



Facultad de Ingeniería

Departamento de Ingeniería Mecánica

República de Cuba

**Diseño de banco de comprobación de
dispositivos de alivio de la presión en
el CENEX**

Autor: Marcos Antonio Pérez Gonzáles

Tutor: Ing. Bernabé Juan Bravo Rodríguez

Junio 2018

“Año 60 de la Revolución”



DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

UNIVERSIDAD DE CIENFUEGOS



Sistema de Documentación y Proyecto.

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

Firma del autor.

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

Información Científico Técnico
Nombre y Apellidos. Firma.

Vice Decano.
Nombre y Apellidos. Firma.

Firma del Tutor

Sistema de Documentación y Proyecto.

Nombre y Apellido. Firma.

Agradecimientos

A mi tutor, que sin su apoyo el peldaño a escalar sería mucho más difícil, muchas gracias por su ayuda incondicional, su comprensión y dedicación, por ser incansable, por los conocimientos brindados y por las muchas horas de trabajo juntos.

A mis padres y abuelos que han sido mi motor impulsor y ejemplos a seguir tanto en lo académico y profesional como en la vida misma.

A mis hermanos y familia por quererme tanto y apoyarme.

A mis compañeros de aula y amigos por brindarme su ayuda incondicional y al claustro de profesores de la carrera.

Dedicatoria

A mis padres y abuelos por darme su apoyo incondicional y por brindarme todo su amor.

A todos los que me han brindado su apoyo, dedicación y confianza.

Pensamiento

“Saber no es suficiente; tenemos que aplicarlo. Tener voluntad no es suficiente tenemos que implementarla”.

Goethe (poeta, novelista, dramaturgo y científico alemán)

RESUMEN

En el trabajo se describe el estudio, cálculo y diseño de un banco de comprobación y calibración de los dispositivos de alivio de presión con un rango de operación de hasta 5 Mpa. Este equipo se utilizará para comprobar y verificar el estado de funcionamiento de las válvulas de seguridad y alivio de la presión ubicada en los recipientes a presión y tuberías para determinar y/o comprobar su estado de funcionamiento, con el objetivo de proteger accidentes por sobrepresión. En la investigación se realizaron los cálculos mecánicos y de resistencias necesarias para lograr un trabajo seguro, también se tuvo en cuenta la confección del manual de operación con sus correspondientes instrucciones de seguridad, materiales empleados y sus costos, así como el tiempo de recuperación de esta inversión.

ABSTRACT

The study describes the study, calculation and design of a bench for checking and calibrating pressure relief devices with an operating range of up to 5 Mpa. This equipment will be used to check and verify the operating status of the pressure relief and safety valves located in the pressure vessels and pipes to determine and / or check their operating status, with the aim of protecting overpressure accidents. In this work, the mechanical calculations and resistances necessary to achieve a safe job were carried out, the preparation of the operation manual was also taken into account with its corresponding safety instructions, materials used and their costs, as well as the recovery time of this investment.

Índice

INTRODUCCIÓN	13
Antecedentes	13
Justificación del estudio	13
Problema de Investigación	13
Objetivo General	13
Objetivos específicos	13
Hipótesis de la Investigación.....	14
Diseño Metodológico de la Investigación	14
Beneficios esperados.....	14
Límites del alcance de la investigación	14
CAPÍTULO 1: ESTADO DEL ARTE.....	15
1.1.Funcionamiento del banco de comprobación de dispositivos de alivio de presión	15
1.2.Tipos de bancos de comprobación	17
1.3.Dispositivos de alivio de la presión, funciones y clasificación	18
1.4.Breve reseña de los dispositivos de alivio de la presión	22
1.5.Fallas fundamentales de los dispositivos de alivio de presión	24
CAPÍTULO 2 CÁLCULOS MECÁNICOS, RESULTADOS Y ANÁLISIS	26
2.1. Cálculo de espesor mínimo permisible del tanque receptor de almacenamiento.....	26
2.2. Cálculo del espesor mínimo de las tuberías para la presión de trabajo	28
2.3. Cálculo de resistencia de los tornillos de las presillas de sujeción.....	29
2.4. Cálculo de la resistencia de las presillas de sujeción y el tornillo.....	33

2.5. Listado de materiales	36
2.6. Planos de despiece	37
CAPÍTULO 3 INSTRUCCIONES PARA LA OPERACIÓN CONFIABLE Y SEGURA DEL BANCO DE COMPROBACIÓN	43
3.1. Ensayo de calibración y comprobación dispositivos de alivio de presión.....	43
1. OBJETIVOS Y ALCANCE	43
1.1. Lograr bajo criterios técnicos y normas actualizadas la calibración y la comprobación de las válvulas de seguridad y alivio de presión de manera que garanticen y cumplan con los requisitos para el cual fueron diseñados.....	43
2. DEFINICIONES.....	43
3. DESARROLLO	46
3.1.1 LA CALIBRACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS DE ALIVIO DE PRESIÓN SERÁN REALIZADO MEDIANTE EL BANCO DE PRUEBAS Y LA BOMBA DE COMPROBACIÓN RP 50 S.....	46
3.1.2 LOS INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN DE LA PRESIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS BP-01 ESTARÁN DEBIDAMENTE CALIBRADOS Y CERTIFICADOS CON EL CORRESPONDIENTE SELLO DE APTO PARA EL USO.	46
3.1.3 Para los trabajos de calibración de los dispositivos de alivio de presión se utilizarán los siguientes documentos:	46
<input type="checkbox"/> NC 924:2012 Recipientes a presión y tuberías-REQUISITOS DE INSTALACION Y ENSAYO DE LOS DISPOSITIVOS DE ALIVIO DE PRESION”	46
<input type="checkbox"/> Resolución 44 del MTSS.....	46
<input type="checkbox"/> Instrucción de trabajo del banco de pruebas.	46
3.1.4 Mantenimiento en taller, pruebas de presión y hermeticidad.	46

Las válvulas que no satisfagan los requisitos de la prueba pre-pop, o presenten ensuciamiento, corrosión o daños mecánicos en sus componentes deberán someterse a una inspección integral de la misma.46

3.1.5 El desarme se realizara siguiendo las recomendaciones del fabricante, identificando y colocando los componentes en un lugar separado para evitar confusiones o perdidas de piezas, tomando en cuenta las siguientes recomendaciones:.....46

- Retirar el capuchón de la válvula46
- Aflojar la contratuerca46
- Aflojar el tornillo de ajuste para liberar la presión del muelle46
- Retirar el bonete, resorte, vástago, plato y guía del disco.46
- Retirar la tobera inferior del cuerpo de la válvula.46
- Limpiar todos los componentes usando desengrasantes u otros productos al efecto.....46
- Inspeccionar todos los componentes, en busca de desgastes, erosiones y otros daños en estos.46
- Revisar el estado físico general de cada componente, evaluando el estado físico general, evaluando evidencias de corrosión, o daños mecánicos tales como:.....47
 - Fracturas ocasionadas por la fatiga del metal, utilizando END en dependencia del problema detectado por el especialista.....47
 - Estado del resorte (perdidas de espesores, corrosión, agrietamientos, etc.47
 - Daños, deformaciones, desgaste natural de los componentes internos.47
 - Rectitud y estado del vástago.47
 - Estado de las bridas para detectar picaduras o cualquier otro daño.47

□ Si se considera necesario se podrá medir el espesor del cuerpo de la válvula.....	47
3.1.6 Si la válvula no cuenta con la chapilla de identificación, el cliente suministrara la chapilla y el alambre resistente a la corrosión como parte del mantenimiento.....	47
3.1.7 Una vez que la válvula se le ha realizado el mantenimiento o sustitución de los componentes que lo requieran, esta será nuevamente ensamblada en el orden inverso especificado en el punto 8.1.2.....	47
Prueba de ajuste del disparo.....	47
3.1.8 Colocar la válvula a comprobar en el banco de pruebas, ajustar las pinzas de sujeción y apretar la misma adecuadamente.....	47
3.1.9 Aplicar la presión lentamente hasta que la válvula abra con una descarga continua fina, el cual se le identificara como “apertura”, este proceso se realizara por 3 ocasiones continuas.	47
3.1.10 Cuando la válvula no abra a la presión de ajuste, se modificara la posición del tornillo de ajuste, apretándolo o aflojándolo según el caso.	47
3.1.11 Para realizar el ajuste de la válvula, la presión inicial será aplicada con la bomba a una presión inferior a la presión de ajuste y debe sujetarse el vástago para evitar que este gire ya que pudiera dañar los discos de asiento de la misma.	47
3.1.12 Las válvulas que no cumplan con las tolerancias establecidas en la norma NC 924 serán rechazadas, notificándosele al cliente la causa del rechazo.	48
3.2. Medidas de seguridad a cumplir durante los trabajos del banco de comprobación.....	48
Para evitar accidentes durante los trabajos con el banco de comprobación, considerando que este trabaja con elementos sometidos bajo presión, se deberá seguir las siguientes medidas o reglas de seguridad:.....	48

Área de trabajo:.....	48
• Deberá mantenerse limpio, libre de polvo, vibraciones o extremo calor.	48
CAPÍTULO 4 VALORACIÓN ECONÓMICA	49
4.1. Costo de materiales empleados y recursos empleados	49
4.2. Cálculo del tiempo de recuperación de la inversión	50
CONCLUSIONES	52
RECOMENDACIONES	53
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	54
ANEXOS	55

INTRODUCCIÓN

Antecedentes

El CENEX es una prestigiosa y reconocida entidad cubana perteneciente al Ministerio de la Construcción (MICONS), radicada en la provincia de Cienfuegos, tiene dentro de su objeto social la inspección de la calidad de las uniones soldadas mediante ensayos no destructivos como técnicas radiográficas, ultrasonidos, líquidos penetrantes y partículas magnéticas. Además de otras técnicas que se aplican en la inspección de soldaduras en diferentes industrias como: refinerías de petróleo, plantas termoeléctricas y otras que trabajan con tanques de almacenamiento, tuberías bajo presión y otras. Con el presente trabajo se podrá ampliar el perfil de dicha entidad al poder comprobarse el estado de funcionamiento de los dispositivos de alivio de presión que cuentan los recipientes a presión, esto trae como beneficio dos aspectos fundamentales:

- Mayor ingreso por concepto de servicios a la entidad.
- Garantizar una mayor seguridad y fiabilidad en las instalaciones industriales que poseen recipientes a presión.

