

## **CAPITULO 7.**

### **ESTUDIO DEL EQUIPO EXPERIMENTAL.**

#### **7.1 Descripción general del equipo para aire y vapor.**

El equipo esta conformado por una bomba de vacío, un calentador de vapor y dos columnas (una de vidrio y una de acero inoxidable) como elementos principales. Pero, a partir de estos se deriva una serie de conexiones con mangueras, tuberías, válvulas, filtros (para aire y vapor), resistencias para calentar aire y para precalentar la columna de inoxidable e instrumentos de medición como: termopares, manómetros en U, vacuómetros, entre otros que más adelante se mencionaran. Las secciones 7.1.1 a la 7.9 corresponden al manejo de equipo para la columna de vidrio (operada con aire) y de la 7.10 a la 7.11.6 corresponde a la operación del equipo para vapor sobrecalentado.

#### **7.1.1 Bomba de vacío.**

Las bombas de vacío actualmente tienen radios de compresión mucho más altos que los compresores ordinarios, aunque la diferencia en presiones no excede 760 torr (14.7 psi). Las bombas de vacío son, por lo tanto compresores diseñados, para el bombeo de gases refinados.

Las bombas de alto vacío tienen dos complicaciones adicionales. Una es debida a la existencia del flujo molecular libre, al menos en la entrada de la bomba, la otra se debe a la necesidad usual de preevacuación para hacer funcional el alto vacío de la bomba. El flujo

molecular existe cuando la trayectoria libre de las partículas es lo suficiente grande que las moléculas chocan primero con las paredes en el interior de la bomba.

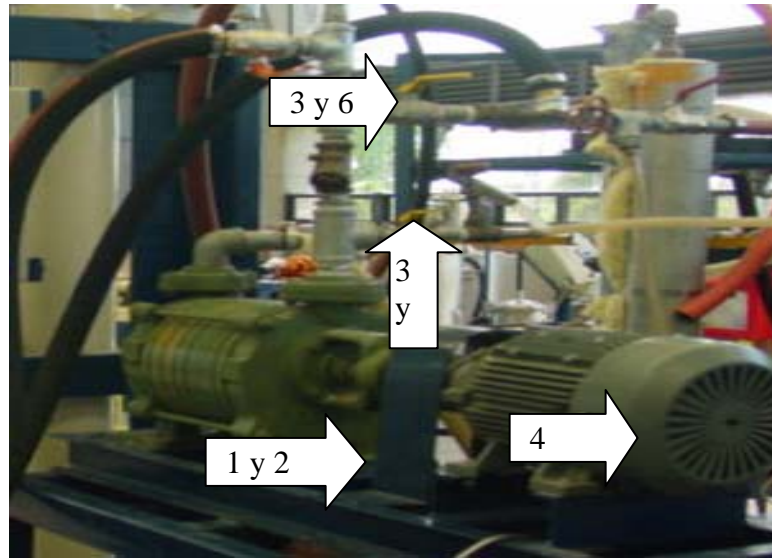
Una bomba de alto vacío es entonces un compresor diseñado para bombear en condiciones de alto vacío. Este comprime un gas a partir de un nivel de alto vacío a una presión máxima típicamente a 0.5 torr, aunque algunas bombas han sido hechas con presiones de descarga tan altas como 40 torr. En principio, estas pueden ser hechas aun para descargar a presión atmosférica, pero esto resulta impracticable. Las bombas de alto vacío son usualmente en series con una bomba de vacío. Ambas bombas son capaces de dar radios de compresión muy altos [24].

Además de lo anterior se deben tener en cuenta ciertas consideraciones, para un funcionamiento correcto de la bomba de vacío, como las siguientes: en el caso particular de la bomba que se usara para propósitos de esta tesis, la base que la soporta debe estar bien fija y nivelada para evitar vibraciones. El flujo que se necesita para una operación eficiente es de 6 lt/min., este debe ser el flujo por que, si el flujo es mayor el motor se sobrecarga, pero si es menor el vacío que producirá no será el adecuado.

### **7.1.2 Pasos para operar la bomba de vacío. (Ver figura 7.1)**

1. Girar la flecha manualmente para asegurarse que está suelta
2. Revisar que la rotación sea la correcta.
3. Cerrar la válvula de succión.
4. Arrancar el motor.
5. Abrir la válvula de agua.

6. Abrir la válvula de succión. [34]



**Figura 7.1** Bomba de vacío.

### **7.1.3** Paro de la bomba. (Ver figura 7.1)

1. Cerrar la válvula de succión.
2. Cerrar la válvula de entrada de agua para evitar que la bomba quede llena y en el próximo arranque pueda frenar el giro del rotor sobrecargando el motor o romper las aspas.
3. Detener el motor. [34]

### **7.2** Lecho fluidizado con aire (columna)

Las investigaciones fundamentales sobre el secado en lechos fluidizados no han tenido un progreso y diseño similar al del secado en lechos industriales. Pero las ventajas que ofrece este método comparado con otros métodos son las siguientes:

- No hay partes mecánicas en movimiento y por lo tanto bajo mantenimiento.

