

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA



**DISEÑO DE UN REGULADOR DE BAJA PRESIÓN PARA
DETERMINAR EL PESO EXACTO DE GAS, EN LOS CILINDROS DE
USO DOMÉSTICO DE 10 KG**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO**

AUTOR

CHRISTIAN ALEXANDER PORTALES ZAMORA

ASESOR

LUIS ALBERTO GONZALES BAZAN

<https://orcid.org/0000-0003-3941-9581>

Chiclayo, 2020

**DISEÑO DE UN REGULADOR DE BAJA PRESIÓN PARA
DETERMINAR EL PESO EXACTO DE GAS, EN LOS
CILINDROS DE USO DOMÉSTICO DE 10 KG**

PRESENTADA POR:
CHRISTIAN ALEXANDER PORTALES ZAMORA

A la Facultad de Ingeniería de la
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
para optar el título de

INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO

APROBADA POR:

Alexander Querevalú Morante
PRESIDENTE

Juan Carlos Vives Garnique
SECRETARIO

Luis Alberto Gonzales Bazan
VOCAL

Dedicatoria

A mi madre:

Por haberme hecho un hombre de bien, educado en valores y por enseñarme el valor del trabajo y el sacrificio que esta demanda.

Por ser una excelente madre, amorosa, comprensiva y trabajadora. Por qué a ella le debo cada uno de mis logros y los que espero lograr en lo que me queda de vida.

AGRADECIMIENTO

A Dios:

Por haber permitido que este sueño se haga realidad, porque me regalo la mejor mujer del mundo, mi madre. Por prestarme la vida para terminar con éxito lo que empecé y por siempre guiar mis pasos por el camino del bien.

A mi hermano:

Por ser un ejemplo de bien, por sus consejos, su amistad y cariño incondicional.

A mi familia:

Por qué siempre me alentaron a seguir adelante y a no desmallar en este largo camino.

A mis queridos docentes:

Por brindarme su amistad, conocimientos y experiencias; estoy seguro que me servirán en la vida y en mi camino profesional.

ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN	12
II.	OBJETIVO.....	13
2.1.	OBJETIVO GENERAL	13
2.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
III.	SITUACIÓN PROBLEMÁTICA.....	14
IV.	PROBLEMA	14
V.	JUSTIFICACIÓN	15
VI.	MARCO TEÓRICO.....	16
6.1.	ESTADO DEL ARTE.....	16
6.1.1.	Productos similares existentes	16
6.2.	BASE TEÓRICA CIENTÍFICA.....	20
6.2.1.	Diseño en ingeniería	20
6.2.2.	Reguladores de presión.....	20
6.2.3.	Esfuerzos en recipientes de pared delgada	23
6.2.4.	Ley de los Gases ideales	24
6.2.5.	Diseño de resortes	26
6.3.	EL GLP	33
6.3.1.	Propiedades físicas y químicas del GLP.....	34
6.3.2.	Proceso de Vaporización	36
6.3.3.	Características del GLP	37
6.3.4.	Aplicaciones del GLP.....	37
VII.	CONSUMO DE GLP EN LOS HOGARES PERUANOS	40
7.1.	CONSUMO DE GLP.....	42
7.2.	USOS DEL GLP	43
7.3.	REGULADORES DE GLP DOMÉSTICO	44
VIII.	DISEÑO	46
8.1.	METODOLOGÍA DEL DISEÑO.....	47
8.1.1.	Comprensión de la solicitud.....	47
8.1.2.	Concepción de la solución	47
8.1.3.	Elaboración del proyecto	47
8.1.4.	Elaboración de detalles	47
8.2.	LISTA DE EXIGENCIA	47
8.3.	ESTRUCTURA DE FUNCIONES	51
8.3.1.	Caja negra (black box).....	51
8.4.	ESTRUCTURA DE FUNCIONES DESARROLLADA	53

8.4.1.	Estructura de funciones - alternativa 01	53
8.4.2.	Estructura de funciones - alternativa 02	54
8.4.3.	Estructura de funciones alternativa 03	55
8.4.4.	Estructura de funciones óptima	56
8.5.	MATRIZ MORFOLÓGICA	58
8.5.1.	Desarrollo de la matriz morfológica	58
8.6.	CONCEPTOS DE SOLUCIÓN	59
8.6.1.	Concepto de solución 01	59
8.6.2.	Concepto de solución 02	60
8.6.3.	Concepto de solución 03	61
8.7.	EVALUACIÓN DE CONCEPTOS DE SOLUCIÓN Y PROYECTOS	62
8.7.1.	Evaluación técnica	62
8.7.2.	Evaluación económica	63
8.7.3.	Diagrama de evaluación según VDI 2225	64
8.8.	DISEÑO ANALÍTICO DEL REGULADOR	65
8.8.1.	Cámara de alta presión, cámara de presión regulada y balancín	65
8.8.2.	Diseño del resorte de regulación	70
8.8.3.	Esfuerzos en las cámaras	73
8.9.	DIAFRAGMA	75
8.10.	CONECTOR DE SALIDA	75
8.11.	SELECCIÓN DEL MANÓMETRO	75
8.12.	AJUSTE DE PARÁMETROS (HOJA DE CÁLCULO)	75
8.13.	CAD	79
IX.	SIMULACIÓN MECÁNICA	81
9.1.	SIMULACIÓN DE PRESIÓN EN LA CÁMARA DE ALTA	81
9.2.	SIMULACIÓN EN EL BALANCÍN DE REGULACIÓN	85
X.	SISTEMA DE MEDICIÓN	88
XI.	VALORACIÓN ECONÓMICA	93
11.1.	INVERSIÓN INICIAL DEL PROYECTO	93
11.2.	INGRESOS Y EGRESOS ESTIMADOS	93
11.3.	FLUJO DE CAJA:	94
11.4.	CÁLCULO DE INDICADORES ECONÓMICOS	96
11.4.1.	Valor actual Neto (VAN)	96
11.4.2.	Tasa Interna de Retorno (TIR)	96
11.4.3.	Relación Costo Beneficio	97
XII.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	98
XIII.	BIBLIOGRAFÍA	99
XIV.	ANEXOS	102

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Comparativo reguladores.	16
Tabla 2: Diámetros estándar para resortes helicoidales de sección redonda. [8].....	28
Tabla 3: Índice del resorte según autor. [8]	30
Tabla 4: Dimensiones de resortes en compresión. [3].....	32
Tabla 5: ASTM A228. [8].....	33
Tabla 6: Composición Química del GLP. [12]	34
Tabla 7: % en Volumen del GLP. [12].....	35
Tabla 8: Características técnicas del GLP. [12].....	35
Tabla 9: Porcentaje en volumen de Propano y Butano. [13]	35
Tabla 10: Características fisicoquímicas del gas y el GLP. [11]	36
Tabla 11: Lista de exigencias pág. 1 de 3.....	48
Tabla 12: Lista de exigencias pág. 2 de 3.....	49
Tabla 13: Lista de exigencias pág. 3 de 3.....	50
Tabla 14: Matriz morfológica	58
Tabla 15: Evaluación técnica.	62
Tabla 16: Evaluación Económica.....	63
Tabla 17: Parámetros para el diseño en la cámara de alta presión.	73
Tabla 18: Parámetros para el diseño de la cámara de presión regulada.	74
Tabla 19: Especificaciones técnicas - manómetro.	75
Tabla 20: Hoja de cálculo para el ajuste de parámetros en el regulador.	77
Tabla 21: Diseño del resorte para varios índices.	78
Tabla 22: Esfuerzos en las cámaras para distintos factores de seguridad.	78
Tabla 23: Variación de la T° al cambio de presión.	88
Tabla 24: Inversión inicial necesaria del proyecto.....	93
Tabla 25: Ingresos Mensuales.....	94
Tabla 26: Egresos mensuales.	94
Tabla 27: Flujo de caja del proyecto.	95
Tabla 28: VAN.....	96
Tabla 29: TIR.....	97
Tabla 30: Relación Costo Beneficio.....	97
Tabla 31: Variación en % según marca en el mercado.	97
Tabla 32: Propiedades mecánicas de aleación de Zinc N°5. [17]	104
Tabla 33: Especificaciones de materiales metálicos.	105
Tabla 34: Modelo de etiquetado para cilindros de GLP.....	113

LISTA DE IMÁGENES

Figura 1: Cadena de distribución GLP.....	14
Figura 2: Regulador premium Solgas.....	17
Figura 3: Regulador premium SGA.	17
Figura 4: Regulador seria A235IS-M.....	18
Figura 5: Regulador Fisher de 35 mm.....	18
Figura 6: Regulador Fisher Gasper.	19
Figura 7: Forma de conexión de un regulador típico.	21
Figura 8: DCL balancín y sus reacciones. [5].....	22
Figura 9: Recipiente de pared delgada. [6].....	23
Figura 10: Gráfica Vvs T.....	24
Figura 11: Gráfica P vs T°.	25
Figura 12: Gráfica P vs V y P vs 1/V.....	25
Figura 13: Clasificación de los resortes. [8].....	26
Figura 14: Parámetros en resortes helicoidales. [9].....	27
Figura 15: Ángulo de paso en resortes helicoidales. [10].....	29
Figura 16: Operación de un resorte helicoidal de compresión. [9].....	29
Figura 17: Carga sobre resorte y diagrama de cuerpo libre. [3].....	30
Figura 18: Tipos de extremos en resortes helicoidales de compresión. [3].....	32
Figura 19: Procesamiento del gas natural. [11].....	34
Figura 20: Nivel de llenado del cilindro de GLP.....	37
Figura 21: Metodología Objetivo N° 01.....	40
Figura 22: Población y número de hogares en el Perú.....	41
Figura 23: GLP según Geografía.	41
Figura 24: % de utilización según tipo de balón de GLP.....	42
Figura 25: Consumo mensual de cilindros de 10 kg.....	42
Figura 26: Consumo promedio de balones de 10 kg.....	43
Figura 27: Usos del GLP en el hogar.	43
Figura 28: Fuentes de energía para la cocción de alimentos.	44
Figura 29: Reguladores preferidos por los usuarios domésticos.	44
Figura 30: Regulador no normado.	45
Figura 31: Metodología Objetivo N° 02.....	46
Figura 32: Caja negra / Black-Box.....	51
Figura 33: Estructura de funciones – alternativa 1.	53
Figura 34: Estructura de funciones - alternativa 2.....	54
Figura 35: Estructura de funciones - alternativa 3.....	55
Figura 36: Estructura de funciones óptima.....	56
Figura 37: Alternativa de solución 1.....	59
Figura 38: Alternativa de solución 2.....	60
Figura 39: Alternativa de solución 3.....	61
Figura 40: Diagrama de evaluación según DIN 2225.....	64

Figura 41: Geometría - cámara de alta presión.....	66
Figura 42: Geometría - Cámara de alta presión.....	67
Figura 43: DCL - Balancín.....	69
Figura 44: Orificio en la cámara de alta presión.....	69
Figura 45: Vistas del regulador de baja presión.....	79
Figura 46: Isométrico del regulador de baja presión.....	79
Figura 47: Renderizado del regulador de baja presión.....	80
Figura 48: Renderizado de la vista de sección del regulador de baja presión.....	80
Figura 49: Tensión de Von Misses en la cámara de alta presión.....	81
Figura 50: Desplazamientos cámara de alta presión.....	82
Figura 51: Deformación unitaria en el regulador de baja presión.....	83
Figura 52: Factor de Seguridad para un espesor de 2 mm.....	84
Figura 53: Esfuerzo de Von Misses en balancín de regulación.....	85
Figura 54: Desplazamiento en el balancín de regulación.....	86
Figura 55: Factor de seguridad para el balancín de regulación.....	87
Figura 56: Grafica Temperatura vs Presión (GLP).....	89
Figura 57: Gráfica Temperatura vs Presión (GLP).....	89

RESUMEN

En la presente tesis se realizó el diseño de un regulador de baja presión con un mecanismo de medición para determinar el peso exacto de gas que expenden las distribuidoras a los usuarios que consumen GLP en cilindros de 10 kg. El diseño del regulador parte con la toma de exigencias marcadas en la Norma Técnica Peruana 350.074; donde establece: elementos que lo componen, material y presiones de trabajo. El método de diseño propuesto se realizó en conformidad con la norma VDI 2221. Se analizó los reguladores existentes en el mercado nacional e internacional; marcando sus ventajas y limitaciones y sobre ellas plantear propuestas de mejoras, que terminarán en un nuevo producto.

Las propuestas se evalúan técnica y económicamente ante una solución ideal. Se realizan los cálculos correspondientes de: cámara de alta presión, presión regulada, balancín y resorte de regulación. Se analizan los esfuerzos presentes en las cámaras de manera analítica y con la ayuda de una herramienta computacional.

Del diseño propuesto se obtienen los planos correspondientes, junto con Solidworks Simulation se valida el comportamiento mecánico del regulador. Por otro lado, se analiza matemáticamente la variación de la presión dentro del cilindro para determinar el sistema de medición final que ayudarán a los usuarios a determinar el peso exacto de gas. Finalmente se evalúa con indicadores económicos (VAN-TIR) el diseño propuesto.

Palabras clave: **regulador de baja presión, cilindros de uso doméstico, herramientas computacionales, peso de GLP.**

ABSTRACT

In this thesis, the design of a low pressure regulator with a measurement mechanism was carried out to determine the exact weight of gas that distributors give out to users who consume LPG in 10 kg cylinders. The design of the regulator starts with the requirements set out in the Peruvian Technical Standard 350.074; where it establishes: elements that compose it, material and working pressures. The proposed design method was carried out in accordance with the VDI 2221 standard. The existing regulators in the national and international market were analyzed; marking their advantages and limitations and on them to propose improvement proposals, which will end in a new product.

The proposals are evaluated technically and economically against an ideal solution. The corresponding calculations of: high pressure chamber, regulated pressure, rocker arm and regulations spring are performed. The stresses present in the cameras are analyzed analytically and with the help of a computational tool.

The corresponding plans are obtained from the proposed design, together with Solidworks Simulation the mechanical behavior of the regulator is validated. On the other hand, the variation in pressure inside the cylinder is mathematically analyzed to determine the final measurement system that will help users determine the exact weight of gas. Finally, the proposed design is evaluated with economic indicators (VAN-TIR).

Keywords: low pressure regulator, kitchen gas cylinder, computational tools, LPG weight.

I. INTRODUCCIÓN

Para la Sociedad Peruana de Gas Licuado (SPGL) existe un alto nivel de informalidad en la comercialización de GLP envasado. Esto acarrea problemas al usuario final como: cilindros inseguros, defectuosos y peso no reglamentado. [1] A pesar de los esfuerzos por parte del ente regulador de la energía en el Perú (Osinermin) en la cadena de distribución del GLP las reformas no solucionan los problemas mencionados.

Uno de los principales problemas detectados es el peso no reglamentado al momento de expender GLP envasado. La problemática radica en el gran número de envasadoras de GLP, puntos de venta clandestinos, diversidad de marcas en el mercado, falta de un estándar y control por los entes reguladores. [2] En la **figura 01** se aprecia que el ente regulador aplica su autoridad a un nivel de envasadoras y distribuidoras pero en la comercialización ocurre la asimetría con la norma.

Osinermin mediante Resolución N. ° 204-2016-OS/CD; estableció que se debe brindar información a los usuarios acerca del combustible que expenden. Los puntos álgidos son 3: [2]

- a) Desproporción existente del volumen de GLP.
- b) Incitar una mejor comercialización de GLP con el peso exacto.
- c) Empoderar al consumidor dotándolo de información respecto al peso del producto que está adquiriendo.

Estas medidas son ejecutadas con el etiquetado de cilindros de GLP, pero no es garantía para el usuario; ya que en muchos casos las etiquetas son retiradas y en otros; producto del transporte se pierden. Tomando en cuenta la gran diversidad de marcas, los usuarios reducen su capacidad de elección por un tema de accesibilidad y falta de información. Por estas razones y en complemento a lo dispuesto por Osinermin se plantea la siguiente tesis: DISEÑO DE UN REGULADOR DE BAJA PRESIÓN PARA DETERMINAR EL PESO EXACTO DE GAS, EN LOS CILINDROS DE USO DOMÉSTICO DE 10 kg.

La presente tesis se centrará en diseñar un regulador de baja presión capaz de medir la presión del GLP en el interior del cilindro y por medio de una cartilla relacionar la presión con el peso del hidrocarburo.

La metodología descrita es de carácter teórica científica. La tesis empieza describiendo un panorama general del uso del GLP (zonas, condición de pobreza, consumo en cilindros, etc.). El diseño del regulador parte por definir una lista de exigencias que debe cumplir para su correcto funcionamiento, después se describe la metodología de diseño como la que usan los ingenieros alemanes (VDI) para definir el diseño óptimo. El diseño también abarca los cálculos necesarios para el correcto dimensionado del regulador, cumpliendo con los deseos y exigencias planteadas. Se confronta los cálculos utilizando herramientas computacionales para validar el diseño. Finalmente se realiza un análisis económico utilizando indicadores económicos (VAN-TIR).

II. OBJETIVO

2.1. Objetivo general

Diseñar un regulador de baja presión para determinar el peso exacto de GLP en los cilindros de uso doméstico de 10 kg.

2.2. Objetivos específicos

- Diagnosticar el consumo de GLP en los hogares peruanos para determinar la población en estudio.
- Diseñar el regulador de baja presión en conformidad con la NTP vigente.
- Simular con software CAD el comportamiento mecánico de los elementos más críticos del regulador.
- Establecer la ecuación que relaciona la presión y la masa del GLP para determinar el peso del gas.
- Realizar un análisis económico utilizando indicadores (VAN-TIR-Beneficio/Costo).

III. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

En la actualidad los usuarios que consumen GLP doméstico (cilindros de gas) se encuentran disconformes por la cantidad y calidad que le expenden las distribuidoras de este energético (resolución 204-2016-OS/CD). [2] Así pues, Osinergmin publicó el proyecto normativo en donde obliga a las empresas envasadoras a brindar información acerca de la cantidad que éstas expenden a los usuarios finales. Esta medida se publicó debido a los reclamos de los usuarios por el peso que les venden.

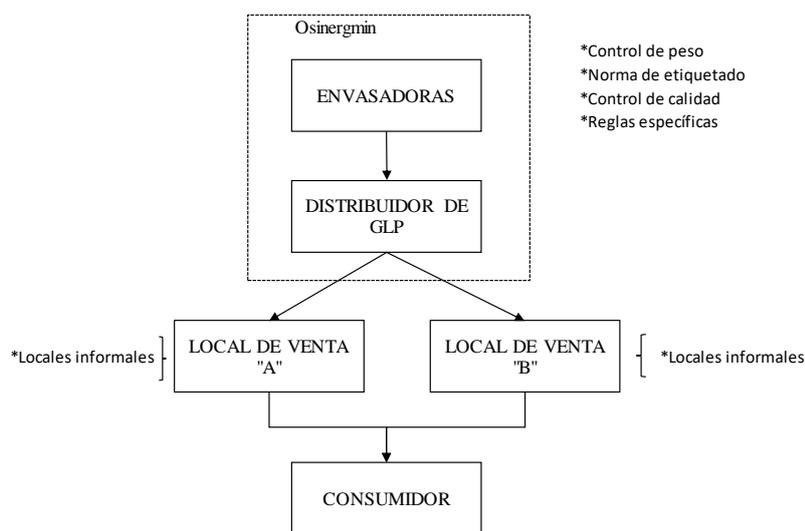


Figura 1: Cadena de distribución GLP.

Fuente: propia.

IV. PROBLEMA

- Falta de un patrón de medida para los usuarios que consumen GLP envasado (cilindros de 10 kg).
- Falta de mecanismo que ayude a los usuarios a constatar el peso que expenden las distribuidoras de GLP (resolución 204-2016-OS/CD). [2]
- Usuarios no conformes con lo que le expenden los distribuidores de GLP (resolución 204-2016-OS/CD). [2]
- Población desinformada acerca del peso que debe contener un cilindro de GLP (resolución 204-2016-OS/CD). [2]
- Norma de etiquetado en cilindros de 10 kg, no corrige la asimetría respecto del peso del GLP.

V. JUSTIFICACIÓN

1. Social

- Concientizar a los distribuidores de GLP a expender el peso justo del hidrocarburo.
- Ayudar a los usuarios a exigir el peso por el que están pagando, evitando robos y escogiendo mejor a sus distribuidores.
- Fortalecer las disposiciones del ente regular de la energía en el Perú (Osinermin).

2. Económica

- El diseño del regulador se realizará de una forma simple y con materiales económicos, reduciendo los costos de fabricación y manufactura.
- Los usuarios se verán beneficiados al rendirles más tiempo el GLP.

3. Tecnológica

- El diseño, planos y simulaciones del producto se realizan con la ayuda de una herramienta computacional como Solidworks.
- Los usuarios aprenderán a tomar lecturas en dispositivos de presión tales como los manómetros.

VI. MARCO TEÓRICO

6.1. Estado del arte

6.1.1. Productos similares existentes

Tabla 1: Comparativo reguladores.

CUADRO COMPARATIVO DE REGULADORES EN EL MERCADO							
ITEM	TIPO	MARCA	PROCEDENCIA	ESPECIFICACIONES	VENTAJAS	DESVENTAJAS	REFERENCIA
1	PREMIUM	SOLGAS	NACIONAL	*Presión de Entrada: 10 bar *Presión Regulada: 28 mbar *Φ Entrada: 20 mm	*Fácil de conectar. *Presenta dispositivo de seguridad ante posible manipulaciones. *Compacto. *Presenta perilla de apertura y cierre al paso de gas. *Resistente a la corrosión y buena durabilidad. *Presenta canal de compensación.	*Conector de salida no adherido al cuerpo; presenta soldimix en las uniones para garantizar la seguridad. *Mediador entre el balón de gas y la cocina. *Más pesado que los reguladores fisher de 35 mm.	Figura 02
2	PREMIUM	SGA	NACIONAL	*Presión de Entrada: 20 bar *Presión Regulada: 28 mbar *Φ Entrada: 20 mm	*Fácil de conectar. *Presenta dispositivo de seguridad ante posible manipulaciones. *Perilla de apertura y cierre al paso del gas. *Presenta canal de compensación. *Conector de salida adherido al cuerpo del regulador. *Resistente a la corrosión y buena durabilidad. *Conector de salida conforme a la NTP 350.074-2.	*Sólo regula la presión de salida conforme lo establece la normativa.	Figura 03
3	PREMIUM	IGT A100IS-M	EXTRANJERO	*Φ Entrada: 20 mm - 27 mm. *Φ cámara de baja presión: 63 mm.	*Presenta manómetro indicador de nivel en rango de colores. *Perilla de seguridad para bloqueo del regulador con el cilindro. *Compacto.	*Fabricados bajo estándares diferentes a la NTP 350.074. *El manómetro solo muestra la presión en rango de colores mas no lo cuantifica (es relativo). *No es comercial en el mercado local. *Costo superior al resto de reguladores locales.	Figura 04
4	FISHER	TopGas	NACIONAL	*Presión de Entrada: *Presión Regulada: *Φ Entrada:	*Bajo costo en relación con otros reguladores. *Fácil conexión. *Resistente a las condiciones ambientales y los trabajos expuestos. *Geometría Sencilla. *Bloqueo de gas con perilla externa.	*Ganchos de sujección presentan mayor desgaste. *De fácil desconexión mientras se encuentra en funcionamiento. *Pin fijo al cuerpo del regulador. *Osinermin no los recomienda ya que no cumplen la estanqueidad con los cilindros.	Figura 05
5	FISHER	GASPER	NACIONAL	*Φ Conexión: 35 mm	*Precio de adquisición mas módico a comparación de otros reguladores en el mercado. *De fácil conexión. *Conexión de salida adherida al cuerpo.	*Pin fijo al cuerpo del regulador. *De fácil manipulación para dar mantenimiento por cualquier usuario. *No cumple con los requerimientos de seguridad establecidos por Osinermin.	Figura 06

Fuente: Propia.



Figura 2: Regulador premium Solgas.

Fuente: <https://www.solgas.com.pe/productos/regulador-premium-solgas/>



Figura 3: Regulador premium SGA.

Fuente: <http://www.maestro.com.pe/productos/gasfiteria/regulador-premium2>



Figura 4: Regulador serie A235IS-M.

Fuente: http://igct-lpg.com/index.php/products/A100IS_COMPACT_LOW_PRESSURE_REGULATORS



Figura 5: Regulador Fisher de 35 mm.

Fuente: TopGas



Figura 6: Regulador Fisher Gasper.

Fuente: https://articulo.mercadolibre.com.pe/MPE-431650526-regulador-de-gas-gasper-con-manguera-reforzada-uso-domestico-_JM

6.2. Base teórica científica

6.2.1. Diseño en ingeniería

Diseño mecánico es una tarea compleja que requiere de imaginación, creación, procesos de manufactura y requerimientos para cumplir ciertas exigencias. El proceso de diseño se debe realizar mediante códigos y normas teniendo en cuenta la economía y la seguridad del producto a diseñar. Otras consideraciones son las dimensiones, tolerancias, unidades y cálculos. [3]

Todo proceso de diseño parte definiendo un problema y con ello aparece el cómo solucionarlo de forma económica y eficiente. La identificación plena del problema es específica; requiere de un estudio minucioso de las características, dimensiones y sus limitaciones del producto a diseñar. Este proceso de identificación del problema se asemeja a una “Caja Negra” (Black Box).

Con el problema identificado se procede a la concepción de la solución en donde se presentan un listado de alternativas que hacen frente al problema. Este proceso también es conocido como síntesis la cual debe ser analizada, evaluada y optimizada. Con esto el proceso de diseño queda concluido y se procede a la creación del producto. [3]

6.2.2. Reguladores de presión

La función principal de los reguladores es reducir la presión en la entrada (alta presión) a presiones controladas o establecidas por el fabricante (baja presión). Emerson fabricante de reguladores habla sobre la función principal de cualquier regulador de presión y lo define de la siguiente manera: El regulador debe mantener el sistema de presión dentro de ciertos límites aceptables. [4] La escuela americana de gas (ASGMT) define a los reguladores de presión como: mecanismo de control de realimentación diseñado para mantener una presión constante aguas abajo a través de la manipulación del flujo de gas. [5]

6.2.2.1. Elementos que componen un regulador de presión

Un regulador de presión está conformado por 3 elementos principales: un elemento restrictivo, un elemento de medición y un elemento de carga. [5]

- Elemento de restricción: La NTP 350.074 lo define como obturador. Es aquel que permite el paso de gas de una cámara a otra, esto se logra gracias a que presenta un asiento, por lo general de material elastómero.
- Elemento de medición: Aquel elemento que detecta la variación de presión causados por el flujo de gas. Este mecanismo se asemeja a los diafragmas que encontramos en los carburadores de motos. En reguladores de presión típicamente el diafragma es de material elastomérico y está normado bajo normas internacionales. [5] Los diseños deben guardar cierto cuidado con este elemento ya que cualquier daño en el diafragma pone en peligro a los usuarios.
- Elemento de carga: Este elemento normalmente es un resorte a compresión. Está conectado al elemento de medición y transmite al elemento de restricción el abrir o cerrar.

6.2.2.2. Obturador, Diafragma y resorte en simultáneo

Estos tres elementos se enlazan de una forma peculiar, en la figura 7 se puede apreciar los elementos que componen un regulador.

- 1: La cámara de alta presión es el primer conducto que alberga al GLP.
- 2: El orificio de salida es por donde evacua el GLP hacia la cámara de presión regulada (5).
- 3: Balancín de regulación; alberga al obturador y es el enlace entre el resorte de regulación y el diafragma (4).
- 4: Diafragma de material elastómero, está articulado con el balancín de regulación y el resorte.
- 5: La cámara de presión regulada es aquella que alberga el fluido de trabajo después de su paso por (1).

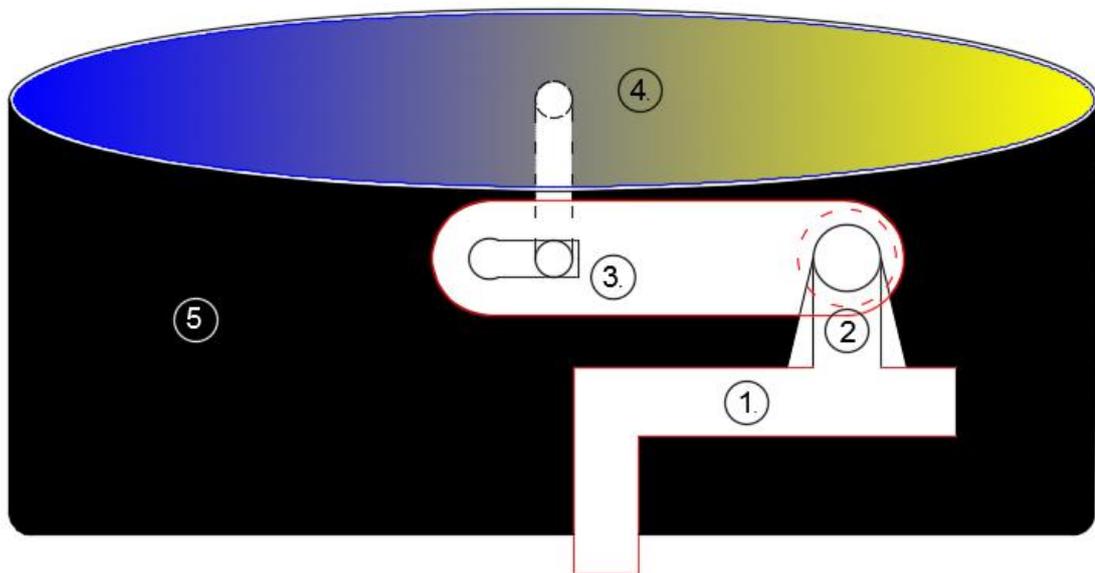


Figura 7: Forma de conexión de un regulador típico.
Fuente: Propia.

El principio de funcionamiento se detalla a continuación: el GLP ingresa en (1) sigue su recorrido hasta llegar a (2). Inicialmente el regulador se encuentra con el orificio (2) abierto; al ocupar el gas todo el volumen en (5), una fuerza distribuida empuja el diafragma hacia arriba; logrando una deformación en el resorte de regulación; donde automáticamente por estar unidos el diafragma con el balancín este cierra hasta que la presión caiga dentro de (5) y la operación se repita una y otra vez.

6.2.2.3. Ecuaciones que rigen los reguladores de baja presión

Tomando la figura 8 y realizando un diagrama de cuerpo libre se tiene que: [5]

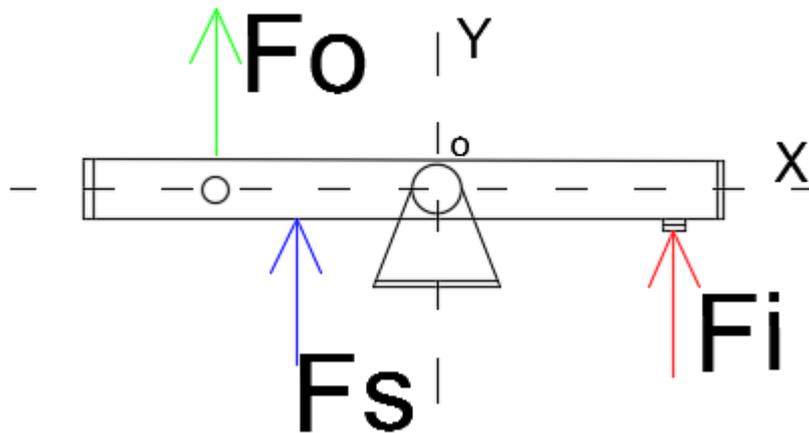


Figura 8: DCL balancín y sus reacciones. [5]
Fuente: Fundamental Principles of Pressure Regulators.

