure.

In the investigation, the mechanical calculations necessary to achieve a safe job were carried out, as well as the different inspection techniques to be carried out in the bank for the pressure relief device and the portable refillable LPG bottles. The preparation of the operation manual was taken into account with its corresponding safety instructions, materials used and their costs.



Índice

Introducción	9
Situación problemática	10
Hipótesis	10
Objetivo general	10
Objetivos específicos	10
Estructura capitular	11
1. Capítulo 1: Investigación del tema	13
1.1 Dispositivos de alivio de presión	13
1.1.1 Función de los dispositivos de alivio de presión	13
1.1.2 Calibración de los dispositivos de alivio de presión	13
1.1.3 Fallos fundamentales de los dispositivos de alivio de presión	14
1.2 Gas licuado de petróleo (GLP)	14
1.2.1 Antecedentes	15
1.2.2 Características específicas del Gas licuado.	16
1.2.3 Principales usos del Gas Licuado	17
1.3 Características de los Cilindros para el almacenamiento de GLP.	18
1.3.1 Estructura de un Cilindro Rellenable Portátil.	18
1.4 Fallos más comunes de los balos de GLP.	20
1.5 Principales técnicas de inspección para la detección de fallos en los Recipientes de almacenamiento de GLP	22
1.5.1 Inspección visual	22
1.5.2 Líquidos penetrantes	23
1.5.3 Medición de espesores por ultrasonido	24
1.5.4 Partículas magnéticas	24
1.5.5 Comprobación de resistencia mecánica	25
1.6 Diagrama de flujo para la inspección de recipientes de almacenamiento de GLP.	27
1.7 Banco de comprobación para los cilindros de GLP	28
1.7.1 Tipos de bancos de comprobación	29



1.7.2 Factibilidad de un banco de comprobación para los dispositivos de alivio de presión y botellas portátiles sujetos a presión de GLP.....	30
1.8 Descripción de la instalación	30
Conclusiones del capítulo.	31
Capítulo 2: Cálculos mecánicos del Banco de comprobación, resultados y análisis.	32
2.1 Cálculos mecánicos	32
2.1.1 Cálculo mecánico del espesor del colector principal de almacenamiento de agua.	32
2.1.2 Cálculo mecánico del espesor de las tapas planas ubicado en los extremos del colector principal.....	34
2.1.3 Selección de la clase (rating) de los dispositivos de alivio de presión ubicadas en el sistema de tuberías.	35
2.1.4 Cálculo mecánico del espesor del sistema de tuberías de altas presión.	36
2.1.5 Selección y cálculo de las uniones soldadas de las tuberías de alta presión.....	37
Conclusiones del capítulo	40
Capítulo 3 Manual de Operación y Costo económico	41
3.1 Manual de operación del banco de comprobación	41
3.1.1 Comprobación del cilindro de GLP	42
3.2. Medidas de seguridad a cumplir durante los trabajos del banco de comprobación	42
3.3 Valoración económica	43
3.3.1 Materiales	43
3.3.2 Gastos en salarios	44
3.3.3 Costo de materiales	44
3.3.4 Gastos directos	45
3.3.5 Gastos Indirectos	45
3.3.6 Recuperación de la inversión	46
Conclusiones del capítulo	46
CONCLUSIONES	48
RECOMENDACIONES	48
BIBLIOGRAFÍA	49



ANEXOS	51
--------------	----



Introducción

Los recipientes a presión, en muchos casos, son el núcleo del proceso productivo de incontables industrias a nivel mundial, impactando en todas las esferas del quehacer socioeconómico de la sociedad. Sus usos van desde hospitales, hoteles, escuelas hasta sectores de la alta y pequeña industria, por lo tanto se convierten en elementos que están en constante relación con operarios y público en general, dada esta condición, la cual ha sido permanente a lo largo de la historia industrial del mundo, el uso de estos recipientes y su operación segura ha sido la causa del surgimiento y aumento constante del rigor durante su fabricación, traducido en altos requerimientos normativos, donde se regula desde el diseño hasta los materiales, montaje y requerimientos para los fabricantes y operarios.

Un sector de impacto en todos los niveles de la sociedad descrito es el sector energético y específicamente el de los combustibles de uso doméstico como es el caso del Gas licuado del petróleo (GLP), este gas que se almacena en recipientes de alta presión, se aplica en procesos industriales y sociales disímiles, y además en el uso doméstico con diferentes formas de contenerización. Destaca su importancia y relevancia en el área del diseño mecánico.

El CENEX es una prestigiosa y reconocida entidad cubana perteneciente al Ministerio de la Construcción (MICONS), surge en 1985 como Laboratorio de control, previsto para los ensayos de control durante la construcción de la Central Electronuclear de Juragua, al paralizarse la construcción en 1992, se constituye el Centro Experimental para la Construcción y el Montaje, con el objetivo de ofrecer servicios a la industria nacional y desarrollar tareas de investigación y desarrollo. Radica en la provincia de Cienfuegos, tiene dentro de su objeto social la inspección de la calidad de las uniones soldadas mediante ensayos no destructivos como técnicas radiográficas, ultrasonidos, líquidos penetrantes y partículas magnéticas, especializado en brindar servicios de control por ensayos destructivos, a uniones soldadas, metales metálicos, y de construcción, de análisis de integridad estructural a recipientes, tuberías y componentes estructurales.

Para asegurar su buen funcionamiento y prevenir las fallas catastróficas de estos equipos, donde no solo involucra la seguridad de personas y activos, sino también la estabilidad operativa de importantes empresas a nivel nacional, la Empresa de Servicios Técnicos de Defectoscopía y Soldadura (CENEX), quiere proponer un dispositivo capaz de comprobar



de manera eficiente los dispositivos de alivio de presión y botellas portátiles rellenables de gases licuados de petróleo G L P .

Situación problemática

La Empresa de Servicios Técnicos de Defectoscopia y Soldadura CENEX no cuenta con un dispositivo que permita realizar la comprobación de forma íntegra y eficiente a los dispositivos de alivio de presión y cilindros de gases licuados de petróleo (G L P) sometidos a presión .

Hipótesis

Es posible realizar la propuesta de un banco de comprobación para dispositivos de alivio de presión y cilindros de gases licuados de petróleo (G L P) sometidos a presión que permita certificar de forma segura su integridad .

Objetivo general

Realizar la propuesta de un banco de comprobación para dispositivos de alivio de presión y cilindros de gases licuados de petróleo (G L P) sometidos a presión que permita certificar de forma segura su integridad

Objetivos específicos

- Actualizar el conocimiento existente alrededor de las exigencias y requisitos de la comprobación a los balos de G L P domésticas que se utilizan en Cuba .
- Obtener los requisitos técnicos y los variantes a utilizar para construir un banco de comprobación que satisfaga los requisitos funcionales y de seguridad para los balos de G L P a ensayar por parte del CENEX .
- Realizar los cálculos mecánicos requeridos para lograr un trabajo seguro de la instalación .



- Lograr una propuesta del banco de comprobación a los balos de GLP y procedimiento de trabajo, con una multifuncionalidad adecuada de forma que sea tecnológicamente viable y seguro.
- Determinar los costos preliminares para la construcción de la instalación

Diseño Metodológico de la Investigación

Revisión bibliográfica de la literatura especializada vinculada con los tipos y funcionamiento de las botellas portátiles rellenables de GLP. Selección de los materiales y componentes que componen el banco de comprobación. Una adecuada selección de los materiales a emplear garantiza un trabajo seguro a fin de evitar accidentes y fallos en el funcionamiento del equipo.

Selección de los métodos de cálculo de resistencia de los componentes sometidos a presión. La selección de los métodos de cálculos contribuye a lograr y aplicar desde el punto de vista científico lo estudiado a través del estudio de esta carrera. Elaboración de los planos y el esquema hidráulico.

Estructura capítular

Capítulo 1

En este capítulo se aborda todo lo relacionado con el GLP, los recipientes sujetos a presión, sus características principales, su estructura, fallos más comunes, técnicas principales para la inspección de los mismos, así como también de la necesidad de construir un banco de comprobación para la comprobación de la integridad de los mismos.

Capítulo 2

En este capítulo se realizan los cálculos mecánicos necesarios: espesor del colector principal de almacenamiento de agua., espesor de los tapas planas ubicado en los extremos del colector principal, selección de la clase y tipo de los dispositivos de alivio de presión mecánicas ubicadas en el sistema de tuberías., Cálculo mecánico del espesor del sistema



de tuberías de alta presión, selección y cálculo de los uniones soldadas de los tuberías de alta presión; para comprobar que el equipo propuesto resiste a los comprobación sometidas.

Capítulo 3

En este capítulo se confecciona el manual de operación con sus correspondientes instrucciones de seguridad, materiales empleados y sus costos.



