

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

SEPARADOR MECANICO DE ACEITE HIDRAULICO Y AIRE  
COMPRIMIDO PARA USOS INDUSTRIALES

TESIS

PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERIA

POR

AXEL RODOLFO VARGAS BAÑOS

PREVIO A OPTAR AL TITUTLO DE  
INGENIERO MECANICO INDUSTRIAL

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 1995

08

T(3670)

C.4

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA


FACULTAD DE INGENIERIA

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi tesis de graduación, la cual es titulada:

SEPARADOR MECANICO DE ACEITE HIDRAULICO Y AIRE COMPRIMIDO  
PARA USOS INDUSTRIALES,

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería, con fecha 11 de febrero de 1994.



AXEL RODOLFO VARGAS BANDO

Guatemala, septiembre de 1995.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

MIEMBROS DE LA JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Julio Ismael González Podszueck.
VOCAL 1	Ing. Miguel Angel Sanchez Guerra.
VOCAL 2	Ing. Jack Douglas Ibarra Solorzano.
VOCAL 3	Ing. Juan Adolfo Echeverria Méndez.
VOCAL 4	Br. Fernando Waldemar de León Contreras.
VOCAL 5	Br. Pedro Ignacio Escalante Pastor.
SECRETARIO	Ing. Francisco Javier González López.

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN  
GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Julio Ismael González Podszueck.
EXAMINADOR	Ing. Carlos Ayala.
EXAMINADOR	Ing. Byron Horacio García.
EXAMINADOR	Ing. Carlos Eliseo Flores.
SECRETARIO	Ing. Francisco Javier González López.

Guatemala,  
8 de septiembre 1.995.

Ing. Jorge Peláez,  
Director de la Escuela Mecánica Industrial,  
Facultad de Ingeniería,  
Universidad de San Carlos de Guatemala,  
Ciudad.

Señor Director.

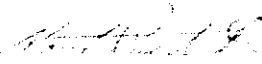
Atentamente me dirijo a usted para someter a su consideración el trabajo de tesis del estudiante AXEL RODOLFO VARGAS BAÑOS, previo a obtener el título de Ingeniero Mecánico Industrial.

El trabajo en mención se titula SEPARADOR MECANICO DE ACEITE HIDRAULICO Y AIRE COMPRIMIDO PARA USOS INDUSTRIALES. He asesorado y revisado el trabajo y considero que llena satisfactoriamente, los requisitos para su aprobación.

Es oportuno señalar que los conceptos y comentarios expuestos en el transeurso del trabajo son responsabilidad del autor, la que se extiende a mi persona al dar la aprobación del trabajo mencionado, dada mi calidad de asesor.

Agradeciendo su atención a lo antes descrito, me reitero de usted.

Atentamente,

  
Ing. Noel Prado Barragán  
Colegiado No. 2901  
ASESOR



FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, Escuela Técnica, Ingeniería en Sistemas, Ingeniería Electrónica y Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos.

Apartado Postal 217-1-01-907, Guatemala  
Ciudad Universitaria, Zona 12  
Guatemala, Centroamérica

Ref.EIM, 441.95  
Guatemala, 18 de octubre de 1,995

Ingeniero Jorge Peláez Castellanos  
Director de la Escuela de Ingeniería  
Mecánica Industrial  
Facultad de Ingeniería

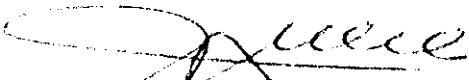
Ingeniero Peláez.

Dando respuesta a su memorando EIMI-512.95 en cuanto a emitir opinión sobre la tesis "Separador Mecánico de Aceite Hidráulico y Aire Comprimido para Usos Industriales, presentada por el estudiante Axel Rodolfo Vargas Baños; después de conocer dicho trabajo, los dictámenes del asesor y coordinador de tesis de la escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, esta Dirección recomienda darle el trámite correspondiente para que se autorice el mismo.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para quedar de usted.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

  
Ing. Jorge Siguere R.  
Director  
Escuela de Ingeniería Mecánica

JSR/bedei.





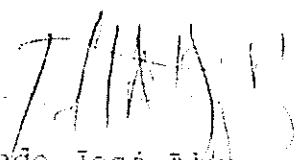
**FACULTAD DE INGENIERIA**

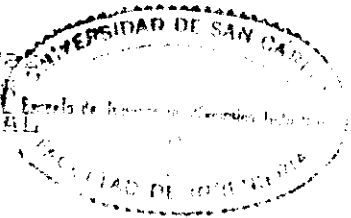
Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería  
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,  
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica  
y Regional de Post-grado de Ingeniería  
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12  
Guatemala, Centroamérica

El Coordinador General de Tesis de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y del Licenciado en Letras, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, así como el contenido y la presentación del trabajo de tesis titulado SEPARADOR MECANICO DE ACEITE HIDRAULICO Y AIRE COMPRIMIDO PARA USOS INDUSTRIALES, presentado por el estudiante universitario Axel Rodolfo Vargas Baños, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

TRABAJO Y ENSEÑANZA A TODOS

  
Ing. Fernando José Álvarez Paiz  
COORDINADOR GENERAL DE TESIS  
INGENIERIA MECANICA INDUSTRIAL



Guatemala, noviembre de 1,995.



**FACULTAD DE INGENIERIA**

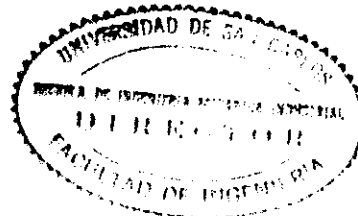
Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería  
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,  
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica  
y Regional de Post-grado de Ingeniería  
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12  
Guatemala, Centroamérica

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor con el Visto Bueno del Coordinador de Área y del Coordinador General de Revisión de Tesis, al trabajo de tesis titulado **SEPARADOR MECANICO DE ACEITE HIDRAULICO Y AIRE COMPRIMIDO PARA USOS INDUSTRIALES** presentado por el estudiante universitario Axel Rodolfo Vargas Baños, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

YO Y ENSEÑAD A TODOS

  
Ing. Jorge Peláez Castellanos  
DIRECTOR  
INGENIERIA MECANICA INDUSTRIAL



Guatemala, noviembre de 1, 995.

emdr

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



**FACULTAD DE INGENIERIA**

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería  
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,  
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica  
y Regional de Post-grado de Ingeniería  
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12  
Guatemala, Centroamérica

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al trabajo de tesis titulado **SEPARADOR MECANICO DE ACEITE HIDRAULICO Y AIRE COMPRIMIDO PARA USOS INDUSTRIALES** presentado por el estudiante universitario Axel Rodolfo Vargas Baños, procede a la autorización para la impresión de la misma.

IMPRIMASE:

Ing. Julio Ismael González Podszueck  
DECANO



Guatemala, noviembre de 1,995.

emds



## DEDICATORIA

### ACTO QUE DEDICO

- A: DIOS                                  Creador del universo. Que esta meta lograda, sirva para glorificar su nombre.
- MIS PADRES                              Oscar Humberto Vargas Salazar.  
    María Herminia Baños Chávez de Vargas.  
  
    Eternamente agradecido, el logro es para ellos.
- MI HERMANO                                Oscar Adrián Vargas Baños.
- MIS SOBRINOS                              Syndi Beatriz  
    Eiffell Gustavo.
- MIS ABUELOS                                Maria Chávez Pereira Vda. de Baños.  
    Isidro Baños Pérez. (QDEP).  
  
    Adrian Basilio Vargas Chacón.  
    Herminia Salazar de Vargas.
- MIS FAMILIARES
- MI NOVIA                                    Johanna Amaya Santa Cruz.
- MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS
- ESCUELA NACIONAL DE PARVULOS DE POPTUN PETEN.
- ESCUELA NACIONAL RURAL MIXTA EL REFORMADOR DE POPTUN PETEN.
- INSTITUTO "DR. LUIS PASTEUR" DE PUERTO BARRIOS IZABAL.
- INSTITUTO TECNICO VOCACIONAL "DR. IMRICH FISCHMANN".
- LA FACULTAD DE INGENIERIA.

## AGRADECIMIENTO

- A Dios, por haberme dado la vida, la fé y la perseverancia.
- A mis padres, Oscar Humberto Vargas Salazar y María Herminia Baños Chávez. Por su apoyo, confianza y el amor recibido.
- A la Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Al Ing. Noel Prado Barragán, por su valiosa ayuda en el asesoramiento de mi tesis.
- A todas las personas que, en una u otra forma, colaboraron en la realización de este trabajo. Especialmente a Lilly Amiel, y
- A usted, como una muestra de amistad.

## Indice general

Indice de figuras	i
Indice de tablas	ii
Glosario	iii
Introducción	v
<b>Capítulo 1: Conceptos generales respecto de hidráulica y aire comprimido.</b>	<b>1</b>
1.1 Definición de fluido.	1
1.2 Hidroestática.	1
1.2.1 Variación de la presión en un fluido estático.	2
1.2.1.1 Fluido incompresible.	2
1.2.1.2 Fluido compresible.	3
1.3 Principios básicos de la hidráulica.	3
1.3.1 Conversión de energía en hidráulica.	4
1.3.2 Presión.	4
1.3.2.1 Principio de Pascal.	5
1.3.2.2 Intensificación de la presión.	6
1.3.2.3 Transmisión de fuerza en hidráulica.	7
1.3.3 Propiedades de los aceites hidráulicos.	7
1.3.4 Viscosidad del fluido hidráulico.	8
1.4 Producción y almacenamiento de aire comprimido.	9
1.4.1 Ley de Boyle Mariotte.	10
1.5 Transmisión de la energía mediante la neumática.	10
1.5.1 Presión en un sistema neumático.	11
<b>Capítulo 2: Elementos de trabajo y distribución en la red hidráulica y neumática.</b>	<b>12</b>
2.1. Simbología.	12
2.1.1. Simbología hidráulica.	12
2.1.2. Simbología neumática.	12
2.2. Diagrama de circuitos.	12
2.2.1. Circuitos hidráulicos.	13
2.2.2. Circuitos neumáticos.	14
2.3. Tuberías y redes de distribución.	15
2.4. Bombas hidráulicas.	15
2.5. Flujo en válvulas.	15
2.6. Aplicaciones y usos industriales de aire comprimido y aceite hidráulico.	16
2.6.1. Resultado de las visitas realizadas a las industrias usuarias de aire comprimido y del aceite hidráulico.	19
2.6.2. Accesorios y dispositivos de los servidores neumáticos, hidráulicos (rangos y variaciones de presión).	20
<b>Capítulo 3: Medidores de presión.</b>	<b>25</b>
3.1. Presiones absolutas y manométricas.	27
3.2. Unidades de presión.	27
3.3. Rangos de presión.	29
3.4. Manómetros hidráulicos.	30

3.5.	Medidor tipo pistón.	33
3.6.	Laboratorio de calibración de manómetros.	34
3.6.1.	Probador calibrador de presiones de tipo peso muerto.	36
3.6.2.	Métodos y procedimientos de calibración.	39
3.6.3.	Normas y recomendaciones internacionales.	41
3.6.4.	Tolerancias.	43
3.6.4.1.	Tolerancias de calibración.	43
3.6.4.2.	Tolerancias de trabajo.	43
3.6.4.3.	Tolerancias de histéresis.	44
3.6.5.	Cálculos estadísticos.	44
3.6.5.1.	Comportamiento de la media y desviación estándar.	45
3.6.5.2.	Exactitud porcentual.	47
3.7.	Conmutador selector de presiones.	47
Capítulo 4:	Separador mecánico de aceite hidráulico y aire comprimido.	49
4.1.	Análisis de la separación de flujos.	51
4.2.	Materiales de construcción del separador.	52
4.3.	Tipos de membranas.	54
4.3.1.	Membranas metálicas.	55
4.3.2.	Membranas no-metálicas.	56
4.4.	Diseño y cálculos preliminares de laboratorio.	56
4.5.	Integración del separador mecánico a un sistema de medición.	59
4.6.	Condiciones de trabajo.	60
4.6.1.	Temperatura.	61
4.6.2.	Humedad.	61
4.6.3.	Vibraciones.	61
4.7.	Mantenimiento y reparación.	62
4.8.	Instalación del separador mecánico.	63
4.9.	Puesta en servicio.	64
Conclusiones.		vii
Recomendaciones.		viii
Referencias.		ix
Bibliografía.		x
Anexos.		xi
Anexo A:	simbología hidráulica y neumática.	
Anexo B:	protocolo de calibración de manómetros.	
Anexo C:	ejemplo de histéresis.	
Anexo C1:	gráfica de histéresis.	
Anexo D:	sistema de numeración de diafragmas.	
Anexo E:	código de letras de los materiales del diafragma.	

## Indice de figuras

Figura	Página
1.1 Diagrama de energía hidráulica.	4
1.2 Presión hidráulica.	5
1.3 Principio de Pascal.	6
1.4 Sistema multiplicador de presión.	6
1.5 Transmisión de fuerza a través de la Hidráulica.	7
1.6 Base de la definición de la Viscosidad.	8
1.7 Principio de Boyle-Mariette.	10
2.1 Representación simbólica de una instalación hidráulica sencilla.	13
2.2 Representación simbólica de una instalación neumática sencilla.	14
2.3 Control direccional en válvulas.	16
3.1 Manómetro de tipo U.	26
3.2 Manómetro de tipo Bourdon.	26
3.3 Relación de presión.	27
3.4 Representación esquemática de un Manómetro simple de columna líquida.	30
3.5a Manómetro tipo tubo en U.	31
3.5b Manómetro tipo cubeta.	31
3.6 Ilustración esquemática de un manómetro de pistón.	34
3.7 Calibrador de tipo peso muerto.	36
3.8 Esquema de un calibrador de presión de tipo peso muerto.	38
3.9 Esquema de un conmutador selector de Manómetros.	47
4.1 Transmisión de presión con instrumentos de medición de presión instalado.	49
4.2 Transmisión de presión (diafragma).	49
4.3 Instrumento medidor de presión con diafragma.	50
4.4 Transmisión de presión (diafragma) con un instrumento de medición de presión de tubo Bourdon.	52
4.5 Partes típicas del transmisor de presión.	53
4.6 Diafragmas y "líquidos de llenado".	55
4.7 Diafragma de metal.	55
4.8 Diagrama de un diafragma flexionado.	57
4.9 Diagrama de un diafragma en forma de corrugación circulares.	57
4.10 Análisis de un diafragma flexionado.	58

## Indice de tablas

Tabla		Página
1.1	Valores de viscosidad para sustancias.	9
3.1	Factores de conversión de otros sistemas a Pascales.	29
3.2	Rangos de presión.	29
4.1	Materiales de construcción del transmisor de presión.	54
4.2	Factores límites de frecuencia, para diferentes formas geométricas de membranas.	62
4.3	Valores para las instalaciones de una membrana circular.	62

## Glosario

**Aereación.** Aire en el fluido hidráulico. Excesiva aereación hace que el fluido se vea lechoso y que los componentes funcionen, erróneamente, por causa de la compresibilidad del aire atrapado en el fluido.

**Balance hidráulico.** Una condición de iguales fuerzas hidráulicas opuestas, actuando en un componente hidráulico.

**Caída de presión.** Una diferencia de presión entre cualquiera de dos puntos de un sistema o de un componente.

**Calibrar.** Fijar materialmente la posición de las señales (eventualmente sólo de algunas señales) de un instrumento de medida en función de los valores correspondientes de la magnitud a medir.

**Cavitación.** Fenómeno localizado en la bomba por falta de fluido hidráulico.

**Cilindro.** Un aparato que convierte potencia hidráulica en fuerza mecánica lineal y rotatoria. Este, normalmente, consiste de un elemento movable, tal como un pistón y el vástago, operando dentro de un cuerpo cilíndrico.

**Circuito.** Un arreglo de componentes interconectados para desempeñar una función específica dentro de un sistema.

**Componente.** Unidad hidráulica sencilla.

**Compresibilidad.** El cambio en volumen de una unidad de volumen de fluido cuando está sujeta a una unidad de cambio de presión.

**Contra presión.** Una presión en serie. Normalmente, se refiere a la presión que existe en el lado de descarga de una carga. Esta se suma a la presión requerida para mover la carga.

**Control.** Un aparato usado para regular las funciones de un componente hidráulico.

**Control mecánico.** Cualquier control actuado por uniones, engranes, tornillos, levas y otros elementos mecánicos.

**Distribuidor.** Un conductor de fluidos que da múltiples orificios para conexiones.

**Embolo.** Una parte moldeada en forma cilíndrica, la cual tiene un solo diámetro y es usada para transmitir empuje. Un vástago.

**Energía cinética.** La energía que una sustancia o cuerpo tiene en función de su masa y velocidad.

**Error de histéresis.** Diferencia de las indicaciones de un manómetro cuando se alcanza el mismo valor de la magnitud medida una vez creciendo y otra decreciendo la carga.

**Fluido.** 1. un líquido o gas,  
2. un líquido que es, especialmente compuesto para usarlo como un medio de transmisor de potencia en un sistema hidráulico.

**Fuga.** Fuga interna de fluido hidráulico.

**Hidrodinámica.** La ciencia que estudia los fluidos bajo presión.

**Hidroestática.** La ciencia que estudia los fluidos en reposo.

**Intercambiadores de calor.** Un aparato que transfiere el calor a través de una pared conductora de un fluido a otro.

**Línea de presión.** La línea que lleva el fluido que viene de la salida de la bomba al orificio presurizado del actuador.

**Medir.** El regular la cantidad o porcentaje del fluido de flujo.

**Metrología.** Campo de los conocimientos relativos a las medidas, a los sistemas y a las unidades de medida.

**Presión.** Fuerza por unidad de área; normalmente, expresada en Newtons por metro cuadrado.

**Presión absoluta.** La presión arriba del cero absoluto, por ejemplo, la suma de presión medida y presión atmosférica. En vacío el trabajo mencionado es normalmente expresado en milímetros de mercurio. (mm Hg).

**Presión atmosférica.** La presión ejercida por la atmósfera en cualquier localización específica.

**Vacío.** Menos presión que la presión atmosférica. Esta es expresada normalmente en milímetros de mercurio (mm Hg) como se refiere a la existencia de presión atmosférica.

**Válvula de alivio.** Una válvula operada por presión, la cual desvía el abastecimiento de la bomba al depósito, limitando la presión del sistema a un valor máximo predeterminado.

**Válvula de control de flujo.** Una válvula que controla el porcentaje de fluido de flujo.

**Válvula reductora de presión.** Una válvula que limita la presión máxima en su salida sin importar la presión de entrada.



## Introducción

El presente trabajo de tesis describe la aplicación de un separador mecánico de flujos, el cual mejora la actividad de los procesos productivos en cuanto a la medición de sustancias que por su naturaleza no pueden interractuar entre sí. Dichos separadores mecánicos contribuyen a la protección de instrumentos especiales de trabajo, tales como manómetros, transmisores de presión, etc, que pueden ser afectados por gases o líquidos ajenos a los materiales de construcción y que pueden perjudicar la exactitud de los instrumentos medidores. Estos separadores descritos en este trabajo de tesis, utilizan como separadores mecánicos membranas (diafragmas) metálicas y, en algunos casos, membranas no-metálicas. También cumplen la función de aisladores de los diferentes fluidos como protección a los materiales de construcción y, así, evitar la corrosión de los mismos.

El trabajo se elaboró con el fin de describir los parámetros relacionados con el separador mecánico de aceite hidráulico y aire comprimido, para contribuir a la medición de sustancias que no puedan medirse directamente con los instrumentos de medición y que tengan que ser separadas, mecánicamente, a través de separadores. Entre los parámetros contemplados existen los siguientes: la instalación, diseño, incorporación a un sistema de medición, usos y aplicaciones industriales; además, proveer de una guía práctica aplicable para el ingeniero mecánico en torno del diseño e instalación del separador a un sistema de medición. De esta manera se contribuye a obtener mejores resultados (más precisos) en los sistemas de medición. Puesto que el creciente desarrollo de las actividades productivas obligan a la necesidad de establecer una tecnología adecuada, que controle y cuantifique los valores de presión desarrollados en los fluidos; además, que se garantice, que los valores mostrados en las carátulas de los instrumentos sean confiables. Tal es el caso de los separadores mecánicos de flujos que ofrecen ventajas a los procesos productivos para obtener optimización de los mismos.

Se efectuaron visitas a plantas industriales de Guatemala, (diferentes procesos descritos en el capítulo 2) para determinar o recopilar información acerca de los servidores hidráulicos y neumáticos y saber si se utilizan los separadores mecánicos de flujos, de tal manera que puedan utilizarse efectivamente y contribuir con el rendimiento de los sistemas productivos. Además, comprende, visitas a laboratorios de calibración para medidores de presión.

En el desarrollo de la tesis se adecúan términos precisos a los cuales debe familiarizarse la persona interesada, con el fin de obtener el conocimiento claro e interpretar los conceptos relacionados con el separador mecánico de aceite hidráulico y aire comprimido.

El capítulo uno introduce a los conceptos generales relacionados con la hidráulica y el aire comprimido, desde los principios básicos hasta las aplicaciones de los mismos;

El capítulo dos trata de los elementos de trabajo y su distribución en los sistemas hidráulicos y neumáticos, asimismo, contempla una investigación realizada a las empresas usuarias del aire comprimido y de la hidráulica, obteniéndose información general de las múltiples aplicaciones en los diversos procesos.

En el capítulo tres describe modelos de calibración, protocolos, normativa internacional, equipo de calibración de instrumentos de medición, herramienta estadística para observar el comportamiento de los, valores obtenidos en las pruebas de laboratorio; asimismo, las tolerancias de los instrumentos medidores de presión. Se realizaron calibraciones de manómetros en el laboratorio de presión, en probadores de tipo peso muerto, que utilizan como sustancias de trabajo, aire comprimido, nitrógeno, aceite hidráulico, etc.

El capítulo cuatro, estudia el separador mecánico de aceite hidráulico y aire comprimido; se hace una introducción a la separación de flujos (aire comprimido y el aceite hidráulico); se contemplan los materiales de construcción, así como, también, el diseño y selección de la membrana que se utilizará en determinado proyecto en torno a la presión de trabajo y de la sustancia a medir. Asimismo, se contemplan los parámetros relacionados con la instalación y el funcionamiento del separador mecánico en un sistema de medición.

## Capítulo 1

### Conceptos generales respecto de hidráulica y aire comprimido.

El término actual de hidráulica se deriva de la palabra griega "hydros" que significa agua y "aulos" que significa tubo. Los primeros estudios se hicieron con agua en reposo y, luego, en movimiento. Las presas en los ríos, las redes de tuberías que conducen agua potable y los alcantarillados son ejemplo de hidráulica. El interés de esta tesis radica, primordialmente, en la hidráulica de los aceites cuya función sea convertir la energía mecánica.

#### 1.1. Definición de fluido.

Un fluido es una sustancia que puede fluir, de tal manera que se deforma continuamente bajo la acción de fuerzas cortantes y, experimenta movimientos relativos entre sus partes elementales siempre que las fuerzas cortantes estén presentes.

Un fluido puede ser líquido o gas, pero, se ha intentado establecer una distinción rigurosa entre ellos, en virtud de que, combinando en forma adecuada la presión y la temperatura resulta posible la transformación de un líquido en un gas, teniendo cambios continuos en la viscosidad y la densidad del fluido. Es fácil referirse a fluidos compresibles e incompresibles, un fluido incompresible (aceite hidráulico) corresponde a la idea que se tiene de un líquido y un fluido compresible (aire) presenta propiedades supuestas para los gases.

#### 1.2. Hidroestática.

La hidroestática es la clase de energía usada en muchos sistemas hidráulicos industriales. La hidroestática es la energía potencial disponible cuando un líquido está confinado y a presión. Esto es una aplicación básica de una ley fundamental de la física descubierta por Pascal en 1,650 (véase numeral 1.3.2.1) En este punto debe aclararse que el término estática se usa únicamente para referirse a las condiciones de la presión en un sistema hidráulico, entonces, se debe incluir factores dinámicos o, sea, las fuerzas que hay cuando un líquido está en movimiento. El movimiento de un líquido desde un punto a otro envolverá a una transferencia de energía; en consecuencia, el trabajo producido será realmente una medida de la energía transferida.

Las fuerzas normales que se transmiten en los fluidos son de enorme importancia en muchos casos prácticos. Los principios de la hidroestática sirven, por ejemplo, para calcular las fuerzas sobre objetos sumergidos, desarrollar instrumentos medidores de presión y deducir propiedades de la atmósfera y de los océanos. Los principios de la hidroestática pueden servir, también, para determinar las fuerzas que los sistemas hidráulicos logran desarrollar en aplicaciones como las prensas o los frenos de automóviles.

La ecuación fundamental para la estática de los fluidos se define como:

$$\delta p = - \Gamma g \delta z$$

Donde,  $\delta p$  = variación de presión.  
 $\delta z$  = variación de altura.  
 $\Gamma$  = densidad de fluido.  
 $g$  = aceleración gravitacional.

Esta ecuación indica la forma en que la presión en un fluido que está en equilibrio estático varía con la altura sobre algún nivel de referencia. A medida que esta altura aumenta ( $\delta z$  positiva) la presión decrece ( $\delta z$  negativa). La causa de la variación de esta presión es el peso por unidad de área de sección recta de las capas del fluido, situadas entre los puntos cuyas diferencias de presión se está midiendo.

### 1.2.1. Variación de la presión en un fluido estático.

En la ecuación  $\delta p / \delta z = - \Gamma g$ , a la cantidad  $\Gamma g = \alpha$ , se le llama, a menudo, el peso específico del fluido; es el peso por unidad de volumen. Se ha escrito  $\Gamma g$  con el objeto de hacer hincapié en que tanto  $\Gamma$  como  $g$  deben considerarse variables; esto es así, no obstante que, el producto  $\Gamma g$  se pueda definir como  $\Gamma g \equiv \alpha$ . Para integrar la ecuación anterior y determinar la distribución de presiones, se deben establecer algunas suposiciones respecto de las variables en  $\Gamma$  y  $g$ .

En la mayor parte de los problemas de estática de fluidos que surgen en la práctica de la ingeniería, las variaciones en la  $g$  se pueden considerar como insignificantes. Solamente en aquellos casos donde se requiera calcular con mucha precisión, los cambios de presión que se presentan en una diferencia grande de altitud, resulta necesario tomar en cuenta las variaciones en la gravedad, ( $g$ ). Para los propósitos de esta investigación, se supondrá que la gravedad es constante respecto de la altitud de cualquier localidad e igual a  $g = 9.80665 \text{ m/s}^2$ .

