

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS
PARA CONTROL DE VACÍO (LIPOSUCCIONADOR)"**

**MARCO JAVIER NUÑEZ VALLE
GUSTAVO FERNANDO PANTOJA PONCE**

TESIS DE GRADO



PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

INGENIERO MECÁNICO

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

FACULTAD DE MECÁNICA

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Riobamba – Ecuador

2008

CERTIFICADO DE EXAMINACION DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: MARCO JAVIHR NUÑEZ VALLE

TÍTULO DE LA TESIS: "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA CONTROL DE VACÍO (L1PQSUCC1QNADOR)

Fecha de Examinación:
Julio 23 de 2008.

RESULTADO DE LA EXAMINACION:

COMITÉ DE EXAMINACION	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
ING. GEOVANNY NOVILLO A.			
ING. GILBERTO ZABALA N.			
ING. RAMIRO VALENZUELA S.			
DR. MARCO HARO M.			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES; _____

El Presidente del Tribunal quien certifica al Consejo Directivo que las condiciones de la defensa se han cumplido.

f) Presidente del Tribunal

TABLA DE CONTENIDO

CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN

	Página.
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Justificación.....	2
1.3 Objetivos.....	3
1.3.1 Objetivo general.....	3
1.3.2 Objetivos específicos.....	3
1.4 Metodología.....	4

CAPÍTULO II ANÁLISIS DE LOS SISTEMAS DE VACÍO

2.1 Propiedades de los gases ley.....	5
2.2 Definición de vacío.....	13
2.2.1 Consideraciones entre vacío y sobrepresión.....	14
2.2.2 Gasto de energía en los diferentes grados de vacío.....	15
2.3 Presión atmosférica.....	15
2.3.1 Variación de la presión con la altura.....	16
2.3.2 Medición de vacío (unidades).....	17
2.4 Generación de vacío.....	18
2.4.1 Bombas mecánicas.....	18
2.4.2 Descripción de algunas bombas de vacío.....	18
2.5 Tipos de sistemas de vacío.....	23
2.5.1 Los sistemas de vacío.....	23
2.5.2 Los sistemas típicos.....	24
2.5.2.1 El sistema I.....	24
2.5.2.2 El sistema II.....	25
2.5.2.3 El sistema III.....	26
2.6 Alternativas de diseño neumático.....	27
2.6.1 Métodos para la obtención de vacío.....	27
2.6.1.1 Bomba de desplazamiento positivo.....	27
2.6.1.2 Bomba de flujo de vapor.....	27
2.6.1.3 Bombeo químico.....	23
2.6.1.4 Bomba de iones.....	28
2.6.1.5 Bombeo adsorbente.....	28
2.6.2 Selección de la alternativa más adecuada.....	28
2.7 Alternativas de diseño mecánico.....	29
2.7.1 Descripción de la alternativa seleccionada.....	29
2.7, 1/1 Cámara de vacío.....	29

CAPITULO III.

DISEÑO DEL SISTEMA DE VACÍO

3.1, Generalidades.....	31
3.1.1 Regulación del vacío.....	31
3.2 Selección de instrumentos de medida y control.....	32
3.2,1 Bomba de paletas.....	32

3.2.2 Válvulas reguladoras de caudal.....	34
3.2.3 Vacuómetros.....	34
3.2.4 Vacuostatos.....	35
3.2.5 Mangueras.....	36
3.2.6 Válvulas de paso.....	36
3.2.7 Válvulas distribuidoras.....	36
3.3 Propiedades y características de instrumentos utilizados en el sistema.....	37
3.3.1 Medición de baja presión (vacío).....	37
3.3.1.1 Medidor McLeod.....	40
3.4 Análisis y definición del equipo.....	50
3.4.1 Funcionamiento del sistema uno.....	50
3.4.2 Funcionamiento del sistema dos.....	50
3.5 Diseño neumático.....	51
3.5.1 Características de la bomba.....	51
3.5.2 Determinación del tipo de flujo.....	51

CAPITULO IV

CONSTRUCCIÓN, INSTALACIÓN Y PRUEBAS DEL SISTEMA

4.1 Generalidades.....	63
4.1.1 Oportunidades de ahorro.....	64
4.2 Descripción del proceso de construcción.....	64
4.2.1 Distribución de cada uno de los instrumentos.....	65
4.3 Montaje del sistema para control de vacío.....	67
4.3.1 Requerimientos de montaje.....	67
4.3.2 Análisis del área a utilizar.....	67
4.3.3 Servicios y suministros.....	68
4.4 Guías de Laboratorio.....	76
4.5 Pruebas.....	85
4.5.1 Prueba de vacío en un tanque.....	85
4.5.2 Prueba sujeción por ventosas.....	88
4.5.3 Prueba de vacío en un sistema de refrigeración.....	91
4.6 Tabulación de resultados.....	94
4.6.1 Tiempo de carga para el tanque a diferentes presiones de vacío.....	94
4.7 Análisis y discusión de resultados.....	94
4.7.1 Resultados de vacío en el tanque.....	94
4.7.2 Resultados analizados por medio de las ventosas.....	95
4.7.3 Resultados analizados en el sistema de refrigeración.....	96
4.8 Manual de mantenimiento del equipo.....	96
4.8.1 Introducción.....	96
4.8.2 Inspección del Equipo.....	96
4.8.3 Aplicación.....	96
4.8.4 Características técnicas.....	97
4.8.5 Principales Componentes y sus Funciones.....	97
4.8.6 Cuidados.....	100
4.8.7 Procedimiento de Partida.....	101
4.8.8 Apagado de la bomba.....	101
4.8.9. Mantenimiento.....	101
4.8.10 Mantenimiento de la bomba.....	102
4.8.11 Procedimiento para el cambio de aceite.....	102
4.9 Análisis de costos.....	103
4.9.1 Costos directos.....	106

4.9.2 Costos indirectos.....	110
4.9.3 Costo total.....	110

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones.....	110
5.2. Recomendaciones.....	111

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA EN INTERNET

ANEXOS

APÉNDICES

SUMMARY

A set of tests on vacuum control has been designed and constructed in order to develop laboratory practices and control parameters with variables such as pressure and flow presented in the process of vacuum generation.

Based on those parameters, the set of tests on vacuum control is composed by a positive displacing mechanical pump (pump of vanes) for vacuum generating, a filter to avoid oil contamination in the pump, flow regulator valves to control pumping speed in different processes, vacuumeter to measure the vacuum pressure, a vacuumeter to control vacuum, a vane to fasten pieces, a valve distributor and pass valves to direct the vacuum.

The maintenance of the equipment is very important due to system efficiency can be low and produce damage of high repairing costs, this maintenance has to be carried out especially in the vacuum pump because it is the most expensive and important element.

This equipment can be used to give service to the industry according to its demand.

It is recommended to follow with the studies on vacuum generation in order for the bank to be more efficient and the results more confident.

LISTA DE FIGURAS

FIGUR A		PÁGIN A
1	Isoterma del gas	5
2	Transformación adiabática	8
3	Ecuación de Bernoulli	11
4	Diagrama de relaciones entre presión y flujo para sección de 1mm ²	13
5	Bomba cilíndrica con pistón	15
6	Relación entre presión y altitud.....	16
7	Bomba de Sprengel	19
8	Bomba mecánica de paleta rotatoria en acción.....	20
9	Bomba de difusión.....	21
10	Bomba criogénica.....	22
11	Diagrama esquemática de un sistema general de vacío.....	23
12	Diagrama esquemático del sistema de vacío I.....	25
13	Diagrama esquemático del sistema de vacío	26

	II.....	
14	Diagrama esquemático del sistema de vacío	27
	III.....	
15	Tipo más común de cámara de metal.....	29
16	Bomba de Paletas.....	33
17	Funcionamiento de la bomba de paletas.....	33
18	Regulador de Caudal.....	34
19	Vacuómetros.....	34
	
20	Vacuostatos.....	35
	
21	Mangueras.....	36
	
22	Válvula distribuidora 3x2.....	36
23	Clases de medidores.....	38
24	Medidores de diafragma.....	39
	
25	Medidores de transferencia de la cantidad de movimiento.....	42
26	Medidor de conductividad térmica.....	44

27	Medidores de ionización.....	47
28	Técnica de doble medidor	49
29	Montaje de ventosas.....	54
30	Circuito eléctrico.....	66
31	Bobina.....	68
32	Relé.....	69
33	Fuente de Poder	70
34	Motor de Paletas.....	70
35	Pulsadores.....	71
36	Mangueras.....	71
37	Filtro.....	72
38	Ventosas.....	73
39	Válvula de caudal.....	73
40	Vacuómetros.....	74

41 Vacuostatos.....	74
42 Válvulas distribuidora 3x2.....	75
43	Circuito eléctrico.....	99

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

El control del vacío en la industria es indispensable en varios procesos, como por ejemplo el de los alimentos, en el cual se requiere eliminar el aire de los envases puesto que la humedad los deteriora, disminuyendo el tiempo de consumo.

En el país existen una variedad de industrias en las cuales se utilizan equipos para la obtención de vacío, ya sea para la conservación de alimentos, eliminación del aire contaminado en los diferentes sistemas de aire acondicionado previo a la circulación del mismo, entre otros.

Los sistemas de vacío son equipos que generalmente se utilizan para la absorción del aire, que es nocivo, en los diferentes procesos industriales.

Mediante esta tesis se diseñará y construirá un equipo para el control de vacío teniendo en cuenta la necesidad de manipular estos sistemas y la capacidad para construir el mismo.

1.2 JUSTIFICACIÓN

El vacío es un proceso que se encuentra en la práctica profesional en varios sectores de la industria por tal razón el estudiante debe estar familiarizado con este proceso, por lo cual es importante que el estudiante pueda tener acceso a este tipo de sistemas para realizar prácticas que le sirvan como una base para su desenvolvimiento en el campo profesional y a la vez pueda tener nociones sobre las diferentes aplicaciones de estos sistemas en el ámbito profesional.

Razón por la cual los sistemas de vacío tienen una relación muy estrecha con el sector médico y es importante que se estudien estos sistemas en el campo de la ingeniería mecánica controlando precisamente la succión (vacío).

De esta manera contribuir con el estudiante para que su aprendizaje se complemente con la práctica en el laboratorio.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general

- Diseñar y construir un banco de pruebas de control de vacío

1.3.2 Objetivos específicos

- Analizar el marco teórico sobre los sistemas de vacío
- Diseñar un sistema de vacío.
- Seleccionar instrumentos de medida, control y equipos complementarios

- Analizar los parámetros y las variables de diseño y construcción del sistema, para ser montado en un banco de control, con fines didácticos.
- Instalar y probar el sistema de vacío
- Elaborar guías de Laboratorio
- Elaborar el manual de mantenimiento y operación del sistema.
- Analizar los costos de fabricación e instalación del sistema de vacío.

1.4 METODOLOGÍA

- Recopilación de información técnica.
- Alternativas de diseño.
- Diseño del sistema de vacío
- Construcción del sistema de vacío.
- Pruebas.
- Análisis de resultados.
- Redacción del documento.

CAPÍTULO II

ANÁLISIS DE LOS SISTEMAS DE VACÍO

2.1 PROPIEDADES DE LOS GASES

2.1.1 Ley de Boyle Mariotte

A temperatura constante, el volumen ocupado por una masa gaseosa invariable está en razón inversa de su presión, es decir, que en tales circunstancias se verifica:

$$PV = Cte. \quad \text{Fig. (1)}$$

También se puede escribir, según la ecuación (1) y (2):

$$P_1V_1=P_2V_2=P_3V_3=Cte. \quad (1)$$

O también de esta otra forma:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{V_2}{V_1} = Cte \quad (2)$$

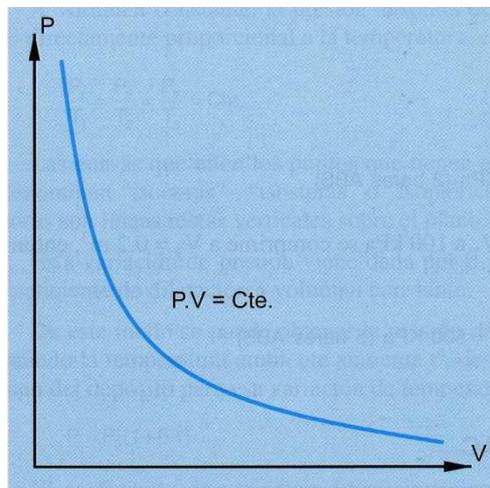


Fig. (1) Isoterma del gas, International Training SMC, neumática

2.1.2 Ley de Charles

A presión constante, el volumen ocupado por una masa dada de gas, es directamente proporcional a su temperatura absoluta. Según la ecuación (3):

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} = \frac{V_3}{T_3} = Cte \quad (3)$$

Dichas transformaciones se denominan “isobaras” o “isobáricas del gas”. El coeficiente de dilatación de un gas viene dado por la formula de las ecuaciones (4) y (5):

$$\alpha = \frac{V - V_0}{V_0 t} \quad (4)$$

De donde:

$$V = V_0(1 + \alpha \bullet t) \quad (5)$$

Lo que permite calcular el volumen V ocupado por un gas de volumen inicial V_0 cuando su temperatura se elevado $t^\circ K$.

2.1.3 Ley de Gay Lussac

A volumen constante, la presión absoluta de una masa de gas determinada, es directamente proporcional a la temperatura, según la ecuación (6):

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} = \frac{P_3}{T_3} = Cte \quad (6)$$

Las curvas que unen los puntos que tienen el mismo volumen específico se denominan “isócoras”, “isósteras” o “isopléricas”. En un gas perfecto, las isocoras son líneas rectas verticales sobre el plano PV.

Esta variación de presión viene dada por β , que es impropriamente llamado coeficiente de dilatación a volumen constante. Según la ecuación (7).

De este modo se puede obtener la presión del aire contenido en un depósito cuando la temperatura ambiente aumenta t° , despreciando el aumento del volumen del depósito para esa variación de temperatura, tendremos la ecuación (7).

$$P = P_0(1 + \beta \cdot t) \quad (7)$$

El coeficiente de variación de presión a volumen constante (β), es de un valor similar al coeficiente de dilatación a presión constante (α), como él es igualmente independiente como se ve en la ecuación (8):

- La naturaleza del gas
- Su presión inicial
- Su temperatura

Prácticamente se puede escribir:

$$\alpha = \beta = \frac{1}{273} = 0,00366 \quad (8)$$

En las expresiones superiores, se debe utilizar la escala de temperatura kelvin, es decir, $^\circ\text{C} + 273^\circ\text{C} = \text{K}$.

Las relaciones anteriores, se combinan para proporcionar la “ecuación general de los gases perfectos”. Dada la ecuación (9).

$$\frac{P_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{P_2 \cdot V_2}{T_2} = \frac{P_3 \cdot V_3}{T_3} = Cte \quad (9)$$

Esta ley proporciona una de las bases teóricas principales para el cálculo a la hora de diseñar o elegir un equipo neumático, cuando sea necesario tener en cuenta los cambios de temperatura.

2.1.4 Trasformación Adiabática

Las leyes anteriores se referían siempre a cambios lentos, con solamente dos variables cambiando al mismo tiempo. En la práctica cuando, por ejemplo, el aire entra en un cilindro, no tiene lugar un cambio de estas características, sino un cambio adiabático. La ley de Boyle conocida gráficamente:

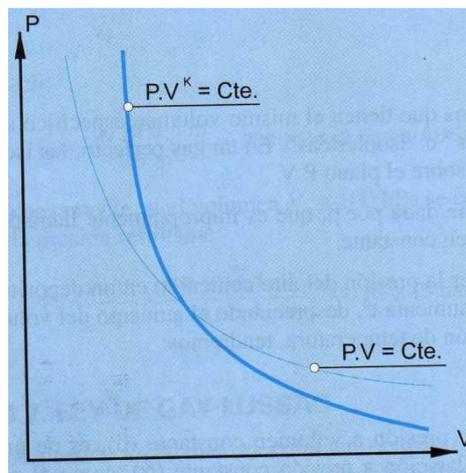


Fig. (2) Transformación adiabática, International Training SMC, neumática

$$PV = \text{Cte.}$$

Fig. (2)

Se transforma según la siguiente expresión, dadas las ecuaciones (11), (12) y (13).

$$P_1 \cdot V_1^k = \text{cte} \tag{11}$$

Esta ley viene expresada analíticamente por:

$$\frac{V_2}{V_1} = \sqrt[k]{\frac{P_1}{P_2}} \tag{12}$$

De donde:

$$P_1 \cdot V_1^K = P_2 \cdot V_2^K \quad (13)$$

Siendo V_1 y V_2 los volúmenes correspondientes a dos estados de las masas evolucionantes y P_1 y P_2 , las presiones respectivas.

De la ley de POISSON y la ecuación de los gases perfectos, se deduce con facilidad, según los cálculos dadas las ecuaciones (14), (15), (16), (17) y (18):

$$\left. \begin{array}{l} V_1 P_1 = RT_1 \\ V_2 P_2 = RT_2 \end{array} \right\} \frac{V_1 P_1}{V_2 P_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad (14)$$

$$\frac{V_1 \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^K}{V_2 \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^K} = \frac{T_1}{T_2} \quad (15)$$

$$\left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{K-1} = \frac{T_1}{T_2} \quad (16)$$

$$\left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{\frac{K-1}{K}} = \frac{T_1}{T_2} \quad (17)$$

O bien en definitiva:

$$\left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{K-1} = \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{\frac{K-1}{K}} = \frac{T_1}{T_2} \quad (18)$$

Por otra parte, podemos escribir las ecuaciones en la forma en que se emplean usualmente, tales como las ecuaciones (19) y (20).

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{\frac{K-1}{K}} \quad (19)$$

$$\left(\frac{V_2}{V_1} \right) = \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{\frac{1}{K}} \quad (20)$$

Todas ellas nos permiten relacionar los volúmenes o las presiones absolutas de la masa gaseosa con las temperaturas absolutas correspondientes.

2.1.5 Volumen Estándar

Debido a las interrelaciones entre volumen, presión y temperatura es necesario referir todos los datos de volumen de aire a una unidad estandarizada, el metro cúbico estándar, que es la cantidad de 1,293 Kg de masa de aire a una temperatura de 0°C y a una presión absoluta de 760 mm de Hg que es igual a (101.325 Pa)

2.1.6 Gasto Volumétrico (Caudal)

La unidad básica para el gasto volumétrico “Q” es el metro cúbico normal por segundo (m³n/s). En la neumática práctica, los volúmenes se expresan en términos de litro por minuto (lt/min) o decímetros cúbicos normales por minuto (dm³/min). La unidad no métrica habitual para el gasto volumétrico es el “pie cúbico estándar por minuto”.

2.1.7 Ecuación de Bernoulli

Bernoulli dice:

“Si un líquido o peso específico P fluye horizontalmente por un tubo de diámetro variable, la energía total en los puntos 1 y 2 es la misma”. Tal como se ve en la figura (3).

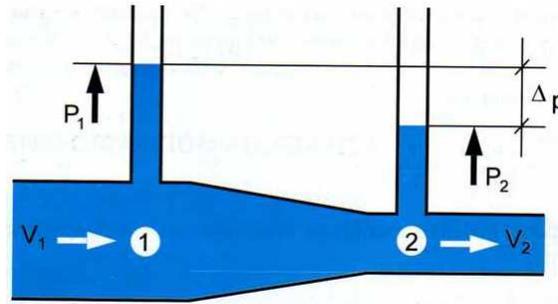


Fig. (3) Ecuación de Bernoulli, International Training SMC, neumática

Esto se expresa en la formula general, según la ecuación (21):

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho V_1^2 = P_2 + \frac{1}{2} \rho V_2^2 \quad (21)$$

De donde obtendremos la ecuación (22):

$$\Delta P = \frac{1}{2} \rho (V_2^2 - V_1^2) \quad (22)$$

Esta ecuación se aplica también a los gases si la velocidad del flujo no supera los 330m/s aproximadamente.