1. Capítulo 1: Investigación del tema

El gas licuado de petróleo es actualmente el combustible alternativo más utilizado en el mundo, y poco a poco comienza a ganar terreno frente a carburantes tradicionales: la gasolina y el diésel. Aunque su penetración en el mercado es aún muy inferior a la de estos dos vehículos, cuenta con determinadas ventajas que han propiciado la proliferación de modelos compatibles en el mercado, así como estaciones de servicio que lo suministran. En este capítulo estaremos hablando de todo lo relacionado con el Gas licuado de petróleo (GLP) y sus componentes, así como las distintas formas de almacenamiento y la comprobación que se le realizan. (Plaza, 2022)

1.1 Dispositivos de alivio de presión

Los dispositivos de alivio de presión son elementos utilizados en cualquier recipiente que contenga gases o líquidos a presiones mayores a la atmosférica que evitan que el recipiente sufra roturas ante elevaciones excesivas de presión. Estos elementos de seguridad son comúnmente usados en cualquier recipiente a presión. Pueden ser encontradas en equipos de la industria química, de alimentos, de gas, petróleo, energía, etc. o en elementos de uso doméstico.

1.1.1 Función de los dispositivos de alivio de presión

Su función es proteger los distintos equipos (recipientes, intercambiadores de calor, bombas, compresores) ante un elevado aumento de presión, generalmente debido a una falla en el proceso.

Actúan liberando el fluido (líquido o gas) que circula o se almacena en el equipo protegido, ya sea a la atmósfera o a un caño o recipiente colector especialmente diseñado para tal función.

1.1.2 Calibración de los dispositivos de alivio de presión

Para el uso y explotación de los dispositivos de alivio de presión es de suma importancia la calibración y certificación de los mismos, a través de una entidad reguladora (ONN) Oficina



Nacional de Normalización. En la tabla 1, tomada de la gaceta Oficial 30 del 2014 se muestran las presiones de trabajo y el % de calibración correspondiente:

PRESIÓN DE TRABAJO DEL RECIPIENTE	EXCESO DE PRESIÓN DEL RECIPIENTE SOBRE LA DE TRABAJO
Hasta 3 kgf/cm ²	0,5 kgf/cm ²
De 3 a 6 kgf/cm ²	15 %
Más de 60 kgf/cm ²	10 %

Figura 1 Calibración de las válvulas de seguridad. Fuente (Gaceta Oficial 30,2014)

1.1.3 Fallos fundamentales de los dispositivos de alivio de presión

Existen una amplia variedad de causas que provocan mal funcionamiento de los dispositivos de alivio de presión que se encuentran ubicados en recipientes a presión o en tuberías. Los fallos están divididos en tres categorías: fugas o escurrimiento y disparo prematuro a continuación se describen cada una de ellos.

- **Fugas o escurrimientos**

Puede ser provocada por desajustes en el rango de calibración, deterioro del muelle o desgastes por corrosión o erosión del área del asiento, otras causas pueden ser que pequeñas partículas sólidas quedan atrapadas entre los asientos de la válvula o existencia de grandes pesos sobre la válvula como tuberías de grandes diámetros.

- **Fallos por disparo prematuro**

El disparo prematuro puede ocurrir cuando se calibra la válvula de seguridad por debajo del 15 % de la presión de trabajo según la Gaceta Oficial 30, Resolución No 44 Sección Tercera, el Artículo 36 pagina 786. (Ministerio, 2014)

Cuando se ajusta la carga del resorte para cambiar la presión graduada, hay que impedir que las superficies del asiento y del disco giren entre sí para evitar dañarlos.

1.2 Gas licuado de petróleo (GLP)

El gas licuado de petróleo es una mezcla de butano y propano con una composición, características y proporciones que lo convierten en apto para su uso como combustible fundamentalmente doméstico. La combinación más eficiente y habitual es la que utiliza un 70% de butano y un 30% de propano, siendo de un 65/35 para vehículos pesados. También



se puede encontrar la proporción 60/40, pero esta es menos recomendable por su inferior eficiencia energética. (Central, 2022)

El 60% del GLP que se comercializa es obtenido de yacimientos de gas natural o petróleo, siendo el 40% restante producido a raíz de la destilación del petróleo en las refinerías.

1.2.1 Antecedentes

El GLP no es un invento reciente, pues ya a primeros del siglo XX se comenzó a utilizar como combustible. La gasolina natural sin refinar era muy propensa a evaporarse por contener elementos inestables e inflamables que en la práctica carecían de utilidad. Dichos componentes eran el gas propano y butano, que en 1911 el químico estadounidense Walter Snelling (figura 2) demostró ser capaz de separar de la gasolina para posteriormente licuarlos al aplicarles una presión no demasiado elevada. Así nació el denominado GLP (gas licuado de petróleo), que se podía transportar como un líquido y también evaporarse como un gas. En los años 30 se aceleró el proceso de comercialización del GLP - principalmente en Francia- y a finales de dicha década varias compañías ya competían en el mercado, con su uso habitual en ferrocarriles y con la creación de las primeras plantas de procesamiento en Estados Unidos. (Central, 2022)

Con la llegada de la crisis del petróleo en 1973, la comercialización internacional del GLP dio un paso definitivo al entender los productores el potencial económico de este combustible. Entre 1975 y 1985, la capacidad exportadora de Oriente Medio se quintuplicó y también se construyeron plantas de recuperación de líquidos en Australia, Indonesia, Argelia, Venezuela y el Mar del Norte. (Central, 2022)



Figura 2. Walter Snelling Walter Snelling 1880 a 1965, químico que contribuyó al desarrollo de artillería, explosivos y GLP. Fuente (Hall of Fame, 2022).

1.2.2 Características específicas del Gas licuado.

VALORES CARACTERÍSTICOS	PROPANO COMERCIAL		BUTANO COMERCIAL	
Tensión de vapor absoluta a 20° C	8,5 bar abs.		2,25 bar abs.	
Temperatura de ebullición a presión atm.	- 45° C		- 0,5° C	
Masa en volumen del gas a 20° C y presión atmosférica (ρ) (valores SEDIGAS)	2,095 kg/m³		2,625 kg/m³	
Densidad en fase gas (respecto al aire)	1,62		2,03	
Masa en volumen del líquido a 20° C (ρ)	506 kg/m³		580 kg/m³	
Densidad en fase líquida (respecto al agua)	0,506		0,580	
Poder Calorífico Superior -Hs-	12 000 kcal/kg	13,95 kWh/kg	11 900 kcal/kg	13,83 kWh/kg
	25 140 kcal/m³	29,23 kWh/m³	31 240 kcal/m³	36,32 kWh/m³
Poder Calorífico Inferior -Hi-	10 900 kcal/kg	12,67 kWh/kg	10 820 kcal/kg	12,47 kWh/kg
	22 835 kcal/m³	26,55 kWh/m³	28 400 kcal/m³	33,02 kWh/m³
Presión atmosférica = 1,01325 bar; Masa en volumen del aire ρ = 1,293 kg/m³; Masa en volumen del agua ρ = 1000 kg/m³.				

Figura 3. Características específicas del GLP. Fuente (Latam, 2022)

Temperatura

A presión atmosférica y temperatura ambiente (1 atmósfera y 20°C), el GLP se encuentra en estado gaseoso. Para obtener líquido a presión atmosférica, la temperatura del butano debe ser inferior a -0.5°C y la del propano a -42°C. (Research, 2014)

Como se produce



El GLP es la mezcla de gases, en su mayoría compuestos por butano y propano que se obtienen a través del refinamiento del petróleo y también de procesos de separación del gas natural.

Ventajas del uso de GLP

Son varias las causas por las que el GLP se está popularizando tanto en la actualidad, pues se ha convertido en una alternativa muy válida a los combustibles tradicionales, que actualmente están siendo muy perseguidos a nivel fiscal y legislativo. (Central, 2022)

- Uno de los mayores atractivos es su menor coste, pues suele costar alrededor de un 45% menos que la gasolina (actualmente ronda los 0,70 €/kg/l).
- Un vehículo que utiliza GLP emite un 15% menos de dióxido de carbono (CO₂) que un coche de gasolina y alrededor de un 80% menos de óxidos de nitrógeno que un diésel.
- Su mayor ventaja es la versatilidad, cuenta con una gran flexibilidad para ser usado en diversas aplicaciones y proporciona una mayor confianza al usuario.
- Es considerado el combustible más económico a gran distancia del segundo más barato.
- Este tipo de gas tiene un alto poder calorífico y un gran rendimiento para el uso doméstico en la calefacción y el agua caliente.