Contrario a lo anterior, en numerosas aplicaciones de ingeniería, las variaciones de  $\Gamma$  son significativas y deben tomarse en cuenta si se pretende obtener resultados confiables. Existen varios casos donde la densidad varía, cuyo análisis es sencillo, el más simple de todos corresponde al caso ideal de un fluido incompresible.

#### 1.2.1.1. Fluido incompresible.

El fluido incompresible ideal es aquel que tiene una densidad constante. sin embargo, los líquidos más comunes presentan variación de densidad con la temperatura, la cual no siempre puede ignorarse. Se puede definir un fluido incompresible como aquel cuya densidad no se altera al presentarse un cambio de presión. Existen dos posibilidades:

- a)  $\Gamma = \text{constante}$
- b)  $\Gamma = \Gamma_0 [ 1 - \alpha ( T - T_0 ) ]$

donde,  $\alpha$  es el coeficiente térmico de dilatación volumétrica.

$$\alpha = 1/v (\delta v / \delta T)_p = -1/\Gamma (\delta \Gamma / \delta T)_p$$

Antiguamente, se decía que los "líquidos son incompresibles"

esto es solamente un mito, los líquidos son ligeramente cercanos a 0.000 05 por bar, es cerca de una veintemilésima parte de lo que es el aire a presión atmosférica, y, para más propósitos, puede ser ignorada. La compresibilidad de los productos petroleros líquidos varían con su composición, los aceites viscosos tienen solamente una compresibilidad más pequeña que el agua y los aceites ligeros tienen más de dos veces la compresibilidad del agua. En la gran escala comercial se van encontrando aceites y combustibles compresibles. Generalmente, se toma en cuenta cuando la presión está por encima o cerca de 2 bar.

#### 1.2.1.2. Fluido compresible.

Los fluidos se comprimen al aplicarles presión y en el proceso se almacena energía. Suponiendo conversiones de energía, perfectas, los volúmenes de fluidos comprimidos de esa manera se expandirán volviendo a sus volúmenes originales al cesar la aplicación de la presión. Por lo anterior los fluidos constituyen un medio elástico y se acostumbra resumir esta propiedad por la definición de un módulo elástico se denomina Módulo de Elasticidad Volumétrica:

$$E_v = \delta P / (\delta V / V)$$

La compresibilidad del fluido es la fracción en decrecimiento en el volumen específico (o la fracción de incremento en la densidad) causado por incremento en la unidad de presión.

El fluido compresible ideal es aquel que sigue la ecuación de estado de un gas perfecto:

$$pv = RT \quad \text{o} \quad p = \rho RT$$

R es la conocida constante de los gases y cualquier gas que obedece a la ecuación anterior se dice que es un gas perfecto.

La mayoría de los gases son altamente compresibles a bajas presiones, pero, algunos son compresibles a altas presiones; la compresibilidad de un gas ideal es inversamente proporcional a la presión absoluta. La existencia a la cual el comportamiento de los gases reales difieren de lo ideal es expresado como "El coeficiente de desviación de supercompresibilidad".

#### 1.3. Principios básicos de la hidráulica.

La hidráulica es la transmisión y control de fuerzas y movimientos por medio de la utilización de los fluidos.

Los sistemas hidráulicos se caracterizan por presiones muy altas pudiéndose despreciar, en consecuencia, las variaciones de la presión hidroestática. Los sistemas hidráulicos y los equipos tienen diversas aplicaciones industriales y ensayos de laboratorio.

Los líquidos, generalmente, se consideran incompresibles bajo presiones ordinarias, los cambios de densidad pueden resultar despreciables cuando se someten a presiones altas. Por otra parte, los módulos de compresibilidad de los fluidos hidráulicos pueden variar súbitamente para presiones por encima

de 50 MPa. En los problemas donde se presenta un flujo no estacionario se deben considerar tanto la compresibilidad del fluido como la elasticidad de la estructura que le sirve de frontera.

Los prerequisites necesarios para el uso y servicios de la hidráulica son los siguientes:

1. conocer las leyes básicas de la física aplicadas a la hidroestática e hidrodinámica,
2. conocer la simbología de los elementos de control pertenecientes a un sistema hidráulico,
3. conocer e interpretar los diagramas de los circuitos hidráulicos,
4. conocer de mantenimiento, de un circuito o sistema hidráulico.

### 1.3.1. Conversión de energía en hidráulica.

Para convertir la energía en diversas formas (véase el diagrama de la figura 1.1) los principios básicos de la hidráulica pueden ser manipulados y utilizados para las operaciones de los diversos componentes en movimiento de las máquinas.

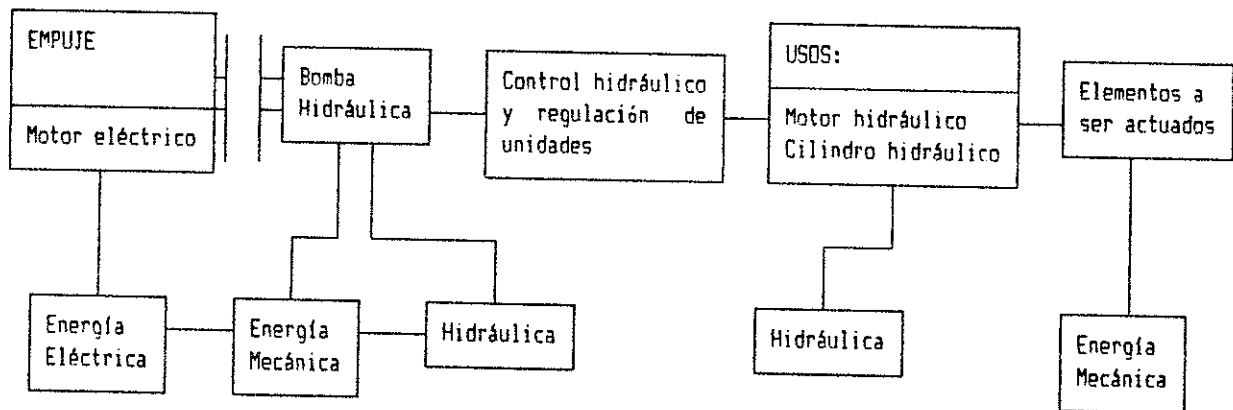


Figura 1.1. Diagrama de energía hidráulica.

### 1.3.2. Presión.

La presión hidráulica es generada cuando un flujo fluye y encuentra resistencia al movimiento y está generalmente relacionada con el movimiento de una carga a ser movida (fig. 1.2).

Fuerza y área: una fórmula básica en hidráulica es la presión hidroestática  $P$ , que es, generalmente, definida como una fuerza  $F$  por unidad de área  $A$ :

$$P = F / A,$$

La fórmula puede ser manipulada y calcular cualquiera de las tres variables  $P$ ,  $A$  ó  $F$ , sólo si, se conocen, al menos, dos variables. Específicamente:

$$F = P \times A,$$

$$A = F / P,$$

$$P = F / A.$$

La unidad de la presión en el SI (Sistema Internacional de Unidades) es el Pascal, el cual se define como la presión equivalente a la fuerza de un Newton actuando sobre un metro cuadrado. En términos generales, la presión puede relacionarse con la idea de fuerza o, sea, lo que tiende a mover un objeto en una dirección determinada.

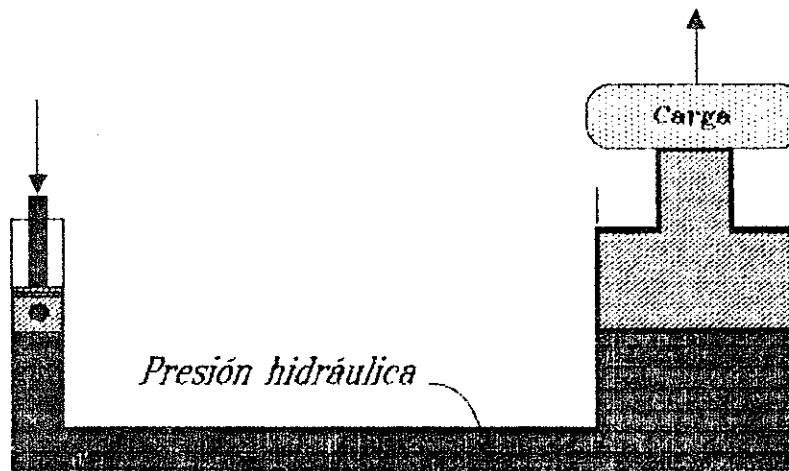


Fig. 1.2. Presión hidráulica.

### 1.3.2.1. Principio de Pascal.

La Ley de Pascal, se define como sigue: la presión aplicada a un fluido contenido en un recipiente se transmite íntegramente a toda porción de dicho fluido y a las paredes que lo contienen. Por ejemplo, una fuerza de 100 N se transmite, igualmente, a todas las partes de cada recipiente sin considerar su forma y tamaño (véase figura 1.3).

Cuando una fuerza o presión se aplica en un líquido confinado en un cilindro hidráulico o a un motor, la capacidad, del líquido para desarrollar la cantidad de trabajo prevista está controlada por la presión hidroestática ejercida por la bomba hidráulica para mantener una presión sin cambios dentro del cilindro hidráulico o el motor.

Aunque a menudo se supone que los líquidos son incompresibles, de hecho, son ligeramente compresibles. Esto significa que un cambio en la presión aplicado en una porción del líquido se propagará a través de éste como una onda, con la rapidez del sonido en el líquido. Una vez que la perturbación ha cesado y se ha establecido el equilibrio, se cumple el principio de Pascal. El principio también se cumple para los gases, con complicaciones de interpretación, ligeras debidas a los grandes cambios del volumen que pueden ocurrir cuando se modifica la presión de un gas en un recipiente.

Este principio es importante cuando se considera que la presión en cualquier porción de un sistema hidráulico de una máquina es igual en todo el sistema.

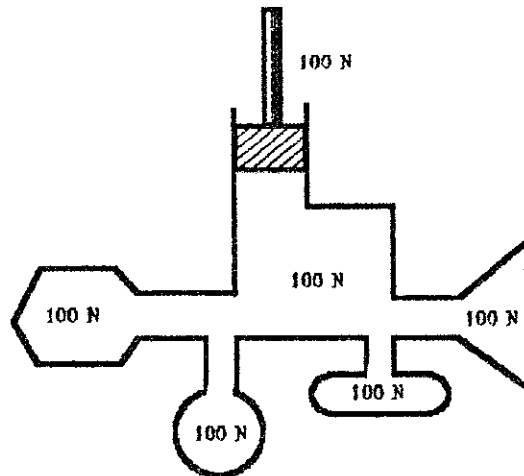


Figura 1.3. Principio de Pascal.

#### 1.3.2.2. Intensificación de presión.

Otro concepto importante para mantener presente es el de la intensificación de la presión. Estos dispositivos incrementan la potencia para sistemas hidráulicos donde se requiere de altas presiones de trabajo. Esta ley de la hidráulica está expuesta a olvidarse cuando suceden los problemas en los circuitos hidráulicos.

Por ejemplo, si dos pistones de diferente tamaño son conectados por mecanismos especiales (rodos) la presión existente sobre el área pequeña debería ser grande (fig. 1.4). Si  $P_1 = 100 \text{ N/m}^2$  y  $A_1 = 0.10 \text{ m}^2$ , entonces  $F_1 = 10 \text{ N}$ . Si  $F_1 = 10 \text{ N}$  y, si  $A_2 = 0.5 \text{ m}^2$ , entonces  $P_2 = 20 \text{ N/m}^2$ .

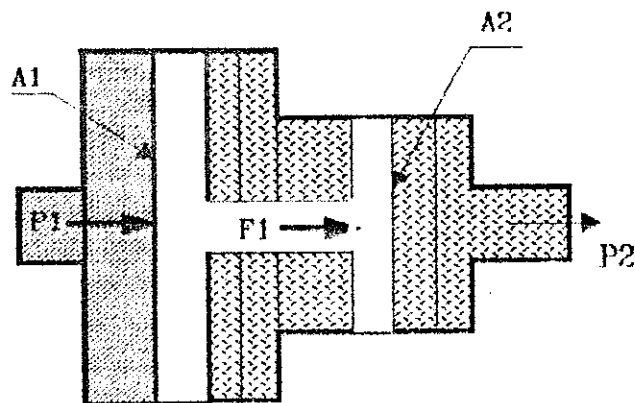


Figura 1.4. Sistema multiplicador de presión.



### 1.3.2.3. Transmisión de fuerza en hidráulica.

Una de las ventajas principales en el uso de los sistemas hidráulicos es la capacidad que se tiene para obtener, eficientemente, la transmisión de la fuerza. En la figura 1.5, se presentan las siguientes relaciones de carga:

$$S_1 / S_2 = A_2 / A_1 = F_2 / F_1$$

donde,

S = longitud del movimiento

A = área del pistón

F = fuerza

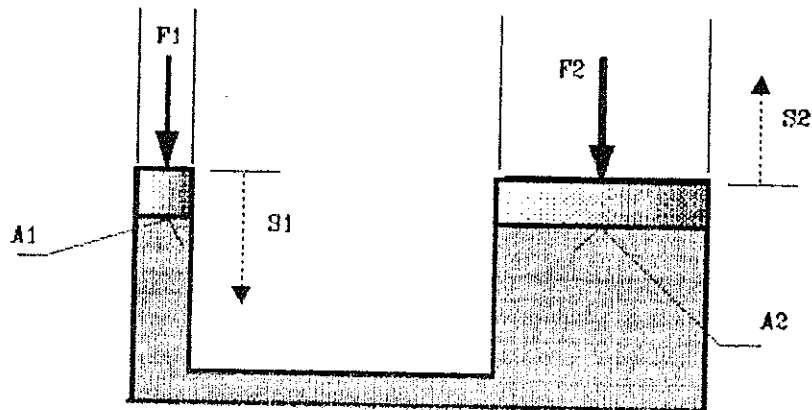


Fig. 1.5. Transmisión de fuerza a través de la hidráulica.

si  $A_1 = 0.01 \text{ m}^2$  y  $A_2 = 0.10 \text{ m}^2$ , y una fuerza de  $F_1 = 10$  Newton(N), entonces  $F_2$  puede soportar una fuerza igual a  $F_2 = 100$  N.

Sin embargo, lógicamente, con los radios de los pistones mostrados en la figura 1.5, hay que compensar este aumento de fuerza. Por ejemplo, si el pistón pequeño fuera movido hacia abajo en la dirección de  $S_1$  por 0.10 m, el pistón grande debe moverse hacia arriba en la dirección de  $S_2$  por 0.01 m.

### 1.3.3. Propiedades de los aceites hidráulicos.

Usos y propósitos del fluido hidráulico en un sistema hidráulico.

**Poder de transmisión:** la presurización del fluido hidráulico, convierte la energía hidráulica en energía mecánica. Por ejemplo, al extender y retractar cilindros o la rotación de un motor hidráulico.

**Lubricación:** la calidad inerte de lubricación del fluido hidráulico, ayuda a reducir los componentes de desgaste.

**Sello:** el fluido hidráulico humedece los empaques y la presión ejercida ayuda al sello y garantiza las pérdidas mínimas por goteo.

**Enfriamiento:** el fluido hidráulico absorbe la temperatura generada por los varios componentes en movimiento de la máquina y transfiere este calor al aceite de reserva en el depósito, que irradia calor al medio.

**Limpieza:** lo normal e inevitable en la máquina es el llevar pequeñas partículas de metal en el sistema. El flujo hidráulico transporta estas pequeñas partículas al sistema de filtración de la máquina, donde las partículas son separadas del fluido antes de recircularse a través del sistema.

#### 1.3.4. Viscosidad del fluido hidráulico.

La viscosidad es la resistencia que el fluido ofrece a un movimiento cortante, es decir, un rozamiento interno. Esta resistencia obedece a dos fenómenos: 1) la cohesión molecular y 2) la transferencia molecular de una capa a otra, con lo cual se establece una fuerza tangencial o esfuerzo cortante. En los líquidos, la cohesión es la que predomina y para los gases la cohesión es muy débil. La viscosidad de los gases comunes se incrementa con la temperatura, pero, son, comparativamente, insensitivos a temperaturas moderadas y cambios de presión. Por el contraste, la viscosidad de los líquidos varía inversamente con la temperatura y son, fuertemente, sensitivos a estas variaciones.

La viscosidad dinámica  $\mu$  de un fluido es la relación entre el esfuerzo cortante y la razón de deformación, según se aprecia en la fig 1.6. La definición matemática es:

$$\mu = \tau (dU / dy)$$

donde,  $\tau$  es el esfuerzo cortante y  $dU/dy$  es la razón de deformación de las sustancias (en el lenguaje común, la viscosidad de un líquido es el "espesor de la película").

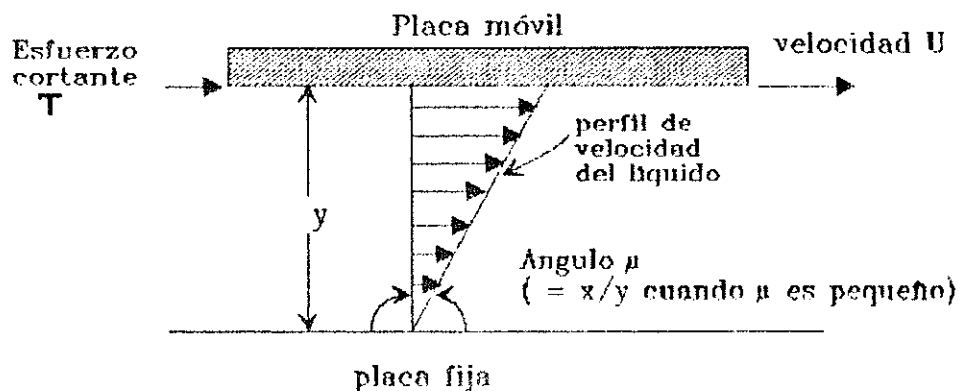


Fig. 1.6. Base de la definición de la viscosidad.

En el sistema internacional de unidades (SI) la unidad para la viscosidad es el Pascal por segundo (Pa · S) pero, es usual expresarlo en centipoises (cP); un centipoise es igual a  $10^{-2}$  Pa · S.

Para familiarizarse con la viscosidad y sus valores principales, es útil conocer la siguiente tabla que presenta algunos valores comunes. Los valores citados son normales a temperatura ambiente.

Sustancia	Viscosidad aproximada (cP)
Aire	0.02
Agua	1
Aceite para máquina	100
Aceite (engranajes)	1 000
Miel	100 000

Tabla 1.1. Valores de viscosidad para sustancias <sup>(1)</sup>.

La viscosidad de un fluido es, generalmente, considerada como la más importante cuando se seleccionan o eligen fluidos hidráulicos para utilidades industriales. Si la selección del fluido no tiene la viscosidad apropiada, seguramente, los resultados no serán satisfactorios.

Por ejemplo, un bajo grado de viscosidad conduce a las siguientes condiciones: excesivo goteo, pérdida de la presión, operación hidráulica errática y disminución de la eficiencia. Un alto grado de viscosidad conduce a las siguientes condiciones: alta temperatura en el fluido, operación inactiva, alto consumo de fuerza e incremento de la caída de presión.

#### 1.4. Producción y almacenamiento de aire comprimido.

En todo sistema neumático se consume aire comprimido que debe estar disponible con un caudal suficiente y con una presión de trabajo determinada, según sean los requerimientos de trabajo. El aire comprimido es producido mediante un compresor y distribuido al punto de trabajo a través de tuberías de distribución. El compresor es el equipo principal de una instalación de aire comprimido por medio del cual se impulsa aire u otros gases, ejerciendo influencia sobre las condiciones de presión.

El aire es comprimido y descargado por el compresor para almacenarlo en un depósito hermético a una presión máxima de trabajo, de tal manera, que compense las fluctuaciones de la presión en todos los servidores del sistema. Este depósito se ubica, a continuación del compresor y debe estabilizar los pulsos intermitentes de presión procedentes del compresor. Debe ser una fuente constante de presión y, adicionalmente, debe contribuir a refrigerar el aire comprimido y a separar la condensación producida. En equipos grandes se instalan refrigeradoras entre el compresor y el depósito de almacenamiento, con lo cual se limpia al aire comprimido de humedad.

El consumo de aire para un cilindro a una determinada presión de trabajo se puede calcular con la fórmula siguiente:

$$\text{Relación de compresión } (2) * \text{área del émbolo} * \text{carrera}$$

<sup>1)</sup> Fuente: HAYWARD, Alan T. Flow meters, a basic guide and source-book for uses. Capítulo 1: numeral 1.1.4.

<sup>2)</sup> Ver relación de compresión, en el numeral 1.5.1. Presión en un sistema neumático.

El consumo de aire se indica siempre en litros de aire aspirado (a presión atmosférica) para obtener valores uniformes referidos a la potencia del compresor. El cálculo del consumo de aire depende del tipo de cilindro empleado. Para el cálculo del consumo total real de aire comprimido se considera un 20% más sobre el valor de diseño calculado. Con esto se toma en cuenta los espacios muertos del sistema, como los ductos y mangueras utilizados para canalizar el aire comprimido, vacíos dentro del cilindro, que no ayudan en la carrera del émbolo, etc.

#### 1.4.1. Ley de Boyle Mariotte.

Al reducir el volumen de un gas, la presión aumenta y, por el contrario, al aumentar dicho volumen, la presión disminuye (ver fig.1.7) Basándose en este principio se llega a determinar que; a temperatura constante, el producto de la presión por el volumen de un gas es constante:

$$P \times V = k,$$

donde,  $P$  = presión,  $V$  = volumen,  $k$  = constante.

De tal manera, siendo  $P_1$  y  $V_1$  la presión y el volumen del gas, inicialmente,  $P_2$  y  $V_2$  la presión y el volumen final respectivamente y dado a que el producto ( $P_1 \times V_1$ ) es igual a una cantidad constante y el producto de la presión por el volumen de un gas es constante, entonces, ambos productos son iguales entre sí, por lo que se puede escribir:

$$P_1 \times V_1 = P_2 \times V_2 \quad \text{o} \quad P_1/P_2 = V_2/V_1$$

Por lo tanto, la ley de Boyle-Mariotte se expresa de la siguiente forma: a temperatura constante, las presiones de un gas son inversamente proporcionales a los volúmenes que dicho gas ocupa.

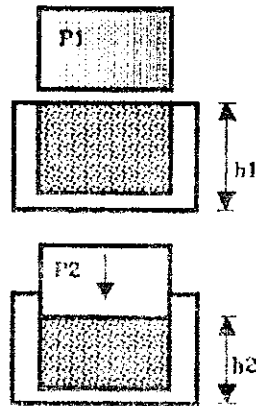


Figura 1.7. Principio de Boyle-Mariotte.

#### 1.5. Transmisión de la energía mediante la neumática.

Los principios físicos sobre los cuales se basa la neumática, son los principios de fuerza y presión. En la

neumática la fuerza es la energía almacenada en el aire comprimido y la presión es la manifestación de esta energía actuando en todas las direcciones sobre la superficie de un recipiente almacenador, tubería de conducción, un pistón u otros elementos. De tal manera, el aire comprimido, por sí mismo, no puede realizar trabajo. Necesita de un elemento mecánico que transforme esta energía almacenada en trabajo.

Estos elementos mecánicos son los cilindros y motores neumáticos. Cada uno de estos, a pesar de tener como energía motriz al aire comprimido, realizan trabajo en forma diferente. Estas diferencias deben tenerse en cuenta siempre.

El cilindro de aire comprimido, por lo general, es el elemento productor de trabajo en un equipo neumático. Este transforma la energía estática en trabajo mecánico, desarrollando un movimiento rectilíneo que se subdivide en carrera de avance y carrera de retroceso.

El cilindro también ejerce funciones de regulación y mando dentro de sus funciones de trabajo, puede realizar, ambas, de manera simultánea, según su aplicación. La energía del aire comprimido que alimenta los cilindros se consume transformándose en trabajo. El aire comprimido ya utilizado fluye a la atmósfera por el escape durante la carrera de retroceso del émbolo.

#### 1.5.1. Presión en un sistema neumático.

La presión se define como la fuerza por unidad de área. La presión de un gas es igual a la fuerza que ejerce el gas sobre las paredes del recipiente, dividida por el área de superficie del recipiente. Los gases ejercen una presión sobre cualquier superficie con la cual están en contacto; por ejemplo, el gas en un balón inflado ejerce una presión sobre la superficie interna del balón.

La presión total ejercida en un sistema neumático es la presión atmosférica más la presión de trabajo, que es la presión manométrica del sistema. Existe una relación entre la presión total y la presión atmosférica, a la cual se le llama relación de compresión.

La relación de compresión referida al nivel del mar se calcula:

$R_c = [ 1.033 + \text{presión de trabajo (kg/cm}^2) ] / 1.033$   
donde, 1.033 kg/cm<sup>2</sup> es la presión atmosférica al nivel del mar.

## Capítulo 2

### Elementos de trabajo y distribución en la red hidráulica y neumática.

Se entiende por neumática la aplicación técnica del aire a presión; y, por hidráulica, la del aceite como líquido a presión. La hidráulica y la neumática se emplean, conjuntamente, con órganos o elementos mecánicos, eléctricos y electrónicos de accionamiento y de mando. Estos elementos son diseñados, de tal forma, que se adecúen a las necesidades de diseño, desde sistemas sencillos y prácticos hasta sistemas sumamente complejos. Y son capaces de accionar mecanismos con funciones específicas, en las múltiples aplicaciones de la industria moderna.

#### 2.1. Simbología.

Los símbolos gráficos son usados en diagramas de hidráulica, equipamiento neumático y accesorios para fluidos de transmisión de potencia, de tal manera que su interpretación sea comprendida fácilmente. Los símbolos mostrados en esta investigación se expresan según las especificaciones de la Organización Internacional de Normalización (ISO/DIN 1219). Los símbolos básicos se pueden integrar en cualquier combinación y no se intenta mostrar todas las combinaciones. Para los componentes neumáticos e hidráulicos se utilizan, básicamente, símbolos similares. La simbología se muestra en el anexo A.

##### 2.1.1. Simbología hidráulica.

Los símbolos mostrados en el anexo A, están conforme a las especificaciones de la norma ISO 1219, que representan en forma gráfica los elementos que integran un sistema hidráulico y algunas de las posibles combinaciones. En la figura 2.1 se muestra un ejemplo sencillo de una instalación hidráulica. Con dichos símbolos se pueden representar desde sistemas sencillos hasta llegar a diseños complejos.

