

**UCLV**  
Universidad Central  
"Marta Abreu" de Las Villas



**FIMI**  
Facultad de  
Ingeniería Mecánica  
e Industrial

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA**

## **TRABAJO DE DIPLOMA**

**Título: Requisitos de diseño y fabricación del cilindro de gas de 10kg**

**Autor: Yadiel Sarduy Alba**

**Tutor: Dr. C. José Roberto Marty Delgado**

Santa Clara, mayo de 2024  
Copyright©UCLV

**UCLV**  
Universidad Central  
"Marta Abreu" de Las Villas



**FIMI**  
Facultad de  
Ingeniería Mecánica  
e Industrial

**MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT**

## **DIPLOMA THESIS**

**Title: Design and manufacturing requirements of 10Kg's gas cylinder**

**Author: Yadiel Sarduy Alba**

**Thesis Director: Dr. C. José Roberto Marty Delgado**

Santa Clara, may, 2024  
Copyright©UCLV

Este documento es propiedad patrimonial de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, y se encuentra depositado en los fondos de la Biblioteca Universitaria “Chiqui Gómez Lubian” subordinada a la Dirección de Información Científico Técnica de la mencionada casa de altos estudios.

Se autoriza su utilización bajo la licencia siguiente:

**Atribución- No Comercial- Compartir Igual**



Para cualquier información contacte con:

Dirección de Información Científico Técnica. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas.  
Carretera a Camajuaní. Km 5½. Santa Clara. Villa Clara. Cuba. CP. 54 830

Teléfonos.: +53 01 42281503-1419



## ACTA DE CONFORMIDAD PARA ESTUDIANTES DE PREGRADO

Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas

Por una parte: Yadiel Sandoz Alba  
estudiante de la carrera de: Química Medicinal

en la facultad de: Química Medicinal e Industrial, en lo adelante El

**ESTUDIANTE**. Con número de identidad permanente: 9703 28 10525. Y por otra parte Ricardo Alonso Blanco o pasaporte:

Jefe del Departamento Docente de:

Química Medicinal

en la ya mencionada facultad, en lo adelante **EL JEFE DE DEPARTAMENTO**, y

José Roberto Martí Delgado profesor(es) encargado(s)

de tuturar el Trabajo de Diploma **DEL ESTUDIANTE**, en lo adelante **EL TUTOR**.

Reconocen que:

- I. A **EL ESTUDIANTE** se le ha aprobado como tema de investigación para su Trabajo de Diploma el titulado Resuspensión de la serie y Asociación de clústeres de fosfo de Jul 20 2019
- II. **EL ESTUDIANTE** no divulgará información concerniente a la investigación, tanto durante el desarrollo como tras la culminación de esta sin la debida autorización **DEL TUTOR** o **EL JEFE DE DEPARTAMENTO**.
- III. Que el Trabajo de Diploma fruto de la labor investigativa de **EL ESTUDIANTE** y la asesoría de **EL TUTOR**, resulta de **TITULARIDAD EXCLUSIVA** de la Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas.
- IV. **EL ESTUDIANTE** una vez aprobada su tesis para la defensa, depositará una copia electrónica de la misma en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
- V. A partir de la defensa y aprobación del Trabajo de Diploma, la publicación total, parcial o la elaboración de cualquier obra que se derive de esta investigación por parte de **EL ESTUDIANTE**, contará con la coautoría de **EL TUTOR** y viceversa, resultando de referencia obligada esta obra en cualquier otra que se elabore. El incumplimiento de esta cláusula, puede llevar consigo el inicio de procesos de plagio. Todo lo anterior de acuerdo a la normativa de Derecho de Autor vigente en Cuba.

Y para que así conste se firma la presente en la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, a los 28 días del mes de noviembre del año 2021.

[Firma]  
EL ESTUDIANTE

[Firma]  
JEFE DE DEPARTAMENTO

[Firma]  
TUTOR

[Firma]  
TUTOR

## **DEDICATORIA**

Le dedico este logro a toda mi familia y amigos, en especial a los que ya no están presentes, igualmente, al Dr. C. José R. Marty Delgado que me apoyó en la culminación de dicho proyecto como tutor

## TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN.....	i
ABSTRACT.....	i
INTRODUCCIÓN.....	1
Antecedentes y justificación de la investigación .....	4
Planteamiento del problema de investigación.....	5
Objetivo general.....	5
Objetivos específicos.....	5
Capítulo 1. Estado del conocimiento sobre GLP .....	7
1.1 El gas licuado del petróleo.....	7
1.2 Requisitos relativos al diseño, construcción y ensayos durante la fabricación de los cilindros.....	10
1.3 Las principales tendencias en la fabricación de cilindros.....	17
1.4 Conclusiones parciales .....	18
Capítulo 2. Descripción de la fabricación del cuerpo del cilindro .....	20
2.1 Proceso de fabricación del cilindro de gas de 10 kg.....	20
2.2 Proceso de embutición del casquete .....	20
2.3 Procesos de soldadura .....	22
2.4 Comprobación del cilindro.....	23
2.5 Conclusiones parciales .....	25
Capítulo 3. Cálculo de los parámetros del proceso de fabricación por embutición del cuerpo del cilindro de 10 Kg .....	26
3.1 Diseño de la operación de embutición del casquete.....	26
3.2 Generadores de costos en la fabricación del cilindro.....	34
3.3 Conclusiones parciales .....	34
CONCLUSIONES GENERALES .....	35
RECOMENDACIONES.....	36
BIBLIOGRAFÍA.....	37
ANEXOS.....	iii

## **RESUMEN**

La situación actual de la única fábrica en el país, para la fabricación y reparaciones de cilindros, no permite cubrir las necesidades de entrega de cilindros nuevos, lo que tensa la situación sobre la rotación y disponibilidad de estos en el mercado interno. En el año 2022 se produjeron alrededor de 60 mil cilindros de gas en Cuba en la Empresa de Conformación de Metales (Conformat), cifras muy por debajo de la capacidad instalada por turno de trabajo en condiciones normales. Por cada unidad producida, hay que importar el 96% de sus componentes. En la bibliografía consultada no se encontraron reportes detallados del proceso de fabricación de los cilindros para gas licuado del petróleo. El trabajo tiene como objetivo analizar, mediante la revisión bibliográfica, los principales requisitos de diseño y fabricación del cilindro de gas de 10 kg, con el fin de identificar los puntos críticos de la tecnología.

**Palabras claves:** Gas Licuado del Petróleo, GLP, Cilindros, diseño, fabricación

## **ABSTRACT**

The current situation of the only factory in the country, for the manufacture and repair of cylinders, does not allow covering the delivery needs of new cylinders, which strains the situation on the rotation and availability of these in the domestic market. In 2022, around 60 thousand gas cylinders were produced in Cuba at the Empresa de Conformación de Metales (Conformat), figures far below the installed capacity per work shift under normal conditions. For each unit produced, 96% of its components must be imported. In the bibliography consulted, no detailed reports on the manufacturing process of liquefied petroleum gas cylinders were found. The objective of this work is to analyze, through a bibliographic review, the main design and manufacturing requirements of the 10 kg gas cylinder, in order to identify the critical points of the technology.

**Key words:** Liquefied Petroleum Gas, LPG, Cylinders, design, manufacturing.

## INTRODUCCIÓN

En la contemporaneidad los servicios de electricidad, gas y agua son vitales para el desarrollo de la vida en sociedad, además de ser indicadores de progreso. Los numerosos estudios reportados en la literatura sobre la producción y consumo de ellos, demuestran una tendencia creciente al alza en la mayoría de los países de América Latina, según se afirma en [1].

El gas licuado del petróleo (por sus siglas, GLP) al ser un producto que se puede producir tanto a partir del gas natural, como del crudo de petróleo, depende en gran medida del comportamiento de estos hidrocarburos en el mercado internacional y no es ajeno a las tendencias de producción, distribución y consumo mundiales, en donde se presentan altibajos en la demanda. La Asociación Iberoamericana de Gas Líquido de Petróleo (AIGLP) publicó en [2] que se espera que la demanda de GLP cree oportunidades para el mercado mundial de GLP en un futuro próximo y que el consumo del GLP pasará de los actuales 331 millones de toneladas a 375 millones en el 2030. En la Figura 1 se muestran las características principales de la cadena de suministro del GLP, tanto en cilindros como en tanques.

En Cuba la producción del GLP es mayoritariamente importada y distribuida a la población a través de cilindros de 10 Kg, lo que resulta mucho más eficiente para el consumo doméstico, fundamentalmente en el horario pico.

La Empresa de Gas Manufacturado fue creada mediante la Resolución Ministerial número 61 del 13 de diciembre de 1976. Para la producción del gas la empresa posee dos plantas pertenecientes al Ministerio de Energía y Minas, la planta Nro. 1 "Evelio Rodríguez Curbelo", ubicada en la Habana Vieja, y la planta Nro. 2 ubicada en Marianao. Diariamente, entre las dos plantas, están entregando alrededor de 500 000 m<sup>3</sup> a los consumidores. En el 2017 la empresa prestaba servicio a 276 933 clientes, incluyendo al sector estatal.

En cuanto al GLP, la introducción de la venta liberada del mismo tuvo lugar como parte de la Política de Cocción de Alimentos aprobada en el 2012 y actualizada en septiembre de 2014 y 2017, la cual considera, entre en sus elementos principales, la venta liberada de GLP de forma gradual y territorial, con el objetivo de flexibilizar las opciones de cocción a disposición de la población, que responde al Lineamiento 247: Avanzar en la venta liberada de GLP y de otras tecnologías, como opción adicional y a precios no subsidiados.