Justificación del estudio

Dar solución a los problemas existentes en el país referente a los dispositivos de alivio ubicados en los recipientes a presión, así como ampliar los servicios técnicos de inspección de la empresa CENEX.

Problema de Investigación

Se desconoce el estado de funcionamiento y fiabilidad en muchas instalaciones industriales de los dispositivos de alivio de presión, que pueden desencadenar en graves accidentes industriales.

Objetivo General

Calcular y diseñar un equipo fiable y capaz de dar solución a la problemática existente en el país para la comprobación de los dispositivos de alivio de presión que cumpla con los estándares nacionales e internacionales.

Objetivos específicos

Realizar los cálculos necesarios de los elementos que constituyen el banco de comprobación de los dispositivos de alivio de presión, que comprenden:

- Cálculos mecánicos y de resistencia de los elementos que lo conforman.
- Manual de operación.

- Valoración económica del proyecto.

Hipótesis de la Investigación

Es posible construir un banco de pruebas que trabaje de manera fiable mediante un adecuado diseño y cálculo que permita realizar comprobaciones de los dispositivos de alivio de presión en rangos de hasta 5 Mpa.

Diseño Metodológico de la Investigación

- Revisión bibliográfica de la literatura especializada vinculada con los tipos y funcionamiento de los dispositivos de alivio de presión. Su objetivo es conocer y entender el funcionamiento de los dispositivos de alivio de presión.
- Selección de los materiales y componentes que componen el banco de comprobación. Una adecuada selección de los materiales a emplear garantizan un trabajo seguro a fin de evitar accidentes y fallas en el funcionamiento del equipo.
- Selección de los métodos de cálculo de resistencia de los componentes sometidos a presión. La selección de los métodos de cálculos contribuyen a lograr y aplicar desde el punto de vista científico lo estudiado a través del estudio de esta carrera.
- Elaboración de los planos y el esquema hidráulico.

Beneficios esperados

Lograr mediante un adecuado diseño y cálculos construir un banco de comprobación de dispositivos de alivio de la presión que dé solución a los problemas existentes en el país relacionado con estos dispositivos, así como ampliar el perfil de trabajo de la empresa de defectoscopia y ensayos no destructivos CENEX.

Límites del alcance de la investigación

Este trabajo se limita al diseño de un banco de comprobación cuyo rango de trabajo está en presiones entre 0.068 y 5 Mpa y diámetros de hasta 150 mm (6”).

CAPÍTULO 1: ESTADO DEL ARTE

1.1. Funcionamiento del banco de comprobación de dispositivos de alivio de presión

El banco de comprobación de dispositivos de alivio trabaja basado en la observación y comparación de la lectura del manómetro ubicado en el panel del banco, con incremento de la presión aplicada a través de la bomba de pistón manual al sistema de tuberías donde se encuentra colocada la válvula a comprobar. Al aumentar la presión aplicada, esta vence la resistencia del resorte de la válvula y esta comienza a liberar el agua por la brida de descarga de la válvula (ver figura 1), siendo esta presión observada en el manómetro el comienzo o apertura de la misma, y registrándose este valor y comparándose con los valores de diseño documentado del dispositivo (ver figura 2).

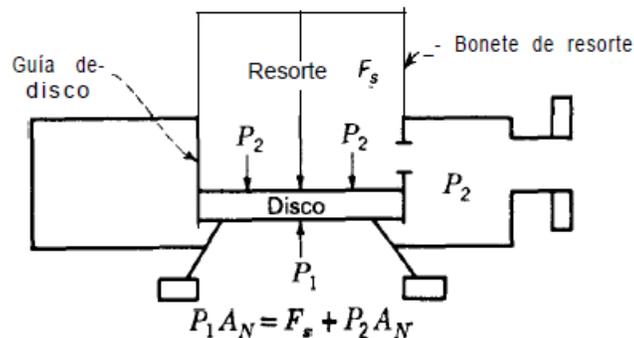


Figura No. 1 Esquema de funcionamiento de un dispositivo de alivio de la presión

Al comprobar el dispositivo en el banco de comprobación pueden suceder 2 aspectos:

- La presión de disparo coincide con los parámetros de diseño.
- La presión de disparo no coincide con los parámetros de diseño.

Si la presión de disparo coincide con los parámetros de trabajo establecidos de diseño la válvula se considera aceptada para su uso.

Si la presión de diseño no coincide con la presión de pruebas se procederá a realizar ajustes en la tuerca de regulación del dispositivo (ver figura 2), siendo necesario volver a comprobar nuevamente el dispositivo en el banco de comprobación.

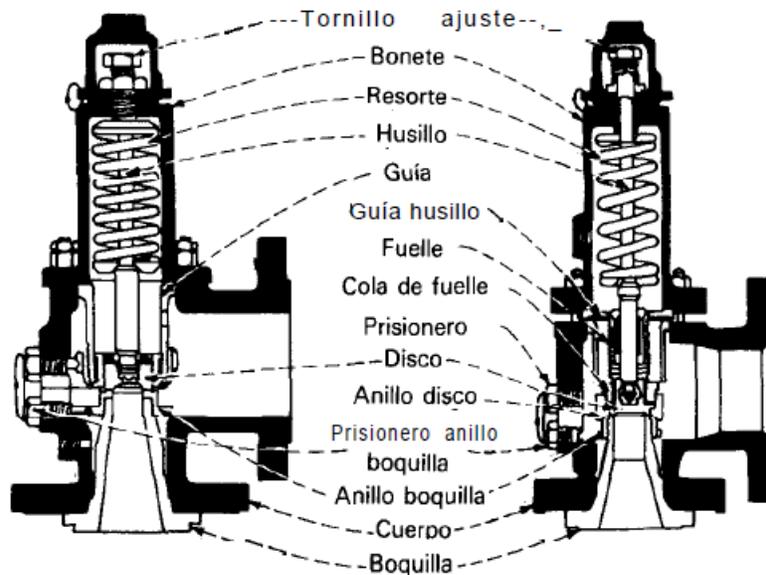


Figura No. 2 Componentes de un dispositivo de alivio de presión

El banco de comprobación tiene la posibilidad de trabajar de forma independiente con válvulas platilladas y roscadas según se requiera, lo que minimiza el trabajo de construir adaptadores de conexiones de tuberías, esto se logra mediante las válvulas 1 y 2 según se desee. (Ver figura 3).

En la imagen que corresponde a la figura 4 se observa la bomba de suministro de presión al sistema del banco de pruebas. Pueden observarse en los Anexos las diversas imágenes referidas a las vistas que tiene el banco de pruebas.



Figura No. 3 Componentes de banco de comprobación



Figura No. 4 Bomba de suministro de presión al banco de comprobación

1.2. Tipos de bancos de comprobación

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

- KALMIA, S.A. es una sociedad anónima fundada en el año 1960, radicada en España, la cual produce diferentes tipos de bancos de comprobación para válvulas de seguridad en una gamma de diámetros desde 4" (100mm) hasta 10" 250 mm) y presiones de hasta 60 Mpa.

- BValver Flow Systems & controls es otra compañía radicada en Valencia, España, productora de bancos de comprobación de diferentes tipos de dispositivos de alivio y variadas capacidades, para pruebas mediante aire, nitrógeno o agua.
- VYC Industrial es una compañía española dedicada a la construcción de bancos de pruebas de válvulas de seguridad con rangos de diámetros entre 10 mm hasta 125 mm y presiones de hasta 21 MPa

1.3. Dispositivos de alivio de la presión, funciones y clasificación

La elevación de la presión por encima de los parámetros establecidos en los equipos a presión en la industria ha constituido un serio peligro de accidentes con considerables pérdidas humanas y materiales, por tal motivo, se hace necesaria la colocación de dispositivos que de manera espontánea liberen el exceso de presión por encima de los valores permisibles.

Todo recipiente que pueda sobrepasar la presión permisible de diseño debe contar con uno o varios dispositivos de alivio de presión.

Causas de sobrepresión en los equipos de alto riesgo industrial.

- Por incendios externos: Es la situación que requiere un caudal mayor de alivio debido a la gran cantidad de energía aportada por la transferencia de calor del incendio. La energía absorbida por el fluido contenido en el recipiente, en principio, estará limitada por su superficie y el tipo de aislamiento que disponga contra el fuego.
- Por efectos ambientales: Ocurre debido a la exposición a la radiación solar y a cambios en la temperatura y presión atmosféricas que pueden afectar la presión interna y el caudal del venteo de alivio de vapor. Es muy importante tener en cuenta la influencia del aumento de la temperatura sobre la dilatación de la fase líquida que ocasionaría la ruptura del recipiente. Para evitar esta situación no se debe sobrepasar un determinado grado de llenado con el cual se garantiza la

existencia de un volumen de vapor por encima de la fase líquida y en consecuencia una presión de equilibrio en función de la temperatura.

- Por errores humanos: Son las más corrientes, debido a equivocaciones en la operación de válvulas, tales como, un cierre inadvertido en los conductos de salida de un recipiente o la apertura de válvulas en la entrada, y que pueden ocasionar una sobrepresión.