##### 2.1.2. Simbología neumática.

Para comprender y desarrollar los esquemas de las instalaciones se presentan los símbolos que son utilizados en los sistemas neumáticos. Estos conocimientos ayudan al interesado en el montaje y posterior mantenimiento de instalaciones muy complejas. Con ejemplos prácticos (ver figura 2.2) se estudia de forma sistemática la búsqueda y solución de averías dentro del sistema. Sólo entonces es posible hablar de las averías internas de los elementos. Para esto se han escogido los elementos más importantes y utilizados del extenso programa de la neumática (ver anexo A).

#### 2.2. Diagrama de circuitos.

Existen diferentes maneras de representar los diagramas

de circuitos tanto neumático como hidráulico; muchos de los circuitos se presentan en diagramas pictóricos o de corte para facilitar seguir el flujo. Los diagramas gráficos que representan los circuitos son presentados para ayudar a entender el uso de los símbolos; éstos indican cada función específica de cada componente o sistema del circuito. La información que se describe en un diagrama de este tipo, es esencial para el ingeniero de mantenimiento o técnico, para que a través de éste pueda interpretar, evaluar, diagnosticar y conocer el funcionamiento u operación de cualquier máquina.

### 2.2.1. Circuitos hidráulicos.

Todos los circuitos hidráulicos tienen el mismo principio, aunque tengan diferentes aplicaciones. Los circuitos típicos de los sistemas usados en maquinaria industrial, representan los principios básicos de cómo aplicar la hidráulica a diferentes tipos de trabajo. Generalmente, un circuito hidráulico tiene los siguientes componentes básicos: depósito, bomba, motor eléctrico (que es el que mueve la bomba) válvulas y el actuador o motor hidráulico. La figura 2.1 muestra un circuito hidráulico típico.

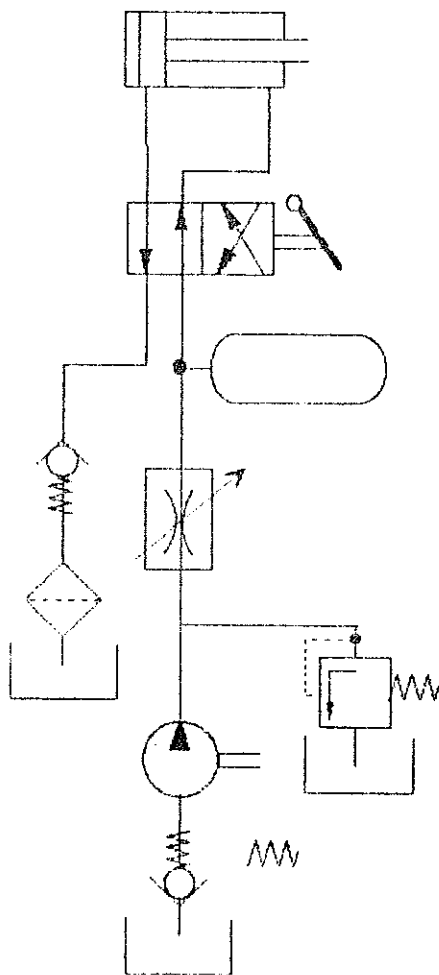


Figura 2.1.  
Representación simbólica de una instalación hidráulica sencilla.

Los parámetros que entran en el diseño de un sistema hidráulico son: el volumen de flujo por la unidad de tiempo, la presión y temperatura de operación, las características de viscosidad del fluido dentro de los límites de operación y la compatibilidad entre el fluido y el material del conducto.

### 2.2.2. Circuitos neumáticos.

Estos circuitos presentan gran variedad de operaciones manuales y semiautomáticas que accionan mecanismos a distancia, desde un panel de control; para la integración de mecanismos complejos y versátiles en la industria. En estos sistemas se utiliza un fluido compresible (aire) a diferencia de los sistemas hidráulicos que utilizan fluidos incompresibles. Generalmente una instalación neumática consta del compresor, de la parte de mando, distribución o maniobra y de la parte correspondiente al accionamiento propiamente dicho. La figura 2.2 muestra la representación simbólica de una instalación neumática sencilla.

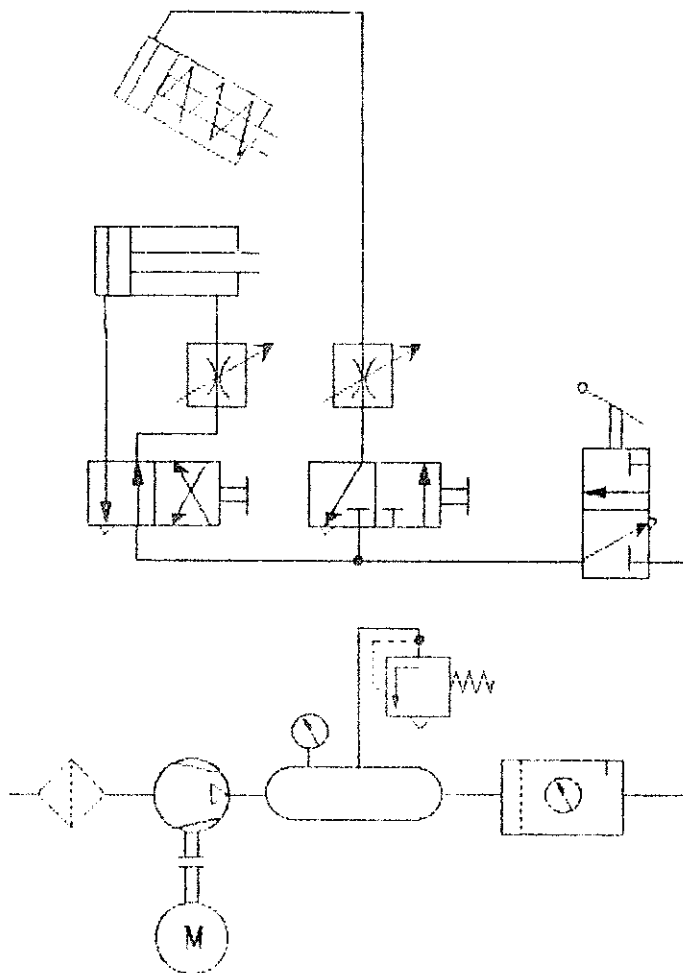


Figura 2.2. Representación simbólica de una instalación neumática sencilla.



### 2.3. Tuberías y redes de distribución.

Se llaman redes de distribución, al conjunto de todas las tuberías que parten del depósito, colocadas fijamente y unidas entre sí y que conducen el fluido a todos los puntos de consumo individual.

Para el sistema hidráulico el término tubería abarca las diversas clases de líneas conductoras que llevan el fluido hidráulico entre los componentes, además de los ajustes y conectores usados entre los conductores. Los sistemas hidráulicos más comunes usan, principalmente, tres tipos de líneas conductoras: tubería de acero, tubería especial (tubing de acero) y manguera flexible. Por el momento, el tubo es relativamente el más barato de cualquiera de los tres y se aplica, sobre todo, para los tramos rectos, codos y tees, en general están hechos de acero. Mientras que la manguera es más conveniente utilizarla para hacer conexiones y para hacer efectiva la instalación.

Los fabricantes de máquinas industriales recomiendan en sus manuales, que después de un tiempo de adaptación estipulado (horas de trabajo) y posteriormente a intervalos periódicos (horas de servicio) se tienen que revisar y reapretar todos los empalmes del sistema y en caso de daños o envejecimiento de la tubería, se deberá proceder a reemplazarlas.

### 2.4. Bombas hidráulicas.

La bomba es probablemente, el componente más importante y menos entendido de un sistema hidráulico. Su función es convertir la energía mecánica en energía hidráulica al empujar el fluido hidráulico dentro del sistema.

Las instalaciones hidráulicas que requieran una corriente de líquido que fluya constantemente, tienen bombas cuyo caudal puede permanecer constante o variable. Las bombas de desplazamiento volumétrico accionadas por motores eléctricos o de otro tipo, producen una corriente de caudal casi constante mediante varios émbolos u otros elementos de desplazamiento.

Según sea la forma de los elementos de desplazamiento en las bombas hidráulicas se distinguen, esencialmente, los siguientes tipos de bombas: bombas de engranajes, bombas de células o elementos y bombas de émbolo. Todas las bombas hidráulicas sin válvulas pueden, por regla general, emplearse también como motores hidráulicos; entonces, el chorro de aceite a presión actúa sobre los elementos de empuje o transporte (ruedas dentadas, aletas, émbolos) de modo que en el eje de salida de los motores puede obtenerse trabajo de rotación.

### 2.5. Flujo en válvulas.

Las válvulas determinan, como válvulas direccionales, el comienzo, el fin y la dirección; como válvulas de presión, la presión y como válvulas de flujo, el volumen del chorro de los líquidos y gases que puedan circular por una tubería. Una de las ventajas más importantes de la hidráulica es la

facilidad con la cual puede hacerse que ocurra la transferencia de energía. Por ejemplo, una vez sea extendido un cilindro, se podría desear redireccionar el flujo de energía a retractar el cilindro después de que ha sido realizado un trabajo. En el diagrama mostrado en la figura 2.3, simplemente, se mueve la válvula de control desde una posición a otra, se podría tener la capacidad de obtener resultados en los movimientos al extender o retraer un cilindro.

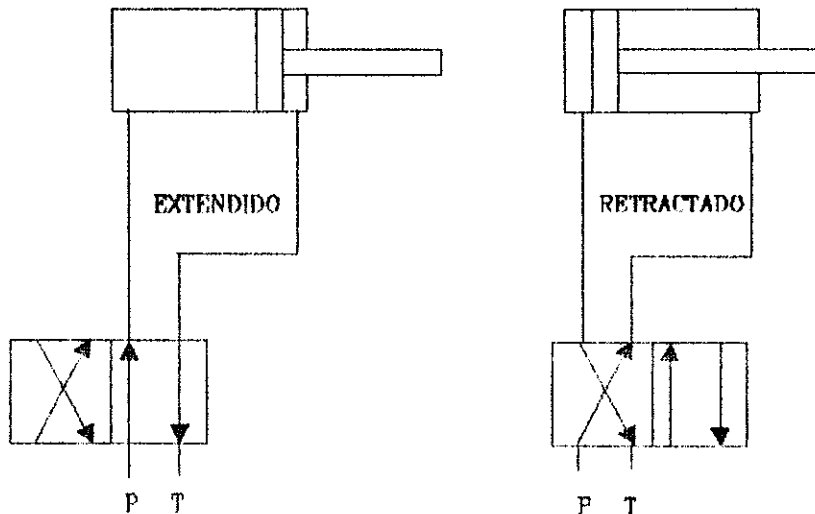


Fig. 2.3. Control direccional en válvulas.

En los controles de presión, básicamente, los circuitos hidráulicos utilizan dos formas para controlar la presión, siendo éstas, alivio y reducción de la presión.

Con el propósito de salvaguardar los sistemas, por incrementos de la presión, son instaladas válvulas de alivio de presión. Estas válvulas sirven para limitar la cantidad de presión que se pueda desarrollar en un sistema hidráulico, desde varios componentes hidráulicos que son expansivos y están sujetos a limitación de presión antes de que pueda ocurrir una avería en el sistema, mientras que las válvulas de reducción de la presión son usadas para limitar la presión en una rama del circuito, a una presión más baja que la del sistema principal.

## 2.6. Aplicaciones y usos industriales de aire comprimido y aceite hidráulico.

En las instalaciones hidráulicas se transmiten fuerzas y movimientos por medio de líquidos incompresibles. Mediante el líquido transmisor es posible multiplicar las fuerzas y gobernar con gran sensibilidad los movimientos. A continuación se describen algunas aplicaciones.

Ejemplos de aplicaciones hidráulicas.

Máquinas herramientas: Movimientos de la mesa en rectificadoras, copiado en torno, transporte y sujeción de

piezas en cadenas, movimientos de avance en unidades de mecanizado.

Vehículos: Frenos, cambios automáticos, basculación de la carga, direcciones asistidas.

Grúas, excavadoras: Movimientos de subida y bajada de las plumas, cucharas, apoyos.

Prensas: Movimiento de los carros, producción de grandes fuerzas de prensado.

Instalaciones mineras: Entibación hidráulica (estemples).

Aviones: Movimiento de los trenes de aterrizaje, timones, estabilizadores.

Ventajas: Gran multiplicación de la fuerza (prensas) regulación de la velocidad sin escalonamiento (avances) gran precisión de mando y ajuste, posibilidad de salvar grandes distancias entre la unidad de accionamiento y la unidad de trabajo, gran movilidad merced a las uniones mediante tubería flexible, arranque desde parada con carga máxima, suavidad de funcionamiento.

Y las aplicaciones del aire comprimido, son tan diversas que sería imposible describirlas todas. Su uso en muchos casos queda a criterio del diseñador de un proyecto para resolver los problemas de instalación. En muchas aplicaciones el aire comprimido se produce en un lugar central y se conduce al lugar de trabajo a una presión de servicio de 6 bar a través de una red de tuberías. El presente listado de aplicaciones está orientado a las industrias y a los usos más generales.

Ejemplos de aplicaciones Neumáticas:

#### **Industria de alimentos.**

Agitación de líquidos.  
Aire (oxígeno) para tanques fermentados.  
Limpieza de equipo a presión y de contenedores con chorro.  
Transporte de materiales.  
Deshidratación de alimentos.  
Filtración.  
Fumigación.  
Alzado y levantado.  
Operación automática de maquinaria.  
Controles neumáticos.  
Clasificación de fruto seco, café, etc.  
Rociado de partículas de productos de comida.  
Separación de insecticidas y pesticidas.  
Sistema de aspersión automática.  
Transferencias de líquidos.  
Probador de recipientes.  
Sistemas de vacío.

#### **Taller de forja.**

Soplado a escala  
Manejo de herramientas  
Alzado y levantado  
Operaciones de embragues, frenos, prensas, martinets y quemadores de aceite.  
Cortina de aire (puerta).

#### **Fábrica de vidrios.**

Soplado de botella y envases.  
Combustión de aire.  
Soplado suave de tubos eléctricos.  
Transporte de materiales.  
Llenado de vidrio.  
Controles neumáticos.  
Operación de moldes y prensas.  
Levantado de platos en vacío.  
Gravado, esmerilado y taladro de vidrios.

#### **Hospitales y laboratorios.**

Operaciones centrífugas.

Filtración de aire en los laboratorios.  
Controles neumáticos.  
Vacío para drenajes durante operaciones.  
Operación de máquinas de lavado de ropa.  
Rociado de medicamentos.  
Limpieza de tubos y catéteres.  
Aparatos de respiración.

#### **Manufactura de aviones.**

Limpieza de máquinas a presión.  
Lanzamiento, taladrado y estampado.  
Operación de herramientas de ensamble:

- martillos
- destornilladores
- taladros
- grúas
- escariadores
- remachadoras
- juegos de herramientas
- engrapadoras

Operación de moldeado y estampado de metales.  
Rociado de pintura.  
Tenazas para fragua.

#### **Procesado de plásticos.**

Limpieza de equipo a presión.  
Movimiento en los cilindros de operación y de eyectores de objetos terminados del molde.  
Moldeo por presión o vacío.  
Operación de prensas.  
Soplado de objetos durante la extrusión y en cavidades del molde.  
Inyección de partes del molde.  
Soplado de objetos en cavidades del molde

#### **Fabricación de pinturas.**

Llenado y sellado de latas.  
Alzamiento y levantamiento.  
Pulverización a chorro de colores.  
Transferencia de líquidos.

#### **Mantenimiento de vehículos.**

Agitación y limpieza de soluciones.  
Cambios y reparaciones de neumáticos.  
Limpieza de motores, chasises, partes y bujías, con arena suave.  
Operación de pistolas de engrase y de gatos hidráulicos.  
Equipo portátil en los camiones para servicios múltiples.  
Rociado de metales.  
Rociado de aceite, pintura o limpieza de soluciones.  
Operación de arrancar, limpiar y martillar.

#### **Taller de fundición de acero y hierro.**

Agitación de soluciones.  
Aire para separar oxígeno.  
Estallido de aire para abrir el corazón del alto horno y el Bessemer y coberturas.  
Controles neumáticos.  
Operación de herramientas neumáticas:  
-trituradores  
-picadores  
-cepillos  
-levantado y acarreo.

Taladrado del corazón para extracción de escoria.  
Descarga de escoria.  
Operación de carga y accesorios manuales.  
Operación de sistemas de lubricación.  
Pulimientado con arena.  
Apertura de la compuerta y limpieza del trasmallo.

#### **Refinería del aceite.**

Combustión de aire.  
Vaciado y limpieza de líneas de aceite.  
Levantado y acarreo.  
Controles de operación.  
Recirculación de catalizador.  
Pulimientado con arena.  
Rociado de pintura.

**Plantas de lavanderías y limpieza.**

Limpieza de pieles, de máquinas a presión y de alfombras.

Filtración de soluciones.

Operación de prensado de ropa.

Rociado, limpieza y soluciones impermeabilizantes.

**Taller de estructuras metálicas.**

Agitación de soluciones.

Medición del aire en partes.

Limpieza a presión.

Operación de herramientas neumáticas:

- cepillos.
- escariadores.
- traladrado.
- tritadores
- levantado y acarreo.
- multiple equipo de herramientas
- remachadores
- destornilladores
- dobladores

Controles neumáticos.

Pulimiento con arena.

Lubricación por salpicado.

Rociado de pintura.

Transporte o acarreo de partes pequeñas.

Operación de engrapado, taladrado embrague y sincronizadores.

Prueba en las fugas de vasijas.

**Ventajas:** el aire está disponible en todas partes. Puede prescindirse de las tuberías de retorno. El aire tiene una velocidad de flujo comparativamente alta en las tuberías y válvulas. El aire comprimido puede acumularse sin ninguna dificultad en depósitos. Las fugas en lugares inestancos no ensucian. Fácil montaje con cierres enchufables y tubos flexibles.

**2.6.1 Resultado de las visitas realizadas a las industrias usuarias de aire comprimido y del aceite hidráulico.**

Según el propósito de la investigación de este trabajo, se visitaron empresas que utilizan los fluidos como medio para la obtención de la energía, para determinar las diversas

aplicaciones industriales. Estas empresas han diseñado sus sistemas de tal manera que la línea de producción de la planta se acondicione a las exigencias físicas requeridas de sus servidores. Se visitaron las plantas de producción y, básicamente, las instalaciones generadoras de energía (neumática e hidráulica) entre ellas, industria del plástico, manufactura de pilas, producción de pasta dental, producción de aceite y margarinas de origen vegetal, industria de cal y cemento, industria de aguas gaseosas, industrias químicas procesadoras de alimentos, industrias del café, industria productora de cables eléctricos, expendios de combustibles, institutos de investigación científico-tecnológica, observando las siguientes características entre dichos sistemas: el aire comprimido es una fuente de poder de la industria, la mayoría de los talleres o procesos de producción, disponen de una instalación de aire a presión; a éstos pueden conectarse los elementos neumáticos sin ningún gasto inicial. El aire comprimido posee una serie de ventajas que tienen importancia para las maniobras y los mandos, siendo algunas de ellas: es económico, puede transportarse de modo sencillo a grandes distancias mediante tuberías o mangueras; no se necesitan conductos de retorno, ya que el aire comprimido escapa a la atmósfera una vez realizado el trabajo. Permite ser conservado largo tiempo en depósitos a presión, no es inflamable, no produce chispas y, por lo tanto, no provoca explosiones, es adaptable; la adaptabilidad es evidenciada por las muchas aplicaciones listadas en el numeral 2.6 (aplicaciones industriales) El aire a presión puede comprimirse y amortiguar, por lo tanto, choques fuertes. Como inconveniente de la neumática pueden citarse la limitación de la presión de trabajo, generalmente, a unas 6 atm de sobrepresión y la compresibilidad del aire, no conveniente para algunas aplicaciones.

La neumática no necesita grandes infraestructuras, generalmente, lo más grande de un equipo neumático es el compresor y éste puede ir fuera de las instalaciones de la maquinaria. Las líneas principales de alimentación de aire comprimido pueden ser mayores de 200 metros sin que existan pérdidas significativas.

Las instalaciones hidráulicas trabajan generalmente con presiones notablemente más altas que las instalaciones neumáticas. Con ello pueden ejercerse grandes esfuerzos en espacios pequeños, pudiendo también obtenerse rápidos cambios de dirección y conexiones precisas. A consecuencia de la reducida compresibilidad del aceite son posibles, contrariamente a lo que ocurre en neumática, velocidades de avance pequeñas y exactas. Las válvulas limitadoras de la presión garantizan seguridad contra sobrecargas; los elementos móviles de los mandos se unen entre sí por medio de mangueras. Se recomienda que las líneas de sistemas hidráulicos no sean mayores a los 100 metros. Entre los inconvenientes de la hidráulica pueden citarse la inevitable fuga de aceite y la variante viscosidad del "aceite hidráulico" respecto de la temperatura.

Las instalaciones hidráulicas tienen que ser cuidadosamente purgadas (evacuación de aire) con el objeto de

evitar la acción elástica de las burbujas de aire que pudieran contener. Por esta razón en cada tramo de tubería de aspiración o de retorno se dispone una válvula de retención que evita que funcionen en vacío y se llenen de aire.

El aceite "hidráulico" debe cumplir diversas condiciones: tiene que poseer poder lubricante y ser resistente al envejecimiento, tiene que presentar una viscosidad ampliamente independiente de la temperatura, no debe producir espuma ni atacar las juntas ni el material de los aparatos. En las instalaciones en que pueda haber peligro de incendio no deberán utilizarse líquidos hidráulicos inflamables.

Los costos de instalación de un equipo neumático son menores que los costos de instalación de un equipo hidráulico, ya que los equipos, estructuralmente, son para menor presión de trabajo. Además, requieren menos elementos de control, no requiere elementos intercambiadores de calor, grandes depósitos de aceite, bombas y accesorios de alta presión, bombas para refrigerante ni torres de enfriamiento.

#### 2.6.2. Accesorios y dispositivos de los servidores neumáticos, hidráulicos (rangos y variaciones de presión).

En las instalaciones neumáticas e hidráulicas se encuentra gran diversidad de elementos de trabajo (accesorios) así como, las variaciones y rangos de presión a los cuales son sometidos estos dispositivos. Sería imposible describirlas todas, debido a la diversidad de aplicaciones industriales. Las casas matrices, proveedoras de los elementos de trabajo, básicamente, coinciden en sus diseños y expresan en sus manuales las aplicaciones, especificaciones y características de operatividad de los elementos de trabajo. Por lo tanto, en este trabajo de investigación se presenta esta información un tanto general, emanada de las visitas a las industrias usuarias de los sistemas hidráulicos y neumáticos.

El sistema neumático de la instalación de trabajo, se empalma al sistema de alimentación de aire comprimido de la empresa. La presión de trabajo es, aproximadamente, entre 6 a 10 bar. El aire comprimido propio de la empresa es purificado por un filtro de suciedades y en un filtro con separador de agua se elimina la humedad antes de que sea empleado en la instalación (línea de trabajo). Con el aire de trabajo se operan los cilindros neumáticos y éste no recibe otro tratamiento previo.

##### Dispositivos generales.

El sistema neumático tendrá las dimensiones y equipos para asegurar un funcionamiento eficaz y podrá estar, básicamente, compuesto por:

- un compresor,
- un regulador automático de presión,
- un filtro de aire (eventualmente se dispondrá uno antes y otro después del compresor),
- un dispositivo anticongelante (para la introducción de la mezcla anticongelante en el interior de las

- canalizaciones, si las condiciones de trabajo así lo exigieran)
- un depósito de aire,
  - una purga (en el depósito de aire para purgar el agua de condensación)
  - una llave de paso (entre el recipiente de aire y el sistema de distribución)
  - una válvula de seguridad,
  - una válvula anti-retorno (entre el compresor y el depósito de aire)
  - un manómetro.

Canalizaciones: Las conexiones y tuberías se dimensionarán teniendo en cuenta la presión y la cantidad de aire que circula por el sistema.

El aire comprimido: debe corresponder a los valores siguientes:

- presión de servicio: 8-10 bar,
- presión de entrada: recomendada del compresor max 12 bar,
- fluctuaciones máximas admisibles de la presión +/- 0.5 bar,
- punto. de rocío: 2 grados Centígrados,
- huellas de aceite, evitarlas cuando sea posible,
- huellas de agua, evitarlas cuando sea posible.

Condiciones ambientales: siempre que sea posible, diseñar una instalación en estancias secas. La temperatura ambiente, debe mantenerse dentro de un rango de +15°C y +50 °C.

**Nota.** Tiene que evitarse la formación de agua de condensación. En caso de una temperatura ambiente continuamente alta, así como de una humedad relativa alta del aire, se recomienda utilizar una estancia con aire acondicionado. En las instalaciones neumáticas se dispone de un aparato secador de aire con el objeto de erradicar la humedad contenida en el aire.

Control de la presión: como medida de protección contra daños mecánicos a causa de sobrepresiones ocurridas en el sistema, se protege con equipo de control de presión, en algunos casos con válvulas de alivio o válvulas reguladoras de presión.

Ejemplo: presiones en los depósitos: 6.3 bares (92 psi)  
rango: 0 a 13.8 bares, (0 - 200) psi.  
diámetro de la tubería= 203 mm (8 pulgadas)

Encontramos en las instalaciones neumáticas, compresores cuya capacidad varía dependiendo del tamaño de los elementos de trabajo. A continuación se presentan ejemplos de los parámetros relacionados con los compresores.

- 1) Capacidad 0.142 m<sup>3</sup>/seg (300 p<sup>3</sup>/min)  
Potencia 75 hp  
Presión: suministro 6.7 bar (98 psig)



descarga: 6.34 bar (6.27 - 6.41): 92 psi (91-93)  
de separación por goteo: 0.21 bar (3 psi)  
Temperatura de descarga 101 °C.  
Temperatura de aire de descarga 188 °C.  
Temperatura de inyección -161 °C.

- 2) Capacidad: 0.03 m<sup>3</sup>/seg (55 p<sup>3</sup>/min).  
Presión alcanzada: 8.62 bar (125 psig)  
Máxima presión de descarga: 8.83 bar (128 psig)  
Máxima presión modular: 8.83 bar (128 psig)  
Potencia nominal del motor: 15 hp  
Potencia nominal del ventilador: N/hp
- 3) Alimentador de aire (aire-rápido)  
Presión 5.5 bar (80 psi), electro-válvula 5/2  
Rango de presiones: 0 - 6.2 bar, (0 - 90) psig.  
Real: 4.1, 4.8, 6.2 bar (60 - 70 - 90) psi.