Donde:

- F_i : Fuerza de presión en la entrada de la cámara de presión regulada. (N)
- F_s : Fuerzas de ajuste (resorte) (N)
- F_o : Fuerza de presión en la salida del regulador. (N)

Las fuerzas se relacionan con la siguiente ecuación: [5]

$$F_i + F_s = F_o \quad (1)$$

Puede observarse que F_s se puede calcular con: [5]

$$F_s = k * X \quad (2)$$

Donde:

- k : Es la constante de elasticidad del resorte (mm)
- X : Es la deformación producto de la compresión del resorte (mm)

Además, se conoce que la presión que actúa sobre una superficie es producto de una fuerza perpendicular al área de aplicación. Entonces se puede definir la ecuación (3) como: [5]

$$P = \frac{F}{A} \quad (3)$$

Donde:

- P : Presión (Pa)
- F : Fuerza perpendicular al área (N)

- $A=Zona\ de\ contacto$ (m²)

Aplicando la definición de la ecuación (3) F_o y F_i se quedan definidas como: [5]

$$F_o = P_2 * A_2 \quad (4)$$

Donde:

- P_2 : Presión regulada en la cámara de segunda etapa. (Pa)
- A_2 : Área del diafragma. (m²)

$$F_i = P_1 * A_1 \quad (5)$$

Donde:

- P_1 : Presión regulada en la cámara de segunda etapa. (Pa)
- A_1 : Área del diafragma. (m²)

6.2.3. Esfuerzos en recipientes de pared delgada

Los recipientes de pared delgada son aquellos elementos en donde sus paredes oponen poca resistencia a la flexión. Las fuerzas internas ejercidas sobre una parte de la pared son tangentes a la superficie del recipiente. [6] Los recipientes de mayor estudio son los cilíndricos y esféricos. Para el diseño del regulador sólo se utilizarán los recipientes cilíndricos por ser el que mejor se adapta a nuestro fin.

6.2.3.1. Esfuerzos en recipientes cilíndricos

Los recipientes cilíndricos que albergan fluidos a presión están sometidos a dos clases de esfuerzos; tangenciales y longitudinales. En la figura 9, σ_1 representa el esfuerzo tangencial y σ_2 el esfuerzo longitudinal. Según Beer and Johnston en los recipientes cilíndricos no existen los esfuerzos cortantes, esto ocurre debido a la simetría axial del recipiente. [6]

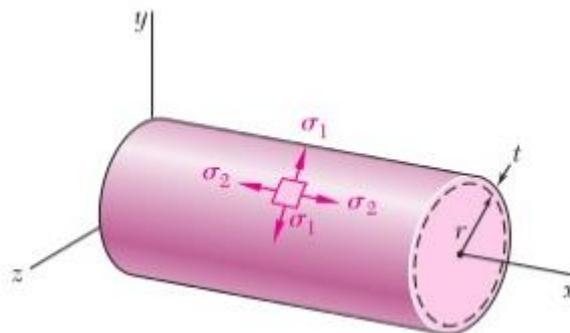


Figura 9: Recipiente de pared delgada. [6]
Fuente: Beer and Johnston.

σ_1 y σ_2 pueden ser calculados con las ecuaciones (6) y (7) respectivamente: [6]

$$\sigma_1 = \frac{p * r}{t} \quad (6)$$

Donde:

p: presión del fluido de trabajo. (Pa)

r: radio del elemento que alberga al fluido de trabajo. (m)

t: espesor de la pared del recipiente. (m)

$$\sigma_2 = \frac{pr}{2 * t} \quad (7)$$

σ_1 y σ_2 guardan una relación entre sus esfuerzos.

$$\sigma_1 = 2 * \sigma_2 \quad (8)$$

En los recipientes cilíndricos no existe los esfuerzos cortantes (τ_{max}) ya que son iguales a σ_2 .

$$\tau_{max} = \sigma_2 = \frac{p * r}{2 * t} \quad (9)$$

6.2.4. Ley de los Gases ideales

Un gas ideal es aquel que cumplen con los postulados de la teoría cinética molecular. La mayor parte de los gases a temperatura ambiente y a la presión atmosférica se comporta como gas ideal. [7] Charles, Gay Lussac y Boyle demostraron que la presión, temperatura y el volumen están relacionados entre sí.

6.2.4.1. Ecuación de estado de los gases ideales

La ecuación de los gases ideales relaciona las variables de presión, volumen y temperatura (ver ecuación 10). Esta ecuación es aplicable para una masa de gas finita. [7]

$$\frac{P_1 * V_1}{T_1} = \frac{P_2 * V_2}{T_2} = \dots = \frac{P_n * V_n}{T_n} = \text{cte} \quad (10)$$

a) Ley de Charles (proceso isobárico)

Charles demostró que a presión constante el volumen y la temperatura son directamente proporcionales. [7] En la figura 10 se muestra la relación entre la temperatura y el volumen.

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \quad (11)$$

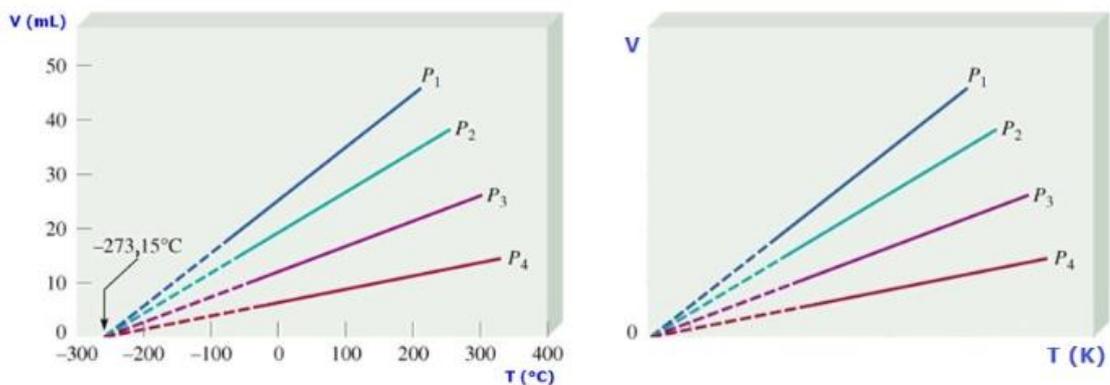


Figura 10: Gráfica Vvs T.
Fuente: PUCP.

b) Ley de Gay-Lussac (proceso isócoro)

En un proceso isocórico el volumen es constante; por lo tanto, haciendo uso de la ecuación (10) se establece la siguiente relación.

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \quad (12)$$

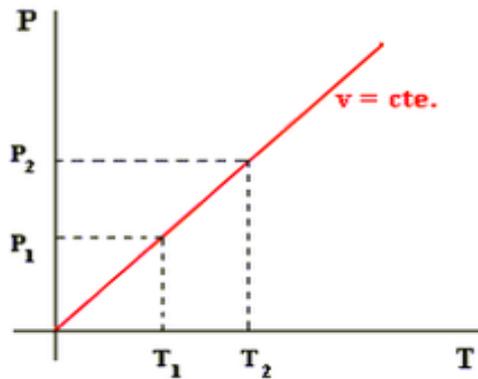


Figura 11: Gráfica P vs T°. Fuente: Química para todos.

La figura 11 muestra que conforme aumenta la presión, también aumenta la temperatura; por otro lado el volumen se mantiene constante en todo momento.

c) Ley de Boyle – Mariotte (proceso isotérmico)

Boyle demostró que manteniendo la temperatura constante la presión y el volumen se comportan inversamente proporcional. Esto quiere decir que si una aumenta la otra disminuye. La ilustración 9 muestra que conforme aumenta la presión el volumen disminuye; pero si la presión disminuye el volumen aumenta. En nuestro caso de estudio se tiene una presión alta (entrada) y se requiere disminuir a una presión más utilizable (regulada). Esto ocurre cuando la temperatura es constante. Las dos cámaras a diseñar deben ser una de menor volumen (cámara de alta presión) y la otra de mayor (cámara de presión regulada).

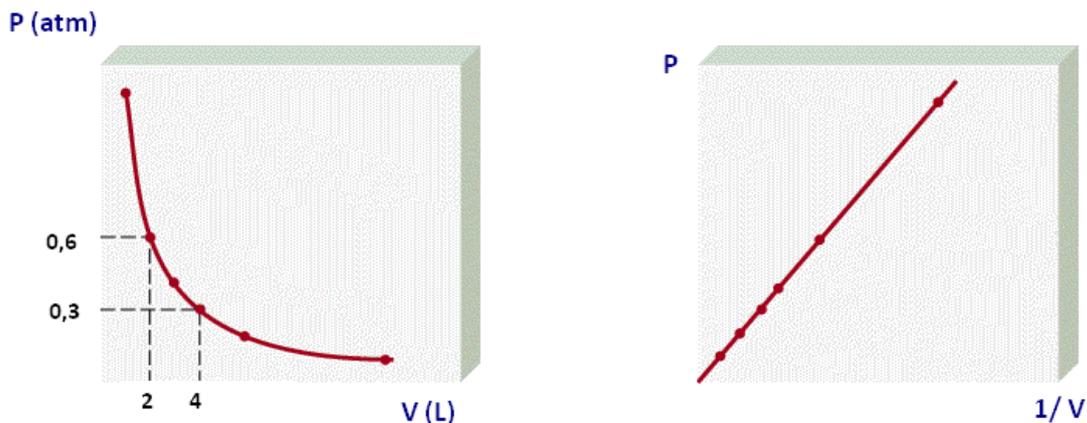


Figura 12: Gráfica P vs V y P vs 1/V. Fuente: PUCP.

Presión y volumen se relacionan con la ecuación (13):

$$P1 * V1 = P2 * V2 \quad (13)$$

P1 y P2 son datos de diseño, aparecen en la NTP 350.074 parte 1 y parte 2.

6.2.5. Diseño de resortes

La gran mayoría de elementos mecánicos están diseñados para sufrir la menor deformación posible, pero cuando se desea una gran deformación ante una carga determinada es que aparecen los resortes mecánicos. Algunas de las aplicaciones en resortes son la siguiente: [8]

- En levas y embragues.
- En los sistemas de suspensión: automóviles, motos, camiones, etcétera.
- Juguetes, relojes y dispositivos de armas deportivas.
- Reguladores de presión.

Los resortes más comunes son aquellos sometidos a tracción, compresión y torsión. En el presente estudio se detallarán los resortes a compresión; puesto que la geometría y aplicación de este tipo de resortes se adapta a nuestro caso de estudio.

Enrique Martínez clasifica los resortes por parámetros:

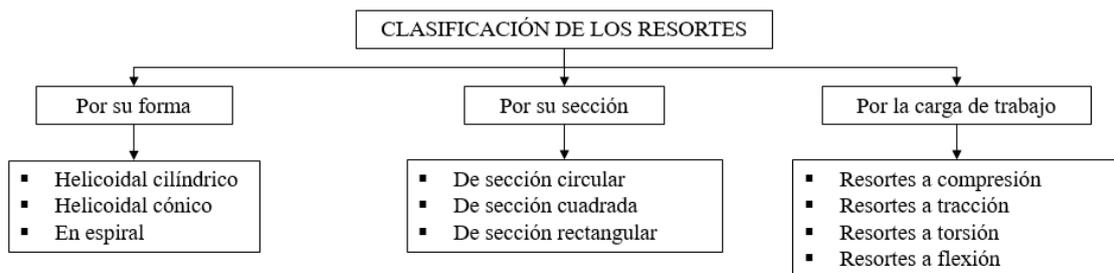


Figura 13: Clasificación de los resortes. [8]
Fuente: Enrique Martínez.

6.2.5.1. Resorte helicoidal cilíndrico de compresión

Los muelles helicoidales de sección cilíndrica presentan mejores atributos que los de sección cuadrada y ovalada, esto gracias a la distribución de tensiones en sus espiras. [8]

6.2.5.2. Parámetros geométricos

Es necesario conocer los parámetros que definen un resorte. Con el diámetro del alambre, diámetro medio, longitud libre y número de espiras queda definido un resorte; el paso es otro dato a obtener. [9] En la siguiente ilustración se muestra un resorte helicoidal de compresión.

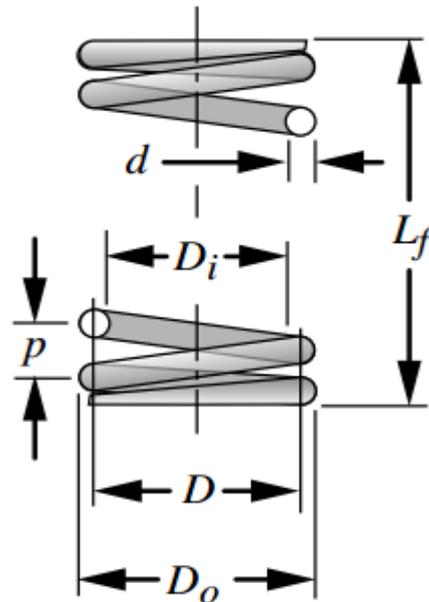


Figura 14: Parámetros en resortes helicoidales. [9]
Fuente: Robert L. NORTON.

De la figura 14 se tiene que:

- d : diámetro del alambre. (mm)
- p : paso del alambre. (mm)
- D : diámetro medio de la espira. (mm)
- D_o : diámetro exterior. (mm)
- D_i : diámetro interior. (mm)
- L_f : longitud libre del resorte. (mm)

a) Diámetro del alambre: Por lo general son de sección circular y presentan un menor costo frente a los demás tipos de resortes. El diámetro del alambre es el parámetro de mayor relevancia. Se tiene que tener en cuenta los diámetros normalizados como los mostrados en la tabla 2. [8]

Tabla 2: Diámetros estándar para resortes helicoidales de sección redonda. [8]

Metric sizes, mm					
First preference	Second preference	Third preference	First preference	Second preference	Third preference
0.10			2.5		
	0.11				2.6
0.12				2.8	
	0.14		3.0		
0.16					3.2
	0.18			3.5	
0.20					3.8
	0.22		4.0		
0.25					4.2
	0.28			4.5	
0.30					4.8
	0.35		5.0		
0.40				5.5	
	0.45		6.0		
0.50				6.5	
	0.55			7.0	
0.60					7.5
	0.65		8.0		
	0.70				8.5
0.80				9.0	
	0.90				9.5
1.0			10.0		
	1.1			11.0	
1.2		1.3	12.0		
	1.4			13.0	
1.6			14.0		
	1.8			15.0	
2.0			16.0		
		2.1			

Fuente: Enrique Martínez.

- b) Diámetro exterior (D_e): es importante para saber en qué cavidad puede operar el resorte.

$$D_e = \sqrt{D^2 + \frac{p^2 - d^2}{\pi^2}} + d \quad (14)$$

- c) Diámetro interior (D_i): determina la barra en la cual opera el resorte para evitar que las espiras se crucen.
- d) Diámetro medio (D): Se obtiene de la diferencia del diámetro exterior y el diámetro del alambre.

$$D = D_e - d \quad (15)$$

- e) Paso del alambre (p): distancia que existe entre una espira y otra contigua o paralela. El paso se mide de centro a centro. [8] En la figura 15 se aprecia el ángulo de paso entre las espiras del resorte representado por lambda (λ) y calculado con la fórmula (16):

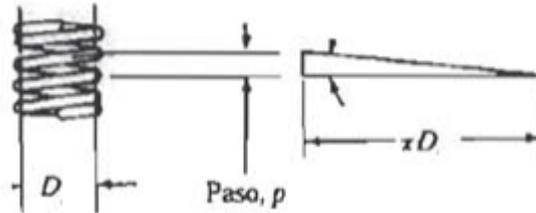


Figura 15: Ángulo de paso en resortes helicoidales. [10]
Fuente: Robert Mott.

$$\lambda = \tan^{-1} \left(\frac{p}{\pi D} \right) \quad (16)$$

- f) Longitud libre (l_f): Es la longitud cuando el resorte está sin carga. Existe una serie de longitudes que presenta un resorte en su etapa de operación; la figura 16 muestra el comportamiento del resorte conforme se aplica la carga.

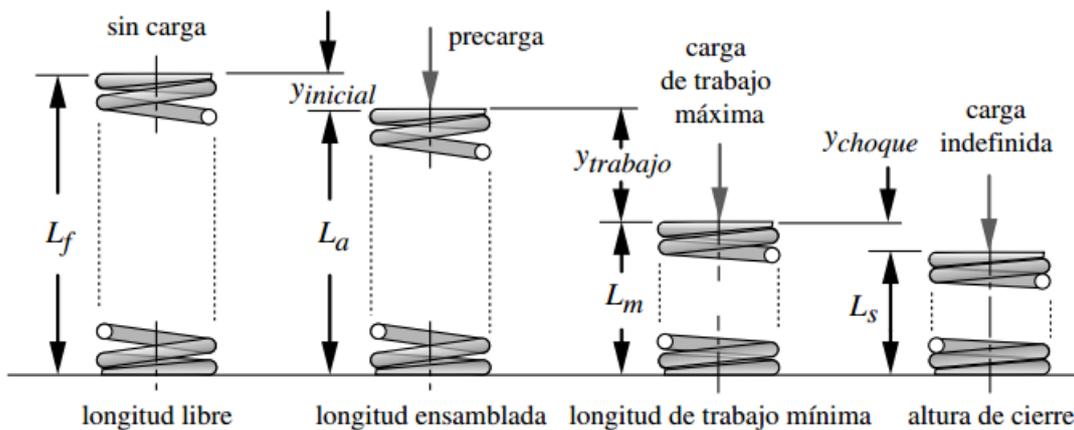


Figura 16: Operación de un resorte helicoidal de compresión. [9]
Fuente: Robert L. NORTON

La longitud ensamblada “ L_a ” representa aquella deformación (y_i) que sufre el resorte cuando se instala en un componente. “ L_m ” denominada longitud de trabajo mínima es aquella que se presenta cuando el resorte está en operación; adquiriendo una deformación (y_t). Por último “ L_s ” conocido como longitud sólida o altura de cierre se presenta cuando el resorte está totalmente comprimido y todas sus espiras están en contacto unas con otras.

- g) Número de espiras totales (n): son todas las espiras que componen un resorte incluidas el tipo de extremos.
- h) Número de espiras activas (N): son las espiras de un resorte sin contar los extremos.
- i) Índice del resorte (C): resulta de dividir el diámetro medio y el diámetro del alambre. [8] Varios autores especifican un rango de valores para “ C ”. Martínez recopila toda esta información y nos dice que C puede variar de 4 a 15. [8]

$$C = \frac{D}{d} \quad (17)$$

Martínez también nos habla entre que valores oscila el índice del resorte según los autores consultados.

Tabla 3: Índice del resorte según autor. [8]

Shigley [1]	Deutchman [2]	Hamrock [3]	Mott [4]	Norton [5]	Joerres [6]	McKee [7]	Faires [9]
$4 < C < 12$	$5 < C$	$3 < C < 12$	$5 < C < 12$	$4 < C < 12$	$5 < C < 9^*$	$5 < C < 18$	$5 < C$

Fuente: Enrique Martínez.

j) Factor de Wahl's (Kw): El factor de Wahl's reemplaza al factor de Bergsträsser y se calcula con la siguiente fórmula:

$$K_w = \left(\frac{4 * C - 1}{4 * C - 4} \right) + \frac{0,615}{C} \quad (18)$$

k) Esfuerzo cortante máximo (τ_{max}): El esfuerzo cortante máximo resulta de dos componentes: una fuerza cortante directa y un momento torsor representado por la fórmula (19).

$$\tau_{max} = T * \frac{r}{J} + \frac{F}{A} \quad (19)$$

Donde:

- T: Par torsional aplicado. (N.m)
- J: Momento polar de inercia del alambre. (m²)
- A: Área o sección del resorte. (m²)

Para fines prácticos se puede utilizar la ecuación (20) donde reemplaza el momento torsor y agrupa el esfuerzo producto de la fuerza "F". La figura 17 muestra al momento torsor y al esfuerzo cortante directo sobre la sección transversal del resorte.

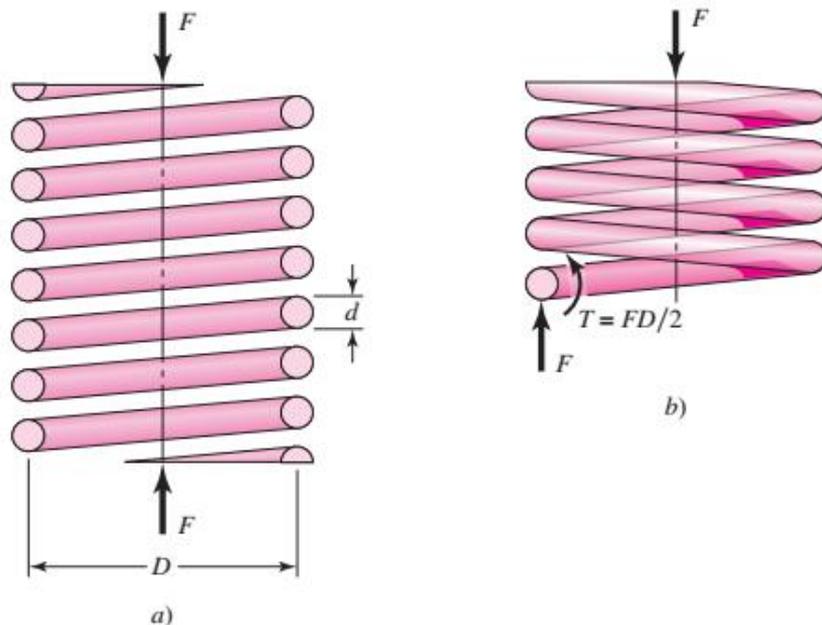


Figura 17: Carga sobre resorte y diagrama de cuerpo libre. [3]

Fuente: Shigley.

$$\tau_{\max} = \frac{8 * K_w * F_s * C}{\pi * d^2} \quad (20)$$

F_s representa la fuerza de compresión en el resorte.

l) Deflexión en resortes: Mott nos dice que la carga de un resorte ocurre principalmente por torsión. De donde la deflexión resulta del ángulo torsional. [10]

$$\theta = \frac{TL}{GJ} \quad (21)$$

Donde:

- θ : Ángulo de torsión en radianes (rad)
- L: Longitud del alambre (m)
- G: Módulo de elasticidad del material en cortante. (Pa)

Pero por conveniencia se puede utilizar la ecuación simplificada brindada por Mott. [10]

$$\delta = \frac{8 * F * D^3 * n}{G * d^4} = \frac{8 * F * C^3 * n}{G * d^4} \quad (22)$$

Donde:

- δ : Deflexión del resorte. (mm)
- n: Número de espiras. (vueltas)
- D: Diámetro medio del alambre. (mm)

m) Longitud libre del resorte: Mott en su libro diseño de elementos de máquinas nos habla acerca de la holgura en los resortes; de donde establece la siguiente relación para determinar su longitud libre. [10]

$$\frac{(L_f - L_s)}{n} > 0.15 * (L_f - L_s) \quad (23)$$

Donde:

- L_f : Longitud libre del resorte. (mm)
- L_s : Longitud sólida del resorte. (mm)

Además, se conoce que:

$$\delta = L_f - L_o \quad (24)$$

Donde:

- L_o : Longitud de operación en el resorte. (mm)

Utilizando la ecuación (23) y (24) con la tabla 4 (extremos planos) se obtiene la ecuación (25).

$$L_f = N * d + \delta + 0,15 * \delta \quad (25)$$

6.2.5.3. Extremos en los resortes helicoidales de compresión

Martínez nos habla de cuatro tipos de extremos en los resortes. [8] La figura 18 muestra los distintos tipos de corte en resortes.

- a) Simples: Resultan del corte de las espiras, paso constante.
- b) Escuadra y rectificadas: Se elimina el paso doblando las espiras terminales.
- c) Escuadra y cerrado: Brindan una superficie plana de 270° a 330° para la aplicación de la carga. [9]
- d) Simple y rectificado

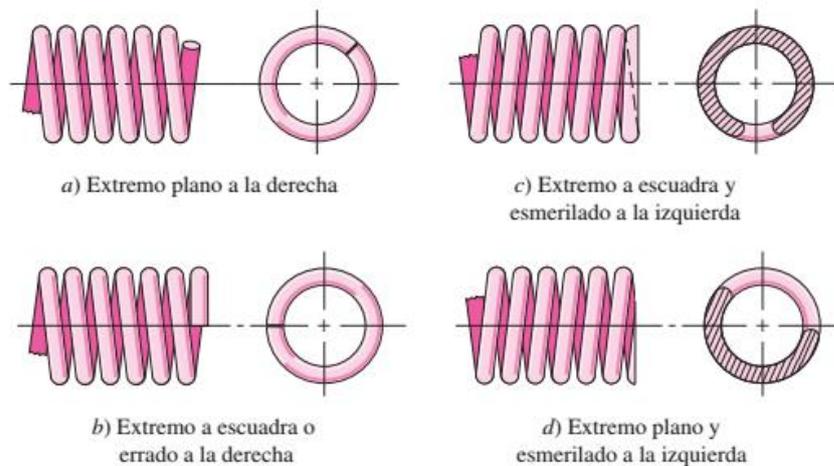


Figura 18: Tipos de extremos en resortes helicoidales de compresión. [3]

Fuente: Shigley.

La tabla 4 muestra las distintas formas de calcular las dimensiones de los resortes según el tipo de extremo que presenta.

Tabla 4: Dimensiones de resortes en compresión. [3]

Término	Tipo de extremos de resortes			
	Plano	Plano y esmerilado	A escuadra y cerrado	A escuadra y esmerilado
Espiras de extremo, N_e	0	1	2	2
Espiras totales, N_t	N_a	$N_a + 1$	$N_a + 2$	$N_a + 2$
Longitud libre, l_0	$pN_a + d$	$p(N_a + 1)$	$pN_a + 3d$	$pN_a + 2d$
Longitud sólida, L_s	$d(N_t + 1)$	dN_t	$d(N_t + 1)$	dN_t
Paso, p	$(l_0 - d)/N_a$	$l_0/(N_a + 1)$	$(l_0 - 3d)/N_a$	$(l_0 - 2d)/N_a$

Fuente: Shigley.

6.2.5.4. Materiales para resortes

Los resortes se fabrican en frío o en caliente y los materiales utilizados son aceros al carbono, aceros de aleación y aceros resistentes a la corrosión, así como materiales no ferrosos como bronce fosforado, latón, cobre al berilio y varias aleaciones de níquel. [3] Shigley nos muestra algunas descripciones y aplicaciones de los materiales más utilizados en los resortes (ANEXO 06).

Martínez nos presenta la compilación de varios autores en el ámbito del diseño en resortes, en donde detalla uno a uno las diferencias. La tabla 4.1 y 4.2 de la que habla Martínez aparece en el ANEXO 07 y 08 respectivamente. En la presente tesis se muestra la información descrita por Martínez en la Tabla 3 para un alambre de piano. En los cálculos detallaremos por que se escogió ese material.

Algunos materiales para resortes son los siguientes:

- Alambre de resorte estirado en frio (ASTM A227; SAE 1066).
- Alambre de cuerda de piano (ASTM A228; SAE 1085).
- Alambre de resorte revenido en aceite (ASTM A229; SAE 1065).
- Acero al cromo-vanadio (ASTM 232; SAE 6150).
- Acero al cromo- silicio (ASTM A420; SAE 9254).
- Acero inoxidable tipo de cromo-níquel (ASTM A313; SAE 30302)

Tabla 5: ASTM A228. [8]

	<i>Rango de tamaños (mm)</i>	<i>Módulo Elast, E (Gpa)</i>	<i>Módulo Elast. G (Gpa)</i>	<i>Temp. Máx (°C)</i>	<i>A</i>	<i>m</i>
<i>Shigley [1]</i>	0.12 – 3	<i>Tabla 4.1</i>	<i>Tabla 4.1</i>	120	<i>Tabla 4.2</i>	<i>Tabla 4.2</i>
<i>Hamrock [3]</i>	0.1 – 6.5	206.7	79.23	120	2170	0.146
<i>Norton [5]</i>	0.3 – 6	207	-	120	2153.5	0.162
<i>Faires [8]</i>	0.1 – 3.96	206.8	82.7	-	2155.8	0.154

Fuente: Enrique Martínez.

6.2.5.5. Tratamientos térmicos

Recocido: en este proceso térmico se busca ablandar el acero para hacer posible su enrollado. Martínez nos dice que en este proceso se debe evitar la decarburación con la finalidad de evitar que aparezcan las gritas y por ende la fatiga del resorte. [8]

Templado: en el templado solamente se tiene en cuenta el tiempo de calentamiento para evitar que el material se vuelva frágil. [8]

6.2.5.6. Tratamientos mecánicos

Los tratamientos mecánicos que se le pueden dar a los resortes son dos: preesforzado / Asentamiento y Granallado; siendo el granallado el método más económico. [8]

6.3. El GLP

El GLP se puede obtener del fraccionamiento de los líquidos del gas natural o por la refinación del petróleo. Por lo general el GLP se encuentra en estado líquido pero al ser expuesto a cambios

de presión y temperatura este se convierte en estado gaseoso. [11] El GLP está compuesto por propano y butano y en su almacenamiento existen dos fases (líquida y gaseosa).

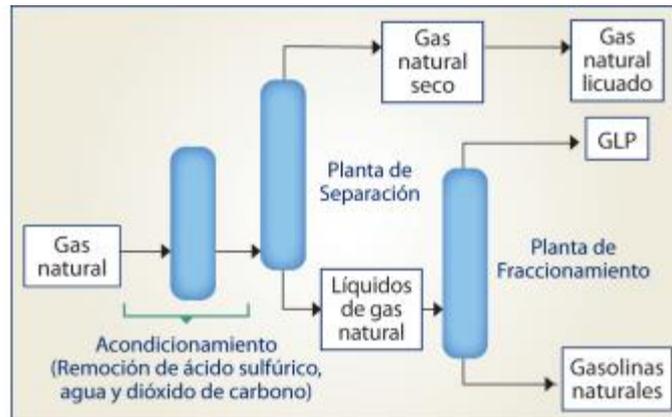


Figura 19: Procesamiento del gas natural. [11]
Fuente: Osinergmin Gart.

6.3.1. Propiedades físicas y químicas del GLP

6.3.1.1. Composición Química

Los hidrocarburos que componen el GLP son: Propano, Propileno, Buteno y Penteno cada uno de los cuales aporta un pequeño porcentaje a la mezcla. [12]

Tabla 6: Composición Química del GLP. [12]

Hidrocarburo	Fórmula Química
Propano	C ₃ H ₈
Propileno	C ₃ H ₆
i-Butano	C ₄ H ₁₀
n-Butano	C ₄ H ₁₀
I-Buteno	C ₄ H ₈
Trans2-Buteno	C ₄ H ₈
Cis2-Buteno	C ₄ H ₈
Pentano	C ₅ H ₁₂

Fuente: Soto Herrera.

6.3.1.2. Características químicas promedio del GLP

La Tabla 7 muestra el porcentaje de cada componente en la mezcla para la obtención del GLP. Presión de almacenamiento 0,83 Mpa (120 psi). [12]

Tabla 7: % en Volumen del GLP. [12]

Hydrocarburo	Fórmula Química	% Volumétrico a 25°C
Propano	C ₃ H ₈	12,6
Propileno	C ₃ H ₆	30,6
i-Butano	C ₄ H ₁₀	25,4
n-Butano	C ₄ H ₁₀	6,3
I-Buteno	C ₄ H ₈	12,5
Trans2-Buteno	C ₄ H ₈	7,8
Cis2-Buteno	C ₄ H ₈	4,6
Pentano	C ₅ H ₁₂	0,2

Fuente: Soto Herrera.

6.3.1.3. Especificaciones técnicas del GLP

Tabla 8: Características técnicas del GLP. [12]

Gravedad API a 60°F (15.5°C)	:	126,6 grados API
Residuo de evaporación	:	0,03 ml/100ml
Gravedad específica a 60°F (15.5°C)	:	0,555
Masa molecular	:	50,34 g/mol
Poder Calorífico Superior	:	19,936 Btu/Lb (45,67 MJ/kg)
Relación estequiometría aire-combustible	:	15,08 kgaire/kgcomb
Número de Octanos Research min	:	≈ 100 100

Fuente: Soto Herrera.

6.3.1.4. Propiedades físicas

Las principales propiedades del GLP se encuentran en su composición tanto de propano (C3) y butano (C4). La composición de GLP en su gran mayoría son Propano (C3) y Butano (C4) o mezclas de ambos. Por otro lado, se denomina GLP a aquellos hidrocarburos que tienen la propiedad de cambiar de estado gas a líquido, siempre y cuando se sometan a una presión relativamente baja.

Tabla 9: Porcentaje en volumen de Propano y Butano. [13]

	PROPORCIONES EN VOLUMEN	
	Propano comercial	Butano comercial
Propano (C3)	min. 80 %	max. 20 %
Butano (C4)	max. 20 %	min. 80 %

Fuente: CESPSA ELF GAS.