1.2.3 Principales usos del Gas Licuado

- Obtención de olefinas, utilizadas para la producción de numerosos productos, entre ellos, la mayoría de los plásticos.
- Combustible para automóviles, una de cuyas variantes es el autogas.
- Combustible de refinerías.
- Combustible doméstico (mediante garrafas o bombonas, depósitos estacionarios o redes de distribución al cual se le agrega mercaptán para detectar por medio del olor las posibles fugas).
- Procesos industriales, calentar y secar productos agrícolas.
- Combustible para generación eléctrica.
- Combustible de nuevos barcos militares y de transporte.



1.3 Características de los Cilindros para el almacenamiento de GLP.

Según la Norma Cubana 364 Botellas de acero soldadas transportables y recargables de gases licuados de petróleo GLP, Diseño y Construcción plantea que:

Es un recipiente metálico, con cordones de soldadura, hermético, reutilizable o rellenable, utilizado para contener GLP, que por su masa y dimensiones puede manejarse manualmente como se muestra en la figura 4. Está formado por los siguientes componentes: Cuello protector, brida, dispositivos de alivio de presión, cuerpo cilíndrico y base de sustentación. (Norma Cubana 364, 2004)



Figura 4 Cilindro Portátil rellenable de GLP. Fuente (ITESA, 2021)

Los recipientes donde se transporta GLP son diseñados para este fin (cerrados y presurizados) para prevenir la pérdida de evaporación de los gases. Todos los tanques llevan al menos un dispositivo de alivio de presión de servicio a través de la cual se adiciona o retira gas y una válvula de seguridad para aliviar cualquier acumulación de presión. Si la presión del recipiente comienza a elevarse (por causa de algún agente externo) los dispositivos de alivio de presión permitirán la descarga del exceso de presión, disminuyendo el riesgo de explosión.

NOTA: Los cilindros más comunes van desde 25, 50 y 100 libras, dependiendo del fabricante varía el grosor del metal de fabricación.

1.3.1 Estructura de un Cilindro Rellenable Portátil.

En la figura 5 se muestran las partes principales que componen un recipiente de almacenamiento de GLP de uso doméstico.



Figura 5 Estructura de los cilindros de GLP de uso domésticos. Fuente (INDOCAL, 2019)

Válvula de seguridad



Figura 6 Señalización de un dispositivo de alivio de presión de seguridad para cilindros de gas para uso doméstico. Fuente (Direct INDUSTRY, 2022)

Los válvulas de alivio de presión, también llamadas válvulas de seguridad o válvulas de alivio según (wikipedia, 2022), están diseñadas para aliviar la presión cuando un fluido supera un límite preestablecido (presión de tarado). Su misión es evitar la explosión del sistema protegido o el fallo de un equipo o tubería por un exceso de presión. Existen también las válvulas que alivian la presión de un fluido cuando la temperatura (y por lo tanto, la presión) supera un límite establecido por el fabricante.

Casquetes (superior e inferior)



Partes metálicas del recipiente, de forma semiesférica o semielíptica, con o sin faldón recto, o de forma semicapsulada.

Aro protector

Parte metálica de forma cilíndrica abierta o cerrada, soldada al casquete superior del cilindro que sirve para la manipulación del mismo y para proteger la dispositivos de alivio de presión de daños por impacto: tiene aberturas que permiten su conexión con el regulador, así como la ventilación, operación y drenaje.

Brida o collarín

Pieza metálica anular con un orificio concéntrico con rosca cónica, que va soldada en el centro del casquete superior del envase del cilindro y que permite la instalación de los dispositivos de alivio de presión ha dicho envase.

Zócalo o base de sustentación.

Pieza metálica de forma circular, rebordeada hacia el interior en su parte inferior, soldada al casquete inferior del recipiente, para sostenerlo y posicionarlo verticalmente, con orificios que permiten la ventilación para disminuir los efectos de la corrosión por humedad en el mismo.

Cuerpo cilíndrico

Es la parte del cilindro que contiene el producto y puede estar formado por: casquete, casquete inferior y sección cilíndrica o bien por dos casquetes semicapsulados.

1.4 Fallos más comunes de los balos de GLP.

Los cilindros de GLP presentan con el paso del tiempo y la mala manipulación y el descuido de los operarios presentan fallos que afectan la integridad de los mismos, plasmado en (Norma cubana 361, 2004) como se muestran a continuación (Ver figura 7):

- Abultamiento: Hinchamiento visible de la botella



- Abolladura: Depresión en la botella que no ha penetrado ni arrancado el metal y cuyo ancho en cualquier punto sea superior al 2% del diámetro exterior de la botella. Cuando la profundidad de la abolladura exceda de $\frac{1}{4}$ de su ancho en cualquier punto. Deben tomarse en cuenta el aspecto y la localización de los abolladuras para su evaluación
- Ranuras o muesca: Marca incisiva en la que se ha producido arranque o arrastre del material. Intersección de ranura o muesca: Punto de intersección de dos o más ranuras o muescas.
- Abolladura con ranura o muesca: Concavidad en la superficie de la botella en la que existe una ranura o una muesca
- Grietas: Ranuras o rotura en el cuerpo de la botella.
- Picaduras de corrosión aisladas: Picadura del metal en áreas aislada. Una concentración no superior a 1 picadura por 500 mm² de superficie.
- Corrosión local: Reducción del espesor de pared en una superficie que no exceda del 20% de la superficie total de la botella.
- Corrosión generalizada: Reducción del espesor de pared en una superficie que exceda del 20% de la superficie total de la botella.
- Marcas de quemaduras por arco eléctrico o por efecto de llama: Quemadura del material de base de la botella de gas, la zona afectada térmicamente endurecida, aporte de materiales extraño, de soldadura o arranque del metal por llamas de soplete o carbonización.
- Daños por fuego: Calentamiento excesivo generalizado o localizado de una botella de gas, por lo general identificable por:
 - a) Tostado o quemadura de la pintura
 - b) Daños del material de base por efecto del calor Deformación de la botella
 - d) Partes metálicas de los dispositivos de alivio de presión derretidas
 - e) Partes de plástico derretidas, por ejemplo, anillo de datos, tapón o caperuza.



Figura 7 Cilindros de GLP dañados por corrosión, abolladuras. Fuente (Teja, 2017)

1.5 Principales técnicas de inspección para la detección de fallos en los Recipientes de almacenamiento de GLP

Los fallos antes mencionados como en la totalidad de los recipientes a presión, pueden ser detectados por ensayos no destructivos (END), los que se definen como aquellos métodos de ensayos que son utilizados para examinar un objeto, material o sistema sin afectar su utilidad futura. El término es aplicado en general a investigaciones no médicas de integridad material.

Los END se han convertido en un factor vital, para el incremento de la eficiencia de las investigaciones y en el desarrollo de los programas de diseño y fabricación. Sólo con el uso apropiado de las técnicas de ensayo no destructivo pueden lograrse un avance pleno de los beneficios de las ciencias de materiales. Debido a las características de los fallos antes mencionados, los métodos de inspección superficiales son los que más se adecuan según (Norma Cubana 364, 2004):

- Inspección visual.
- Líquidos penetrantes.
- Medición de espesores por ultrasonido.
- Partículas magnéticas.
- Comprobación de resistencia mecánica y hermeticidad

1.5.1 Inspección visual



La inspección visual es el ensayo no destructivo por excelencia. La luz, su agente físico, no produce daño alguno a la inmensa mayoría de los materiales examinados. Este método proporciona indicaciones inmediatas que frecuentemente no precisan de interpretación elaborada. No obstante, no debe caerse en la tentación de creer que lo que se ve, es como se ve. En muchos casos lo visto debe ser elaborado en función de los aspectos del problema e incluso de la propia técnica de observación, tal como el color de la luz empleada, si es o no polarizada, incidencia de la iluminación. La importancia del color en la inspección visual es muy variable en función del problema abordado. Hay muchos problemas industriales en los que el color puede contribuir de modo importante a la detección e identificación de discontinuidades. Por ejemplo, el examen de productos de corrosión en superficies metálicas permite su clasificación, casi siempre basándose en las coloraciones que presentan. La inspección visual siempre está vinculada a un examen completo del recipiente, otorgándose especial atención a los partes que son inaccesibles y difíciles de limpiar. A través de esta técnica se pueden detectar en los recipientes de almacenamiento de GLP los siguientes defectos: Corrosión en las superficies tanto exteriores como interiores, grietas, desgarradura deformaciones de las paredes del recipiente. (Norma Cubana 364, 2004)