Un cierre inadvertido de las válvulas de entrada y salida a la vez puede dar lugar a sobrepresión en el caso de que el fluido contenido pueda absorber energía a través de serpentines calefactores internos o de la pared externa.

- Fallos de instrumentación: El fallo de un dispositivo de control automático puede crear una sobrepresión procedente de una fuente de alta presión o alta energía debido al cierre de una válvula de control de salida o debido a la apertura de una válvula de control de entrada. De forma similar un fallo de un control de nivel puede dejar pasar un flujo de gas o vapor a alta presión hacia un recipiente situado aguas abajo. Las válvulas de control se diseñan a prueba de fallos, pero su correcto funcionamiento no puede ser garantizado en todas las circunstancias.

- Fallos de las válvulas: Los fallos mecánicos de válvulas pueden ocasionar consecuencias mencionadas en las secciones anteriores. Se puede añadir además el fallo de una válvula de retención que deje pasar el fluido en sentido inverso y origine una sobrepresión aguas arriba de dicha válvula.

- Fallos de los equipos: Un fallo típico de los intercambiadores de calor es la rotura de uno o más tubos conductores del fluido térmico. La corrosión interna o externa es una causa frecuente de pérdida de resistencia de equipos, especialmente en las uniones soldadas.

- Fallos de los servicios generales de planta: Los principales son:

- De la energía eléctrica: Ocasiona la parada de los equipos accionados eléctricamente y particularmente las bombas del agua de refrigeración, los ventiladores del aire de refrigeración y los compresores de refrigeración.
- Del aire de instrumentación: Afecta las válvulas de control y el control automático.

- Del control por ordenador: Ocasiona la pérdida de control del proceso con movimientos simultáneos de válvulas.
- Del vapor de agua: Deja fuera de acción a los equipos movidos por turbina, especialmente los generadores eléctricos y equipos de refrigeración.
- Del suministro de combustible: Afecta a los motores de combustión y especialmente turbinas de gas y motores diesel.
- Del gas inerte: Ocasiona la pérdida de presión del gas inerte con las consecuencias sobre los equipos que dependen de este servicio.

Estos fallos en general están interconectados, por ejemplo; cuando falla la energía eléctrica desencadena fallos de otros servicios.

Los dispositivos de alivio de la presión se instalan para proteger los recipientes a presión cuando esta exceda el 10% de la presión máxima de trabajo.

Existen diferentes tipos y modelos de dispositivos de alivio de presión que se utilizan para la protección de equipos a presión y sistemas de tuberías. Entre los más utilizados en la industria se encuentran:

- Válvulas operadas con muelles
- Válvulas operadas con contrapesos.

El principio de funcionamiento de los dispositivos de alivio de presión que operan con muelles se basa en la acción que ejerce el muelle contra la presión estática del fluido sobre el asiento de la válvula.

Cuando la presión del fluido alcanza un valor prefijado, se produce la apertura del disco del asiento, que no cierra mientras la presión no descienda una cierta cantidad bajo dicho valor.

- a) Las válvulas operadas con muelles pueden ser de 2 tipos:
 - Válvulas de alivio de la presión
 - Válvulas de seguridad.

Las válvulas de alivio de presión generalmente se aplican para descargar pequeños caudales, su característica principal es que comienzan a abrir y cerrar proporcionalmente con el incremento o decremento de la presión.

Las válvulas de seguridad se utilizan generalmente para evacuar grandes caudales, su característica fundamental es la rápida respuesta de apertura ante sobrepresiones, ejemplo: en calderas de vapor.

En la figura 5 se muestran imágenes de válvulas operada por muelles

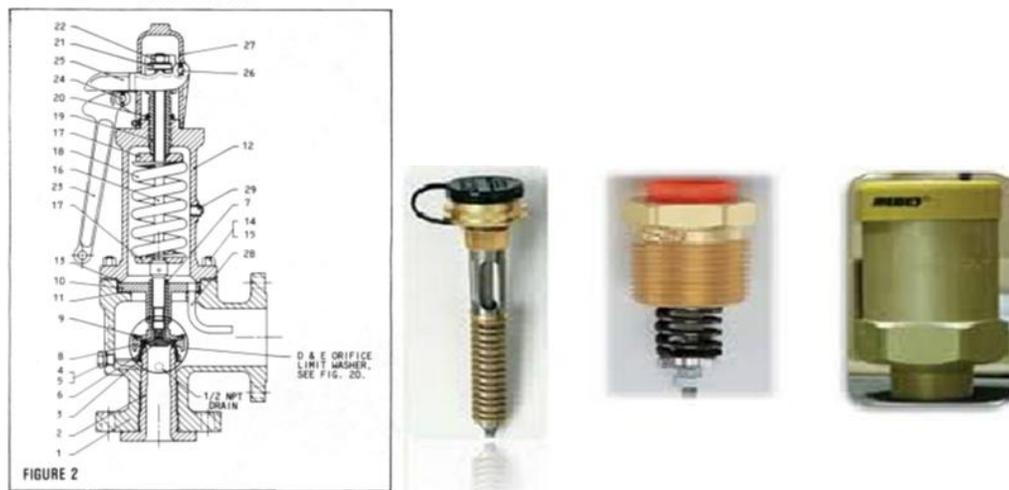


Figura No. 5 Tipos de válvulas operadas por muelles

b) Válvulas de contrapesos

Las válvulas de contrapesos actúan de forma similar a las operadas mediante muelles con la diferencia que esta posee un brazo de palanca con un peso que sirve para lograr el equilibrio entre la presión estática del fluido y la presión ejercida por el brazo-palanca, en la figura se muestra una válvula operada por palanca.

Según la norma cubana NC 924 las válvulas de seguridad de contrapesos (Ver figura 6) se prohíben su instalación en equipos móviles, así como no deben ser instaladas donde existan vibraciones o estén expuestas a golpes u condiciones anormales de trabajo.

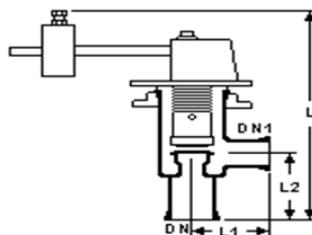


Figura No. 6 Válvula operada por contrapesos

1.4. Breve reseña de los dispositivos de alivio de la presión

Las primeras explosiones con pérdidas de vidas humanas en recipientes bajo presión y calderas de vapor tienen su origen durante el comienzo de la Revolución Industrial en ciudades densamente pobladas de los Estados Unidos de Norteamérica, en esa época las calderas de vapor no contaban con medios o dispositivos de alivio para evitar las sobrepresiones de dichos equipos durante su operación, según reportes obtenidos de esa época durante solo 1 mes se reportaron más de 40 explosiones en instalaciones industriales de diferentes tipos lavanderías, instalaciones automotrices y otras con pérdidas de vidas humanas, lesionados, daños de consideración de las instalaciones y al medio ambiente.

En la actualidad a pesar del desarrollo de las nuevas tecnologías continúan reportándose a nivel mundial graves accidentes por mal funcionamiento de estos dispositivos de alivio de presión con graves resultados a las instalaciones, el medio ambiente y lo más grave, pérdidas de vidas humanas, provocadas por negligencias y desconocimiento de este tema.

En la tabla 1 se observa un grupo de accidentes del trabajo relevantes, ocurridos en países desarrollados, todos vinculados con fallas de los dispositivos de alivio que protegen recipientes a presión.

Tabla No. 1 Eventos de accidentes mundiales con fatalidades humanas

País	Fecha	Tipo de evento	Causa	Fatalidades
Canadá	Sep./1983	Explosión vagón cisterna GLP	Válvula de seguridad no funciona	3
EEUU	Dic/1993	Explosión en recipiente a presión conteniendo cloruro de hidrogeno liberado al medio ambiente	Válvula de seguridad no funcionó	8
EEUU	Junio/1978	Rotura de una columna de éter bajo presión	Rotura de la válvula de alivio de presión	6

EEUU	Sep./1977	Rotura de un recipiente de GLP	El dispositivo de alivio no funcionó	2
Canadá	Oct/1978	Explosión en tanque de etileno presurizado	El dispositivo de alivio no funcionó	4
India	Dic 3/1984	Explosión en 23 recipientes de cianuro	El dispositivo de alivio no funcionó	6000-8000
Fuente: NTP-509: 1999 España				

Situación en Cuba

En la tabla 2 se observa un muestreo realizado en un grupo de uniones del extinto MINBAS en el año 2012 durante las auditorías técnicas realizadas en relación con la comprobación de sus dispositivos de alivio de presión.

Tabla No. 2 OSDE o Uniones del extinto MINBAS auditadas en el año 2012

Uniones	Total de recipientes a presión auditados con válvulas de alivio	Total de dispositivo de alivio sin certificar	% del total sin comprobar
Unión química	56	15	26,78
Unión eléctrica	138	46	33,33
Unión geominera	34	21	61,76
Unión gases industriales	68	19	27,94
total	296	101	34,12

Analizando los datos de la tabla 2 se puede apreciar que de un total de 296 recipientes a presión inspeccionados existían 101 para un 34,12% no comprobados lo cual constituye un serio riesgo en esas entidades con riesgos latentes de explosiones o incendios con peligro de pérdidas de vidas humanas, con afectación al medio ambiente, pérdidas materiales, donde se incluye también los peligros para las vecindades próximas a dichas entidades, no se contemplan los equipos de otros ministerios, pues no poseen auditorías técnicas ministeriales, por lo que pueden estar en situaciones similares o peores.

El presente trabajo tiene como finalidad realizar un estudio con el objetivo de diseñar y calcular un equipo capaz de comprobar el estado de funcionamiento de los dispositivos de alivio de presión como válvulas de seguridad, válvulas alivio

con presiones de hasta 5 Mpa y también comprobar la hermeticidad de las válvulas mecánicas de diferentes tipos con rango de esa presión.