Tabla 10: Características fisicoquímicas del gas y el GLP. [11]

Propiedad	Gas natural	GLP
Composición	90% Metano	60% Propano 40% Butano
Fórmula química	CH ₄	C ₃ H ₈ C ₄ H ₁₀
Gravedad específica (vapor)	0,60	Entre 1,56 y 2,05
Poder calorífico	9 200 kcal/m ³ (**)	22 244 Kcal/m ³ 6 595 Kcal/l 11 739 Kcal/Kg
Presión de suministro	21 mbar (***)	50 mbar
Estado físico	- Gaseoso sin límite de compresión - Líquido a -160°C y a presión atmosférica	Líquido a 20°C Con presión manométrica de 2.5 bar
Color/olor	Incoloro/Inodoro	Incoloro/Inodoro

(*) Corresponde a características predominantes de ambos combustibles (***) Kcal/m³: Kilocalorías por m³ = 4,18684 x 10³ J/m³.

(***) mbar (mili bar): milésima parte del bar.

Fuente: Osinergmin Gart.

Densidad: La densidad del GLP varía según la composición y condiciones de presión y temperatura a la cual se encuentra.

Calor latente de vaporización: El calor latente de vaporización representa la cantidad de energía necesaria para vaporizar una unidad de masa líquida.

Tensión de vapor: Cuando el líquido y el vapor presenten en un cilindro de GLP están en equilibrio (T°=cte), cada uno aporta una presión sobre las paredes del recipiente (ley de las presiones parciales de Dalton).

Punto de ebullición: También llamado temperatura de ebullición y es aquella temperatura en la que el GLP empieza a hervir y se da cuando la presión es igual a la presión exterior (ambiente).

Punto de rocío: Temperatura a la cual se condensa el vapor.

Presión de vapor: Es aquella presión que ejerce el vapor saturado sobre las paredes del recipiente que lo contiene.

6.3.2. Proceso de Vaporización

6.3.2.1. Vaporización en los cilindros de GLP

Mediante este proceso se explica el comportamiento del GLP en fase líquida y en fase gas. El GLP se envasa en una proporción de 85 a 15; en donde 85% es líquido y 15% es gas (figura 20). Bajo estas condiciones el GLP logra evitar sobrepresiones producto del calentamiento del recipiente; ya que el líquido se dilata más que su recipiente. A una temperatura de equilibrio la presión en fase líquida y en fase vapor son diferentes (ley de presiones parciales de Dalton) también llamada presiones de equilibrio. La fase líquida y gas siempre existe dentro del cilindro ya que cuando se

evacua una porción de vapor una parte líquido se empieza a vaporizar por el cambio de presiones en el interior del cilindro tratando de mantener la presión de equilibrio entre el vapor y el líquido.

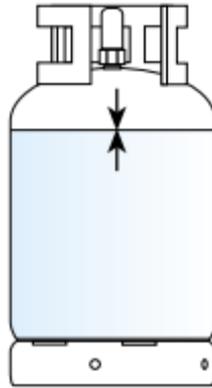


Figura 20: Nivel de llenado del cilindro de GLP.
Fuente: CEPESA ELF GAS.

6.3.3. Características del GLP

Las características de los GLP se pueden resumir en: [14]

- a) Inflamabilidad y combustión: Al mezclarse el propano, butano con el aire, dicha mezcla resulta inflamable; pero esto se da si se cumplen las siguientes proporciones:
 - Propano: entre el 2,2 y el 9,5% de propano
 - Butano: entre el 1,9 y el 8,5% de butano
- b) Presiones de utilización más usuales de los GLP:
 - Propano comercial: 37 y 50 mbar
 - Butano comercial: 28 mbar
- c) Corrosión: Los GLP no corroen el acero, ni al cobre o sus aleaciones y no disuelven los cauchos sintéticos por lo que estos materiales pueden ser usados para construir las instalaciones. Por el contrario, disuelven las grasas y el caucho natural.
- d) Toxicidad: El GLP es toxico solo si la concentración de gas es superior a la del oxígeno. En términos de porcentaje para que esto ocurra la concentración de oxigeno debe ser inferior al 19%.
- e) Olor: Al GLP se le agrega un odorizante peculiar llamado **mercaptano** el cual facilita su reconocimiento en ocasionales fugas ya que este carece de color y olor.
- f) Contaminación: Al ser un combustible libre de azufre y plomo hacen que la combustión sea limpia y no produzca humos.

6.3.4. Aplicaciones del GLP

Uno de los hidrocarburos más utilizados en el sector residencial. Por sus propiedades que posee lo hace fácil adaptarse a procesos como la cocción de alimentos y calefacción.

- a) Sector residencial: El GLP de uso residencial se almacena en depósitos cilíndricos. Por lo general se suelen llamar a los depósitos cilíndricos como balón de gas. La NTP los denomina “recipientes portátiles para gases licuados de petróleo”. El GLP también tiene un uso muy

extendido en sectores semi rurales y rurales. Podemos citar algunas aplicaciones del GLP en el sector residencial.

- Cocción de alimentos: Cocinas y barbacoas (preparación de parrillas).
 - Calentamiento de agua: Termas a gas.
 - Calefacción: Uso de caldera, estufas infrarrojas.
 - Tendencias: Refrigeradores, corta césped y chimeneas a gas.
- b) Sector comercial: El sector comercial se asemeja al residencial en usos, pero difieren de él cuando se habla de la capacidad de almacenar el GLP. En este sector se usan tanques estacionarios o baterías de cilindros. Algunas de las aplicaciones del GLP en el sector comercial.
- Restaurantes: Uso de cocinas, parrillas, hornos, freidoras etcétera.
 - Cafeterías: Cafeteras, cocinas etcétera.
 - Hoteles: Producción de agua caliente, neveras, etcétera.
- c) Sector agropecuario: Un importante sector al cual el GLP brinda sus bondades en:
- Control de plagas
 - Desinfección de gallineros
 - Secadores de cultivo
 - Invernaderos
 - Molinos de aire
 - Pasteurizadoras
 - Criaderos de animales
- d) Sector industrial: Son muchas las aplicaciones del GLP en el sector industrial, así podemos citar:
- Industria de la panificación: En el uso de hornos para elaborar, galletas, panes, etcétera.
 - Industria de la fundición y soldeo: actúa como combustible en el proceso de mezclado con el oxígeno, convirtiéndose en una fuente de calor. Tiene una notable aparición en el tratamiento térmico de metales, dándole mejores propiedades mecánicas.
 - Industria de la alfarería: Usado en horno para tratamiento térmico de cerámicos y alfarería, sus ventajas son claras ya que no dejan restos de humos contaminantes como el hollín.
 - Industria Agrícola: En el uso de hornos y secadoras. Este proceso se lleva a cabo para entregar un cierto grado de humedad al arroz, madera, tabaco, etcétera.
 - Industria Petroquímica: Para la elaboración de acetonas, polipropileno y otros.

- e) Sector Transporte: Por sus bajos costos respecto a otros combustibles como la gasolina y el Gasol entre otros. En el parque automotor existe un gran número de unidades convertidas de gasolina a GLP.

VII. CONSUMO DE GLP EN LOS HOGARES PERUANOS

La figura 21 muestra la metodología seguida para contener el objetivo N° 01 de la presente investigación. Como se puede apreciar a los peruanos se les puede agrupar en hogares y dentro de cada uno de ellos se los puede clasificar según el tipo de energía que utilizan. De los distintos tipos de energía la que nos interesa es aquella que se destina a la cocción de alimentos pues nuestra propuesta es un medio para cumplir dicho objetivo. En la encuesta residencial de consumo y usos de la energía (ERCUE-2018) se estableció que el GLP en cilindros de 10 kg es la principal fuente para la cocción de alimentos. 5 de 6 hogares peruanos usan este hidrocarburo para satisfacer sus necesidades energéticas (zona urbana) y 4 de 6 hogares lo utilizan en zona rural. [15]

Teniendo definido nuestro campo de estudio podemos dividirlo según el tipo de balón que utilizan, por consumo mensual, consumo promedio y por el tipo de regulador. Todos estos ítems nos llevan a la población en estudio y a la justificación de la presente tesis.

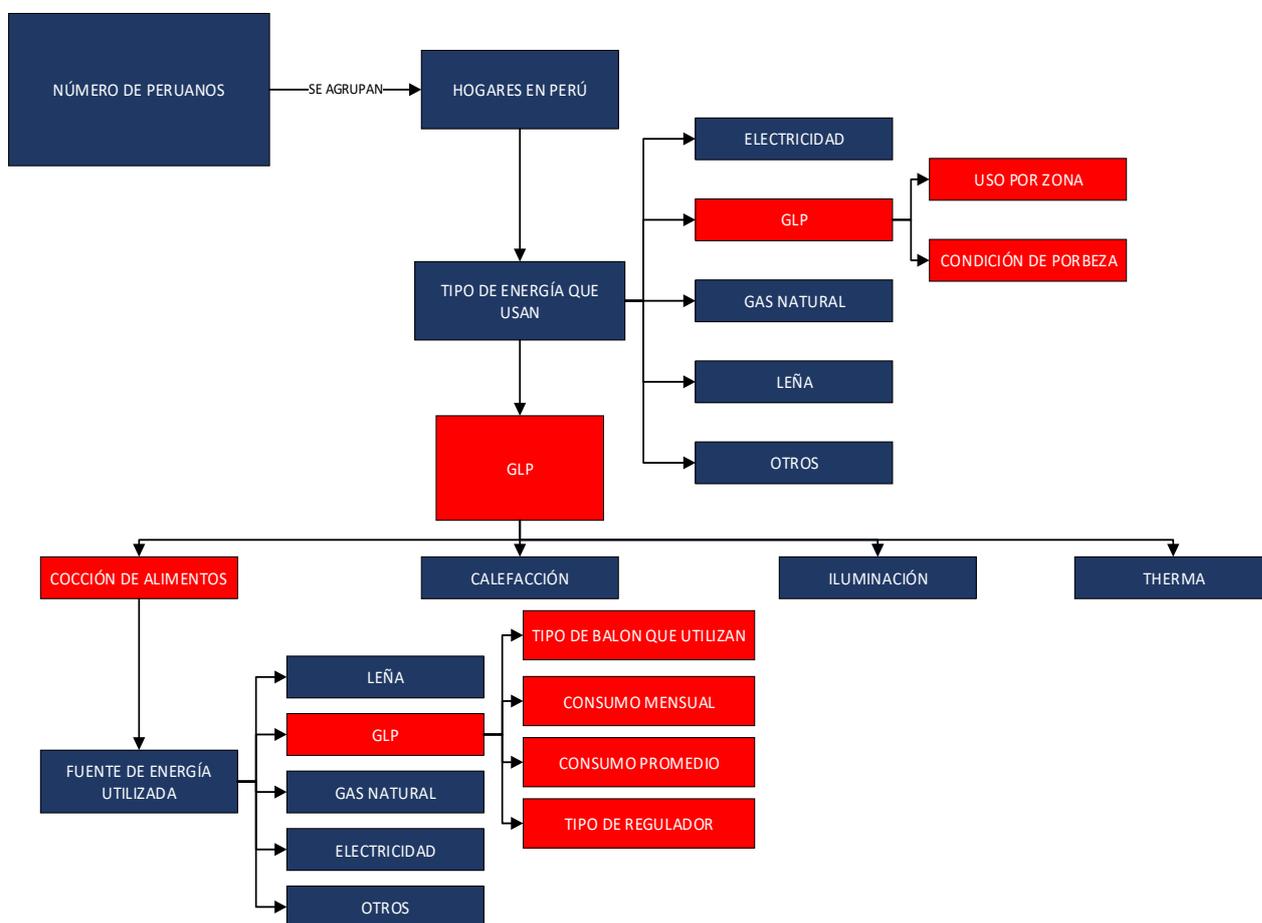


Figura 21: Metodología Objetivo N° 01
Fuente: Propia.

En el Perú somos 32 millones 495 mil habitantes repartidos en 24 departamentos, de los cuales existe un total de 8 millones 733 mil hogares peruanos. [16] Estas cifras dejan ver que por cada hogar existen 3,64 personas.



Figura 22: Población y número de hogares en el Perú.
Fuente: Cpi [16].

En la figura 22 se puede apreciar que Ancash, Arequipa, Cajamarca, Cusco, Junín, La libertad, Lambayeque, Loreto, Puno y Lima son los departamentos que presentan más de 1 millón de habitantes; siendo Lima el principal departamento con más habitantes, seguido de Piura. Las regiones y en particular los hogares peruanos se pueden caracterizar por el gasto que estos presentan tales como: servicios básicos (electricidad, agua potable, gas licuado de petróleo, gas natural y comunicaciones). En adelante hablaremos de cómo se consume el GLP envasado por las familias peruanas.

En la figura 23 se puede apreciar el uso del GLP según el ámbito geográfico. A nivel urbano el 84% de la población usa GLP como fuente de energía; por otro lado el 66,2% de la población rural también lo utiliza. Según análisis del ERCUE 2018; 5 de 6 hogares usan GLP a nivel urbano y 4 de 6 hogares usan GLP a nivel rural.

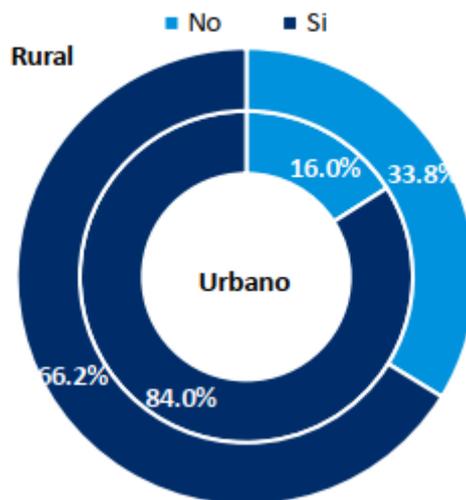


Figura 23: GLP según Geografía.
Fuente: Ercue 2018. [15]

7.1. Consumo de GLP

En el Perú solo se expende GLP envasado de uso residencial, comercial o industrial en 3 tipos de cilindros: cilindro de 5 kg, 10 kg y 15 kg. En el siguiente gráfico se muestra la relación entre el tipo de balón de gas y su porcentaje de utilización. (11 154 hogares encuestados). [15]

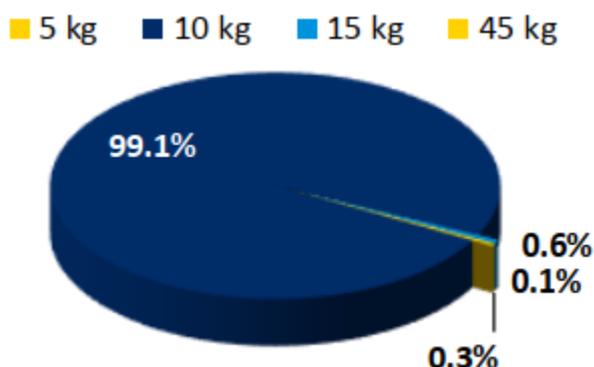


Figura 24: % de utilización según tipo de balón de GLP.
Fuente: Ercue 2018. [15]

El 99,1 % de la población a nivel nacional utiliza cilindro de GLP de 10 kg (uso residencial). El 0,3% utiliza cilindro de 45 kg de uso comercial (pollerías, restaurantes etc). Los cilindros de 5 y 15 kg son utilizados en agroindustrial (montacargas).

En el año 2018 el consumo total de GLP envasado fue de 6,4 millones de cilindros al mes siendo las zonas urbanas las que mayor porcentaje aportaron (figura 25). En ese mismo año se evidenció que 8 de cada 10 peruanos consumen GLP envasado como fuente de energía (cocción de alimentos, calefacción y otros usos). [15]

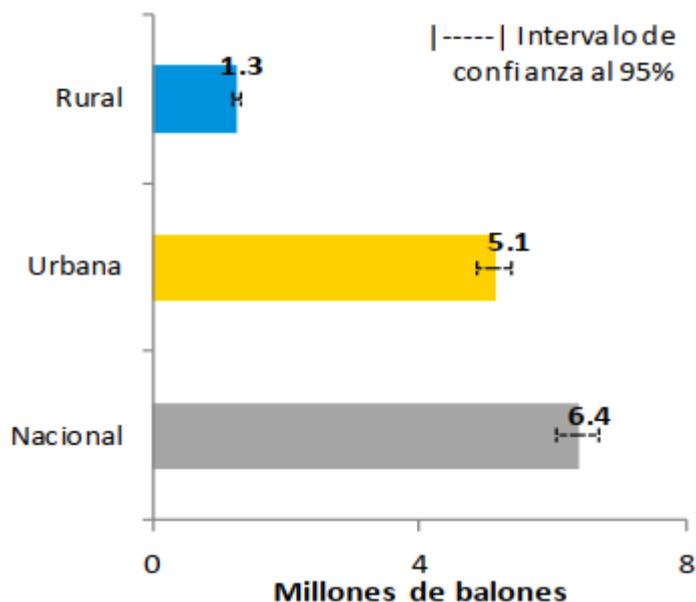


Figura 25: Consumo mensual de cilindros de 10 kg.
Fuente: Ercue 2018. [15]

En lo relacionado al consumo promedio por las familias peruanas estas demandan alrededor de un balón de GLP al mes a nivel nacional. A nivel Urbano se consume un cilindro, más el 4% de otro

al mes. Por otro lado a en las zonas rurales el consumo de cilindro de GLP no supera el balón mensual (ritmo de vida diferente). [15]

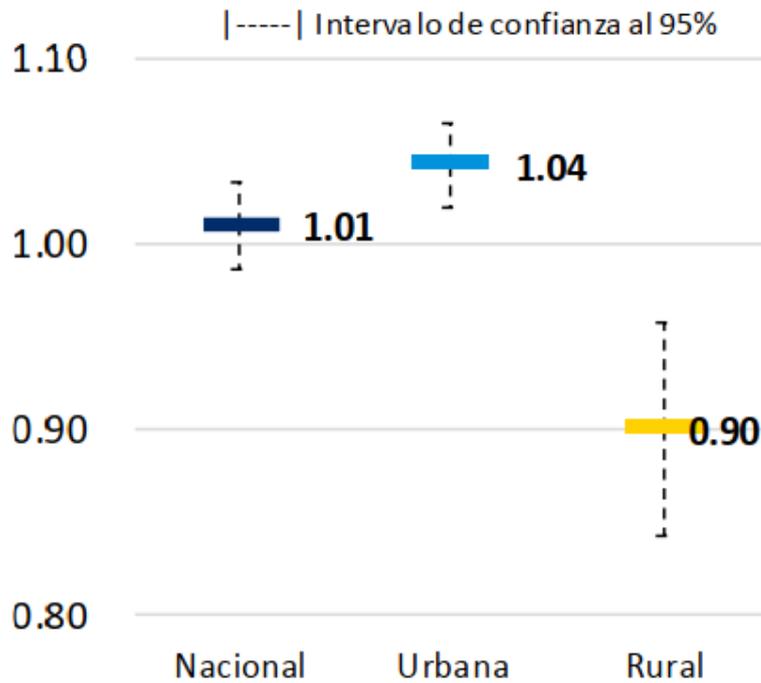


Figura 26: Consumo promedio de balones de 10 kg.
Fuente: Encue 2018. [15]

7.2. Usos del GLP

Como se ha visto los usos que se le puede dar al GLP son: Terma, calefacción, iluminación y cocción. De un total de 11 158 hogares encuestados el 100% declaró utilizar este hidrocarburo para la cocción de alimentos (Figura 27). [15]

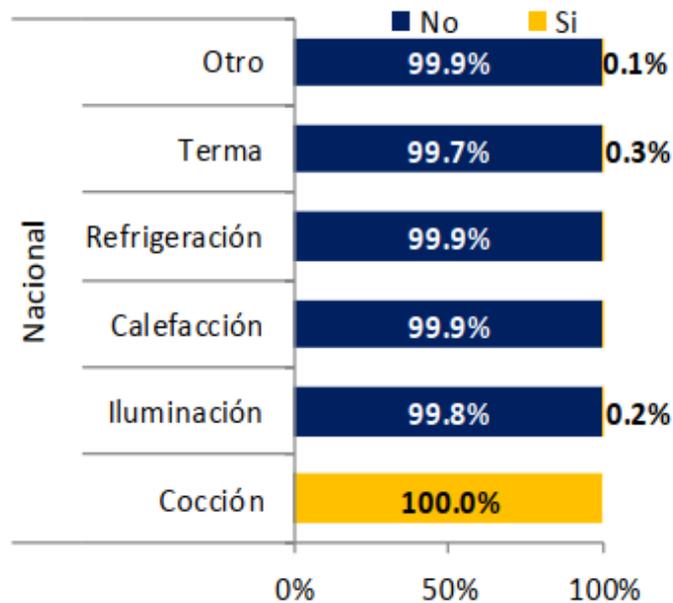


Figura 27: Usos del GLP en el hogar.
Fuente: Encue 2018. [15]

Por otro lado, el GLP no es la única fuente utilizada para la cocción de alimentos, la figura 28 muestra la participación de varias fuentes de energía en las distintas zonas del Perú. (Encuesta realizada a 14 008 hogares peruanos) [15]

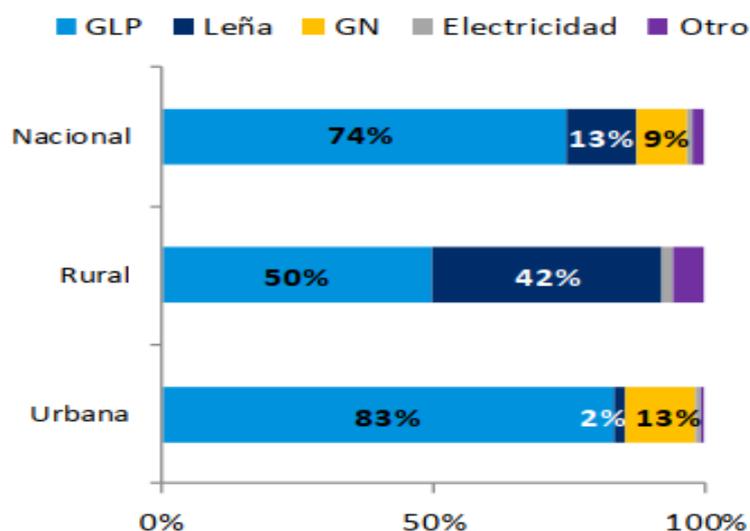


Figura 28: Fuentes de energía para la cocción de alimentos.
Fuente: Encue 2018. [15]

La figura 28 nos muestra que la Leña es la única fuente de energía que compite con el GLP a nivel cocción de alimentos; sin embargo el GLP predomina sobre esta fuente debido a sus múltiples propiedades entre ellas los riesgos a la salud que genera la quema de sustancias orgánicas, fácil acceso y bajo nivel de contaminación.

7.3. Reguladores de GLP doméstico

Los cilindros de GLP por si solos no pueden ser utilizados, al menos que tengan un medio que permita la conexión entre el cilindro y la cocina. Este medio es un componente mecánico denominado regulador de baja presión. Los reguladores son un indicador de cómo se consume el gas licuado de petróleo en los hogares peruanos, ya que compara si los usuarios tienden a consumir GLP en cilindros normales (válvulas de 35 mm) o en cilindros premium (válvulas de 20 mm).

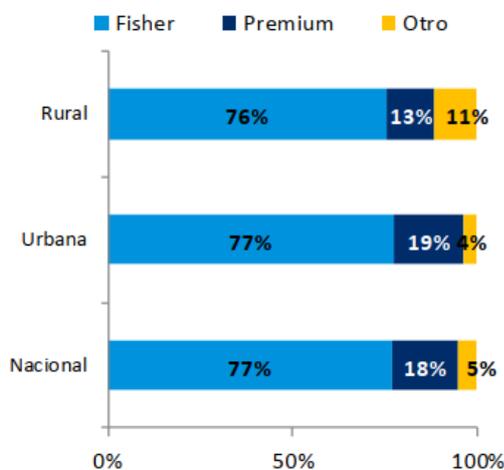


Figura 29: Reguladores preferidos por los usuarios domésticos.
Fuente: Encue-2018. [15]

La figura 29 muestra que de 11 154 hogares encuestados el 77 % a nivel nacional prefiere utilizar reguladores del tipo Fisher (normales), mientras que un 18 % utiliza reguladores premium. El ítem “otro” hace referencia a todos aquellos reguladores que no cumplen con la normativa como los que muestra la figura 30.

Existe una clara preferencia en el uso de Reguladores de Presión tipo Fisher, pero estos no cumplen con la normativa vigente ni se alinean a los requerimientos mínimos dispuestos por Osinergmin.



Figura 30: Regulador no normado.
Fuente: Mercado libre Perú.

VIII. DISEÑO

La figura 31 muestra la metodología seguida para llegar a satisfacer la problemática existente. Parte de una problemática la cual será abordada por medio del diseño y concepción de un nuevo producto. En el proceso de diseño se abordan interrogantes como los requerimientos que debe cumplir el regulador de baja presión. Una vez definido los requerimientos se siguen el proceso de diseño según la norma VDI 2225. La solución final será determinada por una evaluación técnica y económica. Los casilleros en rojo son los ítems de mayor énfasis en el proceso de diseño seguido.

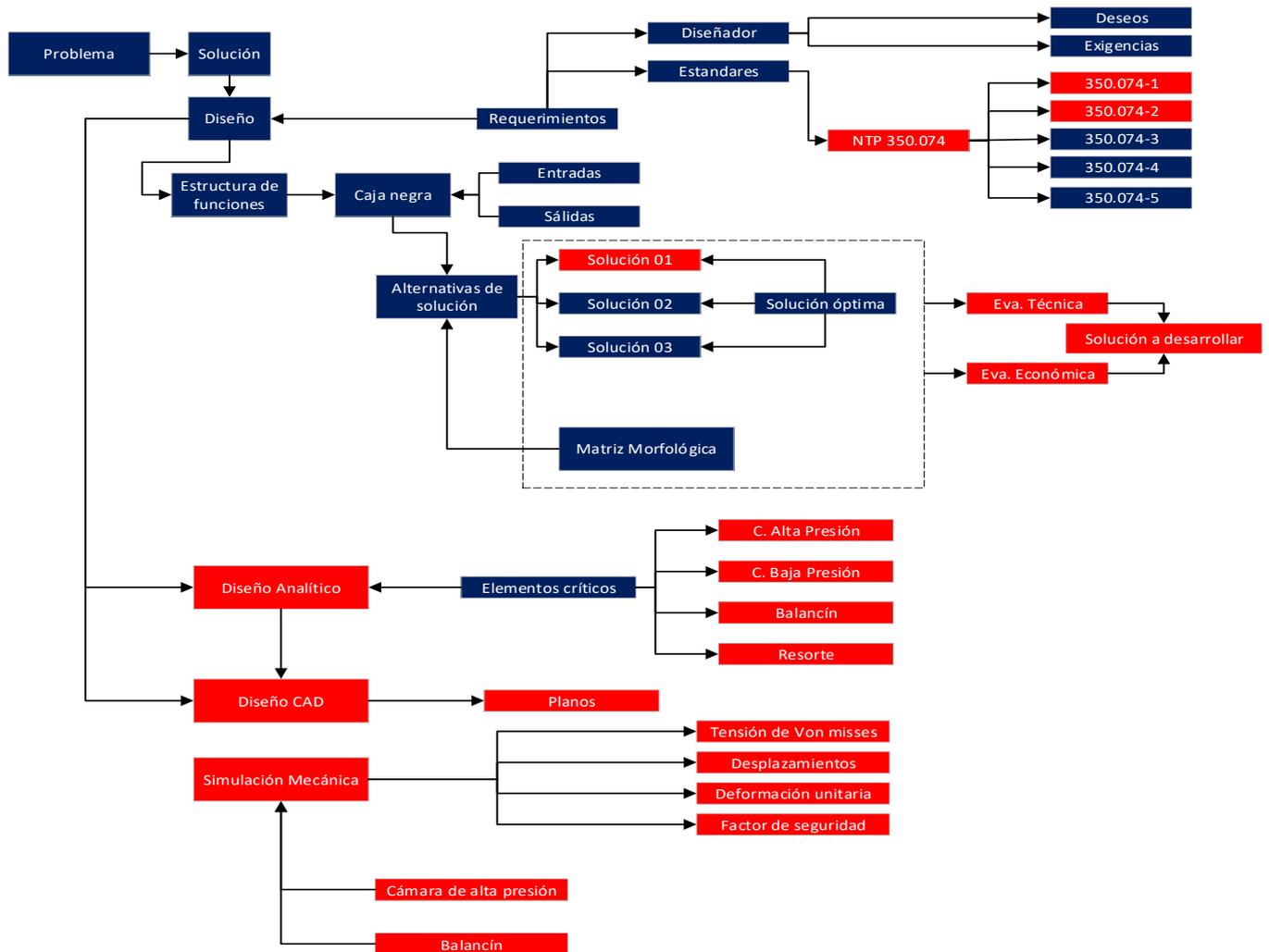


Figura 31: Metodología Objetivo N° 02

Fuente: Propia.

8.1. Metodología del diseño

VDI (Verein Deutscher Ingenieure) son las siglas de la asociación alemana de ingenieros que han normalizado el proceso de diseño buscando soluciones concebidas continuamente.

8.1.1. Comprensión de la solicitud

Se empieza por tener claro que problema se desea solucionar, para dar inicio a una serie de pasos que desencadenan en una lista de exigencias.

8.1.2. Concepción de la solución

En esta etapa se formula una estructura de funciones con miras a posibles soluciones por cada función planteada. Teniendo claro el problema se pueden combinar diferentes vías de solución comparándolo con una solución óptima que será el resultado de una evaluación técnica y económica.

8.1.3. Elaboración del proyecto

Partiendo de la solución óptima se busca llegar a un proyecto final o definitivo concatenando procedimientos como: forma, dimensiones de las partes, material, fabricación, proyecto preliminar, dimensionado y características definitivas.

8.1.4. Elaboración de detalles

Esta es la fase final del diseño; aquí se realiza la documentación necesaria para su fabricación, planos, tolerancias, dimensiones, acabado superficial, montaje, así mismo se adjunta todo requerimiento necesario para la fabricación de este.

8.2. Lista de exigencia

La tabla 12, 13, 14 es extraída de la Norma Técnica Peruana (NTP) 350.074-1995. Las siguientes tablas forman parte del proceso de diseño propuesto por la asociación alemana de ingenieros VDI 2225 donde se detallan Deseos (D) y Exigencias (E). Los deseos son propuestos por el diseñador (autor de la presente tesis) y las exigencias son de carácter normativo por la NTP en lo referente a reguladores de baja presión.

Tabla 11: Lista de exigencias pág. 1 de 3.

LISTA DE EXIGENCIAS			Pág. 1 de 3
DISEÑO DE UN REGULADOR DE BAJA PRESIÓN PARA DETERMINAR EL PESO EXACTO DE GAS, EN LOS CILINDROS DE USO DOMÉSTICO DE 10 kg			Edición: Rev. 1.
PROYECTO			Fecha:
			Revisado:
CLIENTE	UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIO DE MOGROVEJO		Elaborado:
			C.A.P.Z
Fecha: (cambios)	Deseo o Exigencia	Descripción	Responsable
10/04/2018	E	Función Principal: Permitir la conexión entre el cilindro de gas y la cocina	Christian Alexander Portales Zamora
	E	El regulador deberá permitir determinar la presión y peso.	
	E	El flujo de material (GLP) será continuo durante todo el proceso de cocción de los alimentos, o hasta, su proxima recarga.	
10/04/2018	D	Geometría El diseño del regulador será un nexo entre la cocina y el balon de gas. Contará con un manómetro y una cartilla de cubitación, con lo cual, el usuario podrá determinar en que momento se termina su gas y cuanto le están vendiendo. El regulador será diseñado sólo para cilindros premium en cumplimiento con la normativa vigente.	Christian Alexander Portales Zamora
	D	El diseño no debe interferir con la cubierta exterior del cilindro; evitando el deterioro del regulador y del cilindro.	Christian Alexander Portales Zamora
	E	Los componentes de regulación de los reguladores deberán funcionar sin obstaculizar el funcionamiento de los componentes de seguridad. 1(*)	Christian Alexander Portales Zamora
	E	El cuerpo y la tapa del regulador serán fabricados por moldeado por inyección, asegurando que la pieza quede exenta de porosidades, fisuras, sopladuras o defectos que puedan afectar el funcionamiento normal del regulador. 1(*)	Christian Alexander Portales Zamora
	E	La tapa de los reguladores deberá estar provista de un canal de compensación cuya área y diseño permita el equilibrio de presiones, no se obstruya y que impida la introducción desde el exterior de cualquier objeto o material que altere la regulación o dañe el diafragma. 1(*)	Christian Alexander Portales Zamora
	E	El mecanismo de regulación se diseñará de tal manera que los elementos que conectan al diafragma y a la válvula de los reguladores se fabriquen de manera que cada movimiento del diafragma se transmita al balancin mediante una articulación que no trabe ningún otro elemento. 1(*)	Christian Alexander Portales Zamora
	E	El diafragma deberá tener una superficie lisa, debe ser impermeable, altamente flexible; podra ser preformado o plano. 1(*)	Christian Alexander Portales Zamora
	E	La placa del diafragma deberá ofrecer una cavidad o alojamiento para el asiento del resorte, sin presentar bordes agudos ni rebabas que puedan dañar el diafragma. 1(*)	Christian Alexander Portales Zamora
	E	La boquilla deberá tener un agujero concéntrico, la superficie de su asiento para el obturador deberá tener un buen grado de acabado superficial y deberá asegurar el pleno apoyo del obturador. 1(*)	Christian Alexander Portales Zamora

Fuente: Propia.