- Hay un rápido intercambio de calor y masa entre el gas y las partículas.

### 7.3 Instalación del sistema.

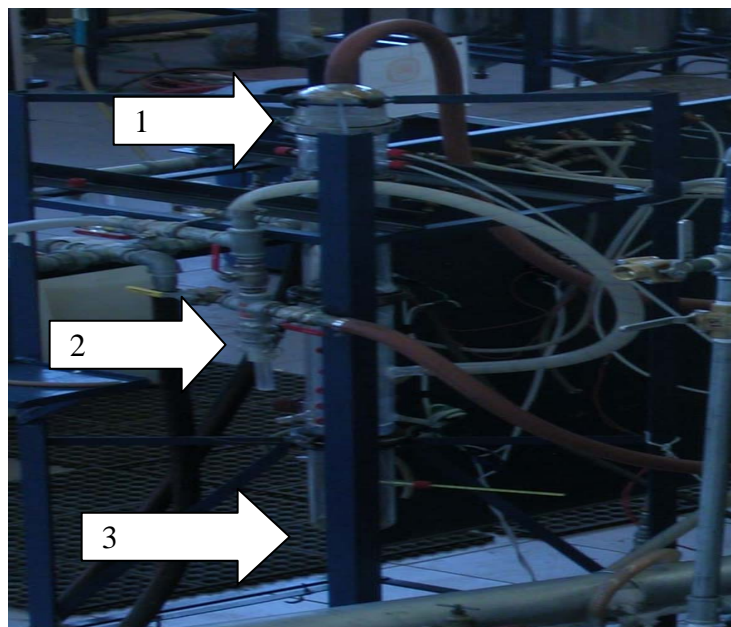
Debido a la fragilidad de la columna pero, sobre todo al alto costo de esta misma, es necesario colocarla en la estructura con cuidado (de preferencia entre dos personas) para sostenerla y colocar las abrazaderas de forma correcta para evitar fugas del fluido.

Para facilitar la colocación de la columna, primero se debe colocar la parte inferior y posteriormente colocar las otras piezas. Se debe tener precaución cuando se están apretando las abrazaderas para evitar que se rompa la columna.

### 7.4 Disposición de las mangueras.

Las tres mangueras que utiliza el sistema son las siguientes (ver figura 7.2):

1. Entrada de aire o vapor.
2. Succión o toma de vacío.
3. Manguera de toma de muestras



**Figura 7.2** Conexión de mangueras en la columna.

La primera se debe colocar en la parte inferior, mientras que la segunda se instala en la parte superior de la columna y finalmente, la tercera esta ubicada en un costado de la columna.

Es importante señalar que, cuando se colocan las mangueras en la columna se deben girar y no flexionar por que, esto ocasiona que se flexionen las tomas y consecuente se puedan fracturar. [34]

### **7.5 Instrucciones para poner en marcha el sistema.**

Una vez que se ha verificado que todas las mangueras están conectas correctamente y que se desea alimentar la columna con las partículas a secar. Se deben seguir las siguientes instrucciones para poner un funcionamiento el sistema:

1. Verificar que la temperatura sea la deseada.
2. Revisar que las abrazaderas estén apretadas tanto de los manómetros como las de las entradas y salidas.
3. Revisar que el agua de entrada a la bomba este fría y limpia, y que el deposito tenga el nivel suficiente.
4. Encender la bomba e inmediatamente abrir primero la llave de entrada del agua y después la válvula de vacío. La bomba debe tener el sonido zumbante característico, pero debe vibrar. De lo contrario, esto puede significar que, el flujo no es el adecuado o que alguna de las válvulas no se han abierto o en su defecto alguna manguera no esta bien conectada.

5. Ver el vacuómetro para determinar si el vacío que se esta generando es el adecuado.  
(normalmente se debe encontrar entre 500 y 600 mm de Hg)
6. La salida del agua debe regresar en el tanque que alimenta a la bomba de vacío.
7. Revisar que la presión sea la requerida, en los manómetros.
8. Alimentar la cantidad de partículas que se requiere secar (ver instrucciones de alimentación)
9. Introducir el aire o vapor sobrecalentado poco a poco y regularlo según la velocidad que se requiera para el proceso de secado.
10. Verificar que la mezcla entre partículas y fluido sea homogénea.
11. Verificar el manómetro y el display de temperaturas. Para asegurarse que se esta llevando a cabo un proceso correcto. [34]

## **7.6 Alimentación**

Antes de alimentar la columna con las partículas, se deben considerar los siguientes aspectos:

- Abrir la válvula de succión hacia la columna.
- Abrir la válvula que succiona las partículas.