Aplicaciones de esta ecuación son el tubo de Venturi y la compensación del flujo en los reguladores de presión.

2.1.8 Presión y caudal

La relación más importante que existe para los componentes neumáticos es la que existe entre la presión y caudal.

Si no existe circulación de aire, la presión en todos los puntos del sistema será la misma, pero si existe circulación desde un punto a otro, querrá decir que la presión en el primer punto es mayor que en el segundo, es decir, existe una diferencia de presión. Esta diferencia de presión depende de tres factores:

- De la presión inicial
- Del caudal de aire que circula
- De la resistencia al flujo existente entre ambas zonas

La resistencia a la circulación de aire es un concepto que no tiene unidades propias (como el ohmio en la electricidad) sino que en neumática se usa el concepto opuesto, es decir, conceptos que reflejan la facilidad o aptitud de un elemento para que el aire circule a través de él, el área de orificio equivalente “S” o el “Cv” o el “Kv”.

La sección de orificio equivalente “S” se expresa en mm^2 y representa el área de un orificio sobre pared delgada que crea la misma relación entre presión y caudal que el elemento definido por el.

Estas relaciones son, en cierta manera, similares a la electricidad, donde “Diferencia de potencial= Resistencia x Intensidad”. Esto, trasladado de alguna forma a la neumática, esto sería: “Caída de presión = Caudal x Área efectiva”, solo que, mientras que las unidades eléctricas son directamente proporcionales, esta relación para el aire es bastante más compleja y nunca será simplemente proporcional.

En electricidad, una corriente de un amperio (1Amp), crea sobre una resistencia de un ohmio (1Ω) una tensión de un voltio (1V). Esto se cumple bien sea desde 100V a 99V o desde 4V a 3V. En cambio, una caída de presión a través del mismo objeto y con el mismo caudal, puede variar con la presión inicial y también con la temperatura. Razón, la compresibilidad del aire.

Para definir uno de de los cuatro datos interrelacionados que han sido mencionados, a partir de los otros tres, recitamos el diagrama que se muestra a continuación:

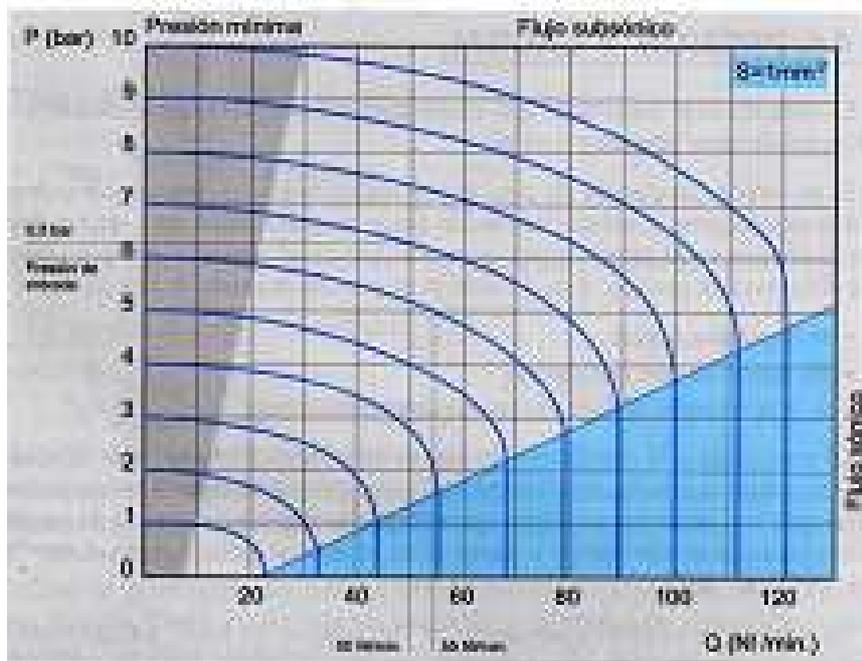


Fig. (4) Diagrama de relaciones entre presión y flujo para sección de 1mm², International Training SMC, neumática

El triángulo de la esquina inferior derecha marca el rango del flujo a velocidad “sónica”, cuando el caudal de aire alcanza una velocidad próxima a la velocidad del sonido. En este caso, el caudal ya se puede incrementar independientemente de la diferencia de presión que puede existir entre la entrada y salida. Como puede verse, las curvas, en esta zona, caen verticalmente.

2.2 DEFINICIÓN DE VACÍO

Se puede definir el vacío como la ausencia de aire en el interior de un espacio dado. Esta ausencia de aire en el interior reduce la presión atmosférica existente a valores próximos al cero absoluto, creando una diferencia de presión entre el interior y el exterior del mismo.

Por ejemplo, si disminuimos la presión en un recipiente cerrado, evacuando el aire de su interior, se crea vacío, y por consiguiente, existirá una diferencia de presión entre el interior y el exterior del recipiente, generando la presión

exterior una fuerza sobre las paredes del mismo, que será mayor cuanto menor presión haya en su interior.

2.2.1 Consideraciones entre vacío y sobrepresión

Tanto la neumática convencional de sobre presión como la técnica de vacío, están basadas en la circulación de aire desde las zonas de presión más altas hacia las zonas de presión más bajas (diferencia de potencial).

Por esta razón, la interdependencia y las leyes físicas entre flujo, presión y fuerza que rigen el comportamiento del aire en las aplicaciones de vacío son exactamente las mismas que en las aplicaciones convencionales, aunque con ciertas “peculiaridades”; por ejemplo:

- Podemos decir que, en el caso de vacío, el flujo es “opuesto” ya que el aire fluye desde zonas a presión atmosférica (presión más alta) a zonas de depresión o presión de vacío (presión más baja).
- La diferencia de presión siempre es limitada
- Adquieren mayor importancia en vacío aspectos como:
 - RESITENCIA AL FLUJO.
 - VOLÚMENES MUERTOS O INNECESARIOS QUE HAY QUE EVACUAR O QUE TIENEN QUE REDUCIRSE AL MÍNIMO.

Estos dos últimos factores presentan un cierto nivel de controversia, puesto que unas conducciones de mayor sección nos ofrecen menores resistencias al flujo, pero, por el contrario, aumentan el volumen que hay que evacuar.

- Hay que tener en cuenta también que cuando se habla de técnica del vacío, estamos hablando de la quinta o sexta parte de la energía disponible en las aplicaciones de la neumática convencionales. Esta es la razón por la cual pasan a primer plano fenómenos hasta ahora considerados de forma secundaria.

En resumen: hemos de reducir en lo posible todas las caídas de presión pero sin crear volúmenes a evacuar excesivamente grandes, puesto que esto supondrá un coste de tiempo y energía (mayor caudal de succión).

2.2.2 Gasto de energía en los diferentes grados de vacío

El consumo de energía para producir el vacío, aumenta asintóticamente hacia el infinito cuando aumenta el grado de vacío. Es importante, para optimizar la relación energética, trabajar con el menor nivel de vacío posible, mostrada en la figura (5)

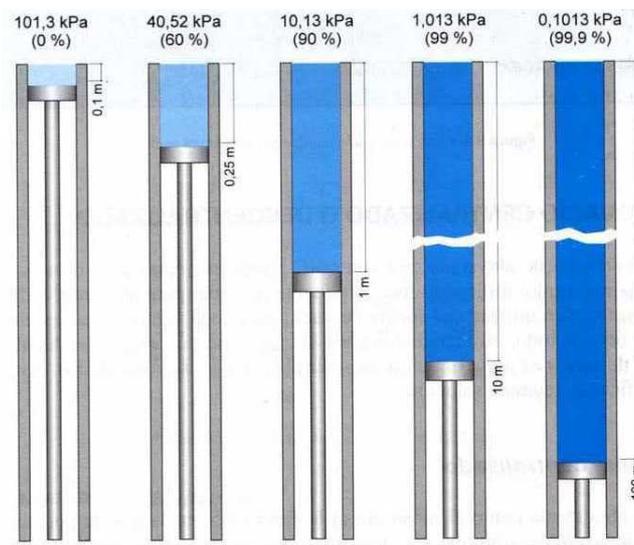


Fig. (5) Bomba cilíndrica con pistón, International Training SMC, neumática

2.3 PRESIÓN ATMOSFÉRICA

Si imaginamos la atmósfera compuesta por diferentes capas, resulta evidente, que cada una de ellas descansa sobre la otra hasta alcanzar la superficie terrestre y sobre ella, percibiremos el resultado de estas cargas sucesivas, que conocemos como presión atmosférica y que es la fuerza que el aire ejerce sobre cada cm^2 de la superficie terrestre por efecto de la fuerza de gravedad. Tal como vemos es la figura (6).

Naturalmente, hay que tener en cuenta que nuestro planeta esta en constante movimiento sobre si mismo y alrededor del sol y, en consecuencia, cabe imaginar una serie de variaciones en las capas de aire, que se manifiestan

como variaciones de la presión. No obstante, su valor podemos establecerlo al nivel del mar y con una temperatura de 0°C en: 101,3 Kpa.

1 Pa (Pascal), es equivalente a 1 N/m². Luego, esto significa que, una columna de aire de 1 m², a nivel del mar, ejerce una fuerza de 101.325 N sobre la tierra.



Fig. (6) Relación entre presión y altitud, International Training SMC, neumática

2.3.1 Variación de la presión con la altura

Como se ha visto anteriormente, la presión atmosférica genera una fuerza motriz; si esta varía, en consecuencia, varía también la presión. Esto se debe tener en cuenta y considerarlo en función de la altura que se encuentre el lugar de trabajo. Hasta 2.000 metros de altitud la presión se reduce cerca del 1% cada 100 metros. Esto significa que una aplicación de vacío calculada para elevar 100 Kg. a nivel del mar, verá reducida su capacidad elevación a 89 Kg. en una altura de 1.000 metros. Dada la ecuación (23).

La fórmula para calcular la presión en función de la altura viene dada por:

$$\int_{Z_0}^{Z_1} dZ = -RT \int_{P_0}^{P_1} dP / P \quad (23)$$

Donde obtendremos las ecuaciones (24) y (25).

$$H = Z_1 - Z_0 = K \cdot \log n(P_0 / P_1) \quad (24)$$

Y haciendo:

$$K = RT = 29,3(273 + 0^\circ C) \quad (25)$$

Pasando de logaritmos naturales a decimales, obtendremos las ecuaciones (26) y (27).

$$H = K \cdot 2,302585 \text{Log}(P_0 / P_1) \quad (26)$$

$$H = 18,418 \text{Log}(P_0 / P_1) \quad (27)$$

2.3.2 Medición de vacío (Unidades)

Existen varias formulas de expresar un determinado nivel de vacío:

- Como una presión absoluta
Valor numérico positivo menor que la presión atmosférica
- Como una depresión
Valor numérico negativo para indicar presiones inferiores a la presión atmosférica
- Como una presión de vacío
Valor numérico positivo, mayor cuanto menor es la presión absoluta.

- En porcentaje

De forma que cuando nos referimos a un vacío del 90 % estamos diciendo que en el sistema, tanque, ventosa, etc. queda solamente el 10% del aire que tendría si estuviese a presión atmosférica. Es decir, se expresa el % de vacío conseguido respecto al vacío absoluto

2.4 GENERACIÓN DE VACÍO

Los dos sistemas más comunes para la generación del vacío en aplicaciones industriales, ambos muy extendidos en la actualidad, son las bombas mecánicas accionadas por un motor eléctrico y los eyectores fluídicos basados en el principio VENTURI

2.4.1 Bombas mecánicas

Fundamentalmente el principio de funcionamiento es común a todas las bombas mecánicas, en definitiva, consiste en el hecho de cambiar de un modo u otro un cierto volumen de aire que fluye de la zona de aspiración, (por ejemplo: el tanque), a la zona de escape, atmósfera.

Creando de esta forma una depresión en el interior del tanque, con respecto al valor de la presión atmosférica que reina en el exterior del mismo. Existen varios modelos de bombas mecánicas, pero como ejemplo citaremos solamente las más importantes:

- VENTILADOR CENTRÍFUGO
- VENTILADOR CON CANALES LATERALES
- BOMBA DE PISTÓN
- BOMBA DE PALETAS
- BOMBA DE MENBRANA
- BOMBA DE ÁLAVES

2.4.2 Descripción de algunas bombas de vacío

Las bombas mecánicas. Una de las primeras fue la bomba de Sprengel, que hoy en día tiene sólo interés histórico. Fue usada en la primera fábrica de lámparas. Las gotas de mercurio introducidas en el capilar capturan entre ellas burbujas de aire; de esta manera, el sistema evacua el aire del lado del tubo C, llevándolo a través del mercurio hacia la parte de abajo, a la atmósfera. Ilustrada en la figura (7).

Hoy en día existen otros tipos de bombas mecánicas como las bombas de pistón, bombas de anillo de agua, bombas de paleta rotatoria, bomba tipo Roots, etc.

Las bombas de paleta rotatoria son un ejemplo claro del funcionamiento de este tipo de bombas, éstas consisten en un espacio cilíndrico (estator) que alberga a un cilindro de diámetro menor que gira dentro de él (rotor).

En el rotor, las paletas se encuentran sujetas por medio de un resorte.

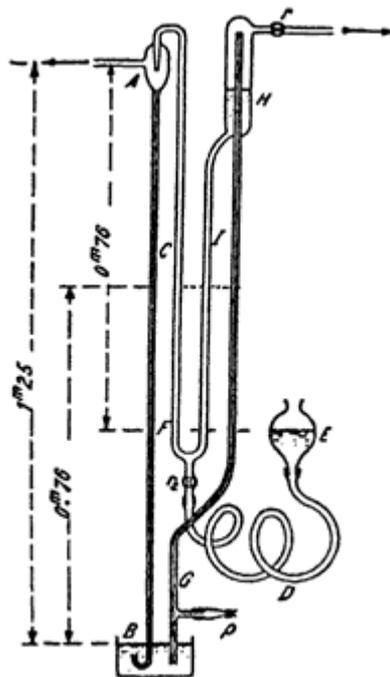


Fig. (7) Bomba de Sprengel, Medidas de presión-concepto de presión

La bomba de paletas rotatorias posee dos ductos, uno de dimensiones mayores respecto al otro. El ducto mayor da al exterior de la bomba (conexión con la cámara a desalojar), y dentro de la bomba hasta el estator; es considerado como la entrada al estator.

Por otra parte, el ducto pequeño es la salida del estator y conduce a un recipiente parcialmente lleno de aceite. Al final del ducto menor se coloca una válvula de descarga, la cual regula la salida de gas del estator al recipiente. El recipiente a su vez tiene salida al exterior de la bomba.

El funcionamiento de la bomba de paletas rotatorias es sencillo: al girar el rotor provoca que las paletas se deslicen sobre las paredes del estator (con una presión uniforme debido al resorte que sostiene a las paletas), esto permite la entrada del gas entre el estator y el rotor; después se mueve el volumen de gas contenido en esta región hasta la salida del estator, tal como se ve en la figura (8).

Las bombas de vapor. Un ejemplo de este tipo de bombas de vacío es la bomba de difusión. La ventaja de este tipo de bomba para crear alto vacío, comparado con las bombas mecánicas, es que puede producir mayor velocidad de bombeo con el mismo tamaño, peso y costo. El primer diseño fue creado por Gaede pensando en términos de la teoría cinética de los gases. La acción de bombeo fue diseñada para la difusión del aire dentro de una nube de mercurio.

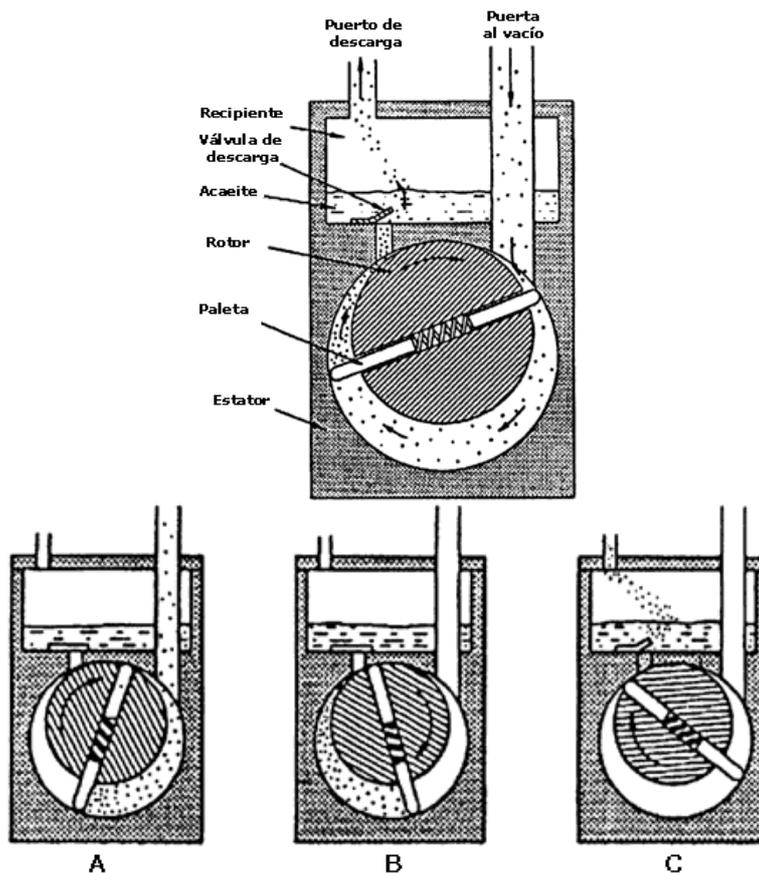


Fig. (8) Bomba mecánica de paleta rotatoria en acción, Medidas de presión-concepto de presión

A) Las paletas deslizantes se mueven cuando el rotor gira. El volumen entre la entrada y la paleta inferior es incrementado; esto causa que el gas se mueva dentro de esta área desde la entrada.

B) El gas ha sido aislado del sistema de vacío y comienza a empujarse hacia la válvula de descarga.

C) El gas se comprime ligeramente arriba de la presión atmosférica. La válvula de descarga se abre y el gas es expulsado fuera de la bomba a través del aceite en el recipiente.

Las bombas de difusión usan aceite o mercurio como fluido de bombeo. La bomba de difusión es capaz de evacuar gas con alta eficiencia hasta presiones que no excedan 0.02 torr y una presión de descarga menor que 0.5 torr; no es posible que esta bomba funcione de manera independiente, se requiere de una bomba adicional para reducir la presión de la cámara hasta que la bomba de difusión pueda operar, como se muestra en la figura (9).

En un sistema típico de alto vacío, la bomba de difusión toma lugar entre la bomba mecánica y la cámara a evacuar.

Estas bombas se construyen de acero inoxidable o aluminio, aunque muchas bombas de tamaño reducido se fabrican de vidrio y algunas tienen cubiertas de este material con chimeneas de metal.

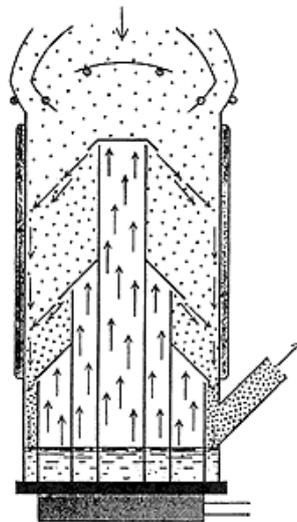


Fig. (9) Bomba de difusión, Medidas de presión-concepto de presión

El fluido de bombeo se calienta hasta que se evapora mediante un calentador situado al fondo de la bomba. El vapor se eleva y es deflectado hacia abajo, trayéndose consigo las moléculas de gas de la cámara (puntos negros).