¹(*)

¹ (*) esta nota es extraída de: NTP 350.074-2.1995. [28]

Tabla 12: Lista de exigencias pág. 2 de 3.

LISTA DE EXIGENCIAS			Pág. 2 de 3
DISEÑO DE UN REGULADOR DE BAJA PRESIÓN PARA DETERMINAR EL PESO EXACTO DE GAS, EN LOS CILINDROS DE USO DOMÉSTICO DE 10 kg			Edición: Rev. 1.
PROYECTO			Fecha:
CLIENTE	UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIO DE MOGROVEJO		Revisado:
Fecha: (cambios)	Deseo o Exigencia	Descripción	Responsable
	E	El obturador de la válvula deberá estar firmemente alojado en el receptáculo del balancín, de manera tal que no se desprenda durante su operación y además mantenga una superficie plana y lisa. 2(*)	Christian Alexander Portales Zamora
	E	El balancín deberá tener un movimiento pivotante en el plano que contiene a los ejes de la boquilla y el diafragma. 2(*)	Christian Alexander Portales Zamora
	E	El eje del receptáculo del obturador y el de la boquilla deberán ser concéntricos en la posición de cierre. 2(*)	Christian Alexander Portales Zamora
	E	El mecanismo de fijación del regulador deberá ser diseñado de tal manera que su accionamiento garantice un rápido acople - desacople con la válvula y no permita juegos axiales, ni radiales excesivos respecto del eje de conexión válvula regulador. 2(*)	Christian Alexander Portales Zamora
	E	El conector de salida del regulador podrá ser de una sola pieza con el cuerpo del regulador o ser postizo de una unión roscada, diseñada de tal manera que garantice una unión segura con la manguera o ducto de salida de GLP. 2(*)	Christian Alexander Portales Zamora
	E	Las espiras del resorte deberá ser paralelas entre sí y sus extremos deberán ser superficies planas paralelas entre sí y perpendiculares al eje de corte. 2(*)	Christian Alexander Portales Zamora
10/04/2018	E	Material Los componentes de los reguladores deberán ser fabricados con materiales resistentes a la corrosión del medio ambiente y compatibles con el GLP. 2(*)	Christian Alexander Portales Zamora
	E	Los elementos mecánicos y móviles tendrán que resistir el desgaste ocasionado por su uso.	Christian Alexander Portales Zamora
	E	El material a utilizar tendrá que soportar la presión que ejerce el GLP al paso por el regulador.	Christian Alexander Portales Zamora
	E	Los materiales de los reguladores, sus elementos y componentes deberán ser fabricados para un servicio prolongado, debiendo así mismo ser de primer uso. 2(*)	Christian Alexander Portales Zamora
	E	Todos los componentes del regulador sujetos a rozamiento deberán ser resistentes al desgaste. 2(*)	Christian Alexander Portales Zamora
10/04/2018	D	Señales Deberá de estar provista de señales características, tales como; apagado (of), encendido (in).	Christian Alexander Portales Zamora
10/04/2018	E	Seguridad Se debe diseñar el regulador de tal manera que no se ponga en riesgo la salud de las personas ni del medio ambiente.	Christian Alexander Portales Zamora

Fuente: Propia

2(*)

2 (*) esta nota es extraída de: NTP 350.074-2.1995. [28]

Tabla 13: Lista de exigencias pág. 3 de 3.

LISTA DE EXIGENCIAS			Pág. 3 de 3
DISEÑO DE UN REGULADOR DE BAJA PRESIÓN PARA DETERMINAR EL PESO EXACTO DE GAS, EN LOS CILINDROS DE USO DOMÉSTICO DE 10 kg			Edición: Rev. 1.
PROYECTO			Fecha:
CLIENTE	UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIO DE MOGROVEJO		Revisado:
Fecha: (cambios)	Deseo o Exigencia	Descripción	Elaborado: C.A.P.Z
			Responsable
	E	Se deben tener en cuenta también las normas técnicas peruanas (NTP) 350.074:1995 en sus apartados del 1 al 5.	Christian Alexander Portales Zamora
	E	Los reguladores deberán presentar suficiente resistencia mecánica para soportar el trabajo al cual está sometido. En condiciones normales de funcionamiento debe garantizar no sufrir deformaciones permanentes o deterioro perjudicial a su funcionamiento. 3(*)	Christian Alexander Portales Zamora
	E	Las partes del cuerpo y las tapas de los reguladores que están en contacto con los diafragmas deberán estar exentos de bordes agudos que puedan cortarlo o producir marcas que alteren el comportamiento normal del diafragma. 3(*)	Christian Alexander Portales Zamora
	E	Todos los resortes deberán estar guiados y montados para evitar que se traben, doblen o prevenir cualquier interferencia con su libre movimiento. 3(*)	Christian Alexander Portales Zamora
10/04/2018	D	Fabricación Se deberá fabricar en talleres metalmeccánicos de la zona utilizando y seleccionando materiales más usados y de fácil adquisición.	Christian Alexander Portales Zamora
	E	El conector de entrada de los reguladores de conexión rápida podrá ser concéntrica en la posición de cierre. 3(*)	Christian Alexander Portales Zamora
	D	Deberá tener buena estabilidad y rigidez	Christian Alexander Portales Zamora
10/04/2018	D	Montaje Deberá ser de fácil montaje y desmontaje para su uso en otros lugares.	Christian Alexander Portales Zamora
	D	Deberá ser de fácil inserción en las válvulas premium.	Christian Alexander Portales Zamora
10/04/2018	D	Uso El regulador será operado por cualquier persona, sin la necesidad de tener muchos conocimientos técnicos .	Christian Alexander Portales Zamora
	D	Deberá soportar las exigencias de trabajo y clima ,así como el posible mal uso por desconocimiento.	Christian Alexander Portales Zamora
10/04/2018	D	Mantenimiento El regulador debe estar exento de mantenimiento para evitar cualquier daño con los elementos elastoméricos.	Christian Alexander Portales Zamora
10/04/2018	E	Plazo de Entrega El desarrollo del proyecto se realizará de acuerdo a los plazos indicados en el plan de trabajo, teniendo como fecha límite de entrega diciembre del 2018.	Christian Alexander Portales Zamora

Fuente: Propia.

³(*)

³ (*) esta nota es extraída de: NTP 350.074-2.1995. [28]

8.3. Estructura de funciones

La estructura de funciones nos permite determinar el orden funcional que seguirá el regulador de baja presión. Para ello se toma en cuenta desde el ingreso de GLP hasta que la cocina del usuario se pone en funcionamiento. Mediante un diagrama de flujo se muestra los procesos establecidos para el regulador de baja presión.

8.3.1. Caja negra (black box)

8.3.1.1. Abstracción

La función principal del regulador de baja presión a diseñar será poder determinar el peso exacto del combustible dentro de los cilindros de gas de 10 kg. Para ello mediante una caja negra (black-box) se determinan las funciones principales que debe cumplir el regulador de baja presión. La caja negra representa el regulador de baja presión, el cual está sometido a entradas como la materia, energía y señales. Del mismo modo las entradas provocan salidas en los distintos componentes del regulador de baja presión.

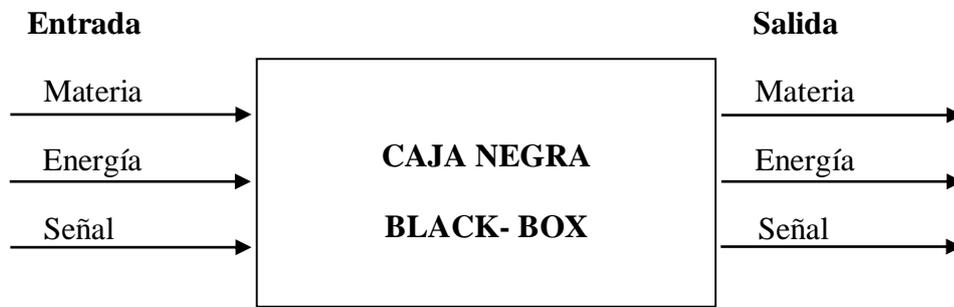


Figura 32: Caja negra / Black-Box
Fuente: Propia.

Entradas:

- Materia: Ingreso de GLP.
- Energía:
 - ✓ Mecánica: Presión del fluido necesaria para hacer mover el indicador de presión del manómetro.
- Señal: Posición de la perilla del regulador, dónde el usuario observará si el regulador está listo para usarse o no.

Salidas:

- Materia: Salida de GLP para cocción de alimentos.
- Energía: Ruido.
- Señales: Propias del regulador que indican su estado de funcionamiento.
 - ✓ Presión: Indicada en el manómetro del regulador, la cual esta enlazada a una cartilla de cubicación.

- ✓ Masa: Conocida la presión y volumen del cilindro se puede determinar el peso del GLP exacto. Esto se evidencia en la cartilla de cubicación.

8.3.1.2. Principios Tecnológicos

En este punto vamos a determinar la secuencia lógica de operación, escogiendo los principios tecnológicos básicos para la transformación deseada de las magnitudes de entrada (señal, energía, materia) en la caja negra.

Para el diseño del regulador de presión y volumen, determinamos cuatro secuencias básicas de operación que detallamos a continuación:

- Colocar el tubo flexible en el regulador.
- Posicionar el regulador de baja presión en los cilindros de gas de 10 kg.
- Habilitar la perilla del regulador, dejando en funcionamiento a la cocina.
- Operar la cocina como de costumbre.

8.3.1.3. Procesos Técnicos

Desarrollamos las cuatro fases conocidas para la fijación completa del proceso técnico y de esta manera poder hacer las transformaciones de las propiedades de los objetos que ingresan a la caja negra.

- Preparación:
 - ✓ Colocar el tubo flexible en el regulador.
 - ✓ Acoplar el regulador en el cilindro de gas de 10 kg.
- Ejecución:
 - ✓ Habilitar la perilla del regulador, dejando en funcionamiento la cocina.
- Fase final:
 - ✓ Lectura de los parámetros deseados, presión y masa.
- Control:
 - ✓ Prevenir.

8.3.1.4. Aplicación de los Sistemas Técnicos y sus Limitaciones

Para poder realizar la función para la cuál será diseñado el regulador de baja presión, en primer lugar, se debe seleccionar el diseño óptimo, analizando cada elemento que compone el regulador. Por otro lado, el sistema de medición debe cumplir dos requisitos fundamentales, precisión y costo accesible. El regulador queda limitado a ser utilizados en válvulas Premium. Esto se hace en cumplimiento con las normas NTP 350.074.

8.4. Estructura de funciones desarrollada

8.4.1. Estructura de funciones - alternativa 01

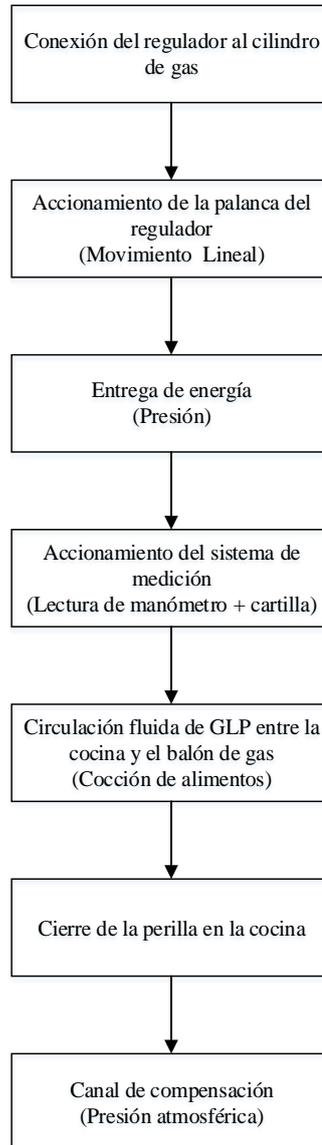


Figura 33: Estructura de funciones – alternativa 1.

Fuente: Propia.

La primera alternativa de solución la conforma el regulador de baja presión, el manómetro y la cartilla de valores. Se conecta el regulador al cilindro de gas, posterior a esto se acciona la palanca de seguridad que permite el paso del gas hacia la cocina. Con el paso dos el sistema de medición se activa ya que el mecanismo interno del regulador se acciona activando así la medición. Una vez concluido el proceso de cocción el usuario podrá ver el nivel de consumo de su balón de gas (cartilla informativa).

8.4.2. Estructura de funciones - alternativa 02

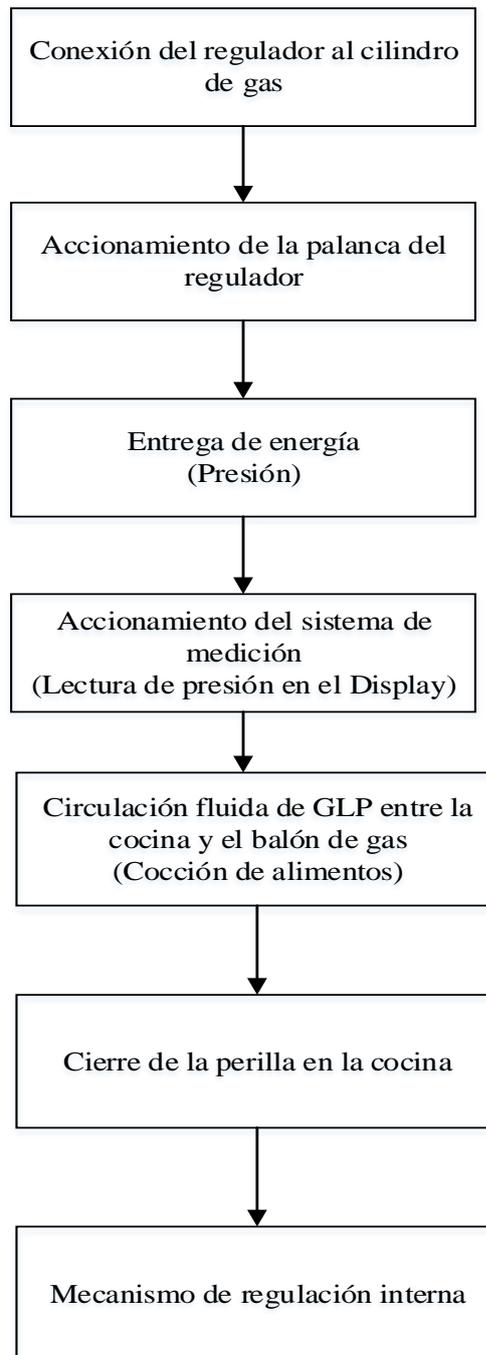


Figura 34: Estructura de funciones - alternativa 2.
Fuente: Propia

La segunda alternativa de solución la conforma un regulador de baja presión y un transductor de presión. El procedimiento es el mismo que el anterior, pero a diferencia, ahora la medición la realiza un dispositivo electrónico el cual interpreta la diferencia de presiones y como consecuencia arroja una lectura.

8.4.3. Estructura de funciones alternativa 03

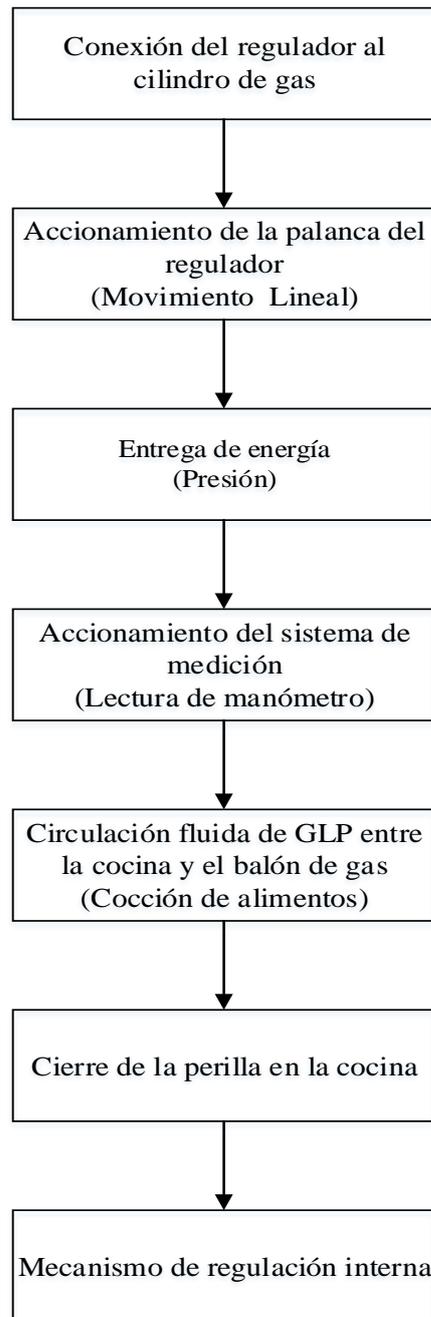


Figura 35: Estructura de funciones - alternativa 3.
Fuente: Propia

La alternativa de solución 3 la conforma un regulador y un manómetro cuyo funcionamiento es igual a los anteriores pero este no cuenta con cartilla de información. El usuario podrá leer la presión en el interior del cilindro mas no podrá interpretar la medición.

8.4.4. Estructura de funciones óptima

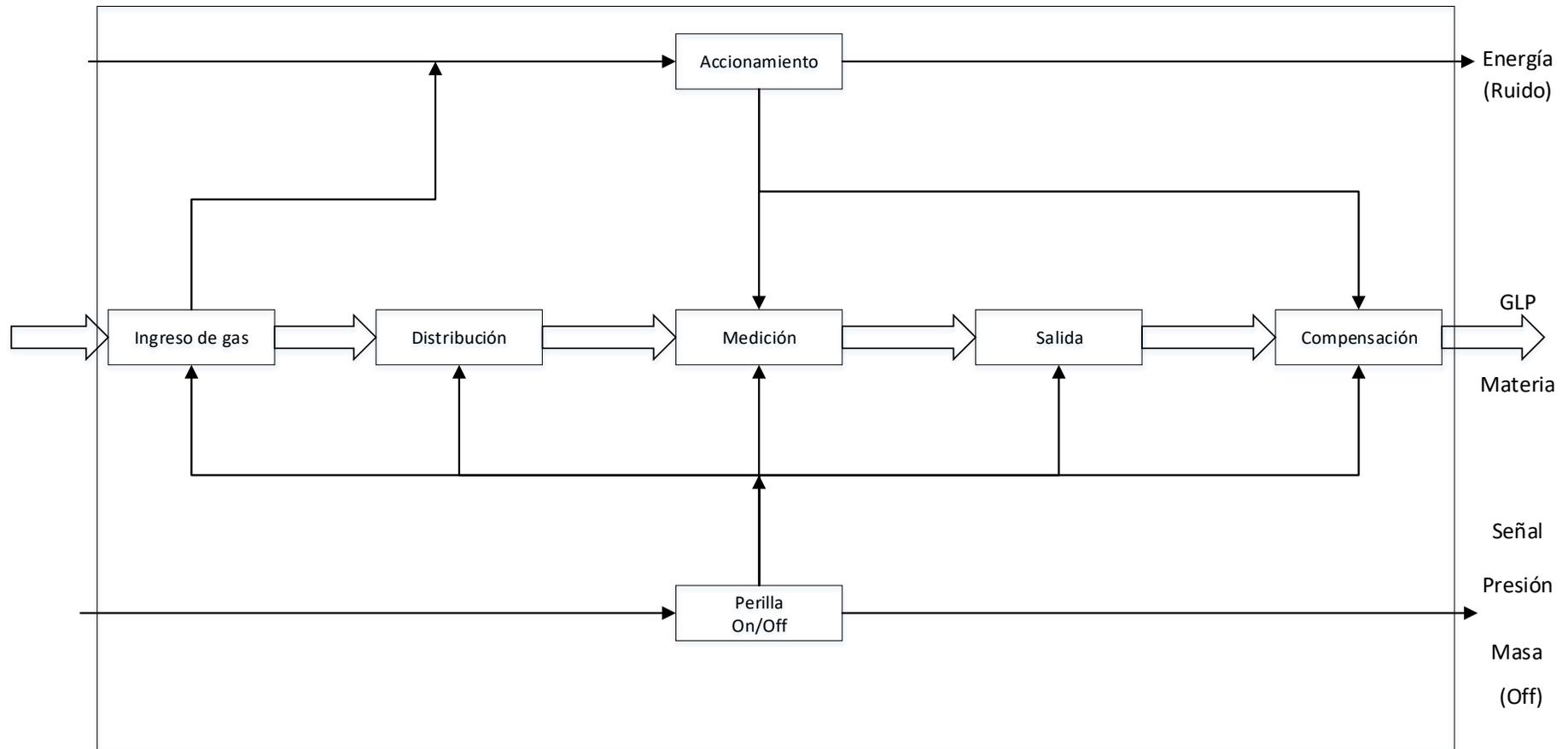


Figura 36: Estructura de funciones óptima.

Fuente: Propia.

La estructura de funciones óptima tiene que ver con los ingresos y salidas del regulador de baja presión. Como puede apreciarse en la figura 36 el ingreso lo realiza el GLP hacia el regulador de baja presión (una vez accionada la perilla de seguridad). El GLP circula por los mecanismos internos del regulador llevándose a cabo la medición, salida y compensación. Al concluir este proceso se tiene la salida de Materia (GLP) hacia la cocina y la medición realizada por el manómetro acompañado de la cartilla informativa.

La matriz morfológica (tabla 15) muestra las 3 alternativas de solución propuestas y sus diferentes componentes.

La solución 01 está conformada en su ingreso por un pin móvil el cual es accionado por una perilla que permite que el pin descienda hasta el tope de seguridad del cilindro de gas dejando libre el ingreso del fluido hacia el regulador. En su distribución lo hace por la cámara de alta presión (forma de "L" cilíndrica). A la salida de la cámara de alta presión se encuentra la cámara de baja presión en donde el fluido hace su ingreso al sistema de medición. El canal de compensación hace su trabajo aportando al equilibrio de fuerzas dentro del diafragma pues la presión ha descendido en la cámara de baja presión obligando al obturador el cierre en la cámara de alta; de esta forma se hace la regulación de presión requerida para un sistema cocina regulador cilindro de gas.

La solución 02 consta de un pin fijo, cámara de alta presión en forma de "T", transductor de presión, conector de salida adherido al cuerpo y mecanismo de regulación interna. El pin fijo no permite que bloqueo en posibles fugas ya que tiene que desconectarse por completo el regulador para retirarlo del cilindro. La cámara en forma de "T" necesariamente tiene que constar con dos mecanismos de obturación ya que permite mayor paso de fluido hacia la cámara de baja presión. El transductor de presión logra realizar la medición pero se tiene que tener en cuenta la evaluación económica. El conector de salida adherido al cuerpo es el más seguro ya que evita la corrosión en las uniones que puedan presentar y por ende las fugas con el deterioro del producto.

La solución 03 es muy similar a la primera alternativa pero con ligeros cambios en su composición, ya que cuenta con un pin fijo y su cámara de alta presión se conecta directamente a la de baja presión. No cuenta con cartilla de información.

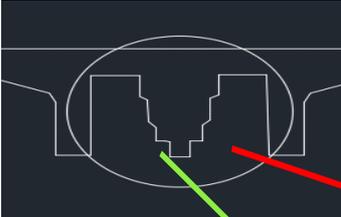
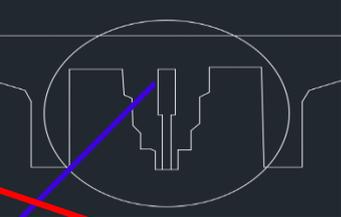
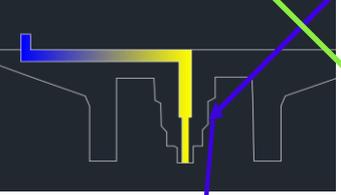
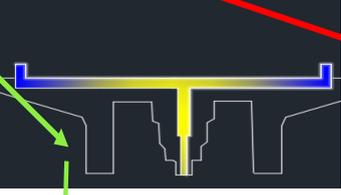
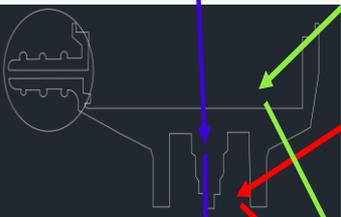
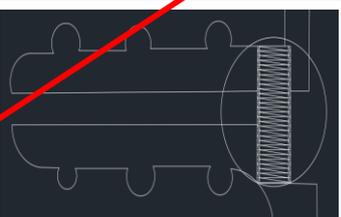
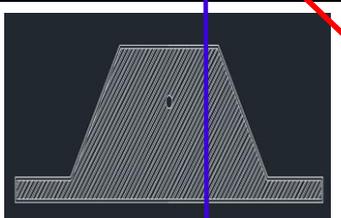
Los conceptos de solución 01, 02, 03 en las figuras 37, 38, 39 respectivamente son bosquejos de lo mencionado con anterioridad.

8.5. Matriz morfológica

8.5.1. Desarrollo de la matriz morfológica

MATRIZ MORFOLÓGICA

Tabla 14: Matriz morfológica

Funciones Parciales	Alternativas		
1. Ingreso de gas	 <p>Pin fijo</p>	 <p>Pin móvil</p>	
2. Distribución	 <p>Cámara en forma de tubería en L</p>	 <p>Cámara en forma de "T"</p>	 <p>Cámara en forma de cilindro recto</p>
3. Medición	 <p>Manómetro + Cartilla de cubitación</p>	 <p>Transductor de presión</p>	 <p>Manómetro</p>
4. Salida	 <p>Conector de salida adherido al cuerpo</p>	 <p>Conector de salida roscado</p>	
5. Compensación	 <p>Canal de presión atmosférica</p>	 <p>Mecanismo de regulación interna</p>	
Solución	S1 ●	S2 ● S3 ●	3

Fuente: Propia

8.6. Conceptos de solución

8.6.1. Concepto de solución 01

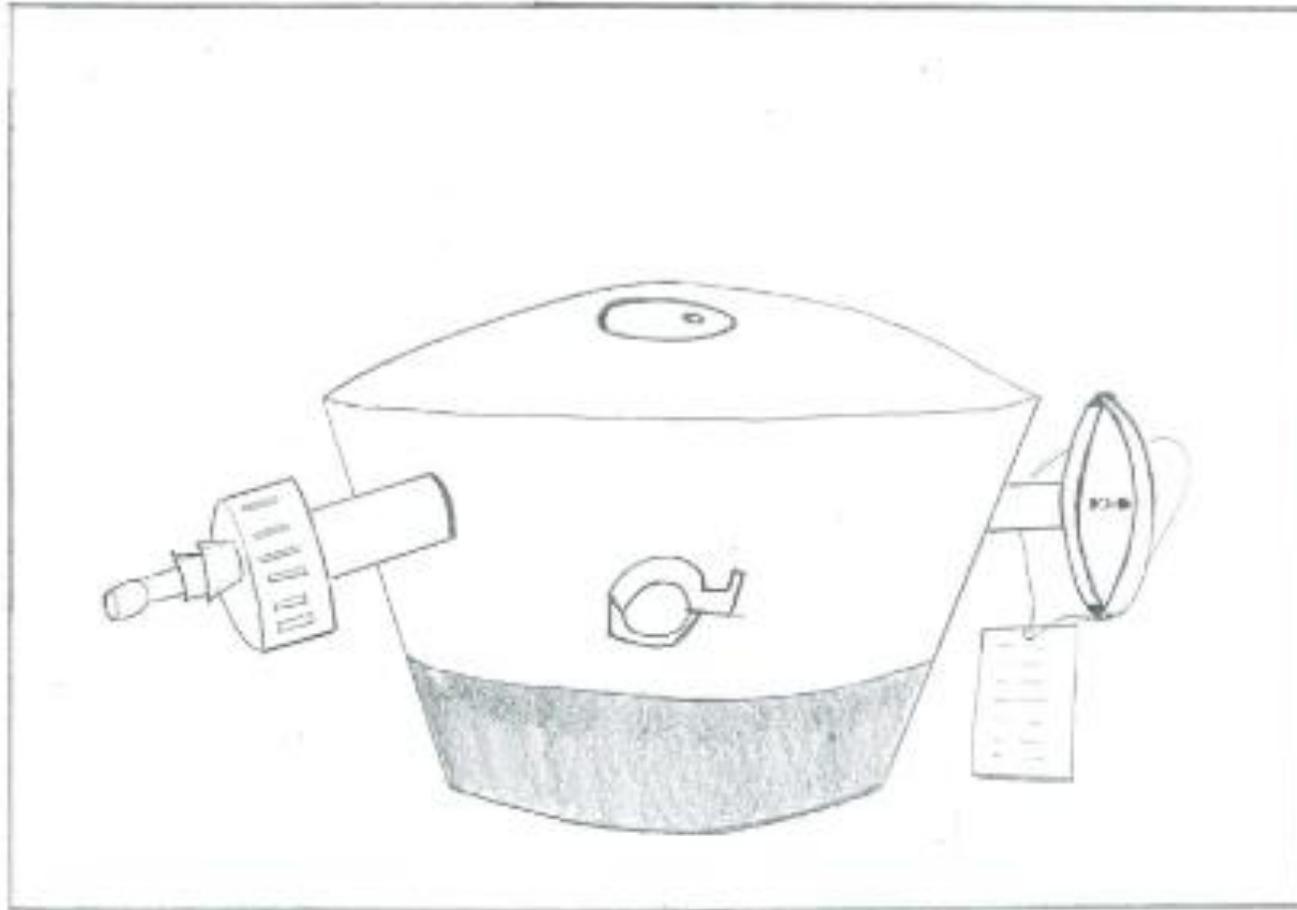


Figura 37: Alternativa de solución 1.
Fuente: Propia

8.6.2. Concepto de solución 02

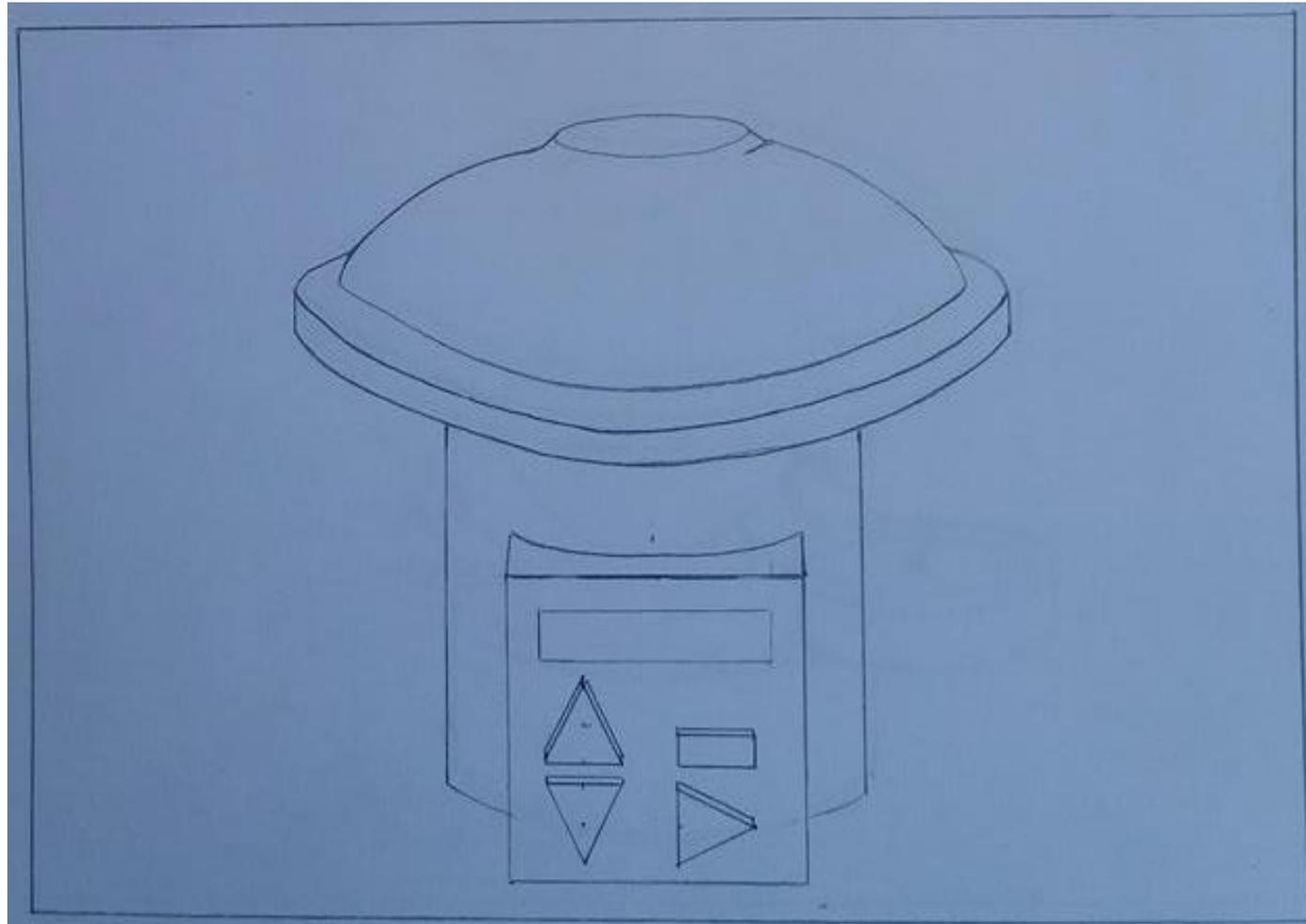


Figura 38: Alternativa de solución 2.
Fuente: Propia.