La succión se puede hacer con una manguera o directamente inclinando el recipiente con las partículas. [34]

## **7.7 Toma de muestras.**

Para llevar a cabo la extracción de partículas, del interior de la columna hacia fuera y así obtener una muestra para su análisis, se utiliza el vacío creado por la bomba de vacío. Para

esto es necesario de la combinación de cuatro válvulas de esfera y un pesa-filtros para contener la muestra.

La primera válvula es para mantener bajo el nivel de vacío, el cual debe ser menor al de operación. La segunda válvula se abre para permitir la succión de las muestras, la tercera permite que la presión regrese al pesa-filtros y por ultimo, la cuarta se abre cuando se requiere que la muestra se regrese hacia la columna. [34]

### **7.8 Vaciado de la columna**

Una vez que ya se han realizado todas las muestras se debe vaciar la columna para esto, se necesita del vacío que genera la misma bomba.

### **7.9 Instrucciones para parar el sistema.**

1. Cerrar la entrada de aire o vapor sobrecalentado.
2. Cerrar la válvula de esfera en la manguera de succión de agua y después de 30 segundos la de la compuerta.
3. Dejar encendida la bomba un minuto aproximadamente para que desaloje agua y después apagarla.
4. Abrir el grifo del agua que se encuentra debajo de la bomba para desalojar el agua.
5. Revisar que los manómetros estén a nivel y el vacuómetro marque cero.
6. Apagar el display de la temperatura.

### **7.10 Descripción de la construcción del nuevo equipo experimental para vapor.**

Como resultado de la ruptura de la columna de vidrio se decidió construir una nueva con un material más resistente, como el acero inoxidable, para evitar problemas de sobreesfuerzo y choque térmico. Por lo tanto, a continuación se enumeran cada uno de los componentes del sistema completo tal y como se muestran simbólicamente en la figura B.1.

1. Caldera

2, 8, 10, 11, 19, 21, 22, 28, 29, 31, 33, 35 y 39. Válvulas de mariposa. Son válvulas de apertura rápida que abren y cierran únicamente con un giro de 45 °C. Sin embargo, este tipo de válvulas no cierran tan herméticamente como para impedir el paso de vapor. Además, su uso se limita a la retención o registro.

3 y 30. Filtro para vapor.

4. Válvula de estrangulamiento o reguladora de presión.

5. Válvula para suministro de aire.

6 y 20. Válvulas de globo.

7. Calentador de vapor

9. Trampa para vapor condensado.

12. Medidor de temperatura bimetalico.

13. Manómetro de carátula.

14. Manómetro de anilina.

15. Manómetro de mercurio.

16 y 18. Brida de conexión.

17. Medidor de orificio.

23. Columna de acero inoxidable.



- 24. Distribuidor.
- 25. Bridas de conexión de la columna.
- 26. Contenedor de agua para bomba de vacío.
- 27 y 34. Válvulas de compuerta.
- 32. Toma muestras.
- 36. Bomba de vacío.
- 37. Manómetro diferencial para la columna.
- 38. Vacuómetros.
- 40. Display de temperaturas para diferentes puntos de la columna de fluidización.
- 41. Mirillas de vidrio.

### **7.11 Secuencia de operación del sistema.**

Para lograr un desempeño óptimo en el uso del sistema se requiere seguir una serie de pasos, a fin de evitar problemas tales como ensuciar todo el sistema producto de la suciedad acumulada en las líneas de suministro de vapor por que, aunque se cuenta con un filtro es te no es suficiente para evitar lo anterior. Además, para evitar que se acumule bastante vapor condensado en la línea de suministro de la columna así como también, en la columna misma.