También se encontraron algunos requerimientos de los usuarios del aire comprimido, por ejemplo:

- 1) las calderas trabajan a 1.7 bar (25 psi) se activan a los 3.4 bar (50 psi)
- 2) máquina asfáltadora (producción de pilas "baterías")  
embolo de doble efecto,  
electro válvulas,  
presión 5.5 bar (80 psi)
- 3) ensambladora (Semi-pila, tubo cartón, blindaje - base)  
válvula de vacío 5.5 bar (80 psi)  
ventosa base.

Básicamente, las instalaciones hidráulicas se constituyen en unidades de máquinas y se puede decir que cada sistema hidráulico es independiente entre sí. Sin embargo, existen grandes componentes hidráulicos a través de un sistema que agrupa diversos mecanismos simultáneamente.

En las instalaciones hidráulicas, siempre que sea posible, la instalación de un sistema hidráulico se realizará de modo que las influencias exteriores (mal tiempo, condiciones atmosféricas, corrosivas, manipulaciones no autorizadas, choques mecánicos) no puedan tener efecto perjudicial alguno. Además, se evitarán las tensiones al instalar el sistema y éste no deberá ser afectado por movimiento alguno de la superestructura o del bastidor.

El sistema hidráulico dispone de un filtro de aceite montado sobre la línea de presión y que tiene un indicador de ensuciamiento. En caso de un considerable ensuciamiento del filtro se produce un mensaje de fallo que señala la necesidad de un cambio del filtro.

Respecto de la transmisión motriz de un sistema hidráulico, se protege contra las sobrepresiones por medio de un dispositivo apropiado que garantice la seguridad de funcionamiento (por ejemplo, una válvula de alivio de presión) y que resulte en todo momento eficaz contra cualquier posible

error en la manipulación de los mandos. Un motor eléctrico acciona una bomba de émbolo. Esta bomba facilita las presiones y cantidades de aceite necesarias para el funcionamiento del sistema hidráulico.

Las conexiones y las tuberías se dimensionarán teniendo en cuenta la presión y la cantidad de fluido que circula por el sistema con el fin de garantizar las seguridades necesarias del sistema. Los radios de curvatura no deberán ser inferiores a los valores recomendados por el fabricante. Para los empalmes se aplicarán las prescripciones del apartado relativo a las tuberías. Con el fin de obtener la mayor seguridad del sistema, deberán evitarse los fenómenos de cavitación y de contrapresión.

Los depósitos de aceite deberán ser de capacidad suficiente, de tal manera, que permitan alcanzar los límites de temperatura especificados en los manuales hidráulicos de las máquinas, relacionados con la temperatura del aceite. Además se preverán los medios necesarios para que, en el caso de que los mecanismos rotativos como bombas y motores hidráulicos, el caudal del aceite en la tubería de alimentación, no se vea nunca interrumpido durante el servicio. En condiciones de uso normal, las temperaturas máximas son recomendadas por el fabricante del aceite. Si la temperatura rebasara este límite, se preverá un dispositivo de enfriamiento. Por ejemplo para una máquina inyectora de plástico con capacidad de 600 toneladas de fuerza de cierre, los fabricantes recomiendan que la temperatura de trabajo del aceite hidráulico esté dentro del rango de 50 a 60 °C, el cual es controlado por un regulador de temperatura. De haber un incremento de temperatura fuera del rango permisible, entonces, un intercambiador de calor regulará la temperatura del aceite hidráulico.

Abajo se presenta un ejemplo de los requerimientos de funcionamiento de un sistema hidráulico en una planta de proceso de pilas "baterías":

**Cortadora de Vaso:** (producción de pilas "baterías")

Capacidad: 120 ton x 7 mm

Carrera 172 mm

Ajuste de corredera = 12 mm

Max. Carrera = 30 mm diámetro x 105 mm.

**Medidores de presión.**

El arte y ciencia de la medición de presión se puede ubicar parcialmente desde la mitad del siglo diecisiete. Por lo general, al Evangelista Torricelli se le acredita el mérito de haber descubierto que en un tubo de vidrio lleno de mercurio se puede medir la presión atmosférica. El descubrimiento de Torricelli rápidamente fue utilizado en un número pequeño de significantes investigaciones científicas, pero, por su uso esporádico, tuvo que esperar hasta la Revolución Industrial. Durante este tiempo una variedad de técnicas de medición de presión, la mayoría de ellas para presiones "altas", fueron desarrolladas junto con los servicios de generación de vapor y el surgimiento de las ciencias termodinámicas. Su alcance se amplió en los comienzos de este siglo para apoyar la producción de las bombillas y de los tubos amplificadores de vacío. En la post-guerra de la segunda Guerra Mundial surgen investigaciones y la manufacturación de alta tecnología con un rápido crecimiento en el volumen y variedad de las medidas de presión, particularmente para presiones bajas o al vacío, además, la disponibilidad de nuevas tecnologías estimuló el rápido desarrollo de nuevas industrias. Las sociedades modernas dependen de una compleja diversidad de procesos sofisticados de manufacturación y actividades de investigación; la mayoría de ellas requieren medidas de presión y/o vacío. La exactitud de estas medidas puede tener efectos mayores en la validación de los requisitos, la calidad de producto, la eficiencia de energía y, en muchos casos, el aseguramiento del proceso de operaciones.

Un camino fácil para la medición de presiones bajas es balancear una columna de líquido en contra de la presión. Observando la altura de la columna líquida soportada por la presión, pueden desarrollarse cálculos para determinar la magnitud de la presión. Los dispositivos que realizan estas mediciones son llamados manómetros. La figura 3.1 muestra un manómetro de tubo tipo "U", lleno con un fluido No.2 (agua), siendo expuesto otro fluido No.1 (aire) con la presión  $P_1$ . El fluido No.2 también podría ser aceite o mercurio mientras que el fluido No.1 podría ser un gas. La operación del manómetro está basada sobre el simple hecho que en un punto "x" la presión ejercida por la columna izquierda es igual a la ejercida por la columna derecha. Aplicando estos principios obtenemos:

$$P_1 + (a+b) \alpha_1 + b \alpha_2 = P_2 + a \alpha_1 + (h+b) \alpha_2$$

donde,  $P_1$  es la alta presión para el fluido No.1  
 $\alpha_1$  es el peso específico del fluido No.1  
 $\alpha_2$  es el peso específico del fluido No.2  
 $P_2$  es la baja presión del fluido No.1 (atmosférica) y  
 a,b,h son dimensiones demostradas en la figura 3.1.

Esta ecuación permite a los manómetros ser usados en sistemas de ensayos para medir la presión diferencial y en pruebas de aprobación de modelos en los laboratorios de presión. Para pequeños valores de  $P_1 - P_2$ , el manómetro es a menudo inclinado

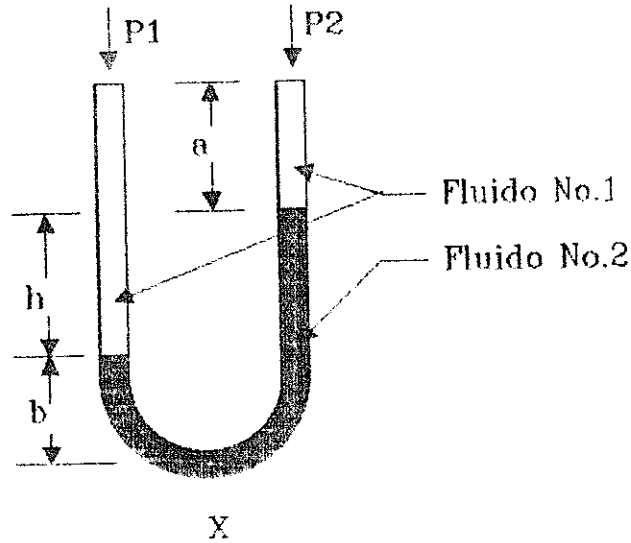


Figura 3.1. Manómetro de tubo en "U".

para incrementos de la sensibilidad.

El dispositivo comúnmente usado para medir presiones es el tipo de medidor Bourdon; también se usa el mismo principio para medir vacíos. Este dispositivo mostrado en la figura 3.2. Consiste en un tubo aplanado de bronce o acero para resortes, doblado en forma de circunferencia. La presión interior del tubo tiende a rectificarlo. Mientras un extremo del tubo está fijo a la entrada de la presión, el otro se mueve, proporcionalmente, a la diferencia de presiones que hay entre el interior y el exterior del tubo. Este movimiento hace girar la aguja indicadora por intermedio de un mecanismo de sector y piñón. Para modificar el movimiento, el curvado del tubo puede ser de varias vueltas formando elementos en espiral o hélice, como los que se usan en los registradores de presión.

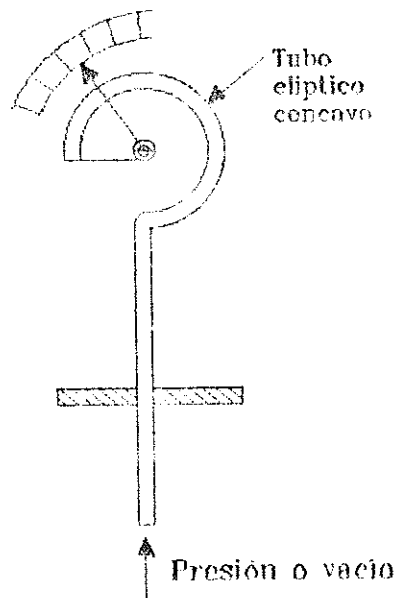


Figura 3.2. Manómetro de tipo Bourdon.

### 3.1. Presiones absolutas y manométricas.

Los valores de la presión se deben establecer respecto de un nivel de referencia. Si este nivel de referencia es el vacío, las presiones se denominan absolutas.

La mayor parte de los medidores de presión miden en realidad una diferencia de presión: entre la presión real y la presión del ambiente (generalmente la presión atmosférica). Los niveles de presión que se miden respecto de la presión atmosférica se denominan presiones manométricas. La relación entre presión absoluta, presión manométrica y vacío, se muestran en la figura 3.3.

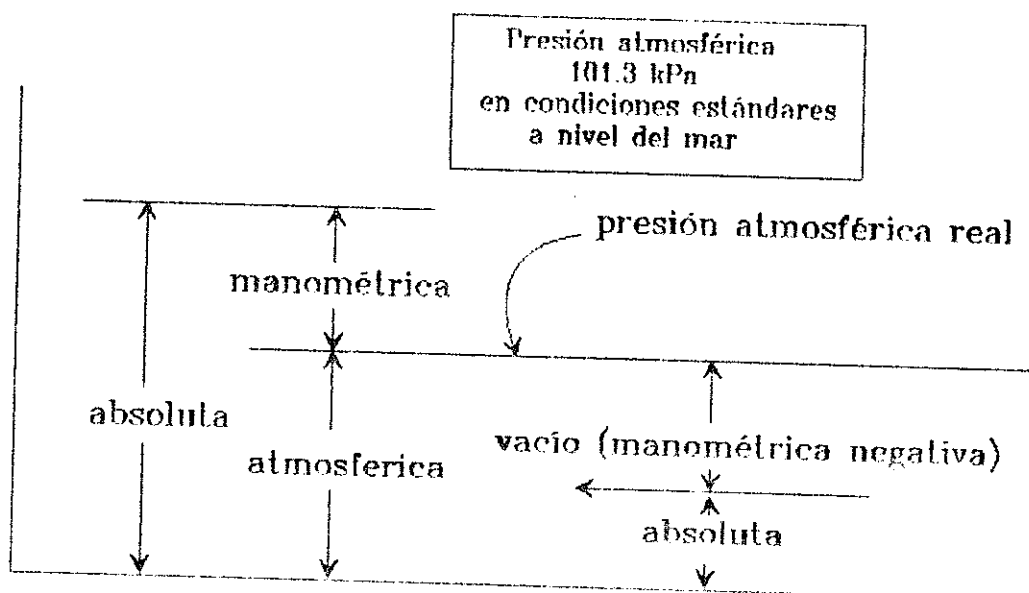


Figura 3.3. Relación de presión.

En todos los cálculos que se efectúan, utilizando la ecuación de los gases ideales o cualquier otra ecuación de estado se deben emplear presiones absolutas; por lo tanto,

$$P_{\text{absoluta}} = P_{\text{manométrica}} + P_{\text{atmosférica}}$$

La mayor parte de las ecuaciones de la Mecánica de Fluidos y todas las ecuaciones de la termodinámica, requieren el uso de presión absoluta y a menos que se anuncie otra cosa, una presión siempre debe entenderse como presión absoluta. En la práctica, esto se designa como  $\text{N/m}^2$ , Pa, o Bares. En forma similar, la presión manométrica se expresa en  $\text{N/m}^2$ , Pa, o Bares.

De acuerdo con el principio de Pascal, la presión de un fluido estático es la misma en todas direcciones.

### 3.2. Unidades de presión.

La experiencia inofensiva de las unidades es actualmente la causa de los errores significativos de la medición de presión en un sorprendente número de casos. No solamente son un número grande de unidades de presión encontradas en uso regular, sino que muchas de ellas son definidas en forma incompleta o de manera

ambigua; condiciones sutiles que son parte de la definición, no están especificadas o son mal interpretadas. La presión  $P$  es el cociente entre la fuerza normal  $F_n$  actuante sobre una superficie, y la superficie:

$$P = F_n/A.$$

La unidad SI (Sistema Internacional de Unidades) derivada para la fuerza es el Newton. Una fuerza de 1 Newton otorga a un cuerpo de masa 1 kg una aceleración de  $1 \text{ m/s}^2$ . Y para la presión es el  $\text{N/m}^2$ , denominada Pascal.

De acuerdo con la definición, una presión de  $1 \text{ N/m}^2$  es la que soporta una superficie de  $1 \text{ m}^2$  cuando sobre ella actúa, en dirección perpendicular, una fuerza homogéneamente distribuida de 1 Newton.

Las unidades admitidas son:

- a) Newton/metro cuadrado (Símbolo:  $\text{N/m}^2$ )
- b) Pascal (Símbolo: Pa)
- c) Bar (Símbolo: bar)

Estas unidades pueden ser utilizadas con los prefijos admitidos para fracciones o múltiplos decimales de la unidad<sup>(1)</sup>.

- a) Kilolibra/centímetro cuadrado (Símbolo:  $\text{kp/cm}^2$ )  
(llamada también atmósfera técnica. Símbolo: at)
- b) Atmósfera normal (Símbolo: atm)
- c) Torricelli (Símbolo: Torr)
- d) Columna métrica convencional de agua (Símbolo:  $\text{mH}_2\text{O}$ )
- e) Columna milimétrica convencional de agua (Símbolo:  $\text{mmH}_2\text{O}$ )

En la tabla 3.1 se indican los factores de conversión para algunas unidades de presión. Se incluye también la unidad de presión libra de fuerza por pulgada cuadrada (Símbolo:  $\text{lbf/in}^2$ ).

**Observación:** la atmósfera normal corresponde a la presión ejercida por una columna de mercurio de 760 mm de longitud y densidad  $13.5951 \text{ g/cm}^3$  (a  $0^\circ\text{C}$ ) bajo la aceleración normal de la gravedad  $g=9.80665 \text{ m/s}^2$ .

La columna métrica de agua corresponde a la presión ejercida por una columna de agua de 1000 mm de longitud y densidad  $1 \text{ g/cm}^3$  (a  $4^\circ\text{C}$ ) bajo la aceleración normal de la gravedad  $g=9.80665 \text{ m/s}^2$ .

---

<sup>1)</sup> Hasta finales de 1,977 se admitieron estas unidades (las reglamentaciones de transición regulan las excepciones).

Nombre de la unidad	Símbolo (unidad)	Relación
Newton/metro cuadrado	N/m <sup>2</sup>	1 N/m <sup>2</sup> = 1 Pa
Bar	bar	1 bar = 0.1 MPa = 10 <sup>5</sup> Pa
Milibar	mbar	1 mbar = 0.1 kPa = 10 <sup>2</sup> Pa
Kilo libra/centímetro cuadrado	kp/cm <sup>2</sup>	1 kp/cm <sup>2</sup> = 98066.5 Pa = 0.980665 bar
Atmósfera técnica	atm	1 atm = 101325 Pa = 1.01325 bar
Torr	Torr	1 Torr = 1 atm/760 = 133.322 Pa = 1.33322 mbar
Columna milimétrica convencional de mercurio	mmHg	1 mmHg = 133.22 Pa = 1.33322 mbar
Columna métrica convencional de agua	mH <sub>2</sub> O	1 mH <sub>2</sub> O = 9806.65 Pa = 98.0665 mbar
Libra de fuerza por pulgada cuadrada	lbf/in <sup>2</sup> o psi	1 psi = 6894.752 Pa = 68.94752 mbar

Tabla 3.1. Factores de conversión de otros sistemas a Pascales<sup>(2)</sup>.

### 3.3. Rangos de presión.

En esta discusión se ha hecho referencia un tanto a los rangos de presión definidos arbitrariamente:

Rango	Presión (Pa)	Unidades convencionales
Presión superior alta	10 <sup>5</sup> -10 <sup>11</sup>	1 - 1000 kbar
Presión superior	10 <sup>5</sup> -10 <sup>8</sup>	15 - 15000 psi
Atmosférica	10 <sup>2</sup> -10 <sup>5</sup>	1 torr - 1 atm
Vacío inferior	10 <sup>-1</sup> -10 <sup>2</sup>	10 <sup>-3</sup> - 1 atm
Vacío superior (HV)	10 <sup>-4</sup> -10 <sup>-1</sup>	10 <sup>-6</sup> - 10 <sup>-3</sup> torr
Vacío superior alto	10 <sup>-7</sup> -10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-9</sup> - 10 <sup>-6</sup> torr
Vacío ultra alto (UHV)	10 <sup>-10</sup> -10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-12</sup> - 10 <sup>-9</sup> torr

Tabla 3.2. Rangos de presión<sup>(3)</sup>.

Algunos de estos términos son de uso común y difieren de los definidos anteriormente; por ejemplo, vacío superior con frecuencia se usa para todas las presiones abajo de 10<sup>-1</sup> Pa. La referencia también es hecha para la transición del régimen o rango.

Los manómetros son más usados para la medición de la presión atmosférica y la calibración de otros instrumentos, tales como

<sup>2)</sup> Fuente: Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Reglamentos de Prueba del PTB, Manómetros Hidráulicos.

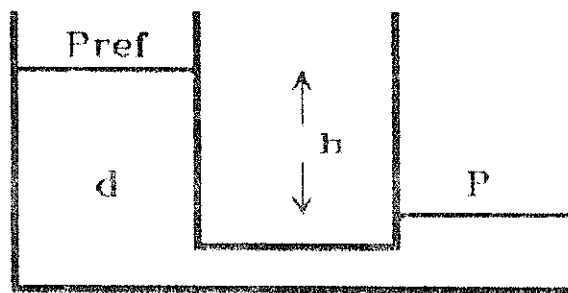
<sup>3)</sup> Fuente: Pressure and Vacuum Measurements, Charles R. Tilford, Capítulo 2.

altímetros aéreos que se usan para este mismo propósito. Además, la gran mayoría de los manómetros tienen un rango máximo en la escala de cerca de 100 kPa, aunque los rangos inferiores de instrumentos no son de uso común y los manómetros comerciales con rangos arriba de 350 kPa se encuentran en muchos laboratorios de estándares industriales.

### 3.4. Manómetros hidráulicos.

Los manómetros hidráulicos también llamados de columna líquida son ampliamente utilizados como estándares primarios para la calibración de otros instrumentos y, también, para mediciones finales. Tienen la capacidad de hacer mediciones mucho más exactas y pueden ser los mecanismos de mediciones de presión más baratos y simples para construir. Desafortunadamente, estos dos atributos no se encuentran en un mismo instrumento. El principio básico es ilustrado en la figura 3.4; una presión  $P$  aplicada a la superficie del líquido del lado derecho del manómetro, desplaza el líquido generando una presión diferencial  $\Delta P$  determinada por la densidad del líquido  $d$ , la altura desplazada  $h$  y la aceleración gravitacional  $g$ . Cuando la presión aplicada y el líquido desplazado están en equilibrio, permiten un patrón de presión  $P_{ref}$  (diferente de cero) en la columna de la izquierda, donde la presión absoluta  $P$  es dada por

$$P = dgh + P_{ref}$$



$$\Delta P = dgh$$

Fig. 3.4 Representación esquemática de un manómetro simple de columna líquida. La lectura  $h$  es medida en todo el rango de la vertical,  $d$  es la densidad promedio del líquido en todas las partes no horizontales del manómetro y  $g$  es la aceleración local de la gravedad;  $P_{ref}$  es el patrón de presión y para las presiones absolutas deberá ser "cero"; de lo contrario, la medición de presión será una presión diferencial con respecto a la presión de referencia.

La denominación manómetros hidráulicos abarca dos tipos de instrumentos medidores de presión. Uno de ellos es el de ramas iguales en U, que es utilizado con mayor frecuencia en la industria; y el otro, el de cubeta, en el que una rama del tubo en U se extiende hacia un recipiente contenedor, tal como se muestra en la figura 3.5.

El manómetro de tubo en U (véase fig. 3.5a) expresa la diferencia de presiones  $P_1 - P_2$  por la de los niveles dados. Si



$P_2$  está descubierto o expuesto a la atmósfera, entonces, la lectura sobre el manómetro indica la presión manométrica de  $P_1$ . Si se hace el vacío en el tubo  $P_2$  y se cierra ( $P_2=0$ ) entonces, indicará la presión absoluta de  $P_1$ . Una modificación común es el manómetro del tipo de cubeta (véase fig. 3.5b) ya que uno de los brazos de la U se sustituye con una cubeta o pozo. La escala se gradúa, especialmente, para tener en cuenta las variaciones del nivel de la cubeta de modo que sólo se requiera la lectura en un solo tubo.

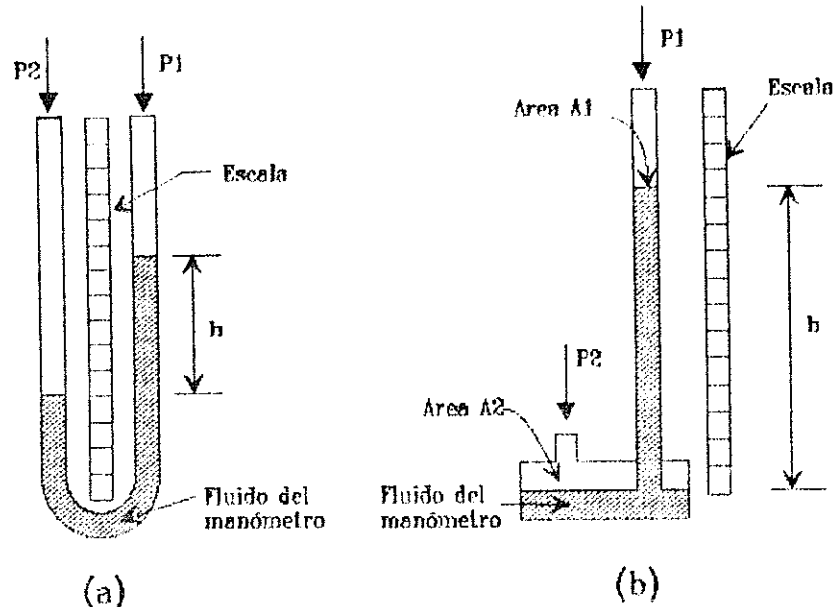


Figura. 3.5. Manómetros: a) Tipo tubo en U. b) Tipo de cubeta.

Los líquidos varían según la aplicación y rango de medida de los manómetros. Se utiliza generalmente mercurio o agua y, con menor frecuencia, aceites, alcoholes e hidrocarburos de baja tensión superficial. Siempre debe garantizarse que el medio gaseoso transmisor de la presión se disuelva sólo en cantidades ínfimas en el fluido manométrico.

Con columna de mercurio se determinan diferencias de presión, sobrepresiones y presiones absolutas y se utiliza para alta precisión. El mercurio se purifica rápidamente, es químicamente estable, posee una alta densidad con un coeficiente bajo de temperatura (para un líquido) y posee una modesta presión de vapor. Con columna de agua pueden medirse diferencias de presión y sobrepresiones pero no presiones absolutas dado que su presión de vapor a  $20^\circ\text{C}$  es, aproximadamente, 23 mbar. La ubicación del punto más alto del menisco, para el caso del mercurio o del más bajo, para los otros fluidos, se observa en forma directa o con la ayuda de un cuerpo flotante colocado en el mismo. El tipo de manómetro a utilizar se determina de acuerdo con la diferencia de presión que se establezca entre el instrumento y el ambiente. Para  $P \leq 4$  bar es posible utilizar tubos de vidrio. Para la observación directa del menisco a presiones más elevadas deben preverse sistemas de ventana a prueba de presión o, desistiendo de observación óptica, de recipientes y tubos metálicos.

Además de la correcta medición de diferencia de altura y temperatura del fluido, bajo la hipótesis de termostatación uniforme del instrumento, la calidad de un manómetro hidráulico se determina por el esfuerzo metrológico, la fabricación y el empeño de la ubicación del registro de los meniscos.

Algunos tipos de manómetros hidráulicos cuentan con dispositivos adicionales, tales como sistemas de amortiguación o trampas hidráulicas. Las oscilaciones de la columna líquida se disminuyen con amortiguadores de presión. Se emplean por ejemplo, capilares en la zona más baja del tubo en U.

Las trampas hidráulicas intercaladas en las conexiones de presión o los sistemas de cierre automático deben impedir el paso del fluido a presión al sistema de conducción, producido por fallas o mal servicio de los dispositivos de regulación y enlace.

### **Uso y ensayo de manómetros hidráulicos.**

#### **Condiciones generales de ensayo.**

Los manómetros hidráulicos deben ser ensayados en recintos climatizados y exentos de vibraciones, a una temperatura ambiente de 20°C.

Si se toma la presión atmosférica como presión de referencia para la medición, deberán ser retirados de servicio durante la misma los equipos de aire acondicionado y ventiladores a fin de evitar la formación de gradientes térmicos verticales.

#### **Debe cuidarse que:**

- a) la temperatura ambiente en el recinto de medición se mantenga constante antes y durante la medición.
- b) el instrumento a ensayar y el ambiente estén a la misma temperatura; esto es, que
- c) la temperatura de los componentes del líquido manométrico y la regla sea uniforme y constante y que
- d) ese equilibrio térmico no se perturbe por el uso de equipos adicionales, tales como, artefactos de iluminación, instrumentos eléctricos de medición o el propio observador.