1.5.2 Líquidos penetrantes

Este método utiliza el principio de la capilaridad y la baja tensión superficial de productos derivados del petróleo. Puede ser utilizado para la detección de cavidades, grietas o agujeros que se extienden a la superficie de trabajo y también puede ser utilizado para detectar fugas en los recipientes. Esta técnica, puede ser capaz de revelar cavidades no detectadas en una inspección visual y son especialmente útiles para detectar grietas en la uniones soldadas, especialmente aquellos muy finas que aparecen en la zona de influencia térmica, debido a la acción de fenómenos de agrietamiento por corrosión bajo tensión y fatiga. La mayor parte de los líquidos penetrantes son productos patentados. Sin embargo, pueden sustituirlos mediante el empleo de fórmulas caseras para obtener penetrantes capaces de realizar determinadas tareas, aunque tales mezclas no son tan sensibles como los marcas comerciales. Un simple ensayo de penetración se puede realizar utilizando keroseno y talco (puede utilizarse tiza finamente molida). La superficie que se va a



ensayarse se limpia primero con cualquier compuesto apropiado y se seca; después se aplica una capa delgada de keroseno u otro fluido penetrante. Se deja un corto tiempo para que el keroseno penetre en cualquier defecto por acción capilar y posteriormente por la otra cara se le aplica el talco. De existir algún punto, haya pasado al otro lado, será absorbido por el talco y se observara una marca visible. Este ensayo en la mayoría de los casos se aplica siguiendo las indicaciones del Código ASME sección V, Subsección A, Artículo 6 y los criterios de admisibilidad según el Código ASME sección VIII. (The American Society of Mechanical Engineers, 2010)

1.5.3 Medición de espesores por ultrasonido

Un elemento importante que permite una valoración y toma de decisiones del estado del recipiente, lo constituye la comprobación de su espesor, para conocer si está o no en el rango de trabajo, se realiza esta medición por un método no destructivo, es decir, mediante un medidor ultrasónico y conocidos los valores se realizarán los cálculos de espesores mínimos con que puede trabajar el recipiente que se inspecciona, dicho cálculo se realizará según Memorias de cálculo, por el código de diseño o en caso de no contar con este dato, los cálculos se realizarán por el código ASME sección VIII

En los recipientes de almacenamiento de GLP, es de suma importancia el control de los espesores, porque su disminución puede sacar de funcionamiento al mismo.

La determinación del espesor se realizará según la norma y materiales de construcción.

El personal que hace la medición del espesor tiene que estar debidamente entrenado y calificado para hacerlo. (Norma Cubana 364, 2004)

1.5.4 Partículas magnéticas

El método de partículas magnéticas se limita a materiales ferromagnéticos, lo cual significa, en efecto, que esta principalmente dedicado a aceros y fundiciones. La operación básica consiste primero en una magnetización de la pieza de trabajo con un poderoso campo magnético. Entonces la superficie se cubre con una capa delgada de polvo magnético, óxido negro u óxido rojo o una sustancia fluorescente. El polvo puede ser aplicado en seco o en forma de una suspensión en un líquido de baja viscosidad. Si hay una pequeña grieta, el poderoso campo magnético de la pieza de trabajo establece un polo norte en un lado de la



grieta y un polo sur en el otro extremo. El polvo magnético es atraído por estos polos, marcando así la grieta. El polvo magnético puede ser soplado de la superficie en un área donde no hay grietas, pero permanecerá unido a la superficie en la grieta. Para obtener un registro permanente, se coloca un trozo de cinta aislante sobre el polvo y de esta manera este queda adherido. La superficie tiene que estar limpia y bastante lisa, especialmente si se quiere detectar las grietas de la zona inmediatamente inferior a la misma, aunque el método no es adecuado si los defectos están a gran distancia de la superficie. Las partículas magnéticas poseen varias técnicas, entre ellos podemos citar: bobinas, yugos, conductor central, contacto entre cabezales y otras. De todas estas los técnicas, los más aplicables para el caso de los recipientes de GLP lo constituyen la técnica de Yugo como se muestra en la figura 8; cuando solo se pretenden detectar defectos superficiales y la técnica entre punta cuando se quieren detectar defectos por debajo de la superficie. Es necesario aclarar que la aplicación de la técnica entre puntas exige que el recipiente este correctamente desgasificado y vaporizado, pues en ocasiones en los puntas se pueden provocar chispas y con ellos un incendio.

Solo se realizará el ensayo hidráulico a las botellas que pasan satisfactoriamente la Inspección visual y el ensayo de hermeticidad a los que pasan satisfactoriamente el ensayo hidráulico. (Norma Cubana 364, 2004)



Figura 8 Utilización del método del Yugo. Fuente (Pérez, 2018)

1.5.5 Comprobación de resistencia mecánica



El objetivo de los comprobación de resistencia mecánica e determinar la no existencia de fugas o salideros en metal base y uniones soldadas, así como comprobar la resistencia a la presión de comprobación del mismo.

Las comprobaciones de resistencia mecánica pueden ser de 2 tipos:

- Comprobación hidráulica
- Comprobación neumática.

Siendo la comprobación neumáticas limitadas para su aplicación debido al alto riesgo que representa por el peligro de la energía almacenada de los gases comprimidos.

Comprobación hidráulica

Según establece la NC 361 en el punto 5.4.1.3 la comprobación hidráulica se realizará a la presión de ensayo que se establece en la marca en las botellas.

Para el ensayo debe utilizarse un fluido, por ejemplo agua o queroseno.

- ✓ Las botellas con dispositivos de alivio de presión inoperante u obstruida deben llevarse a un recinto en que se puedan desmontar los dispositivos de alivio de presión bajo condiciones totalmente seguras. Los dispositivos de alivio de presión deben desmontarse de las botellas para su inspección y mantenimiento. La superficie exterior de los botellas puede requerir una limpieza previa

Si el método de limpieza conlleva el mojado de la superficie exterior, ésta debe secarse completamente antes de proceder al ensayo de presión hidráulica.

El método puede ser hidrostático o neumático, pero en ambos casos el cilindro no debe presentar fugas. (Norma Cubana 364, 2004)

Comprobación de hermeticidad

Las pruebas de hermeticidad tienen como objetivo fundamental comprobar la hermeticidad del cilindro y la válvula una vez terminado todo el proceso antes de ser entregado al cliente, de esta manera se comprueba que no existen fugas ni salideros por las roscas ni fugas por las válvulas del recipiente.



Para realizar los pruebas de hermeticidad los botellas deben llenarse con un gas inerte no toxico ni explosivo, por ejemplo, aire, nitrógeno, la presión de la prueba de hermeticidad que establece la norma NC 364 es para cilindros que contengan gases de GLP con contenido de propano-butano de 14 bar.

NOTA: El ensayo puede consistir en una inmersión completa de las botellas en agua o en cualquier sistema equivalente.

Toda botella que no pase satisfactoriamente el ensayo debe repararse o desecharse.
(Norma Cubana 364, 2004)

1.6 Diagrama de flujo para la inspección de recipientes de almacenamiento de GLP.

En la figura 9 se muestra el diagrama de flujo a seguir para realizar una correcta inspección de los cilindros de GLP.