8.6.3. Concepto de solución 03

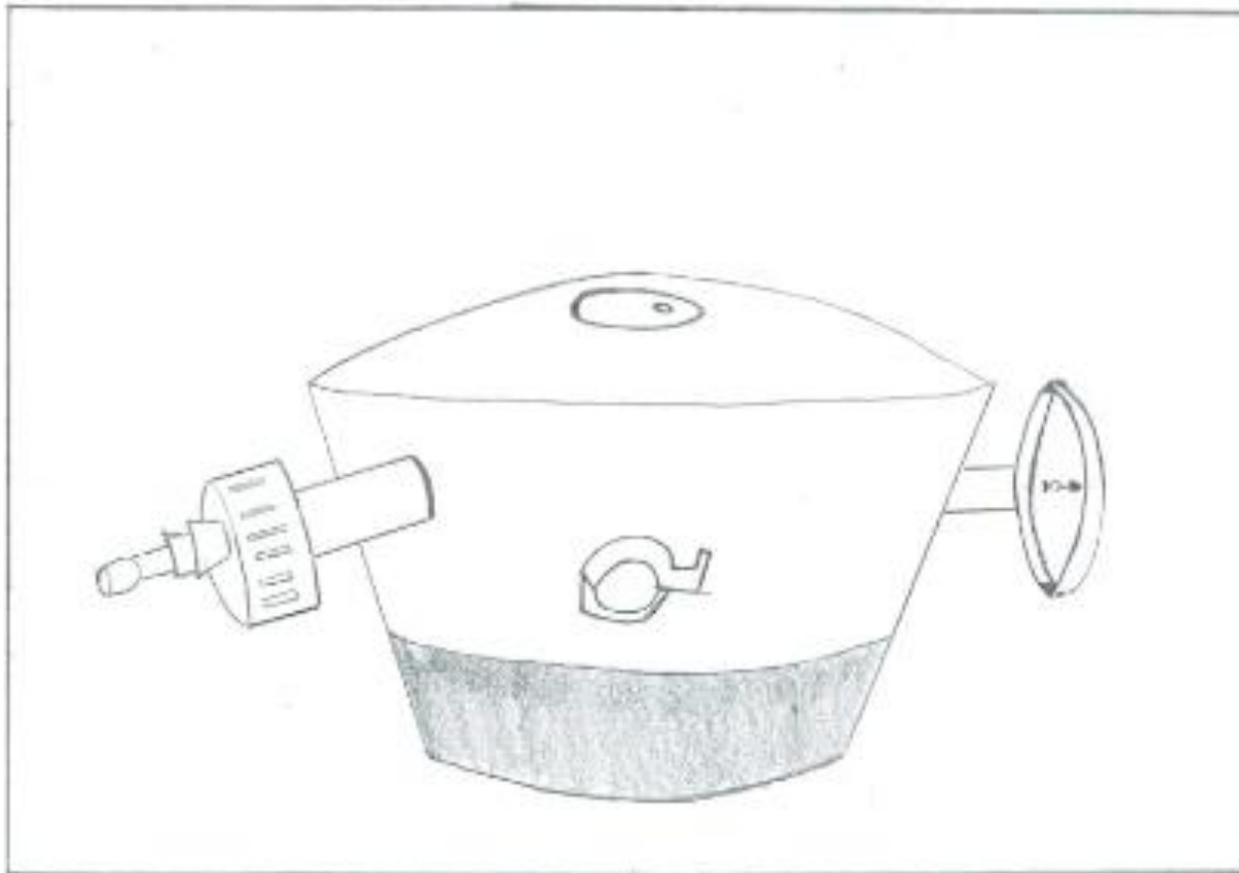


Figura 39: Alternativa de solución 3.
Fuente: Propia.

8.7. Evaluación de conceptos de solución y proyectos

8.7.1. Evaluación técnica

La tabla 16 y 17 muestra la valoración técnica y económica respectivamente. El modo de evaluación es la siguiente: se establece una escala de valores de 0 – 4 denotado por la letra p = puntaje; por otro lado la letra “g” representa el peso ponderado. Se ha designado 3 valoraciones (importante, muy importante e imprescindible). Los criterios de evaluación resultan del análisis y clasificación de la NTP 350.074-1995 por parte del autor. Algunos de los criterios más importantes son el proceso de manufactura, seguridad, resistencia y el material utilizado. “S1”, “S2”, “S3” son los conceptos de solución mostrados en las figuras 37, 38, 39 respectivamente. El valor del criterio técnico es el resultado de la sumatoria $\sum_i^n g * p$; donde: g = peso ponderado; p = puntaje.

Tabla 15: Evaluación técnica.

DISEÑO MECÁNICO - EVALUACIÓN DE PROYECTOS										
Proyecto: Diseño de un regulador de baja presión para determinar el peso exacto de gas, en los cilindros de gas de 10 kg.										
Escala de valores según VDI 2225 con puntaje p de 0 a 4: 0= No Satisface, 1= Aceptable a las justas, 2= Suficiente, 3=Bien, 4= Muy Bien (ideal)										
g: Peso ponderado en función de los criterios de evaluación 1= Importante 2= Muy importante 3= Impresindible										
Criterios técnicos de evaluación para diseños en fase de conceptos o proyectos										
Variantes de Concepto / Proyectos			S1		S2		S3		S ideal	
Nº	Criterios de evaluación	g	p	gp	p	gp	p	gp	p	gp
1	Manufactura	3	3	9	2	6	2	6	4	12
2	Seguridad	3	4	12	3	9	3	9	4	12
3	Mantenimiento	1	3	3	3	3	3	3	4	4
4	Geometría	2	3	6	1	2	4	8	4	8
5	Peso	1	3	3	3	3	3	3	4	4
6	Resistencia	3	3	9	3	9	3	9	4	12
7	Funcionalidad	2	4	8	3	6	3	6	4	8
8	Piezas estandar	1	2	2	1	1	3	3	4	4
9	Material	3	4	12	3	9	3	9	4	12
10	Señales	2	3	6	3	6	3	6	4	8
11	Montaje	2	3	6	1	2	3	6	4	8
PUNTAJE MAXIMO:				76		56		68		92
Valor Técnico				0.83		0.61		0.74		
Orden				1		2		3		
Si Soluciones/ g Peso Ponderado/ p Puntaje/ xi Valor técnico/ yi Valor económico										

Fuente: Propia.

8.7.2. Evaluación económica

El ítem evaluación económica se opera de la misma forma que la evaluación técnica descrita en el paso anterior.

Tabla 16: Evaluación Económica.

DISEÑO MECÁNICO - EVALUACIÓN DE PROYECTOS													
Proyecto: Diseño de un regulador de baja presión para determinar el peso exacto de gas, en los cilindros de gas de 10 kg.													
Escala de valores según VDI 2225 con puntaje p de 0 a 4: 0= No Satisface, 1= Aceptable a las justas, 2= Suficiente, 3=Bien, 4= Muy Bien (ideal)													
g: Peso ponderado en función de los criterios de evaluación 1= Importante 2= Muy importante 3= Impresindible													
Criterios económicos de evaluación para diseños en fase de conceptos o proyectos													
Variantes de Concepto / Proyectos					S1		S2		S3		S ideal		
Nº	Criterios de evaluación				g	p	gp	p	gp	p	gp	p	gp
1	Diseño				3	3	9	2	6	3	9	4	12
2	Fabricación				3	3	9	2	6	3	9	4	12
3	Transporte				1	3	3	3	3	3	3	4	4
4	Mantenimiento				1	3	3	3	3	3	3	4	4
5	Costo				3	4	12	0	0	4	12	4	12
6	Plazos				1	2	2	2	2	2	2	4	4
PUNTAJE MAXIMO:							38		20		38		48
Valor Técnico							0.79		0.42		0.79		
Orden							1		2		3		
Si Soluciones/ g Peso Ponderado/ p Puntaje/ xi Valor técnico/ yi Valor económico													

Fuente: Propia

8.7.3. Diagrama de evaluación según VDI 2225

Se interceptan los ítems valoración técnica con económica de cada solución respectivamente ante una solución ideal (máximo puntaje de cada tabla). La solución adoptada es la más cercana a la solución ideal. Después de evaluar todos los criterios e interceptado ambas soluciones se ha llegado a la conclusión que la alternativa de solución 01 es la más adecuada para el proceso de diseño a desarrollar. En los siguientes párrafos se abordan los cálculos justificativos, simulaciones y formulación matemática del regulador de baja presión.

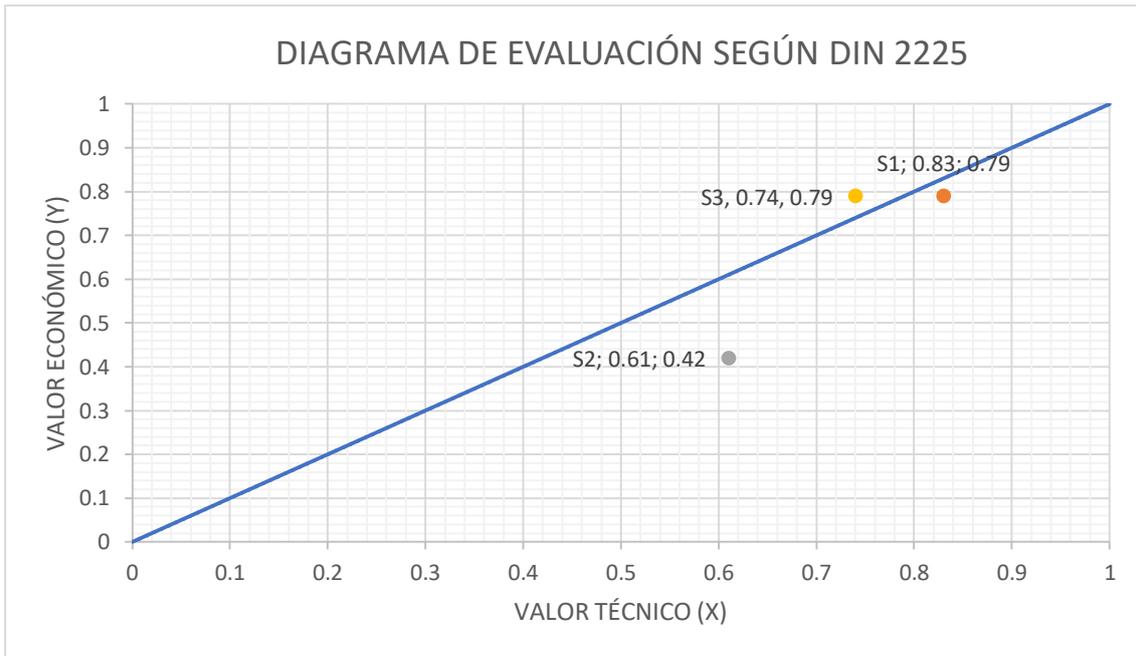


Figura 40: Diagrama de evaluación según DIN 2225.
Fuente: Propia.

8.8. Diseño analítico del regulador

El regulador de baja presión presenta elementos críticos a ser diseñados. Los elementos críticos son la cámara de alta presión, cámara de presión regulada, resorte de regulación y el balancín de regulación (figura 31).

El conector de entrada del regulador y el conector de salida se diseñarán de acuerdo con la Norma Técnica Peruana correspondiente (medidas normalizadas para ingresar en los cilindros de GLP estándar y en las mangueras). La tapa del regulador se ajusta con la altura de operación del resorte de regulación.

La forma de los distintos elementos es decisión del diseñador, pero se ajustará con la lista de exigencias extraídas de la Norma Técnica Peruana y de los requerimientos propuestos por el diseñador. Los materiales de los distintos elementos cumplirán con lo establecido en la Norma Técnica Peruana (ANEXO 04).

8.8.1. Cámara de alta presión, cámara de presión regulada y balancín

El diseño del regulador parte de los datos disponibles en las Normas Técnicas Peruanas (NTP). Así pues, se cuenta con la siguiente información en la NTP 350.074-1 en su apartado 3 denominado “CAMPO DE APLICACIÓN”. [13]

$$P_{\max} = \quad < 10 - 20 \text{ bar} >$$

$$P_{\min} = \quad < 0,033 \text{ bar} >$$

Tomando la ecuación (13) para un proceso isotérmico (Ley de Boyle y Mariotte) donde la masa y la temperatura son constantes; además son conocidos P1 y P2.

P1 representa la máxima presión que puede ingresar a un regulador, por lo tanto, $P1=P_{\max}$. Del mismo modo P2 es la presión regulada después de haber realizado el recorrido por el regulador. Con lo afirmado queda claro que $P2=P_{\min}$. Se asigna valores para P1 y P2 dentro del rango establecido para después ser ajustados en una hoja de cálculo.

Despejando convenientemente la ecuación (13) se tiene que:

$$\frac{P1}{P2} = \frac{V2}{V1}$$
$$\frac{10\text{bar}}{0,033\text{bar}} = \frac{V2}{V1} \quad (26)$$

La ecuación (26) es la relación de volúmenes existentes entre la cámara de alta presión (V1) y la cámara de presión regulada (V2). V2 y V1 están relacionados con la geometría de cada cámara existente y son de vital importancia para determinar parámetros de diseño como la fuerza de ajuste (Fs), fuerza de presión en la entrada (Fi) y la fuerza de presión en la salida (Fo).

Para calcular V1 se parte de una geometría conocida como lo es un cilindro (figura 41). La forma de la cámara de alta presión se evaluó en la matriz morfológica.

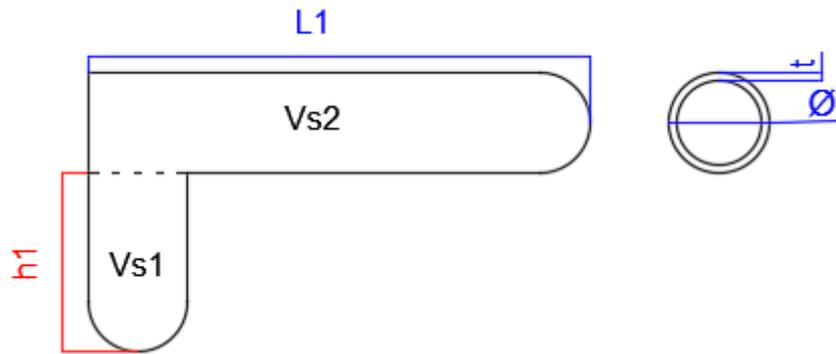


Figura 41: Geometría - cámara de alta presión.
Fuente: Propia.

Donde:

L1: Longitud de la cámara de alta presión. (mm)

h1: Altura de la cámara. (mm)

Ø: Diámetro de la cámara de presión regulada. (mm)

Vs1: Volumen de la sección 1 (mm³)

Vs2: Volumen de la sección 2 (mm³)

Vc: Volumen de la cámara de alta presión. (mm³)

t: Espesor de la cámara de presión regulada. (mm)

Se requiere conocer el volumen que ocupa el gas en la cámara de primera etapa o de alta presión. Se define las siguientes fórmulas para una geometría conocida.

$$V_c = V_{s1} + V_{s2} \quad (27)$$

Vs1 puede ser calcula con la fórmula del volumen de un cilindro. Entonces se tiene que:

$$V_c = \frac{\pi \phi^2}{4} * h1 + \frac{\pi \phi^2}{4} * L1 \quad (28)$$

Factorizando $\frac{\pi \phi^2}{4}$ se llega a la ecuación (29)

$$V_c = \frac{\pi \phi^2}{4} (h1 + L1) \quad (29)$$

El valor de Ø es 5 mm pues en la NTP 350.074-2 (ANEXO 05) especifica el diámetro para que los reguladores puedan conectarse en el cilindro premium. Si se requiere calcular Vc entonces se necesita conocer los valores de h1, L1 para ello se asumen un valor para cada variable que después serán ajustados.

- h1= 5 cm = 50 mm
- L1= 3 cm = 30 mm

Aplicando la ecuación (29) se tiene que:

$$V_c = \frac{\pi 5^2}{4} (50 + 30)$$

$$V_c = 500 \pi \text{ mm}^3$$

Se conoce que V1 es el volumen que ocupa el gas en la cámara de alta presión, con esto $V_c = V_1$. Conocido V1 se puede aplicar la ecuación (26) y dejarla expresada en función de V2:

$$\frac{10\text{bar}}{0,033\text{bar}} = \frac{V_2}{500\pi}$$

$$V_2 = 10 * \frac{500\pi}{0,033} \quad (30)$$

Del mismo modo que V1, V2 necesita de una geometría. Tomando como geometría a un cilindro de las siguientes características: (figura 42)

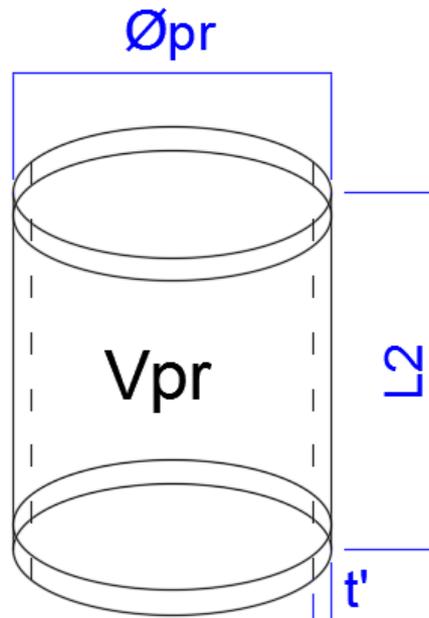


Figura 42: Geometría - Cámara de alta presión.

Fuente: Propia.

L2: Profundidad de la cámara de presión regulada. (mm)

t': Espesor de la cámara de presión regulada. (mm)

Øpr: Diámetro de la cámara de presión regulada. (mm)

Vpr: Volumen que ocupa el gas en la cámara de presión regulada. (mm³)

Entonces el volumen del cilindro queda definido como:

$$V_{pr} = \pi * \frac{\phi_{pr}^2}{4} * L_2 \quad (31)$$

Conociendo que $V_2=V_{pr}$ y reemplazando la ecuación (30) en (31):

$$10 * \frac{500\pi}{0,033} = \pi * \frac{\phi_{pr}^2}{4} * L_2$$

Despejando ϕ_{pr} convenientemente:

$$\phi_{pr} = \sqrt{\frac{10 * 500 * 4}{0,033 * L_2}} \quad (32)$$

Como puede notarse en la ecuación (32) el ϕ_{pr} depende de L_2 . Si se toma un L_2 muy elevado el regulador terminará siendo demasiado grande y posiblemente escape de los límites del cilindro de gas, por otro lado, si se toma un L_2 pequeño el volumen se reduce, pero como la cámara de alta presión es reducida, el ϕ_{pr} se espera lo suficiente para contribuir con la reducción de presión.

Tomando un L_2 de 5 cm equivalente a 50 mm el cual se ajustará a los demás parámetros calculados se tiene que:

$$\phi_{pr} = \sqrt{\frac{10 * 500 * 4}{0,033 * 50}}$$

$$\phi_{pr} = 110,096 \text{ mm}$$

Conocidos los volúmenes de las dos cámaras se puede determinar las fuerzas a la entrada de la cámara de presión regulada y a su salida. La figura 43 muestra el diagrama de cuerpo libre (DCL) que ejerce la presión del gas sobre el elemento de regulación y un elemento de ajuste denominado resorte.

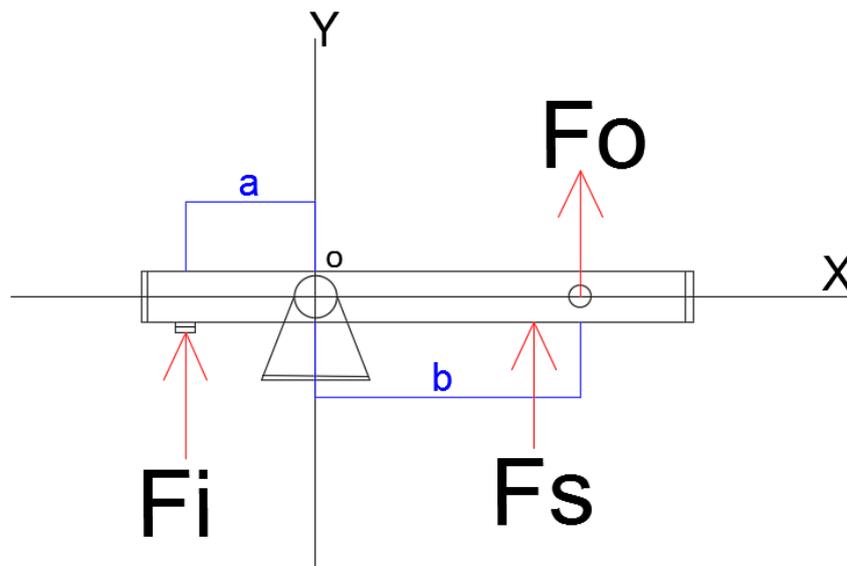


Figura 43: DCL - Balancín.
Fuente: Propia

Con la ecuación (4) se calcula “Fo”

$$F_o = P_2 * A_2 \quad (4)$$

$$F_o = 0,0033 * \frac{\pi \phi r^2}{4}$$

$$F_o = 0,0033 * \pi * \frac{(110,096)^2}{4}$$

$$F_o = 31,416N$$

Fi puede ser calculado a partir de la ecuación (5), pero resulta que en dicha ecuación interviene el área (A). El área que se utilizará se aprecia en la ilustración 40 y como tal se tiene que asumir ya que sin ella no podemos determinar Fi. Cabe resaltar que se recomienda que el área de salida del gas en la primera cámara debe ser reducida para mantener una presión regulada (Emerson).

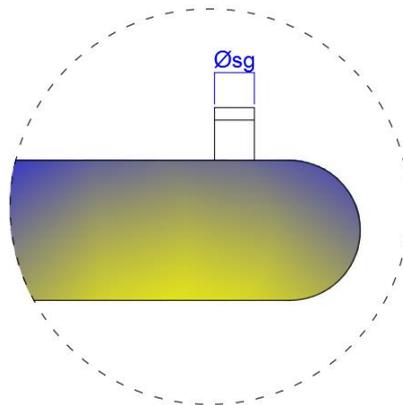


Figura 44: Orificio en la cámara de alta presión.
Fuente: Propia.

$$F_i = P_1 * A$$

$$F_i = 1 * \pi * \frac{\phi s g^2}{4}$$

Para un $\phi s g$ de 2 mm que posteriormente se ajustará en una hoja de cálculo, se tiene que:

$$F_i = \pi * \frac{2^2}{4}$$

$$F_i = \pi N$$

Aplicando la ecuación (1) se puede hallar Fs:

$$F_s = 31,416 N - \pi N \quad (1)$$

$$F_s = 28,274 N$$

Tomando como referencia la ilustración 43 podemos aplicar la definición de momento sobre el punto “o”; dando como resultado las siguientes ecuaciones.

De la ecuación de momento:

$$\sum_o M = 0 \quad (33)$$

Se tiene que:

$$F_o * b = F_i * a$$

$$31,416 * b = \pi * a$$

$$\frac{a}{b} = 10 \quad (34)$$

a/b es la relación de las distancias entre los brazos de palanca en el balancín.

8.8.2. Diseño del resorte de regulación

Para diseñar el resorte de regulación se debe tener en cuenta algunos datos iniciales como material, tratamiento térmico, tratamientos mecánicos y tipos de extremos. Habiendo definidos los datos iniciales se procede a calcular los principales parámetros de diseño. El resorte por diseñar es un muelle helicoidal a compresión, por lo tanto, se utilizará las fórmulas para resortes a compresión.

El material para el resorte será alambre de cuerda de piano (ASTM A228; SAE 1085) por presentar las siguientes características:

- Tenaz, más empleado de todos los materiales para fabricar resortes pequeños. Presenta mayor resistencia a la tensión y puede soportar mayores esfuerzos ante cargas repetidas que cualquier material para resortes. Disponible en diámetros de 0.12 a 3 mm (0.005 a 0.125 pulg). No se emplea a temperaturas mayores de 120°C (250 °F), o a temperaturas bajo cero. [3] (Anexo 06).
- La composición de este acero es: 0.6 a 1% de C, 0.6 a 15 de Mn. [8]

El tipo de extremo define la forma en el que se alojará el resorte. El tipo de extremo que utilizaremos será simples ya que resultan ser más baratos y son los utilizados en los reguladores de fabricación nacional. En la Tabla 03 aparecen las fórmulas para determinar los principales parámetros de diseño en resortes helicoidales.

Por otro lado, el tratamiento de los resortes es un factor fundamental para su diseño, damos a conocer los tratamientos seleccionados para nuestro caso de aplicación.

- Tratamiento térmico: Recocido.
- Tratamiento Mecánico: Preesforzado.

Parámetros para diseñar el resorte de regulación:

- Fuerza de operación (Fs)

- Deformación = 20 mm
- σ cortante máximo permisible = $220 \frac{N}{mm^2}$
- Módulo de rigidez = $82\,700 \frac{N}{mm^2}$ (Anexo 07)

La deformación es un parámetro que nos permite conocer la constante de elasticidad de un resorte. Por otro lado, si restamos la longitud final del resorte menos la deformación nos determina la altura efectiva del diafragma hacia la tapa del regulador. Entonces puede notarse que mayor deformación implica una tapa más alta. El esfuerzo cortante máximo permisible para resorte del tipo alambre de piano A228 es de 220 mm^2 . El módulo de rigidez se encuentra en el Anexo 07.

Aplicando la ecuación (2) para determinar la constante elástica.

$$K = \frac{28,274N}{20mm} \quad (2)$$

$$K = 1,4137 \frac{N}{mm}$$

Se procede a escoger un índice del resorte; el índice debe estar comprendido entre (4-15). Tomando un primer índice de 10 como aproximación inicial se tiene que:

$$C = 10$$

Aplicando la ecuación (18) para la concentración de tensiones o coeficiente de corrección de Wahl nos dice que:

$$K_w = \frac{4C - 1}{4C - 4} + \frac{0,615}{C} \quad (18)$$

Entonces K_w es:

$$K_w = \frac{4 * 10 - 1}{4 * 10 - 4} + \frac{0,615}{10}$$

$$K_w = 1,14$$

Para determinar el diámetro (d) del alambre se necesitar hacer uso de la ecuación (20) que estable una relación entre K_w , F_s , C y la cortante máxima.

$$\tau_{max} = \frac{8 * K_w * F_s * C}{\pi * d^2} \quad (20)$$

Entonces “d”:

$$220 = \frac{8 * 1,14 * 28,274 * 10}{\pi * d^2}$$

$$d = 1,9315 \text{ mm}$$

Aplicando la ecuación (17) y despejando convenientemente se tiene:

$$D = C * d \quad (17)$$

$$D = 10 * 1,9315$$

$$D = 19,32 \text{ mm}$$

Pero también en la ecuación (15) se puede relacionar el diámetro medio (D) y el diámetro del alambre para obtener el diámetro exterior (Do).

$$Do = D + d \quad (15)$$

$$Do = 19,32 \text{ mm} + 1,9315 \text{ mm}$$

$$Do = 21,2515 \text{ mm}$$

El número de espiras queda definido con la ecuación (22) como sigue:

$$\delta = \frac{8 * Fs * C^3 * n}{G * d} \quad (22)$$

se tiene que:

$$n = \frac{\delta * G * d}{8 * Fs * C^3}$$

$$n = \frac{20 * 82700 * 1,9315}{8 * 28,274 * 10^3}$$

$$n = 14,1238 \text{ espiras}$$

Conocido el número de espiras se puede determinar la longitud libre (Lf) o también conocida como longitud sin carga.

$$Lf = n' * d + \delta + 0,15 * \delta$$

n' es el número de espiras redondeado al inmediato superior n'=15 espiras.

$$Lf = 15 * 1,9315 + 20 + 0,15 * 20$$

$$Lf = 51,9725 \text{ mm}$$

Con todos estos datos solo nos queda calcular el paso del resorte y su diámetro en longitud comprimida. De este modo se puede calcular el paso (p) con la Tabla 3 para un resorte de extremos planos y el diámetro en longitud comprimida "De" con la ecuación (14).

$$p = \frac{Lf - d}{n'} \quad (\text{Tabla 3})$$

Entonces:

$$p = \frac{51,9725 - 1,9315}{15}$$

$$p = 3,336 \text{ mm}$$

Para “De”:

$$De = \sqrt{D^2 + \frac{p^2 + d^2}{\pi}} + d$$

$$De = \sqrt{19,32^2 + \frac{3,336^2 + 1,9315^2}{\pi}} + 1,9315$$

$$De = 21,3735 \text{ mm}$$

8.8.3. Esfuerzos en las cámaras

8.8.3.1. Cámara de alta presión

La cámara de alta presión es el elemento sometido a esfuerzos de tracción y a esfuerzos cortantes. La presión de diseño (P) y la temperatura (T°) son producto de la NTP 350.074-1, en su apartado 3 denominado “CAMPO DE APLICACIÓN”. El diámetro de la cámara de alta presión (Ø) es producto de las dimensiones del conector de entrada propuesto en la NTP 350.074-2 (ANEXO 05). El factor de seguridad (F.S) puede oscilar entre el 10% y 50% puesto que la presión en la cámara no es de gran significado, pero si nos ayuda a determinar el espesor de esta. La resistencia a la fluencia (σ_y) y la resistencia a la tracción de material (σ) son obtenidos de la NTP 350.074-2 apartado de “Componentes y Materiales Metálicos” (ANEXO 04) y un fabricante de materiales que brinda las respectivas propiedades de su producto (ANEXO 03).

Tabla 17: Parámetros para el diseño en la cámara de alta presión.

Datos		
Presión de Diseño (P)	2	MPa
Temperatura (T)	-20 a 50	°C
Diámetro (Ø)	5	mm
Resistencia a la fluencia (σ_y)	269	MPa
Resistencia a la tracción ($\sigma = \sigma_{mat}$)	328	MPa

Fuente: Propia.