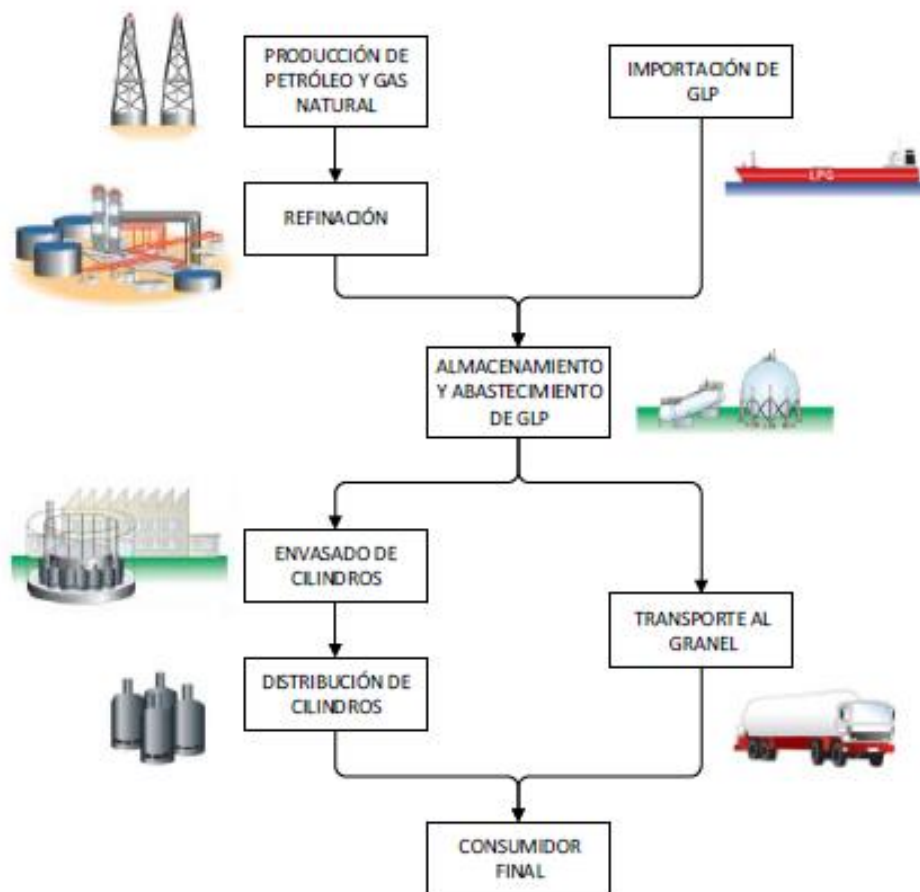


Figura 1. Cadena de suministro del GLP. Fuente: adaptada de [3]

El costo/beneficio del GLP puede estimular las nuevas aplicaciones y un aumento del consumo residencial en los próximos años. Entre los países latinoamericanos analizados en [4], México es el primero en consumo residencial de GLP envasado ( en recipientes de 20 kg), seguido de Colombia, Ecuador, Chile y Paraguay. En ese grupo de 12 países analizados, el menor consumo es de las familias argentinas, con 7,56 kg al mes.

La intensidad de recalificación, rotación y la madurez del mercado son los principales factores determinantes de la vida útil del cilindro de gas, que oscila entre 10 y 50 años, conforme el modelo de mercado bajo el cual el país opera. En el caso de Cuba, además de los factores mencionados, el hecho de disponer de un parque aún joven contribuye a la vida útil más larga

de sus cilindros. Aunque el número de cilindros es insuficiente en relación a la cantidad estimada de usuarios que es de 1 700 000.

La recalificación de los cilindros, como se explica en [5], es un proceso de rigurosa verificación del estado de los envases, tanto externa como internamente, incluye entre sus etapas una prueba de resistencia y de fugas de gas que certifica si los recipientes son adecuados para operar. Este proceso es defendido por todas las entidades globales como la mejor práctica a ser adoptada, pues asegura no solamente una mayor longevidad del recipiente sino también la seguridad del consumidor, que siempre tiene acceso a un cilindro en perfecto estado de uso.

Con el desarrollo energético, el mantenimiento de los cilindros es una alternativa para el abastecimiento gasífero en las poblaciones intentando mantener el número de cilindros o tanques de GLP en el mercado, y sustituyendo los cilindros antiguos ya deteriorados por tanques nuevos recién fabricados, cada uno con las normas específicas para su eventual uso y trabajo.

El cuerpo de estos cilindros de GLP se fabrica mediante los procesos de conformado de chapas metálicas, pues estos procesos gozan de una amplia popularidad asociada a su elevada producción, flexibilidad, bajos costos relativos, bajo consumo relativo de materiales y una alta resistencia mecánica de las piezas terminadas en relación a su peso. El auge de estos procesos en Cuba comienza a partir de la década de los años 60, con la creación de empresas en La Habana, Matanzas, Santa Clara y Santiago de Cuba.

En la tesis se hace referencia al proceso de fabricación del cilindro de GLP de 10 Kg de capacidad, con énfasis en la operación de embutición del cuerpo, que se producen en la Empresa de Conformación de Metales (Conformat) de Matanzas, única de su tipo en el país que se dedica a estas producciones. Esta Empresa cuenta con una tradición de larga data en la producción de los cilindros de 10 y de 45 kilogramos, y experiencia en el control riguroso de la calidad a partir de normas internacionales con el fin de garantizar la seguridad del producto.

Entre los procesos de conformado de chapas, la embutición es el procedimiento más complejo desde el punto de vista físico mecánico que permite obtener una pieza en forma del recipiente a partir de chapas planas. La deformación por embutición es una tecnología de conformado de chapa metálica que proporciona la fabricación de grandes series de piezas de geometrías simples y complejas a partir de herramientas denominadas troqueles. Sus aplicaciones

incluyen la industria automovilística, aeroespacial, la producción de equipos electrodomésticos y piezas para el complejo militar-industrial, como se afirma en [6].

### **Antecedentes y justificación de la investigación**

Valorando la información que aparece en [7], en el año 2022 se produjeron alrededor de 60 mil cilindros de gas en Cuba en la Empresa de Conformación de Metales (Conformat), cifras muy por debajo de la capacidad instalada por turno de trabajo en condiciones normales. Por cada unidad producida, hay que importar el 96% de sus componentes.

El precio de la tonelada de gas, en el año 2020 costaba 591 USD, subió en 2021 a 745 USD, en 2022 a 811 USD, y en 2023 descendió a 696 USD. En el año 2020 Cuba importó 1 130 000 toneladas de GLP, creció en 2021 a 1 291 000 toneladas, en 2022 a 1 400 000 toneladas, pero en 2023 hubo que decrecer por la situación financiera, según datos que aparecen en [8].

Por la información que aparece en [8], con una tonelada de GLP se pueden llenar 100 balitas de 10 kilogramos, por lo que cada balita sale en 6.96 USD. No obstante, a ese precio hay que sumarle el costo de la balita que se produce nacionalmente pero para ello hay que comprar válvulas, aceros, soldaduras y pinturas, y luego está el costo de la comercialización que se realiza por carretera y también demanda insumos.

Autoridades del Ministerio de Energía y Minas del país reconocen que actualmente hay un problema con los cilindros (balitas), que no permite rotar en los puntos de ventas y eso genera dificultades en los ciclos de distribución del gas licuado. Los cilindros de 10 kg son los de mayor utilización en el país para uso doméstico; primero por su capacidad, que como promedio, en un hogar de seis personas, su consumo es de treinta días y segundo, por su fácil manipulación.

Aunque en la cadena de producción y comercialización intervienen múltiples factores, existe la necesidad de desarrollar estudios sobre el proceso de fabricación de los cilindros de gas de 10kg. Ello permitirá un mejor aprovechamiento de los recursos y capacidades instalados en los talleres (recursos humanos, energéticos, materiales y otros) con el fin de utilizarlos racionalmente.

En el trabajo presentado por [9], se desarrolla la simulación del proceso de embutido del cilindro de gas de 10kg. Con este propósito, se simuló el proceso a través del método de elementos finitos, teniendo en cuenta, entre otros, el comportamiento del material determinado

a partir de sus propiedades químicas. Se tuvo en cuenta un modelo matemático para el material y la variabilidad de sus coeficientes en los resultados simulados. En la realización de este estudio no aparecen los resultados del cálculo y diseño de la operación de embutición, ni el utillaje y herramientas necesarias para realizar el proceso. Tampoco se trata el ciclo tecnológico completo de fabricación del cilindro.

### **Planteamiento del problema de investigación**

En la situación actual, la dirección del país ha llamado a vincular las universidades a la solución de los problemas y buscar la soberanía tecnológica mediante la aplicación de la ciencia y la innovación. No existen en el país, suficientes estudios publicados sobre las normas técnicas y requisitos de diseño y fabricación de los cilindros de gas que, sustentados en los avances actuales de la ciencia, vinculen la interrelación de los puntos críticos tecnológicos del proceso.

A partir del análisis de la bibliografía disponible y la consulta a expertos, se plantea la siguiente:

#### **Hipótesis:**

“Es posible formular una propuesta conceptual para el diseño y fabricación de los cilindros de gas de 10 kg, si se tienen en cuenta la consulta a expertos, la revisión bibliográfica y los avances actuales de la ciencia y la técnica.

En consecuencia con lo anterior, se pretende, alcanzar el siguiente:

#### **Objetivo general**

Analizar, mediante la revisión bibliográfica, los principales requisitos de diseño y fabricación del cilindro de gas de 10 kg, con el fin de identificar los puntos críticos de la tecnología.

#### **Objetivos específicos**

1. Describir los requisitos de diseño del cilindro de gas de 10 kg que se produce en el país
2. Identificar las variables tecnológicas asociadas al proceso de embutición del cuerpo del cilindro de gas.

La comprobación final de los resultados esperados en el estudio, tiene un **valor práctico e impacto económico**, pues permitirá reducir gastos en la fabricación, aumenta la vida útil y seguridad de los cilindros, y redundará en la soberanía tecnológica del país. Este trabajo está en línea con los objetivos de desarrollo sostenibles 4, 9 y 17, según [10].

## **La relevancia social del trabajo**

Está evidenciada en que la industria de conformación de materiales y los diseñadores en particular, se verán altamente beneficiados con las futuras aplicaciones de estos procesos, pues permitirán la reducción de los tiempos de respuesta a las solicitudes de los clientes.

La tesis titulada “**Requisitos de diseño y fabricación del cilindro de gas de 10 Kg**”, está constituida por tres capítulos, conclusiones, recomendaciones, bibliografía y los anexos.

## DESARROLLO

### Capítulo 1. Estado del conocimiento sobre GLP

#### 1.1 El gas licuado del petróleo

El gas licuado de petróleo GLP es un combustible que proporciona energía a múltiples equipos y maquinarias que se utilizan en aplicaciones residenciales, comerciales e industriales. Al ser un combustible, su manejo y utilización genera riesgo, sobre todo relacionado con fuego. Lo conforman principalmente el butano ( $C_4H_{10}$ ) y el propano ( $C_3H_8$ ), con una pequeña cantidad de compuestos más ligeros y más pesados, como etano y pentano, y se produce como un subproducto de los procesos de refinación y producción de gas natural y petróleo crudo.

Nombre comercial: GAS LICUADO DE PETRÓLEO

Nombre químico: PROPANO + BUTANO

Fórmula química:  $C_3H_8 + C_4H_{10}$

Familia química: Hidrocarburos de petróleo

Tipo de aplicación: Combustible

Código Naciones Unidas: UN 1075

Otros nombres: GAS LP, GLP, LPG

Por otro lado este combustible es muy requerido porque entre otras cosas, su poder calorífico es muy elevado comparado con otras fuentes energéticas, y es muy limpio en términos de emisiones de contaminantes a la atmósfera.

Comparándolo con otras fuentes de energía, como diésel, gasolina, carbón, leña, el GLP tiene varias ventajas, entre las que se mencionan en [11] están:

- Limpio en términos de emisiones de gases contaminantes hacia el medioambiente, ya que en su combustión no se generan  $SO_x$ , debido a que no contiene azufre.
- No es tóxico ni venenoso para el ser humano, pero sí puede causar su muerte al desplazar el oxígeno ocasionando anoxia.
- Cuando actúa como combustible, su combustión es completa, por lo que no deja residuos carbonosos y no produce hollín

- El almacenamiento se realiza en recipientes o contenedores del combustible en fase líquida. El GLP normalmente es utilizado en fase gaseosa, por lo que previo al consumo se produce un fenómeno de vaporización natural, fenómeno que se produce al interior de los recipientes.