Los aceites usados como fluidos de bombeo están hechos de compuestos a base de silicio y pueden producir presiones del orden de 10^{-7} torr.

Las bombas de mercurio son usadas cuando se quiere evitar contaminación de hidrocarburos que afecten al sistema.

Las bombas criogénicas (de baja temperatura). Se usan en aplicaciones específicas de ultra alto vacío. Una criobomba es una bomba de vacío que tiene una superficie interna enfriada a temperaturas menores a los 120°K, donde los gases y vapores se condensan.

En esta superficie se inmovilizan las moléculas de gas, lo cual disminuye la presión del sistema. La superficie fría está colocada dentro de la cámara de vacío. Tal como se ve en la figura (10).

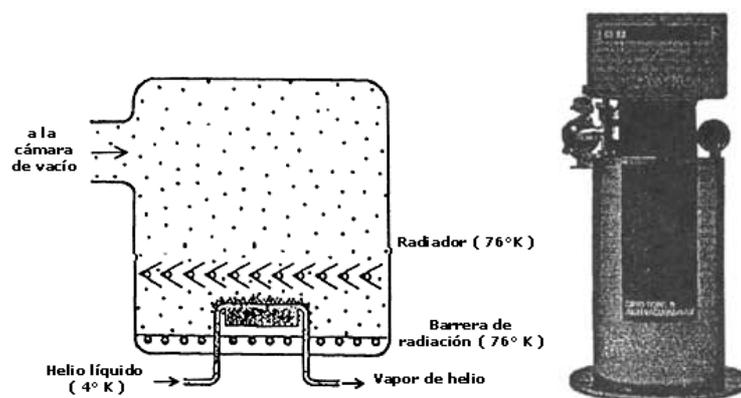


Fig. (10) Bomba criogénica, Medidas de presión-concepto de presión

Existen varios mecanismos mediante los cuales se capturan los gases sobre la superficie fría, los más importantes se pueden representar por medio de las criotampas y la criosorción.

Una trampa de vapor enfriada con nitrógeno líquido actúa como una criobomba. El término criotrapa se usa para la condensación de gases difícilmente condensables, por ejemplo el H₂, Ar, CH₄, CO₂, NH₃ y los

hidrocarburos pesados. La criosorción se refiere a la captura de un gas con bajo punto de ebullición (difícil de condensar), efectuada por la adsorción sobre un gas condensado de alto punto de ebullición (fácilmente condensable).

2.5 TIPOS DE SISTEMAS DE VACÍO

2.5.1 Los sistemas de vacío

Todos los sistemas de vacío tienen varias cosas en común: debe haber un medio para remover el gas (una bomba), un medio para medir la presión (vacuometro), medios para realizar el experimento (accesorios) y un medio para expedir gases del equipo, un diagrama esquemático de un sistema general de vacío es mostrado en la figura (11).

En este sistema en particular los accesorios incluyen conductores eléctricos, sellos de movimiento y un sistema de medición de gas calibrado. Para la operación de los sistemas de vacío la selección bombas de vacío, tamaños de válvulas, de tubos de conexión dependen de la cantidad y naturaleza del gas a ser bombeado. Si la cantidad de gas es grande, entonces una alta velocidad de la bomba y diámetros grandes de válvulas y tuberías deben ser usados. Si la cantidad de gas es pequeña y el gas químicamente activo, un pequeño bulbo succionador puede ser una bomba adecuada.

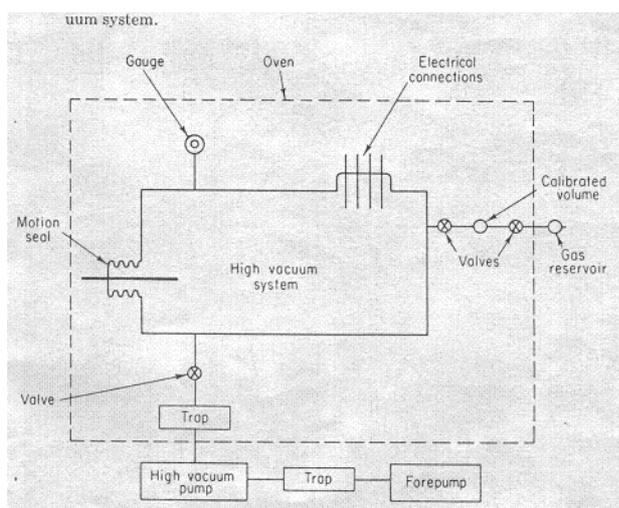


Fig. (11) Diagrama esquemática de un sistema general de vacío, Ultrahigh Vacuum Systems.

2.5.2 Los Sistemas típicos

Puesto que el diseño de sistemas del vacío varía grandemente con la experimentación a ser realizada, quizás la mejor manera de demostrar varios arreglos es describir varios sistemas típicos.

2.5.2.1 El Sistema I

Un ejemplo de un sistema muy simple, compacto para el estudio de las reacción de una membrana de gas metal .El experimento realizado en este sistema era uno en que una membrana de metal se depositó en las paredes de una esfera de vidrio bajo las condiciones de vacío. Para este vaso una cantidad pequeña de un compuesto orgánico fue admitido, y la adsorción siguió midiendo la disminución de presión dentro de la celda.

Los componentes de este sistema fueron ensamblados en una mesa de simple de laboratorio de 2 ' X 4 ' la mesa del laboratorio encajó con 1¹/₂' de un material llamado transitó en la base de la mesa. La bomba delantera y las bombas de difusión se ubicaron bajo la mesa y también la trampa de nitrógeno líquido y el reservorio de gas.

Puesto que el gas a ser usado en el experimento se descompondría en las superficies calientes de tungsteno, el medidor de iones fue separado del bulbo de reacción por una válvula, y las medidas de presión durante la reacción fueron hechas por medio de una termocupla de baja temperatura. Siguiendo el ensamble de los aparatos, se probó para las fugas. Entonces un horno se puso encima del aparato entero. La conexión al depósito de gas consistido en un tubo de Pírex de 1.5 centímetros en el que se puso dos sellos de apagar separados un pie uno del otro. La sección entre los sellos fue precalentada y evacuada. En casos dónde el gas que causa la reacción no se descompondría a temperaturas límites, únicamente el sello de apagar sobre la mesa se requeriría. El tubo múltiple, sellado en un lugar después de la tempera límite, hizo posible la remoción de gases para el análisis en otra parte.

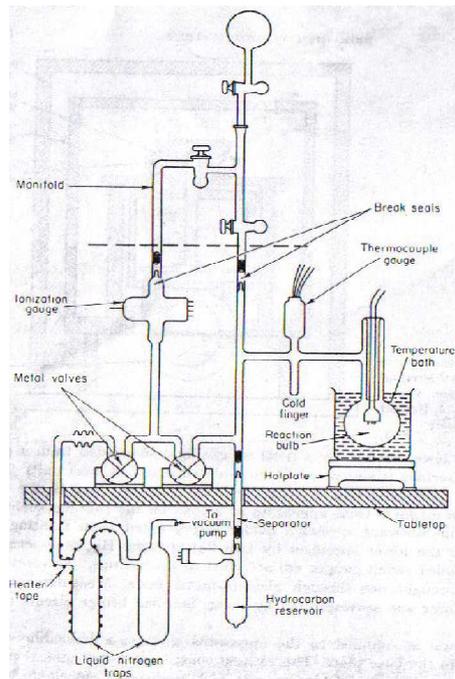


Fig. (12) Diagrama esquemático del sistema de vacío I, Ultrahigh Vacuum Systems.

2.5.2.2 El sistema II

Un sistema más complejo, que se diseñó para estudios de membranas de gas metal pero tiene versatilidad considerable. Este sistema incluye una fuga inconstante y un espectrómetro de masa en adición de los componentes más comunes de un sistema de vacío. El tubo múltiple mostrado aquí, es como el que se tiene en el Sistema I, puede sellarse en la posición después de la temperatura límite si se desea.

Para los sistemas grandes, como este, los hornos deben ser manipulados por sistemas de la polea en lugar de por una operación manual simple tal como puede hacerse con el Sistema I. En estos sistemas complejos, hay que notarse que además de las consideraciones que deben darse en asuntos hay que tener cuidado de asegurar y fijar en su lugar los componentes que pueden ser añadidos después que el sistema este en un funcionamiento específico, en este caso, un espectrómetro magnético de masa pesada.

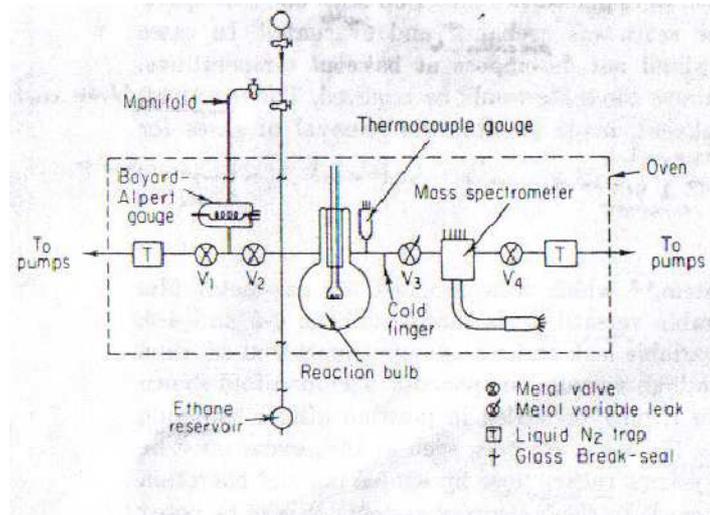


Fig. (13) Diagrama esquemático del sistema de vacío II, Ultrahigh Vacuum Systems.

2.5.2.3 El sistema III

Todos los sistemas de vacío se han construido por A. J. Haltner del Laboratorio de Investigación Eléctrico General. Este sistema se diseñó para la comprobación de vacío de rodamientos bajo condiciones de operación. El sistema se construyó principalmente de acero inoxidable y se diseñó para que pueda ser expulsado el gas por calentamiento a las temperaturas tan alto como 450°C. Todos los sellos estáticos se logran por compresión suave de la superficie de metales tales como o-rings de aleaciones de cobre u oro.

El movimiento mecánico entre las superficies de fricción se logra por medio del acoplamiento magnético a través del fondo de la cámara de acero inoxidable. El imán externo se maneja por una conducción de velocidad variable.

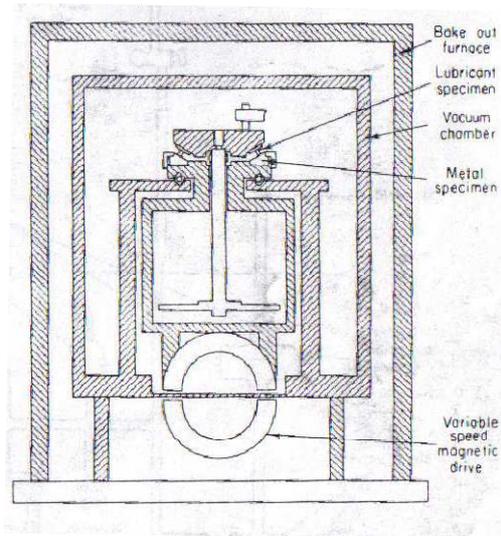


Fig. (14) Diagrama esquemático del sistema de vacío III, Ultrahigh Vacuum Systems.

2.6 ALTERNATIVAS DE DISEÑO NEUMÁTICO

2.6.1 Métodos para la obtención de vacío

Los métodos para la obtención de vacío se pueden clasificar en cinco grupos.

2.6.1.1 Bomba de desplazamiento positivo.

Este método involucra un volumen atrapado, para ser evacuado, desde la cámara y la compresión de este volumen hacia una cámara mucho más pequeña y entonces la descarga del gas a través de una válvula de escape.

2.6.1.2 Bomba de flujo de vapor.

En este caso, un vapor, tal como de aceite, mercurio o agua, es desarrollado a alta energía en un tanque, expulsado a través de una boquilla y permite pasar una parte al sistema de vacío donde se le da ímpetu a el gas para ser bombeado a través de un puerto de escape.

El vapor bombeado es entonces condensado en una superficie fría y retorna al tanque para ser utilizado nuevamente.

2.6.1.3 Bombeo químico.

Aquí, un material activo químicamente, tal como titanio o bario, se evapora para combinarse con el gas a ser bombeado, formando un compuesto de baja presión de vapor.

2.6.1.4 Bomba de iones.

Aquí el gas a ser bombeado es ionizado a través de un campo de alta fuerza eléctrica. Este mismo campo conduce los iones hacia la superficie, removiéndolos efectivamente desde el sistema. El bombeo de iones y el bombeo químico son a veces combinados para dar lugar a la bomba que generalmente se refiere como bomba sputter-ion

2.6.1.5 Bombeo adsorbente

Aquí, un material de superficie grande, tal como carbón activo o una de las zeolitas, se coloca en el sistema de vacío a veces en un cuarto de temperatura, más frecuentemente a una temperatura más baja, causando fisisorción en el sistema. El bombeo de adsorción a la temperatura criogénica puede tener lugar sin usar materiales de superficie grande, usando únicamente metales de superficies refrigeradas dentro del rango de temperatura criogénica.

2.6.2 Selección de la alternativa más adecuada

El diseño del banco de pruebas se desarrolla utilizando el método de bomba mecánica de desplazamiento positivo.

Las bombas mecánicas de desplazamiento positivo son usadas en la gran mayoría de sistemas de vacío desde la presión atmosférica por abajo aproximadamente de 10^{-1} Torr. Estas son disponibles en tamaños desde 1 hasta aproximadamente 1000 CFM. Aunque muchos de máquinas de desplazamiento positivo pueden y están siendo usadas como bombas de vacío.

2.7 ALTERNATIVAS DE DISEÑO MECÁNICO

2.7.1 Descripción de la alternativa seleccionada

2.7.1.1 Cámaras de vacío

Las cámaras o contenedores en los sistemas de vacío se construyen por lo general de vidrio o acero inoxidable. La característica principal que debe tener el material de la cámara es su resistencia a la fuerza ejercida sobre ella por la presión atmosférica. Esto es claro si se considera que la presión atmosférica ejerce una fuerza de un 1 Kg/cm^2 en el área superficial de la cámara. Por ejemplo, una cámara con una superficie de 1 m^2 debe resistir 10 toneladas de peso. Las cámaras de metal son hechas, por lo general, en secciones de forma cilíndrica, porque así la cámara puede resistir con mayor facilidad la presión externa. Enrollando una hoja gruesa de metal, los extremos de la cámara cilíndrica son convenientemente cerrados con placas planas de metal, tal como se ve en la figura (15).

La capacidad de un cilindro para no colapsarse por la presión externa depende de su diámetro, espesor de las paredes, y la firmeza del material. Después de construida la cámara, es necesario hacerle un electropulido a la superficie que será expuesta al vacío, para minimizar la cantidad de gas absorbido en las paredes del contenedor.

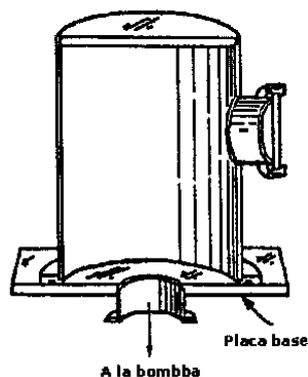


Fig. (15) Tipo más común de cámara de metal, Medidas de presión-concepto de presión

Se puede utilizar la cámara después de someterla a una limpieza que consta de los siguientes pasos:

- 1) Estregar con gran cantidad de detergente (puede usarse detergente líquido para trastes);
- 2) Enjuagar con agua caliente;
- 3) Enjuagar con agua destilada, y
- 4) Enjuagar con metanol puro.

De esta manera podemos tener un sistema limpio de grasa, aceites y residuos de metal, para obtener la presión deseada.

Después de montado todo el equipo es necesario someter la cámara a calentamientos a diferentes temperaturas para propiciar el degasamiento de las paredes.

Un contenedor puede tener diferentes extensiones (conexiones), en éstas se pueden colocar medidores de presión, calefactores, conexiones eléctricas o electrónicas, fuentes de voltaje, rayos X, ventanas, las diferentes bombas para hacer vacío, espectrómetros de masas, manipuladores de muestras, etc.

Todo cuanto sea necesario para trabajar con comodidad, y lo más importante, las herramientas útiles para resolver los problemas que se presentan durante el desarrollo de cierto proceso industrial o algún experimento de interés científico o tecnológico.

3.1. GENERALIDADES

Un sistema de vacío es diseñado en base a parámetros que necesitan ser controlados para que el funcionamiento del sistema en sea eficiente, estos parámetros son la presión y el caudal.

Hay diferentes clases de vacío: grueso o primario, medio, alto y ultra alto, y en cada caso, la presión es cada vez menor (o el vacío es cada vez más alto). Cada régimen de vacío tiene un comportamiento diferente, y sobre todo, un cierto tipo de aplicaciones, que son las que hacen del vacío algo tan importante.

Existe gran variedad de usos del vacío que son de importancia para muchas industrias y desarrollos tecnológicos, para la ciencia y para la vida diaria. El vacío se aprovecha en diversas industrias, que van desde la alimenticia hasta la automovilística, la aviación, la obtención de medicamentos, etc. se puede decir que el área de influencia del vacío afecta a la mayoría de las industrias, lo cual le da un lugar preeminente en el desarrollo tecnológico de un país.

Hoy en día no podríamos imaginar un mercado sin productos enlatados, una casa sin focos, o la vida sin la radio o la televisión. ¿Dónde quedaría el avance médico sin el equipo de esterilización?, éstos y muchos otros productos requieren el uso del vacío en su proceso de fabricación.

3.1.1 Regulación del Vacío

La regulación de la presión de vacío tenderá a disminuir la presión diferencial entre la atmósfera y el nivel de vacío conseguido, siendo los valores más bajos de presión de vacío próximos al valor de la presión atmosférica, y los más alejados, los valores más altos.

Con esta consideración se puede establecer que introduciendo la atmosférica o sobre presiones en un espacio sometido al vacío, el valor de la presión varía a medida y en función de la cantidad de aire que se introduce en su interior. También se han de tener en cuenta las siguientes circunstancias:

- Dirección del flujo
- Rango de regulación con valores muy bajos.

3.2 SELECCIÓN DE INSTRUMENTOS DE MEDIDA Y CONTROL

La selección de instrumentos y equipos se hace precisamente con la base de la generación, regulación, control del vacío y distribución.

Para la generación del vacío seleccionamos una bomba mecánica de desplazamiento positivo.

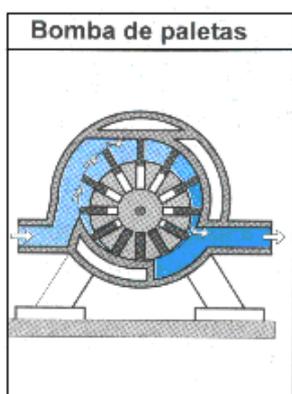
Para la regulación seleccionamos las válvulas reguladoras de caudal.

Para el control seleccionamos un vacuostato y vacuómetros.

Para la distribución seleccionamos tuberías, válvulas de paso y válvula distribuidora.

3.2.1 Bomba de Paletas.

La bomba de paletas rotatorias posee dos ductos, uno de dimensiones mayores respecto al otro.