#### **Para la determinación de la presión debe considerarse que:**

- a) el instrumento y los elementos de conexión deben ser sólidos,
- b) las reglas o dispositivos empleados durante la determinación de los valores deben estar separados del equipo de medición,
- c) las variaciones de temperatura producidas durante la medición, en especial durante la determinación de presiones de gases, deben ser mínimas; de manera que la presión de ensayo pueda considerarse constante,
- d) se utilizan dispositivos de empuje existentes en los equipos o intercalados en el sistema de presión de prueba.

En el caso del mercurio, la formulación del menisco puede mejorarse si se aumenta su nivel o se golpea ligeramente la pared del tubo. Si se utiliza agua, se hará descender su nivel hasta alcanzar una zona del tubo previamente

humedecida. Este procedimiento mejora la reproductividad de los valores de medida.

- e) deben observarse las recomendaciones de seguridad existentes para el uso de equipo de presión, gases comprimidos y mercurio.

### 3.5. Medidor tipo pistón.

El medidor de tipo pistón también conocido como "patrón secundario de masa" o balanza de presión, es ilustrado en la figura 3.6. La fuerza generada por la presión  $P$  aplicada en la parte inferior de un manómetro a través de un cilindro, combinado con un diseño cuidadoso. Y con un área efectiva  $A_{\text{ef}}$ , es balanceado por el peso  $F$  del soporte flotador de pesos (libre) y los pesos asociados de la presión de referencia  $P_{\text{ref}}$  que actúan sobre el área efectiva:

$$P = F/A_{\text{ef}} + P_{\text{ref}}$$

Los manómetros de pistón se pueden operar con aceite o con gas como fluido de presión. Los más usados son los que operan con aceite para los rangos de presión alta y superior (véase tabla 3.2); los manómetros de gas se usan, principalmente, en los rangos de presión atmosférica y para una pequeña parte del rango de presión alta. Los manómetros comerciales de aceite se encuentran disponibles con rango arriba de 1.3 GPa y se han construido manómetros con el propósito especial de cubrir un rango de operación tan arriba de 2.6 GPa. Debido a que los manómetros de pistón miden o más, apropiadamente, generan presiones diferenciales y su operación, por lo general, requiere acceso frecuente a los pesos, éstos se usan para las mediciones de las presiones del manómetro y presiones diferenciales con un patrón. Esta es una realidad de la efectividad de todos los manómetros operados con aceite, sin embargo, los manómetros operados con gas se usan tanto para las mediciones como para las presiones absolutas. En todos los manómetros de alta calidad, la fuerza del equilibrio de la presión es generada por la masa de un conjunto de pesos (incluyendo la masa del pistón) apoyada por un pistón del flotador. Para obtener una alta precisión se requiere del contacto y fricción reducida entre el pistón y el cilindro. Para la mayoría de los manómetros de pistón esto se realiza por medio de la rotación del pistón y el peso acumulado respecto del cilindro, de modo que, las fuerzas viscosas centrarán el pistón con el cilindro y mantendrán una película lubricante entre las dos superficies. En la mayoría de los manómetros la película de lubricación es suministrada por un flujo suave del fluido de presión, que se escapa de la alta presión, hasta la parte baja del pistón. Una operación adecuada requiere de pistones y cilindros de alta calidad; ambas piezas deben estar derechas y redondas con un buen acabado exterior y el intersticio entre el pistón y el cilindro debe ser mínimo: por lo regular unas cuantas milésimas o menos. Estas cualidades son especialmente importantes en los manómetros operados, y lubricados a gas, donde la operación posterior requiere de una cuidadosa limpieza del pistón y del cilindro y el uso de gases libres de aceite o partículas contaminantes. Sólo unos cuantos manómetros operados a gas mantienen una película lubricante entre

el pistón y el cilindro. Para todos los calibradores de tipo pistón, el pistón y los pesos deben flotar libremente hasta equilibrar la fuerza del pistón; si la presión cambia, los pesos deben ser ajustados adecuadamente.

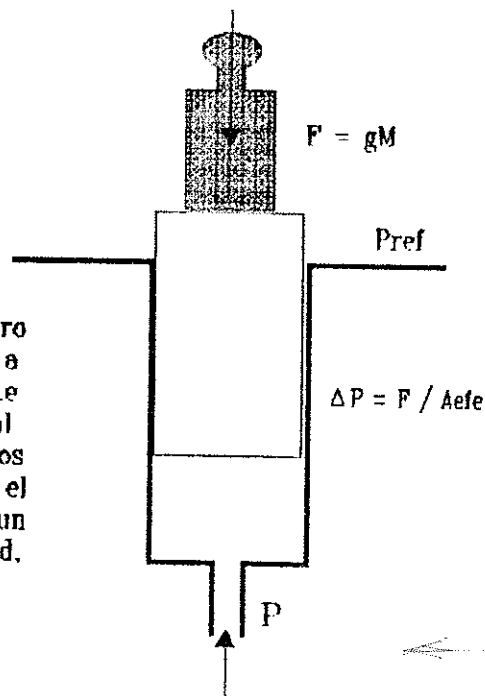


Fig. 3.6 Ilustración esquemática de un manómetro de pistón. El área efectiva  $A_{efe}$  es muy cercana a la medida del pistón y las áreas de corte transversal del cilindro. La presión aplicada al área efectiva es equilibrada por el bloque de pesos adjunto al pistón. Regularmente los pasos entre el pistón y el cilindro son de 1 o 2 mm para un manómetro operando con gas y de buena calidad, y el doble para los operando con aceite.

El grado probable de las presiones generadas por un medidor de presión de tipo pistón queda determinado por los grados probables de la aceleración de la gravedad, la masa de los pesos, el área efectiva y por la operación de la moda absoluta del patrón de presión.

### 3.6. Laboratorio de calibración de manómetros.

La importancia de la calibración y verificación de los instrumentos de medición, son operaciones que dependen una de la otra, pero son diferentes, por esto es necesario definir cada término para entender su aplicación. **Calibración:** es el resultado de aquellas operaciones con el propósito de determinar los valores de los errores de un instrumento, comparando los valores de entrada y salida, con un estándar de referencia. **Verificación:** es el resultado de aquellas operaciones con el propósito de confirmar que el instrumento de medición satisface los requerimientos establecidos por las normas.

"Nada se conoce si no se mide", estas palabras encierran en términos generales la importancia que tiene la calibración y verificación de un instrumento.

Una buena medición se basa en la precisión del instrumento, el método que se aplique y la habilidad del metrólogo para desarrollarlo. Estos tres factores son los necesarios para que se obtengan resultados óptimos al practicar la verificación o la calibración de manómetros.

En algunos casos puede ser que el método sea el mejor, sin embargo, puede ocurrir que el instrumento con el cual se va realizar la verificación (el normal de calibración) carezca de la

precisión que exige la prueba o viceversa o, bien, el verificador o calibrador, (llámesele así, a la persona que realice la prueba según sea el caso) puede ser que no tenga la habilidad visual o manual para desarrollar el método.

Uno de los factores que intervienen para garantizar la calidad de los productos en los diferentes procesos de fabricación, es la calibración y verificación de los instrumentos de medición, en este caso los medidores de presión; de esa forma se aportan beneficios para tener un control adecuado en el mantenimiento del equipo y, por ende, contribuye a incrementar la productividad y las empresas tienden a reducir costos.

Un aspecto muy importante, es la integridad corporal del ser humano. La precisión de un instrumento que está instalado en un proceso de fabricación o en algún equipo médico y cuya lectura sea crítica, es decir, que intervenga para proteger al ser humano, no se podrá asegurar si no es por medio de la calibración y la verificación, ya que es la única garantía de que los instrumentos industriales tienen la exactitud y el rango requerido para mantener el funcionamiento adecuado de los sistemas productivos y en condiciones económicamente controladas.

Cualquier instalación bien equipada para la calibración de instrumentos industriales o de laboratorio debe contar con el equipo necesario para establecer estándares adecuados que abarquen el rango aplicable para las calibraciones respectivas, según lo requiera la industria a la cual se le dé servicio. Los estándares comúnmente empleados son manómetros de ionización para las presiones más bajas ( $10^{-6}$  a  $10^{-11}$ ) manómetros de McCloud de 0 bares a  $10^{-6}$  mmHg, manómetros comunes de 0 Pa hasta un máximo de 700 kPa y probadores de tipo peso muerto o manómetros de precisión de 0.3 bar a 7000 bares. También es bueno recordar que un estándar es más exacto que el instrumento que se está calibrando por lo menos en un factor de 10 y, también, que el estándar de referencia debe tener la confiabilidad y la exactitud que se requiera para dicha aplicación (4).

En todos los procedimientos de calibración de manómetros, se aconseja hacer las lecturas tanto en forma ascendente como descendente. En los medidores de funcionamiento mecánico, este procedimiento revela casi siempre pérdidas debidas a la fricción, la histéresis, defectos en los resortes y fenómenos de tipo similar.

Económicamente hablando, la calibración y la verificación de los instrumentos, asegurará la confiabilidad en las transacciones comerciales, a nivel nacional como internacional, protegiendo de esa forma, al vendedor y al consumidor.

En el aspecto tecnológico y científico, coadyuva a facilitar la investigación y la experimentación, aportando precisión en los resultados que se obtengan.

### 3.6.1. Probador calibrador de presiones de tipo peso muerto.

El probador de peso muerto (véase fig. 3.7) se usa como

---

4) Fuente: Instrumentación Industrial, Harold E. Soisson. Tipo de estándares de referencia para calibración y estándares de calibración de presión.

estándar para calibrar manómetros y es un medidor de tipo pistón. Son fuertes en su construcción, modernos y compactos en su diseño y simples de operar. El principio de peso muerto sobre cualquier diseño de estos probadores o medidores de presión está basado en el reconocimiento a ser el más preciso y el más práctico para usos generales, que cualquier otro método conocido.

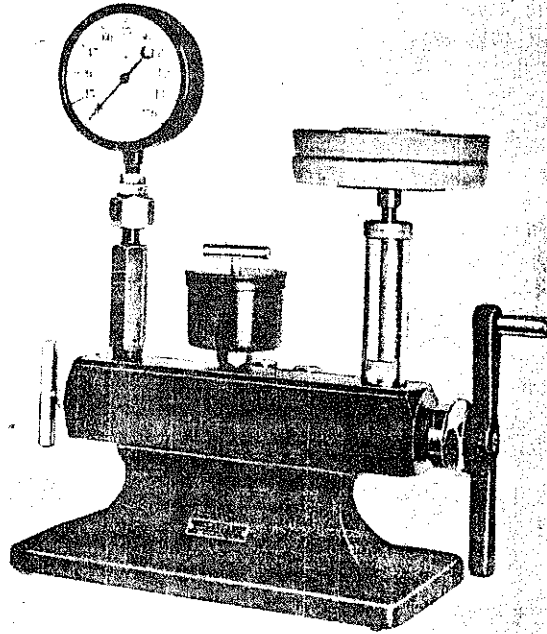


Figura 3.7. Calibrador de tipo peso muerto.

El probador medidor de tipo peso muerto es una unidad hidráulica de alta precisión de 1/10 de 1% de la lectura indicada; se alcanza esta precisión, debido a la tolerancia sostenida entre el diámetro del pistón y las áreas de corte transversal del cilindro. La calibración de alta precisión de los pesos, la utilización de materiales finos y diseños especiales los hacen deseables para las calibraciones.

Se desarrollan presiones hidráulicas conocidas por medio de pesos que se cargan sobre el soporte giratorio de carga. Su rango de calibración varía entre 0.3 a 250 bares para bajas presiones y sirven de referencia para los manómetros de agua o de mercurio.

#### Instrucciones para el procedimiento de calibración.

- 1) Instalar el calibrador sobre una mesa plana, en posición horizontal.
- 2) Remover la válvula de aguja No.15 y quitar la tapadera del depósito No.14.
- 3) Llenar el depósito No.14 hasta un mínimo de 3/4 de su capacidad, con aceite SAE 10.
- 4) Cerrar la válvula de aguja No.8.
- 5) Desplazar lentamente el tornillo No.13 según la fuerza

- ejercida por el aceite lo vaya permitiendo y entre la 2a presión en la cámara No.7.
- 6) Desplazar despacio hacia adentro el tornillo No.13 hasta que las burbujas de aire desaparezcan a lo largo del agujero del depósito.
  - 7) Desplazar hacia afuera el tornillo No.13, despacio y sin esforzarlo.
  - 8) Reemplazar la válvula de aguja del equipo No.15 y cerrar la válvula.
  - 9) Desplazar el vástago guía del pistón del cilindro No.17.
  - 10) Mientras se esta sosteniendo el soporte de pesos con una mano, desplazar suavemente el tornillo No.13 hasta que el pistón con el cilindro sean forzados a salir del cilindro No.17.
  - 11) Continuar desplazando el tornillo No.13 hasta que no aparezcan burbujas en el pequeño agujero del cilindro No.17.
  - 12) Insertar el pistón en la cavidad del cilindro y desplazar suavemente hacia atrás el tornillo No.13, para que el pistón pierda fuerza a presión por el propio peso.
  - 13) Apretar el tornillo guía.
  - 14) Abrir la válvula de aguja No.8, aproximadamente dos vueltas.
  - 15) Desplazar el tornillo No.13 despacio hasta que no aparezcan burbujas de aire, en la unión de ensamble No.11 del medidor de presión.
  - 16) Sujetar el medidor de presión para probarlo en la unión del medidor No.11 usando su propio adaptador.
  - 17) Iniciar la calibración, desplazando el tornillo No.13 hasta que la presión suficiente haya esforzado al pistón y al soporte de pesos a flotar por encima del tornillo guía.
  - 18) Cuando el pistón y el soportador de pesos estén flotando en cualquier posición entre el eje del soportador de pesos y el collar de detención, se ejercerá una presión sobre el manómetro exactamente igual al número de Newtons sobre metro cuadrado que está grabado en el soporte de pesos.

EL PISTON Y LOS PESOS DEBEN  
MANTENERSE ROTANDO CON UNA MANO  
DURANTE LA CALIBRACION, PARA  
TENER RESULTADOS PRECISOS.

- 19) Cada peso está marcado con el número de Newtons sobre metro cuadrado; éstos ejercen presión sobre el manómetro y por adiciónamiento de varios pesos, más el peso grabado en el soporte de pesos, la máxima presión en Newtons sobre metro cuadrado ejercida sobre el manómetro es alcanzada.
- 20) POR NINGUNA CIRCUNSTANCIA SE DEBE QUITAR LOS PESOS DEL SOSTENEDOR DE PESOS, SIN HABER LIBERADO LA PRESION DE LA CAMARA No.7; RETROCEDER EL TORNILLO No.13, HASTA QUE LOS PESOS DESCANSEN SOBRE EL EJE DEL SOPORTE DE PESOS Y ENTONCES ABRIR LA VALVULA No.15. QUITAR LOS PESOS.
- 21) Cerrar la válvula de aguja No.8.
- 22) Remover el manómetro de la unión en el ensamble No.11.
- 23a) Iniciar la siguiente calibración: retirar desplazando el tornillo No.13 en todo el camino forzándolo hacia afuera.

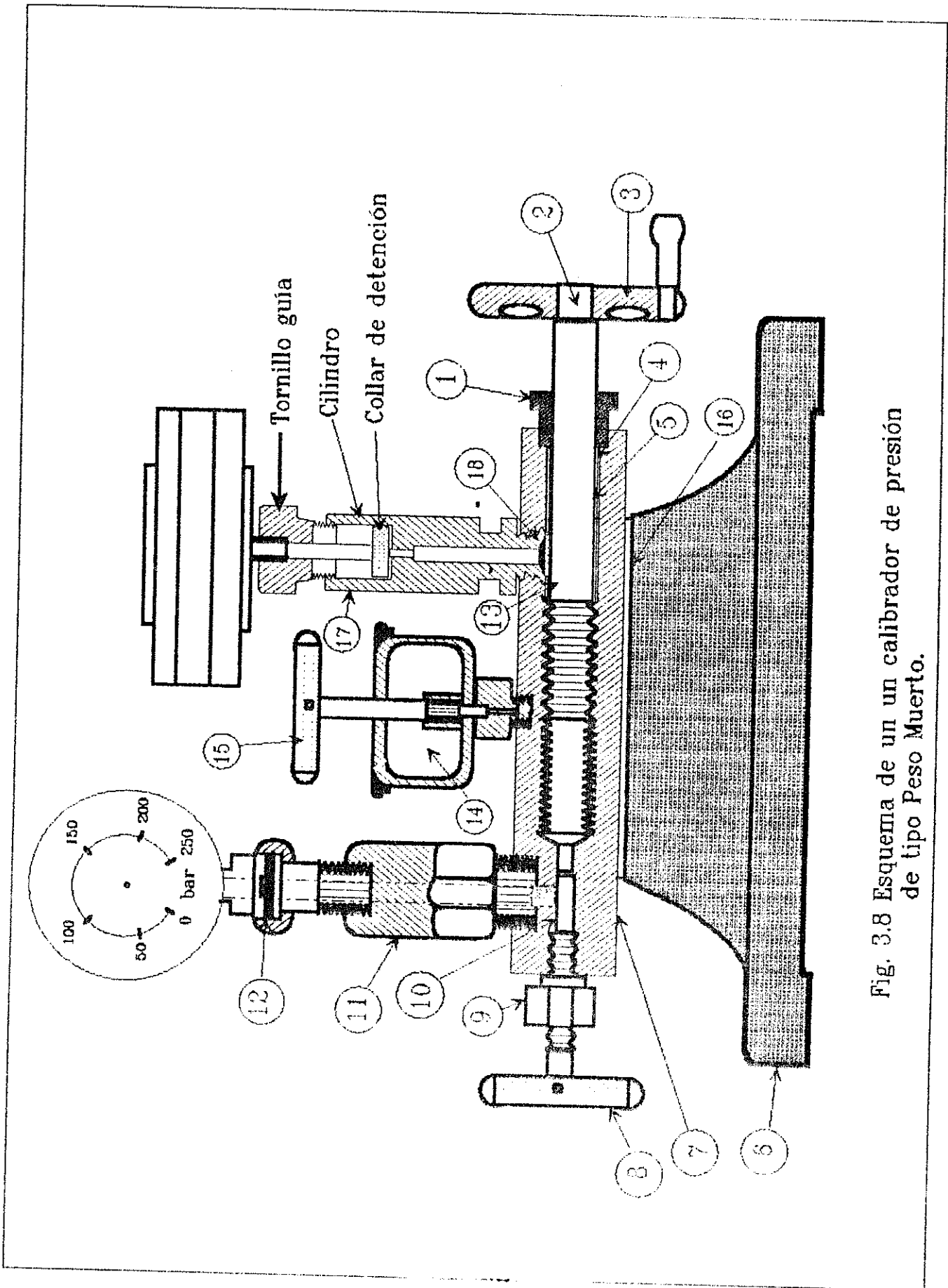


Fig. 3.8 Esquema de un un calibrador de presión de tipo Peso Muerto.



Cerrar la válvula No.15, entonces seguir las instrucciones empezando en el numeral No.15.

- 23b) Al finalizar la calibración, después de la completación de la prueba, abrir la válvula No.15, desplazar el tornillo No.13 toda la carrera, permitiendo que el aceite entre en el depósito No.14 y cerrar la válvula de aguja No.15.

### **Nota importante.**

Mientras el aceite es desviado, el pistón se posiciona en la parte superior del cilindro No.17 abajo del tornillo guía. Si se permite alcanzar una profundidad de 1.27 cm, la lectura puede ser afectada. Por lo tanto, según la frecuencia de uso, el pistón con el soporte de pesos y el tornillo guía, deberían ser removidos del cilindro (como en los pasos 10 y 11) y el aceite se podrá drenar bajo la cámara de presión.

### **3.6.2. Métodos y procedimientos de calibración.**

La comprobación de la precisión de un instrumento de medición, se lleva a cabo por medio de la calibración y verificación. Los métodos que se aplican para realizarlas, son los que establecen las normas sobre metrología.

En el anexo B, se ilustra un protocolo de calibración para manómetros, utilizado por los laboratorios de metrología.

#### **Instrucciones de calibración para medidores de presión.**

- 1.- Registrar la calibración en el libro de control de pruebas del laboratorio.
- 2.- Escoger el método adecuado de prueba: asignar, aproximadamente, 10 (al menos 9) valores de presión.
- 3.- Someter al aparato a altas presiones y controlar fugas.
- 4.- Inicializar la calibración en ascenso.
- 5.- Tomar los datos generales del manómetro a verificar, en la hoja de certificación (tabla 3.3).
- 6.- Trasladar los datos generales al libro de control de prueba.
- 7.- Rotular la marca de calibración.
- 8.- Anotar la fecha de prueba en el libro de control de prueba.
- 9.- Inicializar la calibración en descenso.
- 10.- En caso que el aparato no esté dentro de las tolerancias permitidas de error y sea necesario hacer un ajuste o corrección de tipo técnico, hacerlo con el conocimiento del cliente:
  - debe realizarse una corrección o ajuste.
  - cuantificar los costos.
  - el certificado debe llevar las dos series de medidas. Las nuevas, que son las que se realizan para el certificado y las anteriores, las que se disponían previamente a la calibración.
  - de no ser así, colocar la etiqueta de "aparato defectuoso".
- 11.- Pegar la etiqueta de calibración; en el caso de que exista tornillo de ajuste para corriente o voltaje, eventualmente, colocarle encima otra etiqueta adhesiva.
- 12.- Completar el certificado.

- 13.- Llenar papelería adjunta en computadora y enviarla al archivo.
- 14.- Enviar el aparato aprobado en su empaque, anotar la fecha de envío en el libro de control de pruebas.
- 15.- En el archivo mantener una copia del certificado y papeles adjuntos, anotar la fecha de envío en el libro de pruebas.
- 16.- Marcar las observaciones y resultados en el certificado de verificación y en libro de pruebas.

**Instrucciones para la calibración de manómetros de pistón o de peso muerto. (Véase el anexo B: protocolo de calibración de manómetros)**

- 1.- Registrar la calibración en el libro de pruebas del laboratorio.
- 2.- Limpiar las masas (discos) de prueba.
- 3.- Numerar las masas (discos) en base a su tamaño (grabar los números)
- 4.- Las masas (discos) en caso de que no estén claramente señalizadas (ej. con número de fabricación) colocar iniciales del laboratorio de calibración (según el orden de lista)
- 5.- Colocar el sello o marca del servicio de calibración.
- 6.- Desarmar el sistema de cilindro-pistón.
- 7.- Para el sistema cilindro-pistón hacer un esquema con sus dimensiones indicadas.
- 8.- Marcar las masas (discos) bases (como los numerales 4 y 5)
- 9.- Limpiar el aceite del espacio de la tapadera del pistón, con aire comprimido.
- 10.- Determinar las masas(s) por el método de sustitución, con juego de masas de la clase F1.
- 11.- Determinar la masa para los pesos base(discos) separándolos de acuerdo con los distintos materiales de construcción y, de no ser conocida, determinar la densidad de las masas.
- 13.- Escoger el aparato de medición de presión diferencial; con resolución es de 0.1%; seguridad de respuesta aproximadamente  $10^{-2}$  de la presión. Rango de medición 10...100% dado:
  - $10^{-2} * 0.1 * \text{punto decimal en el rango de medición}$   
0.001 rango Rosemount;
  - rango de medición Rosemount  $10^{-2} * \text{punto decimal en el rango de medición}$ .
  - Documentar los cálculos.
- 14.- Colocar el manómetro de pistón de manera que, la parte inferior del pistón de prueba esté a la misma altura que el normal, aplicando la prueba del nivel de manguera.
- 15.- Conectar el manómetro de pistón al medidor de presión diferencial, desde el normal, llenar todo con aceite ARAL Autin B y desairear.
- 16.- Conectar el medidor de presión diferencial a la resistencia y fuente de tensión.
- 17.- Dar la señal al compresor, seleccionar el rango de medición de manera que,  $10^2 * \text{presión máxima sea cerca de 5 mm de amplitud}$ . Colocar el punto cero a la mitad eventualmente presionar hacia abajo.
- 18.- Instalar control de temperatura, respectivamente con un

- sensor de superficie en el cilindro normal y en el de prueba con pasta conductora de calor.
- 19.- Nivelar el sistema patrón-cilindro exactamente en posición perpendicular.
  - 20.- Dejar conectado el manómetro de pistón a la presión máxima durante 0.5 hora.
  - 21.- Comparar la presión en descenso desde la presión máxima, aproximadamente, 10 valores hasta un 10% del rango de medición, luego, de nuevo, ascendente en 2 ó 3 pasos o valores, hasta el valor final del rango de medición.
  - 22.- Calcular.
  - 23.- Colocar placa símbolo en el aparato probado.
  - 24.- Empacar y preparar el aparato para su envío (bloqueado)
  - 25.- Preparar y enviar el certificado.

Para un manómetro de tipo pistón, la verificación esencialmente puede consistir, primero, de un control inicial para que las masas de cada disco (y las del porta masas) correspondan a los valores indicados en el certificado de calibración. La verificación de las masas debería hacerse cada año de uso, así como el cambio del fluido usado (aceite hidráulico) y la limpieza de las partes móviles.

### 3.6.3. Normas y recomendaciones internacionales.

- a) La precisión para la verificación del equipo de medición de presión requiere el conocimiento del valor local de la aceleración debida a la gravedad, generalmente, se usa el valor convencional de gravedad de  $9.80665 \text{ m/s}^2$ . La temperatura de referencia es usualmente de  $20^\circ\text{C}$  excepto para las columnas de mercurio (barómetros) donde la referencia es de  $0^\circ\text{C}$  para ambos, la escala y el mercurio. Para los valores nominales de presión en el lugar de verificación tendrán por consiguiente que ser ajustados mediante cálculos o tablas de corrección.
- b) Las características del medio de medición que se verifica tienen que ser consideradas también: los manómetros con un límite máximo hasta 500 kPa (5 bares) deben verificarse siempre con aire o un gas inerte (como el nitrógeno). Los patrones de tipo pistón que utilizan aire o gas también pueden utilizarse para presiones mucho más altas, sin embargo, pueden requerir medidas especiales de seguridad. Los patrones de tipo pistón y pesas que utilizan aceite como medio de ensayo tienen intervalos típicos aproximados desde 100 kPa (1 bar) hasta 100 MPa (1000 bar) y más. Deben tomarse precauciones especiales en lo que se refiere a manómetros que se utilicen con otros medios de presión que no sea el aceite, por ejemplo, el oxígeno. Dichos manómetros pueden verificarse excepcionalmente con agua, utilizando un patrón de pistón con aceite mediante la utilización de un separador especial aceite/agua que puede suministrarse por algunos fabricantes (los aspectos prácticos de la verificación en serie de los manómetros de oxígeno, si se requiere, deben tratarse, sin embargo, separadamente del equipo patrón del laboratorio)

- c) De acuerdo a la norma DIN 1314 "Presión. Conceptos fundamentales. Unidades", edición febrero 1,977, resultan válidas las siguientes definiciones:  
Se entiende por diferencia de presión **delta P** la diferencia entre dos presiones absolutas:

$$\text{delta P} = P_1 - P_2$$

Sobre presión  $P_e$  (5) es la diferencia entre una presión absoluta  $P$  y la presión atmosférica correspondiente  $P_{amb}$  (6)  
 $P_e = P - P_{amb} = P_{abs} - P_{amb}$  (7)

La presión  $P_e$  puede tomar valores positivos y negativos. La definición de depresión, empleada hasta el momento para denominar el valor positivo en el caso  $P < P_{amb}$ , no debe ser utilizada más.