El GLP debe contener odorantes que permitan detectar por el olfato la presencia de éste, cuando la concentración del GLP sea la quinta parte del límite inferior de inflamabilidad correspondiente al componente con el límite de inflamabilidad más bajo, salvo aquella GLP destinados a usos especiales.

Las instalaciones con este combustible constan de tanques, tuberías, accesorios, equipos de medición y control, los cuales tienen una vida útil determinada por los fabricantes, por las condiciones de uso y el entorno que rodea a los mismos, por tanto es necesario verificar el tiempo de vida útil que tienen estos elementos, para de esta forma en servicios para GLP, y siendo un combustible lo que manejan, estos puedan ser inspeccionados, evaluados y cambiados a tiempo.

Los envases se llenan de GLP a presión por que en estado líquido queda reducido su volumen unas 270 veces. El grado del llenado es del 85% de su volumen. La capacidad de almacenamiento de una botella es del 85% del volumen de almacenamiento o geométrico de la misma expresada en metros cúbicos (capacidad volúmica) o en kilogramos (capacidad másica). Se denomina carga de gas, a la capacidad de almacenamiento de cada botella expresada en masa.

El gas licuado del petróleo se obtiene tanto como subproducto del procesamiento del gas natural o durante los procesos de refinación del petróleo. Este es el gas licuado que se utiliza como combustible en garrafas o cilindros, generalmente cuando no se dispone de gas natural. Dada su composición, la licuación del gas natural es más difícil ya que requiere la aplicación de presiones muy altas.

Las características ventajosas que se presentan en el manejo y utilidad del Gas Licuado del Petróleo, hacen que este tenga un auge vertiginoso en la vida cotidiana, en cuanto al uso y volúmenes de venta en el mercado interno de numerosos países. Sin embargo, el GLP presenta características de alta flamabilidad cuando se presentan fugas en presencia de una fuente de ignición, el cual es de difícil control una vez que se inicia el fuego; además de las

altas presiones de almacenaje a temperaturas ambientales. Adicionalmente el GLP se considera una energía limpia y amigable con el medio ambiente, no contiene azufre, plomo y tiene un reducido contenido de carbono.

La entrega se realiza en recipientes denominados cilindros que son fácilmente manipulables y se los recambia cuando se termina el combustible, o tanques si son instalados de manera permanentemente, para su recarga se requiere de un camión cisterna.

En la investigación [12], se presentan los resultados obtenidos durante varios años de trabajo en el aseguramiento de la trazabilidad de las mediciones del gas licuado del petróleo en el país y los resultados de la incorporación de la medición de flujo y su trazabilidad metrológica al Laboratorio de Calibración de Productos Claros de la Unión Cuba Petróleo (CUPET), sin otras informaciones relacionadas con el cilindro. El trabajo realizado, tanto de calibración de flujómetros como de sistemas automáticos de medición de nivel de los depósitos, garantiza el aseguramiento metrológico de las mediciones de GLP en el país.

Un sistema de control de cilindros de GLP, desarrollado por especialistas de la Unión Empresarial de Base Automática Industrial y de Desarrollo de Software de la empresa CUPET, ha tenido un excelente resultado en el entorno actual del proceso de gestión del Gas Licuado en Cuba. La arquitectura desarrollada de hardware (basada en el uso de etiquetas RFID) así como el software creado para diferentes plataformas (servidores web, equipos de escritorio y móviles), ha permitido implementar el control de cilindros de gas licuado durante todo su trayecto, el cual incluye el llenado de los cilindros, transportación, venta y recalificación o reparación de los mismos, según aparece en<sup>1</sup>. Tampoco se valoran aquí detalles sobre la fabricación de cilindros.

En [13] se afirma que, habiendo demostrado una resiliencia significativa frente a crisis extremas hasta 2022, la industria mundial del gas salió del año más turbulento de su historia más ágil y adaptable que nunca; sin embargo, el mercado mundial del gas todavía se encuentra en un equilibrio inestable en 2023. El mercado del gas sigue estando insuficientemente abastecido y es muy sensible a las fluctuaciones de la oferta y la demanda.

---

<sup>1</sup> <https://tecnomatica.cupet.cu/es/productos/sistema-de-control-de-cilindros-de-gas-licuado-scc>

Las perspectivas energéticas internacionales proyectan una amplia gama de escenarios para la oferta y la demanda de gas hasta 2030 y más allá. Los escenarios de descarbonización de 1,5 grados más agresivos proyectan una reducción de la demanda mundial de energía con altas tasas de tecnología y cambios de comportamiento y están sujetos a una incertidumbre extremadamente alta, especialmente en el corto y mediano plazo

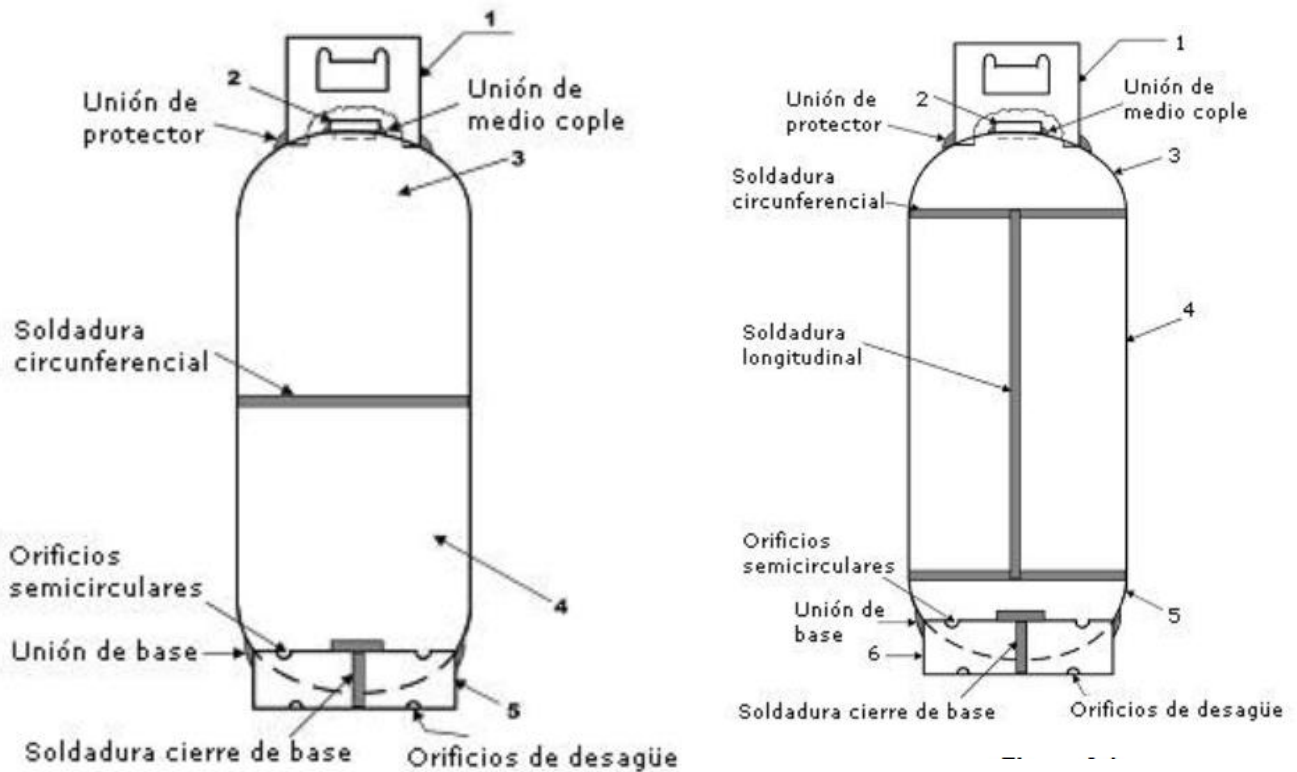
De los resultados de la revisión bibliográfica presentados hasta aquí, se evidencia la necesidad de estudiar los requisitos de diseño y fabricación de los cilindros de GLP.

## **1.2 Requisitos relativos al diseño, construcción y ensayos durante la fabricación de los cilindros**

Un cilindro para almacenamiento de gas licuado de petróleo, ver figura 2 a), se define como un cuerpo metálico formado de dos casquetes (superior e inferior), una asa (agarradera), una base y una porta válvula; su forma es cilíndrica alargada, su marca es estampada en el casquete superior, su color es característico según la marca del fabricante, la pintura es especial con anticorrosivo y esmalte de secado rápido [14].

En otras variantes constructivas, a los casquetes esféricos se une un cuerpo cilíndrico rolado, unidos por soldadura longitudinal, ver figura 2 b) y Anexo 1.

En la figura 2 representan: 1, cuello protector o asa; 2, acople para válvula; 2a) 3, casquete superior; 4, casquete inferior; 5, base de sustentación. En 2b); 4, sección cilíndrica; 5, casquete inferior; 6, base de sustentación.



a)

b)

Figura 2. Formas comunes de cilindros a) tipo semicapsulado: dos semicápsulas cilíndricas (casquetes superior e inferior) soldadas circunferencialmente; b) tipo común: cuerpo principal, dos casquetes (superior e inferior), soldados circunferencial y longitudinalmente.

Fuente, adaptada de [15]

En el diseño y fabricación de recipientes de cualquier tipo, no se permite la inclusión de partes y/o accesorios en el exterior de dichos recipientes, adicionales a los descritos. Tratándose de recipientes tipo semicapsulado, las semicápsulas o casquetes que conformen al cuerpo principal deben presentar, cada una, un extremo de forma semiesférica o semielíptica con relación de ejes de 2:1. En la figura 3, aparece una sección de la planta de fabricación de cilindros Conformat, de la provincia de Matanzas.



Figura 3. Sección de la planta de fabricación de cilindros Conformat, provincia de Matanzas.

Fuente: tomada [16]

Los envases domésticos se componen fundamentalmente de dos piezas llamadas casquetes. Los industriales además de los dos casquetes incorporan una virola intermedia. Las uniones si las tienen, se realizan por soldadura circunferencial. Las botellas llevan en su parte inferior soldado un aro metálico con orificios de ventilación, que les sirven de base soporte.

En su parte superior llevan una guarda válvula que es un aro protector de la válvula o llave para llenado y vaciado. Este aro lleva aberturas adecuadas para que se pueda utilizar como asa.

A partir del análisis de la bibliografía, se puede concluir que existe poca información disponible sobre las dimensiones y pesos de los cilindros de GLP domésticos; generalmente es una información que está en las normas técnicas de los productores o a nivel de ministerios. En la tabla 1 se da información al respecto. Tampoco se encontraron planos, completamente acotados, de las dimensiones y tolerancias del recipiente terminado y de cada uno de sus componentes y aditamentos, incluyendo la válvula de servicio.

El autor de esta tesis recomienda que, esos planos deben acompañarse de la memoria técnica correspondiente que contenga los datos relativos a los requisitos de diseño establecidos en las Normas Cubanas o sus equivalentes internacionales.