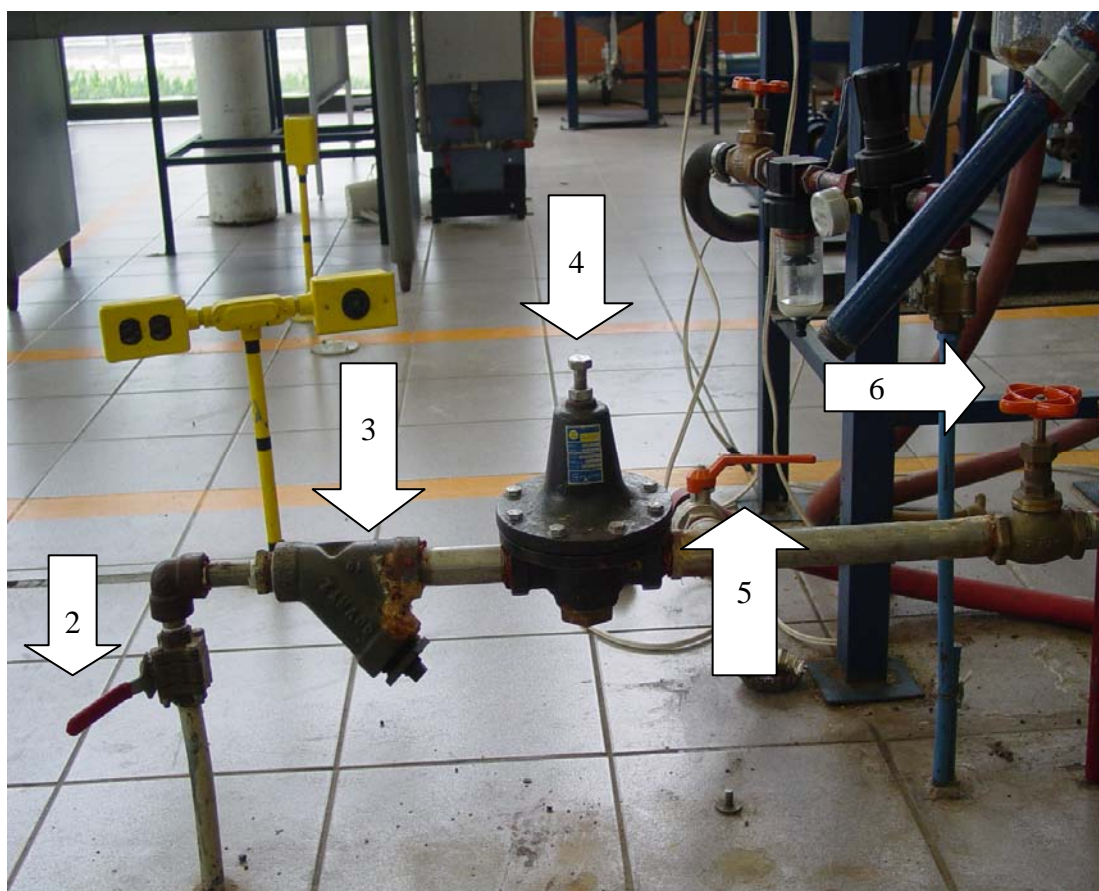
#### **7.11.1 Precalentamiento de la columna.**

Tomando en cuenta que se han insertado mirillas de vidrio en la columna es importante precalentarla con aire caliente. Ya que, se corre el riesgo de romperlas por que, la dilatación del acero no es la misma que la del vidrio.

### 7.11.2 Pasos para purgar.

De la zona de calderas al punto donde se encuentra instalada la columna, es una distancia considerable de la que no se puede evitar que siempre haya vapor condensado y suciedad producida por la corrosión de las tuberías. Como resultado de lo anterior, es necesario hacer una purga antes de suministrar vapor a la columna, consecuentemente, para lograr lo anterior es necesario tener abiertas las siguientes válvulas: 2, 4, 6 y 10.

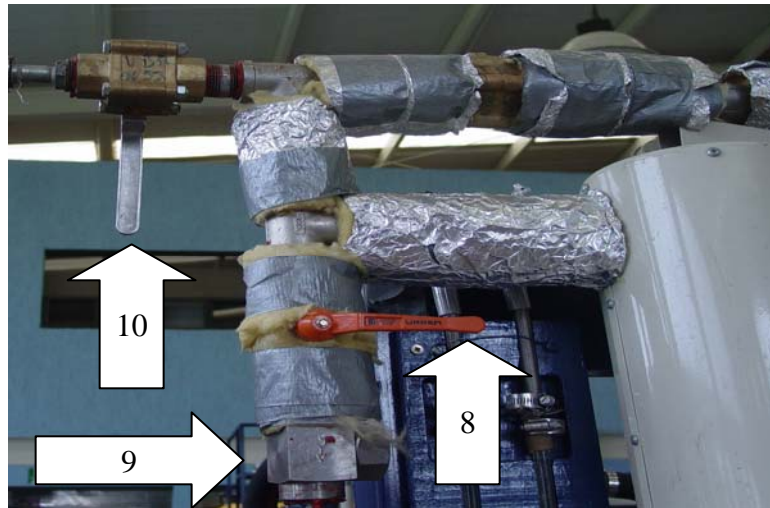
(Ver figura 7.3)