INCONVENIENTES:

- Elevado calor
- Precio alto
- Alta frecuencia de mantenimiento
- Riesgo de contaminación del fluido

VENTAJAS:

- Alto vacío y gran caudal
- Ruido relativamente bajo

El ducto mayor da al exterior de la bomba (conexión con la cámara a desalojar), y dentro de la bomba hasta el estator; es considerado como la entrada al estator. Por otra parte, el ducto pequeño es la salida del estator y conduce a un recipiente parcialmente lleno de aceite.



Fig. (16) Bomba de Paletas

Al final del ducto menor se coloca una válvula de descarga, la cual regula la salida de gas del estator al recipiente. El recipiente a su vez tiene salida al exterior de la bomba.

El funcionamiento de la bomba de paletas rotatorias es sencillo: al girar el rotor provoca que las paletas se deslicen sobre las paredes del estator (con una presión uniforme debido al resorte que sostiene a las paletas) a1, esto permite la entrada del gas entre el estator y el rotor a2 y a3; después se mueve el volumen de gas contenido en esta región hasta la salida del estator a4.

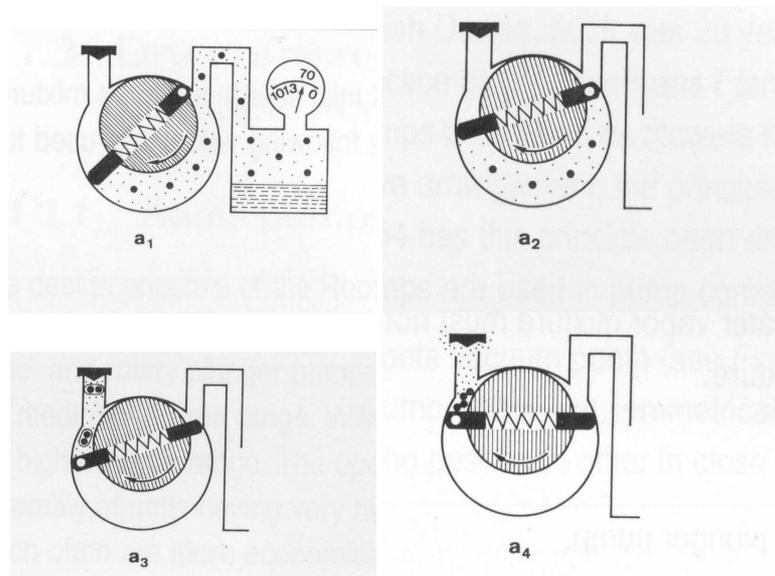


Fig. (17) Funcionamiento de la bomba de paletas, El Vacío y sus Aplicaciones

3.2.2 Válvulas reguladoras de caudal

En máquinas hay que disponer de no solo una velocidad adecuada de funcionamiento, sino de la posibilidad que variaría en una gama adecuada a cada proceso en el funcionamiento. Esto esta directamente ligado al control del caudal en el sistema y en sus ramas. La forma mas precisa de regular el caudal de un sistema, el uso de una válvula reguladora de caudal. Según la velocidad requerida por el actuador determinará un caudal.



Fig. (18) Regulador de Caudal

3.2.3 Vacuometros

Instrumento medidor de presión tarado para valores inferiores a la presión atmosférica. Se trata, pues, de un manómetro adecuado para medidas negativas de presiones relativas.



Fig. (19) Vacuometros

3.2.4 Vacuostatos

Un vacuostato no es más que un presóstato para trabajar a presiones muy bajas o, lo que es lo mismo, a alto grado de vacío. Al igual que el presóstato tiene una presión de consigna que puede ser regulable o fija y, cuando la presión llega al valor de consigna, hace conmutar un contacto de tipo relé. La conmutación de ese contacto puede ser utilizada para cualquier proceso que nos interese: arrancar y parar la bomba de vacío, abrir o cerrar una determinada válvula, etc.

También existen vacuostatos con dos consignas: máxima y mínima, y también existen para dar señales neumáticas.



Fig. (20) Vacuostatos

3.2.5 Mangueras

En un sistema de vacío o alto vacío, el correcto dimensionado de las líneas que unen el sistema de bombeo con el recinto de proceso es por lo menos tan importante como determinar correctamente la velocidad de bombeo necesaria para el proceso.

Un incorrecto dimensionado de las líneas puede llevar a que, aun cuando la velocidad del sistema de bombeo instalado sea mucho mayor que la requerida, no se alcance la presión de trabajo o se tenga una presión inestable durante el proceso.



Fig. (21) Mangueras

3.2.6 Válvulas de paso

Una válvula de paso es un sistema mecánico gracias al cual se puede regular el flujo de líquidos y gases que circulan a través de una tubería. El proceso se efectúa mediante una pieza que tapa de forma parcial o completa el orificio de la cañería.

Por este sistema, se puede controlar el paso tanto de los líquidos y gases más inocuos hasta de los más corrosivos. Según las necesidades, que vienen determinadas por el tipo de sustancia y la cantidad de flujo de ésta, hay disponible una amplia gama de válvulas.

3.2.7 Válvulas distribuidoras

Una válvula de distribución determina el paso de aire entre sus vías abriendo, cerrando o cambiando sus conexiones internas.

Las válvulas se definen en términos de número de vías, número de posiciones, su posición normal (no activada) y el método de activación.



Fig. (22) Válvula distribuidora 3x2

3.3 PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS DE INSTRUMENTOS UTILIZADOS EN EL SISTEMA

3.3.1 Medición de Baja Presión (VACÍO)

En tanto que el PASCAL es la unidad estándar del SI en todas las mediciones de presión, el campo del vacío continúa utilizando unidades no estándar bien establecidas, tales como el torr y el milibar. Un torr es la presión equivalente a 1 mmHg en condiciones estándar; las conversiones utilizan la relación

$$1 \text{ mbar} = 0,75006 \text{ torr} = 0,10000 \text{ kPa} = 0,014504 \text{ psi}$$

Está disponible una amplia variedad de medidores de vacío. En los intervalos de alta presión de vacío, los medidores aun pueden utilizar el concepto de fuerza por área unitaria como su principio de operación; estos se llaman medidores absolutos y sus lecturas no dependen del gas que se está midiendo.

Para presiones bajas, se deben utilizar otros principios, todos son sensibles al gas específico, es decir, dos gases distintos a la misma presión darán lecturas diferentes, así que éstas deben ser corregidas para cada gas.

La figura (23) (basada en datos de una referencia) muestra algunos de los diferentes tipos de medidor. Muestra donde se podrían utilizar varios tipos de vacuómetros en un proceso de vacío típico.

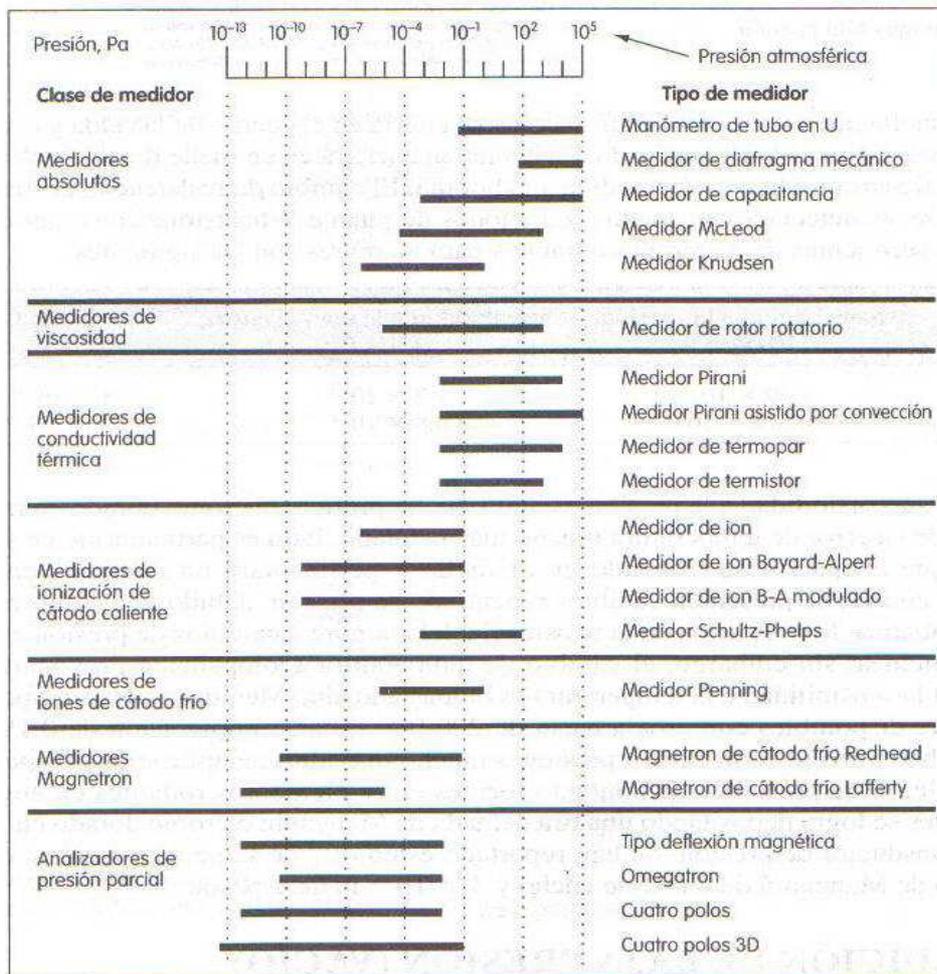
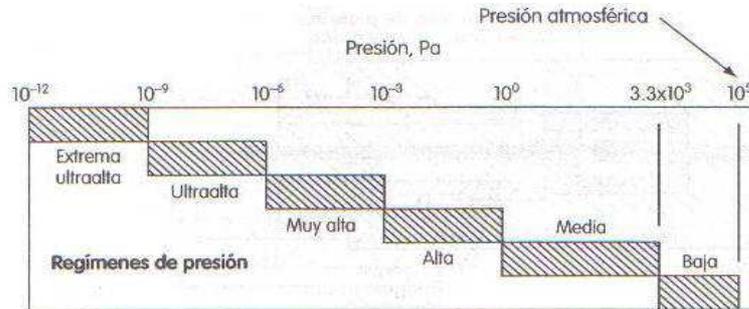


Fig. (23) Clases de medidores, técnica de vacío

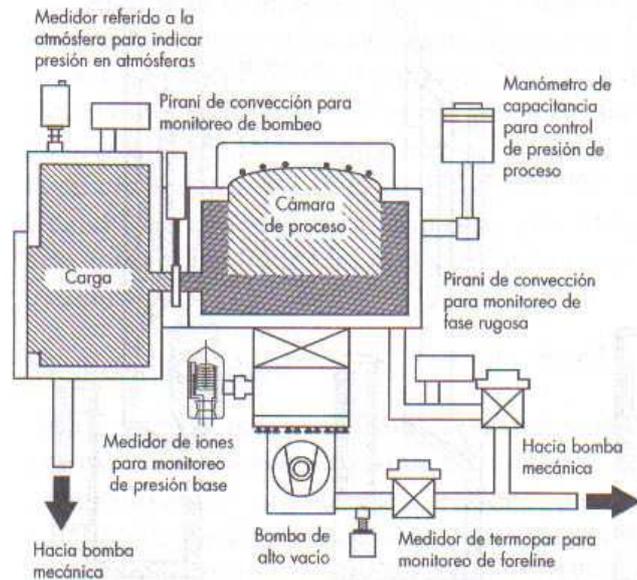


Fig. (24) Medidores de diafragma, técnica de vacío

Se analizarán los transductores utilizados en la deflexión de in diafragma y estos transductores utilizados en el régimen de vacío único e importante. Aquí se tratan los transductores con salida eléctrica, y la técnica de transducción es casi exclusivamente del cambio de capacitancia. Modelos recientes de alta precisión exceden el desempeño mostrado en la figura (24).

Se puede mostrar una unidad con escala completa de 0,1 torr hasta aproximadamente 1×10^{-6} torr, con incertidumbre de $\pm 10^{-7}$ torr. La deflexión en el centro del diafragma a 10^{-6} torr es aproximadamente de 0,02 mm (el diámetro del átomo de hidrogeno es de 0,25 mm) En lugar de tener las dos placas de capacitor a uno y otro lado del diafragma, estas unidades tienen ambas placas del mismo lado del diafragma en la forma de dos anillos concéntricos que forman un patrón de "ojo de toro". La presión medida está del otro lado del diafragma, así que el "lado de medición" no tiene electrodos y puede ser construido de materiales limpios, resistentes a la corrosión tales como INCONEL, para unidades de presión absoluta, el lado de referencia se evacua a alto vacío y sella, con un material "reactivo" en el interior para reaccionar con cualesquiera gases residuales y descargar productos para mantener la baja presión deseada. Las precisiones pueden ser del orden de 0,12% de la lectura más cualquier efecto de la temperatura. Los efectos de la temperatura no son insignificantes, así que algunas unidades incluyen un

sistema de control de temperatura de realimentación para lograr la precisión más alta posible. Por su precisión e independencia de las especies de gas, los medidores capacitivos son adecuados para patrones de calibración. Una unidad portátil incluye hasta tres medidores y un sistema de bombeo de vacío, lo que permite la calibración in situ de otros medidores en el intervalo de 10^{-5} a 1000 torr.

3.3.1.1 Medidor McLeod

El medidor McLeod es considerado como un patrón de vacío puesto que la presión puede ser calculada a partir de las dimensiones del medidor. No es directamente utilizable por debajo de 10^{-4} torr; sin embargo, las técnicas divisoras de presión permiten utilizarlo como patrón de calibración en intervalos considerablemente bajos. La técnica de compresión múltiple está siendo estudiada para ampliar su intervalo. La imprecisión de los medidores McLeod rara vez es de menos 1%, pero puede ser mucho más alta a presiones más bajas.

De las muchas variaciones de los medidores McLeod aquí se considera solo la básica. El principio de todos los medidores McLeod es la compresión de una muestra del gas a baja presión hasta una suficientemente alta para leerla como un simple manómetro. Cuando el émbolo es empujado hacia adentro, el nivel del mercurio sube, y sella una muestra de gas de volumen conocido V en el bulbo y el tubo capilar A.

Un movimiento más del émbolo comprime la muestra y el movimiento continúa hasta que el nivel del mercurio en el capilar B llega a la marca cero. Luego se calcula la presión desconocida, por medio de la ley de Boyle, por medio de las ecuaciones (28, 29 y 30).

$$p_i V = p A_t h \quad (28)$$

$$p = p_i + h \gamma \quad (29)$$

$$p_i = \frac{\gamma A_t h^2}{V - A_t h} \approx \frac{\gamma A_t h^2}{V} \quad (30)$$

Si $V \gg A_t h$.

Al utilizar el medidor McLeod, es importante tener en cuenta que si el gas medido contiene vapores que son condensados por el proceso de compresión, entonces la presión estará equivocada. Con excepción de este efecto, la lectura del medidor McLeod no es influida por la composición del gas. Sólo el diafragma y el medidor Knudsen comparten esta característica deseable de insensibilidad a la composición. Las desventajas principales del medidor McLeod son la falta de una lectura de salida continua y las limitaciones en las presiones más bajas mensurables. Cuando se emplea para calibrar otros medidores, se deberá utilizar una trampa fría de líquido y aire entre el medidor McLeod y el medidor que se va a calibrar para evitar el paso de vapor de mercurio. Aun cuando el medidor Knudsen se utiliza poco en la actualidad, se analiza brevemente puesto que es relativamente insensible a la composición del gas, y por lo tanto promete en cuanto a su desarrollo como estándar para presiones demasiado bajas para el medidor McLeod.

La presión desconocida p_i se introduce en una cámara que contiene placas fijas calentadas a una temperatura absoluta, temperatura que debe ser medida, y un aspa móvil restringida por un resorte cuya temperatura T_v también debe ser conocida. La separación entre las placas fijas y móviles debe ser menor que la trayectoria libre media del gas cuya presión se va a medir.

La teoría cinética de los gases muestra que las moléculas de gas rebotan en las placas calientes con una cantidad mayor de movimiento que las que lo hacen en el aspa móvil más fría, lo que produce una fuerza neta en el aspa móvil, la cual es medida por la deflexión de la suspensión del resorte.

El análisis muestra que la fuerza es directamente proporcional a la presión con T_f y T_v dadas, y que sigue por medio de la ecuación (31).

$$p_i = \frac{KF}{\sqrt{T_f/T_v - 1}} \quad (31)$$

Donde: F: es la fuerza y

K: es una constante.

El medidor Knudsen es insensible a la composición del gas excepto en la variación del coeficiente de acomodación de un gas a otro. El coeficiente de acomodación mide el grado al cual una molécula que rebota ha alcanzado la temperatura de la superficie. Este efecto da por resultado, por ejemplo, un cambio de 15% en la sensibilidad entre hielo y aire.

Los medidores Knudsen en la actualidad abarcan el intervalo de aproximadamente 10^{-8} a 10^{-2} torr. Un medidor comercial típico, mostrado esquemáticamente en la figura (25).

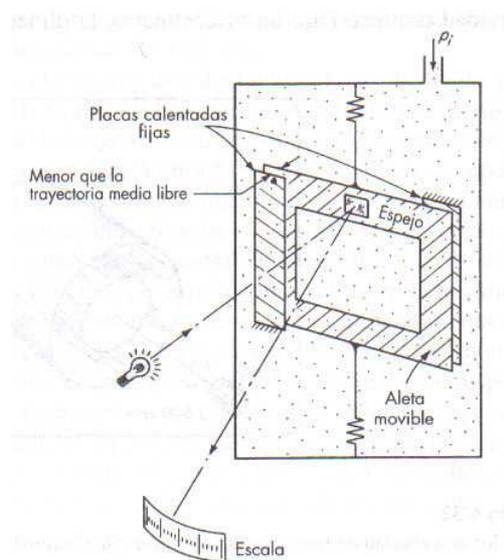


Fig. (25) Medidores de transferencia de la cantidad de movimiento (viscosidad), Instrumentación Industrial

A presiones de menos de 10^{-2} torr, la teoría cinética predice que la viscosidad de un gas será directamente proporcional a la presión. La viscosidad puede ser medida, por ejemplo, en función del par de torsión requerido para hacer girar, a velocidad constante, un cilindro concéntrico dentro de otro. (A presión de más de 1 torr, la viscosidad es independiente de la presión.)

La variación de la viscosidad con la presión es distinta para diferentes gases, por lo cual estos medidores deben ser calibrados para un gas específico, de este modo los medidores basados en principios de viscosidad pueden medir a

aproximadamente 10^{-7} torr, tales intervalos son característicos de equipo de laboratorio que requiere un gran cuidado en su uso.

Se calibra para aire seco y abarca el intervalo de 0 a 20 torr. El intervalo de 0 a 0,01 torr ocupa aproximadamente 10% de la escala total. La escala es calibrada no linealmente por que la mayor parte de su intervalo queda por encima de 10^{-2} torr y la viscosidad en este caso no es proporcional a la presión. Para permitir lecturas por encima de 1 torr, en las cuales la viscosidad tiende a volverse independiente de la presión, se utilizan ruedas de aspas en lugar de cilindros concéntricos en este medidor.

Estas ruedas producen un intercambio de cantidad de movimiento turbulento, el cual depende de la presión por encima de 1 torr y el intervalo útil se amplía a 20 torr. Para alcanzar el límite inferior cotizado (10^{-7} torr) de los medidores de viscosidad.

Un método mide la desaceleración de una bola rotatoria levitada inmersa en el gas. La unidad referida se utiliza principalmente como estándar de calibración en el intervalo de 5×10^{-7} a 0,01 torr.