1.5. Fallas fundamentales de los dispositivos de alivio de presión.

Existen una amplia variedad de causas que provocan mal funcionamiento de los dispositivos de alivio de presión que se encuentran ubicados en recipientes a presión o en tuberías, desconociéndose por parte de los especialistas vinculados con este importante tema, donde no se le da la importancia que requiere, en este trabajo haremos un análisis a partir del artículo publicado por William A. Scully¹, en la revista Teledyne Farris Engineering bajo el título "Válvulas de seguridad: síntomas, causas y Correcciones" , donde se resumen algunas de los síntomas más frecuentes de estos importantes elementos de seguridad.

Las fallas están divididas en tres categorías: fugas o escurrimiento, traqueteo y disparo prematuro a continuación se describen cada una de ellas.

a) Fugas o escurrimientos

Puede ser provocada por desajustes en el rango de calibración, deterioro del muelle o desgastes por corrosión o erosión del área del asiento (ver figura 7), otras causas pueden ser que pequeñas partículas sólidas quedan atrapadas entre los asientos de la válvula o existencia de grandes pesos sobre la válvula como tuberías de grandes diámetros.

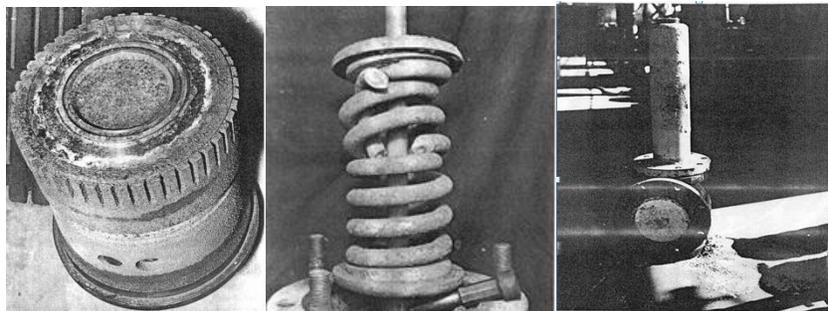


Figura No. 7 Fallas por asientos cariados, muelles rotos y taponaduras

b) Fallas por traqueteos

Una causa común de traqueteo es el tamaño muy grande de la válvula de desahogo de seguridad. Si el volumen de fluido es menor del 15 % de la capacidad nominal, habrá tendencia al traqueteo.

A la presión de disparo, no habrá suficiente energía en el recipiente para contrarrestar la carga del resorte y levantar por completo el disco de su asiento; esta falta de fuerza elevadora ocasiona “oscilaciones”.

La corrección es utilizar una válvula del tamaño correcto para las condiciones requeridas de circulación.

c) Fallas por disparo prematuro

El disparo prematuro puede ocurrir cuando se hacen ajustes internos, como subir o bajar el disco de purga, cuando la presión debajo del disco es casi la presión graduada. Los ajustes se deben hacer cuando no hay presión debajo del disco o, si debe haberla, hay que sujetar con suavidad la válvula para que no dispare.

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

Para ello, hay que sujetar la parte superior del vástago o el soporte del disco al hacer los cambios. Si se sujeta el soporte del disco, hay que reducir la presión de entrada debajo de él.

CAPÍTULO 2 CÁLCULOS MECÁNICOS, RESULTADOS Y ANÁLISIS

Cálculos mecánicos

2.1. Cálculo de espesor mínimo permisible del tanque receptor de almacenamiento

El tanque receptor de almacenamiento de agua cumple la función de servir como amortiguador durante el disparo de los diferentes dispositivos de alivio que se comprueben en el banco, considerando el bajo flujo y la alta presión que proporciona la bomba de presión.

El tanque de almacenamiento tiene las siguientes características:

- Material del cuerpo: Acero al carbono Sa 106 gr A
- Diámetro interior= 0,13 m
- Espesor= .005 m
- Volumen total= 15 litros
- Presión de diseño= 50 bar

Para determinar el espesor admisible del cuerpo se usó como referencia el código ASME sección II obteniéndose de la tabla 1 pagina 211 la composición química y propiedades de ese material:

Tabla No 3 Composición química del material SA 106 gr A:

Carbono % - 0,25	Cromo % - 0,4
Silicio % - 0,10	Fosforo % - 0,035
Vanadio % - 0,8	Molibdeno % - 0,15
Manganeso %- 0,27- 0,93	Azufre % - 0,035
Níquel % - 0,4	

De la tabla 2 página 212 del mismo texto se obtienen las tenciones de rotura y fluencia respectivamente de ese material, arrojando los siguientes valores:

Tabla No 4 Propiedades mecánicas del material SA 106 gr A

Tensión de rotura:	3300 bar
Tensión de fluencia:	2050 bar
Tensión admisible:	1180 bar

El cálculo del espesor mínimo del tanque se calculó según ASME sección VIII división I (página 19) según la fórmula:

$$t = \frac{PR}{SE - 0.6P}$$

Dónde:

t= Espesor mínimo requerido

R= Radio interior del cuerpo del tanque = 0,065 m

S= Valor obtenido de las tensiones admisibles según ASME sección II parte D

E= Eficiencia de la soldadura, se toma =1 por no tener uniones longitudinales ni transversales soldadas en el cuerpo del cilindro.

P= Presión de diseño al cuál trabajará el tanque = 50 bar

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

S= 1180 bar

Sustituyendo valores obtenemos el valor de t:

$$t = \frac{50 \cdot 0,065}{1180(1) - 0,6 \cdot 50} \quad t = \frac{3,25}{880}$$

$$t = 0,00369 \text{ m} = t = 3,69 \text{ mm}$$

Como se cumple la condición $t_{\text{cálculo}} < t_{\text{diseño}}$ se considera adecuado el espesor del tanque seleccionado.

2.2. Cálculo del espesor mínimo de las tuberías para la presión de trabajo

Las tuberías que componen el esquema hidráulico son de material acero al carbono sin costuras SA 53 grado A, cuyo diámetro nominal es de ½” con espesor estándar de 2,77 milímetros y diámetro exterior de 21,34 mm.

En la tabla 5 se observan la composición química de este material, obteniéndose del código ASME sección II parte D en la tabla 6 se observan las propiedades mecánicas según ASME B31-3 para tuberías de proceso.

Tabla No. 5 Composición química del material SA 53 Grado A

Carbono	Manganeso	Fosforo	Azufre	Cobre	Níquel	Cromo	Molibdeno	Vanadio
0,25	0,95	0.025	0.045	0,40	0,40	0,40	0,15	0.08

Tabla No. 6 Propiedades mecánicas material SA 53 Grado A

Tensión de rotura (Mpa)	Tención de fluencia (Mpa)	Tención admisible(Mpa)
330	205	118

Cálculo del espesor mínimo de las tuberías:

La fórmula de cálculo empleada para determinar el espesor mínimo de las tuberías que componen el esquema hidráulico se corresponde con lo establecido en el código ASME B31-3 página 20.

$$t = \frac{PD}{2(SE + PY)}$$

Donde:

t= Espesor mínimo de cálculo (m)

D= Diámetro interior de la tubería (0.0158 m)

P= Presión manométrica (Mpa)=5

S= Tención admisible del material de la tubería (118 Mpa)

E= Factor de calidad de la soldadura longitudinal de la tubería se toma =1 por no tener costuras longitudinales la tubería (Tabla A1B ASME B31-3 página 195)

Y= Factor de reducción por tensiones en la soldadura, toma según la tabla 304.1.1 pagina 20 de ASME B31-3, para aceros ferriticos con temperaturas menores a 427° C se toma Y= 0,4

Sustituyendo valores:

$$t = \frac{5 * 0,01158}{2(118 * 1 + 5 * 0,4)} \quad t = \frac{0,579}{240} := 0,00241 \text{ m} = 2,41 \text{ mm}$$

Por lo que la tubería seleccionada con espesor de 2,77 mm es mayor que el espesor calculado de 2,41 mm, por lo que la tubería soportará adecuadamente la presión a la que fue diseñada.

2.3. Cálculo de resistencia de los tornillos de las presillas de sujeción

El sistema de apriete de la válvula a comprobar contra el banco de comprobación está compuesto de 2 presillas de acero equidistantes a 180° con agujeros de 21 milímetro donde pasan los tornillos de Ø 20 mm (ver figura 7)



Figura No. 7 Vista de las presillas de sujeción del banco

Cálculo de resistencia de los tornillos de sujeción

Para la designación de los tornillos se comenzó definiendo las cargas que sobre este actúan, para nuestro caso actúan cargas de tracción, por lo que se seleccionó el grado TR (de alta resistencia) según la norma ISO 898, con las siguientes características: Tornillo de cabeza hexagonal M20 X 1,25 X 90-8.8

En la siguiente tabla 7 se muestran los valores nominales del límite elástico f_{yb} y de la resistencia última a la tracción f_{ub} , en N/mm^2 para adoptar como valores característicos en los cálculos:

Tabla No. 7 Características mecánicas de los tornillos.

Valores nominales del límite elástico f_{yb} y de la resistencia a tracción última f_{ub} de tornillos							
Grado del tornillo	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	10.9
f_{yb} N/mm^2	240	320	300	400	480	640	900
f_{ub} N/mm^2	400	400	500	500	600	800	1000

Las uniones atornilladas se clasifican en cinco categorías, denominadas A, B, C, D y E en función de la manera en que trabajan.

Tres de ellas corresponden a uniones en las que los tornillos están solicitados en dirección normal a su eje, es decir a cortante, y son las categorías A, B y C; mientras que las otras dos, categorías D y E, se corresponden a uniones en las que los tornillos están solicitados en dirección de su eje, esto es, que trabajan a tracción, para nuestro caso se corresponde con la categoría D

En la tabla 8 se dan los valores geométricos del tipo de tornillo seleccionado.