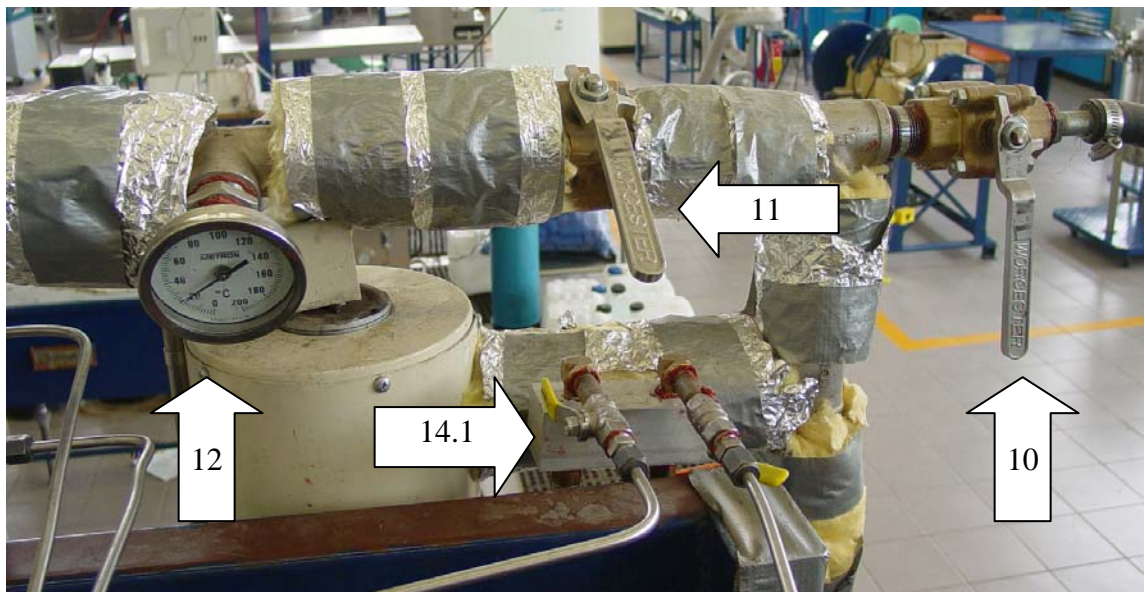
**Figura 7.3** Suministro de vapor al calentador.

Pero, al mismo tiempo se deben mantener cerradas las válvula 5, 8 y 11. (Ver figura 7.4 y 7.5)

### 7.11.3 Suministro de vapor hacia la columna.



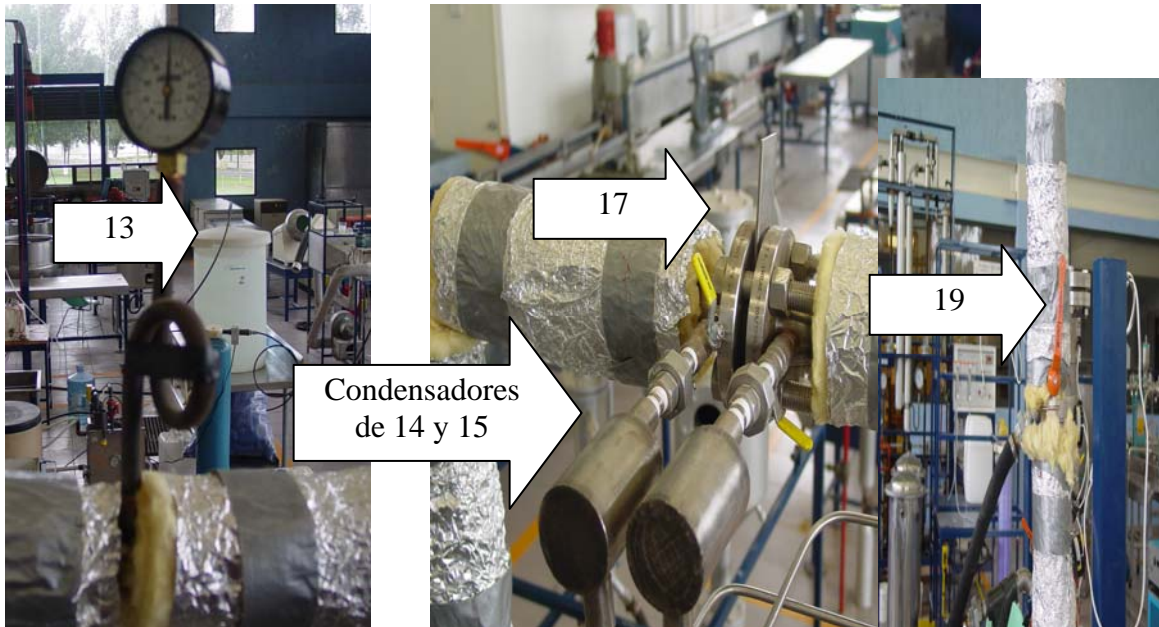
**Figura 7.4** Purgar antes de alimentar a la columna.