Conociendo que:

$$\sigma_1 = \frac{\sigma_{mat}}{F.S} \quad (35)$$

Se muestra el procedimiento de cálculo para un factor de seguridad del 50% (1.5), para después comparar una serie de espesores con diversos factores de seguridad utilizando una hoja de cálculo.

Haciendo uso de la ecuación (35), además de usar los datos en la tabla (18) se tiene que:

$$\sigma_1 = \frac{328 \text{ MPa}}{1,5} = 218,667 \text{ MPa}$$

Conociendo que ($\sigma_1 = \sigma_1'$) además de utilizar la ecuación (06) se tiene que:

$$\sigma_1' = 1\text{MPa} * \frac{2,5\text{mm}}{t}$$

Despejando “t” y reemplazando σ_1 en σ_1'

$$t = 1\text{MPa} * \frac{2,5\text{mm}}{\sigma_1'}$$

$$t = 1\text{MPa} * \frac{2,5\text{mm}}{218,667\text{MPa}}$$

$$t = 0,0114\text{mm}$$

Con el espesor se puede determinar el esfuerzo longitudinal aplicando la ecuación (7).

$$\sigma_2 = 1\text{MPa} * \frac{2,5\text{mm}}{2 * 0,0114\text{mm}}$$

$$\sigma_2 = 109,649\text{MPa}$$

$$\tau_{\text{max}} = \sigma_2 = 109,649\text{MPa}$$

Además, se debe cumplir la siguiente condición:

$$\sigma_1 < \sigma_{\text{Resistencia a la fluencia}}$$

$$218,667\text{MPa} < 269\text{MPa}$$

8.8.3.2. Cámara de presión regulada

La cámara de presión regulada al igual que la cámara de alta presión soporta esfuerzos longitudinales y tangenciales. Además, se conoce que su geometría es de forma cilíndrica y cumple las mismas fórmulas para dichos recipientes. Por otro lado, la presión de diseño en este caso es la presión a la salida (regulada) equivalente a 0,033 bar. Se procede como en la cámara de alta presión para después ser comparada en una hoja de cálculo. Los principales parámetros para el diseño de la cámara de presión regulada se pueden apreciar en la tabla (19).

Tabla 18: Parámetros para el diseño de la cámara de presión regulada.

Datos		
Presión de Diseño (P)	0,0033	MPa
Temperatura (T)	-20 a 50	°C
Diámetro (ϕ_{pr})	110,096	mm
Resistencia a la fluencia (σ_y)	269	MPa
Resistencia a la tracción ($\sigma = \sigma_{mat}$)	328	MPa

Fuente: Propia.

El esfuerzo tangencial es el mismo que en la cámara de alta presión ya que solo depende del material y del factor de seguridad. Aplicando la ecuación (6) se tiene que:

$$\sigma_1' = 0,0033\text{MPa} * \frac{55,048\text{mm}}{t}$$

Igualando $\sigma_1' = \sigma_1$ y despejando t convenientemente se tiene que:

$$t = 0,0033\text{MPa} * \frac{55,048\text{mm}}{268,667 \text{MPa}}$$

$$t = 6,761 * 10^{-4}\text{mm}$$

8.9. Diafragma

El diafragma debe cumplir con las especificaciones de la NTP 350.074-2 (ANEXO 09).

8.10. Conector de salida

El conector de salida debe cumplir con las dimensiones establecidas con la NTP 350.074-2 (ANEXO 10).

8.11. Selección del manómetro

El rango de presiones que el manómetro debe presentar es de 0 MPa hasta 1 Mpa. Si comparamos el rango de presiones de la norma correspondiente esta afirma que el regulador debe soportar presiones hasta de 10 bares. En este caso 10 bar es equivalente a 1 MPa. Por otro lado, el manómetro presentado muestra un rango de colores para que el usuario pueda identificar en qué momento debe solicitar una recarga de gas. El manómetro seleccionado presenta las siguientes características marcadas en la tabla (20).

Tabla 19: Especificaciones técnicas - manómetro.

Producto	Medidor de presión de gas	
Número de Modelo	PGW-001	
Material	Marco	Cromo-hachado, acero inoxidable
	Tubo	Latón, fósforo, acero inoxidable
	Conexión	Latón
	Puntero	Latón, aluminio, plástico
	Ventana	Vidrio, policarbonato
Tamaño	Diámetro	30mm, 36mm, 40mm, 60mm
	Tamaño de la conexión	1/8", 1/4", 3/8", 1/2"
	Rosca	M8*1
	Rango de presión	0 ~ 200 Mpa
	Precisión	1,6% - 2%
Color	Requerimiento del cliente	

Fuente: Alibaba

8.12. Ajuste de parámetros (hoja de cálculo)

Considerando la ecuación (31) y despejando convenientemente para el diámetro de la cámara de presión regulada expresada en función de sus parámetros; se tiene que:

$$\varnothing_{pr} = \sqrt{\frac{P1(L1 + h1)}{P2 * L2} * \varnothing^2}$$

Como puede verse el \varnothing_{pr} depende de la presión en la entrada (P1), la longitud de la cámara de alta (L1), profundidad de cámara de baja presión (L2) y la altura de la cámara

de alta presión (h_1). Para mejor entendimiento ver figura 41. El diámetro de entrada ϕ^2 es constante ya que se especifica en la normativa.

Condiciones para el ajuste de los parámetros del regulador:

P_1/P_2 es la relación de presiones (r_p) en las dos cámaras. Se puede afirmar que P_1 y r_p son directamente proporcionales, por otro lado, P_2 y r_p son inversamente proporcionales. Dicho de otro modo, si P_1 aumenta la relación de presiones aumenta, pero si P_2 aumenta la relación de presiones disminuye. Estos parámetros contribuyen con el diámetro del regulador puesto que lo relaciona en su ecuación.

Se requiere que $L_2 > L_1$ y $L_2 > h_1$; sumando ambas expresiones se puede obtener la siguiente condición:

$$L_2 > \frac{L_1 + h_1}{2}$$

También se conoce que $L_2 < \phi_{pr}/2$ y $\phi_{pr} < 180$ mm

180 mm es diámetro del asa en un cilindro de GLP convencional.

Con la aplicación de la ecuación (33) se pudo conseguir la siguiente expresión:

$$F_i * a = F_o * b$$

De donde se afirma lo siguiente:

$F_o > F_i$, ya que F_o tiene mayor área de para ejercer presión; por lo tanto, $a > b$ para mantener la igualdad. Además, la suma de ambas distancias tiene que ser menor que el diámetro de la cámara de baja presión. De ser el caso mayor la dimensión del balancín escaparía de los límites del regulador.

$$a + b < \phi_{pr}/2$$

El diámetro (ϕ_{pr}) queda dividido por dos partes simétricas, puesto que la cámara de alta presión se tiene que ubicar en la línea central de la cámara de baja presión.

Los casilleros en celeste son datos de las NTP 350.074, los cuales pueden variar en los rangos ya expuestos con anterioridad. Los casilleros de amarillo son invariables. Los casilleros de azul son asumidos como ya se explicó en el procedimiento de cálculo. Los casilleros de verde son los cálculos más importantes y algunos hacen uso de los casilleros blancos, celestes, amarillos y azules. Los casilleros de plomo son las condiciones a las cuales están amarrados los casilleros de verde.

Tabla 20: Hoja de cálculo para el ajuste de parámetros en el regulador.

<i>Datos</i>		
<i>Presión máxima (Pmax=P1)</i>	15	bar
<i>Presión mínima (Pmin=P2)</i>	0.028	bar
<i>Diámetro de entrada del gas (Ø)</i>	5	mm
<i>Cortante máxima permisible (τ)</i>	220	N/mm2
<i>Módulo de rigidez (G)</i>	82700	N/mm2
<i>Resistencia a la tracción</i>	328	MPa
<i>Resistencia a la fluencia</i>	269	MPa
<i>Asumir</i>		
<i>Lóngitud de la cámara de alta presión (L1)</i>	25	mm
<i>Altura de cámara de alta presión (h1)</i>	20.5	mm
<i>Profundidad de la cámara de presión regulada (L2)</i>	35	mm
<i>Diámetro de salida del gas en la cámara de alta presión (Øsg)</i>	2	mm
<i>Deformación (δ)</i>	10	mm
<i>Longitud balancín (b)</i>	4	mm
<i>Cálculos</i>		
<i>Relación de volúmenes (V2/V1)</i>	535.71	-
<i>Volumen de cámara de alta presión (V1)</i>	893.39	mm3
<i>Volumen en la cámara de presión regulada (Vpr=V2)</i>	95720.4	mm3
<i>Diámetro en la cámara de presión regulada (Øpr)</i>	59.01	mm
<i>Fuerza de presión a la salida (Fo)</i>	7.66	N
<i>Fuerza de presión en la entrada (Fi)</i>	4.71	N
<i>Fuerza de ajuste - resorte (Fs)</i>	2.95	N
<i>Relación de momento en balancín (a/b)</i>	1.63	-
<i>Longitud balancín (a)</i>	6.50	mm
<i>Condiciones</i>		
<i>Longitud del balancín (a+b)</i>	10.50	CUMPLE
<i>Condición (L2)</i>	35	CUMPLE

Fuente: Propia.

La tabla 21 muestra el diseño del resorte de regulación para varios índices. Los parámetros más importantes son el diámetro del alambre (d), diámetro medio (D), número de espiras activas (Na) y la longitud libre (lf). Se escoge un resorte con índice de 14, por presentar menor longitud libre, menor espiras y un diámetro aceptable en comparación con los del mercado.

La tabla 22 muestra los cálculos respectivos para el espesor en las cámaras. Estos espesores se evalúan con la ayuda de una herramienta computacional en donde se encuentra el factor de seguridad mínimo para esas condiciones de trabajo y el espesor asignado. Debido a temas de fabricación y maquinado el espesor mínimo para las cámaras es de 2 mm.

Tabla 21: Diseño del resorte para varios índices.

		1.0603												N/mm
Constante de elasticidad	<i>K</i>													
índice del resorte	<i>C</i>	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	-
Factor de Wahl's	<i>Kw</i>	1.40	1.31	1.25	1.21	1.18	1.16	1.14	1.13	1.12	1.11	1.10	1.09	-
Diámetro del alambre	<i>d</i>	0.83	0.90	0.96	1.02	1.08	1.13	1.19	1.24	1.28	1.33	1.38	1.42	mm
Diámetro medio	<i>D</i>	3.32	4.48	5.76	7.15	8.63	10.20	11.85	13.59	15.41	17.30	19.26	21.29	mm
Diámetro exterior	<i>Do</i>	4.15	5.38	6.72	8.17	9.70	11.33	13.04	14.83	16.69	18.63	20.64	22.71	mm
Número de Espiras	<i>n</i>	126.46	69.94	43.35	29.01	20.53	15.15	11.56	9.05	7.24	5.91	4.89	4.10	Espiras
Número de Espiras activas	<i>Na (redon)</i>	127.00	70.00	44.00	30.00	21.00	16.00	12.00	10.00	8.00	6.00	5.00	5.00	Espiras
Longitud libre	<i>Lf</i>	117.00	74.00	54.00	42.00	34.00	30.00	26.00	24.00	22.00	19.00	18.00	19.00	mm
Paso	<i>p</i>	0.91	1.04	1.21	1.37	1.57	1.80	2.07	2.28	2.59	2.94	3.32	3.52	mm
Diám.ext. long comprimida	<i>De</i>	4.16	5.39	6.74	8.18	9.73	11.36	13.08	14.87	16.74	18.69	20.71	22.79	mm

Fuente: Propia

Tabla 22: Esfuerzos en las cámaras para distintos factores de seguridad.

Cálculos de esfuerzos en las cámaras											
Cámara de alta presión						Cámara de presión regulada					
F.S	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	F.S	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
Esfuerzo longitudinal	298.18	273.33	252.31	234.29	218.67	Esfuerzo longitudinal	298.18	273.33	252.31	234.29	218.67
Espesor (t1)	0.0126	0.0137	0.0149	0.0160	0.017	Espesor (t2)	0.00028	0.00030	0.00033	0.00035	0.00038
Esfuerzo tangencial	149.09	136.67	126.15	117.14	109.33	Esfuerzo tangencial	149.09	136.67	126.15	117.14	109.33

Fuente: Propia.

8.13. CAD

Una vez concluido los cálculos justificativos; se procede a realizar los planos que terminan en la fabricación del regulador de baja presión. A continuación, se detallan los elementos, vistas y el ensamble de cada una de las piezas del regulador de baja presión.

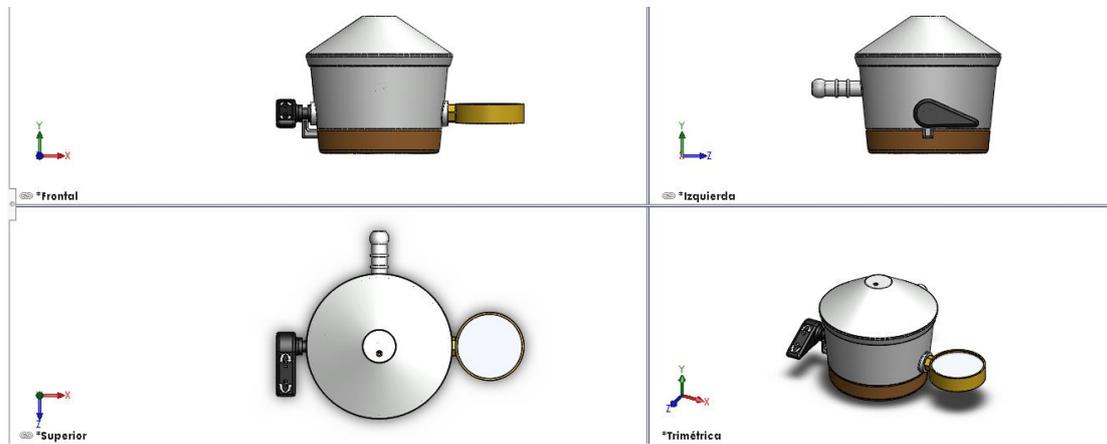


Figura 45: Vistas del regulador de baja presión.
Fuente: Solidworks.

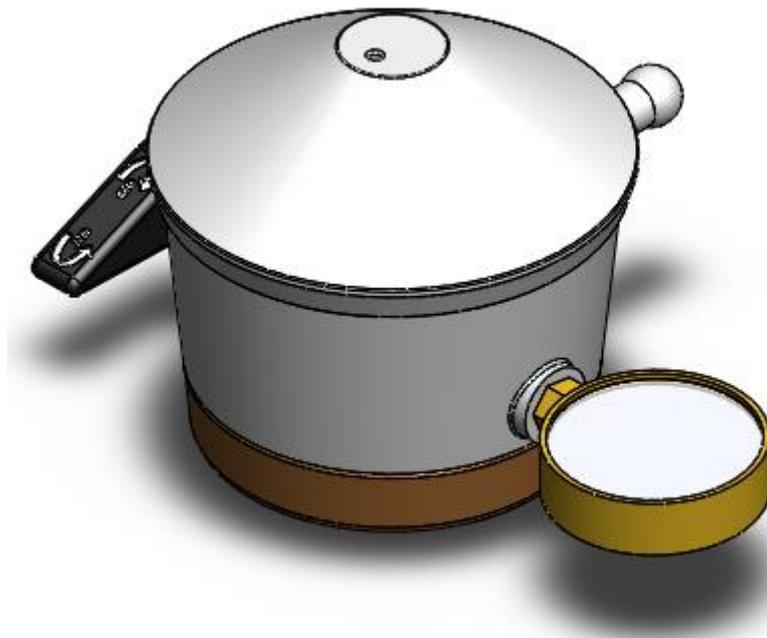


Figura 46: Isométrico del regulador de baja presión.
Fuente: Solidworks.

Detalles de planos se aprecian desde el ANEXO 13 al 29.

La ilustración 47 y 48 muestran al regulador y su vista de sección en un renderizado realista. De ser fabricado el regulador se vería como la imagen 47. El manómetro mostrado en este trabajo es representativo, ya que no se ha diseñado, solamente se ha tomado las especificaciones del fabricante para que el lector tenga una idea de cómo es el producto propuesto en la presente tesis.



Figura 47: Renderizado del regulador de baja presión.
Fuente: Solidworks.

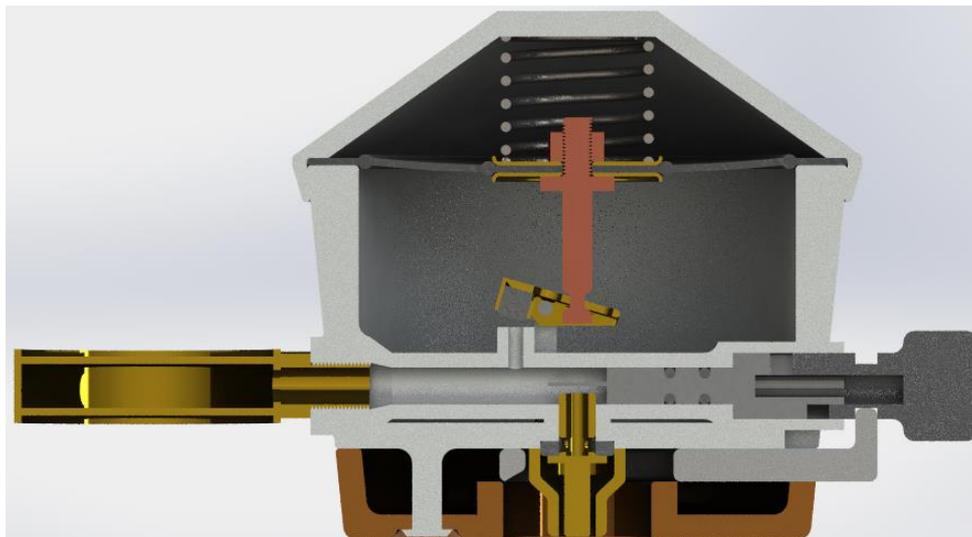


Figura 48: Renderizado de la vista de sección del regulador de baja presión.
Fuente: Solidworks.

IX. SIMULACIÓN MECÁNICA

9.1. Simulación de presión en la cámara de alta

a) Tensión de Von Mises:

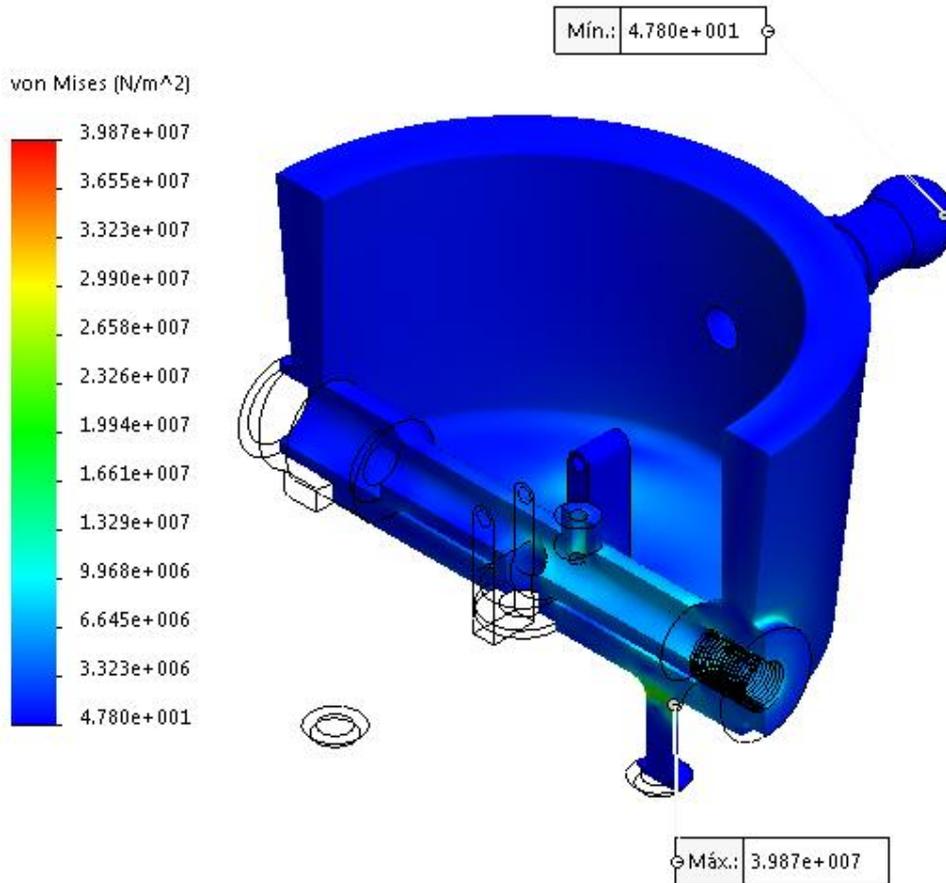


Figura 49: Tensión de Von Mises en la cámara de alta presión.
Fuente: Solidworks.

Comentario: La ilustración 49 muestra el resultado de haber simulado el regulador frente a una carga de presión. Los resultados se muestran en una barra de colores al lado izquierdo del regulador. Como puede verse en la barra el máximo esfuerzo es de $3,987 * 10^7 \text{Pa} \cong 39,87 \text{MPa}$ y el límite de resistencia a la tracción de material o también conocido como límite de fluencia es de 269 MPa (ANEXO 03). Dejando ver que la resistencia del material está muy por encima del esfuerzo que provoca la carga. Esto se debe a que material es una aleación de cobre (Cu), aluminio (Al) y Zinc (Zn) otorgándole características resistentes ante otros materiales. Si hacemos una comparación con los cilindros de GLP vehicular los cuales están diseñados y probado a una presión de 20 bar, el espesor está muy por encima de nuestro regulador; pero la ventaja que este presenta es la distinta composición de elementos metálicos frente al otro. El resultado de una forma tácita valida el diseño propuesto en la presente tesis.

b) Desplazamientos:

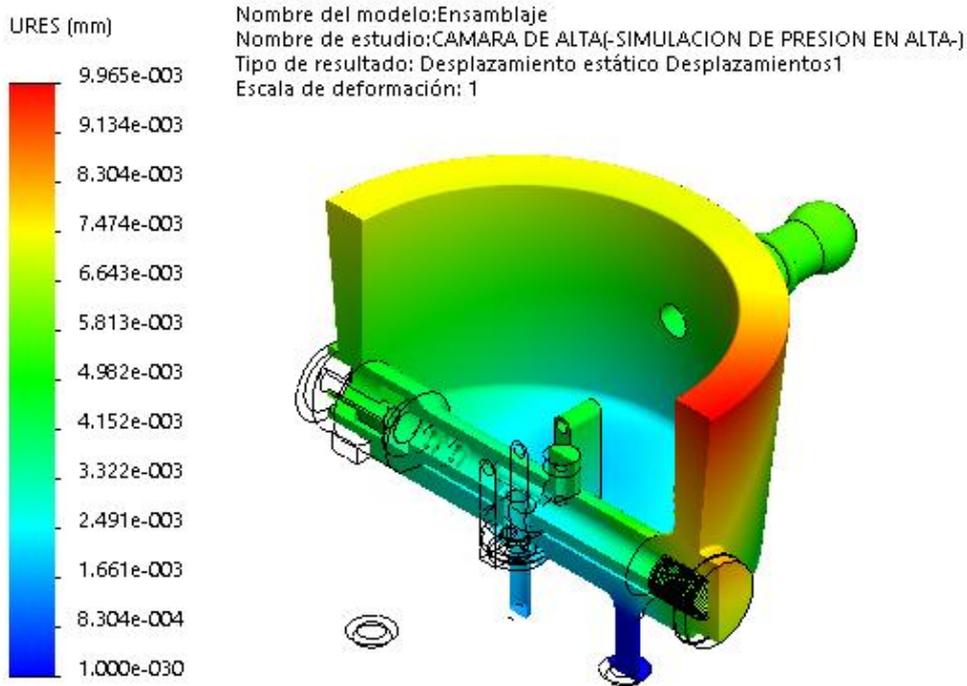


Figura 50: Desplazamientos cámara de alta presión.
Fuente: Solidworks.

Comentario: La ilustración 50 muestra el resultado de los desplazamientos producto de la aplicación de una presión de 20 bar. Como puede verse en la paleta de colores los desplazamientos son mínimos, casi imperceptibles al ojo humano. El máximo desplazamiento es de $9,965 * 10^{-3} mm \cong 10^{-2} mm$. Esto se puede interpretar que para un espesor de 2 mm al estar sometido a una carga de 20 bar este se deformará 0,01 mm y la zona de donde esto ocurre es en el conector del manómetro. La teoría de esfuerzos nos dice que estos se incrementan en los cambios de sección. En nuestro caso la zona de máximo desplazamiento coincide con el acople del manómetro justificando el máximo desplazamiento.

c) Deformación Unitaria

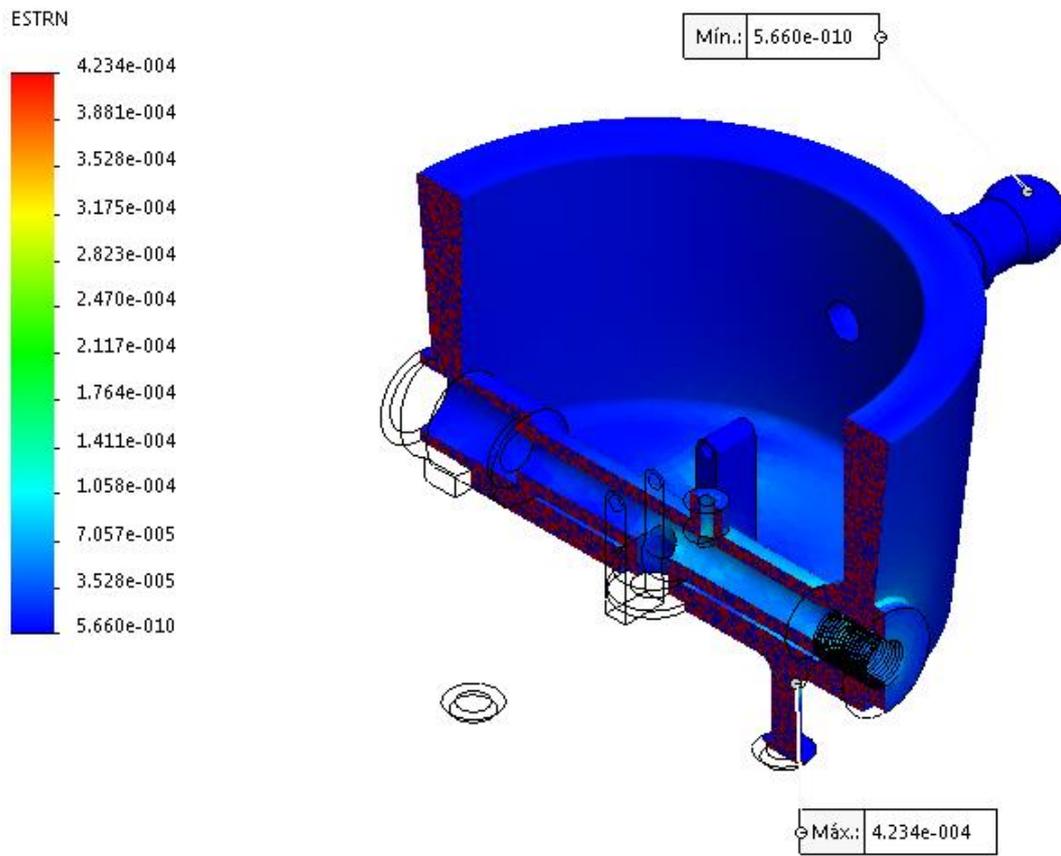


Figura 51: Deformación unitaria en el regulador de baja presión.
Fuente: Solidworks.

Comentario: La ilustración 51 muestra la deformación unitaria en una escala de 1132 en donde apreciamos como se deforma la cámara de alta presión. La deformación unitaria es la relación entre el cambio de longitud frente a una longitud inicial sin deformar. Todos los materiales tienden a deformarse, aunque en algunos es muy fácil apreciar la deformación en otros se tiene que llevar a una escala muy por encima de la normal para que se pueda evidenciar. En nuestro caso la deformación unitaria es de $4,234 * 10^{-4}$.

d) Factor de seguridad:

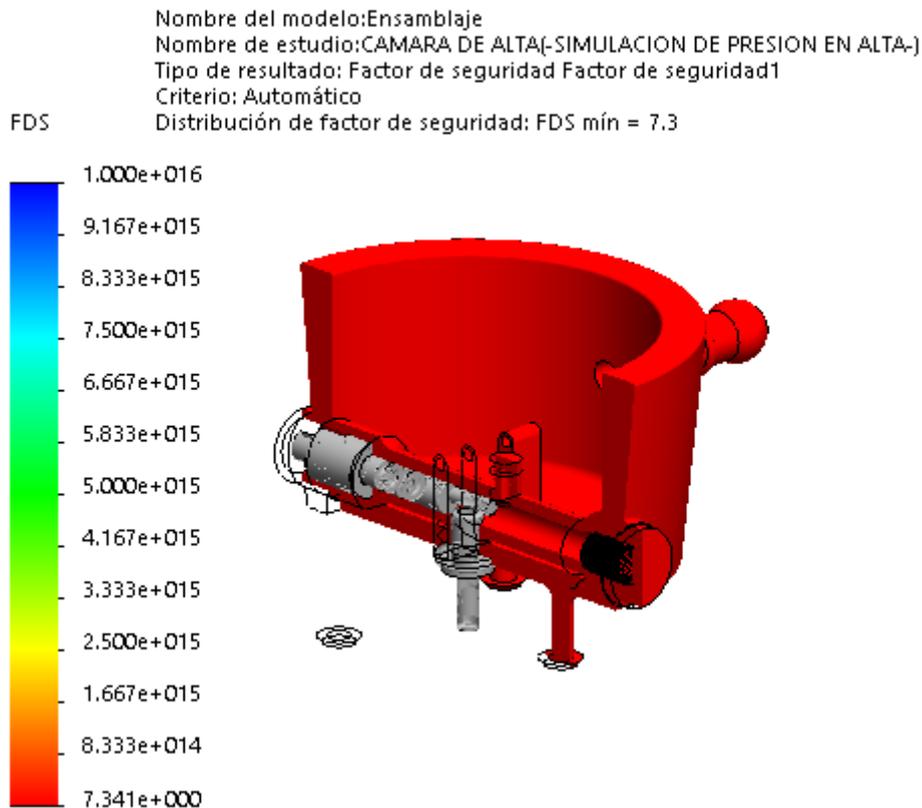


Figura 52: Factor de Seguridad para un espesor de 2 mm.
Fuente: Solidworks.

- Comentario: El factor de seguridad es la relación existente entre el $\frac{\sigma_{lim}}{\sigma_{von\ misses}}$ tomando como referencia el ANEXO 03 el esfuerzo lim o resistencia a la fluencia es 269 MPa y en la ilustración 49 el software determinó que el esfuerzo de Von Misses es de 39,87 MPa. Dividiendo conforme establece la relación del factor de seguridad es de 6,74. El factor de seguridad mínimo calculado por el software es de 7,3 lo que se traduce que el material soportar 7,3 veces el máximo esfuerzo en la cámara de alta presión. La variación entre ambos factores de seguridad calculados se debe a que las tablas utilizadas por el fabricante se aproximan a los valores que tiene por defecto la lista de materiales en la biblioteca de Solidworks.