- d) Los errores sistemáticos del instrumento a ensayar, que resultan de igual orden de magnitud que la suma de las incertidumbres de ajuste del instrumento a verificar y del patrón, pueden únicamente reconocerse una vez evaluados los resultados de un mayor número de mediciones, de acuerdo con las indicaciones de DIN 1319 para el cálculo de errores. Las mediciones deben efectuarse a intervalos iguales sobre todo el rango de medida del instrumento. De esta forma se manifiesta la dependencia de los errores respecto de la magnitud medida.  
Para la evaluación de las mediciones de presión debe conocerse el valor local de la aceleración de la gravedad.
- e) **Elección del instrumento patrón y registro de los valores de medida:** el rango de medición del instrumento patrón debe corresponder con el del instrumento a verificar. El error del patrón no debe ser mayor que 1/3 del error del instrumento a ensayar. Para los efectos de un mejor cumplimiento de este requisito pueden utilizarse dos patrones con distintos rango de medición. Los valores medidos por el instrumento patrón se convierten al plano del instrumento a examinar.  
El ensayo debe ser dispuesto de forma tal que, en lo posible, el plano de referencia del instrumento bajo prueba, coincida con el plano de referencia del patrón. Para pequeñas diferencias entre ambos planos puede renunciarse, a

---

5) de "excedens" (latín) = exceso

6) de "ambies" (latín) = ambiente

7) En estos reglamentos de prueba y para una mejor comprensión, se utiliza para la presión absoluta, además del símbolo formal  $P$ , el símbolo  $P_{abs}$  ..

menudo, al efectuar la corrección por altura (¶). Generalmente, se verifican 10 valores de presión distribuidos uniformemente sobre el rango de medida del instrumento. Para manómetros hidráulicos debe observarse el ajuste de la columna líquida para la diferencia de presión  $P=0$ . Este ajuste, que deberá repetirse frecuentemente y constituye un punto de prueba, otorga una referencia respecto de la incertidumbre esperada en la medición. La incertidumbre de lectura debido a la construcción y tipo de escala y al dispositivo de lectura debe constar en el acta de ensayo. Los valores de presión se redondean, luego del cálculo.

- Nota:** a) estas recomendaciones sólo son algunas de las existentes, dictaminadas por los Organismos Internacionales de Metrología;  
b) se amplía la recomendación Internacional acerca de la tolerancia de histéresis, en el numeral 3.6.4.3.

#### **3.6.4. Tolerancias.**

Para fines prácticos se puede considerar una tolerancia como el máximo error permitido que se encuentra en una medida. El error se define como la diferencia entre un valor prefijado y el valor medido actualmente. La indicación del aparato medidor debe permanecer dentro de este rango de error al momento de la calibración (véase el anexo C.1).

##### **3.6.4.1. Tolerancia de calibración.**

Es el rango permisible en el cual un manómetro puede presentar una desviación en el valor de la indicación de error en la medición de presión, para intervalos de ascenso y descenso, para efectos de calibración de presión (véase el anexo C.1) La indicación del aparato medidor debe permanecer dentro de este rango al momento de la calibración.

##### **3.6.4.2. Tolerancia de trabajo.**

Son los valores extremos del error tolerado en los límites superior e inferior por los reglamentos para un instrumento de medida, cuando está en servicio. Para efectos de verificación de manómetros (véase el anexo C.1), durante el uso normal y de trabajo.

##### **3.6.4.3. Tolerancia de histéresis.**

La tolerancia de histéresis, es la diferencia entre los valores de desplazamiento de los puntos de referencia para un valor dado de la presión, obtenido por incremento y el decrecimiento de la presión (véase el anexo C y C.1) Es

---

¶)Observación: la presión atmosférica varía 1 mmbar para una diferencia de altura de 8.46 m, suponiendo aire seco a 20°C y una aceleración normal de la gravedad de 9.80665 m/s<sup>2</sup>.

considerada una las características metrológicas principales para los elementos de sensibilidad elástica, en los medidores de presión.

Cuando se examina la dependencia recíproca de dos magnitudes físicas, a veces se encuentran dos valores de medida diferentes para la magnitud observada, incluso, si la magnitud independiente tiene el mismo valor en los dos casos. El valor de medida encontrado varía según la magnitud independiente de una tendencia creciente o decreciente. Para los manómetros, la histéresis de la curva de errores es la más importante.

Los máximos valores de la histéresis son determinados a una temperatura de  $20 \pm 2$  °C, el número de pasos debería ser suficiente para determinar el valor máximo de histéresis y la respectiva determinación de la sensibilidad del manómetro.

El máximo valor de histéresis es determinado sobre el rango de desplazamiento nominal, de la siguiente manera:

El elemento de sensibilidad elástica mantiene una presión nominal por un período mínimo de cinco minutos. Entonces, es progresivamente sobrecargado y el desplazamiento del punto de referencia es medido para las mismas presiones, tal como estos son usados durante mediciones de incremento de presión.

El período durante el cual el elemento de sensibilidad elástica se mantiene en una presión intermedia, para ambos casos, por incremento y decrecimiento, debería ser tan corto como sea posible.

El máximo valor de la histéresis es expresada como un porcentaje del desplazamiento nominal.

El máximo error absoluto permisible para instrumentos, usados para mediciones de desplazamiento, en la determinación de la histéresis y del cambio de la posición inicial, no debería exceder de  $\frac{1}{2}$  del máximo valor permisible absoluto de la histéresis expresado como porcentaje.

Se presenta un ejemplo ( véase anexo C y C.1) para la determinación de la histéresis, la tolerancia de trabajo o de servicio, la tolerancia de calibración, para la calibración y verificación de un manómetro.

### 3.6.5. Cálculos estadísticos.

Toda medición de una magnitud física arroja un resultado (un número) que depende de lo que se mide (la magnitud misma), del procedimiento de medida, de los instrumentos de medición utilizados, del observador y otros factores (ambientales o en condiciones en que se realiza la medición). Todos estos elementos que intervienen en un proceso de medición introducen necesariamente un cierto grado de imprecisión y de incertidumbre en el resultado final.

En un proceso de medición de una magnitud física a lo más que se puede aspirar es a determinar, de la mejor manera posible, el valor "más probable" o "la mejor estimación" que de dicha magnitud se hace, tomando en cuenta los resultados obtenidos. Es posible, también, cuantificar las imprecisiones o los límites probables del error. Así, cada vez que se efectúa la medición de una magnitud física dada se obtiene un número que sólo en forma aproximada representa la medida buscada. Por lo tanto, cada resultado de una medición está afectado de cierto error.

Algunos errores de medición pueden ser eliminados usando mejores instrumentos, mejorando las condiciones en que tal medición se realiza o cambiando el procedimiento de medición. Los errores accidentales o los inevitables, siempre estarán presentes. Como el resultado de la medición de una cantidad física continua, sólo tiene sentido cuando se puede estimar el error por el cual está afectada, es muy importante disponer de una manera de estimar los errores accidentales.

El método utilizado se basa en la estadística matemática y su objetivo es la determinación de la desviación estándar y del valor más probable. El análisis en un caso concreto puede ser bastante complicado, pero, se facilita mediante el uso de gráficas y más recientemente el empleo de las computadoras.

### 3.6.5.1. Comportamiento de la media y desviación estándar.

La incertidumbre de medida de un resultado cubre siempre los errores aleatorios (expresados por la  $\rightarrow$  desviación típica o por el  $\rightarrow$  intervalo de confianza) de todas las variables individuales que sirven para el cálculo del resultado de medida, así como los errores sistemáticos no determinados, porque no son medibles y solamente pueden ser estimados. Se suponen siempre corregidos los errores sistemáticos determinados. En principio, el resultado de una serie de medidas "y" que comprenden "n" medidas, debería ser:

$$y = \bar{X}_E \pm u$$

donde  $\bar{X}_E$  es la media corregida de los errores sistemáticos determinados (por ejemplo: empuje del aire) y "u" la incertidumbre de medida de un resultado de medida específico se puede caracterizar por el  $\rightarrow$  intervalo de confianza de la media determinado a partir de n valores individuales.

Se tiene entonces:

$$u = t/\sqrt{n} s + |f|$$

donde: |f| valor estimado de los errores sistemáticos no determinables o no determinados.  
 $t/\sqrt{n}$  valor que tiene en cuenta la distribución de los valores individuales y el número de medidas y que puede obtenerse de las tablas, para el nivel estadístico elegido.  
s desviación típica.

### Intervalo de confianza.

Es el intervalo situado a uno y otro lado de la media  $\bar{X}$  de una serie de valores medidos, en el cual se encuentra la media real con una probabilidad P.

El intervalo de confianza viene dado por la fórmula:

$$\bar{X} \pm s.t/\sqrt{n}$$

donde: s = desviación típica

t = valor de la t de Student  
n = tamaño de la muestra.

### Desvío medio cuadrático (Desvío Estándar)

Índice que caracteriza la dispersión de las indicaciones de un instrumento de medición obtenidas en una serie de n mediciones del mismo valor de una magnitud medida y dado por la fórmula:

$$s = + \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

siendo  $x_i$  la indicación i-ésima del instrumento ( $i = 1, 2, 3, \dots, n$ ) y  $\bar{x}$  la media aritmética de las n indicaciones consideradas.

#### Observaciones.

1. De acuerdo con las condiciones en las cuales se efectúan las mediciones, s puede representar una medida de diferentes propiedades del instrumento (fidelidad, estabilidad...).
2. El valor calculado según esta definición, es de hecho, una estimación del desvío estándar aparente, porque, de una parte, se calcula s según los datos experimentales, y, por otra parte, las diferencias  $(x_i - \bar{x})$  representan errores absolutos aparentes.
3. La noción considerada se refiere tanto a los instrumentos de medición como a medidas materializadas graduadas.

Es de observar que en lo que concierne a las medidas materializadas que reproducen un solo valor (o varios valores separados) de una magnitud, no es totalmente correcto hablar de la dispersión de sus "indicaciones" dado que representan valores constantes.

Sin embargo, en ese caso, puede interesar la dispersión del valor reproducido de la magnitud, dispersión que se puede conocer por comparaciones con un patrón.

#### 3.6.5.2. Exactitud porcentual.

La exactitud es la referencia más cercana entre un valor medio y el valor "verdadero" o "aceptado". Como el valor verdadero no se puede conocer con exactitud, la precisión en este sentido sólo puede ser estimada. Cuando utilizan la precisión la mayoría de los usuarios especifican el error o la falta de certeza, por ejemplo, si el valor medido es 99% del valor aceptado, se dice que tiene una precisión del 1%. La precisión



con frecuencia es especificada para un instrumento de medición, en cuyo caso se refiere a la falta de certeza de las mediciones hechas con ese instrumento.

### 3.7. Conmutador selector de presiones.

Los sistemas hidráulicos o las máquinas están equipados con medidores de presión, localizados en todo el sistema hidráulico y representados en un monitor común (véase figura 3.9).

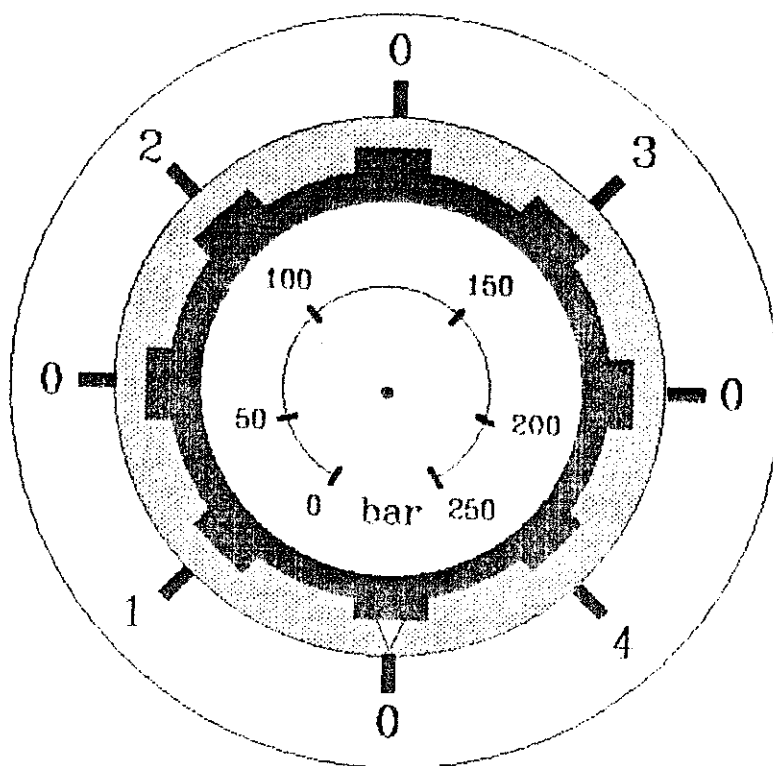


Figura 3.9. Esquema de un conmutador selector de manómetros

Teniendo la capacidad de representar la lectura en un punto particular, indicando clara o exactamente a qué presión hidráulica la máquina está funcionando, es invaluable el servicio de medición que le presenta al usuario o, bien, al mecánico de mantenimiento. Asimismo, el conmutador selector tiene "n" lecturas separadas como se indica en la figura 3.9 y puntos específicos numerados para diferentes presiones en un sistema hidráulico. Para requerir una presión en particular se ajusta la perilla en la posición deseada. La presión medida en un punto del sistema hidráulico puede ser leída desde el conmutador medidor de presiones indicado en el centro o contorno de la perilla. Un punto específico en el sistema hidráulico perteneciente a cada indicador en la perilla es claramente indicado en el diagrama hidráulico correspondiente del catálogo del fabricante para cada máquina.

Es importante hacer notar que cuando la lectura de la presión no es requerida el medidor de presión debería estar en posición cero, localizada entre cada posición de presión sobre el medidor. Ajustando el medidor en la posición "0", se alivia la presión de trabajo de los puertos del medidor. Las averías que pudiera sufrir el conmutador serían por el uso no adecuado.

## Capítulo 4

### Separador mecánico de aceite hidráulico y aire comprimido.

Para separar mecánicamente el líquido y el gas que se tiene a una temperatura y presión específica, se cuenta con los separadores de aceite y gas, los cuales son dispositivos que interactúan entre estos líquidos y que conforman un sistema en el cual se transmite y se mide presión. Tomando en cuenta que se tienen diferentes características y comportamientos físicos de los fluidos.

Esta tesis contempla el estudio de la separación mecánica de los fluidos (líquido y gas) a través de una membrana, diafragma o bien un émbolo, que interactúa entre el líquido y el gas. En algunos casos los separadores son utilizados como elementos de transmisión de presión estática, para la medición de la presión de sustancias heterogéneas; acumuladores hidráulicos de energía; transformadores y multiplicadores de presión; o, en sistemas de frenos hidráulicos de los automóviles, etc.

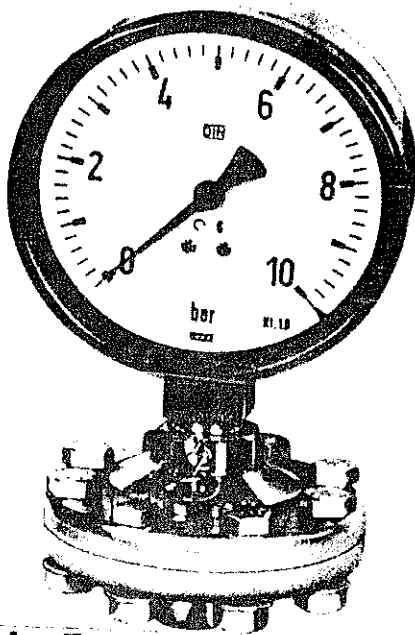


Fig. 4.1 Transmisor de presión con instrumento de medición de presión instalado.

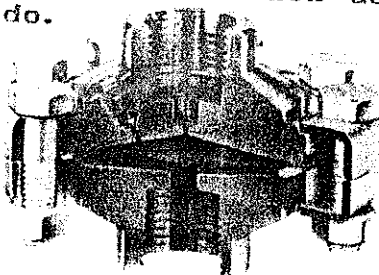


Fig. 4.2 Transmisor de presión (diafragma).

Para simplificar el estudio de un separador mecánico se pondrá como ejemplo un transmisor de presión, que presenta características similares a otros tipos de separadores o sellos mecánicos (diafragmas) en el cual se puede apreciar el funcionamiento de un separador de fluidos. Un transmisor de presión es un dispositivo consistente de un diafragma firmemente sujetado entre dos bridas ajustables y con empaques apropiados para prevenir la pérdida de líquido o gas (véase las fig. 4.1 y 4.2) En este tipo de dispositivo, un diafragma, que es una "membrana divisora o una fina partición", actúa como una barrera para el líquido o gas. Puede obstaculizar el paso de alguna sustancia incompatible y, al vez, transmitir movimiento al elementos sensor de un instrumento de presión, evitando, por consiguiente, algún daño en el instrumento indicador. Este tipo de dispositivo es algunas veces conocido como sello químico o protector del indicador del instrumento medidor.

Los transmisores de presión transmiten la presión de la sustancia a medir a los aparatos de medición de presión, cuando éstos por determinadas causas no deben o no pueden estar en contacto con las sustancias a medir.

En un transmisor de presión instalado entre el medio de proceso y el instrumento de presión, la presión del proceso actúa sobre el diafragma, el cual transmite la presión hacia el elemento sensor dentro del instrumento de presión a través de un líquido. Este líquido es llamado "líquido de llenado del transmisor de presión" (véase figura 4.6) Existen varios tipos de líquidos estándares disponibles; usualmente, se utiliza un aceite de instrumento. El mismo, llena las cavidades en el elemento sensor y en la brida del instrumento, en el lado del diafragma del instrumento. La selección del líquido es responsabilidad única del comprador y/o usuario.

Los transmisores de presión y los aparatos de medición de presión conforman un sistema de medición complejo, cuya exactitud puede verse afectada por varios factores. El proceso de dimensionar óptimamente para la solución de problemas individuales de medición sólo puede llevarse a cabo a través del conocimiento exacto de las condiciones del proceso de planta. El objeto de esta tesis es describir el funcionamiento de los transmisores de presión y compartir los principios fundamentales sobre las posibles aplicaciones. En la figura 4.3 se muestra un transmisor de presión con un diafragma en el cual se describen los componentes más importantes.

1. Parte baja
- 1A. Bridas de conexión
2. Cámara de presión
3. Parte superior
4. Diafragma
5. Tornillos
6. Pivote
7. Varilla de transmisión
8. Elemento dentado
9. Engranaje
10. Aguja
11. Carátula

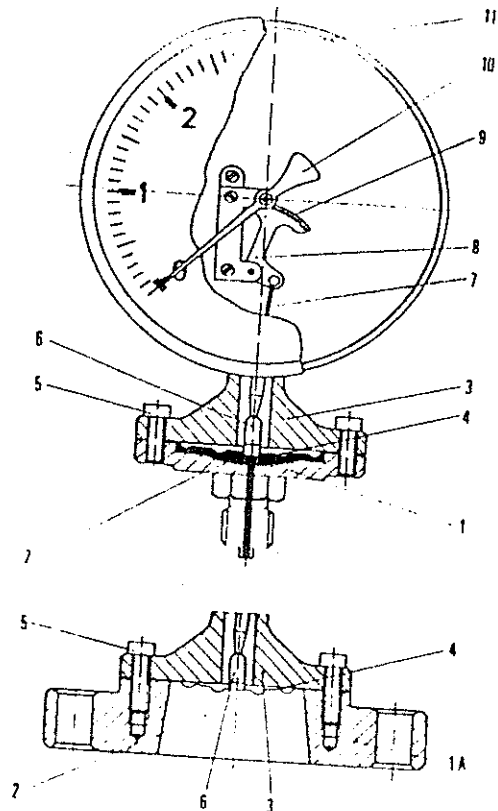


Figura 4.3. Instrumento medidor de presión con diafragma.

#### 4.1. Análisis de la separación de flujos.

La separación de flujos ha sido investigada en el pasado de manera considerablemente rigurosa y referencias de resultados de análisis experimentales están disponibles en abundancia. Los experimentos técnicos y los resultados son importantes solo si el análisis comprende la resolución de la separación de flujos.

El concepto clásico de la separación de flujos es debido a uno de los muchos aspectos de la viscosidad, la cual es muy importante, pero, complicada, porque la separación de flujos, es una pérdida de energía. Por lo tanto, a menudo, es expresado como "capa límite de separación de flujos" o, bien, "capa límite de separación". El problema de la separación de flujos, es quizá uno de los más importantes problemas en hidrodinámica a ser investigado intensamente para encontrar la solución satisfactoria por lo complejo del problema; una rigurosa definición de la separación de flujo y clasificación debería hacerse. Este estudio escapa del alcance de esta tesis; básicamente, está orientada a la separación de flujos por hidroestática y contempla la separación mecánica de fluidos (líquido y gaseoso) a través de un dispositivo mecánico (diafragma).

Existen muchas causas que hacen necesaria la separación entre la sustancia a medir y el aparato de medición de presión, entre ellas se pueden citar algunas:

- la sustancia a medir es muy corrosiva. El elemento de medición, por ejemplo el tubo elástico interno no puede ser efectivamente protegido;
- la sustancia a medir tiende a la cristalización, especialmente, en recámaras muertas;
- la sustancia a medir es altamente viscosa, en las inevitables cámaras muertas de los apartos de medición (manómetros o transmisor de presión llevan a problemas de medición)
- la sustancia a medir tiende a la polimerización. Los acoples de la tubería para el aparato de medición de presión se pueden obstruir;
- la sustancia a medir es heterogénea, por ejemplo fibroso; en las cámaras muertas suceden acumulaciones y reparaciones;
- la sustancia a medir tiene una temperatura muy alta. En el aparato de medición de presión sucede una elevación de la temperatura indeseable;
- el punto de medición queda inadecuado (en un lugar) Por razones de lugar el aparato de medición de presión puede ser, ya sea mal montado o mal leído. El aparato de medición de presión se debe unir con el transmisor de presión a través de una tubería capilar de manera que pueda ser instalado en un lugar adecuado;
- para la sustancia a medir deben cumplirse prescripciones de higiene. En esquinas de difícil acceso a limpieza pueden formarse colonias de bacterias;
- el material a medir no puede evitar el contacto con la atmósfera o con el medio circundante por razones de falta de hermetismo. Por razones de seguridad y protección al medio ambiente o peligro de envenenamiento radioactivo deben tomarse medidas adecuadas.
- Si un sistema debe estar protegido contra sobrecargas

excesivas. El requisito, obviamente, también debe aplicarse al instrumento de medida de presión. Un transmisor de presión con un diafragma detenido por una cama rígida puede solucionar este problema de medida. El principio funcional del transmisor de presión se muestra en la figura 4.4.

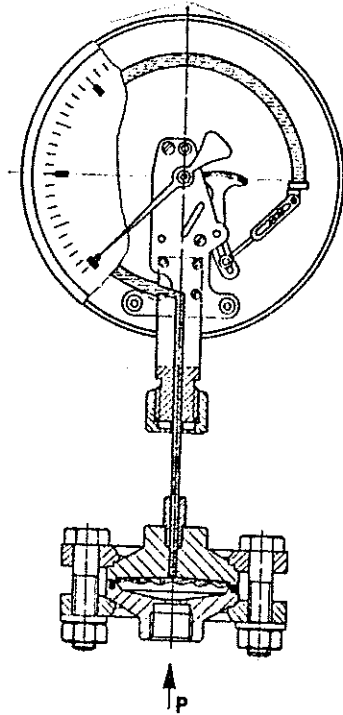


Figura 4.4. Transmisor de presión (diafragma) con un instrumento de medición de presión de tubo Bourdon.

#### 4.2. Materiales de construcción del separador.

Un transmisor de presión es un dispositivo consistente, básicamente, de un diafragma que sirve de separador entre los flujos de medición, que se sujeta apropiadamente entre bridas de acero a prueba de presión. Está sujeta por una brida del instrumento y una brida del proceso, además, se coloca un empaque para prevenir fugas.

Para seleccionar el tipo de transmisor de presión, deben tenerse en cuenta los materiales de construcción, adecuados para el servicio al cual se destinará. Todas las partes del separador que están en contacto con el fluido deben tener la resistencia necesaria a la corrosión, así como, también, los cambios de temperatura.

Para seleccionar los materiales de construcción resistentes a la corrosión, se debe utilizar como guía los materiales recomendados por los fabricantes para los diversos tipos de servicios, así como los datos publicados. Si esa información parece ser inadecuada, habrá que obtener datos de la corrosión mediante pruebas de laboratorio. En general, salvo que se trate de un proceso totalmente nuevo, no habrá problema para determinar los materiales de construcción con base en la información existente.

Sin embargo, los datos publicados no se deben considerar como definitivos para los materiales incluidos, porque otras condiciones en el servicio real pueden influir en la rapidez de la corrosión y se deben tener en cuenta. Por ejemplo, la presencia de sales disueltas, de contaminantes del proceso y de diferentes compuestos del proceso, aereación de los líquidos, altas velocidades de los fluidos, la presencia de abrasivos, la ocurrencia de cavitación o de vaporización instantánea, variaciones en las temperaturas y concentraciones, etc. El efecto de estos factores no se puede determinar por completo, excepto cuando se cuenta con datos de una unidad o sistema idénticos. Por tanto, aunque los datos publicados de corrosión resultaran válidos en muchos casos, sólo se podrá tener una certidumbre completa con la experiencia.

Cuando no hay experiencia, ni datos aplicables en forma directa, debe hacerse un examen y análisis lógico de los datos, acerca de las mismas composiciones y condiciones para los fluidos. Esto implica cierto riesgo, que se debe ponderar en contra del costo adicional del empleo de un material más confiable. Si el costo del transmisor de presión es importante y el servicio tiene requisitos críticos, entonces, se debe efectuar un programa de pruebas de materiales con o sin la ayuda del fabricante.