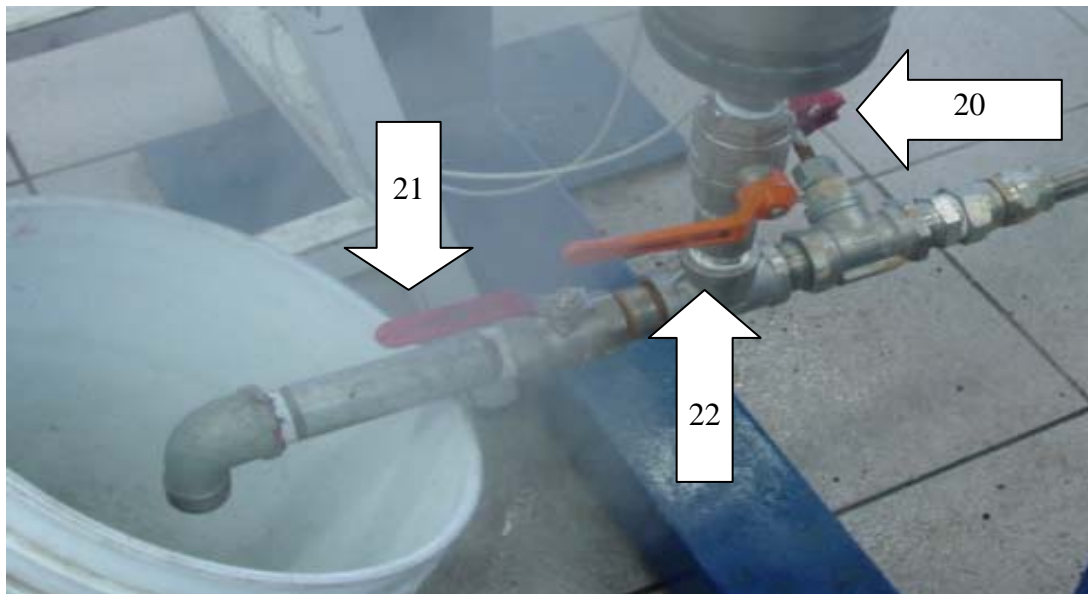
**Figura 7.5** Salida del calentador.

Una vez que se ha descargado todo el vapor condensado en el paso anterior, ahora se procede a suministrar el vapor hacia la columna así que, se debe cerrar la válvula 10 no sin antes haber abierto las válvulas 11, 19, 20 y 21. No obstante, como resultado del

enfriamiento de la tubería habrá mas condensado y para evitar que este entre a la columna debe estar cerrada la válvula 22 para purgar por la 21 (Ver figura 7.6 y 7.7).



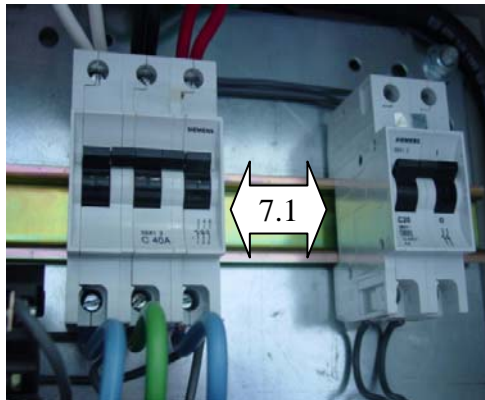
**Figura 7.6** Línea de suministro.



**Figura 7.7** Descarga de vapor condensado.



Después de seguir toda esta secuencia ya se puede encender el calentador y aumentar progresivamente la temperatura. Sin embargo, es importante señalar que nunca se debe encender si no esta pasando vapor a través del mismo por que, de lo contrario se corre el riesgo de dañar las resistencias. (Ver figura 7.8.1 y 7.8.2)