Tabla 1. Dimensiones del cilindro de 10 kg. Fuente: adaptada de [17]

Detalle		Dimensiones (mm)	Tolerancia (mm)
Altura total		520	±10
Diámetro exterior del cuerpo		310	±2
Protector de válvula	Diámetro Exterior	200	+5 -0
	Altura	130	±2
	Reborde radio ext. mínimo	7.5	
Base	Diámetro Exterior	250	+5 -0
	Diámetro Interior	220	+5 -0
	Altura	/50	
	Reborde radio exterior mínimo	7.5	

### 1.2.1 Normas nacionales e internacionales

La norma ISO 11119-3, [18], especifica los requisitos para cilindros de gas compuestos de hasta 150 litros de capacidad de agua y tubos compuestos de más de 150 litros de capacidad de agua y hasta 450 litros de capacidad de agua, para el almacenamiento y transporte de gases comprimidos o licuados.

La Norma Cubana NC 868-1: 2012 [19], establece los requisitos generales de seguridad de las botellas para gases a presión (en lo adelante botellas), que se observarán durante su fabricación, llenado, explotación, transportación, almacenamiento e inspección técnica total. Esta norma es aplicable a las botellas que contienen gases a presión en estado gaseoso, líquido o disuelto, con una presión mayor que 69 kPa (0,7 kgf/cm<sup>2</sup>). Esta norma excluye los cilindros para gases licuados del petróleo (GLP), subacuáticos y para el sistema de extinción de incendios.

Por otro lado, la Norma Cubana NC-EN 14412: 2012 [19], especifica los requisitos mínimos relativos al diseño, construcción y ensayos durante la fabricación de las botellas de acero soldado transportables y rellenables para los gases licuados de petróleo (GLP), de capacidad de agua comprendida entre 0.5 L y 150 L inclusive, sometidas a la temperatura ambiente. Esta Norma Cubana se aplica únicamente a las botellas de sección transversal circular.

La norma Oficial Mexicana NOM-008-SESH/SCFI-2010, ver referencia [15], “Recipientes transportables para contener Gas L.P. Especificaciones de fabricación, materiales y métodos de prueba”, establece las especificaciones técnicas mínimas de diseño, de fabricación y de seguridad, así como los métodos de prueba que como mínimo, deben cumplir los recipientes transportables para contener gas licuado de petróleo, reabastecibles, con capacidad de almacenamiento nominal de hasta 45 kg, que se utilicen en los Estados Unidos Mexicanos para la distribución de dicho hidrocarburo. La norma clasifica los cilindros, de conformidad con los materiales y tecnología de fabricación, en clases y tipos; recomienda los materiales para la fabricación y las pruebas e inspecciones; los espesores de pared y las formas e marcado.

El reglamento para el servicio de gas licuado de petróleo a la población, publicado por la Gaceta Oficial [20], tiene por objeto regular el servicio de gas licuado de petróleo a la población en lo referido a solicitudes, traslados, altas, bajas, cambios de nombre, cesiones, permutas, derechos ante divorcio, fallecimientos, nuevas instalaciones a partir de la venta liberada y otros aspectos relacionados con dicho servicio. No se tratan en este documento aspectos sobre la producción del cilindro.

La norma chilena [21] establece los requisitos generales de diseño y fabricación de los cilindros soldados, para recargar con gases licuados de petróleo. Esta norma se aplica a los cilindros fabricados con acero, soldados, para recargar con gases licuados de petróleo, con contenido neto nominal de 5 kg; 11 kg; 15 kg y 45 kg.

### **1.2.2 Materiales**

La selección del material para la producción de los tanques o cilindros está basada en sus propiedades mecánicas como rendimiento, resistencia a la tensión, ductilidad, durabilidad, etc. Aunque estas propiedades son importantes al considerar el material a usar, el acero permanece como el mejor material debido a su eficiencia, disponibilidad, y economía. La mayoría de los productos son hechos de acero al carbono. Además, el rango completo de

producción de las láminas de acero incluye el acero inoxidable y aleación de acero de alta resistencia.

Los materiales de fabricación que se utilicen para los casquetes superior e inferior de los recipientes, y en su caso, para la sección cilíndrica, deben ser de acero al carbono micro aleado. Los materiales que se utilicen para los demás aditamentos y componentes que vayan soldados al recipiente, pueden ser de acero al carbono micro aleado o de acero al carbono.

Los cilindros también se pueden fabricar en acero inoxidable y en materiales compuestos, como aparece en la tabla 2.

Tabla 2. Formas constructivas del cilindro en función del material. Fuente: adaptada de [15]

Clase I		Clase II		Clase III	
<b>Recipientes de acero microaleado</b>	Tipo A Semicapsulado	<b>Recipientes de acero inoxidable</b>	Tipo A.- Con soldadura longitudinal	<b>Recipientes de materiales compuestos</b>	Tipo A.- Con forro metálico
	Tipo B. Común		Tipo B.- Sin soldadura longitudinal		Tipo B.- Con forro no metálico
	Tipo C. Especial				Tipo C.- Sin forro

En la tabla 2, se presenta, según [11], un resumen de los materiales aceptados para el transporte de GLP. Los envases domésticos que no contienen butano son de chapa de acero no aleado lo que hace que las botellas resulten muy manejables por su ligereza, mientras que las restantes son de acero no aleado AISI A240, A260, A273, cumpliendo ambas en su fabricación y revisión las exigencias legales para este tipo de envases. En la tabla 3, los espesores mínimos de la pared de cilindros de acero para GLP, utilizando las ecuaciones (1) y (2).

Tabla 3. Materiales aceptados por NFPA 58 (*National Fire Protection Association*) para el transporte de GLP. Fuente: adaptada de [11]

Material	Norma de fabricación	Procedimiento de unión
Acero	ASTM A 53 ASTM A106	SMAW
Acero inoxidable	ANSI/CSA 6.26	Pressing fit
Cobre	ASTM B 88 ASTM B 280	Oxiacetileno
Polietileno	ASTM D 2513-09	Termofusión Electrofusión

### Consideraciones para determinar el espesor de la plancha de acero del tanque

Espesor en la parte cilíndrica:

$$s = \frac{P R}{S E + 0.4 P} \quad (1)$$

Espesor en los casquetes semiesféricos

$$s = \frac{P R}{2(S E) + 0.8 P} \quad (2)$$

En las ecuaciones (1) y (2):

s, espesor de la pared del cilindro, en pulgadas

P: Presión del diseño, psi

S: Máximo valor de esfuerzo mecánico que puede ser sometido el material del cilindro, lb/pulg<sup>2</sup>

E: Eficiencia en las juntas (1,0), radiografías al 100% positivo

R: Radio externo del equipo, en pulgadas

Se recomienda añadir 2 mm al espesor calculado en (1) y (2), para prevenir el efecto de la corrosión. En la tabla 4, se recomiendan valores de espesores de pared, en función de la capacidad del cilindro y el tipo de material.

Tabla 4. Espesor mínimo de pared de cilindros de acero (selección) para GLP. Fuente: adaptada de [11]

Capacidad del cilindro (Kg)	Grado del acero		
	Espesor de pared (mm)		
	A-230	B-241	C-265
5	2.20	2.15	2.05
10 y 15	2.45	2.36	2.30
45	2.70	2.60	2.50

En otros documentos, ejemplo [22], se recomienda que el espesor de la pared se verifique utilizando la siguiente expresión:

$$s = S - \left[ \frac{P (1.3 D^2 + 0.4 d^2)}{(D^2 - d^2)} \right] \quad (3)$$

En la ecuación 3,

S: tensión máxima en la pared del cilindro, kg/mm<sup>2</sup>

P: presión de prueba, Kg/mm<sup>2</sup> (0.34 Kg/mm<sup>2</sup>)

D; diámetro exterior, mm

d: diámetro interior, mm

Los espesores de la lámina utilizada para la fabricación de recipientes Clase I, deben estar conforme a las especificaciones descritas en la Tabla 5.

Tabla 5. Espesores mínimos de espesores, en mm. Fuente: adaptada de[22]

Capacidad nominal en kg	De 10 hasta 30	Mayor de 30 hasta 45
Sección cilíndrica	2.12	2.46
Casquetes o semicápsulas	2.12	2.46
Base de sustentación	2.46	
Cuello protector	2.12	

### 1.3 Las principales tendencias en la fabricación de cilindros

- el diseño de cilindros con características que le permiten adaptarse a automóviles.
- la posibilidad de realizar cilindros de aluminio y materiales compuestos, que traería como beneficio una mejor manipulación y menor peso.

c) nueva tecnología en los cilindros de distribución del GLP, elaborada por la empresa noruega “*Hexagon Ragasco*”, que es la principal fabricante mundial de cilindros de material compuesto de gas licuado de petróleo (GLP) para diversas aplicaciones.

Dentro de las ventajas de los cilindros de “*Hexagon Ragasco*” se puede mencionar que son más livianos (mitad del peso de un cilindro de acero), no se oxidan, son traslúcidos y se permite ver el nivel de llenado anticipando la recarga, además que son más seguros, ya que no explotan como los cilindros convencionales debido a la tecnología utilizada en su fabricación. Siendo estos una mejor alternativa eficiente, portátil, accesible y amigable con el medio ambiente ya que presenta menores emisiones de CO<sub>2</sub>.

Adicionalmente, como plantea [23], la introducción de los cilindros de material compuesto puede dar a empresas comercializadoras de gas, ahorros en los mantenimientos. Este tipo de cilindros requieren mantenimiento cada 5 años a diferencia de los de acero que requieren de un mantenimiento anual, y algunas veces en periodos más cortos. Se pueden reflejar mejoras en consumos de agua por lavado de cilindros, consumos de materia prima por soldaduras y reparaciones de los cilindros de acero e incluso trae consigo aspectos ambientales dada la reducción de emisiones de pinturas y aerosoles los cuales son utilizados para el mantenimiento de estos cilindros convencionales y requeridos por la normatividad que los rige. Los cilindros de *Hexagon Ragasco* tienen un costo de venta de USD \$ 50 dólares.

#### **1.4 Conclusiones parciales**

1. Las inestabilidades en el suministro energético mundial y nacional, con la consiguiente escasez de energía aumentan la importancia de abordar los tres elementos del trilema energético: seguridad, asequibilidad y sostenibilidad.
2. El uso del gas natural en la transición energética cubana juega un papel importante ya que es una fuente de energía más limpia, menos contaminante y con un mínimo contenido en carbono de todos los combustibles fósiles, por tal manera, esto genera una reducción en las emisiones de agentes contaminantes lo que refuerza la calidad del aire.
3. Las normas nacionales e internacionales sobre el diseño fabricación del cilindro de gas establecen las dimensiones, tolerancias, materiales recomendados y las pruebas e inspecciones necesarias. No se encontraron reportes sobre la fabricación detallada del cilindro.