Tabla No. 8 Dimensiones geométricas del tornillo empleado.

Dimensiones geométricas del tipo de tornillo empleado en la unión					
Tipo de tornillo	Diámetro de la caña	Longitud parte roscada	Diámetro del agujero	Área neta del núcleo	Área resistente
TR 20	20 mm	90 mm	21-22 mm	225 mm ²	275 mm ²

El valor del esfuerzo al que someterán los tornillos es de:

- Esfuerzo a tracción: 60 kgf (588,39N)

Como se trata de una unión sometida a esfuerzos a tracción se calculará según la siguiente fórmula:

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{Mb}}$$

Dónde:

A_s es el área resistente a tracción del tornillo $A_s = 275 \text{ mm}^2$;

f_{ub} es la tensión última a tracción del tornillo $f_{ub} = 800 \text{ N/mm}^2$;

γ_{Mb} es el coeficiente parcial de seguridad, para uniones atornilladas $\gamma_{Mb} = 1,25$.

Para el caso analizado se multiplica la expresión anterior por el número de tornillos en este caso 2.

Sustituyendo:

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 \cdot 800 \cdot 275 \cdot 2}{1,25}$$

$$F_{t,Rd} = 316\,800 \text{ N}$$

$$F_{t,Rd} = 316.800 \text{ N} > F_{t,Ed} = 588,39 \text{ N}$$

Como el valor calculado para los tornillos $F_{t,Rd}$ es mayor que el valor que actúa sobre la unión $F_{t,Ed}$ se consideran aceptables los tornillos seleccionados.

Cuando los tornillos trabajan a tracción, la norma ISO 898 establece que se realice el cálculo al aplastamiento de la chapa en contacto con la cabeza del tornillo.

La resistencia al aplastamiento, $B_{p,Rd}$ de una chapa de espesor t , viene dada por la expresión siguiente:

$$B_{p,Rd} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t \cdot f_u}{\gamma_{Mb}}$$

f_u es la resistencia a tracción del acero de la chapa, que en este caso se trata de una chapa de acero SA 537 con resistencia a tracción $f_u = 438 \text{ N/mm}^2$;

d_m es el menor diámetro medio entre los círculos circunscritos e inscrito a la cabeza del tornillo. En este caso, se ha tomado la medida entre caras de la cabeza del tornillo, de valor, $d_m = 30 \text{ mm}$;

t es el espesor de la placa bajo la cabeza del tornillo o bajo la tuerca, en este caso la chapa tiene un espesor de 25 mm .

γ_{Mb} es el coeficiente parcial de seguridad, para uniones atornilladas $\gamma_{Mb} = 1,25$.

Sustituyendo:

$$B_{p,Rd} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot 30 \cdot 25 \cdot 430}{1,25} \quad B_{p,Rd} = 156\,074 \text{ N}$$

Por lo que se cumple la condición de que la resistencia al aplastamiento de la chapa $B_{p,Rd}$ es mayor que la carga $F_{t,Ed}$ que actúa sobre la unión atornillada.

Por lo tanto se cumple la condición que: $B_{p,Rd} > F_{t,Ed}$

Por lo que los tornillos seleccionados son adecuados.

2.4. Cálculo de la resistencia de las presillas de sujeción y el tornillo

Se presenta a continuación los resultados obtenidos del cálculo de las presillas de sujeción y el tornillo.

Tabla No 9 Valores las tensiones obtenidas en las presillas de sujeción.

Fuerza (N)	Ra (N)	Rb (N)	Tornillo1 (N)	Tornillo2 (N)
78981,05	39490,52	39490,52	56415,04	16924,51
39490,52	19745,26	19745,26	28207,52	8462,255
14808,95	7404,473	7404,473	10577,82	3173,346
8775,67	4387,836	4387,836	6268,337	1880,501
5183,13	2591,566	2591,566	3702,237	1110,671
3396,19	1698,093	1698,093	2425,847	727,754

Q presilla1 (N)	Q2 (N)	Mf presilla1(N-m)	Mf 2 (N-m)
-16924,51065	0	2369,431	0
-8462,255323	0	1184,716	0
-3173,345746	0	444,2684	0
-1880,501183	0	263,2702	0
-1110,671011	0	155,4939	0
-727,7539578	0	101,8856	0

Posteriormente se muestran gráficos de fuerza (N) y presión (MPa) de las presillas de sujeción.

Figura 8 Fuerza de presión sobre las presillas de sujeción.

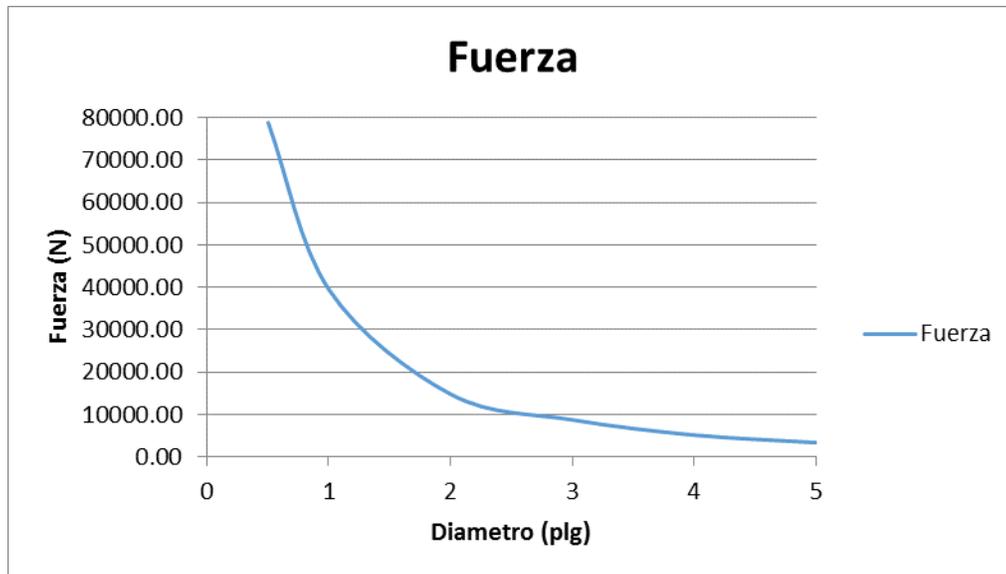


Figura 9 Presión que ejerce la válvula sobre las presillas de sujeción.

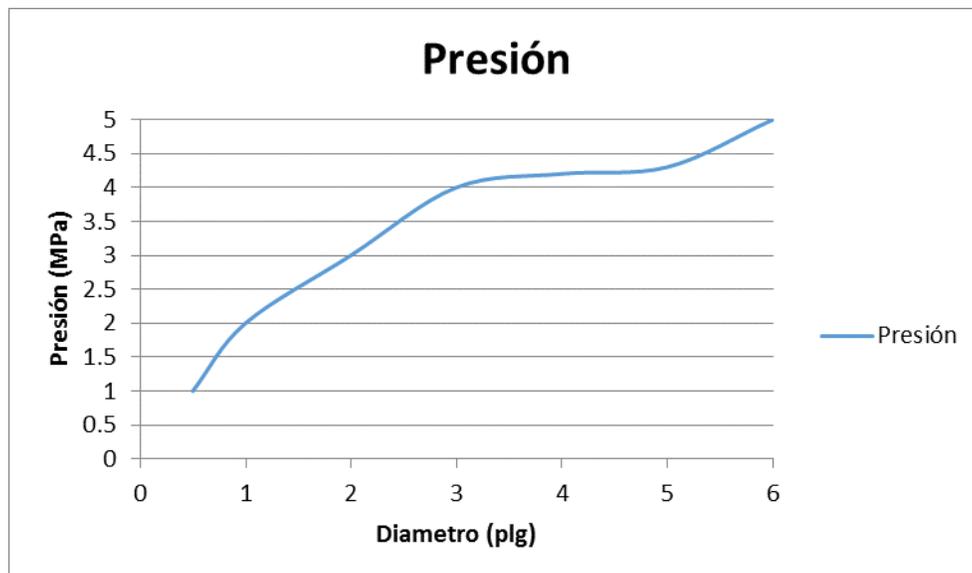
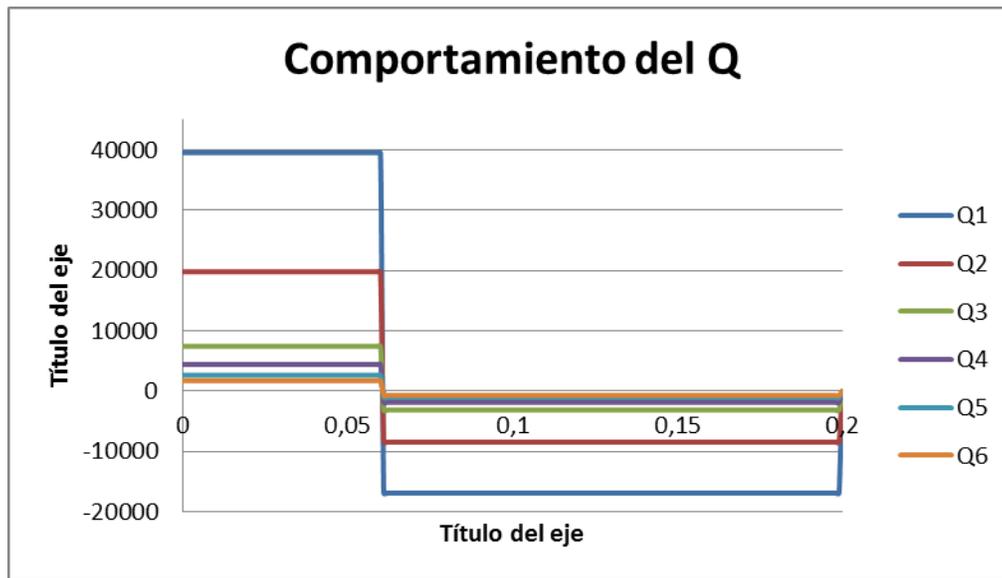
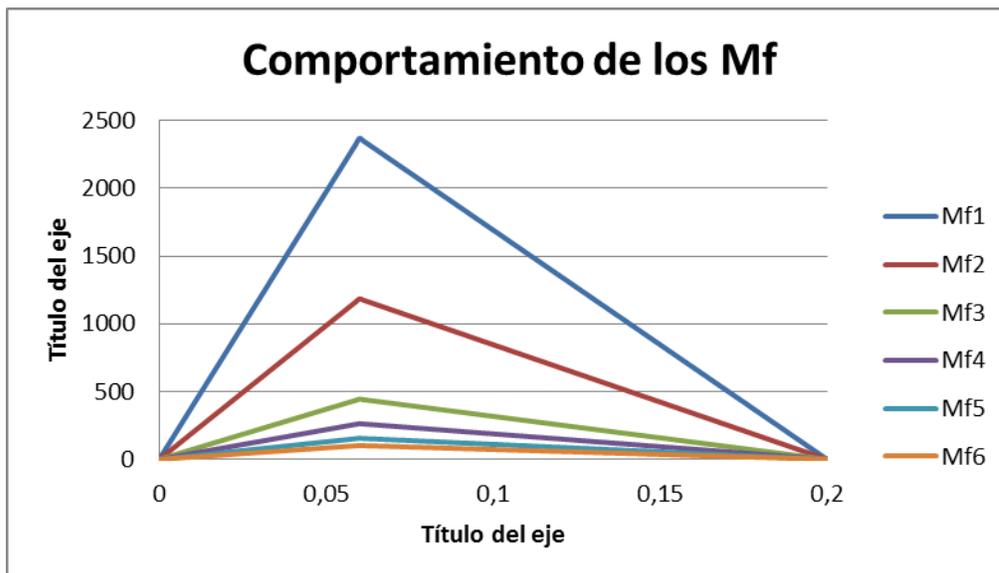