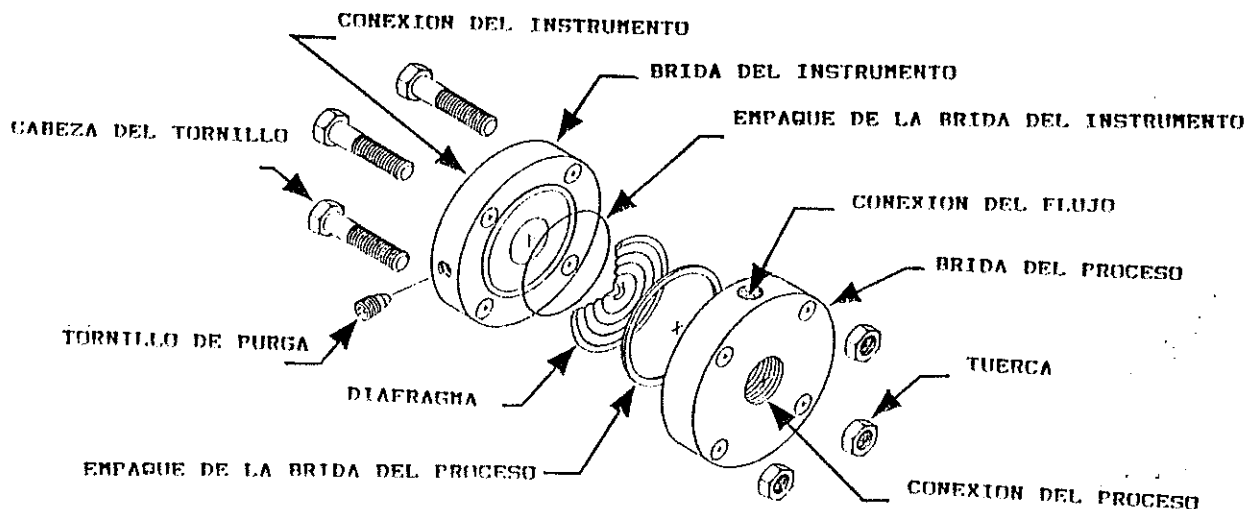


Figura 4.5. Partes típicas de transmisor de presión.

En la tabla 4.1, se citan los elementos que constituyen un transmisor de presión (véanse las figuras 4.3 y 4.5) de acuerdo con la investigación realizada en el laboratorio de manometría del ICAITI, dicha investigación comprende el estudio y análisis del transmisor de presión. Asimismo, se describen los tipos de materiales (estándar) que los componen, también se hace la salvedad que la información de estos materiales han sido recopilados de las casas fabricantes (Wika, Festo, Trerice) siendo los siguientes:

Elemento	Descripción
Brida del instrumento:	(Parte húmeda) Acero al carbono. Hecho de barras estándares.
Brida del proceso, anillo adaptador:	Hay varios materiales estándar disponibles (ver listado del fabricante: véase el anexo D) y deben especificarse con la letra código correspondiente (véase el anexo E), cuando se realice un pedido.
Diafragma (separador):	Varios materiales estándar. Metálicos: acero inoxidable, latón; No-metálicos: neopreno, caucho, teflón.
Empaque:	Los empaques de la brida del proceso (parte húmeda) están hechos de teflón y son utilizados en todas las series y tipos de diafragmas. Los empaques de la brida del instrumento (parte no-húmeda) están hechos de neopreno y utilizados en todos los transmisores de presión.
Fluido de llenado:	Varios fluidos están disponibles, entre ellos: glicerina, aceite hidráulico, aceite de instrumento.
Pernos:	Provistos con los transmisores de presión, cuando se requiere, son tornillos con cabeza hexagonal con empaque de aleación de acero con tratamiento térmico.
<u>Tuercas:</u>	Tuercas de acero inoxidable, provistas con los tornillos de cabeza hexagonal.

Tabla 4.1. Materiales de construcción del transmisor de presión.

La selección de los materiales es responsabilidad del comprador y/o usuario del sistema de medición.

#### 4.3. Tipos de membranas.

En el transmisor de presión, la presión actúa sobre un diafragma en oposición a un resorte u otro miembro elástico. Por tanto, la deformación del diafragma es proporcional a la presión. Como la fuerza aumenta con el área de los diafragmas, si se da a éstos gran superficie pueden medirse presiones muy pequeñas. El diafragma puede ser metálico (latón, acero inoxidable) para que sea resistente mecánicamente y a la corrosión o no metálico (cuero, neoprano, caucho, teflón, plásticos) para alta sensibilidad y gran deformación. Con un diafragma rígido o poco flexible, el movimiento tiene que ser muy pequeño para que se mantenga la linealidad. La figura 4.6 muestra una variedad de diafragmas, así como también, el líquido de llenado del transmisor de presión.



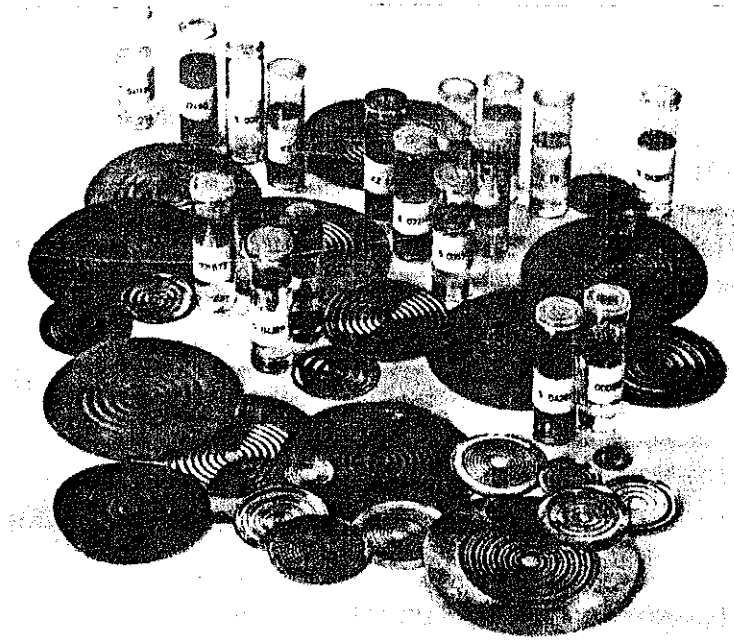


Figura 4.6. Diafragmas y "líquidos de llenado".

#### 4.3.1. Membranas metálicas.

Un diafragma es una delgada partición o membrana divisora, usualmente, en forma de un disco plano (véase la fig. 4.7) Cuando se hace de material metálico, varía de 10.1 mm a 12.7 mm de grosor y de 50.8 mm a 101.6 mm de diámetro. Este tiende a ser el grosor más popular y el diámetro para uso comercial. Naturalmente, un diafragma puede ser y, a menudo es, más delgado o más grueso y más grande o más pequeño, de diámetro.

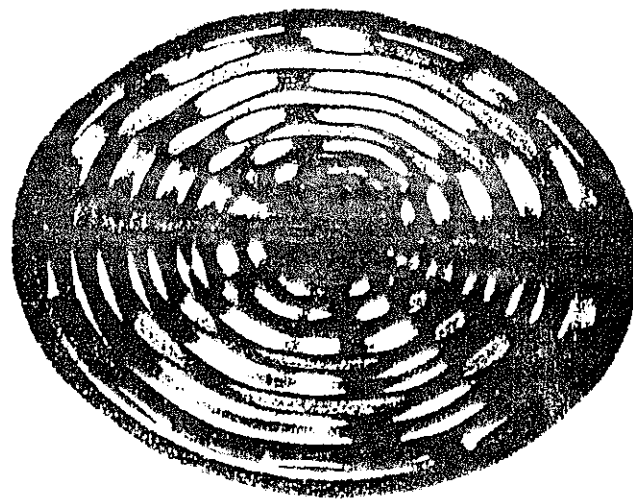


Figura 4.7. Diafragma de metal.

En el tipo de transmisor de presión de la figura 4.4 puede reponerse si está gastado o dañado. El transmisor de presión puede reconstruirse muchas veces, restaurándolo hasta tener condiciones de "como nuevo" y reduciendo costos. Además existen los diafragmas de metal soldado, el cual está soldado en su periferia a la brida del instrumento. La ventaja de utilizar este tipo de diafragma es que éste retendrá el fluido de "líquido de llenado" con menos peligro de fuga. Es muy popular por esta característica y es usualmente de menos costo. Este tipo de transmisor de presión está clasificado como tipo desechable, ya que no puede repararse si el diafragma se daña o está gastado; por consiguiente, deberá reemplazarse con un nuevo diafragma (membrana).

#### 4.3.2. Membranas no-metálicas.

El diafragma de teflón es verdaderamente lo último en la línea de membranas, sin importar su fabricación; muchas personas han descubierto que es realmente superior. Los diafragmas de teflón cuestan un poco más que los diafragmas de metal, pero son mucho más rentable. La lista de ventajas y características es muy impresionante. Algunas a continuación:

- el diafragma está hecho de teflón para mayor compatibilidad con, prácticamente, todos los químicos;
- el diafragma de teflón es más sensitivo (mayor exactitud) que un diafragma de metal, con mayor desplazamiento como consecuencia de la mayor flexibilidad y elasticidad;
- no se requiere una bomba de vacío altamente eficiente para el llenado del líquido; no requiere técnicos altamente capacitados; es más rápido; menos costoso;
- con el diafragma invertido en una posición hacia abajo, el teflón tiene la habilidad de permitir la detección de burbujas de aire dentro del "líquido de llenado", si las hay. La detención es imposible con un diafragma de metal.

El diafragma de teflón se está volviendo más y más común, como consecuencia de su compatibilidad con, prácticamente, todos los gases y fluidos. Ya que el teflón puede utilizarse en tantas aplicaciones, principalmente, para metales de alto precio. En el mercado hay disponibilidad de estos diafragmas de teflón para el material húmedo, en lugar de metales muy caros y aún aceros inoxidable.

#### 4.4. Diseño y cálculos preliminares de laboratorio.

Cuando la presión se aplica sobre un diafragma de metal, ésta produce tensión dentro del metal. Todas las tensiones a las cuales el metal se somete, causan una deformación en ese metal. Si la tensión no es muy grande el diafragma regresará a su forma original, cuando ésta se retire. Sin embargo, si la tensión es más grande que el límite elástico del metal, el diafragma estará dañado permanentemente y, además, roto.

El deseo y objetivo en el diseño de un diafragma, es diseñar el diafragma de manera que se flexione rápidamente, permitiéndole, así, el mayor movimiento posible del diafragma sin ir más allá del límite elástico del metal. El diseño deberá dar la mayor cantidad

de desplazamiento del líquido del "fluido del llenado", mientras que requiere la menor cantidad de energía para lograr ese desplazamiento.

Ya que se requiere energía para flexionar un diafragma de metal, la menor cantidad de (Newtons por metro cuadrado) energía requerida para flexionarlo para obtener un desplazamiento volumétrico dado, disminuye la incertidumbre de la exactitud de un instrumento de presión.

La presión del medio de proceso causa que el diafragma se "infle hacia afuera" en la dirección en que el instrumento de presión desplaza el "líquido de llenado" dentro de la cavidad, actuando así el elemento sensor dentro del instrumento de presión. Esta forma de domo del diafragma aparece como la forma de tazón o segmento de una esfera. Sin embargo, no es un verdadero segmento de una esfera, porque la forma del domo es la de una curva parabólica. Esta forma curva es similar a la forma de una caña de pescar, con un pez atrapado el final del hilo de pescar.

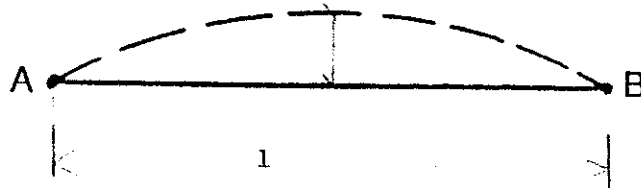


Figura. 4.8. Diagrama de un diafragma flexionado.

Si el diafragma fuera un disco plano de metal, la posición "inflada hacia afuera" del diafragma tensaría las fibras de metal. Esto crea una tensión en el diafragma a lo largo de una línea desde cualquier punto dado a un punto diametralmente opuesto a 180 grados. Esto se ilustra en la figura 4.8.

Por ejemplo, la distancia de la línea sólida de A a B, podría tener una longitud de 7.62 cm (3"). La distancia a lo largo de la línea punteada curva de A a B, debe ser, por consiguiente, de más de 7.62 cm (3") de longitud.

La tensión (o fibras tensas) en el metal restringe el movimiento del diafragma, de tal forma que el desplazamiento volumétrico del fluido de llenado líquido es bastante pequeño, causando así inexactitudes en el instrumento de presión cuando se requiere desplazamiento volumétrico relativamente grande (si el instrumento opera por completo).

Para reducir la tensión y mejorar la condición mencionada, usualmente se estampan o forman corrugaciones circulares dentro del diafragma. Estas corrugaciones circulares permiten que el diafragma se mueva y se flexione más rápidamente con cada cambio en la presión, mientras que se crea una tensión mínima. Esto se ilustra en la figura 4.9.



Figura. 4.9. Diagrama de un diafragma en forma de corrugaciones circulares.

Si la distancia de X a Y en una línea recta es 7.62 cm (3"), entonces, la distancia entre X y Y, a lo largo de los puntos altos y bajos de la forma corrugada que se muestra, es más de 7.62 cm. Esta también debe ser más larga que la distancia de A a B, a lo largo de la línea curva punteada que se muestra en la figura 4.8.

Una buena ilustración de este cambio en la tensión es imaginarse tomar un disco de metal de 0.127 mm (0.005") de grueso (como un diafragma) y cortar una sección de 0.127 mm (0.005") de ancho, a través del centro del disco. En esencia, lo que se tiene ahora es un alambre cuadrado de 0.127 mm (0.005").

Si el alambre cuadrado se sujeta en ambas puntas y se le aplica fuerza para halar el alambre más allá de A a B, como se muestra en la figura 4.8, una tensión se crearía en las fibras del metal. Si el mismo alambre cuadrado de 0.127 mm se forma en un modelo de "onda", como se muestra en la figura 4.9, y, es halado similarmente como se mencionó, las fuerzas de tensión estarían ahora en la naturaleza de tensiones de doblez en lugar de tensiones flexibles. El esfuerzo de flexión en el metal, ofrece menos resistencia al cambio en la longitud, que la tensión flexible, mejorando así la eficiencia de un diafragma.

Para revisar, cambiar la posición de una longitud de un alambre cuadrado de 0.127 mm (0.005") de una línea recta, que se muestra como la línea sólida de A a B en la figura 4.8, hacia la línea punteada cóncava de A a B (asumiendo que los puntos A y B están fijos o sujetos firmemente) el alambre se debe tensar o volver más largo.

Si un punto se seleccionó en cualquier parte a lo largo de la línea sólida que va de A a B, como el punto C en la figura 4.10, y luego el alambre es curvado hacia la posición de la línea curva punteada que va de A a B, el punto C está ahora en el punto D. El punto C se mueve hacia el punto D pivoteándose del punto A.

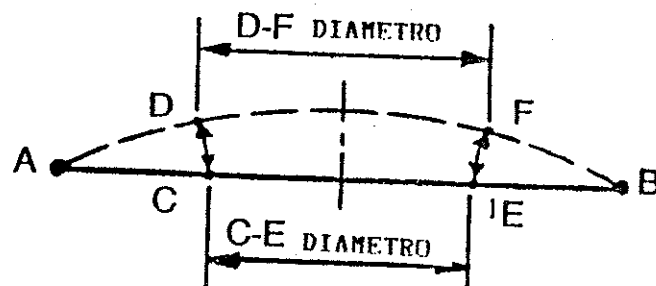


Figura. 4.10. Análisis de un diafragma flexionado.

En forma similar, si el punto E se selecciona a lo largo de la línea sólida que va de A a B y está a la misma distancia de B a C, que a A, y, el alambre es subsecuentemente curvado hacia la posición de la línea punteada de A a B, el punto E está ahora en el punto F, pivoteándose del punto B.

Es evidente que la distancia del punto D al punto F es mayor que la del punto C al punto E. Cuando la longitud anterior del alambre se substituye por un disco de metal delgado, como se usa en un diafragma, la distancia de C a E se vuelve diámetro C-E y la

de medición utilizados. Por esto se desarrolla un cuestionario para recopilar los datos que dependan de condiciones de trabajo especiales, como por ejemplo, el rango de medidas de presión, las temperaturas predominantes, etc.

A la par de estos datos de entrada que dependen de las condiciones ambientales correspondientes, hay más datos acerca de los materiales empleados del separador mecánico (transmisor de presión) por ejemplo densidad, viscosidad, coeficiente de expansión, factor de compresibilidad y valor de la presión de los fluidos; la relación dependiente de la sección transversal o de la forma de la membrana etc.

La presión de la sustancia a medir será transmitida hidráulicamente al aparato de medición de presión; esto se logra a través del espacio que está ocupando el "líquido de llenado", espacio incluido entre la membrana elástica y el aparato de medición. "La presión se logra contra esa membrana". Al ejercer presión la sustancia a medir, también ejercerá presión a la membrana en el líquido y de nuevo al aparato de medición de presión o, sea, al manómetro o al ser transmitida al transmisor.

En muchos casos se coloca una tubería capilar entre el transmisor de presión y el aparato medidor de presión para evitar efectos de la temperatura por sustancias de trabajo, calientes, en el aparato de medición.

La membrana y su correspondiente brida de acople son las partes del sistema que entran en contacto con la sustancia a medir. Por ello, es necesario que sus materiales de fabricación llenen los requisitos establecidos (requeridos) en lo que a temperatura y a resistencia a la corrosión se refiere.

En el caso que la membrana no resulte hermética puede suceder que el líquido de llenado se introduzca en la sustancia a medir. Para medios alimenticios el líquido de llenado no puede ser por esto tóxico. Además, existen otros lineamientos en el "líquido de llenado" por ejemplo rango de aplicación de temperatura, viscosidad, presión de vapor, etc.

Naturalmente el transmisor de presión, no sólo puede ser unido a un aparato de medición de sobre presión, si no, también, con un aparato de medición de presión absoluta o uno de medición de diferencias de presión.

#### 4.6. Condiciones de trabajo.

Existe una lista completa de factores que pueden influir en el rendimiento de una transmisión de presión decisivamente. Estos deben observarse en la selección y dimensionamiento de un transmisor de presión para reducir los errores de requerimientos de energía hidráulica y, por eso, se deben conocer las características de un transmisor de presión y su dependencia con las variables de trabajo.

Se debe, adicionalmente, tomar en cuenta (calcular) los cambios de volumen del líquido de trabajo causados por las temperaturas y cambios en la compresibilidad. El juego conjunto impecable del transmisor de presión que está compuesto por: bridas del instrumento y del proceso, anillo adaptador, diafragma, empaque, "fluidos de llenados", pernos, tuerca y los dispositivos

Forma	$\alpha$
Círculo	4.261
Cuadrado	4.443
Cuadrante del círculo	4.551
Sector de 60° de círculo	4.616
Triángulo equilátero	4.774
Semicírculo	4.803

Tabla 4.2. Factores límites de frecuencia, para diferentes formas geométricas de membranas <sup>(11)</sup>.

Las frecuencias de los modos más altos de vibraciones de una membrana circular están dadas por la ecuación:

$$f_{nm} = \alpha_{nm} \sqrt{gs/w} / 2a \pi$$

donde,

- a = radio de la membrana circular
- $\alpha_{nm}$  = constante dada en la siguiente tabla y que depende del número  $n$  de diámetros nominales y el número  $m$  de círculos nominales (el círculo límite está incluido en  $m$ ).

m	n					
	0	1	2	3	4	5
1	2.40	3.83	5.13	6.38	7.59	8.78
2	5.52	7.02	8.42	9.76	11.06	12.3
3	8.65	10.17	11.6	13.02	14.4	15.7
4	11.8	13.3	14.8	16.2	17.6	19.0
5	14.9	16.5	18.0	19.4	20.8	22.2
6	18.1	19.6	21.1	22.6	24.0	25.4
7	21.2	22.8	24.3	25.7	27.2	28.6
8	24.4	25.9	27.4	28.9	30.4	31.8

Tabla 4.3. Valores para las vibraciones de una membrana circular <sup>(12)</sup>.

#### 4.7. Mantenimiento y reparación.

Todos los transmisores de presión se pueden abrir por las bridas sin pérdida de fluido de "líquido de llenado", para permitir la limpieza periódica del diafragma.

La cavidad en la brida del proceso y el lado de proceso del diafragma, deben mantenerse limpias y libres de cualquier atascamiento de materia, de otra forma, el movimiento apropiado del diafragma puede ser dañado. La retención del "líquido de llenado" se logra por el diafragma al estar firmemente sujetado por un canal sujetador en la brida del instrumento.

<sup>11 y 12)</sup> Fuente: Manual del Ingeniero Mecánico: volumen I. Segunda Edición en español. 5-66 Vibraciones libres, amortiguadas y forzadas.

Se recomienda tener extremo cuidado de no hacer muescas o rayones a las superficies empacadas, pues, puede resultar en fugas.

**Reemplazo del diafragma.** Cuando se remueva un diafragma dañado de la brida del instrumento, se debe tener mucho cuidado de no dentar, hacer muescas o cualquier otro daño al área de canal en la superficie empacada de la brida del instrumento.

Se instala un nuevo diafragma, colocándolo sobre un punto del diafragma dentro del canal sujetador que tiene el empaque de la brida del instrumento, que está instalado en su lugar, sobre el diafragma; luego se presiona hacia adentro el diafragma con los dedos empujando hacia abajo el borde engruesado del diafragma y haciéndolo pasar alrededor de la periferia, hasta que el lado opuesto haya alcanzado su posición. Si no tiene canal sujetador en la brida del instrumento o son de tipo autosujetados, entonces, para armar un diafragma dentro de uno de estos modelos, simplemente se ensambla un empaque de brida de instrumento en su lugar y se inserta el diafragma dentro de la cavidad provista para él en la brida del instrumento y es asegurado con los pernos de la brida del proceso sobre la brida del instrumento.

Se engrasan levemente todas las partes del transmisor de presión para ayudar al reemplazo del diafragma, si es necesario. No deben utilizarse martillos u objetos similares, ya que éstos pueden dentar o hacer muescas en la superficie empacada y puede causar fugas después del ensamble.

#### 4.8 Instalación del separador mecánico.

Dependiendo del modelo utilizado, los transmisores de presión pueden soldarse, pernearse o roscarse dentro del sistema del proceso, utilizando un buen procedimiento de instalación. Un agujero se provee en la brida del instrumento para el uso de una llave de tuercas cuando se adjunte el transmisor de presión sobre el tubo roscado del proceso.

Se recomienda utilizar sólo herramienta especial (llave de tuercas) para la instalación del transmisor de presión y cuando sea necesario debe usarse un agujero sujetador que está en la brida del instrumento para adjuntarla al instrumento y utilizar el agujero sujetador en la brida del proceso para adjuntarlo a la tubería. Si se utiliza una llave de tubos para apretar el transmisor de presión, no se debe aplicar en el punto de soldura. Aplíquese la llave de tubos a la brida del instrumento cuando la adjunte a un instrumento y también aplique a la brida del proceso, cuando la adjunte a la tubería del proceso. Una falla en la observación de lo anterior puede resultar en quebradura del punto de soldadura y causar derrame del medio del proceso y/o del fluido de llenado líquido.

La membrana y todas las conexiones deberán revisarse de fugas, después de ser instaladas y, luego, que el proceso se lleve a presión y temperatura de operación.

#### 4.9 Puesta en servicio.

Verifiquese que la presión fijada en la válvula de seguridad del circuito hidráulico no sea mayor que la presión permitida para el transmisor de presión y que el transmisor pueda iniciar operaciones. Sin embargo, es aconsejable realizar, primeramente, el sangrado de las líneas de la planta por medio del tapón o drenaje de la tubería.

Después de la puesta en marcha, el transmisor de presión opera automáticamente; sólo requiere verificaciones periódicas.



## Conclusiones

1. El resultado de las visitas a las empresas demostró que sólo una de las seis empresas visitadas utiliza el separador mecánico para su proceso, lo cual deja entrever que a pesar de su utilidad, su uso en la industria no está muy difundido.
2. Los separadores mecánicos son útiles para resolver problemas específicos en cuanto a la separación de flujos (aceite hidráulico y aire comprimido) El presente trabajo constituye una guía que facilitará su comprensión desde los conceptos básicos que éste conlleve hasta los problemas que puedan suscitarse en cuanto a su aplicación e instalación.
3. Los separadores mecánicos (transmisores de presión) representan una herramienta valiosa para la ingeniería mecánica; ya que a través de ellos es posible separar fluidos que por diversas causas no pueden interactuar entre sí: además, es posible medir las presiones que en los procesos productivos se desarrollan. Por lo cual es necesario conocer el separador mecánico y utilizarlo ya que resuelve mucho de los problemas que representan las sustancias al ser medidas a través de los instrumentos de medición de la presión.
4. A través de esta investigación se logró documentar procedimientos de calibración, protocolos, poner por escrito las instrucciones de trabajo y a través del capítulo tres se logró colocar en forma esquemática el proceso de calibración y operación de los instrumentos de medición de la presión que, indirectamente, están relacionados con los separadores mecánicos que, a la vez, son transmisores de presión.

## Recomendaciones

1. En los procesos que se tienen que medir, las presiones de las sustancias (líquido o gases) que puedan interactuar con los manómetros por diversas razones (contaminación de la sustancia a medir, por corrosión, etc.) existe el separador mecánico (transmisor de presión) que aísla la sustancia a medir y el líquido de relleno del manómetro, el cual puede ser instalado en una línea de conducción de la sustancia, en un tanque de almacenamiento o, bien, directamente, en una línea de trabajo. Este separador es de fácil instalación y de bajo costo. De esta manera se aísla, confiablemente, la sustancia del instrumento de medición. En virtud de lo descrito en este trabajo de tesis, se recomienda el uso del separador.
2. Se pudo determinar que en algunas empresas no se calibran ni se certifican los instrumentos de medición de la presión, manómetros que por su uso no tienden a ser exactos y que requieren ser calibrados periódicamente. La calibración contribuye al aseguramiento metrológico y, por ende, al aseguramiento de los equipos e instalaciones. Se recomienda que se calibren y certifiquen los instrumentos de medición para tener una mayor confiabilidad de los mismos.
3. Se recomienda utilizar los procedimientos, formatos, e instrucciones aquí expuestos, para lograr calibraciones y mediciones más efectivas de los instrumentos de medición.