4. Del análisis de la información nacional disponible, se deduce que los cilindros más utilizados como envase para el GLP en el país, tienen una capacidad de 10 Kg, son fabricados en acero y tienden a deteriorarse con facilidad debido al óxido y mala manipulación. La oferta limitada de cilindros de GLP está dirigida a cubrir las necesidades de la población para su uso doméstico, fundamentalmente.
5. Las tendencias en la fabricación de cilindros para GLP incluyen su fabricación en materiales compuestos, estos son más livianos, no se oxidan, son traslúcidos y más seguros, ya que no explotan como los cilindros convencionales debido a la tecnología utilizada en su fabricación. Siendo estos una mejor alternativa eficiente, portátil, accesible y amigable con el medio ambiente ya que presenta menores emisiones de CO<sub>2</sub>.

## Capítulo 2. Descripción de la fabricación del cuerpo del cilindro

### 2.1 Proceso de fabricación del cilindro de gas de 10 kg

En la elaboración de los cilindros para GLP con capacidad para 10 kg, en la fábrica Noel Fernández “Conformat”, de Matanzas, ver figuras 4 y figuras 5, por análisis y la consulta con expertos, se han determinado tres grandes actividades o procesos, de máxima responsabilidad:

- I. Embutición de los discos,
- II. Ensamble y soldadura radial
- III. Acabado o aprobación del cilindro.

En relación a los objetivos del presente trabajo, se hará referencias al cálculo de la operación de embutición. En esta fábrica predominan los procesos manuales, con muy bajos niveles de automatización.

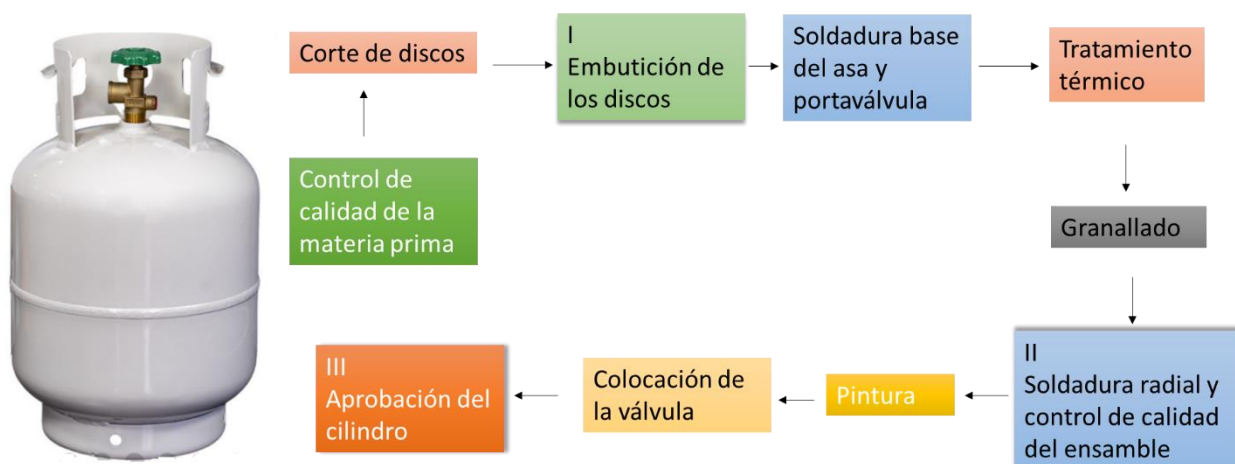


Figura 4. Esquema representativo de las principales fases de producción del cilindro.

### 2.2 Proceso de embutición del casquete

En el proceso de embutición se transforma el disco plano, previamente cortado, a un casquete de dos secciones, un fondo de forma semielíptica y una de forma cilíndrica de dimensiones normalizadas. En la tabla 6, están listados los materiales y el equipamiento necesario para la operación de embutición. El corte del orificio portaválvula se hace en una operación independiente, pero se recomienda realizar una adaptación para el corte de un orificio en un solo paso, después de la embutición. Como consecuencias de la embutición, el material sufre

alteraciones internas en su composición, por lo que se hace necesario el tratamiento térmico posterior para aliviar tensiones.



Figura 5. Imágenes representativas de algunas etapas de producción del cilindro de 10kg, en la fábrica Noel Fernández, de Matanzas. Fotos tomada [16]

Tabla 6 Materiales y el equipamiento necesario para la operación de embutición

<b>Operación de embutición</b>	
Personal	1 operador para la prensa
Materiales y equipamiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Disco previamente cortado</li> <li>▪ Lubricantes</li> <li>▪ Material de limpieza</li> <li>▪ Prensa hidráulica</li> <li>▪ Matricería de embutición</li> <li>▪ Transportador del casquete</li> </ul>

Como requisitos técnicos se exigen que los casquetes sean de una (1) sola pieza y se obtendrán por embutido de chapa utilizando un procedimiento adecuado que no altere desfavorablemente sus propiedades mecánicas.

En la operación de embutición, en caso necesario se procederá al recocido previo de la chapa. El proceso de embutido no producirá en ningún punto un adelgazamiento de la chapa superior al diez por ciento (10%) de su espesor original.

En la impresión de letras y números en relieve se evitarán los cambios bruscos de dirección de la chapa (cantos vivos y el adelgazamiento de ésta en más del diez por ciento (10%) del espesor original.

### Casquetes

Para el caso de recipientes tipo semicapsulado, los casquetes deben ser de forma semiesférica o de forma semielíptica, en este último caso, deben tener un faldón recto de 13 mm de altura como mínimo y relación de ejes de 2:1 (ver Figura 6).

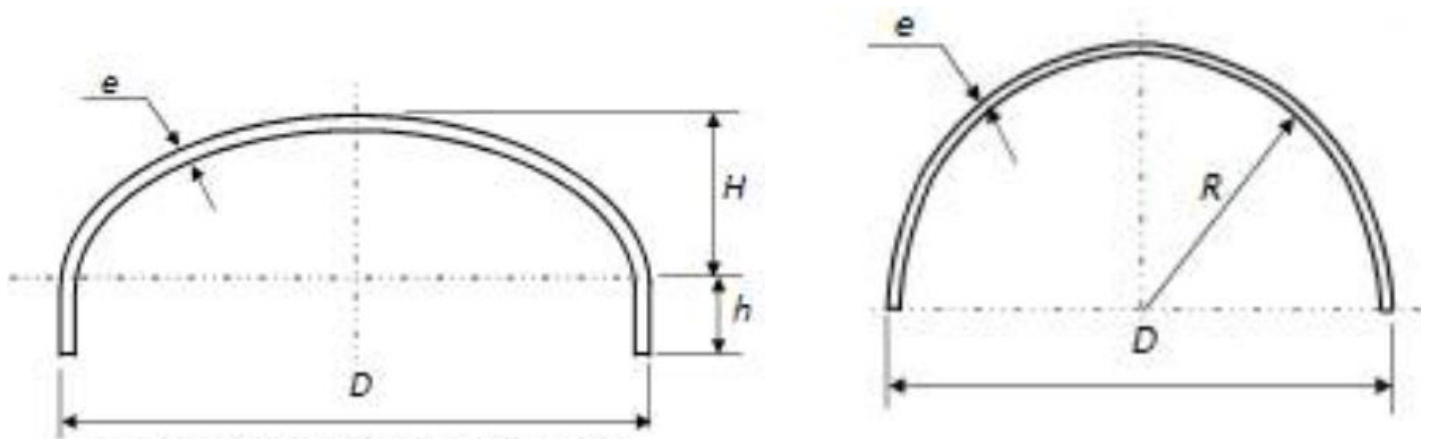


Figura 6. Formas típicas de los casquetes, a) Casquete semielíptico, b) casquete semiesférico. Fuente: adaptada de [22]

En la figura 6 representa,  $e$ : espesor de la pared,  $H$ : profundidad de la semielipse,  $h$ : longitud del faldón,  $R$ : radio de la semiesfera,  $D$ : diámetro exterior del casquete

### 2.3 Procesos de soldadura

La soldadura principal radial y las reparaciones se efectúan mediante procedimientos automáticos (arco sumergido) u otros métodos y/o materiales, ver tabla 7, aptos previamente y certificados por un organismo certificante autorizado.

La soldadura de la brida podrá realizarse indistintamente por los métodos indicados en el párrafo anterior o mediante procedimientos manuales.

El protector de válvulas, el aro base y las reparaciones deberán ser soldadas mediante procedimientos manuales.

Las soldaduras presentarán superficies lisas y de aspecto uniforme, penetración total y buena fusión de los bordes, debiendo estar exentas de escorias, poros, socavaduras y otras deficiencias. Las propiedades físicas de la junta soldada, luego de haber sido sometida al tratamiento térmico, en ningún caso serán inferiores a las del material base que constituye la chapa.

La idoneidad de los operarios soldadores y su calificación, influyen en la calidad final de la soldadura.

Tabla 7. Resumen de los procedimientos de soldadura del cilindro. Fuente: adaptada de [22]

<b>Parte del recipiente</b>	<b>Método de aplicación</b>
Sección cilíndrica y casquetes o semicápsulas	Máquina o Automático
Medio acople, cuello protector y base de sustentación	Máquina, Automático, Semiautomático o Manual

## 2.4 Comprobación del cilindro

La prueba no destructiva es una de las principales pruebas para determinar la evaluación de seguridad de los cilindros de acero. En la prueba de rotura hidráulica, se determina la presión de fluencia y la presión de ruptura del cilindro, se verifican también las características de fractura del cilindro y el estado de ruptura del cuerpo del cilindro.

La prueba de hermeticidad, consiste en presurizar internamente hasta llegar a una presión de prueba de 3310 kPa, que es equivalente a dos veces la presión de diseño, manteniéndose esta presión durante un tiempo mínimo de 30 segundos, para revisar las uniones. Este ensayo se realiza a temperatura ambiente.

Cada cilindro debe ser pintado con el color que corresponde a la empresa propietaria. La preparación superficial y el esquema de pintado deben cumplir con las exigencias mínimas indicadas en las normas específicas del fabricante. Cuando los cilindros son suministrados sin válvulas, el anillo portaválvula debe premunirse con un tapón de material no absorbente para proteger la rosca y prevenir la entrada de polvo y humedad.

En la prueba de capacidad, esta prueba se efectúa en una báscula con división mínima de 100 g. El procedimiento para realizar la prueba es el siguiente:

- Determinar el peso del cilindro, sin la válvula;
- Llenar el cilindro con agua;
- Determinar el peso del cilindro con agua;
- Restar el valor del peso del cilindro vacío al del cilindro lleno.

El resultado obtenido por el procedimiento de la prueba de capacidad, se multiplica por la relación máxima de llenado que es del 42%, y se obtiene la capacidad de GLP del cilindro; el valor obtenido debe ser igual o mayor a la capacidad nominal marcada en el cuello del cilindro.

### **Clasificación de defectos de los cilindros**

La clasificación de los defectos críticos, mayores y menores y su inspección deben ajustarse a los criterios que se establecen por el fabricante y la entidad reguladora de su comercialización.