Justo como para la viscosidad, cuando la presión de un gas se torna suficientemente baja de modo que la trayectoria libre media de las moléculas es grande comparada con las dimensiones pertinentes del aparato, la teoría cinética de los gases predice una relación lineal entre la presión y la conductividad térmica. Para un viscosímetro, la dimensión pertinente es el espacio libre entre las superficies relativamente móviles.

Para un medidor de conductividad, es el espacio libre entre las superficies calientes y frías. De nuevo, cuando la presión se incrementa lo suficiente, la conductividad se vuelve independiente de la presión del gas. La región de transición entre dependencia y no dependencia de la viscosidad y conductividad térmica en la presión se encuentra aproximadamente en el intervalo de 10^{-2} a 1 torr en aparatos de un tamaño conveniente para ser construidos.

La aplicación del principio de conductividad térmica se complica por la presencia simultánea de otro modo de transferencia de calor entre las superficies calientes y frías, es decir, radiación, tal como se muestra en la figura (26).

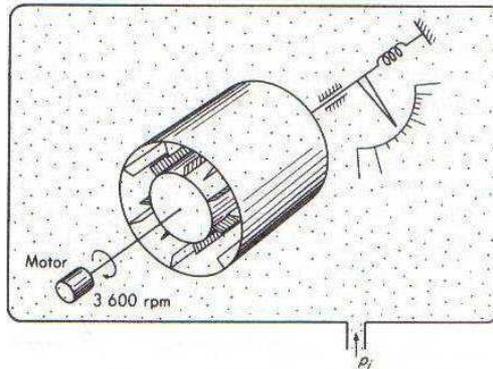


Fig. (26) Medidor de conductividad térmica, Instrumentación Industrial

La mayoría de los medidores utilizan un elemento caliente provisto de una entrada de energía constante. Este elemento adquiere una temperatura de equilibrio cuando la entrada de calor y las pérdidas por conducción y radiación se equilibran.

Las pérdidas por conducción varían con la composición y presión del gas; por lo tanto, para un gas dado, la temperatura de equilibrio del elemento caliente se transforma en una medida de presión, y esta temperatura es lo que en realidad se mide.

Si las pérdidas por radiación son una parte importante del total, entonces los cambios de conductividad inducidos por la presión, provocarían solo un leve cambio de temperatura y la sensibilidad será deficiente.

El análisis muestra que las pérdidas por radiación pueden ser reducidas al mínimo utilizando superficies de baja emisividad y haciendo que la temperatura de la superficie fría baje hasta donde sea práctico. Como las pérdidas por conducción y radiación dependen tanto de la temperatura de la superficie fría como de la caliente, la superficie fría puede ser mantenida a una temperatura constante conocida si la precisión total garantiza esta medida.

Una fuente mas de error se encuentra en la pérdida por conducción en caliente a través de cualquier soporte sólido mediante el cual está montado el elemento caliente. La importancia relativa de los efectos antes mencionados varía con los detalles de construcción del medidor. Los tipos más comunes de medidores de conductividad son el termopar, el termómetro de resistencia (Pirani) y el termistor.

En el termómetro de resistencia (Pirani), las funciones de calentamiento y medición de temperatura se combinan en un solo elemento. El elemento resistivo se compone de cuatro alambres de tungsteno enrollados, conectados en paralelo y soportados dentro de un tubo de vidrio al cual es admitido el gas. De nuevo, la superficie fría es el tubo de vidrio.

En general se conectan dos tubos idénticos en un circuito puente, como se muestra. Uno de los tubos se evacua a muy baja presión y luego se sella, en tanto que el otro admite el gas. El tubo evacuado actúa como compensador para reducir el efecto de los cambios de voltaje en la excitación del puente y de los cambios de temperatura en la lectura de salida.

La corriente que fluye por el elemento de medición lo calienta a una temperatura que depende de la presión del gas.

La resistencia eléctrica del elemento cambia con la temperatura y este cambio de resistencia desequilibra el puente. En general se utiliza el puente como dispositivo de deflexión y no como dispositivo nulo.

Para equilibrar el puente inicialmente, la presión en el elemento de medición se hace muy pequeña y el elemento de equilibrio se ajusta para salida cero. Cualquier cambio de presión desequilibrará el puente.

Desde luego, el medidor debe ser calibrado contra algún patrón. La calibración es no lineal y varía de un gas a otro. Los medidores Pirani abarcan el intervalo de aproximadamente 10^{-5} a 1 torr.

A presiones altas, los medidores de conductividad térmica pierden sensibilidad porque la conductividad es menos afectada por la presión.

En este intervalo, la transferencia de calor por convección se vuelve más dominante, aun cuando su cambio con la presión hace al medidor menos sensible.

Para recuperar algo de esta sensibilidad, los medidores Pirani, mejorados para convección, optimizan la distancia del filamento a la pared del tubo. Para obtener esta mejora, el medidor debe montarse con una orientación particular.

Los medidores Pirani en general son más precisos y más caros que los de termopar, así que se prefieren éstos para procesos sucios o corrosivos donde pueden ser reemplazados cuando se contaminan (suponiendo que la precisión es suficiente).

Los vacuómetros de termistor operan sobre el mismo principio que el Pirani, excepto que los elementos de resistencia son materiales semiconductores sensibles a la temperatura llamados termistores, en lugar de metales como tungsteno o platino. Los medidores de termistor se utilizan en el intervalo de 10^{-4} a 1 torr.

Un electrón que pasa a través de una diferencia de potencial adquiere una energía cinética proporcional a la diferencia de potencial.

Cuando esta energía es suficientemente grande y el electrón choca con la molécula del gas, existe una probabilidad de que el electrón hará que un electrón salga de la molécula y la convierta en un ion positivamente cargado.

En un medidor de ionización, el cátodo emite una corriente de electrones. Algunos de estos chocan con las moléculas del gas y hacen que salgan electrones secundarios y las moléculas se transforman en iones positivos, tal como se ve en la figura (27).

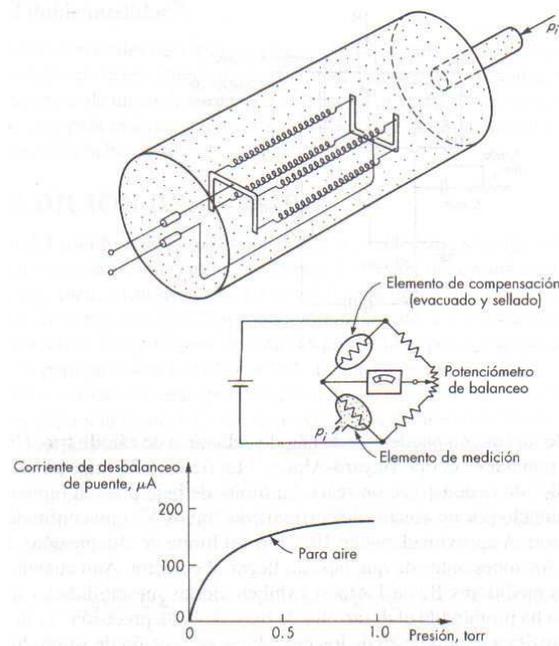


Fig. (27) Medidores de ionización, Instrumentación Industrial

En operación normal del medidor, los electrones secundarios son una parte insignificante de la corriente total de electrones; por lo tanto, en la práctica, la corriente del electrón de es la misma ya sea si se mide en el punto de emisión (cátodo) o en el punto recolector (ánodo).

El número de iones positivos formado es directamente proporcional a i_e y directamente proporcional a la presión del gas. Si se mantiene fija (como en la mayoría de los medidores), la tasa de producción de iones positivos (corriente de ion) es, para un gas dado, una medida directa del número de moléculas de gas por unidad de volumen y por lo tanto de la presión.

Los iones positivos son atraídos a un electrodo negativo cargado, el cual los reúne y transporta la corriente de los iones. La "sensibilidad" S de un medidor de ionización está definida por la ecuación (32).

$$S\Delta = \frac{i_i}{p i_e} \tag{32}$$

Donde:

i_i = es la corriente de ion, salida del medidor

i_e = es la corriente del electrón

p = es la presión del gas, entrada al medidor

De acuerdo con la definición usual de sensibilidad como salida/entrada, la "sensibilidad" sería S_i en lugar de S . Pero la definición de la ecuación hace que la "sensibilidad" sea independiente de i_e y dependiente solo de la construcción del medidor. Esto permite comparara la "sensibilidad" de diferentes medidores sin referencia a la i_e particular que se está utilizando. Una ventaja principal de los medidores de los medidores de ionización en general es su linealidad; es decir, la sensibilidad S es constante para un gas dado en un amplio intervalo de presiones. La sensibilidad sí varía de un gas a otro; si se considera el aire con un valor de referencia de 1,0 el hielo sería aproximadamente de 0,18 y el vapor de agua de 2,0.

Los medidores de ionización pierden linealidad a presiones de más de 0,001 torr, así que son más adecuados para presiones bajas.

Los medidores de ionización pueden ser de cátodo caliente o de cátodo frío. Un medidor de cátodo caliente muy popular es el tipo Bayard-Alpert. Su límite de baja presión (aproximadamente 10^{-10} torr) es determinado por un efecto de corriente de "rayos X" que confunde las lecturas por debajo de 10^{-10} torr.

A aproximadamente 10^{-3} torr (límite de alta presión), la alta densidad del gas dispersa los iones antes de que puedan llegar al colector. Aun cuando son ampliamente utilizados, los medidores Bayard-Alpert exhiben ciertas inestabilidades que provocan errores grandes y esto ha promovido el desarrollo de tipos de alta "precisión" (y de costo elevado).

El fabricante justifica el alto costo de los medidores en función de su productividad mejorada.

El medidor Philips de cátodo frío supera los problemas asociados con un filamento de alta temperatura con el uso de un cátodo frío y un potencial de alta aceleración (2000 V). Un campo magnético superpuesto hace que los electrones expulsados por el cátodo viajen en largas trayectorias helicoidales en dirección al ánodo.

Las largas trayectorias dan por resultado más colisiones con moléculas del gas y por lo tanto una mayor ionización. Se utilizan medidores Philips en el rango de 10^{-5} a 10^{-2} torr.

A presiones bajas, están disponibles medidores de cátodo caliente y cátodo frío tipo magnetrón. Como indica la figura (28).

Son útiles hasta aproximadamente 10^{-3} torr. Se emplean espectrómetros de masa incluso para presiones más bajas; permiten identificar las presiones parciales de componentes en mezclas de gas.

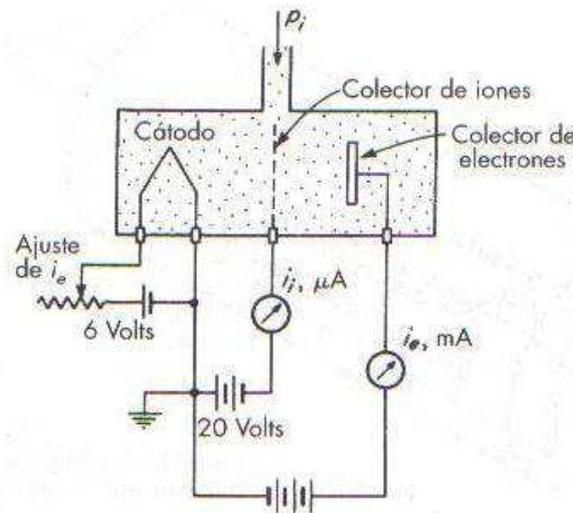


Fig. (28) Técnica de doble medidor, Instrumentación Industrial

Cuando grandes cantidades de vapor de agua (común durante las primeras etapas de evacuación) o hielo (provenientes de un sistema de detección de fugas) están presentes, se pueden procesar las lecturas simultáneas de un medidor de ionización y un medidor de termopar (que darán lecturas

incorrectas) no sólo para obtener una lectura de vacío correcta sino también para determinar la cantidad de humedad o hielo presente.

3.4 ANÁLISIS Y DEFINICIÓN DEL EQUIPO

El banco de pruebas está constituido de dos sistemas que sirven para sujeción con ventosas y extracción de gases por medio de vacío. El vacío lo genera una bomba mecánica de desplazamiento positivo de la que se derivan los dos sistemas.

3.4.1 Funcionamiento del sistema uno.

El sistema uno funciona cuando la válvula de distribución del sistema dos está cerrada y la válvula de paso de este sistema está abierta, el vacuostato está regulado para dar una orden a la bomba que se detenga cuando la presión de vacío en el tanque sea la requerida y esto se puede observar con la ayuda de un vacuometro, las válvulas reguladoras de caudal permiten controlar las variables indicadas.

3.4.2 Funcionamiento del sistema dos.

El sistema dos funciona cuando la válvula de paso del sistema uno está cerrada y la válvula de distribución de este sistema está abierta.

El requerimiento en este sistema es la presión de vacío final que es la requerida para diseñar la ventosa y esta presión se puede controlar por medio de la válvula reguladora de caudal. Una vez sujeto el elemento con la ventosa se realiza el cambio manual de posición de la válvula distribuidora para que se descomprima el sistema y la ventosa deje de sujetar el elemento.

3.5 DISEÑO NEUMÁTICO

3.5.1 Características de la bomba

La bomba se selecciono de acuerdo a las características técnicas que esta presenta teniendo estrecha relación con la disponibilidad de costos que se encuentran en el mercado, ya que estos costos varían de acuerdo a al caudal, presión de vacío y potencia. Puesto que es un banco de pruebas para laboratorio y algunas aplicaciones adicionales nuestros parámetros de diseño están dentro del rango de selección de la bomba con las características descritas a continuación:

Caudal:

$$Q = 5\text{m}^3/\text{h}$$

Presión de vacío de la bomba:

$$P_{\text{Vac}} = -27 \text{ inHg} = - 685,8 \text{ mm Hg} = - 914,32 \text{ mbar}$$

Potencia:

$$\text{Pot} = 0,5 \text{ HP}$$

3.5.2 Determinación del tipo de flujo

- Flujo sónico

$$P_1 + 1,013 \geq 1,896(P_2 + 1,013) \quad (33)$$

- Flujo subsónico

$$P_2 + 1,013 \leq P_1 + 1,013 \leq 1,896(P_2 + 1,013) \quad (34)$$

- Para elevación con la ventosa

$P_1 = -20 \text{ inHg} = -0,466 \text{ bar}$ Presión de vacío en el interior de la ventosa

$P_2 = -27 \text{ inHg} = -0,914 \text{ bar}$ Presión de vacío generado por la bomba

- Flujo sónico

$$-0,466 + 1,013 \geq 1,896(-0,914 + 1,013)$$

$$0,547 \geq 0,187$$

Es flujo sónico

- Flujo subsónico

$$P_2 + 1,013 \leq P_1 + 1,013 \leq 1,896(P_2 + 1,013) \quad (35)$$

$$-0,466 + 1,013 \leq 1,896(-0,914 + 1,013)$$

$$0,547 \leq 0,1877$$

3.5.3 Diseño de la tubería

Diámetro recomendado por el fabricante de la bomba

Diámetro interior:

$$\Phi_{\text{int}} = 8 \text{ mm}$$

3.5.4 Caracterización de Regímenes de Flujo

Una forma de caracterizar el Régimen de Flujo en un ducto es comparar los valores de Re o del producto P*D que se presentan o se presentarán en el mismo, con los valores mostrados a continuación:

$$\text{Re} > 2000 \qquad \text{flujo Turbulento} \qquad (36)$$

$$1000 < \text{Re} < 2000 \qquad \text{flujo de Transición} \qquad (37)$$

$$\text{Re} < 1000 \text{ y } P^*D > 0,741 \qquad \text{flujo Laminar} \qquad (38)$$

$$0,00741 < P^*D < 0,741 \qquad \text{flujo Intermedio} \qquad (39)$$

$$P^*D < 0,00741 \qquad \text{flujo Molecular} \qquad (40)$$

En donde:

[P] = mbar;

[D] = cm

Para nuestro sistema:

- Flujo Laminar:

$$P^*D > 0,741 \qquad (41)$$

Donde:

P: presión de vacío de la bomba

D: diámetro interno de la tubería

$$P \cdot D > 0.741 \quad (42)$$

$$914,32 \cdot 0,8 > 0,741$$

$$731,45 > 0,741$$

3.5.5 Diseño de la ventosa

- Diámetro de la ventosa

$$D = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot \frac{760}{P_v \cdot 1,013} \cdot \frac{W}{n} \cdot t \cdot 100} \quad (m.m) \quad (43)$$

Donde:

n: Número de ventosas

W: Peso de la pieza (Kgf)

t: Coeficiente de seguridad

P_v : Presión de vacío (mmHg)

- Elevación horizontal

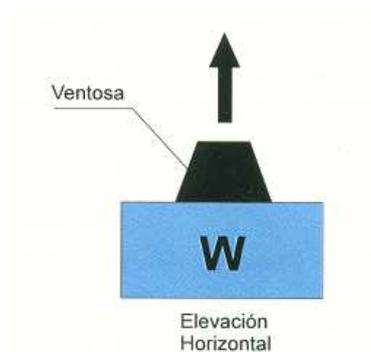


Fig. (29) Montaje de ventosas, International Training SMC, neumática

- Coeficiente de seguridad (t)

Dinámico ≥ 4

Estático ≥ 2

- Para un peso de 6 Kgf:

$$D = \sqrt{\frac{4}{\pi} * \frac{760}{508 * 1,013} * \frac{6}{1} * 2 * 100} \text{ (mm)}$$

D = 47 mm (diámetro calculado)

D = 50 mm (según tablas) (ANEXO I)

- Para un peso de 15 Kgf:

$$D = \sqrt{\frac{4}{\pi} * \frac{760}{508 * 1,013} * \frac{15}{1} * 2 * 100} \text{ (mm)}$$

D = 75 mm (diámetro calculado)

D = 75 mm (según tablas) (ANEXO I)

3.6 DISEÑO MECÁNICO

3.6.1 Diseño del tanque.

La construcción del tanque se realizó con acero inoxidable AISI 1010 (lámina), las propiedades básicas de este material se encuentran en la siguiente tabla:

TABLA 1. Propiedades del acero AISI 1010

PROPIEDADES ELÉCTRICAS		
Resistividad eléctrica	70-72	$(\mu Ohmcm)$
PROPIEDADES FÍSICAS		
Densidad	7,7-8,03	$\left(\frac{Kg}{m^3}\right) \times 10^3$
Temperatura apropiada de fusión	2600	$(^{\circ}F)$
PROPIEDADES MECÁNICAS		
Modulo de elasticidad	190-210	$\left(\frac{N}{m^2}\right) \times 10^6$

Razón de Poisson	0,2-0,3	
Esfuerzo de tracción	365	$\left(\frac{N}{m^2}\right) \times 10^3$
Esfuerzo fluencia	365	$\left(\frac{N}{m^2}\right) \times 10^3$
Alargamiento	20	%
Dureza Brinell	105	(HB)
PROPIEDADES TÉRMICAS		
Coefficiente de expansión térmica	15	$\left(\frac{cm}{cm \times ^\circ C}\right)$
Conductividad térmica	65,2	$\left(\frac{W}{m \times ^\circ K}\right)$
Calor específico	450	$\left(\frac{J}{Kg \times ^\circ K}\right)$

3.6.2 Determinación del tipo de cilindro

Los cilindros tienen relaciones del espesor t al diámetro interior d mayores o menores a $1/20$, es decir,

$$\frac{t}{d} < \frac{1}{20} \quad (44)$$

- para cilindros de pared delgada, y

$$\frac{t}{d} > \frac{1}{20} \quad (45)$$

- para cilindros de pared gruesa

Entonces:

$$\frac{t}{d} < \frac{1}{20} = \frac{2}{282} < \frac{1}{20} = 0,00709 < 0,05$$

Por lo tanto se considera como un cilindro de pared delgada para el diseño.