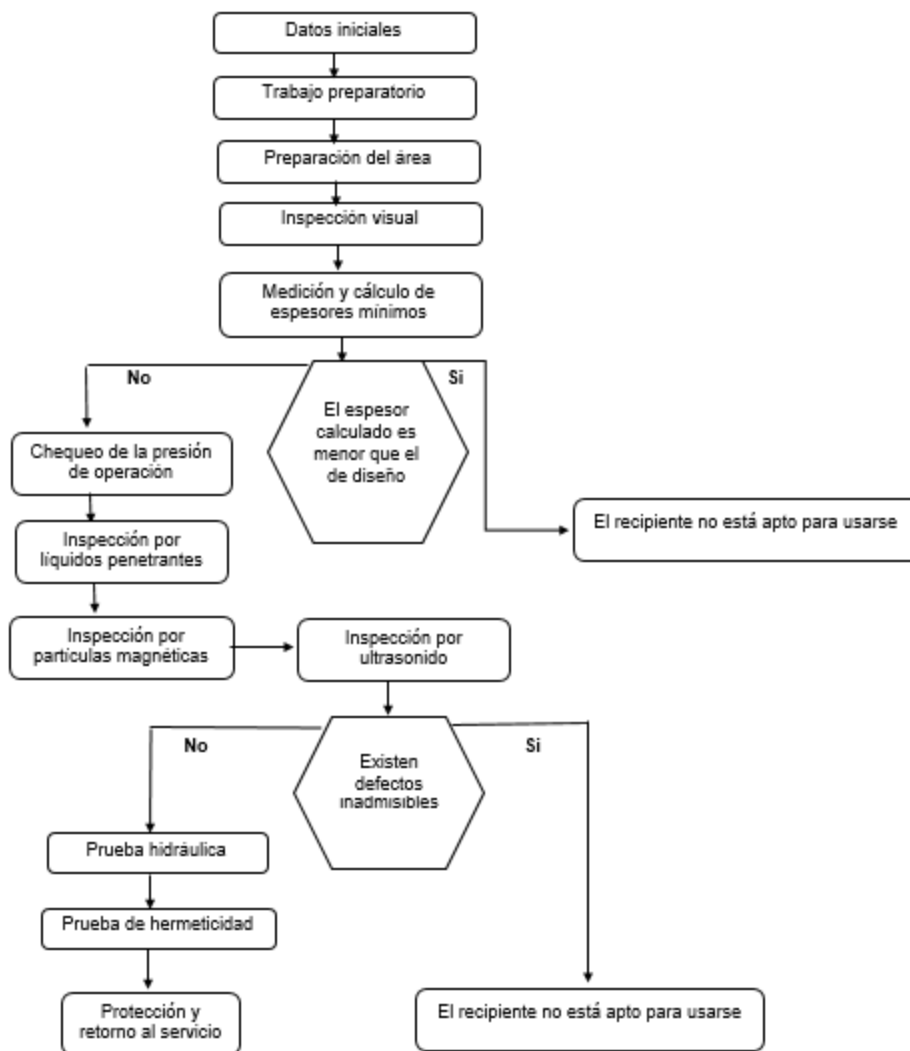


Figura 9 Diagrama de flujo para la inspección de los recipientes

1.7 Banco de comprobación para los cilindros de GLP

El objetivo principal de la construcción del banco de comprobación es lograr la seguridad operacional y la comprobación mediante técnicas descritas en la norma cubana NC 361.

El término se usa en varias disciplinas para describir un ambiente de desarrollo que está protegido de los riesgos de los pruebas en un ambiente de producción. Puede ser implementado como un entorno de propósito de verificar. (Redgiga 2022, 2010)

1.7.1 Tipos de bancos de comprobación

Según búsquedas e información obtenidas, existen a nivel mundial empresas constructoras de bancos de comprobación, con variadas características que incluyen desde simples hasta sofisticadas posibilidades en este campo, entre las empresas internacionales productoras de bancos de tenemos los siguientes: (González, 2018)

- KALMIA, S.A. es una sociedad anónima fundada en el año 1960, radicada en España, la cual produce diferentes tipos de bancos de comprobación para dispositivos de alivio de presión de seguridad en una gamma de diámetros desde 4" (100 mm) hasta 10" (250 mm) y presiones de hasta 60 Mpa.
- BBalver Flow Systems & controls es otra compañía radicada en Valencia, España, productora de bancos de comprobación de diferentes tipos de dispositivos de alivio y variadas capacidades, para comprobación mediante aire, nitrógeno o agua.
- VYC Industrial es una compañía española dedicada a la construcción de bancos de comprobación de dispositivos de alivio de presión de seguridad con rangos de diámetros entre 10 mm hasta 125 mm y presiones de hasta 21 MPa
- BC 1200ECO SERIES es un banco de comprobación hasta 1200 bar, pequeño y de fácil utilización, equipado con acoplamiento rápido 1:4 gas, manómetro analógico para leer la presión y bomba neumohidráulica, ver figura 8.
- P 250 con control C.2IPC es un banco modular que ofrece la posibilidad de utilizar sistemas de sujeción rápida, enchufables, ver figura 9.



Figura 8 BC 1200ECO SERIES. Fuente (Direct INDUSTRY, 2022)



Figura 9 P 250.

Fuente (Direct INDUSTRY, 2022)



1.7.2 Factibilidad de un banco de comprobación para los dispositivos de alivio de presión y botellas portátiles sujetos a presión de GLP.

El plan de venta de gas licuado de petróleo en Cuba creció un 29% con respecto al año anterior, un incremento asociado a la situación energética por el déficit de generación y otras afectaciones eléctricas que enfrenta la población, pero el déficit de cilindros para mantener la logística de aprovisionamiento en los puntos de venta complejiza la distribución. (Rivero, 2022)

Por las limitaciones que impone el bloqueo, tenemos que comprar la materia prima en países distantes a altos precios, depender de navieras encarecidas. También afectan las dinámicas fabriles las limitaciones con el combustible y el déficit de generación de energía que afronta el país, relacionado con el Bloqueo estadounidense. (Rivero, 2022)

Ante toda esta situación, déficit de cilindros y poco alcance económico del país para comprar materias primas para la confección de los antes mencionados, con un banco de comprobación, que sea capaz de comprobar los cilindros, haciéndole todas las comprobación necesarias, antes de enviarlos a la distribución nacional, el país evitaría elevados costos en compra y resolvería el déficit de distribución de los mismos, mediante su reutilización.

1.8 Descripción de la instalación

La instalación para la comprobación de los cilindros y sus dispositivos de alivio de presión consta de 2 partes fundamentales, ver anexo 3

- Sistema hidráulico para realizar los pruebas de resistencia mecánica.
- Sistema neumático para la realización de los pruebas de hermeticidad.

Sistema hidráulico:

El sistema hidráulico está compuesto por un tanque receptor cuyo objetivo es servir como amortiguador durante el proceso de pruebas.



- Un sistema de tuberías donde su función es unir el tanque receptor con el recipiente a comprobar: constituido por tuberías ASTM A-106 grado B de diámetro $1" = 33.4 \text{ mm} = 0.03 \text{ m}$.
- Manómetro de comprobación el cual tiene como objetivo registrar la presión durante el proceso de pruebas. Su rango es de 0-60 bar, se calibran mensualmente según establece la NC 361 (Norma cubana 361, 2004)
- Dispositivo de alivio de presión, ubicado en el colector principal, sin el cual el mismo no podría realizar ninguna de las pruebas de comprobación a realizar.
- La manguera tiene la función de unir el cilindro con el sistema de tuberías.
- Sistema de válvulas: las válvulas tienen como objetivo lograr las aperturas y cierres durante el periodo de prueba. Los mismos son de material acero al carbono clase de 300 libras calculadas según el Código ASME B16.5.

Sistema neumático

El sistema neumático está compuesto por un compresor Atlas Corpus, de carga y presión máxima de trabajo de 16 bar. El uso del compresor será para realizar la prueba de hermeticidad a una presión de 14 bar.

Válvula de cierre: la cual se mantendrá cerrada durante el proceso de prueba hidráulica y se abrirá solamente para la realización de esta prueba.

Conclusiones del capítulo.

En este capítulo se logró realizar una investigación sobre todo lo relacionado con los dispositivos de alivio de presión y el Gas Licuado de Petróleo, así como de los recipientes a presión y sus características principales, y la propuesta de instalación del banco de comprobación de dispositivos de alivio de presión y cilindros de GLP.



Capítulo 2: Cálculos mecánicos del Banco de comprobación, resultados y análisis.

2.1 Cálculos mecánicos

Para lograr un trabajo seguro y fiable se requiere que todos los elementos que componen el banco de comprobación sean calculados y certificados por lo que a continuación se describen los cálculos mecánicos que avalan entre ellos están los siguientes:

- a) Cálculo mecánico del espesor del colector principal de almacenamiento de agua.
- b) Cálculo mecánico del espesor de las tapas planas ubicado en los extremos del colector principal.
- c) Selección de la clase y tipo de válvulas mecánicas ubicadas en el sistema de tuberías.
- d) Cálculo mecánico del espesor de las tuberías de alta presión.
- e) Selección y cálculo de las uniones soldadas de las tuberías de alta presión.

2.1.1 Cálculo mecánico del espesor del colector principal de almacenamiento de agua.

El cuerpo del recipiente se construyó a partir de una tubería sin costura con un diámetro 6" (0.167 m), de acero al carbono SA-106 grado B. (ASME Sección II parte D).

El tanque de almacenamiento tiene las siguientes características:

- Material del cuerpo: Acero al carbono SA_106 grado B
- Espesor nominal = 7,11 mm
- Presión de diseño = 30 bar

Para determinar el espesor admisible del cuerpo se usó como referencia el código ASME sección II parte A obteniéndose de la tabla 1 pagina 201 la composición química y propiedades de ese material: (The American Society of Mechanical Engineers, 2010)



Tabla No.1 Composición química.	
Carbono max = 0.30%	Cromo max = 0.40%
Manganeso max = 0.29% a 1.06%	Cobre max = 0.40%
Fosforoso max = 0.035%	Molibdeno max = 0.15%
Azufre max = 0.035%	Níquel max = 0.40%
Silicio min = 0.10 %	

De la tabla 2 página 202 del código ASME Sección II Parte A 2010, se obtienen las tensiones de rotura y fluencia respectivamente de ese material, arrojando los siguientes valores:

Tabla No.2

Resistencia a la tracción = 415 Mpa = 4150 bar
Tensión de la fluencia = 240 Mpa = 2400 bar
Tensiones admisibles [B]= 118 Mpa= 1180 kg/cm ² .