## Referencias

- METTLER. Diccionario Mettler de términos de pesada, una guía práctica de la terminología de pesada. Mettler Instruments ag. Printed in Switzerland, 1,987. p. 89, 92.
- TRERICE. Catálogo 141. Diaphragm Seals. H.O. Trerice Co. Cap.3.
- GIMA. Curso de hidráulica. Formas de transmitir la energía. Servicio industrial. Maquinaria industrial, capacitación, seguridad en el trabajo, productos técnicos y sistemas de computación. Cap. 1
- RODRIGUEZ DE LEON, Carlos R. Clasificación funcionamiento y calibración de los medidores de presión. (Tesis: Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala), oct. 1,992, p.1,4,13,47,67.
- VETTORAZZI DEMARCHENA, Luis F. Automatización de maquinaria mediante la utilización de sistemas neumáticos. (Tesis: Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala), mar. 1,992, p 3,9,11,132.
- MONROY GONZALES, Melvin. Principios de instalaciones hidráulicas y neumáticas. (Tesis: Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala), feb. 1,985, p. 4-20, 54-60, 136-144.
- AIR COMPRESSORS. Condensed air power data. Estados Unidos: Ingersoll-Rand Company 1,988. p. 30,63,64,66,67,68.
- APPOLD H, FEILER K, REINHARD & SCHMIDT P. Tecnología de los metales, para profesiones técnico-mecánicas. Barcelona: Editorial Reverté, S.A, 1,984. Edición Especial para la Sociedad Alemana de Cooperación Técnica (GTZ). p. 300..339.
- LEYENSETTER. Tecnología de los oficios metalúrgicos. Barcelona: Editorial Reverté, S.A. 1,974 p. 415..431.
- BAUMEISTER, Teodoro. Et.al. Manual del Ingeniero Mecánico. 8a. Edición. México: Edit McGraw-Hill, 1,990. p.14.1, 16.2.
- ORGANIZATION INTERNATIONALE DE METROLOGIE LEGAL (OIML). Recomendación Internacional No. 53. Metrological characteristics of elastics sensing elements used for measurement of pressure, determination methods. Paris 6th. International conference of legal metrolgy, first edition 1982. p. 4..7.
- INTERNATIONAL STANDARD (ISO 1219). Fluid power systems and components-graphics symbols. First edition, 1976. p 1..13.
- RUSKA. Catálogo No Ps85. Precision Pressure Standards. Houston, Texas: Ruska Instruments Corporation. 1,994. p.8.

## Bibliografía

- ASTM DESIGNATION: D 3152-72 (REAPPROVED 1997). Standar test method for capillary-moisture relationships for final-texture solids by pressure-membrane apparatus. Philadelphia: 1997
- BOSHC. Acumuladores hidráulicos instrucciones de servicio para los operarios. Printed by Robert Bosch Gbhm. Geschäftsbericht Hydraulic, Pneumatik. 1,987..
- CHANG, Paul K. Separation of flow. First Edition, Hungary: Editorial Pergamon Press Inc, 1,970. P.1,2,3.
- CIVES RECYCLING, INC. Installation, operation, & maintenance. Owner Manual HP25 Baler. Nebraska, USA: 1,986.
- COGUANOR NGO 4010. Sistema Intenacional de Unidades. Norma Guatemalteca Obligatoria. Comisión Guatemalteca de Normas- Ministerio de Economía.
- HENLEY, Ernest J. Equilibrium-stage, separation operations in chemical engineering. Ney York, Estados Unidos, 1981. P.1,2,3.
- INCOLBESTOS. Servofrenos curso No.02 . Gerencia técnica, INCOLBESTOS. Bogotá: 1990.
- KAMALESH K. SIRKAR AND DOUGLAS R. LLOYD. New membrane material and processes for separation. New York: 1988, symposium series, volumen 84.
- LACEY, Robert E. Industrial processing whit membranes. Edited Wiley Interscience, 1972.
- NOM-CH-58-1985 Instrumentos de medición-manómetros con elemento elástico-Método de calibración-con balanza de pesos muertos. Norma Oficial Mexicana de metrología. México: Dirección General de Normas. 1,985. P.3,6.
- ORGANISATION INTERNATIONALE DE METROLOGIE LEGALE (OIML). Guide to calibration. Bureau International de Metrologie Legale. Paris, France: August 1,989. P. 37,39,62.
- RICKLES, Robert N. Membranes technology and economics. Estados Unidos: 1,966. Library of congress catalog card number: 66-29540
- SOISSON, Harold. Instrumentación Indutrial. Segunda Reimpresión. México: Editorial LIMUSA, S.A de C.V. 1,988. Cap. 2, 3.

## ANEXOS

- ANEXO A: Simbología hidráulica y neumática.
- ANEXO B: Protocolo de calibración de manómetros.
- ANEXO C: Ejemplo, verificación de uu manómetro.
- ANEXO C1: Gráfica de las histéresis.
- ANEXO D: Sistema de numeración de diafragmas.
- ANEXO E: Código de letras de los materiales de los diafragmas.

## ANEXO A

---

---

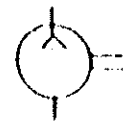
### SIMBOLOGIA NEUMATICA/HIDRAULICA

ISO 1219

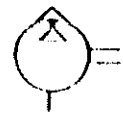
---

#### Transformación de energía

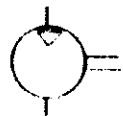
Compresor



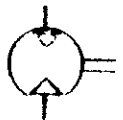
Bomba de vacío



Motor neumático, de caudal constante, de un solo sentido de giro



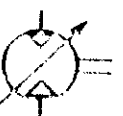
Motor neumático, de caudal constante, de giro en los dos sentidos



Motor neumático, de caudal variable, de un solo sentido de giro



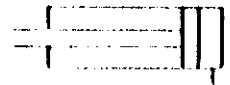
Motor neumático, de caudal variable, de giro en los dos sentidos



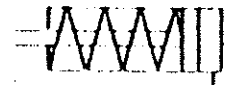
Motor neumático, de giro limitado



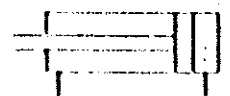
Cilindro de simple efecto, retorno por fuerza externa



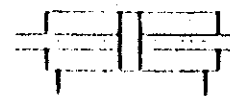
Cilindro de simple efecto, retorno por muelle interno



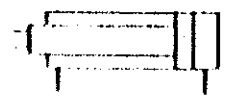
Cilindro de doble efecto, con vástago simple



Cilindro de doble efecto, con vástago doble



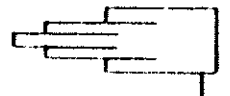
Cilindro diferencial de doble efecto, con vástago simple



Cilindro de doble efecto, con amortiguación regulable en los dos finales de carrera



Cilindro telescópico de simple efecto, retorno por fuerza externa



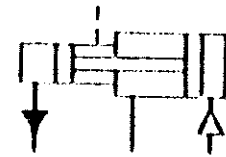
Cilindro telescópico de doble efecto



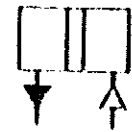
Amplificador, multiplicador presión



Amplificador multiplicador de presión para aire y líquido



Convertidor de presión, por ejemplo, aire-líquido

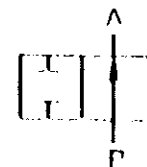


Mando y regulación, válvulas de vías, distribuidoras

2/2 pos. cero cerrada



2/2 pos. cero abierta



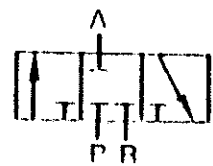
3/2 pos. cero cerrada



3/2 pos. cero abierta



3/3 pos. cero cerrada



4/2

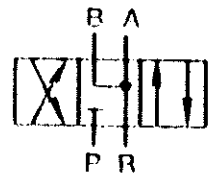




4/3 pos. central bloqueo



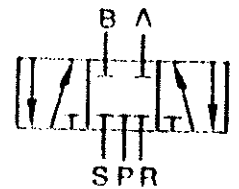
4/3 pos. central desbloqueo



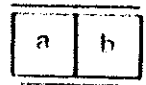
5/2



5/3 pos. central bloqueo



Válvulas de varias posiciones intermedias y dos posiciones extremas



Distribuidor, representación simplificada, por ejemplo, con 4 rácores



Válvulas de bloqueo

Antirretorno, sin muelle



Antirretorno, con muelle



Antirretorno, pilotado por aire



Selector de circuito



Escarpe rápido

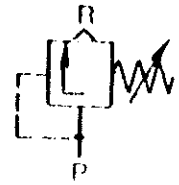


Válvula de simultaneidad

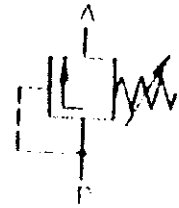


Válvulas de presión

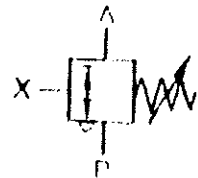
Válvula limitadora de presión



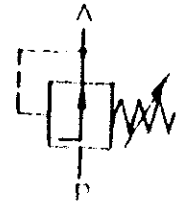
Limitador de presión regulable sin escape



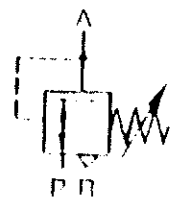
Válvula limitadora del umbral de la presión de pilotaje



Regulación de presión, sin escape

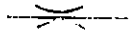


Regulador de presión, con escape



**Válvulas de caudal**

Estrangulación de caudal, constante



Diafragma de caudal, constante



Estrangulación de caudal, regulable

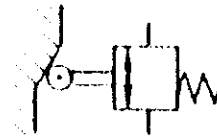


Estrangulación de caudal, regulable por mando manual



simplificado

Estrangulación de caudal, regulable por mando mecánico y retorno por muelle



simplificado

**Válvulas de estanqueidad**

Válvula de cierre



**Válvulas de caudal y bloqueo**

Antirretorno, con estrangulación regulable, en un solo sentido

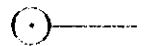


Diafragma de caudal variable en un solo sentido



**Transmisión de la energía**

Fuente de presión



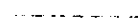
Canalización, línea de trabajo



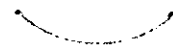
Canalización, línea de pilotaje



Línea de escape



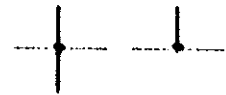
Línea flexible



Línea eléctrica



Unión rígida



Cruce de líneas



Línea con escape



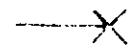
Escape no recuperable



Escape recuperable



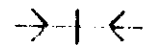
Línea de presión, cerrada



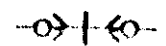
Línea de presión y conducto de alimentación



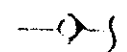
Acoplamiento rápido sin anti-retorno



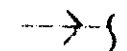
Acoplamiento rápido con anti-retorno



Acoplamiento rápido, línea cerrada



Acoplamiento rápido, línea abierta



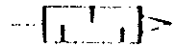
Derivación rotativa, de una vía



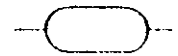
Derivación rotativa, de dos vías



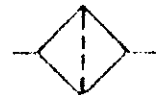
Silenciador



Depósito



Filtro



Separador de agua, purga manual



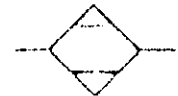
Separador de agua, purga automática



Filtro con separador, purga automática



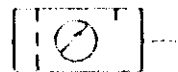
Desecador



Engrasador



Unidad de mantenimiento: filtro, regulador, lubricador, símbolo simplificado



Refrigerador

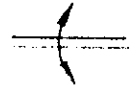


**Mandos mecánicos**

Árbol con giro en un sentido



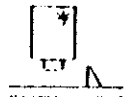
Árbol con giro en los dos sentidos



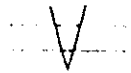
Enclavamiento



Bloqueo (representación esquemática del enclavamiento)



Dispositivo de desenclavamiento instantáneo



Articulación simple



Articulación con leva



Articulación con punto fijo

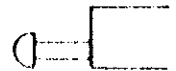


**Accionamientos musculares**

Pulsador rasante



Pulsador de hongo



Palanca



Pedal



**Accionamientos mecánicos**

General



Muelle



Redillo



Redillo escamoteable

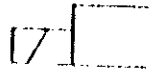


Palpador (no normalizado)

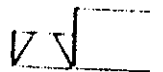


**Accionamientos eléctricos**

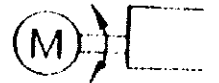
Electroimán, con un solo arrollamiento



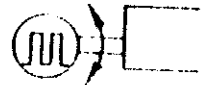
Electroimán, con dos arrollamientos opuestos



Motor con giro continuo



Motor paso a paso

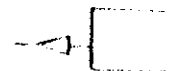


**Accionamientos neumáticos**

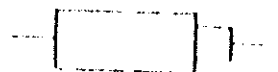
Presión, directo



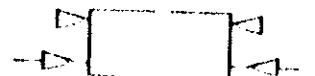
Depresión, directo



Diferencial



Centrado por presión



Medidor de temperatura



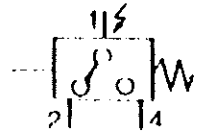
Medidor de caudal



Medidor de volumen



Presostato



Detector de presión



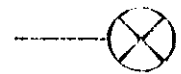
Detector de temperatura



Detector de caudal

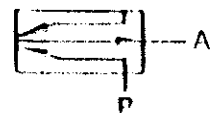


Indicación



**Símbolos especiales**  
**Captadores de información**  
**sin contacto (no normalizado)**

Detector de proximidad

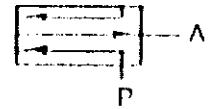


Emisor del detector de paso

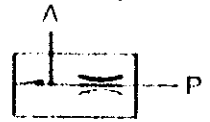




Receptor, del detector de paso



Detector por obturación de fuga

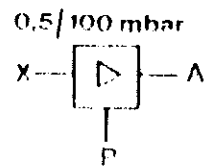


Detector de paso en forma de horquilla

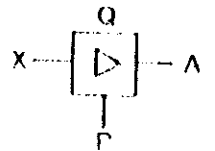


### Amplificador

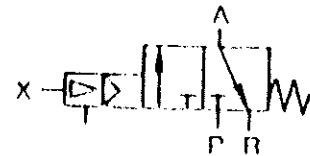
Amplificador (por ejemplo, de 0,5 mbar a 100 mbar)



Amplificador de caudal



Válvula de 3/2 con amplificador de baja presión (por ejemplo, de 0,1 bar a 6 bar)



Convertidor de señal (no normalizado)

Eléctrico neumático



Neumático-eléctrico



### Contadores (no normalizado)

Contador por sustracción



Contador por diferencia



Contador por adición



### Denominación de los rácores

A, B, C...

Conexión de utilización

P

Alimentación de presión

R, S, T...

Escapes

L

Fuga

Z, Y, X...

Conexión de pilotaje

### Según CETOP RP 68 (Proyecto)

2, 4, 6...

Conductos de trabajo

1

Alimentación

3, 5, 7...

Escape de aire a la atmósfera

9

Conducción de fugas

12, 14, 16, 18...

Conductos de pilotaje

ANEXO B

PROTOCOLO DE CALIBRACION DE MANOMETROS

Lugar y fecha: \_\_\_\_\_ No. de certificado \_\_\_\_\_

Descripción del manómetro:

Marca: \_\_\_\_\_ No. Registro: \_\_\_\_\_ No. Identificación \_\_\_\_\_  
Rangos de presión: \_\_\_\_\_ Medios de presión: \_\_\_\_\_  
División mínima: \_\_\_\_\_ Clase: \_\_\_\_\_

Descripción del normal:

Calibrador tipo: \_\_\_\_\_ Tiempo de carga final: \_\_\_\_\_  
Marca: \_\_\_\_\_ No. Registro: \_\_\_\_\_  
Rango de calibración: \_\_\_\_\_  
Temperatura de trabajo: \_\_\_\_\_

Masas: (No.)	Normal (bar)	Ascendente:		Descendente:	
		(bar)	Diferencia	(bar)	Diferencia

Tiempo vigente de certificación: \_\_\_\_\_  
Observaciones: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

F:  
Verificó y calibró:

## ANEXO C

Ejemplo: verificación de un manómetro.

### Servicio metrológico de calibración

Bases y resultados de la prueba

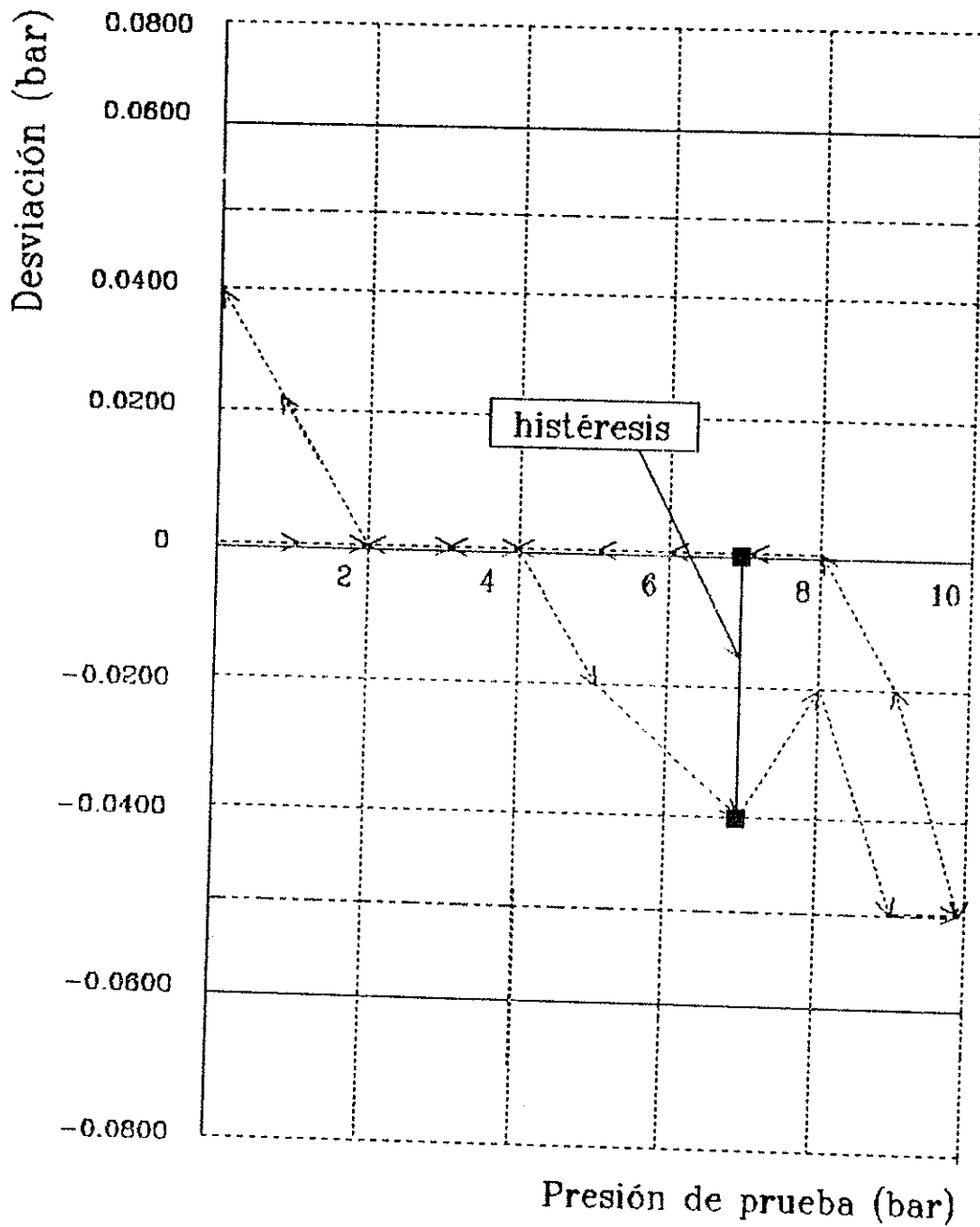
Aparato No.: 1795178  
 Rango de medición: 0 hasta 10 bar  
 Clase: 0.6% del rango de medición  
 Indicación: indicador exterior  
 Valor de la escala: 0.2 bar  
 Incertidumbre en la lectura: 0.04 bar  
 Signos de calibración del normal: 044 PTB 89  
 Medio de prueba: Nitrógeno  
 Temperatura durante la prueba: 20.8 °C

	Presión de prueba		Valor medido		Desviación	
	Valor (bar)	Incertidumbre (bar)	(bar)	(bar)	(bar)	(bar)
1	0.00000	0.00000	0.000	0.040	0.000	0.040
2	0.99992	0.00020	1.000	1.020	0.000	0.020
3	1.99983	0.00020	2.000	2.000	0.000	0.000
4	2.99984	0.00029	3.000	3.000	0.000	0.000
5	3.99975	0.00039	4.000	4.000	0.000	0.000
6	4.99970	0.00049	4.980	5.000	-0.019	0.000
7	5.99984	0.00059	5.970	6.000	-0.029	0.000
8	6.99975	0.00069	6.960	7.000	-0.039	0.000
9	7.99977	0.00079	7.980	8.000	-0.019	0.000
10	8.99969	0.00089	8.950	8.980	-0.049	-0.019
11	9.89963	0.00098	9.850	9.850	-0.049	-0.049

(ver gráfica 3.1)

- La mayor desviación del manómetro verificado tiene 0.50%,
- La histéresis máxima es de 0.40% de la presión medida.
- Por esto el aparato cumple con los límites de error de calibración, respetando la incertidumbre de calibración.

### Indicador interno



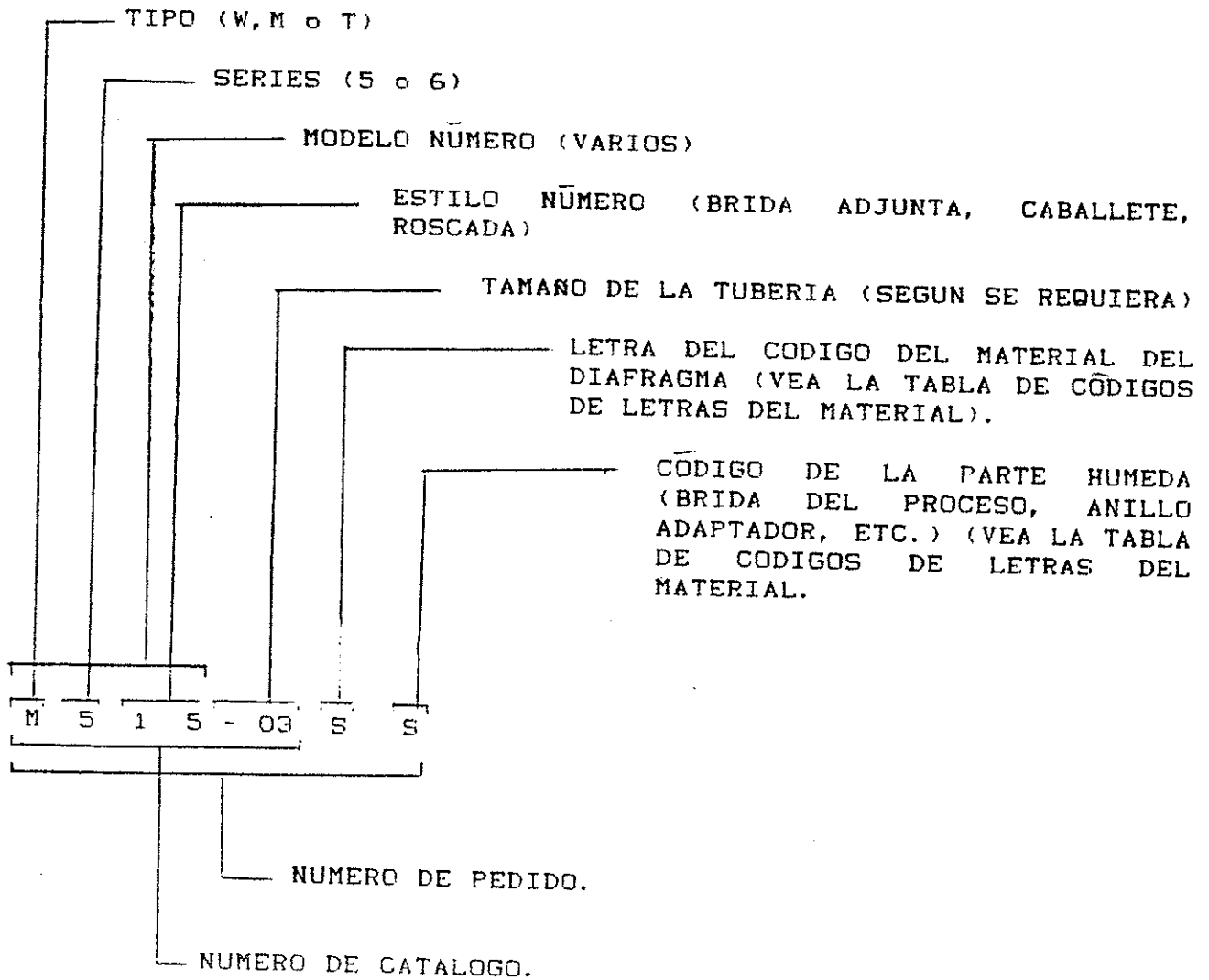
— Límites de error de trabajo

- - - Límites de error de calibración

ANEXO D

SISTEMA DE NUMERACION DE DIAFRAGMAS

(MODELO DE LA COMPANIA TRERICE)



**ANEXO E**

**CODIGO DE LETRA DE LOS MATERIALES DEL DIAFRAGMA  
(ORIGEN: COMPANIA TRERICE)**

<b>HOJA DE CODIGO DE LETRAS DE LOS MATERIALES</b>		
<b>MATERIALES DEL PROCESO PARTE HUMEDA</b>	<b>CODIGO DE LETRA</b>	<b>MATERIAL DEL DIAFRAGMA</b>
ALUMINIO	A	
LATON	B	
ACERO	C	
CARPINTER 20	D	CARPENTER 20
304 ST. STL.	F	304 ST. STL.
HASTELLOY 'B'	G	HASTELLOY 'B'
HASTELLOY 'C-276'	H	HASTELLOY 'C'
TITANIO	J	
LINEA DE TEFLON	L	
MONEL	N	MONEL
NICKEL	R	NICKEL
POLIPROPILENO	P	
316 ST. STL.	S	316 ST. STL
<u>TEFLON</u>	<u>T</u>	<u>TEFLON</u>
<u>TANTALIO</u>	<u>U</u>	<u>TANTALIO</u>
<u>INCONEL</u>	<u>Y</u>	
<u>PVC</u>	<u>Z</u>	

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
Biblioteca Central