Cuando los cilindros de pared delgada, como los tanques al vacío, están sujetos a presión externa, el aplastamiento es el modo de falla y por lo tanto:

- El material obedece a la ley de Hooke
- El esfuerzo radial es cero.

3.6.3 Esfuerzos.

Los esfuerzos presentes en el caso de cilindros de pared delgada son:

- Esfuerzo tangencial

$$\sigma_t = \frac{P * r}{t} \quad (46)$$

- Esfuerzo radial

$$\sigma_r = \frac{P * r}{2t} \quad (47)$$

Donde:

Σ_t : esfuerzo tangencial en N/mm²

σ_r : esfuerzo radial en N/mm²

P es la presión que actúa en el cilindro, en este caso la presión de Riobamba en N/mm².

r : es el radio interno del cilindro en mm

t : es el espesor de la plancha en mm

Por lo tanto:

Presión atmosférica de Riobamba es de: $P = 102910 \text{ Pa} = 0,10291 \text{ N/mm}^2$

$P_{\text{vac}} = -20 \text{ inHg} = 67727,76 \text{ Pa} = 0,06772 \text{ N/mm}^2$

$P_T = P_{\text{vac}} + P_{\text{atm}}$

$P_T = (0,06772 + 0,10291) \text{ N/mm}^2 = 0,17063 \text{ N/mm}^2$

r = 141 mm, t = 2mm; entonces:

$$\sigma_t = \frac{0,17063 * 141}{2} = 12,02 \left(\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right)$$

$$\sigma_r = \frac{0,17063 * 141}{2 * 2} = 6,01 \left(\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right)$$

3.6.4 Deformaciones

3.6.4.1 Deformaciones unitarias

Puesto que el esfuerzo radial en los cilindros de pared delgada es cero, por lo tanto, la deformación radial también es cero y se tienen únicamente deformaciones unitarias tangenciales y longitudinales, vienen dadas por las siguientes expresiones respectivamente:

$$\varepsilon_t = \frac{\sigma_t}{E} - \mu \frac{\sigma_l}{E} \quad (48)$$

$$\varepsilon_l = \frac{\sigma_l}{E} - \mu \frac{\sigma_t}{E} \quad (49)$$

Donde:

ε_t : es la deformación unitaria tangencial

ε_l : es la deformación unitaria longitudinal

E : es el módulo de elasticidad del material

μ : es el coeficiente de Poisson

De la tabla obtenemos:

$$E = 28 \left(\frac{lb}{pu \lg^2} \right) \times 10^6 = 193043,58 \frac{N}{mm^2}$$

$$\mu = 0,3$$

Entonces:

$$\varepsilon_t = \frac{12,02}{193043,58} - 0,3 * \frac{6,01}{193043,58} = 5,29 \times 10^{-5}$$

$$\varepsilon_t = \frac{6,01}{193043,58} - 0,3 * \frac{12,02}{193043,58} = 1,24 \times 10^{-5}$$

3.6.4.2 Deformaciones totales

Las deformaciones totales tangenciales y longitudinales vienen dadas por las siguientes expresiones respectivamente

$$\delta_t = \varepsilon_t l \quad (50)$$

$$\delta_l = \varepsilon_l l \quad (51)$$

Donde:

$\bar{\delta}_t$: es la deformación total tangencial

$\bar{\delta}_l$: es la deformación total longitudinal

l : es longitud del cilindro (mm)

Entonces:

$$\delta_t = 5,29 \times 10^{-5} \times 400 = 2,116 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

$$\delta_l = 1,24 \times 10^{-5} \times 400 = 4,96 \times 10^{-3} \text{ mm}$$

El diseño del tanque según el código ASME Section VIII División 1, 2004 Edition, A06 Addenda Metric se encuentra en el Apéndice A

3.6.5 Selección de la bomba

$$P_{ot} = 202 \cdot Q_s \cdot \ln\left(\frac{P_o}{P_{VT}}\right) \quad (\text{KW}) \quad (52)$$

P_{bomba} = Potencia de la bomba

P_0 = Presión Atmosférica

P_{VT} = Presión de vacío

Q_s = Caudal de succión

$$P_{ot} = 202 \cdot Q_s \cdot \ln\left(\frac{P_o}{P_{VT}}\right)$$
$$P_{ot} = \frac{25L}{30s} \times \frac{1m^3}{1000L} \times 202 \times \ln\left(\frac{1029,1}{500}\right)$$
$$P_{ot} = 0,12KW$$

4.1 GENERALIDADES

La sencillez en la operación, la disponibilidad, la facilidad y la seguridad en el manejo de las herramientas y elementos neumáticos han propiciado la gran utilización de la energía de presión contenida en el aire comprimido. A pesar de esto, los sistemas de producción de aire comprimido se mantienen, muchas veces, en estado de descuido y no se les da el valor que se merecen, por lo que presentan malos rendimientos y elevado desperdicio de energía.

La conversión de energía, la generación, distribución y uso de aire comprimido están acompañados por pérdidas, lo cual se busca minimizar para lograr un rendimiento óptimo de la planta. El rendimiento de una instalación de aire comprimido depende de algunos factores como:

- Buen funcionamiento de los equipos.
- Cantidad de aire perdido por fugas y escapes.
- Pérdidas excesivas de carga que afectan la potencia de las herramientas y equipos.
- Selección y funcionamiento óptimo de los equipos consumidores de aire comprimido.
- Transmisión de energía con un mínimo de pérdidas.

El sistema neumático presenta los siguientes problemas: problemas de diseño de red, problemas de funcionamiento de herramientas y máquinas, problemas de mantenimiento.

Estos problemas se traducen en mayores costos de operación, mantenimiento y energía, y por supuesto en menor rendimiento.

Recomendaciones para un buen funcionamiento del sistema:

Eliminar todas las fugas de aire que se presentan en la red de distribución.

Las fugas pueden alcanzar hasta un 50% de la capacidad instalada en instalaciones descuidadas. Con una inversión moderada deben limitarse a menos del 5%.

- Eliminar líneas de distribución que no sean necesarias.
- Limpieza periódica de los filtros de aire.
- No usar aire comprimido para ventilación o limpieza.
- Controlar las mediciones de consumo para corregir anomalías.
- Determinar la presión mínima requerida para la operación satisfactoria de todos los equipos y efectuar su control.
- Dimensionar correctamente el tamaño de las líneas.
- Apagar los equipos cuando no se requiera aire comprimido.
- La temperatura del aire de aspiración no debe ser mayor a la recomendada por el fabricante.
- Instalar separadores de condensado y drenajes en los extremos de los ramales con el fin de eliminar la necesidad de soplar las líneas para extraer el agua.

4.1.1 Oportunidades de ahorro

Reducción de fugas en los sistemas neumáticos

El caudal total que circula en los equipos de aire es una función de la carga del equipo, más las fugas. Las fugas de aire son la mayor y más importante fuente de desperdicio de energía en la mayoría de estos sistemas.

4.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE CONSTRUCCIÓN

Los principales componentes a utilizar en el banco de pruebas para control de vacío son las siguientes:

- Bomba de vacío
- Mangueras

- Neplos de ¼ de pulgadas
- Vacuometros
- Vacuostato
- Válvulas de caudal
- Válvulas de paso
- Válvula de distribución 3x2
- Tanque de presión
- Transporte para el tanque
- Filtro
- Ventosas
- Tablero de electricidad
- Fuente de poder, relé, bobina, pulsadores, contactor

4.2.1 Distribución de cada uno de los instrumentos

En el banco de pruebas para control de vacío consta de dos vacuometros, el uno que funciona con el tanque y el otro con la ventosa. Según el equipo desarrollado la bomba se encuentra en la parte central de ella, y la caja eléctrica en la parte superior del equipo para poder tener un buen espacio físico y al mismo tiempo poder realizar las practicas con mayor facilidad.

En el tanque están situados instrumentos como el vacuometro, el vacuostato y válvulas de paso.

El vacuostato a más de estar situada en el tanque se encuentra conectado con la caja eléctrica.

Existen válvulas de caudal que funcionan para el tanque y la otra con respecto a la ventosa ya sea de 5 o 10 Kg.

También consta de una válvula distribuidora 3x2 el cual permite el funcionamiento a la ventosa y respecto al tanque le corta el paso

Junto a la bomba trabaja el filtro para que no exista contaminación con el aceite de la bomba.

El circuito eléctrico podemos observar en la figura siguiente:

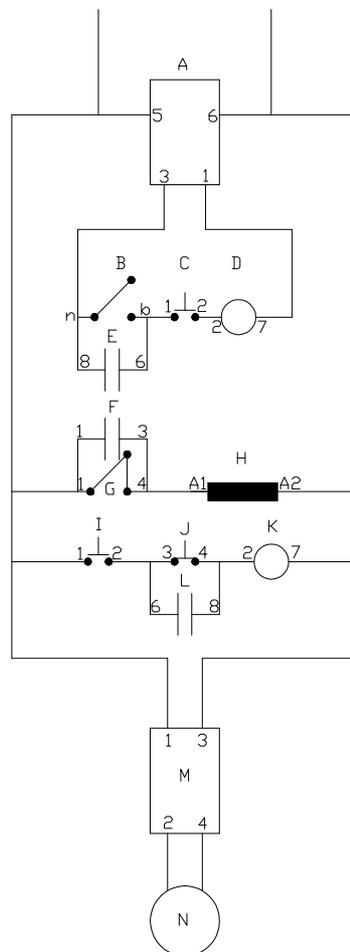


Fig. (30) Circuito eléctrico. (Descripción del circuito en Anexo II)

Con respecto al sistema de circuito eléctrico, se instaló una bobina, la fuente de poder, un relay de 24V, un relay de 110V, un breaker y un contactor al que están conectados en una caja eléctrica y por medio de cables eléctricos.

A más de eso en la parte de afuera de la caja eléctrica están conectados tres pulsadores por medio de cables eléctricos, en el cual dos funcionan como pulsadores manuales y uno como pulsador automático.

4.3 MONTAJE DEL SISTEMA PARA CONTROL DE VACÍO

4.3.1 Requerimientos de montaje

Como requerimientos de montaje del banco de pruebas para el control de vacío se necesitó:

- Las herramientas necesarias y adecuadas para el armado de los diferentes acoples, accesorios e instrumentos que van a formar el sistema de vacío.
- Nivel adecuado de aceite en la bomba que se controla a través de un medidor.
- La construcción de una base adecuada para el sistema.

4.3.2 Análisis del área a utilizar

El banco de pruebas para control de vacío será instalado en el laboratorio de térmicas que actualmente está ubicado en el edificio de la escuela de mantenimiento el cual se encuentra conformado por:

- Laboratorio de instrumentos
- Laboratorio de electrotecnia y máquinas eléctricas
- Laboratorio de computación
- Aula azul
- Oficinas de la escuela de mantenimiento
- Entre otros.

El área del laboratorio de térmicas es de, donde se encuentran ubicados los diferentes equipos construidos por estudiantes de la Escuela de Ingeniería Mecánica, siendo los mismos:

4.3.3 Servicios y suministros

El servicio y suministro necesario para el funcionamiento del banco de pruebas para control de vacío es 110V, el mismo que se encuentra disponible en el laboratorio de térmicas de la escuela de Ingeniería Mecánica. También hay que tener en cuenta una correcta iluminación para evitar accidentes de los estudiantes al momento de realizar alguna práctica en el equipo y para una correcta lectura de los instrumentos.

No es necesario ningún otro servicio para el correcto funcionamiento del banco de pruebas. En el sistema de vacío requiere de una parte eléctrica la cual está constituida por:

FUENTE DE PODER

Muchos circuitos necesitan para su funcionamiento, una fuente de poder o alimentación. Es el componente eléctrico/electrónico que transforma la corriente de la red eléctrica, a través de unos procesos electrónicos en el que se consigue reducir la tensión de entrada a la fuente (220V o 125V) que son los que nos otorga la red eléctrica por medio un transformador en bobina a 5 a 12 voltios.



Fig. (31) Fuente de Poder

RELÉ

Conmutador eléctrico especializado que permite controlar un dispositivo de gran potencia mediante un dispositivo de potencia mucho menor. Un relé está formado por un electroimán y unos contactos conmutadores mecánicos que son impulsados por el electroimán. Éste requiere una corriente de sólo unos cientos de miliamperios generada por una tensión de sólo unos voltios, mientras que los contactos pueden estar sometidos a una tensión de cientos de voltios y soportar el paso de decenas de amperios. Por tanto, el conmutador permite que una corriente y tensión pequeñas controlen una corriente y tensión mayores. Técnicamente un relé es un aparato electromecánico capaz de accionar uno o varios interruptores cuando es excitado por una corriente eléctrica



Fig. (32) Relé

CONTACTOR

Su función

Los contactores eléctricos son dispositivos electromecánicos ubicados en el panel de control de la grúa, que se “abren” y “cierran” al oprimir los botones de la estación de control (botonera). Cuando un contactor eléctrico está “cerrado” el circuito se cierra y el motor impulsor se enciende.

A lo largo de los años, los fabricantes de contactores eléctricos han jugado muchos “juegos de marketing”. Históricamente, 3 tipos de contactores eran fabricados:

- 1) contactores tipo NEMA,
- 2) contactores de propósito definido, y
- 3) contactores de propósito general.

La gente de marketing decía que los contactores NEMA eran los mejores, y los de propósito general los peores. De hecho, los contactores eran muy similares en su construcción, pero estaban clasificados de manera diferente. Para una potencia dada, un contactor tipo NEMA estaba clasificado para proveer 10 millones de arranques/paradas. Un contactor de propósito general estaba clasificado para solo 1 millón de arranques/paradas.



Fig. (33) Contactor

BOMBA DE PALETAS

Tienen la misma estructura que las bombas de paletas, pero el movimiento radial de las paletas debe ser forzado, mientras que en las bombas se debe a la fuerza centrífuga.



Fig. (34) Motor de Paletas

PULSADORES

Existen pulsadores para conexiones eléctricas del tipo que comprende un mando portador de los contactos móviles y que juega axialmente en una caja portadora de los contactos fijos, solucionándose con el problema de deslizamiento del mando y de acoplamiento del pulsador a distinto grosor de pared



Fig. (35) Pulsadores

MANGUERAS

En un sistema de vacío o alto vacío, el correcto dimensionado de las líneas que unen el sistema de bombeo con el recinto de proceso es por lo menos tan importante como determinar correctamente la velocidad de bombeo necesaria para el proceso.

Un incorrecto dimensionado de las líneas puede llevar a que, aun cuando la velocidad del sistema de bombeo instalado sea mucho mayor que la requerida, no se alcance la presión de trabajo o se tenga una presión inestable durante el proceso.



Fig. (36) Mangueras

FILTRO

Es un sistema para la maquinas que ayuda para que no traspase el polvo como para este caso la bomba o alguna otra máquina de uso tenga un buen funcionamiento.



Fig. (37) Filtro

VENTOSAS

La ventosa es el elemento final utilizando en la manipulación por vacío. Constituye un sistema eficaz, simple y económico para el movimiento de los materiales más variados y es, por tanto, una alternativa a métodos de manipulación más complicados y costosos.

La ventosa puede elevar, trasladar y coger objetos de peso variable, desde pocos gramos, hasta varios Kg. Su selección debe realizarse según los parámetros siguientes:

- La fuerza a elevar.
- La posición del objeto (horizontal o vertical)
- La forma geométrica.
- La compatibilidad del material
- La velocidad lineal o angular de trasladación y el frenado.



Fig. (38) Ventosas

VÁLVULAS REGULADORAS DE CAUDAL

En maquinas hay que disponer de no solo una velocidad adecuada de funcionamiento, sino de la posibilidad que variaría en una gama adecuada a cada proceso en el funcionamiento.

Esto esta directamente ligado al control del caudal en el sistema y en sus ramales. La forma mas precisa de regular el caudal de un sistema, el uso de una válvula reguladora de caudal. Según la velocidad requerida por el actuador determinará un caudal.



Fig. (39) Válvula de caudal

VACUÓMETROS

Instrumento medidor de presión tarado para valores inferiores a la presión atmosférica. Se trata, pues, de un manómetro adecuado para medidas negativas de presiones relativas.



Fig. (40) Vacuómetros

VACUÓSTATOS

Un vacuostato no es más que un presóstato para trabajar a presiones muy bajas o, lo que es lo mismo, a alto grado de vacío. Al igual que el presóstato tiene una presión de consigna que puede ser regulable o fija y, cuando la presión llega al valor de consigna, hace conmutar un contacto de tipo relé. La conmutación de ese contacto puede ser utilizada para cualquier proceso que nos interese: arrancar y parar la bomba de vacío, abrir o cerrar una determinada válvula, etc. También existen vacuostatos con dos consignas: máxima y mínima, y también existen para dar señales neumáticas.



Fig. (41) Vacuostatos

VÁLVULAS DE PASO

Una válvula de paso es un sistema mecánico gracias al cual se puede regular el flujo de líquidos y gases que circulan a través de una tubería. El proceso se efectúa mediante una pieza que tapa de forma parcial o completa el orificio de la cañería.

Por este sistema, se puede controlar el paso tanto de los líquidos y gases más inocuos hasta de los más corrosivos. Según las necesidades, que vienen determinadas por el tipo de sustancia y la cantidad de flujo de ésta, hay disponible una amplia gama de válvulas.

VÁLVULAS DISTRIBUIDORAS.

Una válvula de distribución determina el paso de aire entre sus vías abriendo, cerrando o cambiando sus conexiones internas.

Las válvulas se definen en términos de número de vías, número de posiciones, su posición normal (no activada) y el método de activación.



Fig. (42) Válvulas distribuidora 3x2

4.4 GUÍAS DE LABORATORIO

Práctica # 1

Objetivos:

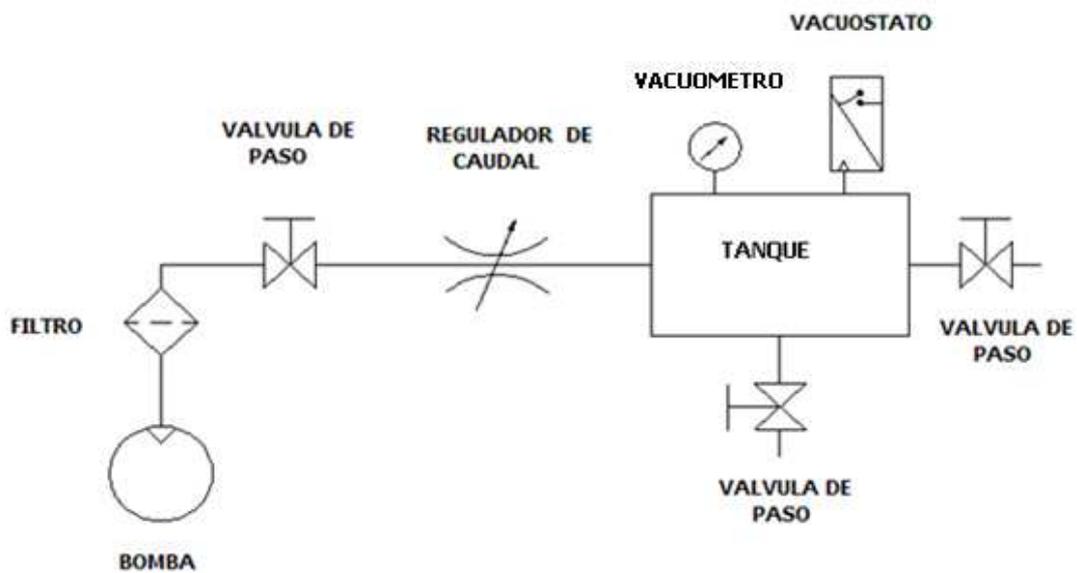
- Aplicar correctamente el procedimiento de puesta en marcha del equipo
- Conocer las reglas de seguridad para obtener un correcto manejo de la máquina

Instrumentos y Equipos:

- Bomba de vacío
- Vacuómetros
- Vacuostato
- Tanque de vacío
- Válvulas de paso
- Mangueras
- Válvulas de Caudal
- Filtro

- Válvula distribuidora 3x2
- Conectores
- Sistema de control

Esquema:



(Descripción del esquema en Anexo III)

Marco Teórico:

Las presiones de vacío son presiones manométricas menores que la atmosférica, que se miden con los mismos tipos de elementos que se utilizan para medir presiones superiores a la atmosférica.