**Figura 7.8.1** Termostatos.



**Figura 7.8.2** Control de temperatura.

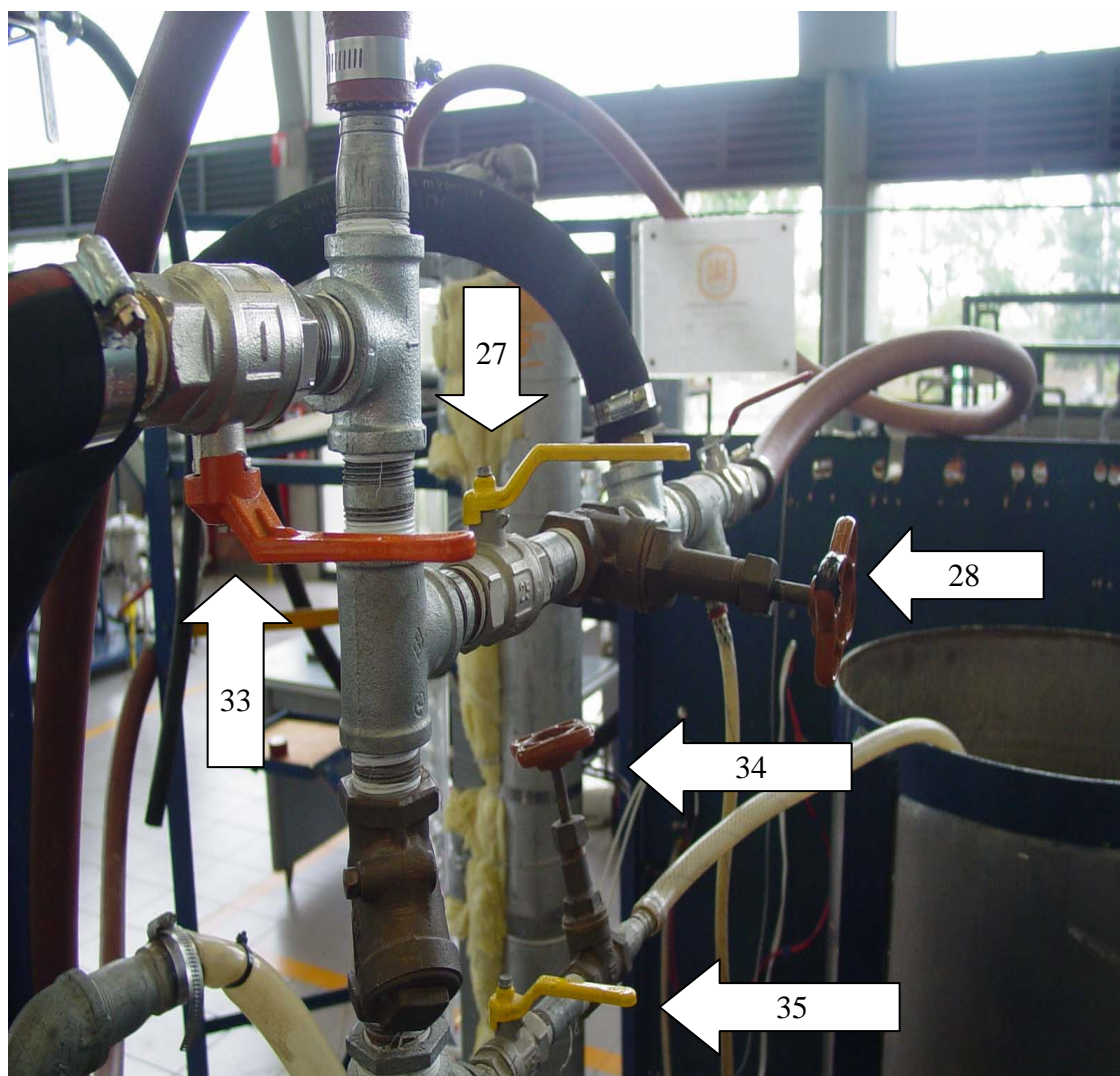
Por ultimo, cuando ya se elimino todo el vapor condensado a través de la válvula 21, se debe alimentar a la columna para lo cual se debe abrir la válvula 39. (Ver figura 7.9)



**Figura 7.9** Válvula de seguridad para operar la bomba de vacío.

#### 7.11.4 Encendido de la bomba de vacío.

Antes de poner en marcha el motor de la bomba de vacío, se debe estar seguro de que las válvulas 27 y 34 estén totalmente abiertas. Al mismo tiempo que se pone en operación la bomba se deben abrir las válvulas 28 y 35. Después de la anterior, se debe ir cerrando progresivamente la válvula 39 a fin de cerciorarse que, el flujo de vapor no sea lo suficiente grande como para sobrecargar a la bomba (Ver figura 7.10). Si este es el caso, se debe regular el flujo cerrando las válvulas 2 o 6. (Ver figura 7.3)



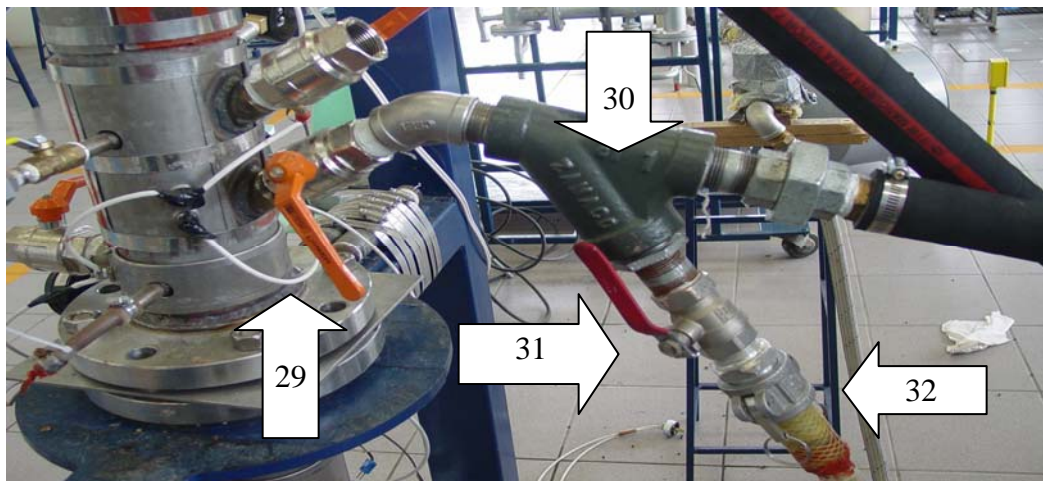
**Figura 7.10** Secuencia de operación de la bomba de vacío para trabajar con vapor.