9.2. Simulación en el balancín de regulación

a) Von Mises

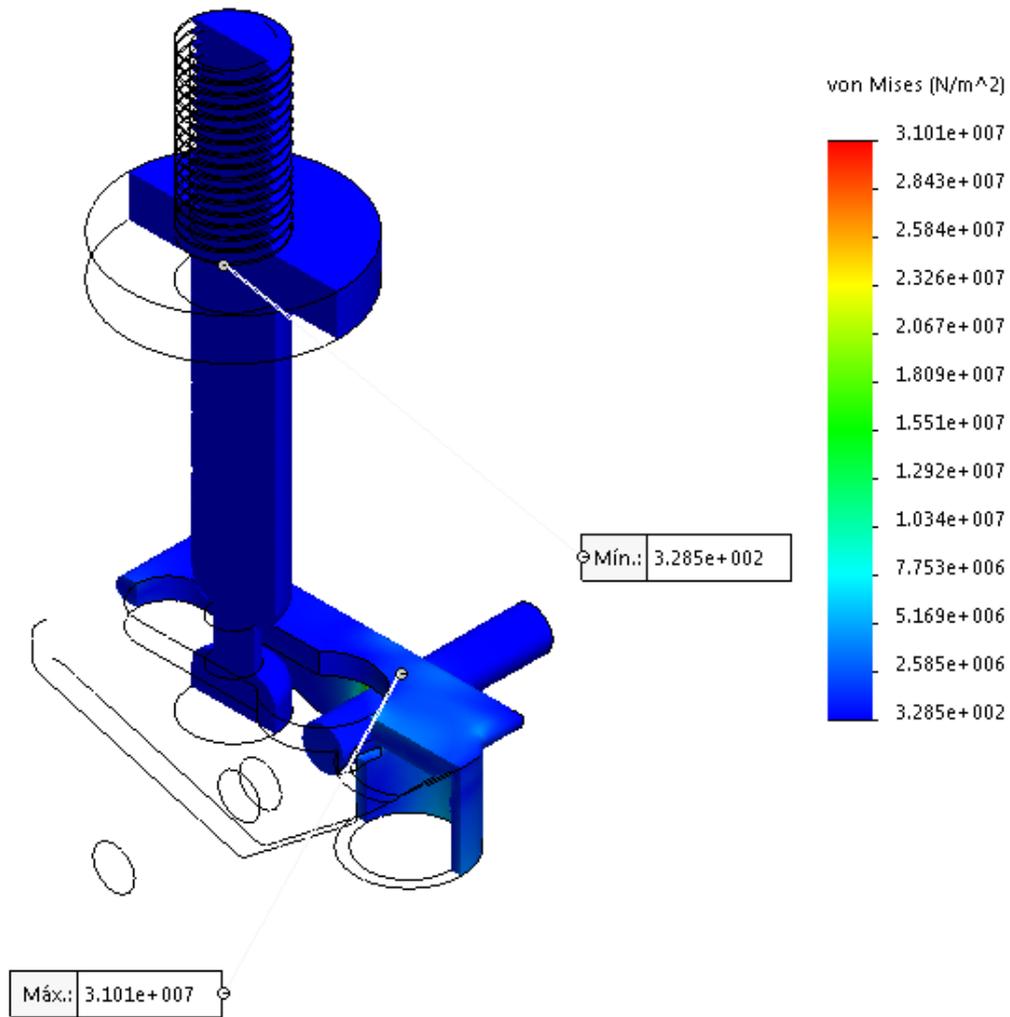


Figura 53: Esfuerzo de Von Mises en balancín de regulación.

Fuente: Solidworks.

Comentario: El balancín es el elemento encargado de realizar la obturación del GLP a la salida de la cámara de alta presión; tal motivo demanda que dicho elemento esté diseñado correctamente. La paleta de colores del esfuerzo de Von Mises (ilustración 51) muestra que el máximo esfuerzo es de $3,101 \cdot 10^7 \text{ Pa} \cong 31,01 \text{ MPa}$. Este esfuerzo es producido por la fuerza de salida (F_o) y una fuerza de ajuste (F_s) que sumados arrojan 10,61 N (Tabla 21). Pero este fuerza logra ser muy similar al de la cámara de alta presión ya que el elemento que soporta el esfuerzo es un elastómero.

b) Desplazamientos:

Nombre del modelo:Ensamblaje
Nombre de estudio:BALANCIN(-BALANCIS-)
Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
Escala de deformación: 1

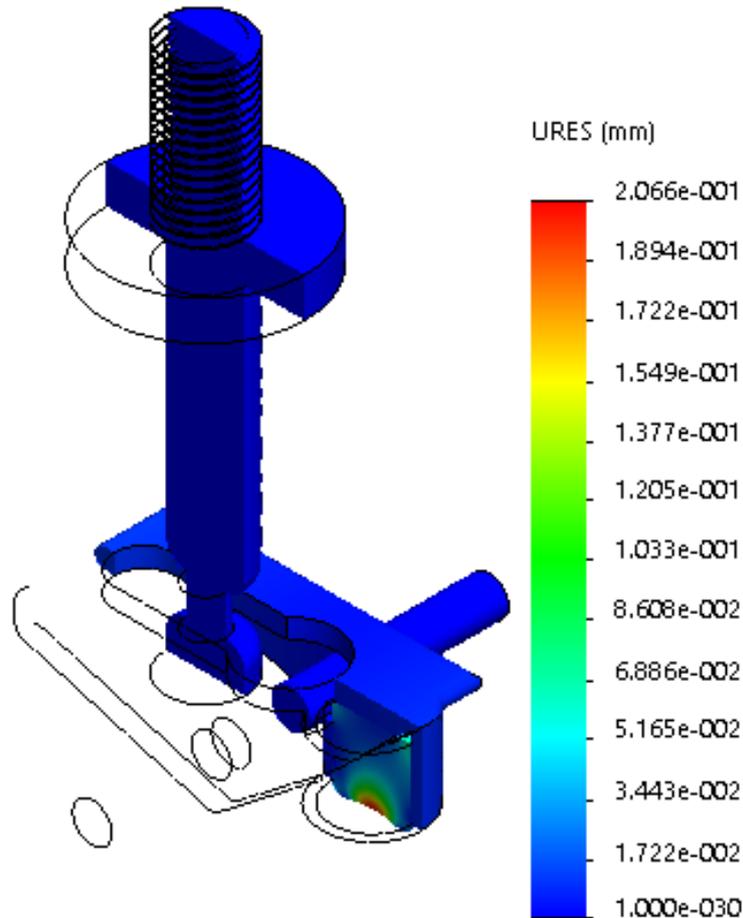


Figura 54: Desplazamiento en el balancín de regulación.
Fuente: Solidworks.

Comentario: La ilustración 53 nos muestra el esfuerzo de Von Mises en el elastómero y en la ilustración 54 podemos apreciar los desplazamientos que se dan en dicha zona cuyo desplazamiento máximo es de $2,066 \cdot 10^{-1} \text{ mm} \cong 0,2066 \text{ mm}$ siendo está menos de 1 mm. Si el balancín en su cabezal tuviera un elemento sólido este presentaría demasiado desgaste ya que constantemente estaría en contacto con la salida de la cámara de alta presión. Pero al ser de un material elástico por su misma composición tiene a deformarse y en nuestro caso es muy insignificante.

c) Factor de seguridad:

Nombre del modelo:Ensamblaje
Nombre de estudio:BALANCIN(-BALANCIS-)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Automático
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 7.7

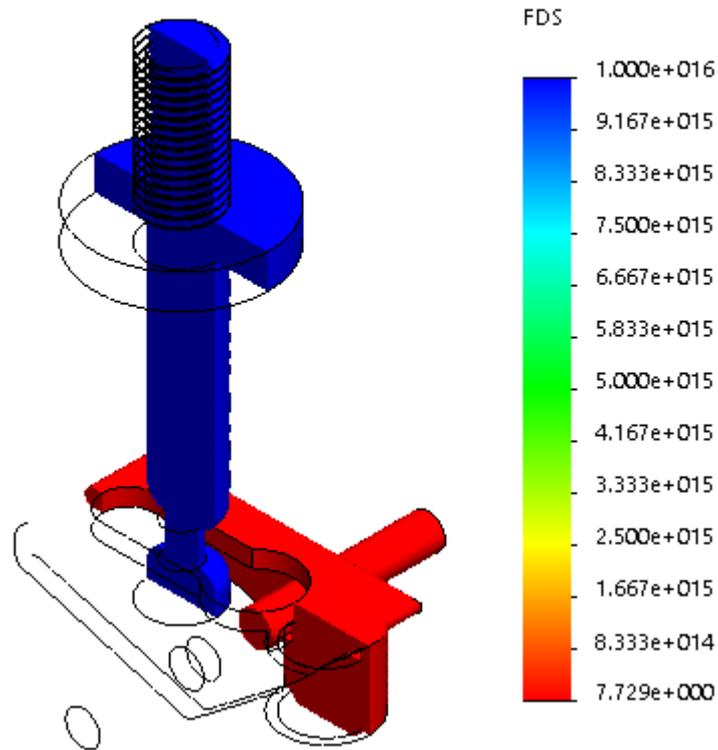


Figura 55: Factor de seguridad para el balancín de regulación.
Fuente: Solidworks.

Comentario: Como ya se mencionó con anterioridad el máximo esfuerzo se da en la zona del cabezal y en la ilustración 55 se aprecia de color rojo los esfuerzos producto de esto el software determina un factor de seguridad de 7,7 siendo este muy aceptable ya que los esfuerzos solo se dan en la zona del cabezal y no en el pasador ni en la leva. Como se ya se mencionó un factor de seguridad de 7,7 deja ver que el elastómero en la zona del cabezal soporta un esfuerzo de 7,7 veces el esfuerzo de Von Misses. Relacionando el factor de seguridad y el esfuerzo de Von Misses se puede determinar que el esfuerzo límite del material es de 238,777 MPa.

X. SISTEMA DE MEDICIÓN

Modelamiento Numérico

Tabla 23: Parámetros para modela numérico

INICIO (TANQUE LLENO)	FIN (TANQUE VACIO)
$P_i = 10 \text{ bar}$	$P_f = 1 \text{ bar}$
$M_i = 10 \text{ kg}$	$M_f = X \text{ kg}$
$T_i = 37,8 \text{ }^\circ\text{C}$	$T_f = 21 \text{ }^\circ\text{C}$
$V_i = 24,4 \text{ dm}^3$	$V_f = 24,4 \text{ dm}^3$

Fuente: Propia.

Aplicando la ecuación de los gases ideales se tiene que:

$$\frac{P_i * V_i}{T_i} = \frac{P_f * V_f}{T_f} = \text{Cte}$$

Variando los parámetros de P,V,T se tiene que:

$$\frac{P_i * V_i}{T_i} = \frac{P(i-1) * V(i-1)}{T(i-1)} \quad (36)$$

Despejando V(i-1) se tiene que:

$$V(i-1) = \frac{P_i * V_i * T(i-1)}{P(i-1) * T_i} \quad (37)$$

La ecuación que describe la disminución de temperature desde las condiciones iniciales (37,8 °C) hasta las finales (21 °C), se determina a partir de la siguiente tabla:

Tabla 24: Variación de la T° al cambio de presión.

Presión (bar)	Temperatura (°C)
10	37.8
8.8	34.5
6.7	31.3
4.7	28.9
3.4	26.4
1.98	23.9
1.56	22.6
1.21	21.7
1.09	21.3
1.04	21.1
1	21

Fuente: Osinergmin

Graficando los valores en Excel:

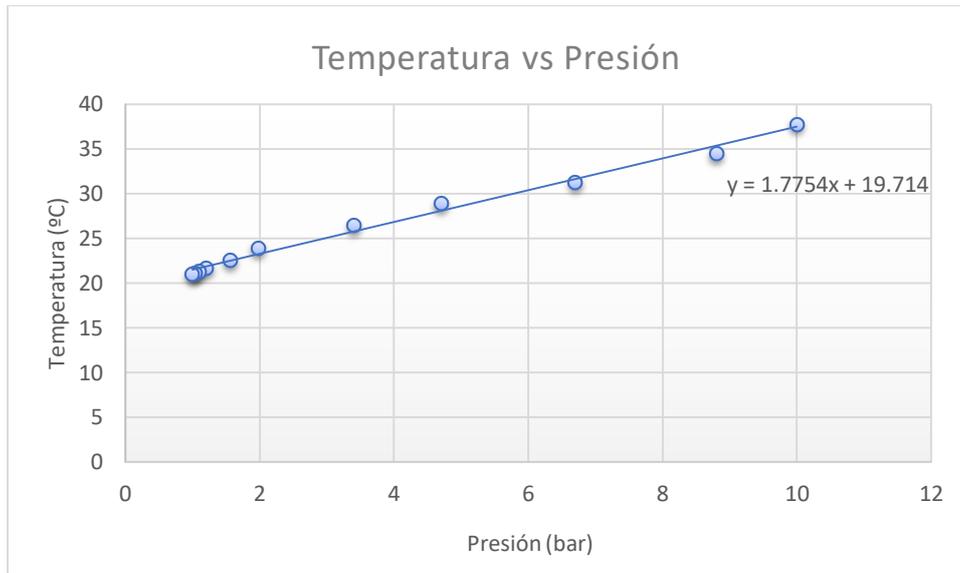


Figura 56: Gráfica Temperatura vs Presión (GLP).
Fuente: Propia.

La función $y=1.7754X+19.714$ no es suficiente para describir el comportamiento de la presión (P) y la temperatura (T); la curva generada se ajustara a una función cuadrática como en el siguiente gráfico:

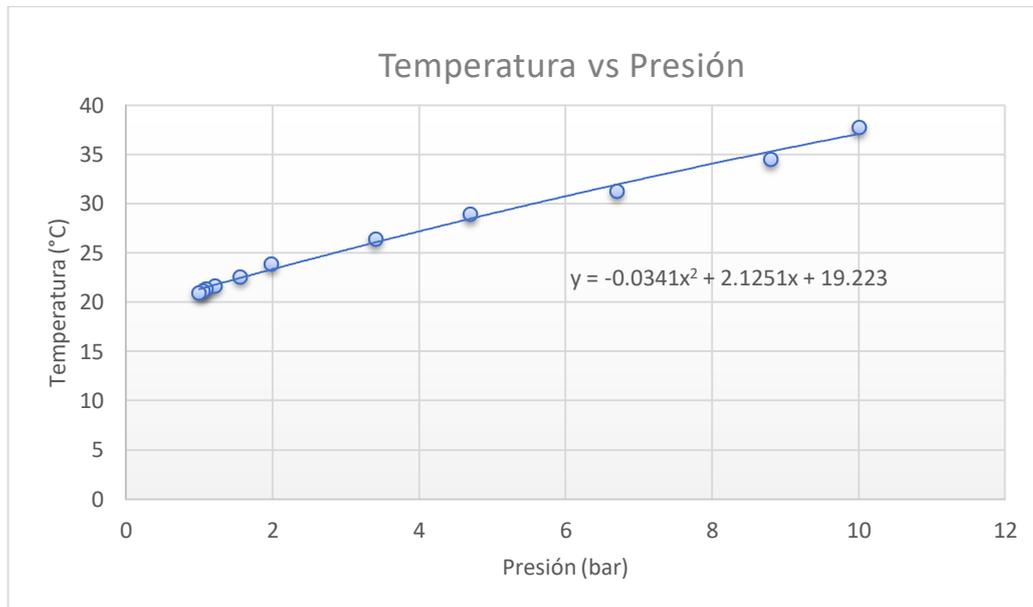


Figura 57: Gráfica Temperatura vs Presión (GLP).
Fuente: Propia

Es decir, si reemplazamos “Y” por la variable Temperatura (°C), “X” por la variable presión (bar) se tiene que:

$$T = -0.0341P^2 + 2.1251P + 19.223. \quad (38)$$

La ecuación (38) representa la tendencia de la Temperatura al variar la presión en el interior del cilindro de GLP.

Por otro lado, por la relación de la ley de los gases, se tiene que:

$$V(i - 1) = \frac{P_i * V_i * T(i - 1)}{P(i - 1) * T_i}$$

$$V(i - 1) = \frac{10 * 24,4 * (-0,0341P^2 + 2,1251P + 19,223 + 273)}{P(i - 1) * (37,8 + 273)}$$

$$V = \frac{0,785 * (-0,0341P^2 + 2,1251P + 292,2)}{P(i - 1)} \quad (39)$$

Tabulando para distintas presiones se tiene que:

Tabla 25: Masa de GLP en función de los cambios de Presión y Temperatura.

P (Mpa)	P (Bar)	Factor (F) : $0,785x(-0,0341xP^2+2,1251xP+292,2))/P$	Masa: $P \times (24,4 / F)$ (kg)
1	10	24.3382185	10.02538456
	9.9	24.57258929	9.830465856
	9.8	24.81168853	9.637393269
	9.7	25.05566245	9.446168125
	9.6	25.3046634	9.256791774
	9.5	25.55885012	9.069265594
	9.4	25.81838811	8.88359099
	9.3	26.08345	8.699769395
	9.2	26.35421591	8.517802267
	9.1	26.63087389	8.337691093
0.9	9	26.91362033	8.159437388
	8.9	27.20266048	7.983042694
	8.8	27.49820888	7.80850858
	8.7	27.80048996	7.635836644
	8.6	28.10973859	7.465028512
	8.5	28.42620066	7.296085835
	8.4	28.75013381	7.129010297
	8.3	29.08180808	6.963803606
	8.2	29.42150668	6.800467501
	8.1	29.7695268	6.639003748
0.8	8	30.1261805	6.479414143
	7.9	30.49179564	6.321700508
	7.8	30.86671689	6.165864697
	7.7	31.25130683	6.011908591
	7.6	31.64594711	5.8598341
	7.5	32.05103975	5.709643164
	7.4	32.46700849	5.561337751
	7.3	32.8943003	5.414919861
	7.2	33.33338697	5.27039152
	7.1	33.78476687	5.127754786
0.7	7	34.24896686	4.987011746

	6.9	34.72654433	4.848164517
	6.8	35.21808946	4.711215245
	6.7	35.72422768	4.576166109
	6.6	36.24562231	4.443019315
	6.5	36.78297748	4.311777101
	6.4	37.33704135	4.182441735
	6.3	37.90860957	4.055015516
	6.2	38.49852912	3.929500774
	6.1	39.10770254	3.80589987
0.6	6	39.7370925	3.684215195
	5.9	40.38772698	3.564449172
	5.8	41.06070482	3.446604256
	5.7	41.757202	3.330682932
	5.6	42.47847847	3.216687719
	5.5	43.22588584	3.104621164
	5.4	44.00087582	2.994485849
	5.3	44.8050097	2.886284388
	5.2	45.63996884	2.780019427
	5.1	46.5075665	2.675693642
0.5	5	47.409761	2.573309745
	4.9	48.3486705	2.472870479
	4.8	49.3265897	2.37437862
	4.7	50.34600857	2.277836978
	4.6	51.40963362	2.183248393
	4.5	52.52041192	2.090615743
	4.4	53.68155846	1.999941937
	4.3	54.89658732	1.911229916
	4.2	56.16934723	1.824482659
	4.1	57.50406241	1.739703176
0.4	4	58.9053795	1.656894512
	3.9	60.37842173	1.576059746
	3.8	61.92885162	1.497201992
	3.7	63.56294383	1.420324399
	3.6	65.28767023	1.345430151
	3.5	67.11079946	1.272522466
	3.4	69.04101413	1.201604598
	3.3	71.08804927	1.132679836
	3.2	73.2628568	1.065751506
	3.1	75.5778018	1.000822969
0.3	3	78.046898	0.937897622
	2.9	80.68609209	0.876978896
	2.8	83.51360884	0.818070264
	2.7	86.55037299	0.761175229
	2.6	89.82052848	0.706297336
	2.5	93.35208225	0.653440165
	2.4	97.1777091	0.602607332
	2.3	101.3357664	0.553802492
	2.2	105.8715855	0.507029339
	2.1	110.8391325	0.462291601
0.2	2	116.3031665	0.419593047

	1.9	122.3420802	0.378937484
	1.8	129.0516869	0.340328756
	1.7	136.5503441	0.303770747
	1.6	144.9859989	0.26926738
	1.5	154.5460507	0.236822616
	1.4	165.4714419	0.206440456
	1.3	178.0772506	0.178124942
	1.2	192.7835813	0.151880154
	1.1	210.1633036	0.127710212
0.1	1	231.018435	0.105619277
0	0	-	-

Fuente: Propia

XI. VALORACIÓN ECONÓMICA

11.1. Inversión Inicial del proyecto

La inversión inicial representa la cantidad necesaria para llevar a cabo el proyecto. Para tal caso se ha considerado los siguientes ítems como inversión inicial:

- Implementación Centro de Producción: Comprende las instalaciones para llevar a cabo la producción del regulador de baja presión. Ejemplo: sistemas de iluminación, computadoras, escritorios, accesorios de seguridad, alquiler de local, etc.
- Máquinas y herramientas: Comprende la adquisición de los medios para la elaboración del regulador de baja presión. Aquí podemos citar Torno, esmeriles, CNC, desarmadores, etc.
- Materiales e insumos: aquí encontramos la materia prima para la producción de reguladores de baja presión. Aleación de Zinc N° 5, manómetro, diafragma, O`rings, etc.
- Mano de obra: Personal que lleva a cabo las operaciones para la producción del regulador de baja presión.
- Energía Eléctrica: Costo mensual que se realiza a la empresa concesionaria por el consumo de la energía eléctrica.
- Capacitación: Costo que demanda capacitar al personal debido a una actividad específica.

Tabla 26: Inversión inicial necesaria del proyecto.

INVERSIÓN INICIAL DEL PROYECTO					
N°	Items	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (S/.)	Precio Total (S/.)
1	Implementación de Centro de Producción	Und	1	S/ 17,000.00	S/ 17,000.00
2	Máquinas y Herramientas	Und	1	S/ 70,268.00	S/ 70,268.00
3	Materiales e Insumos	Und	1	S/ 30,468.55	S/ 30,468.55
4	Mano de Obra	Und	2	S/ 3,360.00	S/ 6,720.00
5	Energía Eléctrica	kW-H	200	S/ 0.57	S/ 114.00
6	Capacitación	Und	2	S/ 1,000.00	S/ 2,000.00
Total					S/ 126,570.55

Fuente: Propia.

Detalle de Costos Unitario en el Anexo

11.2. Ingresos y egresos estimados

Se proyecta elaborar al mes 1000 reguladores de baja presión, el cual tiene un precio de venta de /s. 63.00 nuevos soles (precio competitivo), es decir se tendría un ingreso mensual de $1000 \times 63 =$ /s. 63, 000.00 soles mensuales.

Tabla 27: Ingresos Mensuales.

INGRESOS MENSUALES					
N°	Items	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (S/.)	Precio Total (S/.)
1	Reguladores Fabricados/mes	Und	1000	S/ 63.00	S/ 63,000.00

Fuente: Propia.

En cuanto a los egresos, se tiene por el costo del material (insumos), mano de obra y costo de la energía eléctrica.

Para elaborar un regulador de baja presión, el costo de los materiales es de 26.218 soles, es decir que para la elaboración de 1000 reguladores se requiere /s. 26,218.25 nuevos soles; en cuanto a la mano de obra, será necesario la participación de 2 operarios y un supervisor, con un costo total de /s. 3,360.00 nuevos soles al mes. Se proyecta un consumo de 200 kW-H, que representa un valor de /s. 114.00 nuevos soles. El costo del alquiler del centro de producción es de 1,500.00 nuevos soles mensuales. Es decir los egresos mensuales serán de $26,218.25 + 3,360.00 + 114.00 + 1,500.00 = /s. 31,192.25$ nuevos soles.

Tabla 28: Egresos mensuales.

EGRESOS MENSUALES					
N°	Items	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (S/.)	Precio Total (S/.)
1	Costo unitario de materiales/mes	Und	1000	S/ 26.22	S/ 26,218.25
2	Mano de Obra/mes	Und	1	S/ 3,360.00	S/ 3,360.00
3	Consumo de Energía Eléctrica	kW-H	200	S/ 0.57	S/ 114.00
4	Alquiler Centro de Producción	-	1	S/ 1,500.00	S/ 1,500.00
Total					S/ 31,192.25

Fuente: Propia.

11.3. Flujo de Caja:

Representan las entradas y salidas netas del dinero para el proyecto en mención. El proyecto se está evaluando a 18 meses. Como se puede observar en el Flujo de Caja del Proyecto se tiene un Saldo acumulado mensual de 25,336.00 soles al mes. El saldo acumulado es el mismo mes a mes.

Tabla 29: Flujo de caja del proyecto.

FLUJO DE CAJA																					
I. Detalle de Ingresos	Mes 01		Mes 02		Mes 03		Mes 04		Mes 05		Mes 06		Mes 07		Mes 08						
1.1. Ingresos por ventas	S/	63,000.00																			
1.2. Cobro de Deudas	S/	-																			
1.3. Otros Ingresos	S/	-																			
1.0. Total de Ingresos	S/	63,000.00																			
II. Detalle de Egresos	Mes 09		Mes 10		Mes 11		Mes 12		Mes 13		Mes 14		Mes 15		Mes 16		Mes 17		Mes 18		
2.1. Materiales	S/	26,218.25																			
2.2. Mano de Obra	S/	3,360.00																			
2.3. Consumo de Energía Eléctrica	S/	114.00																			
2.4. Alquiler Centro de Producción	S/	1,500.00																			
2.0. Total de Egresos	S/	31,192.25																			
3.0. SALDO NETO	S/	31,807.75																			
4.0 SALDO ACUMULADO	S/	31,807.75																			
S/	63,000.00	S/	63,000.00	S/	63,000.00	S/	63,000.00	S/	63,000.00	S/	63,000.00	S/	63,000.00	S/	63,000.00	S/	63,000.00	S/	63,000.00	S/	63,000.00
S/	-	S/	-	S/	-	S/	-	S/	-	S/	-	S/	-	S/	-	S/	-	S/	-	S/	-
S/	-	S/	-	S/	-	S/	-	S/	-	S/	-	S/	-	S/	-	S/	-	S/	-	S/	-
S/	63,000.00	S/	63,000.00	S/	63,000.00	S/	63,000.00	S/	63,000.00	S/	63,000.00	S/	63,000.00	S/	63,000.00	S/	63,000.00	S/	63,000.00	S/	63,000.00
S/	26,218.25	S/	26,218.25	S/	26,218.25	S/	26,218.25	S/	26,218.25	S/	26,218.25	S/	26,218.25	S/	26,218.25	S/	26,218.25	S/	26,218.25	S/	26,218.25
S/	3,360.00	S/	3,360.00	S/	3,360.00	S/	3,360.00	S/	3,360.00	S/	3,360.00	S/	3,360.00	S/	3,360.00	S/	3,360.00	S/	3,360.00	S/	3,360.00
S/	114.00	S/	114.00	S/	114.00	S/	114.00	S/	114.00	S/	114.00	S/	114.00	S/	114.00	S/	114.00	S/	114.00	S/	114.00
S/	1,500.00	S/	1,500.00	S/	1,500.00	S/	1,500.00	S/	1,500.00	S/	1,500.00	S/	1,500.00	S/	1,500.00	S/	1,500.00	S/	1,500.00	S/	1,500.00
S/	31,192.25	S/	31,192.25	S/	31,192.25	S/	31,192.25	S/	31,192.25	S/	31,192.25	S/	31,192.25	S/	31,192.25	S/	31,192.25	S/	31,192.25	S/	31,192.25
S/	31,807.75	S/	31,807.75	S/	31,807.75	S/	31,807.75	S/	31,807.75	S/	31,807.75	S/	31,807.75	S/	31,807.75	S/	31,807.75	S/	31,807.75	S/	31,807.75
S/	31,807.75	S/	31,807.75	S/	31,807.75	S/	31,807.75	S/	31,807.75	S/	31,807.75	S/	31,807.75	S/	31,807.75	S/	31,807.75	S/	31,807.75	S/	31,807.75

Fuente: Propia

11.4. Cálculo de indicadores económicos

11.4.1. Valor actual Neto (VAN)

Determina cuanto se va a ganar o perder originados por una inversión.

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t} = -I_0 + \frac{F_1}{(1+k)^1} + \frac{F_2}{(1+k)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1+k)^n} \quad (36)$$

Donde:

- Ft: Flujo de dinero por mes (t).
- Io: Inversión Inicial realizada (t=0).
- n: número de meses.
- k: interés de la inversión (tasa del banco)

Tabla 30: VAN

VAN		0	1	2	3	4	16	17	18
Inversión Inicial		S/ 126,570.55							
Ingresos			S/ 63,000.00	S/ 63,000.00	63000	63000	63000	63000	63000
Egresos	Materiales e Insumos	S/ 26,218.25	26218.24818	26218.24818	26218.24818	26218.24818	26218.24818	26218.24818	26218.24818
	Mano de obra	S/ 3,360.00	3360	3360	3360	3360	3360	3360	3360
	Energía eléctrica	S/ 114.00	114	114	114	114	114	114	114
	Total egresos	S/ 29,692.25	29692.24818	29692.24818	29692.24818	29692.24818	29692.24818	29692.24818	29692.24818
Io/Flujo de caja		-126570.5482	S/ 33,307.75	S/ 33,307.75					
								S/276,858.04	
								VNA(0.035,D11:AN11)	
								S/150,287.49	

Fuente: Propia.

El valor actual neto, está dado por la diferencia de los costos anualizados y la inversión del proyecto, es decir $276,858.04 - 126,570.055 = S/. 150,287.49$ nuevos soles.

11.4.2. Tasa Interna de Retorno (TIR)

Interés o rentabilidad que ofrece una inversión. Es el porcentaje de beneficio o pérdida que tendrá una inversión.

$$TIR = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+TIR)^t} = -I_0 + \frac{F_1}{(1+TIR)^1} + \frac{F_2}{(1+TIR)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1+TIR)^n} = 0 \quad (37)$$

Donde:

- Ft: Flujo de dinero por mes (t).
- Io: Inversión Inicial realizada (t=0).
- n: número de meses.
- K: interés de la inversión (tasa de, banco)

Tabla 31: TIR.

TIR		0	1	2	3	4	16	17	18
Ítem / Mes									
Inversión Inicial	S/	126,570.55							
Ingresos		S/ 63,000.00	S/ 63,000.00	63000	S/ 63,000.00	63000	63000	63000	63000
Egresos	Materiales e Insumos	S/ 26,218.25	26218.24818	26218.24818	26218.24818	26218.24818	26218.24818	26218.24818	26218.24818
	Mano de obra	S/ 3,360.00	3360	3360	3360	3360	3360	3360	3360
	Energía eléctrica	S/ 114.00	114	114	114	114	114	114	114
	Total egresos		29692.24818	29692.24818	29692.24818	29692.24818	29692.24818	29692.24818	29692.24818
lo/Flujo de caja		-126570.5482	S/ 33,307.75	S/ 33,307.75					
								24%	
								TIR(D11:AN11)	

Fuente: Propia.

11.4.3. Relación Costo Beneficio

Resulta de la división del Valor Actual Neto (ingresos totales) con los Costos de inversión inicial y mide la rentabilidad de un proyecto.

Matemáticamente se define como:

$$B/C = \frac{VAN}{Inv. Ini} \quad (38)$$

Donde:

- B/C: Relación Beneficio/Costo.
- VAN: Valor Actual Neto.
- Inv. Ini: Inversión inicial del proyecto.

Tabla 32: Relación Costo Beneficio.

Relación Costo Beneficio	
Beneficio	S/ 150,287.49
Costo (Inv. Inicial)	S/ 126,570.55
Relación Beneficio-Costo	1.187

Fuente: Propia.

i. Variación porcentual por marca en el mercado

La tabla 31 muestra la variación porcentual de la propuesta en mención a comparación con reguladores presentes en el mercado.

Tabla 33: Variación en % según marca en el mercado.

VARIACIÓN % POR MARCA EN EL MERCADO					
MARCA	HUMBOLDT	SGA	SPAR. REGUL	SOLGAS	LIMA GAS
Precio Mercado	42.9	44.9	39.9	45	40
Propuesta	63	63	63	63	63
Variación	20.1	18.1	23.1	18	23
Variación Porcentual	46.85%	40.31%	57.89%	40.00%	57.50%

Fuente: Propia.

XII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones:

- a) El diagnóstico realizado sobre la situación actual del consumo de GLP en los hogares peruanos determinó que en promedio una familia peruana consume un cilindro de GLP al mes, según la encuesta residencial de consumo (ERCUE-OSINERGMIN). El diagnóstico también determinó que, de las fuentes más utilizadas para cocción de alimentos, el GLP representa el 74% de preferencia a nivel nacional; por otro lado en el Perú el 18% de la población utiliza reguladores premium.
- b) Se logró diseñar el regulador de baja presión bajo los estándares marcados por la NTP 350.074; obteniendo los siguientes resultados:
 - Diámetro de la cámara de alta presión: 5 mm.
 - Diámetro de la cámara de baja presión: 59 mm.
 - Relación de momento en el balancín (a/b): 1,63
 - Relación de volúmenes: 535,71
 - Fuerza de ajuste, entrada y salida de: (0 – 10) N
 - Detalles de planos se muestran en los anexos 13 al 29.
- c) Se logró simular el regulador de baja presión en donde se comprobó los cálculos justificativos de la presente tesis. Los factores de seguridad tanto para la cámara de alta presión como para el balancín son de 7,3 y 7,7 respectivamente.
- d) A través de la ecuación (39) y la tabla 25 se puede determinar la relación que existe entre la presión y la masa de GLP.
- e) El análisis económico realizado al regulador determinó que el costo de venta asciende a S/.63.00 nuevos soles, costo superior a los existentes en el mercado. La adquisición del regulador por las familias peruanas supone un incremento de S/. 20.46 nuevos soles en promedio; pero a comparación con los beneficios que este le brinda el producto es accesible.