Figura 10 Grafico de cortante para la presilla de sujeción.



En este gráfico mostrado anteriormente se puede apreciar el comportamiento del cortante. Y en el gráfico siguiente se puede divisar el comportamiento del momento flector (N-m).

Figura 11 Grafico de momento flector para la presilla de sujeción.



2.5. Listado de materiales

Los materiales, características y cantidades empleados para la construcción del banco de comprobación se describen en la tabla 10. Debe señalarse que todos los componentes, a excepción de la bomba de comprobación RP 50 S que fue importada, fueron obtenidos de piezas y componentes en desuso, por lo que sus costos son afectados por una depreciación.

Tabla No. 10 Listado de materiales

N ^o	Descripción	Uso	Cantidad
1	Angulares de acero al carbono 19 X 19 mm	Guías de desplazamiento tornillos de apriete	6 m
2	Chapa de acero al carbono 8 X 800X 400 mm	Mesa de trabajo	1
3	Disco de acero $\varnothing 150$ mm x 10mm espesor con agujero de $\varnothing 3/4$ "	Soporte de Sujeción de la válvula a comprobar	1
4	Laminado sección cuadrado de acero al carbono 30 X 30 X 200	Construcción de unas de presillas de sujeción	2
5	Tornillos de acero al carbono M20 X 120	Sistema de apriete del banco – válvula	2
5	Manómetro $\varnothing 1/2$ " $\varnothing 160$ mm rango 0-60 Bar	Sistema de medición de la presión.	1
6	Tanque receptor de acero al carbono 0,015 m ³	Sistema de amortiguamiento de presión	1
7	Conector para manómetro de presión $\varnothing 1/2$ "	Unión del manómetro con la tubería	1
8	Platillo $\varnothing 3/4$ " deslizante o de cuello clase 300 lbs a/c	Conexión de la válvula de seguridad a comprobar	1
9	Válvulas mecánicas tipo bola de cierre rápido, $\varnothing 1/2$ " 300 clase 300 libras a/c	Selector del tipo de válvula a comprobar	2
10	Válvula mecánica tipo cuña clase 300 libras $\varnothing 1/2$ " a/c	Drenaje del tanque amortiguador	2
10	Tuberías acero al carbono $\varnothing 1/2$ " sin costura SA 53 S/B grado B	Sistema hidráulico de alta presión	3 m
12	Electrodos E7016 acero al carbono	Soldadura de estructuras y tuberías	2 kg
13	Bomba manual de alta presión RP 50 S	Suministro de presión a la unidad de comprobación	1
14	Anillo de asiento de acero al carbono $\varnothing 60$ mm x 15	Asiento de la válvula a comprobar	1

2.6. Planos de despiece.

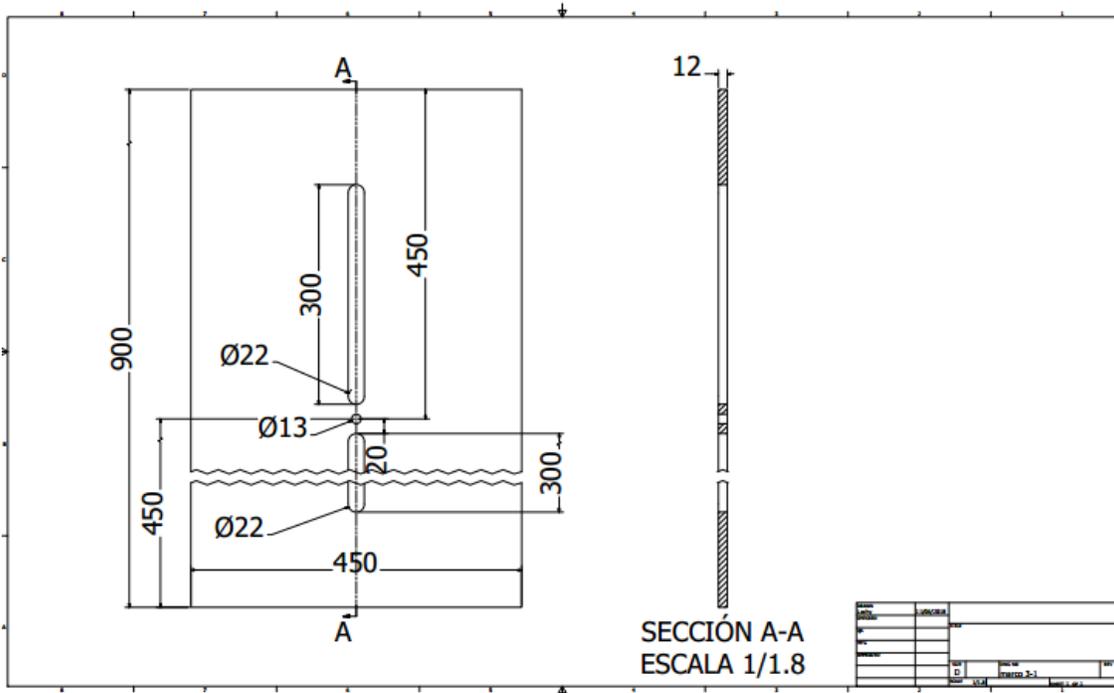
Los planos de despiece comprenden los principales elementos que conforman la unidad del banco de pruebas como son:

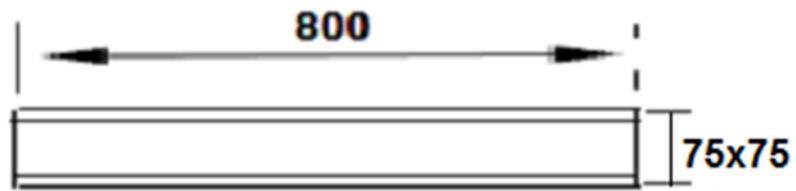
- a) Presillas de sujeción de las válvulas a comprobar.
- b) Dimensiones de la mesa principal de trabajo.
- c) Espárragos de apriete de las presillas de sujeción.
- d) Esquema hidráulico de las tuberías del banco.