El cálculo del espesor mínimo del tanque se calcula según ASME B31.3 punto 304.1.2 inciso 3a según la fórmula:

$$t = \frac{P \times D}{2(S \times E \times W + P \times Y)}$$

Dónde:

t= Espesor mínimo requerido

S= Valor obtenido de las tensiones admisibles según ASME sección II parte D = 1180 kg/cm²

E= Eficiencia de la soldadura, se toma = 0.8

P= Presión de diseño al cuál trabajará el tanque = 30 bar según la NC 364 para cilindros comerciales.

D = diámetro exterior del tubo = ø6"= 6.625 x 25.4 = 168.275 mm = 16.87 cm



W = factor de reducción de la resistencia de la unión según la Tabla 302.3.5 Código ASME

B 31.3, 2012 página 21 = 1

Y = coeficiente de la tabla 304.1.1 página 22 = 0.4

Las tensiones admisibles se obtuvieron a partir de la temperatura de trabajo y el material seleccionado en el código ASME sección II parte A, donde se obtuvo:

S = 1180 bar

Sustituyendo los valores:

$$t = \frac{30 \times 16.8}{2(1180 \times 0.8 \times 1 + 30 \times 0.4)}$$

$$t = \frac{504}{2(944 + 12)} = \frac{504}{1912} = 0.2635 \text{ cm} = 2.6 \text{ mm}$$

Como se cumple la condición $t_{\text{cálculo}} (2,6 \text{ mm}) < t_{\text{diseño}} (7,11 \text{ mm})$ se considera adecuado el espesor del recipiente seleccionado.

2.1.2 Cálculo mecánico del espesor de las tapas planas ubicado en los extremos del colector principal

Para el cálculo de las tapas planas se utiliza el texto "Construcción de aparatos químicos" del autor A.A Laschiski, edición 1983.

$$S = K \times K_o \times D_{cal} \times \sqrt{\frac{P_{cal}}{[S] \times \phi}}$$

Donde:

K = coeficiente de forma de la tapa = 0.53 tomado de la página 201 Laschiski, parte I

K_o = 1

D_{cal} = D = 16.8 cm

P_{cal} = P = 30 bar



$[B] = 118 \text{ MPa} = 1180 \text{ kg/cm}^2$.

$\varphi = 0.8$

Sustituyendo los valores en la fórmula:

$$S = 0.53 \times 1 \times 16.8 \times \sqrt{\frac{30}{1180 \times 0.8}}$$

$$S = 8.90 \times \sqrt{\frac{30}{994}} = 8.90 \times 0.17 = 1.71 \approx 17.1 \text{ mm}$$

El espesor mínimo de cálculo es 17 mm, soportará adecuadamente la presión a la que fue diseñada.

La tapa seleccionada es el tipo B, como se muestra en la figura 10:



Figura 10. Distintas formas de las tapas planas del cilindro. Fuente (Laschiski, 1983)

2.1.3 Selección de la clase (rating) de los dispositivos de alivio de presión ubicadas en el sistema de tuberías.

Los dispositivos de alivio de presión son un instrumento de regulación y control del fluido, los cuales tienen bridas en sus extremos los cuales deben tener las mismas características que las bridas de las tuberías.

Para el uso seguro de dispositivos de alivio de presión se hace necesario seleccionar la clase de dispositivos de alivio de presión. La clase es una designación de la norma ANSI B16.5 para un rango de presiones y temperaturas según su aplicación.



Los parámetros de diseño de dispositivos de alivio de presión instalados en el banco de comprobación son los siguientes:

Presión de diseño 30 kg/cm^2 :

Temperatura de trabajo: 30°C

A una presión de diseño = 30 kg/cm^2 equivalente a 426.6 psi se entra a la tabla del Código ASME B16.5, una vez seleccionado el material, en este caso SA 106 grado B, se hace corresponder los valores de temperatura con los de presión, obteniendo el libraje para una válvula de presión clase 300L como se muestra en la figura 10.

Selección de bridas según ASME B16.5							
Working Pressures by Classes, psig							
Temp. °F	Class						
	150	300	400	600	900	1500	2500
20 to 100	285	740	985	1,480	2,220	3,705	6,170
200	260	680	905	1,360	2,035	3,395	5,655
300	230	655	870	1,310	1,965	3,270	5,450
400	200	635	845	1,265	1,900	3,170	5,280
500	170	605	805	1,205	1,810	3,015	5,025
600	140	570	755	1,135	1,705	2,840	4,730
650	125	550	730	1,100	1,650	2,745	4,575
700	110	530	710	1,060	1,590	2,655	4,425
750	95	505	675	1,015	1,520	2,535	4,230
800	80	410	550	825	1,235	2,055	3,430
850	65	320	425	640	955	1,595	2,655
900	50	230	305	460	690	1,150	1,915

Figura 10 Selección de la clase de las válvulas Según ASME B16.5. Fuente (ASME, 2010)

2.1.4 Cálculo mecánico del espesor del sistema de tuberías de altas presión.

Los tuberías que componen el esquema hidráulico son de material acero al carbono sin costuras SA 106 grado B cuyo diámetro nominal es de 1.315" equivalente a 33.4 mm y espesor de 3.37mm.



$$t = \frac{P \times D}{2(S \times E \times W + P \times Y)}$$

$$t = \frac{30 \times 3,34}{2(1180 \times 0.8 \times 1 + 30 \times 0.4)} = \frac{100.2}{1912} = 0.052 \text{ cm} = 0.52 \text{ mm}$$

Nota: En el epígrafe 2.1.1 se muestran cada uno de estos parámetros necesarios para el cálculo.

La tubería seleccionada con espesor de 7.11 mm es mayor que el espesor calculado de 0.52 mm, por lo que la tubería soportará adecuadamente la presión a la que fue diseñada.

2.1.5 Selección y cálculo de las uniones soldadas de las tuberías de alta presión.

El método empleado es el método de soldadura por arco eléctrico manual.

Para esta soldadura se empleará el método SMAW debido al bajo costo en comparación con otros métodos, no se necesitan grandes equipamientos para realizar la operación de soldadura y además es en la actualidad el método de soldadura más difundido, en nuestro país. En este proceso se utilizará el electrodo E-7018, mostrándose a continuación algunas de sus características más generales que lo hace adecuado para este tipo de soldadura por arco eléctrico.

Con este tipo de electrodo se suelda en todas las posiciones. Tiene un arco estable y se suelda sin salpicaduras. Además, la escoria es de fácil separación y la superficie del cordón posee un aspecto liso y fino, sin socavaciones.

2.1.5.1 Temperatura de precalentamiento

Existen diversos métodos para determinar la temperatura de precalentamiento de una pieza, en este proyecto se utiliza la formulación de Seferian que, además de la composición química del acero, toma en cuenta el espesor de la pieza a soldar.

$$[C]_g = C + \frac{M_n + C_r}{9} + \frac{N_i}{18} + \frac{7M_o}{90} = 0.30 + \frac{1.22}{9} + \frac{0.40}{18} + \frac{1.05}{90} = 0.46$$



$$[C] = [C]_g * (1 + 0.005 * S) = 0.46 * (1 + 0.005 * 6) = 0.49$$

$$T_p = 350 * \sqrt{[C] - 0.25} = 350 * \sqrt{0.49 - 0.25} = 171.4642 = 171 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

La temperatura de precalentamiento para el sistema es de 171°C.

Donde:

[C] - carbono equivalente, (%)

T_p - temperatura de precalentamiento, (°C)

2.1.5.2 Selección del tipo de junta.

Seleccionaremos el tipo de junta según la norma cubana (UNC 0061) y calculamos el área teórica para las soldaduras a solape y a filete:

Se necesitará el empleo de 0,003 kg de electrodos para el proceso de recuperación. Se deberá hacer la soldadura alrededor del diámetro de la zona de la falla, el cordón de soldadura tendrá una longitud aproximada de 530 mm con un área de 0,32 mm².

2.1.5.3 Corriente de la Soldadura (I_s).

Según Southern Alberta Institute. $I_s = 40 * d_e = 40 * 3.2 = 128 \text{ Amp}$

Donde: $d_e = 3,2 \text{ mm}$ es el diámetro del electrodo

2.1.5.4 Determinación del Voltaje de cebado del arco (V_a).

Usando la fórmula del Doyle. $V_a = 20 + 1.2 d_e = 20 + 1.2 * 3.2 \text{ mm} = 23.84 \text{ V}$

2.1.5.5 Velocidad de soldadura.

$$V_{solid} = \frac{\alpha_d * I_s}{\gamma * F_p} = \frac{9 * 128}{7.86 * 0.32} = \frac{1152}{2.515} = 458.05 \frac{\text{cm}}{\text{h}} = 76.34 \frac{\text{mm}}{\text{min}}$$

Donde:



α_d = Coeficiente de depósito en gr/A-hr. Tabla 2.7 (J.B. Sola)

I_s = Corriente de soldadura. [Amp].