Recomendaciones:

- 1) Para reducir costos de fabricación se puede utilizar aluminio duro; ya que los reguladores que se usan en los sistemas de conversión gasolina – GNV resisten perfectamente las presiones de trabajo.
- 2) El regulador está diseñado para ser usado sólo en cilindros premium; ya que el diámetro de entrada del regulador es de 20 mm.
- 3) El regulador está diseñado para ser usado por las familias peruanas mas no se le debe realizar cualquier tipo de mantenimiento; dichas acciones pueden dañar las partes flexibles y ocasionar fuga alguna.
- 4) Se recomienda tomar las lecturas con la cocina sin encender para evitar errores de medición debido al contacto con la presión atmosférica.

XIII. BIBLIOGRAFÍA

- [1] ENERGIMINAS, «Acciones de Osinergmin contra informalidad en el mercado del GLP no son suficientes, aduce SPGL,» *ENERGIMINAS*, nº 1, 22 Agosto 2019.
- [2] F. A. Paz Quiroz, «Establecen disposiciones relacionadas a la información al consumidor de cilindros de GLP,» *El Peruano*, p. 88, 17 Noviembre 2016.
- [3] R. G. Budynas y J. Keith Nisbett, *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*, Mexico: Mc Graw Hill, 2008.
- [4] EMERSON, *TECHNICAL CATALOG*, EMERSON.
- [5] K. Shaw, «FUNDAMENTAL PRINCIPLES OF PRESSURE REGULATORS,» *American School of Gas Measurement Technology*, p. 32, 2003.
- [6] F. Beer, R. Johnston, J. DeWolf y D. Mazurek, *MECÁNICA DE MATERIALES*, México, D.F.: McGrawHill, 2010.
- [7] A. Vera Lázaro, *TERMODINÁMICA*, vol. 1000, C. E. E. I. E.I.R.L., Ed., Lima, Lima: CUZCANO EDITORIAL E IMPRENTA E.I.R.L., 2013.
- [8] E. Martínez López, *CÁLCULO DE RESORTES HELICOIDALES DE COMPRESIÓN*, Cartagena: Universidad Politécnica de Cartagena, 2013.
- [9] R. L. Norton, *DISEÑO DE MÁQUINAS Un enfoque integrado*, Mexico: Pearson Educación, 2011.
- [10] R. L. Mott, *Diseño de elementos de máquinas*, México: PEARSON EDUCACIÓN, 2006.
- [11] D. d. G. d. Osinergmin-GART, «El gas natural y sus diferencias con el GLP,» Teps Group S.A.C. , Lima, 2015.
- [12] W. F. Soto Herrera, *DISEÑO DE UN SISTEMA DE PROPULSIÓN PARA EMBARCACIONES FLUVIALES DE 650 Kg BASADO EN GAS LICUADO DE PETRÓLEO (GLP)*, LIMA: PUCP, 2011.

- [13] INDECOPI, RECIPIENTES PORTÁTILES PARA GASES LICUADOS DE PETRÓLEO. Reguladores de Baja Presión. Parte 1: Definiciones, Lima, 1995.
- [14] J. E. L. Sopeña, *Manual de instalaciones de GLP*, Madrid: CEPESA ELF GAS, S.A., 2001, p. 296.
- [15] G. OSINERGMIN, «Informe Residencias de Uso y Consumo de Energía,» Osinergmin, Lima, 2018.
- [16] C. p. d. e. d. m. y. o. p. s.a.c, «Marketreport,» *Compañía peruana de estudios de mercado y opinión pública s.a.c*, vol. 04, nº 07, p. 12, 2019.
- [17] O. M. S.A., *ALEACIONES DE ZINC: ZAMAC*, Buenos Aires, 2014.
- [18] B. Z. Ronnier, «REGLAMENTO DE SEGURIDAD PARA INSTALACIÓN Y TRANSPORTE DE GLP,» de *REGLAMENTO DE SEGURIDAD PARA INSTALACIÓN Y TRANSPORTE DE GLP*, Tumbes, 2011.
- [19] A. J. Castro Chevarria, *DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN EQUIPO TENSADOR DE ALAMBRE LISO Y/O PÚAS PARA LA INSTALACIÓN DE ALAMBRADO TRADICIONALES*, LIMA: PUCP, 2008.
- [20] T. Jesús, J. Salvador, A. Vásquez y R. De la cruz, «La industria de los hidrocarburos líquidos en el PERÚ: 20 años de aporte al desarrollo del país,» Editores, Lima, 2015.
- [21] A. Vásquez Cordano , R. De la Cruz, F. Coello y J. Llocle, «Análisis del mercado de GLP para dos regiones del Perú: Lima y Lambayeque,» Osinergmin, Lima, 2017.
- [22] G. d. P. y. A. Económico, «REPORTE SEMESTRAL DE MONITOREO DEL MERCADO DE HIDROCARBUROS PRIMER SEMESTRE DEL 2017,» Osinergmin, Lima, 2017.
- [23] A. Vásquez Cordano, F. De la Cruz Sandoval y M. Llerena Praolongo, «Reporte de Análisis Económico Sectorial-Sector Hidrocarburos, Año 5-Número 6.,» Osinergmin, Lima, 2016.
- [24] Osinergmin, «El Mercado del GLP en el Perú: Problemática y Propuesta de Solución,» Osinergmin, Lima, 2011.

- [25] INDECOPI, RECIPIENTES PORTÁTILES PARA GASES LICUADOS DE PETRÓLEO. Reguladores de Baja Presión Para Uso Doméstico. Parte 4: Métodos de Ensayo, Lima, 1995.
- [26] INDECOPI, RECIPIENTES PORTÁTILES PARA GASES LICAUDOS DE PETRÓLEO. Reguladores de Baja Presión Para Uso Doméstico. Parte 4: Métodos de Ensayo., Lima, 1995.
- [27] Gestión, «SPGL: Precio de balón de gas son altos debido a infomalidad,» *Gestión*, 09 Agosto 2018.
- [28] INDECOPI, RECIPIENTES PORTÁTILS PARA GASES LICUADOS DE PETRÓLEO. Reguladores de Baja Presión Para Uso Doméstico. Parte 2: Requisitos, Lima, 1995.

XIV. ANEXOS

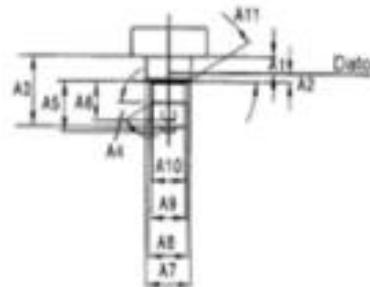
ANEXO 01: Dimensiones de la válvula según EN 12864:2001

- 73 -

EN 12864:2001

Medida: en milímetros

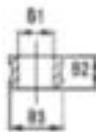
Regulador



Conector

A1 = 5,3 - 5,5
 A2 = 1,1 - 1,7
 A3 = 13 - 15
 A4 = 29° - 31°
 A5 = 10,325 max
 A6 = 6,75 max
 A7 = $\pm 10,8 - \pm 10,9$
 A8 = $\pm 0,3$ rel A2
 A9 = $\pm 0,05 - \pm 0,15$
 A10 = ± 8 max
 A11 = 29° - 31°

Válvula

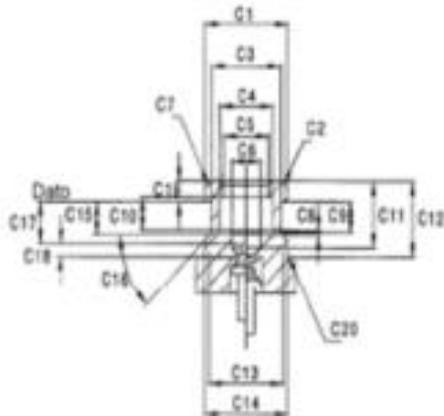


Junta

B1 = $\pm 0,05 - \pm 0,75$
 B2 = 6,5 - 7,1
 B3 = $\pm 12,8 - \pm 12,95$
 NBR

o equivalente

EN 549 A2 / H0



Válvula

C1 = $\pm 19,9 - \pm 20,1$
 C2 = $\pm 17,1 - \pm 17,5 \times 45^\circ$
 C3 = $\pm 16,45 - \pm 16,75$
 C4 = $\pm 12,6 - \pm 12,9$
 C5 = $\pm 10,95 - \pm 11,1$
 C6 = $\pm 0,05 - \pm 0,15$
 C7 = 0,8 - 1 $\times 45^\circ$
 C8 = 0,3 - 0,6 $\times 45^\circ$
 C9 = 6,4 - 6,6
 C10 = 6,9 - 7,2
 C11 = 10,1 max
 C12 = 16,1 max
 C13 = ± 18 rel C15
 C14 = $\pm 20 - \pm 20,15$
 C15 = 6,9 - 7,2
 C16 = 44° - 46°
 C17 = 6,9 - 9,5
 C18 = 2,15 min
 C19 = 3,4 - 3,6
 C20 = R 0,5 - 0,8

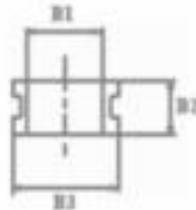
Ilustración 1: Válvula según norma EN 12864:2001.

Fuente: OSINERGMIN

ANEXO 02: Dimensiones de la válvula según NTP 360.009-1

Dimensiones en milímetros

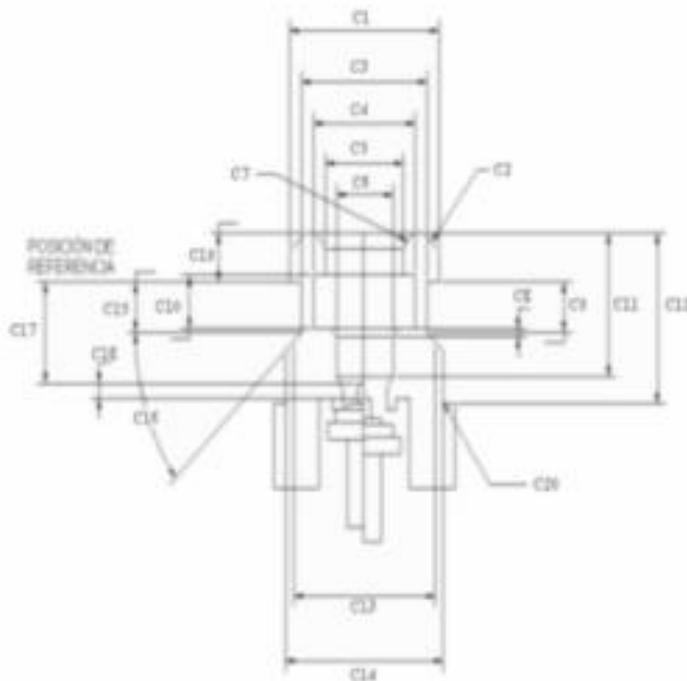
Válvula



**Junta de
Hermeticidad**

B1 = $\varnothing 16,5 - \varnothing 17,5$
 B2 = 6,9 - 7,1
 B3 = $\varnothing 12,8 - \varnothing 12,95$
 NBR (acrilonitrilo-butadieno)
 o equivalente

EN 549 A2/B3
 4
 ISO 6447



Válvula

C1 = $\varnothing 19,9 - \varnothing 20,1$
 C2 = $\varnothing 17,1 - \varnothing 17,3 \times 45^\circ$
 C3 = $\varnothing 16,45 - \varnothing 16,75$
 C4 = $\varnothing 12,6 - \varnothing 12,9$
 C5 = $\varnothing 10,95 - \varnothing 11,1$
 C6 = $\varnothing 8,05 - \varnothing 8,15$
 C7 = 0,6 - $1 \times 45^\circ$
 C8 = 0,3 - $0,6 \times 45^\circ$
 C9 = 6,4 - 6,6
 C10 = 6,9 - 7,2
 C11 = 15,1 min.
 C12 = 16,1 min.
 C13 = $\varnothing 18$ ref C15
 C14 = $\varnothing 20 - \varnothing 20,15$
 C15 = 6,9 - 7,2
 C16 = $44^\circ - 46^\circ$
 C17 = 8,9 - 9,5
 C18 = 2,65 min.
 C19 = 3,4 - 3,6
 C20 = 2,05 - 0,8

Ilustración 2: Válvula según NTP 360.009-1

Fuente: OSINERGMIN

ANEXO 03: Propiedades mecánicas de aleación de Zinc N° 5.

Tabla 34: Propiedades mecánicas de aleación de Zinc N°5. [17]

Característica	Aleación de Zinc			
	ZnAl ₄ Cu			
	Valor	Unidad	Valor	Unidad
Tensión de Fluencia a la tracción	269	MPa	39015,222	Psi
Resistencia a la Tracción	328	MPa	47572,464	Psi
Resistencia al Corte	262	MPa	37999,956	Psi
Tensión de Fluencia a la Compresión	600	MPa	87022,8	Psi
Módulo de elasticidad	85,5			
Coefficiente de Poisson	0,27			

Fuente: Oxido Metal S.A.

ANEXO 04: Especificaciones de materiales metálicos

Tabla 35: Especificaciones de materiales metálicos.

Componente	Material	Norma
Cuerpo y Tapa.	- Aleación de Cinc.	NTP 342.202 -ZnAl ₄ Cu (Zamak 5)
Conectores, pin del regulador.	- Aleación de cobre, con temple blando o duro medio duro. - Latón.	NTP 341.003 NTP 341.021
Piezas Ferrosas.	Acero Inoxidable o protegidos mediante recubrimiento adecuado.	Se consideran aceptables todos aquellos que no presenten vestigio de corrosión al someterse al ensayo para materiales ferrosos descrito en la NTP 350.081.
Uniones soldadas, que no estén en contacto con el flujo de gas, excepto partes para sellado adicional.	Soldaduras que tengan punto de fusión menos de 450°C.	

Fuente: INDECOPI.

ANEXO 05: Dimensiones del conector de entrada del regulador de conexión rápida (NTP 350.074-2)

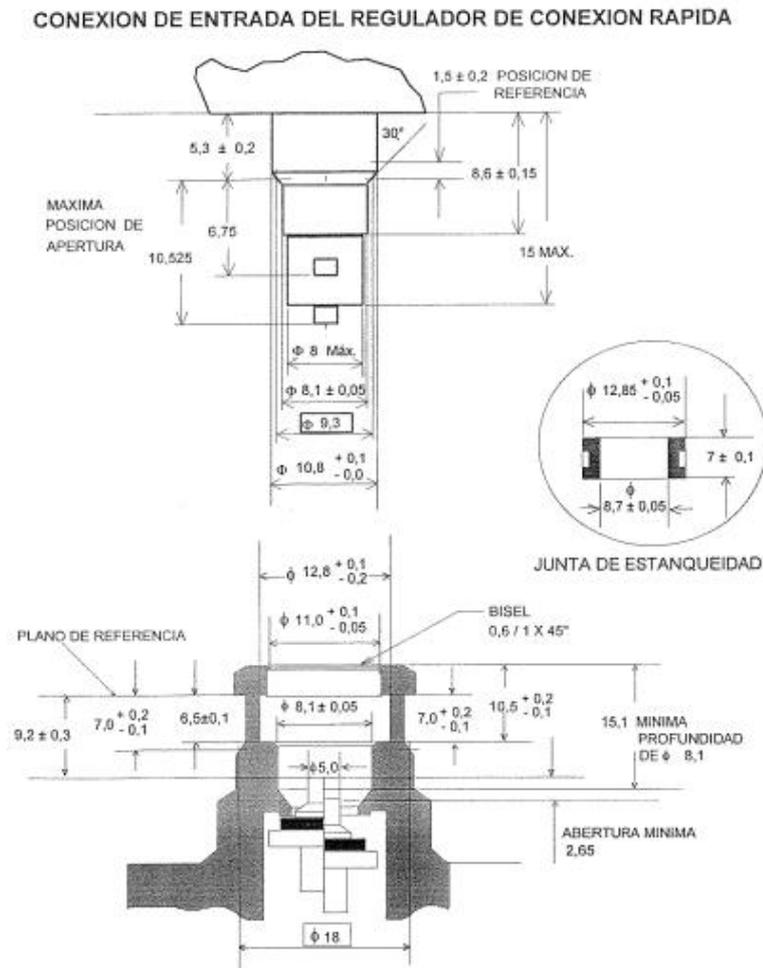


Ilustración 3: Dimensiones del conector de entrada.

Fuente: INDECOPI.

ANEXO 06: Materiales para resortes / Especificaciones / Descripción

Tabla 10-3

Aceros al alto carbono y de aleación para resortes

Fuente: De Harold C. R. Carlson, "Selection and Application of Spring Materials", en *Mechanical Engineering*, vol. 78, 1956, pp. 331-334.

Nombre del material	Especificaciones similares	Descripción
Alambre de piano, 0.80-0.95C	UNS G10850 AISI 1085 ASTM A228-51	Éste es el mejor, el más tenaz y el más empleado de todos los materiales para fabricar resortes pequeños. Presenta la mayor resistencia a la tensión y puede soportar mayores esfuerzos ante cargas repetidas que cualquier otro material para resorte. Disponible en diámetros de 0.12 a 3 mm (0.005 a 0.125 pulg). No se emplee a temperaturas mayores de 120°C (250°F), o a temperaturas bajo cero.
Alambre templado en aceite, 0.60-0.70C	UNS G10650 AISI 1065 ASTM 229-41	Éste es un acero para resortes de uso general que se emplea para elaborar muchos tipos de resortes de espiras, cuando el costo del alambre de piano resulta prohibitivo y se necesitan tamaños mayores que el alambre de piano disponible. No adecuado para cargas de choque o impacto. Disponible en diámetros de 3 a 12 mm (0.125 a 0.500 pulg), pero se consigue con tamaños mayores y menores. No se emplee a más de 180°C (350°F), o a temperaturas bajo cero.
Alambre estirado duro, 0.60-0.70C	UNS G10660 AISI 1066 ASTM A227-47	Este acero se usa para fabricar resortes de uso general más barato y se debe utilizar sólo donde la duración, la exactitud y la deflexión no sean muy importantes. Disponible en diámetros de 0.8 a 12 mm (0.031 a 0.500 pulg). No se emplee a más de 120°C (250°F), o a temperaturas bajo cero.
Cromo vanadio	UNS G61500 AISI 6150 ASTM 231-41	Ésta es la aleación más popular de acero para construir resortes en condiciones que implican esfuerzos mayores que los que se pueden emplear con los aceros al alto carbono, y para usarla cuando son necesarias resistencia a la fatiga y alta durabilidad. También sirve para cargas de choque o impacto. Se utilizan ampliamente para fabricar resortes de válvulas de motores de aviones y para temperaturas hasta de 220°C (425°F). Disponible en recocado o prerrevenido con tamaños de 0.8 a 12 mm (0.031 a 0.500 pulg) de diámetro.
Cromo silicio	UNS G92540 AISI 9254	Esta aleación constituye un material excelente para fabricar resortes sometidos a esfuerzos elevados y cargas de impacto que requieren larga vida. Las durezas Rockwell de C50 a C53 son muy comunes y el material se utiliza hasta temperaturas de 250°C (475°F). Disponible en 0.8 a 12 mm (0.031 a 0.500 pulg) de diámetro.

Ilustración 4: Materiales para resortes helicoidales de compresión. [3]

Fuente: Shigley.

ANEXO 07: Propiedades mecánicas de algunos alambres para resortes.

Material	Límite elástico, porcentaje de S_{ut} tensión, torsión		Diámetro d , pulg	E		G	
				Mpsi	GPa	Mpsi	GPa
Alambre de piano A228	65-75	45-60	<0.032	29.5	203.4	12.0	82.7
			0.033-0.063	29.0	200	11.85	81.7
			0.064-0.125	28.5	196.5	11.75	81.0
			>0.125	28.0	193	11.6	80.0
Resorte estirado duro A227	60-70	45-55	<0.032	28.8	198.6	11.7	80.7
			0.033-0.063	28.7	197.9	11.6	80.0
			0.064-0.125	28.6	197.2	11.5	79.3
			>0.125	28.5	196.5	11.4	78.6
Templado en aceite A239	85-90	45-50		28.5	196.5	11.2	77.2
Resorte de válvula A230	85-90	50-60		29.5	203.4	11.2	77.2
Cromo vanadio A231	88-93	65-75		29.5	203.4	11.2	77.2
A232	88-93			29.5	203.4	11.2	77.2
Cromo silicio A401	85-93	65-75		29.5	203.4	11.2	77.2
Acero inoxidable							
A313*	65-75	45-55		28	193	10	69.0
17-7PH	75-80	55-60		29.5	208.4	11	75.8
414	65-70	42-55		29	200	11.2	77.2
420	65-75	45-55		29	200	11.2	77.2
431	72-76	50-55		30	206	11.5	79.3
Bronce fosforado B159	75-80	45-50		15	103.4	6	41.4
Cobre al berilio B197	70	50		17	117.2	6.5	44.8
	75	50-55		19	131	7.3	50.3
Aleación inconel X-750	65-70	40-45		31	213.7	11.2	77.2

*También incluye 302, 304 y 316.

Nota: Vea la tabla 10-6, que contiene los valores de diseño del esfuerzo de torsión permisible.

ANEXO 08: Constante “A” y “m” para estimar la resistencia de tensión mínima de alambres.

Material	ASTM núm.	Exponente <i>m</i>	Diámetro, pulg	A, kpsi · pulg ^m	Diámetro, mm	A, MPa · mm ^m	Costo relativo del alambre
Alambre de piano*	A228	0.145	0.004-0.256	201	0.10-6.5	2 211	2.6
Alambre T y R en aceite [†]	A229	0.187	0.020-0.500	147	0.5-12.7	1 855	1.3
Alambre estirado duro [‡]	A227	0.190	0.028-0.500	140	0.7-12.7	1 783	1.0
Alambre al cromo vanadio [§]	A232	0.168	0.032-0.437	169	0.8-11.1	2 005	3.1
Alambre al cromo silicio	A401	0.108	0.063-0.375	202	1.6-9.5	1 974	4.0
Alambre inoxidable 302*	A313	0.146	0.013-0.10	169	0.3-2.5	1 867	7.6-11
		0.263	0.100-0.20	128	2.5-5	2 065	
		0.478	0.200-0.40	90	5-10	2 911	
Alambre de bronce fosforado**	B159	0	0.004-0.022	145	0.1-0.6	1 000	8.0
		0.028	0.022-0.075	121	0.6-2	913	
		0.064	0.075-0.30	110	2-7.5	932	

*La superficie es lisa, sin defectos y tiene un acabado brillante y lustroso.

[†]Tiene escamas ligeras debido al tratamiento térmico, que se deben remover antes del galvanizado.

[‡]La superficie es lisa y brillante sin marcas visibles.

[§]Alambre revenido de calidad aeronáutica; también se obtiene recocido.

^{||}Revenido a Rockwell C49, pero se puede obtener sin revenir.

*Acero inoxidable tipo 302.

**Temple CA510.

ANEXO 09: Materiales elastómeros para reguladores.

NORMA TÉCNICA
PERUANA

NTP 350.074-2
20 de 20

ANEXO A (Normativo)

Materiales para el diafragma, el obturador de la válvula y los sellos del regulador

PROPIEDADES	UNIDAD	DIAFRAGMA	OBTURADOR	SELLOS
Designación.	IRHD	50	60	70
Dureza Nominal.	IRHD	46 a 55	56 a 65	66 a 75
Tolerancia permisible en la Dureza.	IRHD	± 5	± 5	± 5
Resistencia a la Tracción, mín.	MPa	9	10	10
Alargamiento a la Rotura, mín.	%	400	300	200
Deformación en compresión, después de 70 h a temp. ambiente, máx.	%	10	10	10
después de 22 h a 70 °C, máx.	%	20	20	20
después de 70 h a -5 °C, máx.	%	30	30	30
Envejecimiento: Cambio en los valores Nominales después de 7 días en aire a 70°C: dureza, máx.	IRHD	± 6	± 6	± 6
resistencia a la Tracción, máx.	%	- 15	- 15	- 15
alargamiento a la rotura, máx.	%	- 25 a + 10	- 25 a + 10	- 25 a + 10
Estabilidad a la compresión, máx. después de 7 días a temp. ambiente.	%	15	15	15
Inmersión en líquido B, después de 7 días a temp. ambiente cambio de volumen, máx.	%	+ 30	+ 30	+ 30
cambio en la dureza, máx.	IRHD	- 16	- 16	- 16
Inmersión en líquido B, y subsiguientes 4 días a 70 °C en aire seco, cambio en el volumen, máx.	%	- 12	- 12	- 10
Resistencia a la baja temperatura: Temperatura de ensayo - 40 °C	----	ninguna probeta o pieza deberá mostrar grietas.		

---000000---

ANEXO 10: Dimensiones del conector de salida recomendados por la NTP 350.074-2

NORMA TÉCNICA
PERUANA

NTP 350.074-2
10 de 20

Tabla 2 - Dimensiones de los conectores de salida para manguera

Unidades: mm

Tipo	ϕ Nominal	A $\pm 0,25$	B $\pm 0,25$	C $\pm 0,25$	D $\pm 0,25$	ϕE $\pm 0,13$	ϕF $\pm 0,13$	ϕG $\pm 0,13$	ϕH $\pm 0,13$
1	10 (3/8)	23,8	1,52	7	4,58	7,9	5	6,35	10,3
2		23,0						12,5	10,5
3		25,5						13,7	11,9

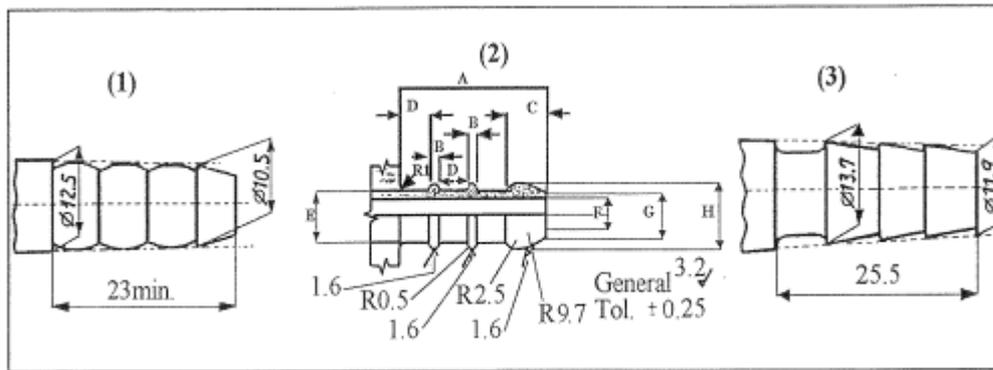


Figura 1 - Dimensiones del conector de salida para manguera.

ANEXO 11: Detalles del manómetro



ANEXO 12: Modelo de etiquetado cilindros de GLP.

NOMBRE DE LA EMPRESA ENVASADORA			
PESO DEL CILINDRO ANTES DE LLENADO :.....kg			
PESO NETO DEL GLP :kg			
PESO TOTAL DEL CILINDRO :kg			
Tolerancia del Peso Neto del GLP (Reglamento aprobado por Decreto Supremo N° 01-94-EM)			
Peso neto nominal del GLP	Tolerancia del peso neto (porcentaje)	Rangos de tolerancia de peso	
		Mínimo	Máximo
5 kg	±2.5%	4.875 kg	5.125 kg
10 kg	±2.5%	9.750 kg	10.250 kg
15 kg	±2.5%	14.625 kg	15.375 kg
45 kg	±1.0 %	44.550 kg	45.450 kg
Cualquier denuncia por inconformidades sobre el peso neto de GLP puede ser presentada directamente a su proveedor o ante Osinergmin, vía telefónica al 0800-41800 o a través de otros medios informáticos habilitados.			

Tabla 36: Modelo de etiquetado para cilindros de GLP.

Fuente: Osinergmin.

ANEXO 13: Plano de despiece del regulador.

ANEXO 14: Plano / base de regulador

ANEXO 15: Plano / tapa.

ANEXO 16: Plano / diafragma.

ANEXO 17: Plano / resorte.

ANEXO 18: Plano/leva.

ANEXO 19: Plano / tuerca.

ANEXO 20: Plano / balancín.

ANEXO 21: Plano / eje balancín.

ANEXO 22: Plano / perilla.

ANEXO 23: Plano / eje perilla.

ANEXO 24: Plano / bloqueo.

ANEXO 25: Plano / pin.

ANEXO 26: Plano / Base.

ANEXO 27: Plano / Boquilla.

ANEXO 28: Plano / Orings 1y 2.

ANEXO 29: Plano / Orings 3.

ANEXO 30: Selección Orings 1-2.

2					
	$0.103'' \pm 0.003$ * PULG. $2,62 \pm 0,08$ * M.M.				
	Numero Parker		Nominales (Pulgadas)		
Pulg. M.M. Exactas		D.I.	D.E.	W	
D. I.	D.I.	D.I.	D.E.	W	
2-102	0.049	1.24	1/16	1/4	3/32
2-103	0.081	2.06	3/32	9/32	3/32
2-104	0.112	2.84	1/8	5/16	3/32
2-105	0.143	3.63	5/32	11/32	3/32
2-106	0.174	4.42	3/16	3/8	3/32
2-107	0.206	5.23	7/32	13/32	3/32
2-108	0.237	6.02	1/4	7/16	3/32
2-109	0.299	7.59	5/16	1/2	3/32
2-110	0.362	9.19	3/8	9/16	3/32
2-111	0.424	10.77	7/16	5/8	3/32
2-112	0.487	12.37	1/2	11/16	3/32
2-113	0.549	13.94	9/16	3/4	3/32
2-114	0.612	15.54	5/8	13/16	3/32
2-115	0.674	17.12	11/16	7/8	3/32
2-116	0.737	18.72	3/4	15/16	3/32
2-117	0.799	20.30	13/16	1	3/32
2-118	0.862	21.89	7/8	1 1/16	3/32
2-119	0.924	23.47	15/16	1 1/8	3/32
2-120	0.987	25.07	1	1 3/16	3/32
2-121	1.049	26.64	1 1/16	1 1/4	3/32
2-122	1.112	28.42	1 1/8	1 5/16	3/32
2-123	1.174	29.82	1 3/16	1 3/8	3/32
2-124	1.237	31.42	1 1/4	1 7/16	3/32
2-125	1.299	32.99	1 5/16	1 1/2	3/32
2-126	1.362	34.59	1 3/8	1 9/16	3/32
2-127	1.424	36.17	1 7/16	1 5/8	3/32
2-128	1.487	37.77	1 1/2	1 11/16	3/32
2-129	1.549	39.34	1 9/16	1 3/4	3/32
2-130	1.612	40.94	1 5/8	1 13/16	3/32
2-131	1.674	42.52	1 1/16	1 7/8	3/32
2-132	1.737	44.12	1 3/4	1 15/16	3/32
2-133	1.799	45.69	1 3/16	2	3/32
2-134	1.862	47.29	1 7/8	2 1/6	3/32
2-135	1.925	48.90	1 5/16	2 1/8	3/32
2-136	1.987	50.47	2	2 3/16	3/32
2-137	2.050	52.07	2 1/16	2 1/4	3/32
2-138	2.112	53.64	2 1/8	2 5/16	3/32
2-139	2.175	55.25	2 3/16	2 3/8	3/32
2-140	2.237	56.82	2 1/4	2 7/16	3/32
2-141	2.300	58.42	2 5/16	2 1/2	3/32
2-142	2.362	59.99	2 3/8	2 9/16	3/32
2-143	2.425	61.60	2 7/16	2 5/8	3/32
2-144	2.487	63.17	2 1/2	2 11/16	3/32
2-145	2.550	64.77	2 9/16	2 3/4	3/32
2-146	2.612	66.34	2 5/8	2 13/16	3/32
2-147	2.675	67.95	2 1/16	2 7/8	3/32
2-148	2.737	69.52	2 3/4	2 15/16	3/32
2-149	2.800	71.12	2 3/16	3	3/32