Mesa de trabajo

Material: Acero al carbono

Cantidad: 1 pieza

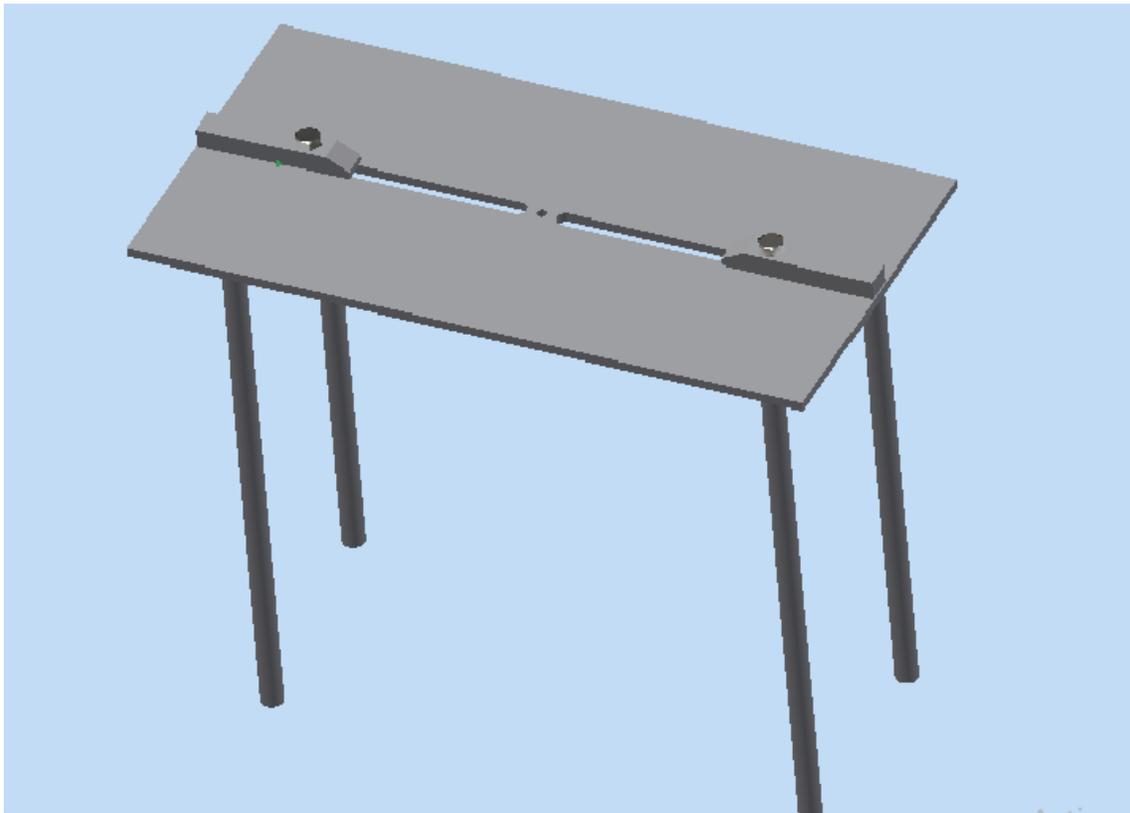


Patas de la mesa de trabajo

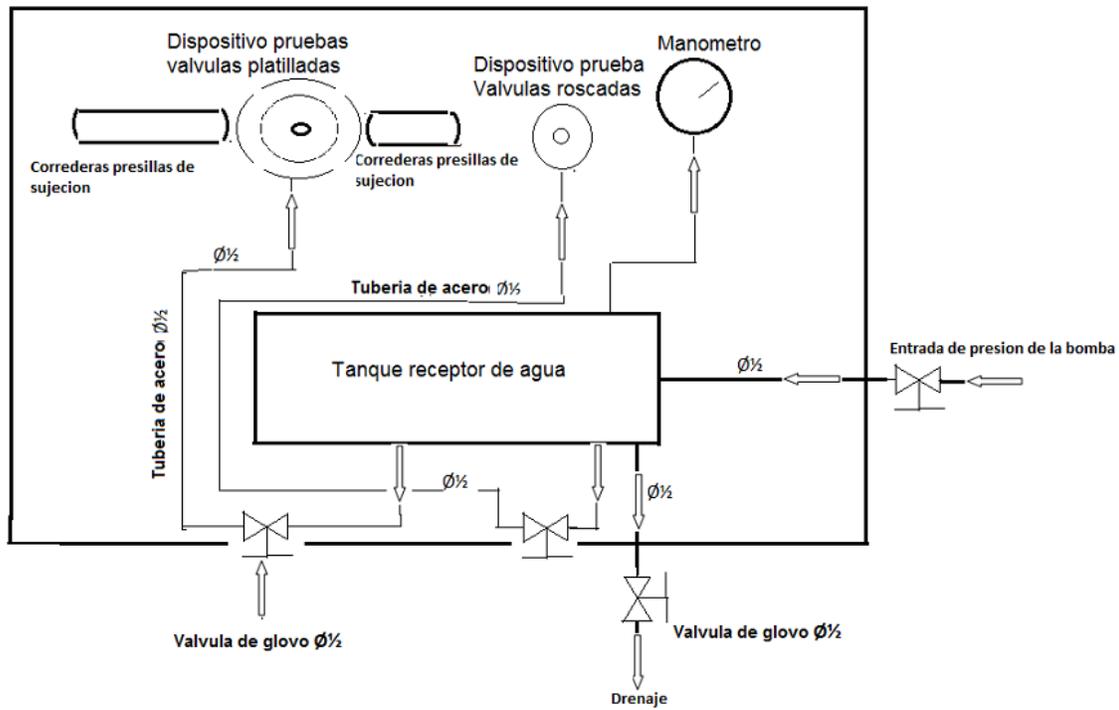
Material: Acero al carbono

Cantidad: 4

Mesa de trabajo ensamblada



Esquema hidraulico del banco de comprobacion de dispositivos de alivio



CAPÍTULO 3 INSTRUCCIONES PARA LA OPERACIÓN CONFIABLE Y SEGURA DEL BANCO DE COMPROBACIÓN

En este capítulo se presentan el ensayo de calibración y comprobación dispositivos de alivio de presión.

3.1. Ensayo de calibración y comprobación dispositivos de alivio de presión

Se describe a continuación el mismo, teniendo en cuenta los objetivos y alcance, definiciones y desarrollo.

1. OBJETIVOS Y ALCANCE

- 1.1. Lograr bajo criterios técnicos y normas actualizadas la calibración y la comprobación de las válvulas de seguridad y alivio de presión de manera que garanticen y cumplan con los requisitos para el cual fueron diseñados.
- 1.2 Los criterios contenidos en el presente reglamento son de obligatorio cumplimiento por parte de los técnicos y especialistas que realizan trabajos de inspección y la calibración en válvulas de seguridad y/o alivio de presión
- 1.3 Todas las acciones que se realicen en los dispositivos de alivio de presión serán registradas y documentadas en los documentos que se establecen en el presente procedimiento.

2. DEFINICIONES

2.1 Dispositivos de alivio de presión

Dispositivos accionados por la presión interior, y diseñados para abrir durante las condiciones anormales o de emergencia, evitando la elevación de la presión por un valor superior al de diseño especificado en el recipiente.

2.2 Dispositivo de alivio de presión con apertura irreversible.

Dispositivo que una vez que abre no son capaces de realizar el cierre por sí mismos.

2.3 Dispositivos que por la acción de la presión son capaces de abrir y liberar un caudal determinado cuando la presión máxima admisible se eleva por encima de los parámetros establecidos y al cesar esta el dispositivo cierra automáticamente.**2.4** Presión de regulación.

Presión a la que se regula el dispositivo que es mayor a la de trabajo y tiene como objetivo evitar sobrepresiones.

2.5 Presión de trabajo máxima admisible (MTMA)

Máxima presión manométrica permisible en el tope de un recipiente durante la operación normal y a la temperatura de diseño, siendo la base para para el ajuste de los dispositivos de alivio de presión que protegen los recipientes.

2.6 Presión de diseño: Presión que conjuntamente con la temperatura de diseño es usada para determinar el espesor mínimo permisible para el cálculo de los espesores de los recipientes a presión.

Presión de cierre

2.7 Sobrepresión

Es el incremento de la presión por encima de la presión de ajuste del dispositivo de alivio de la presión.

2.8 Calificación demostrada

Aptitud para realizar un trabajo cuando exista un documento que avale los conocimientos teóricos y prácticos para acometer una actividad.

2.9 Gases limpios

Son aquellos gases que no contienen partículas o sustancias corrosivas que provoquen incrustaciones, sedimentación abrasión o corrosión en las partes internas de los dispositivos de alivio de presión.

2.10 Gases sucios.

Son aquellos gases que contienen partículas o sustancias corrosivas que pueden provocar incrustaciones, sedimentación, abrasión y/o corrosión en las partes internas del dispositivo de alivio de presión.

2.11 Válvula de alivio

Válvula que abre y cierra proporcional al incremento o decremento de presión actuante, se usa para fluidos incomprensibles (agua).

2.12 Válvula de seguridad

Se caracteriza por su rápida apertura y no cierra hasta alcanzar los valores de presión predeterminados.

2.13 Presión de cierre.

Es el valor de la presión a la entrada de la válvula, a la cual el disco restablece el contacto con el asiento de la tobera, cerrando nuevamente el paso de flujo.

2.14 Prueba pre-pop

Prueba que se realiza para determinar para determinar el ajuste de la válvula antes del desarme de la misma (como se recibe).

3. Desarrollo

3.1.1 La calibración de los dispositivos de alivio de presión serán realizado mediante el banco de pruebas y la bomba de comprobación RP 50 S.

3.1.2 Los instrumentos de medición de la presión del banco de pruebas BP-01 estarán debidamente calibrados y certificados con el correspondiente sello de APTO para el uso.

3.1.3 Para los trabajos de calibración de los dispositivos de alivio de presión se utilizaran los siguientes documentos:

- NC 924:2012 Recipientes a presión y tuberías-REQUISITOS DE INSTALACION Y ENSAYO DE LOS DISPOSITIVOS DE ALIVIO DE PRESION”.
- Resolución 44 del MTSS
- Instrucción de trabajo del banco de pruebas.

3.1.4 Mantenimiento en taller, pruebas de presión y hermeticidad.

Las válvulas que no satisfagan los requisitos de la prueba pre-pop, o presenten ensuciamiento, corrosión o daños mecánicos en sus componentes deberán someterse a una inspección integral de la misma.

3.1.5 El desarme se realizara siguiendo las recomendaciones del fabricante, identificando y colocando los componentes en un lugar separado para evitar confusiones o perdidas de piezas, tomando en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Retirar el capuchón de la válvula
- Aflojar la contratuerca
- Aflojar el tornillo de ajuste para liberar la presión del muelle
- Retirar el bonete, resorte, vástago, plato y guía del disco.
- Retirar la tobera inferior del cuerpo de la válvula.
- Limpiar todos los componentes usando desengrasantes u otros productos al efecto.
- Inspeccionar todos los componentes, en busca de desgastes, erosiones y

otros daños en estos.