Los valores que corresponden al vacío aumentan al acercarse al cero absoluto y por lo general se expresa a modo de inHg, metro de agua, etc.

Desarrollo:

- Verificar el aceite para que el motor de paletas tenga un buen funcionamiento.
- Realizar la unión del vacuometro y vacuostato con el tanque.
- Unir las válvulas de paso en el tanque.
- Realizar la unión de las mangueras con los instrumentos de vacío.
- Conectar el vacuostato con el sistema de vacío.
- Verificar la conexión de los cables eléctricos como también de su interruptor.
- Después de haber comprobado cerrar la válvula de distribución, abrir la válvula de paso aplastar ON y la bomba comenzara a generar vacío hasta que el vacuostato alcance la presión seteada y ordene para la bomba.

Conclusiones y Recomendaciones:

Las conclusiones y recomendaciones será un aporte personal del estudiante de la Facultad de Mecánica gracias a su experiencia y expectativa adquirida en este laboratorio.

Bibliografía:

Práctica # 2

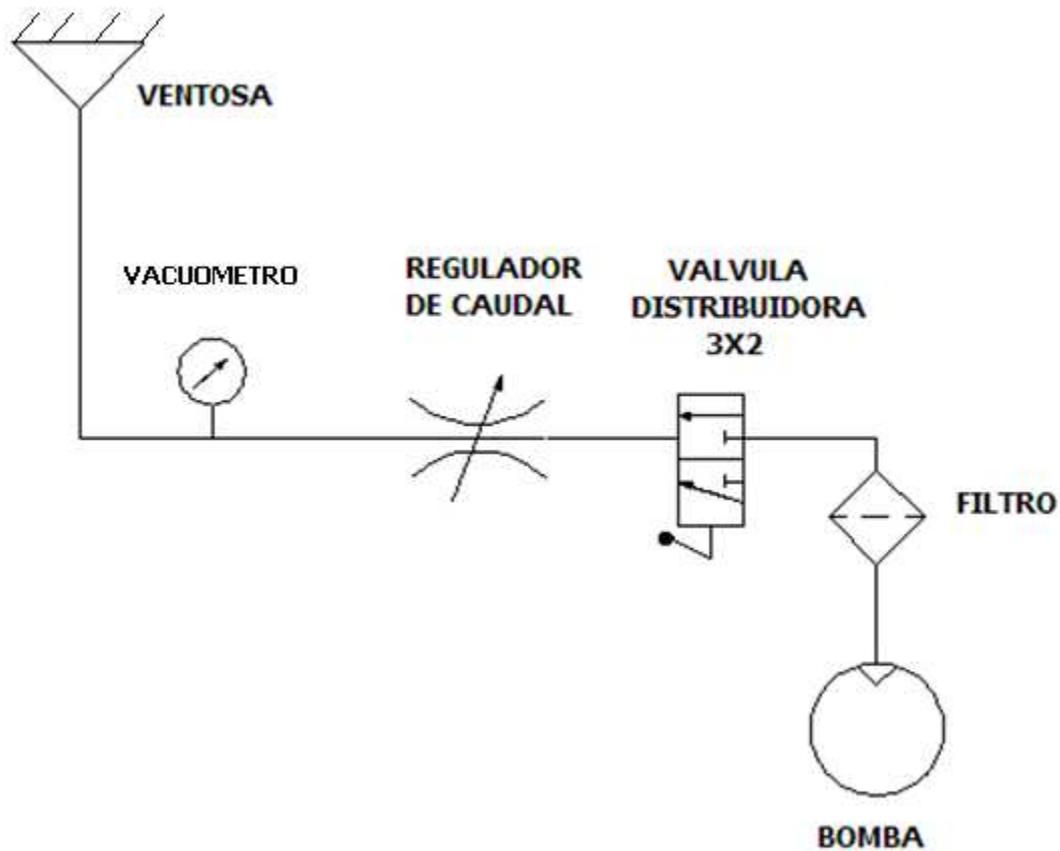
Objetivo:

- Demostrar el efecto de la presión de vacío succionando pesos adecuados

Instrumentos y Equipos:

- Bomba de vacío
- Vacuometro
- Válvula de paso
- Mangueras
- Válvula de Caudal
- Filtro
- Válvula distribuidora 3x2
- Conectores
- Ventosas de 5 y 10 Kg
- Sistema de control

Esquema:



(Descripción del esquema en Anexo III)

Marco Teórico:

La ventosa es el elemento final utilizado en la manipulación por vacío.

Constituye un sistema eficaz, simple y económico para el movimiento de los materiales más variados y es, por tanto, una alternativa a métodos de manipulación más complicados y costosos. La ventosa puede elevar, trasladar y coger objetos de peso variable, desde pocos gramos, hasta varios kg.

Su selección debe realizarse según los parámetros siguientes:

- La fuerza a elevar.
- La posición del objeto (horizontal o vertical)
- La forma geométrica.
- La compatibilidad del material
- La velocidad lineal o angular de traslación y el frenado.

Desarrollo:

- Verificar que el motor de paletas este con su aceite apropiado y así que tenga un buen funcionamiento.
- Cerrar la válvula de paso para que no circule aire por el tanque de vacío.
- Verificar la conexión de los cables eléctricos como también de su interruptor.
- Colocar la ventosa encima de un peso dado y aplastar ON, en ese momento comenzara a crear vacío donde el vacuometro indicara el vacío generado en el interior de la ventosa.

Conclusiones y Recomendaciones:

Las conclusiones y recomendaciones será un aporte personal del estudiante de la Facultad de Mecánica gracias a su experiencia y expectativa adquirida en este laboratorio.

Bibliografía:

Practica # 3

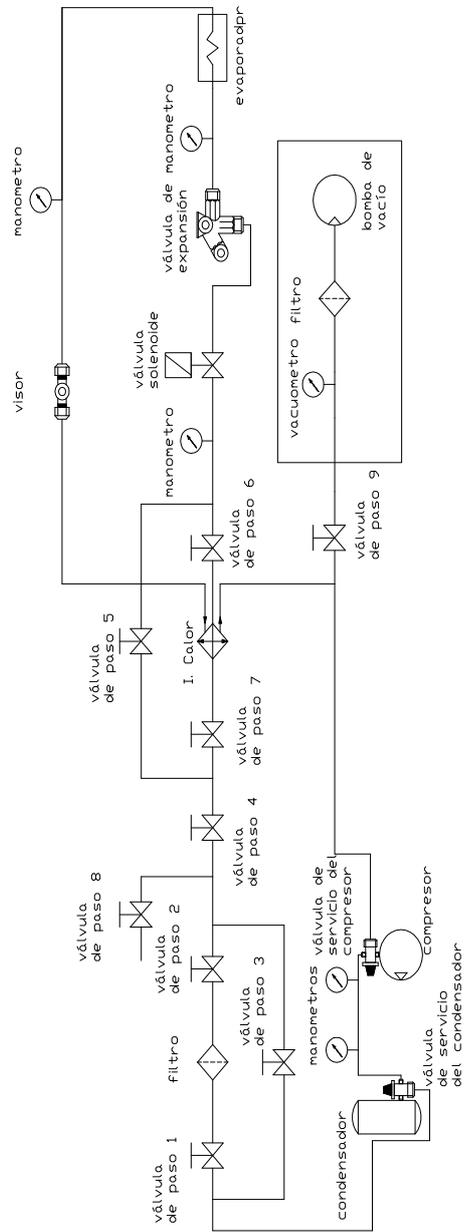
Objetivos:

- Evacuar el aire seco y la humedad de un sistema de refrigeración.

Instrumentos y Equipos:

- Bomba de vacío
- Vacuometro
- Mangueras
- Válvulas de Caudal
- Filtro
- Conectores
- Sistema de control

Esquema:



Marco Teórico:

La humedad en los sistemas de refrigeración es perjudicial ya que los refrigerantes utilizados en estos sistemas circulan a temperaturas inferiores a cero grados centígrados produciendo el congelamiento del vapor de agua presente en el aire atrapado en las tuberías de los sistemas razón por la cual por medio de un sistema de vacío adecuado (con una bomba de paletas de desplazamiento positivo) se puede generar el vacío necesario para la extracción completa de la humedad y de esta manera evitar el problema de la presencia de hielo en las tuberías.

Desarrollo:

- Verificar que no existan fugas en la conexión entre el sistema de vacío el sistema de refrigeración.
- Cerrar las válvulas de servicio de la unidad condensadora.
- Las válvulas de paso # 1, 2 y 8 están cerradas.
- Todas las válvulas de paso abiertas incluyendo la solenoide N.C.
- Para enclavar la solenoide, desconectar el circuito de potencia, desconectar los cables de potencia (blancos) a los sólidos identificados con 220,110 V.
- Poner en funcionamiento el circuito de control (ON).
- Existe vacío a través de la válvula #9.
- Una vez hecho el vacío desconectar el sistema

Conclusiones y Recomendaciones:

Las conclusiones y recomendaciones será un aporte personal del estudiante de la Facultad de Mecánica gracias a su experiencia y expectativa adquirida en este laboratorio.

Bibliografía:

4.5 PRUEBAS

4.5.1 Prueba de vacío en un tanque

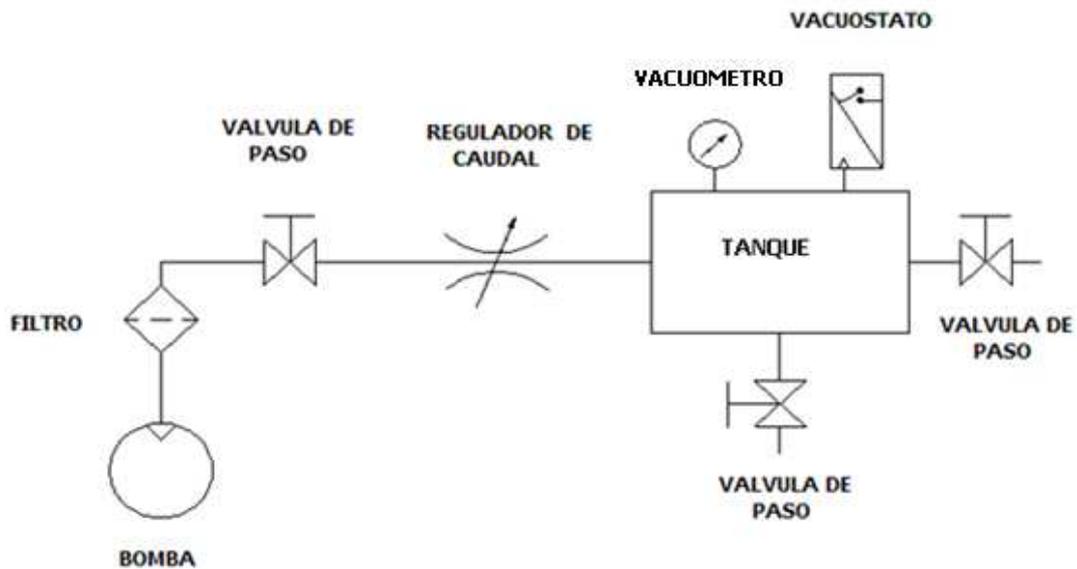
Objetivos:

- Aplicar correctamente el procedimiento de puesta en marcha del equipo
- Conocer las reglas de seguridad para obtener un correcto manejo de la máquina

Instrumentos y Equipos:

- Bomba de vacío
- Vacuómetros
- Vacuostato
- Tanque de vacío
- Válvulas de paso
- Mangueras
- Válvulas de Caudal
- Filtro
- Válvula distribuidora 3x2
- Conectores
- Sistema de control

Esquema:



(Descripción del esquema en Anexo III)

Marco Teórico:

La presión de vacío es presión manométrica menor que la atmosférica, que se mide con los mismos tipos de elementos que se utilizan para medir presiones superiores a la atmosférica, a estos elementos se los conoce como vacuostatos.

Los valores que corresponden al vacío aumentan al acercarse al cero absoluto y por lo general se expresa a modo de inHg, metro de agua, etc.

Desarrollo:

- Verificar el aceite para que el motor de paletas tenga un buen funcionamiento
- Realizar la unión del vacuometro y vacuostato con el tanque
- Unir las válvulas de paso en el tanque
- Realizar la unión de las mangueras con los instrumentos de vacío
- Conectar el vacuostato con el sistema de vacío
- Verificar la conexión de los cables eléctricos como también de su interruptor.
- Colocar la ventosa encima de un peso dado y aplastar ON, en ese momento comenzara a crear vacío donde el vacuometro indicara el vacío generado en el interior de la ventosa.

Resultados:

En esta práctica se pudieron medir y registrar tiempos a diferentes presiones de vacío para lograr una evacuación del aire del tanque seteando un vacuostato para obtener un nivel de presión de vacío deseado en el tanque.

4.5.2 Prueba sujeción por ventosas

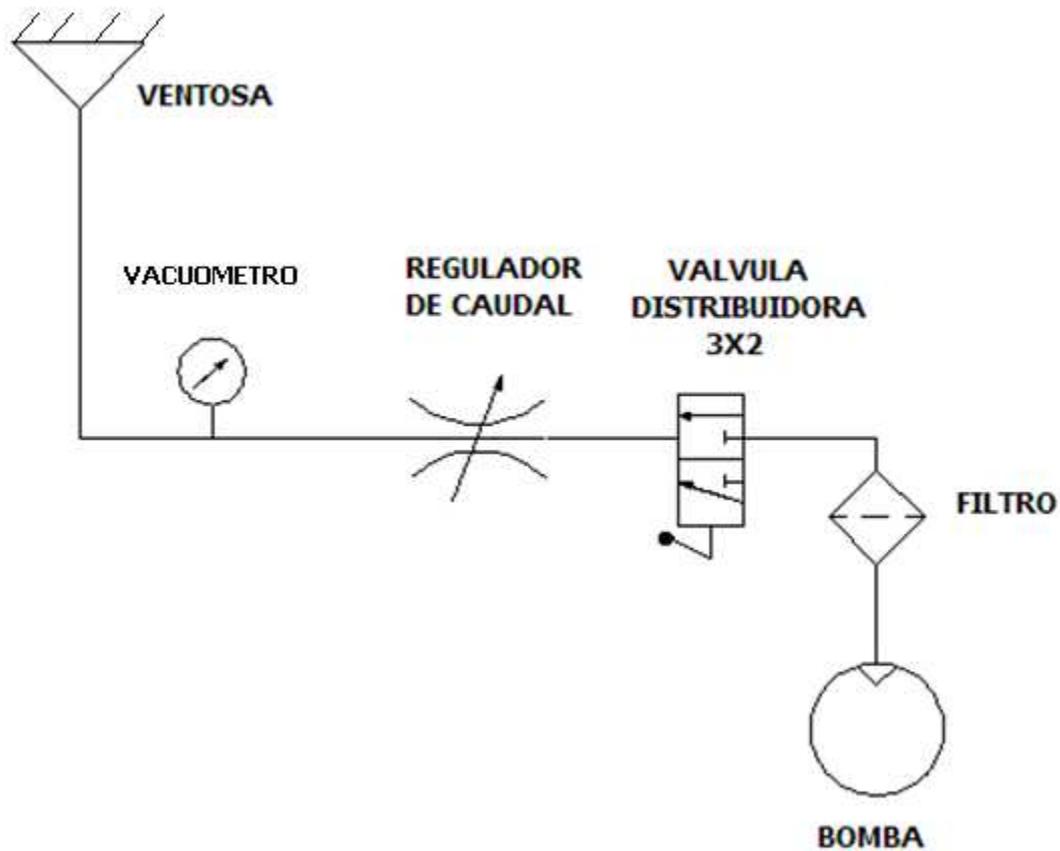
Objetivo:

- Demostrar el efecto de la presión de vacío succionando pesos adecuados

Instrumentos y Equipos:

- Bomba de vacío
- Vacuometro
- Válvulas de paso
- Mangueras
- Válvulas de Caudal
- Filtro
- Válvula distribuidora 3x2
- Conectores
- Ventosas de 5 y 10 Kg
- Sistema de control

Esquema:



(Descripción del esquema en Anexo III)

Marco Teórico:

La ventosa es el elemento final utilizado en la manipulación por vacío.

Constituye un sistema eficaz, simple y económico para el movimiento de los materiales más variados y es, por tanto, una alternativa a métodos de manipulación más complicados y costosos. La ventosa puede elevar, trasladar y coger objetos de peso variable, desde pocos gramos, hasta varios kg.

Su selección debe realizarse según los parámetros siguientes:

- La fuerza a elevar.
- La posición del objeto (horizontal o vertical)
- La forma geométrica.
- La compatibilidad del material
- La velocidad lineal o angular de traslación y el frenado.

Desarrollo:

- Verificar que el motor de paletas este con su aceite apropiado y así que tenga un buen funcionamiento.
- Cerrar la válvula de paso para que no circule aire por el tanque de vacío
- Verificar la conexión de los cables eléctricos como también de su interruptor
- Colocar la ventosa encima de un peso dado y aplastar ON, en ese momento comenzara a crear vacío donde el vacuometro indicara lo que genera y la ventosa succionara.

Resultados:

En estas prácticas los resultados obtenidos en la sujeción por ventosas nos muestran que las ventosas funcionan eficientemente a una presión de vacío de -20 inHg y 6 Kg. para la ventosa de 50 mm y 15 Kg. para la ventosa de 75 mm.

4.5.3 Prueba de vacío en un sistema de refrigeración

Objetivos:

- Evacuar aire seco y la humedad de un sistema de refrigeración

Instrumentos y Equipos:

- Bomba de vacío
- Vacuometro
- Mangueras
- Válvulas de Caudal
- Filtro
- Conectores
- Sistema de control

Marco Teórico:

La humedad en los sistemas de refrigeración es perjudicial ya que los refrigerantes utilizados en estos sistemas circulan a temperaturas inferiores a cero grados centígrados produciendo el congelamiento del vapor de agua presente en el aire atrapado en las tuberías de los sistemas razón por la cual por medio de un sistema de vacío adecuado (con una bomba de paletas de desplazamiento positivo) se puede generar el vacío necesario para la extracción completa de la humedad y de esta manera evitar el problema de la presencia de hielo en las tuberías.

Desarrollo:

- Verificar que no existan fugas en la conexión entre el sistema de vacío el sistema de refrigeración.
- Cerrar las válvulas de servicio de la unidad condensadora.
- Las válvulas de paso # 1, 2 y 8 están cerradas.
- Todas las válvulas de paso abiertas incluyendo la solenoide N.C.
- Para enclavar la solenoide, desconectar el circuito de potencia, desconectar los cables de potencia (blancos) a los sólidos identificados con 220,110.
- Poner en funcionamiento el circuito de control (ON).
- Existe vacío a través de la válvula #9.
- Una vez hecho el vacío desconectar el sistema.

Resultados:

En esta práctica se pudo observar que se logró un vacío, para el sistema de refrigeración, de -20 inHg en aproximadamente 20 minutos tratando que sea lo más impermeable posible el sistema de vacío para evitar el ingreso de humedad previo a la carga de refrigerante.