#### **Defectos críticos**

Se consideran defectos de este tipo los siguientes:

- Capacidad del cilindro menor que la capacidad mínima que se establece
- Presencia de los defectos en las soldaduras

#### **Defectos mayores**

Se consideran defectos mayores:

- Deformaciones permanentes.
- Salpicaduras de soldadura, escoria en la soldadura, bajo nivel de soldadura, exceso de rebaba en el anillo portaválvula.
- Dimensión de la rosca del anillo portaválvula diferente al especificado.
- Uniones no soldadas total o parcialmente en las soldaduras de asas y bases.
- No cumplimiento de tolerancias en las siguientes dimensiones del cilindro: diámetro exterior del asa; diámetro interior de la base; altura total.

- Defecto en el centrado del anillo portaválvula.
- No cumplimiento del torque mínimo de apriete de la válvula al cilindro.

### **Defectos menores**

Se consideran defectos menores:

- Defectos de acabado y terminaciones.
- No cumplimiento de tolerancias en dimensiones distintas de las especificadas
- Poros que no afecten el material base del cuerpo en la zona de las soldaduras de asas y bases.

La probabilidad de ocurrencia de fallos en los cilindros metálicos portátiles se representa en la en el Anexo 2.

### **2.5 Conclusiones parciales**

1. Los procesos de embutición de los casquetes, el ensamble y la soldadura radial, así como la inspección final, se consideraron puntos críticos en la fabricación del cilindro de gas de 10kg de capacidad.
2. A partir de la observación del proceso de fabricación de cilindros en la empresa Confomat, de Matanzas, es posible, combinar las operaciones de embutición del casquete superior y el punzonado del orificio para colocar la válvula.
3. Los costos de producción de los cilindros metálicos portátiles pueden verse afectados por el rechazo de un lote de producción, más el costo de oportunidad perdido por el atraso de su comercialización. Este riesgo puede minimizarse, si se tiene un control de calidad de la materia prima y accesorios utilizados.

### Capítulo 3. Cálculo de los parámetros del proceso de fabricación por embutición del cuerpo del cilindro de 10 Kg

En la literatura técnica, ver por ejemplo [6] y [24], existen varias recomendaciones para el cálculo y diseño de las variables tecnológicas asociadas al proceso de embutición, a las herramientas y selección de la prensa.

#### 3.1 Diseño de la operación de embutición del casquete

##### Sobremedida para la altura de la pieza

A consecuencia de la heterogeneidad de los materiales, la arista superior de la pieza no queda uniforme después del embutido; unido a ello, cuando la pieza final no tiene reborde (o pestaña), se debe incrementar un valor de altura ( $\Delta H$ ), ver figura 7, a la altura requerida en la pieza, que luego es eliminado en una operación de corte. Por lo que se recomienda cortar el semiproducto teniendo en cuenta la sobremedida obtenida mediante recomendaciones. Por razones tecnológicas y criterios de diseñadores consultados, para el caso de estudio, aumentar este valor, incrementaría el costo total de la pieza; se decide, por tanto, en función de la figura, no aumentar la altura final.

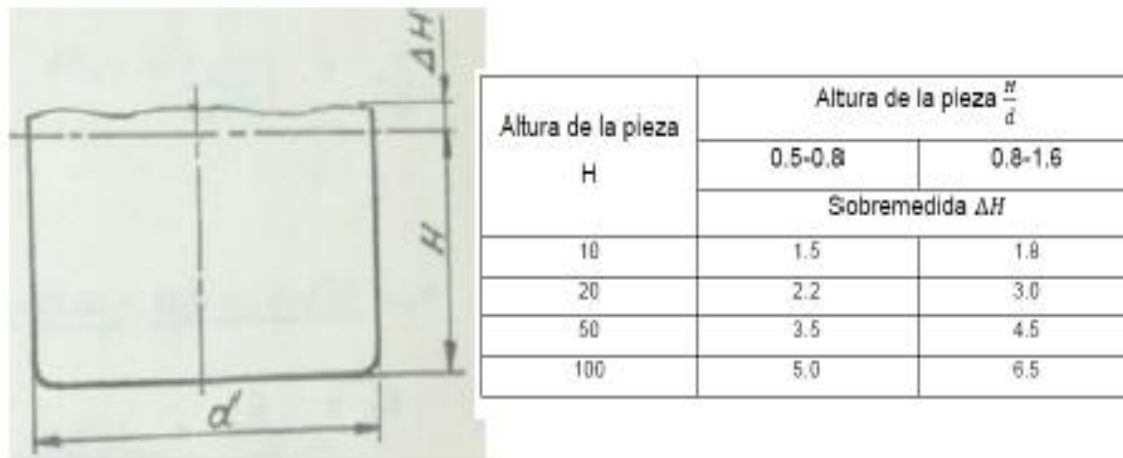


Figura 7. Sobremedida tecnológica ( $\Delta H$ ) en piezas embutidas. Fuente: adaptada [25]

##### Diámetro inicial del semiproducto

El diámetro inicial en el semiproducto ( $D_0$ ) se puede calcular igualando las áreas iniciales y finales de la pieza embutida y el disco inicial así, según recomendaciones de M. Mallo Gallardo

(1983), M. Rossi (1979) y Fundación-ASCAMM recomiendan las expresiones 4 y 5, respectivamente:

$$D_o = \sqrt{d^2 + 4 * d * (h + 0.57 * R_i)} \quad (4)$$

$$D_o = \sqrt{d^2 + (4 * d * h)} \quad (5)$$

Donde:

d: diámetro final en la pieza embutida (mm)

h: altura de la pared lateral de la pieza (mm)

Ri: radio de redondeo interior de la pieza (mm)

Sustituyendo en (4) queda:

$$D_o = \sqrt{311^2 + 4 * 311 * (233 + 0.57 * 7.6)}$$

$$D_o = 626.07 \text{ mm}$$

Y sustituyendo en (5)

$$D_o = \sqrt{311^2 + (4 * 311 * 233)}$$

$$D_o = 621.75 \text{ mm}$$

Estos serían los valores extremos de referencia para cortar el diámetro inicial del semiproducto.

El diámetro medio inicial:

$$D_{om} = \frac{626.07 + 621.75}{2}$$

$$D_{om} = 623.91 \text{ mm}$$

### **Cantidad de pasos de embutición**

No es tarea fácil determinar con exactitud el número de embuticiones necesarias para conseguir el objeto deseado. Las principales dificultades surgen al tener que establecer, para cada operación, la relación exacta entre el diámetro y la profundidad del recipiente.

La determinación del número de operaciones, junto a la del diámetro del disco de partida son dos de las cuestiones más importantes de los procesos de embutición. La necesidad de realizar el embutido en dos o más pasos viene determinada por la imposibilidad de que el material

pueda resistir la elevada tensión radial a la que es sometido durante el proceso de embutición debido a la relación existente entre el diámetro inicial del disco y el diámetro del recipiente a embutir.

Las piezas embutidas de gran profundidad, o de forma complicada, no pueden ser obtenidas en una sola operación. Deben ser embutidas en varias operaciones y en matrices diferentes, acercándose así, sucesivamente, a la forma definitiva. Las piezas sencillas poco profundas, pueden obtenerse en un solo paso.

En la bibliografía aparecen varias recomendaciones empíricas para determinar la cantidad de pasos de embutición, según M. Mallo Gallardo (1983) se calculan primero el espesor relativo del semiproducto y la relación de embutición:

### **Espesor relativo del semiproducto**

Se comprueba por la expresión (6)

$$S_R = \frac{S}{D_o} * 100\% \quad (6)$$

Sustituyendo en (6)

$$S_R = \frac{2.5}{626.07} * 100\%$$

$$S_R = 0.39\%$$

### **Relación de embutición**

La relación límite de embutición se vincula a la cantidad de pasos necesarios para embutir satisfactoriamente una pieza determinada. Se calcula como la relación entre los diámetros iniciales y finales que intervienen en la embutición, según la ecuación (7)

$$m_R = \frac{d}{D_o} \quad (7)$$

Sustituyendo los diámetros iniciales de referencia:

$$m_R = \frac{311}{626.07} \quad m_R = \frac{311}{621.75} \quad m_R = \frac{311}{623.91}$$

$$m_R = 0.49 \quad m_R = 0.50 \quad m_R = 0.49$$

Con los valores de  $m_R=0.50$  y  $s_R=0.39$ , en la tabla 1 del Anexo 3, como  $m_R \geq m_{1\text{tabla}}$ , se recomienda que la pieza puede obtenerse en un solo paso de embutición.

En la tabla.2 del Anexo 3, puede obtenerse el diámetro mínimo en el primer paso ( $d_1$ ) para esos coeficientes de embutición recomendados:

$$d_1 = m_{\text{tabla}} * D_o \quad (8)$$

$$d_1 = 0.50 * 626.07$$

$$d_1 = 313.03 \text{ mm}$$

Como el diámetro en la pieza es de 311 mm  $> d_1$ , la pieza se decide obtener en un solo paso de embutición.

Según recomendaciones, el valor de la relación límite de embutición para un material está asociada a la reducción de diámetros que se pueden lograr en una sola embutición. Esta es la proporción que existe entre el diámetro inicial de la pieza embutida ( $D_o$ ) y el diámetro de la pieza final ( $d$ ), calculable en función del valor del índice de anisotropía de Lankford, por la ecuación (9)

### 3.6 Relación límite de embutición

$$I_n D_R = \frac{1}{(1 + \mu)} \sqrt{\frac{(\bar{R} + 1)}{2}} \quad (9)$$

Donde:

$\mu$ : Coeficiente de fricción, por lo general se puede asumir para estas operaciones con lubricación entre 0.1 y 0.3

$R$ : Valor promedio del coeficiente de anisotropía.

Sustituyendo en (9)

$$I_n D_{Rm} = \frac{1}{(1+0.3)} \sqrt{\frac{(1.6+1)}{2}}$$

$$I_n D_{Rm} = 0.877$$

$$D_{Rm} = 2.38$$

La relación de embutición admisible para el material:

$$D_{Rlím} = D_{Rm} - \frac{d}{1000 * S} \quad (10)$$

$$D_{Rlím} = 1.60$$

La relación límite para el proceso ( $D_{Rp}$ ), según Oehler:

$$D_{Rp} = \frac{D_o}{d}$$

$$D_{Rp} = \frac{626.07}{311}$$

$$D_{Rp} = 2.01$$

Como  $D_{Rp} < D_{Rlím}$  se recomienda realizar el proceso en un paso de embutición.

### **Determinación de la pérdida de estabilidad en la pieza (uso o no del prensachapas)**

Criterios prácticos en (ASMAMM) establecen que si la relación (11) se cumple, entonces es recomendable el uso del prensachapas en la primera operación:

$$(D_o - d) \geq 22s \quad (11)$$

Sustituyendo:

$$(626.07 - 311) \geq 22 * 2.5$$

$$315.07 > 55$$

Se recomienda el uso del prensachapas

### **Comprobación de la altura mínima de la pieza**

La altura mínima de la pared cilíndrica de la pieza ( $h$ ) que se puede obtener sin prensachapas, según (ASMAMM), se obtiene en la expresión (12)

$$h \leq 0.3 \sqrt[3]{d^2 \sqrt{s}} \quad (12)$$

Sustituyendo:

$$h \leq 0.3 \sqrt[3]{311^2 \sqrt{2.5}}$$

$$h \leq 21.77$$

Como la altura exigida en la pieza es 233 mm, hay dificultades para obtenerla sin prensachapas.