γ = Peso específico del acero. (7,860 gr/cm³).

F_p = Área de un cordón.

2.1.5.6 Tiempo de la soldadura.

$$T_s = \frac{L * N_p}{V_{sold}} = \frac{530 * 2,6}{76,34} = 18,05 \text{ min.}$$

Donde:

L : Longitud de la costura

N_p : Número de pasadas.

V_{sold} : Velocidad de la soldadura.

2.1.5.7 Determinación del consumo de electrodos

El consumo de electrodos se calcula por la formula siguiente:

$$G = F \times L \times g$$

$$G = 0.32 \text{ cm} \times 53 \text{ cm} \times 0.0786 \text{ Kg/cm}^2$$

$$G = 1,1872 \text{ kg}$$

Dónde:

G : Peso del metal depositado.

F : Área de la costura. = 0,32 cm²

L : Longitud de la costura. = 53 cm

g : Peso específico del metal. (Acero) = 7.86 kg/m³



Se utilizará 1.1872 kg de electrodos para la soldadura del sistema.

Conclusiones del capítulo

En este capítulo se realizaron los cálculos mecánicos necesarios para la construcción del banco de comprobación para dispositivos de alivio de presión y cilindros de GLP, obteniendo resultados satisfactorios demostrando que el banco resiste a las pruebas que será sometido.



Capítulo 3 Manual de Operación y Costo económico

3.1 Manual de operación del banco de comprobación

Una vez concluidos de forma satisfactoria los ensayos correspondientes a la inspección y certificación de los cilindros de GLP, es importante definir la metodología a seguir para la realización de la comprobación de dichos cilindros, aplicables a los cilindros de almacenamiento de GLP en alcance de la Resolución 44-2014.

- Antes del comienzo de la comprobación todas las uniones soldadas, así como el cuerpo del recipiente se limpiarán minuciosamente.
- Serán sometidos a la comprobación los dispositivos de alivio de presión, dispositivos de seguridad y el cilindro de gas, para verificar su cierre, disparo del dispositivo de alivio de presión e integridad del cilindro a una presión de 30 bar, con un periodo de tiempo de 5 minutos.

El recipiente o sistema tecnológico, se someterá a la comprobación con una presión de comprobación de 30 bar como se ilustra a continuación:

- Se maciza o llena completamente el colector principal con agua para evitar que quede aire en el mismo.
- Se cierran los dispositivos de alivio de presión que comunican con el compresor y el cilindro, para comprobar el cierre de los dispositivos de alivio de presión de forma independiente.
- Se conecta la bomba de presión al colector y dándole la presión establecida 30 bar, se controla e inspecciona el dispositivos de alivio de presión de cierre cerciorándose que no tenga fuga y dispare.

Estas pruebas a los dispositivos de alivio de presión se le realizarán a un 15 % por encima de su presión de trabajo, según Resolución 44, Artículo 36 de la Gaceta Oficial 30 del 2014. (Ministerio, 2014)



Una vez comprobada la válvula de seguridad y válvulas de cierre, con resultados satisfactorios, se procede a despresurizar el colector principal y retirar los dispositivos de alivio de presión de cierre del cilindro, poniendo en su lugar, un tapón ciego.

3.1.1 Comprobación del cilindro de GLP

Se procede a comprobar la hermeticidad y resistencia del cilindro, ésta comprobación se realiza de la siguiente manera:

- se llena el cilindro de gas al 100 % de agua limpia para realizar la comprobación.
- se abre la válvula de cierre que comunica el colector con el cilindro, a la presión establecida durante 5 minutos, no se recomienda más tiempo porque se crean tensiones residuales permanentes que son perjudiciales para la integridad del recipiente que saldrían a lo largo del tiempo.
- se inspecciona el recipiente, para comprobar la integridad y hermeticidad del botellón.
- una vez realizada la inspección con resultados satisfactorios se despresuriza el sistema para retirar todos los componentes inspeccionados y se le restira el agua al cilindro.
- una vez esté el recipiente sin presión los válvulas de cierre del mismo y se abre la válvula comunica el compresor con el sistema de tubería para proceder a soplar y limpiar todo el sistema con aire.

3.2. Medidas de seguridad a cumplir durante los trabajos del banco de comprobación

Para evitar accidentes durante los trabajos con el banco de comprobación, considerando que este trabaja con elementos sometidos bajo presión, se deberá seguir los siguientes medidas o reglas de seguridad:

- Área de trabajo:



Deberá mantenerse limpio, libre de polvo, vibraciones o extremo calor, usar y mantener el manual de operación actualizado, acordonar la zona de trabajo donde se realice la comprobación de calibración y no permitir el acceso a personal ajeno a la misma.

- Antes de realizar ensayos de presión se comprobará:

El manómetro del banco sea el adecuado al rango de los dispositivos de alivio de presión a comprobar y que el mismo tenga vigente su certificado de calibración, lubricar los partes móviles de la bomba de presión, comprobar no existan presencia de fugas por los uniones roscadas o soldadas. Según el Artículo 102 de la Resolución 44 de la Gaceta Oficial 30 del 2014, el compresor se instala a 1m de separación, como mínimo, de la pared del edificio donde están instalados y rodeados de un cercado separado del recipiente, como mínimo, por 2m por el lado utilizado para el tránsito de personas y de vehículos, y por 1m por los restantes lados.

- Durante los trabajos con el banco de comprobación se cumplirá que:

Los operarios han de utilizar los medios de protección individual tales como gafas de seguridad, casco protector, botas de seguridad y otros, cuando el sistema se encuentre presurizado no se debe aflojar los tornillos de los presillos de sujeción, la brida de descarga del dispositivo de alivio a comprobar será montada en el banco con un desplazamiento de 300 mm con respecto a la cara del operario, para evitar accidentes durante el disparo de la misma.

3.3 Valoración económica

Los materiales empleados para la construcción del banco de comprobación en su mayoría son recuperados de instalaciones desmanteladas, en empresas como el Cárnico, ENGEF, y demás instituciones.

3.3.1 Materiales

Incluye todos aquellos materiales que se consumen en el proceso productivo exceptuando los combustibles.

$\text{Costo total} = \text{costos directos} + \text{costos indirectos}$



Costos directos = costo de salarios directos + costo de materiales.

El costo de salarios directos= (número de horas trabajadas*tarifa horario)+ (número de horas trabajadas*tarifa horario*0.09)+ (número de horas trabajadas*tarifa horario*aporte seg. Soc.)

3.3.2 Gastos en salarios

Tabla 3 Gastos en salarios

operarios	Salario (pesos/h)	Tiempo(horas)	Salario(pesos)	Vacaciones9% (M N)	Seg. Social5%	Gasto en salarios
Tornero	15,21	8	121,68	11,06	6,08	138,82
soldador	15,21	16	243,36	22,12	12,16	266,9
Gasto total en salarios						405,72

3.3.3 Costo de materiales

Tabla 4 Costo de materiales, descripción.

Descripción	Cantidad	Costo unitario		Costo total	
		USD	M N	USD	M N
Conector para manómetro de presión ø ½ "	2		23,68		47.36
Válvulas mecánicas tipo bola de cierre rápido, ø ½ " 300 clase 300 libras	1		53,46		53.46



Tuberías acero al carbono $\varnothing 1''$ sin costura SA 106 grado B	6 m	277,23	36,91	277,23	110,73
Tuberías acero al carbono $\varnothing 6''$ sin costura SA 106 grado B	1 m	41.86		41.86	
Electrodos E7018 acero al carbono	1	18,80		18,80	
Bomba manual de alta presión RP 50 S		300		300	
Válvula de ángulo	1		53,46		53,46
Unión universal 300L	1		33,00		33,00
Codos $\varnothing \frac{1}{2}''$	6		20		120
Costo total				637,89	418,01

3.3.4 Gastos directos

Los Gastos Directos constituyen la suma del costo total de salario de los empleados con el costo total de materiales a utilizar.

Costo total de salario: 405,72 MN.

Costo de materiales; MN 418,01

$$\text{USD } 637,89 \times 24 \text{ MN} = 15288 \text{ MN}$$

Costo total de materiales; 15706.01 MN

Total de gastos directos; $405,72 + 1055,90 = 16111,73 \text{ MN}$

3.3.5 Gastos Indirectos

Los gastos indirectos son aquellos en que incurre la empresa producto de los gestiones de dirección, administración, servicios generales, transporte de personal, iluminación, etc. Los cuales hay que cargárselos a los gastos de producción. Estos se estiman como regla como el 30 % de los gastos directos.