- Revisar el estado físico general de cada componente, evaluando el estado físico general, evaluando evidencias de corrosión, o daños mecánicos tales como:
 - Fracturas ocasionadas por la fatiga del metal, utilizando END en dependencia del problema detectado por el especialista.
 - Estado del resorte (perdidas de espesores, corrosión, agrietamientos, etc.
 - Daños, deformaciones, desgaste natural de los componentes internos.
 - Rectitud y estado del vástago.
 - Estado de las bridas para detectar picaduras o cualquier otro daño.
 - Si se considera necesario se podrá medir el espesor del cuerpo de la válvula.

3.1.6 Si la válvula no cuenta con la chapilla de identificación, el cliente suministrara la chapilla y el alambre resistente a la corrosión como parte del mantenimiento.

3.1.7 Una vez que la válvula se le ha realizado el mantenimiento o sustitución de los componentes que lo requieran, esta será nuevamente ensamblada en el orden inverso especificado en el punto 8.1.2

Prueba de ajuste del disparo.

3.1.8 Colocar la válvula a comprobar en el banco de pruebas, ajustar las pinzas de sujeción y apretar la misma adecuadamente.

3.1.9 Aplicar la presión lentamente hasta que la válvula abra con una descarga continua fina, el cual se le identificara como "apertura", este proceso se realizara por 3 ocasiones continuas.

3.1.10 Cuando la válvula no abra a la presión de ajuste, se modificara la posición del tornillo de ajuste, apretándolo o aflojándolo según el caso.

3.1.11 Para realizar el ajuste de la válvula, la presión inicial será aplicada con la bomba a una presión inferior a la presión de ajuste y debe sujetarse el vástago para evitar que este gire ya que pudiera dañar

los discos de asiento de la misma.

3.1.12 Las válvulas que no cumplan con las tolerancias establecidas en la norma NC 924 serán rechazadas, notificándosele al cliente la causa del rechazo.

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

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

Área de trabajo:

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

Antes de realizar ensayos de presión se comprobará:

- El manómetro del banco sea el adecuado al rango de la válvula a comprobar y que el mismo tenga vigente su certificado de calibración.
- Lubricar las partes móviles de la bomba de presión
- Comprobar no existan presencia de fugas por las uniones roscadas o soldadas.

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

- Los operarios han de utilizar los medios de protección individual tales como gafas de seguridad, casco protector, botas de seguridad y otros.
- Cuando el sistema se encuentre presurizado no se debe aflojar los tornillos de las presillas de sujeción.
- La brida de descarga del dispositivo de alivio a comprobar será montada en el banco con un desplazamiento de 30° con respecto a la cara del operario, para evitar accidentes durante el disparo de la misma.

CAPÍTULO 4 VALORACIÓN ECONÓMICA

En este capítulo se presenta la valoración económica, considerando el costo de los materiales empleados y los demás recursos.

4.1. Costo de materiales empleados y recursos empleados

Los materiales empleados para la construcción del banco de comprobación fueron en su mayoría recuperados de instalaciones desmanteladas, siendo la bomba de presión el único elemento de importación, por lo que el costo de esta inversión resultó relativamente barato. A continuación en la tabla 11 se relaciona el listado de materiales empleados.

Tabla No. 11 Listado de materiales empleados

Nº	Descripción	Cantidad	Costo unitario		Costo total		
			CUC	MN	CUC	MN	
1	Angulares de acero al carbono 19 X 19 mm	6 m		5,86		34,90	
2	Chapa de acero al carbono 8 X 800X 400 mm	1		165,46		165,46	
3	Disco de acero \varnothing 150 mm x 10mm espesor con agujero de \varnothing 3/4"	1		45,36		45,36	
4	Perfil laminado sección cuadrado de acero al carbono 30 X 30 X 200	2		24,25		24,25	
5	Tornillos de acero al carbono M20 X 120	2		26,68		53,36	
5	Manómetro roscado de \varnothing 1/2" \varnothing 160 mm rango 0-60 Bar	1					
6	Tanque receptor de acero al carbono 0,015 m ³	1		155,56		155,56	
7	Conector para manómetro de presión \varnothing 1/2"	1		23,68		23,68	
8	Brida \varnothing 3/4" deslizante o de cuello clase 300 lb. a/c	1		17,37		17,37	
9	Válvulas mecánicas tipo bola de cierre rápido, \varnothing 1/2" 300 clase 300 libras a/c	2		53,46		106,92	
10	Válvula mecánica tipo cuña clase 300 libras \varnothing 1/2" a/c	2		64,73		129,26	
10	Tuberías acero al carbono \varnothing 1/2" sin costura SA 53 S/B grado B	3 m		36,91		110,73	
12	Electrodos E7016 acero al carbono	2 kg					
13	Bomba manual de alta presión RP 50 S	1	300,00		300		
14	Anillo de asiento de acero al carbono \varnothing 60 mm x 15	1		24,60		24,60	
Total						300	866,85

Adicionalmente del costo directo de los materiales intervienen costos indirectos adicionales, que hoy según el nomenclador de cuentas se nombran Gastos Asociados a la Producción, por mano de obra y el consumo de electricidad.

Según cálculos realizados en función de la calificación del personal que intervino durante la etapa de construcción que fueron: 1 mecánico y 1 soldador durante 10 días no continuos de trabajo, se estimó un costo de 350.00 MN, adicionalmente se estimó un gasto, según el consumo histórico, de \$22,20 USD por concepto de consumo de energía eléctrica.

Esta estimación se realizó por no contar el taller de un metro contador para tener mayor exactitud de este monto.

Considerando todo lo anterior el costo total de esta inversión es de \$1 539,05 (Se tuvo en cuenta que la conversión según registros contables en las entidades cubanas es 1 MN=1 CUC) siendo \$322,20 en CUC y \$1 216, 85 en MN.

4.2. Cálculo del tiempo de recuperación de la inversión

Según la ficha de costos elaborada por el CENEX para el cobro de los servicios de comprobación de los dispositivos de alivio de presión, se tomó como referencia el diámetro de las mismas, según los datos mostrados en la tabla 12.

Tabla No. 12 Costos estimados

Diámetro de la válvula	Costo de la calibración (MN)
de 1/2" a 1	126,53
de 1" a 3"	157,75
de 3" a 6"	181,69

Se asume que con el banco de comprobación se pueden trabajar en 8 horas diarias, y comprobar las siguientes válvulas con los correspondientes precios:

- 2 válvulas de 1/2"..... 253,06 MN
- 1 válvula de 3" 157,75
- 1 válvula de 6" 181,69
- Valor Total 592,50 MN

Por lo que el periodo de la inversión (PRI) será de:

$$\text{PRI} = \$1539,05 / \$592,50$$

$$\text{PRI} = 2,59 \text{ días de trabajo}$$

CONCLUSIONES

1. Los cálculos realizados avalan y demuestran que el equipo diseñado, para comprobar los dispositivos de alivio de presión, es fiable y seguro para realizar trabajos dentro de los rangos y parámetros diseñados.
2. El costo de fabricación de este equipo resulta relativamente bajo como resultado de usar elementos y componentes en su mayoría reutilizados.
3. El equipo diseñado puede evaluar el estado técnico de los dispositivos de alivio de presión instalados en los recipientes a presión, para determinar y evitar accidentes o explosiones en la industria.
4. El marco teórico puede emplearse para capacitar e instruir al personal que realizará trabajos con el banco de comprobación, a fin de evitar errores de operación y/o accidentes durante su manipulación.

RECOMENDACIONES

1. Realizar estudios para construir otro equipo capaz de comprobar dispositivos de alivio con rangos superiores de hasta 250 bar de presión y diámetros de hasta 10" (250mm.) con la posibilidad de usar como medio de prueba gases y líquidos
2. Los tanques de almacenamiento de hidrocarburos poseen válvulas de presión y vacío como medio de protección por lo que debe diseñarse un equipo similar para comprobar estos importantes medios de seguridad.
3. Debe instruirse y capacitarse al personal que realizará trabajos con el banco de comprobación, a fin de evitar errores de operación y/o accidentes durante su manipulación.

BIBLIOGRAFÍA

- (1996). Crosby Pressure Relief Valves Engineers Engineering Handbook
- (2006). Catálogo de electrodos UTP.
- (2002). Flow of fluids Through valves, fittings and pipe
- Abasolo, M., Navalpotro, S. (2011) Uniones atornilladas, tutorial 15. ISSN 2255.2316
- ASME (2007) Boiler & Pressure vessel code. Section II Parte A.
- ASME (2007). Boiler & Pressure vessel code. Section II Parte D.
- ASME. (2002). B31-3 Process Piping.
- Cabrera Gómez, J. (2003) Aclaraciones para el empleo adecuado del sistema internacional de unidades.
- CROSBY. (2010). Nozzle Relief Valves Libro de instrucción N^o 20
- Garzón Saavedra, J. E. (2008). Diseño y construcción de un banco de pruebas hidrostáticas para verificar fugas en accesorios para tuberías de agua en hierro gris. Tesis de grado para ingeniero mecánico.
- Gost14249-80 Cálculo de tanques cilíndricos con presión interior.
- (2008). INSTRUCTIVO para la inspección, mantenimiento y prueba de válvulas de relevo de presión en petróleos mexicanos.
- Laschinski. A. A. (1988). Construcción de aparatos químicos soldados.
- NC 0640:71 Propiedades mecánicas de tornillos y tuercas métricos.
- NC 924: 2012 Requisitos de instalación y ensayos de los dispositivos de alivio de la presión.
- ROTHERBERGER. (2014) Bomba de comprobación RP 50-S Manual de instrucción de uso y mantenimiento.
- Vaquero, J. D. (Revisión 2010). Periodo de recuperación de la inversión.
- VYC Industrial. (2014). Folleto Banco de pruebas.
- William A. Scully. (1981) Revista Teledyne Farris Engineering.

ANEXOS



Vista frontal del banco en fase de construcción



Vista lateral del banco en fase construcción



Vista frontal del banco de pruebas terminado



Vista posterior del banco de pruebas terminado