## **Dimensiones de punzón y matriz**

### **Radio de la matriz**

No existe una única formulación para este parámetro. Mientras mayor es el valor del radio de la matriz, menor efecto sobre la fuerza de punzón, pero aumenta también a probabilidad de la formación de arrugas. Por el contrario, mientras menor sea el radio de la matriz, se produce un doblado más severo en la pieza, trayendo consigo que haya una menor sección resistente, mayor efecto de la fuerza del punzón y una menor embutibilidad.

El radio de la matriz  $r_z$  se puede determinar por la fórmula empírica (13) que aparece en O. Oehler (1977)

$$r_z = 0.035[50 + (D_o - d)]\sqrt{s} \quad (13)$$

Sustituyendo en (10)

$$r_z = 0.035[50 + (626.07 - 311)]\sqrt{2.5}$$

$$r_z = 20.20 \text{ mm}$$

En M. Mallo Gallardo (1983) se recomienda:

$$r_z = 0.8\sqrt{(D_o - d) * s}$$

$$r_z = 0.8\sqrt{(626.07 - 311) * 2.5}$$

$$r_z = 35.50 \text{ mm}$$

### **Juego u holgura de embutición (z)**

El juego de embutición unilateral se determina por la expresión (14) que aparece en C. M. García, D. J. Celentano, and F. G. Flores (2003)

$$z = s + k_z * \sqrt{10 * s} \quad (14)$$

Donde:

$k_z$ : es el coeficiente de embutido, según la tabla 8.

Tabla 8. Valores de  $k_z$ . Fuente: adaptada de [26]

Material	K
Acero	0.07
Aluminio	0.02
Otros materiales ferrosos	0.04

Sustituyendo en (14) queda:

$$z = 2.5 + 0.07 * \sqrt{10 * 2.5}$$

$$z = 2.85 \text{ mm}$$

### Diámetro de la matriz

Se calcula por la ecuación (15)

$$D_m = (d - \Delta)^{+\delta_m} \tag{15}$$

Donde:

$\Delta$ : Tolerancia de fabricación de la pieza (mm).

$\delta_m$ : Tolerancia de fabricación de la matriz (mm)

$$\delta_m, \text{ según } H_7 = (H_{7_{0.00}}^{0.052})$$

Sustituyendo en (15):

$$D_m = (311 - 0.435)^{+0.052}$$

$$D_m = (310.56)^{+0.052} \text{ mm}$$

### Altura de trabajo de la matriz

Se determina por la ecuación

$$H = [s + (0.6 \dots 1.3)\sqrt{D}] + 7 \tag{16}$$

$$H = 20.08 \dots 32.42 \text{ mm}$$

## Diámetro del punzón

$$D_p = (d + \Delta - z)^{+\delta_p} \quad (17)$$

Donde:

$\Delta$ : Tolerancia de fabricación de la pieza. Según el plano de la pieza, las tolerancias de las medidas no acotadas según IT14/2

$\delta_p$ : Tolerancia de fabricación del punzón.

Para la fabricación del punzón es recomendable una tolerancia de IT6. Sustituyendo en (17):

$$D_p = (311 + 0.435 - 2.85)^{+\delta_p}$$

$$D_p = 308.58 \text{ h6 } \left( \begin{smallmatrix} +0.032 \\ 0 \end{smallmatrix} \right) \text{ mm}$$

## Fuerza de embutición

En la literatura existen numerosas recomendaciones empíricas para el cálculo de la fuerza de embutición ver por ejemplo [M. S. Kulkarni and S. Y. Gajjal (2015), L. E. Nápoles-Herrera (2019), A. D. Alejandro-García (2019), C. M. García, D. J. Celentano, and F. Flores (2003)]. La mayoría de los autores consideran que este es uno de los parámetros más importantes en el proceso.

Oehler recomienda calcular la fuerza como:

$$F_e = \pi * d * k_f * \ln\left(\frac{D_0}{d}\right) \quad (18)$$

Donde:

$f = 0.4$ . factor de incremento para la fuerza.

$k_f$ : coeficiente de plasticidad del material (N/m<sup>2</sup>).

Sustituyendo en (18)

$$F_e = 3.14 * 311 * 49.96 * \ln\left(\frac{553.60}{311}\right)$$

$$F_e = 28133.53 \text{ kg}$$

$$F_e = 275895.682 \text{ N}$$

$$F_e = 275.895 \text{ kN}$$

### 3.2 Generadores de costos en la fabricación del cilindro

La fabricación de cilindros de gas permite la aplicación de los modernos métodos de costos. Este proceso cumple con los requisitos mínimos de la industria como son: la utilización de materia prima e insumos, mano de obra que le permita transformarlos y obtener un producto terminado. Tiene diferentes actividades, que se consideran centros de responsabilidad, subactividades que pueden reagruparse; existe el ensamble y la transformación de la materia prima, requisitos necesarios para la aplicación de la nueva técnica.

En la elaboración de los cilindros para GLP con capacidad para 10 kg se han determinado cuatro grandes actividades o procesos, también denominados centros de responsabilidad: Embutición, Ensamble y Acabado.

Según datos de [27], [23] y [1], la actividad ENSAMBLE consume el 43% de los costos de fabricación en el sistema de costos por procesos y por actividades el 27,17% esto se debe a que tiene las siguientes sub actividades:

- Granallado o limpieza de impurezas,
- Pintado con anticorrosivo y esmalte de sacado rápido,
- Colocación de válvula,
- Prueba de estanqueidad y otras

### 3.3 Conclusiones parciales

1. Se calcularon los parámetros básicos de la operación de embutición del casquete del cilindro de gas de 10kg de capacidad, según las recomendaciones nacionales e internacionales.
2. Hay coincidencias con los cálculos obtenidos y las decisiones de la empresa Conformat, en cuanto al diámetro del disco inicial y la cantidad de pasos de embutición. No se tuvo acceso al resto de los detalles de construcción del troquel empresarial que facilitarían su comprobación.

## CONCLUSIONES GENERALES

1. Las características ventajosas que se presentan en el manejo y utilidad del Gas Licuado del Petróleo, hacen que este tenga un auge vertiginoso en la vida cotidiana, en cuanto al uso y volúmenes de venta en el mercado interno de numerosos países. Organismos y asociaciones internacionales estiman que la demanda de GLP cree oportunidades para el mercado mundial en un futuro próximo y que el consumo del GLP pasará de los actuales 331 millones de toneladas a 375 millones, en el 2030.
2. A partir del análisis de la bibliografía, se puede afirmar que existe poca información disponible sobre las dimensiones y pesos de los cilindros de GLP domésticos; generalmente es una información que está en las normas técnicas de los productores o a nivel de ministerios. Tampoco se encontraron planos, completamente acotados, de las dimensiones y tolerancias del recipiente terminado y de cada uno de sus componentes y aditamentos, incluyendo la válvula de servicio.
3. La actual situación de la única fábrica en el país, para la fabricación y reparaciones de cilindros, no permite cubrir las necesidades de entrega de cilindros nuevos, lo que tensa la situación sobre la rotación y disponibilidad de estos en el mercado interno. Las normas nacionales e internacionales consultadas enfatizan en aspectos relativos a las dimensiones y capacidades de los distintos formatos de cilindros, así como a recomendaciones sobre las pruebas e inspecciones necesarias. No se encontraron reportes en la bibliografía consultada sobre detalles del proceso de fabricación del cilindro.
4. Los cálculos de las dimensiones tecnológicas de punzón y matriz constituyen una guía para la fabricación industrial de esas herramientas y fueron obtenidos a partir de las recomendaciones nacionales e internacionales.

## **RECOMENDACIONES**

1. A partir de los cálculos presentados, entregar a la empresa los planos completos de fabricación del punzón y matriz calculado.
2. Integrar los resultados obtenidos con los presentados por la Universidad de Matanzas y simular el comportamiento por elementos finitos de ambos casquetes del cilindro.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] N. García Bernal, “Mercado del gas en América Latina,” Biblioteca del Congreso Nacional de Chile | Asesoría Técnica Parlamentaria, Chile, N° SUP: 1333175, 2021.
- [2] AIGLP, “AIGLP – Asociación Iberoamericana de Gas Líquido de Petróleo,” AIGLP – Asociación Iberoamericana de Gas Líquido de Petróleo.
- [3] E. F. Pérez Castro, “Comparación del desempeño ambiental de la cocción utilizando Gas Licuado de Petróleo con el de la cocción utilizando electricidad,” Tesis de grado para la obtención del título de Ingeniero Mecánico, Escuela Superior Politécnica del Litoral. Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción, Guayaquil. Ecuador, 2015.
- [4] R. Tonietto, D. C. Nogueira Alves, A. C. Gavarra, D. Rocha, and G. Barbosa, “Benchmark del mercado de GLP envasado en América Latina,” Asociación Iberoamericana de Gas Licuado del Petróleo (AIGLP).Accenture Strategy, 2019.
- [5] D. Venegas Vásconez, C. Ayabaca Sarria, D. Venegas Vásconez, and C. Ayabaca Sarria, “Análisis del almacenamiento en sistemas de gas licuado de petróleo: tanques estacionarios vs. cilindros,” *Ingenius. Revista de Ciencia y Tecnología*, no. 22, pp. 113–122, Dec. 2019.
- [6] J. R. Marty- Delgado, A. R. García-Martínez, L. E. Nápoles-Herrera, and A. Alonso Martínez, “Sistema modular para la planificación de procesos en el diseño de herramientas para operaciones de conformación,” presented at the IV Convención Científica Internacional UCLV 2023. XII Conferencia Científica Internacional de Ingeniería Mecánica. COMEC 2023, Santa Clara, Villa Clara, Cuba: Feijoo, 2023.
- [7] Agencia Cubana de Noticias, “Déficit de cilindros complejiza la distribución de gas licuado,” *Cubadebate*. Accessed: Jan. 07, 2023. [Online]. Available: <http://www.cubadebate.cu/noticias/2022/07/13/deficit-de-cilindros-comp>
- [8] Asamblea Nacional del Poder Popular, “Cuba: Incrementan precios de la electricidad, combustible y gas licuado (+ Video),” Asamblea Nacional del Poder Popular. Accessed: May 21, 2024. [Online]. Available: <https://www.parlamentocubano.gob.cu/noticias/cuba-incrementan-precios-de-la-electricidad-combustible-y-gas-licuado-video>