Gastos indirectos = $0.3 \times \text{Gastos Directos}$



Gastos indirectos = 4833,519 MN

Gasto total = GD + GI = 15706,01 + 4711,80 = 20539,52 MN

La construcción del banco de comprobación para dispositivos de alivio de presión y cilindros de almacenamiento de GLP tendrá un costo total de \$20539,52 MN, siendo este resultado si se compran todos los componentes nuevos.

3.3.6 Recuperación de la inversión.

La empresa hace una inversión de \$20539,52 MN para la construcción del banco de comprobación de dispositivos de alivio de presión y cilindros de GLP. Cumpliendo el objetivo del banco, al día se le realizarán las pruebas a 10 cilindros de GLP con un costo de \$300 MN en 30 días:

$$recuperación = 10 \times 300 \times 30$$

$$recuperación = \$90000$$

Conclusión: En menos de un mes la empresa CENEX recupera la inversión y obtiene grandes ganancias a nivel de empresa con la realización de estas pruebas, obteniendo en un mes un total de \$90000 MN sobrepasando el costo de inversión (si se compran todos los componentes de la instalación nuevos).

Conclusiones del capítulo

En este capítulo se confecciono el manual de operación con sus correspondientes instrucciones de seguridad, los materiales empleados para la construcción del banco de pruebas y sus costos. Así como también el tiempo de recuperación de la inversión.





CONCLUSIONES

- A través de los cálculos realizados se demuestra que el equipo propuesto para comprobar el funcionamiento de los dispositivos de alivio de presión e integridad de los cilindros de GAS cumple con los requisitos establecidos por los NC y extranjeras para un trabajo seguro; Resolución 44 del MTSS (Ministerio de Trabajo Y Seguridad Social) y el Código ASME.
- Se realizaron los cálculos mecánicos necesarios comprobando la resistencia e integridad de la instalación
- Antes de comenzar a realizar las pruebas a los dispositivos de alivio de presión y a los cilindros de GLP en el banco de comprobación, es necesario capacitar e instruir a los operadores con el manual de operación para evitar errores y accidentes en el mismo.
- El costo del sistema propuesto, resulta relativamente bajo con un valor de \$20539,52 MN.
- El tiempo de recuperación de la instalación es relativamente corto, \$90000 MN en un mes.

RECOMENDACIONES

- El personal que realizara los comprobación de los cilindros de GLP debe instruirse y capacitarse según el manual de operaciones, evitando así errores y accidentes durante su manipulación.
- Analizar la propuesta para comprobar los cilindros de GLP a todas las entidades del país.
- Realizar estudios y analizar la propuesta para construir bancos de comprobación para cilindros de GLP de mayor capacidad (100L) que operan en hoteles y establecimientos estatales.



BIBLIOGRAFÍA

- American Society of Mechanical Engineers. (2010). *ASME Boiler and Pressure Vessel Code Section II Part A Ferrous Material Specifications (Beginning to SA -450)*.
- Central Administración. (2022). *AMARILLAGAS*. <https://amarillagas.com/glp-gas-licuado-de-petroleo/>
- Laschiski, A. A. (1983). *Construcción de aparatos químicos*.
- Ministerio de Industria. (2014). *Gaceta Oficial 30 de la República de Cuba Ministerio de Justicia*. ISSN 1682-7511. <http://www.gacetaoficial.cu/>
- Oficina Nacional de Normalización. (2004a). *NC 361 BOTELLAS PORTÁTILES Y RELLENABLES DE ACERO CON UNIONES SOLDADAS, PARA GASES LICUADOS DE PETRÓLEO (GLP)— RETIMBRADO PERIÓDICO*.
<https://www.materialwelding.com/prueba-de-presión-o-prueba-hidraulica-o-procedimiento-de-prueba-de-presión-neumatica/>
- Oficina Nacional de Normalización. (2004b). *NC 364 BOTELLAS DE ACERO SOLDADAS TRANSPORTABLES Y RECARGABLES PARA GASES LICUADOS DE PETRÓLEO (GLP)— DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN*. <https://www.maxipresstec.com/por-que-los-cilindros-a-presión-requieren-pruebas-hidrostaticas/>
- Pérez Arbolaez, A. (2010). *Sistema de inspección para el establecimiento del estado técnico de los recipientes horizontales de almacenamiento de GLP de 2,5m³*. Centro de Investigación de soldadura CIS.
- Pérez Gonzáles, M. A., (2018). *Diseño de banco de comprobación de dispositivos de alivio de la presión en el CENEX* [Trabajo de diploma]. Universidad Carlos Rafael Rodríguez.
- Plaza, D. (2022). *Gas Licuado De Petróleo*. motores.es.
https://es.m.wikipedia.org/wiki/Gas_licuado_del_petr%C3%B3leo#
- Research, International Journal of Materials. (2014). *GLP*.
<https://textoscientificos.com/petroleo/gas-licuado-petroleo>
- The American Society of Mechanical Engineers. (2010a). *2010 ASME Boiler and Pressure Vessel Code Section VIII Division 1 Rules for Construction of Pressure Vessels*.



The American Society of Mechanical Engineers. (2010b). *ASME Boiler and Pressure Vessel Code Section II Part D Properties (Metric) Materials*.

The American Society of Mechanical Engineers. (2012). *ASME B31.3-2012 Process Piping ASME Code for Pressure Piping, B31*. (Revisión of ASME B31.3-2010).

<http://cstools.asme.org/>.



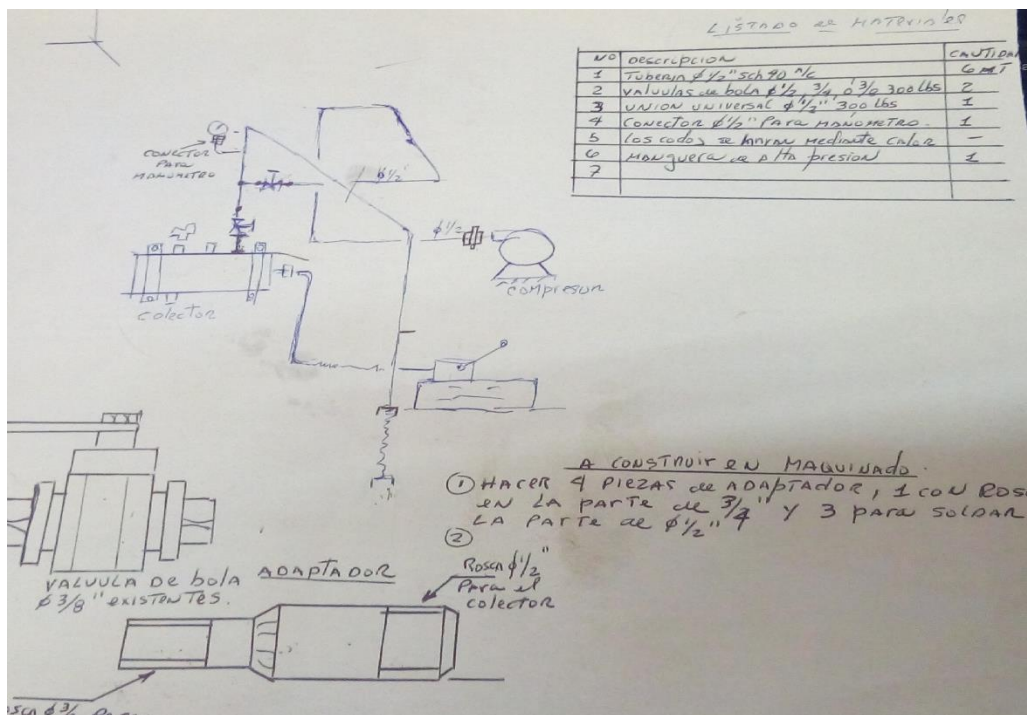
ANEXOS

Anexo 1

Cálculo de tapas planas

Datos	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 4
S Medido	15	6,7	10,1	5,3
Scal	14	7,89	9,03	9,03
K	0,53	0,53	0,53	0,53
Ko	1	1,14394521	1	1
Dcal	168	154	154	154
Pcal	30	7	12	12
σ	1180	1400	1400	1400
φ	0,8	0,7	0,7	0,7
$z \sqrt{\frac{Pcal}{\Gamma * \varphi}}$	0,178268508	0,084515425	0,110656667	0,110656667
Resultado	SIRVE	NO SIRVE	SIRVE	NO SIRVE

Anexo 2





Anexo 3

Colector principal



Anexo 4

Manómetro





Anexo 5

Bomba manual de alta presión RP 50 S



Anexo 3

Propuesta de banco de comprobación