4.6 TABULACIÓN DE RESULTADOS.

4.6.1 Tiempo de carga para el tanque a diferentes presiones de vacío

PRESIONES	TIEMPO	TIEMPO PROMEDIO
P = 10 inHg	T ₁ = 14,15 s	t _p = 14,133 s
	T ₂ = 14,07 s	
	T ₃ = 14,18 s	
P = 15 inHg	T ₁ = 39,32 s	t _p = 39,45 s
	T ₂ = 39,47 s	
	T ₃ = 39,56 s	

4.7 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

4.7.1 Resultados de vacío en el tanque

$$Q_{suction} = \frac{P_{or}}{202 \cdot \ln\left(\frac{P_o}{P_{VT}}\right)} \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad (53)$$

- Para una presión de vacío de -10 inHg :

$$Q_s = \frac{V_T}{T} \ln\left(\frac{P_o}{P_{VT}}\right)$$

$$Q_s = \frac{0,37KW}{202 \cdot \ln\left(\frac{1029,1}{650}\right)}$$

$$Q_s = 3,98 \times 10^{-3} \frac{m^3}{s} \times \frac{1000L}{1m^3}$$

$$Q_s = 3,986 \frac{L}{s}$$

- Para una presión de vacío de - 15 inHg :

$$Q_s = \frac{V_T}{T} \ln\left(\frac{P_o}{P_{VT}}\right)$$

$$Q_s = \frac{0.37KW}{202 \cdot \ln\left(\frac{1029,1}{498}\right)}$$

$$Q_s = 2,523 \times 10^{-3} \frac{m^3}{s} \times \frac{1000L}{1m^3}$$

$$Q_s = 2,523 \frac{L}{s}$$

4.7.2 Resultados analizados por medio de las ventosas

- Para la ventosa de 50 mm

Según el diseño la ventosa de 50 mm es eficiente para sujetar una pieza de 6 Kg con una de -20 inHg

- Para la ventosa de 75 mm

Según el diseño la ventosa de 75 mm es eficiente para sujetar una pieza de 15 Kg con una de -20 inHg

4.7.3 Resultados analizados en el sistema de refrigeración

Se pudo verificar por medio de la prueba de vacío realizada al banco de refrigeración que se pudo extraer satisfactoriamente la humedad presente en las tuberías del sistema llegando a una presión de vacío de -20 inHg estando esta presión dentro de los rangos requeridos para esta prueba, es decir no sobrepasar una presión de -25 inHg

4.8 MANUAL DE MANTENIMIENTO DEL EQUIPO.

4.8.1 Introducción:

Se recomienda la lectura completa de esta guía que le ayudara a optimizar el rendimiento, garantizar el uso seguro y orientarlo en el mantenimiento preventivo del equipo.

4.8.2 Inspección del Equipo:

Inspeccione en busca de daños aparentes u ocultos, para que los problemas mecánicos y eléctricos sean corregidos antes de operar el equipo.

4.8.3 Aplicación:

Este equipo debe ser utilizado para la generación de vacío, hasta el máximo indicado en la placa de la bomba.

4.8.4 Características técnicas:

Modelo de la bomba	9601038
Caudal de la bomba	5 m ³ /h
Peso de la bomba	9 Kg.
Potencia del motor	½ Hp
Revoluciones del motor	1700 RPM
Aceite Lubricante	Tellus 68 de SHELL
Tensión	115/230 V
Volumen del Tanque	25 litros
Material del tanque	Acero AISI 1010

4.8.5 Principales Componentes y sus Funciones

- 1.-Bomba de Vacío.- Absorbe el aire del tanque con la finalidad de generar vacío.
- 2.-Tanque de vacío.- Acumula presión negativa.
- 3.-Sistema de control.- Transforma una señal neumática en una señal eléctrica para controlar el encendido y el apagado de la bomba

- 4.-Vacuómetro del tanque.- Indica la presión de vacío que se encuentra en el tanque
- 5.-Vacuometro de la ventosa.- Indica la presión en el momentos que esta succionando la ventosa de la atmósfera
- 6.-Válvula de paso.- Regula el flujo de aire
- 7.-Válvula de escape.- Introduce aire del medio ambiente y desactiva los accesorios que vamos a utilizar
- 8.-Manguera para prácticas.- Sirve para la conexión de los instrumentos en todo el equipo
- 9.-Cable eléctrico de conexión.- Por medio de este cable se transmite la señal eléctrica para el encendido y apagado que manda el contactor de la bomba
- 10.-Cable eléctrico.- Sirve para el encendido del equipo
- 11.-Contactor.- Sirve para controlar el encendido y apagado de la bomba en función del rango de presión a la que se requiere.
- 12.-Transporte del equipo.- Sirve para transportar todo el equipo para donde sea disponible su uso
- 13.-Regulador de caudal.- Este tipo de válvula sirve para regular el fluido es decir realizar un estrangulamiento
- 14.-Vacuostato.- Un vacuostato no es más que un presóstato para trabajar a presiones muy bajas o, lo que es lo mismo, a alto grado de vacío.
- 15.-Válvula distribuidora.- En este caso utilizamos una válvula de distribución de 3x2 que sirve para determina el paso de aire entre sus vías abriendo, cerrando o cambiando sus conexiones internas.
- 16.-Filtro.- Sirve para proteger la bomba es decir que no traspase el sucio
- 17.-Codos y Te.- Sirve para las uniones de las mangueras

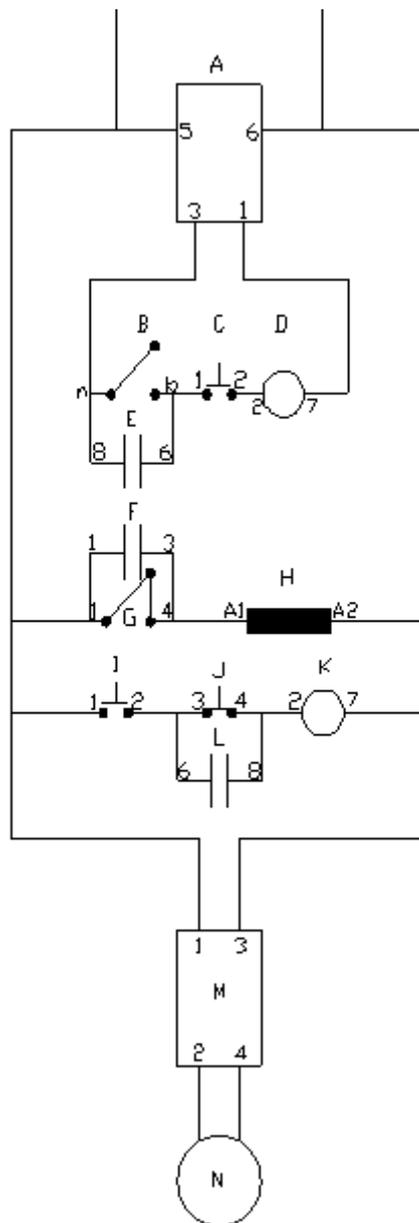


Fig. (43) Circuito eléctrico (Descripción del circuito en Anexo II)

4.8.6 Cuidados

El banco de pruebas para control de vacío utilizando inadecuadamente, puede causar daños físicos y materiales. Con el fin de evitarlos, siga las siguientes recomendaciones:

1.- Este equipo:

- Puede ocasionar interferencias mecánicas o eléctricas en equipos sensibles que estén próximos.
- Deben ser instalado y operado en locales ventilados y con protección contra humedad o incidencia de agua.

2.- Antes de conectar la bomba al sistema elimine el gas remanente que se encuentre presurizado el mismo. Nunca comience la evacuación de un sistema que se halle bajo presión, podrían producirse daños en la bomba por mala lubricación.

3.- Nunca sobrepase el vacío máximo indicado en la placa de identificación

4.- Nunca efectúe reparaciones o servicios de soldadura en el tanque, pues estos pueden afectar su resistencia o esconder problemas más serios

5.- No efectúe mantenimiento del equipo cuando este se encuentre en funcionamiento, limpieza, remoción de piezas cuando el tanque esta presurizado, mantenimiento en la parte eléctrica, la falta de seguimiento de estas instrucciones pueden ocasionar daños en la parte eléctrica del modulo y al usuario

4.8.7 Procedimiento de puesta en marcha del equipo

Ejecute los siguientes procedimientos para el sistema relacionado con el tanque:

- 1.- Verifique el nivel de aceite en la bomba, que debe estar entre las marcaciones máximas y mínimas del visor
- 2.- Constatar que en las uniones de las mangueras, acoples e instrumentos estén debidamente ajustadas.

- 3.- Abrir la válvula que se encuentra conectadas con el tanque para que la bomba succione el aire del tanque y al mismo tiempo cerrar la válvula distribuidora que se encuentra en el sistema de la ventosa y así poder generar vacío en el tanque.
- 4.- Seleccionar la posición ON para el inicio de operación del equipo.

Ejecute los siguientes procedimientos para el sistema relacionado con la ventosa:

- 1.- Verifique el nivel de aceite en la bomba, que debe estar entre las marcaciones máximas y mínimas del visor
- 2.- Constatar que en las uniones de las mangueras, acoples e instrumentos estén debidamente ajustadas.
- 3.- Abrir la válvula distribuidora para que la ventosa succione el aire de la atmósfera y al mismo tiempo tener que cerrar la válvula de paso que está conectada con el sistema del tanque de ese modo la ventosa podrá succionar su peso adecuado.
- 4.- Seleccionar la posición ON para el inicio de operación del equipo

4.8.8 Apagado de la Bomba

Existen dos maneras para apagar la bomba

- 1.- El rato que está funcionando la bomba con el tanque, el vacuostato de acuerdo con el rango sensado llega a una presión de vacío en que se apagará automáticamente
- 2.- Existe otra manera que es diferente al momento que se enciende o se apaga la bomba deberá ser manualmente para poder obtener la presión de vacío específicamente en el sistema de las ventosas.

4.8.9 Mantenimiento

Se debe tratar de realizar un mantenimiento preventivo para garantizar el perfecto funcionamiento y prolongar la vida útil del equipo.

Previo a cada práctica verificar la bomba siguiendo el procedimiento que se encuentra a continuación.

4.8.10 Mantenimiento de la Bomba

Es aconsejable cambiar el aceite de la bomba después de haber finalizado la evacuación de un sistema.

No obstante, se recomienda cambiar el aceite como máximo después de diez servicios. El aceite utilizado en una bomba de vacío es de fundamental importancia para la máxima calidad de vacío alcanzable. Recorra siempre a los aceites especiales indicados tales como Tellus 68 de SHELL. El tipo de aceite provisto con la bomba está especialmente formulado para trabajar a alto vacío, manteniendo prestaciones de excelente viscosidad tanto a altas como a bajas temperaturas, que facilita el arranque en época invernal.

4.8.11 Procedimiento para el cambio de aceite:

- 1 Asegúrese de que la bomba esté caliente (luego de haber funcionado por un período).
- 2 Quite el tapón de drenaje y drene el aceite usado en un recipiente apropiado.
- 3 En caso necesario incline la bomba hacia adelante para mejorar la evacuación.
- 4 Coloque el tapón de drenaje y quite el tapón de carga o filtro de expulsión (según como corresponda), en la parte superior.
- 5 Llene con ayuda de un embudo el cárter de aceite una cantidad de 450 cc.
- 6 Coloque el tapón de carga nuevamente en su posición y asegúrese de que el tapón de drenaje esté correctamente ajustado. El aceite que se debe colocar en la bomba debe tener los siguientes datos técnicos:

Tabla de Mantenimiento (Anexo IV)

Datos técnicos del aceite Tellus 68

Tellus 68 es un aceite para bombas de vacío de muy alta calidad con la estabilidad termal excelente.

El aceite es refinado de tal modo de quitar los hidrocarburos aromáticos que son los componentes inestables y los primeros a la interrupción. Entonces es formulado para soportar (resistir) los rigores de una carrera larga.

4.9 ANÁLISIS DE COSTOS

Materiales requeridos para el equipo

En la siguiente tabla se detallan los materiales y equipos de acuerdo a las necesidades y a la disponibilidad en el mercado.

N.	MATERIAL REQUERIDO	DIMENSIÓN
1	Bomba de vacío de 0.5 Hp	115 / 230 V
2	Unión codo instantánea 12 mm	2 Unidades
3	Vacuometro de 30 in Hg A.C. Inox.	2 Unidades
4	Vacuostato regular	1 Unidad
5	Ventosa B50-2.3	1Unidad
6	Ventosa de nitrilo	1 Unidad
7	Regulador de caudal ¼" unidireccional	2 Unidades

8	Tubo de poliuretano 12 mm	6m
9	Válvula 3/2 de ¼ " modo palanca	1 Unidad
10	Conector T 12mm	1 Unidad
11	Conector recto 12 mm x ¼ "	1 Unidad
12	Conector recto 12 mm x 1/8 "	1 Unidad
13	Filtro 12B ¼ "	1 Unidad
14	Contactador LC1- D09 de 110 V	1 Unidad
15	Relay 24V D.C.	1 Unidad
16	Relay 110V A.C.	1 Unidad
17	Cable flexible #14	8m
18	Fuente de poder 120 / 240 V	1 Unidad
19	Pulsador XB2 Rojo	2 Unidad
20	Pulsador XB2 Verde	1 Unidad
21	Base P 7 Relay	2 Unidad
22	Tablero monoblock	30x20x18

23	Tubos de Acero	4m
24	Ruedas y pintura de la maquina	2 ruedas, 1 lt

Máquinas de herramientas requeridas

Para la construcción del equipo negativa se requiere máquinas tales como se las puede ver en tabla siguiente:

N.	MÁQUINAS Y EQUIPOS
1	CALADORA ELÉCTRICA
2	TORNO
3	CIZALLA HIDRAULICA
4	BAROLADORA MECÁNICA
5	EQUIPO DE SOLDADURA
6	COMPUTADORA
7	ESMERIL
8	COMPRESOR
9	HERRAMIENTAS MANUALES

4.9.1 Costos directos

4.9.1.1 Análisis de costos por materiales.

Materiales y accesorios neumáticos

Todos aquellos materiales fueron imprescindibles consumir durante el proceso de construcción del equipo y sus accesorios. El costo estimado de los materiales se puede observar en la tabla siguiente:

CANT.	MATERIAL REQUERIDO	V. UNIT.	COSTO \$
1	Bomba de vacío de 0,5 Hp	1001,40	1001,40
1	Unión codo instantánea 12 mm	6,00	6,00
2	Vacuometro de 30 in Hg A.C. Inox.	24,00	48,00
1	Vacuostato regular	300,00	300,00
1	Ventosa B50-2.3	47,40	47,40
1	Ventosa de nitrilo	80,40	80,40
2	Regulador de caudal ¼” unidireccional	15,00	30,00
1	Tubo de poliuretano 12 mm	20,00	20,00
1	Válvula 3/2 de ¼ “ modo palanca	52,50	52,50
1	Conector T 12mm	1	4,00

8	Conector recto 12 mm x ¼ "	3,53	28,20
1	Conector recto 12 mm x 1/8 "	1	2,00
1	Filtro 12B ¼ "	52,80	52,80
			1671,30

Materiales y accesorios eléctricos

CANT.	MATERIAL REQUERIDO	V. UNIT.	COSTO \$
1	Contactador LC1- D09 de 110 V	14,40	14,40
1	Relay 24V D.C.	5,10	5,10
1	Relay 110V A.C.	5,10	5,10
1	Cable flexible #14	3,50	3,50
1	Fuente de poder 120 / 240 V	32,60	32,60
2	Pulsador XB2 Rojo	4,00	8,00
1	Pulsador XB2 Verde	4,00	4,00
1	Base P 7 Relay	5,10	5,10
1	Tablero monoblock	20,00	20,00
			97,80

4.9.1.2 Análisis de costos por maquinaria y equipos utilizados.

OPERACIONES	CANTIDAD	UNIDAD	V. UNIT.	COSTO TOTAL \$
Doblado	1	hora	5	5
Soldadura	2	hora	5	10
Pulido	2	hora	5	10
Otros equipos				20
				45

4.9.1.3 Análisis de costos por mano de obra.

La mano de obra es el trabajo de los obreros que se encuentran en contacto directo con el desarrollo de la producción.

La valoración de Mano de Obra en la construcción de la máquina se determino de acuerdo al costo, tal como se especifica en la siguiente tabla:

TRABAJADOR	N. de horas	Costo usd/hora	Total (usd)
Maestro mecánico	24	3	72
Ayudante mecánico	24	1	24
			96

4.9.1.4 Costos por transporte.

OPERACIONES	CANTIDAD	UNIDAD	Precio Unit.	Total (usd)
Transporte interprovincial	30	hora	3	90
Transportes de materiales al taller	4	hora	1	4
Otros	5	hora	2	10
				104

El valor total por costos directos es:

Costos por	Valor (usd)
Materiales y accesorios	1769,10
Maquinaria y equipo utilizado	45
Mano de obra	96
Transporte	104
TOTAL COSTOS DIRECTOS	2014,10

4.9.2 Costos Indirectos

Estos costos se realizan para la fabricación de la máquina que no están incluidos en los materiales y mano de obra; la valoración de este rubro se resume en la siguiente tabla:

DENOMINACIÓN	Cantidad (%CD)	Valor (usd)
Ingenieriles (Diseño y construcción)	10	202,41
Asistencia técnica	0	10,00
Imprevistos	5	101,21
Utilidad	0	0
TOTAL COSTOS INDIRECTOS		313,62

4.9.3 Costo total

El costo total es la sumatoria de los costos parciales y se resume en la siguiente tabla:

RUBRO	COSTO USD
COSTOS DIRECTOS	2024,10
COSTOS INDIRECTOS	303,62
COSTOS TOTAL	2327,72

El costo total del EQUIPO PARA CONTROL DE VACÍO asciende a DOSMIL TRECIENTOS VEINTICETE CON 75/100 DOLARES

5.1 CONCLUSIONES:

- El estudio del vacío en nuestro medio está en vías de desarrollado por esta razón la información es muy limitada volviéndose complejo el estudio de los sistemas de vacío.
- La potencia de la bomba de vacío utilizada en nuestra tesis es adecuada para que nuestro sistema funcione eficientemente cumpliendo de esta manera los objetivos planteadas al principio de la tesis.
- El diseño y la selección de las ventosas se realizaron en base a la presión de máximo vacío de la bomba, por tal razón se tuvo que refinar el cálculo utilizando distintos valores de pesos hasta llegar a la medida adecuada del diámetro de las ventosas
- Con la ayuda del vacuostato se pudo programar al sistema para que llegada una determinada presión de vacío, la bomba se detenga y con los tiempos obtenidos podemos decir que a mayor presión de vacío hay un mayor consumo de energía.
- El tanque en el sistema de vacío nos sirve como un acumulador de vacío y también como un economizador de energía.
- Las fugas en los sistemas de vacío son perjudiciales ya que generar vacío a mas de ser complicado es costoso puesto que a mayor generación de vacío hay mas consumo de energía

5.2. RECOMENDACIONES

- Se debe mantener la bomba con un nivel de aceite recomendado por el fabricante en 450 cc.
- El aceite, puesto que pierde sus propiedades y por ende la eficiencia del sistema baja, debe cambiarse después de 100 horas de trabajo del sistema de vacío.
- Se debe manejar el vacuostato de manera cuidadosa puesto que es un instrumento de gran sensibilidad y de mucho costo en el mercado.
- El desarrollado en este trabajo, debería ser a futuro, a fin de que trabaje como un LIPOSUCCIONADOR en el campo de la medicina.