- [9] R. Febles García, “Simulación del proceso de embutido del cilindro de gas de 10 KG,” Universidad de Matanzas Facultad de Ciencias Técnicas, Matanzas. Cuba, 2017.
- [10] Ministerio de Relaciones Exteriores (MINREX), Ministerio de Comercio Exterior y la Inversión Extranjera (MINCEX), and Oficina Nacional de Estadística e Información (ONEI), “Cuba: Informe nacional voluntario,” Grupo Nacional para la Implementación de la Agenda 2030. Coordinador: Ministerio de Economía y Planificación (MEP), La Habana. Cuba, 2021.
- [11] D. Venegas-Vásconez, C. Ayabaca-Sarria, S. Reina-Guzman, L. Tipanluisa-Sarchi, and Ó. Farías-Fuentes, “Sistemas de gas licuado de petróleo: una revisión sobre lineamientos de diseño y dimensionamiento,” *Ingenius*, no. 31, Art. no. 31, 2024, doi: 10.17163/ings.n31.2024.07.
- [12] J. Franco Fernández *et al.*, “Cadena de trazabilidad de las mediciones de flujo del gas licuado del petróleo en la Unión Cuba Petróleo,” *Revista CENIC Ciencias Químicas*, vol. 54, pp. 1–14, 2023.
- [13] “BNamericas - Informe mundial 2023 sobre el mercado de gas,” BNamericas.com. Accessed: May 24, 2024. [Online]. Available: <https://www.bnamericas.com/es/noticias/informe-mundial-2023-sobre-el-mercado-de-gas>
- [14] M. J. Sánchez Zapata, “Costo por procesos en la industria metalmecánica de envases para gas licuado de petróleo (GLP) de uso doméstico,” 2008.
- [15] Secretaría de Energía, *NORMA Oficial Mexicana NOM-008-SESH/SCFI-2010, Recipientes transportables para contener Gas L.P. Especificaciones de fabricación, materiales y métodos de prueba.*, vol. NOM-008-SESH/SCFI-2010. 2010.
- [16] Conformat, “Conformat. Especialidad en Conformado y Soldadura, fabricamos Cilindros para Gas Licuado de Petróleo GLP y Extintores.” [Online]. Available: [https://www.facebook.com/conformat9/?locale=es\\_LA](https://www.facebook.com/conformat9/?locale=es_LA)
- [17] “FichaTecnica-012-Cilindro.pdf.” Accessed: Jan. 07, 2023. [Online]. Available: <https://www.ingusa.com.mx/files/FichaTecnica-012-Cilindro.pdf>
- [18] International Organization for Standardization (ISO), “ISO 11119-3:2020(en), Gas cylinders — Design, construction and testing of refillable composite gas cylinders and

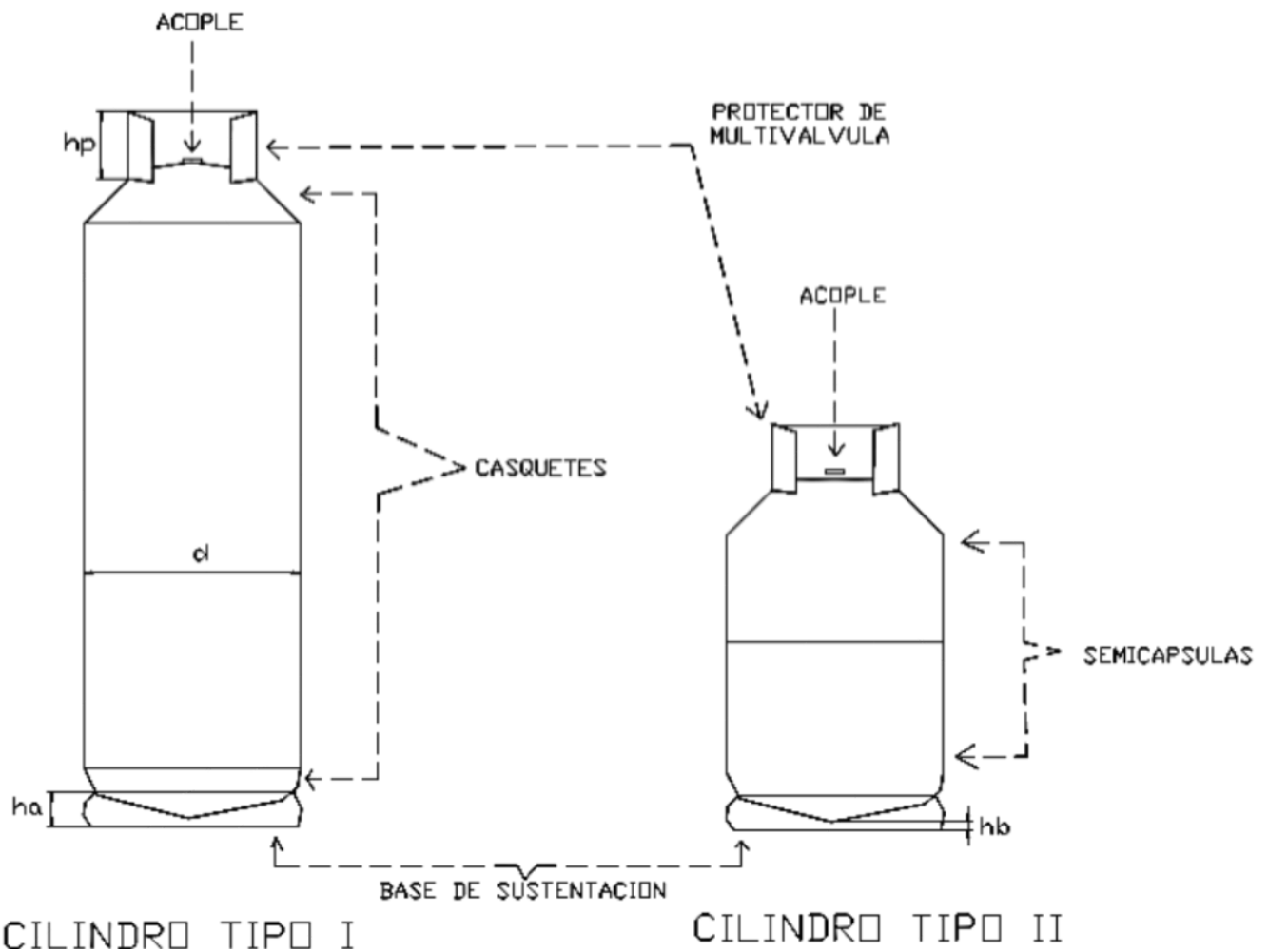
tubes — Part 3: Fully wrapped fibre reinforced composite gas cylinders and tubes up to 450 l with non-load-sharing metallic or non-metallic liners or without liners.” Accessed: May 24, 2024. [Online]. Available: <https://www.iso.org/obp/ui/es/#iso:std:iso:11119:-3:ed-3:v1:en>

- [19] Oficina Nacional de Normalización (NC), *Equipos y accesorios para GLP — botellas soldadas portátiles rellenables de acero para gases licuados de petróleo (GLP) — Diseño y construcción*, vol. 1442: 2012. 2006.
- [20] Ministerio de Energía y Minas and Gaceta Oficial de la República de Cuba. Extraordinaria, *Reglamento para el servicio de gas licuado de petróleo a la población*. 2017.
- [21] Consejo del Instituto Nacional de Normalización, *Cilindros de acero, soldados para gases licuados de petróleo (Tipos: 5; 11; 15 y 45) – Requisitos generales de diseño y fabricación*, vol. 78.Of1999. 1998.
- [22] Secretaría de Energía. Argentina, *Normas para la Construcción, Ensayo, Acondicionamiento y Destrucción de Microgarrafas, Garrafas y Cilindros para contener Gas Licuado de Petróleo*, vol. Resolución 2013/2012. 2013.
- [23] L. A. Naranjo Bejarano, C. X. Garavito Valencia, J. S. Ardila Linares, M. V. Camacho, and M. Pinilla Jiménez, “Importación de cilindros hexágono regasco para distribución de GLP,” Institución Universitaria Politécnico Gran Colombiano Facultad de Negocios, Gestión y Sostenibilidad, Colombia, 2021.
- [24] Y. Yera Arboláes, L. E. Nápoles-Herrera, and J. R. Marty-Delgado, “Diseño de herramientas para la elaboración por corte y embutición de chapa de la pieza ‘capucha protectora,’” Tesis en opción al título de ingeniero mecánico, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Santa Clara, Villa Clara, Cuba, 2022.
- [25] M. Mallo Gallardo, *Herramientas de Conformar*, 1987th ed. Ciudad de la Habana: Pueblo y Educación, 1983.
- [26] O. Oehler, *Herramientas de troquelar, estampar y embutir*. Barcelona: Gustavo-Gili S. A, 1977.
- [27] C. Vargas Quispe, “Estudio de mejora en la producción y comercialización de válvulas para cilindros de GLP 10 Kg en EMEMSA,” Trabajo de suficiencia profesional para optar

el Título Profesional de Ingeniero Industrial, Universidad de Lima. Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Lima. Perú, 2021.

## ANEXOS

### Anexo 1. Capacidad y dimensiones de algunos tipos de cilindro



Cilindro	Contenido de GLP (Kg)	Volumen de Agua (Lts)	Diámetro Interior (d) (mm)		ha (mm)	hb (mm)	hp (mm)	R <sub>1</sub> (%)	R <sub>2</sub> (%)
			Mínimo	Máximo				Mínimo	
TIPO I	18	43 + 5%	304	308	25	40	125	55	75
	43	108 + 5%	367	372	25	78	125	75	95
TIPO II	10	24 + 5%	304	308	25	40	125	55	75
	18	43 + 5%	304	308	25	40	125	55	75

**Anexo 2. Probabilidad de ocurrencia de fallos en un recipiente cilíndrico de GLP**

<b>ACTIVIDAD</b>	<b>Probabilidad de ocurrencia de fallos</b>	<b>Severidad de las consecuencias</b>	<b>Clasificación de riesgos</b>
Llenado de cilindros	Media	Grave	Moderado
Uso final por parte final del consumidor	Media	Muy grave	Importante
Manejo e instalación	Media	Muy grave	Importante
Condición general	Media	Muy grave	Importante

### Anexo 3. Espesor relativo del semiproducto

Espesor relativo del semiproducto $s_R = \frac{s}{D_o} * 100\%$	m <sub>1</sub>	m <sub>2</sub>	m <sub>3</sub>	m <sub>4</sub>	m <sub>5</sub>
0.06...0.2	0.60...0.58	0.80...0.78	0.82...0.80	0.84...0.82	0.86...0.84
0.2...0.5	0.58...0.56	0.78...0.76	0.80...0.78	0.82...0.80	0.84...0.82
0.5...1.0	0.56...0.53	0.76...0.74	0.78...0.76	0.80...0.78	0.82...0.80
1.0...1.5	0.53...0.50	0.74...0.72	0.76...0.74	0.78...0.76	0.80...0.78
1.5...2.0	0.50...0.46	0.72...0.70	0.74...0.72	0.76...0.74	0.78...0.76

### Coeficientes de embutición

Coeficientes de embutición (m)		
Material	1 <sup>ra</sup> embutición	2 <sup>da</sup> embutición
Acero de embutición	0.60-0.65	0.80
Acero para embutición profunda	0.55-0.60	0.75-0.80
Acero inoxidable	0.50-0.55	0.80-0.85