### 7.11.5 Alimentación de la columna con partículas a secar.

Cuando ya se logro eliminar todo el vapor condensado dentro de la columna y cuando las propiedades tales como temperatura, presión de vacío, etc. son las deseadas. Ya es posible alimentar las partículas a través da la válvula 39, las cuales serán succionadas por la bomba de vacío.

### 7.11.6 Toma de muestras.

Para lograr que la bomba succione correctamente las muestras es importante desensamblar el filtro 30 para mantenerlo siempre limpio antes de iniciar las pruebas. Las válvulas que se deben abrir para lograr esta operación son las siguientes: 29 y 33. Inmediatamente después de abrir las válvulas anteriores se debe abrir la 31, una vez que haya suficientes partículas en el toma muestras 32 se debe cerrar la válvula 31 y retirar el toma muestras lo mas rápido posible para evitar que se acumule vapor condensado con las muestras (Ver figura 7.11).

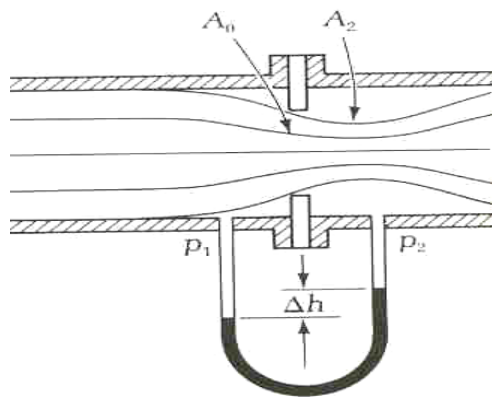


**Figura 7.11** Toma de muestras.

Si se desea que esta operación sea mas rápido se puede cerrar la válvula 28 para concentrar toda la succión en la línea del toma muestras e inmediatamente después dicha válvula. (Véase figura 7.10)

### 7.12 Medición de la velocidad del flujo.

Para la medición del caudal del aire se cuenta con tres rotámetros sin embargo, para el caso del vapor no es posible debido al alto costo de los medidores de flujo para este tipo de aplicaciones. Entonces, en este caso para hacer dicha medición, se instalo en la línea de suministro de vapor, un medidor de orificio con diámetro  $d = 0.65$  pulgadas tomando en cuenta que el diámetro  $D = 1$  pulgada correspondiente al diámetro del tubo. Aunque, esta no es la única alternativa para este tipo de mediciones ya que también, existe el método del medidor Venturi y el medidor de Boquilla. Pero, por la simplicidad del medidor de orificio se considero el más adecuado. (ver figura 7.12)



**Figura 7.12** Medidor de orificio.



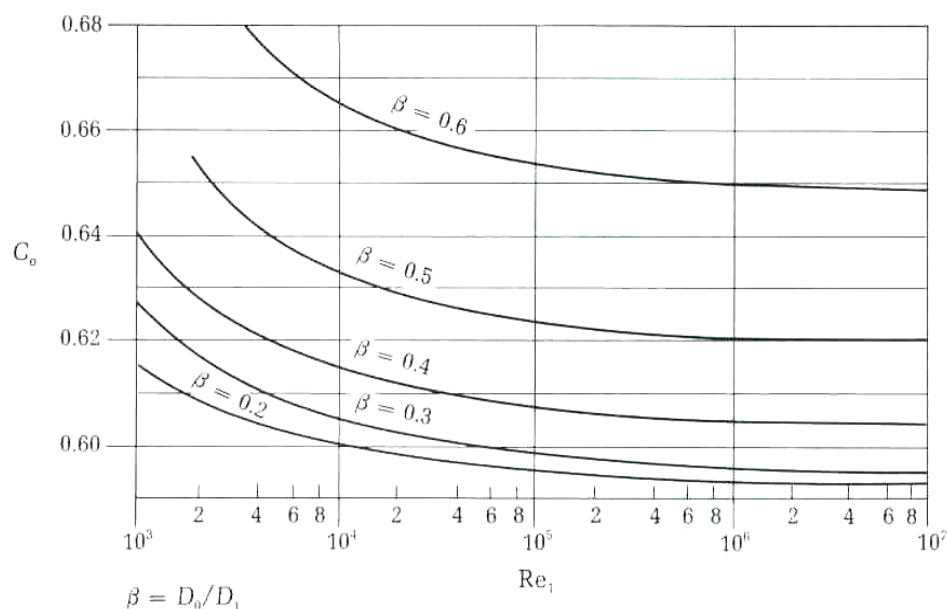
El método de operación del medidor de orificio esta basado en la diferencia de presiones antes y después de la placa con orificio y esta dada como  $P_1 - P_2$ . Además, si se desprecia la diferencia en elevación, a través de la formula 8.1 se puede calcular la velocidad de flujo o caudal. [34]

$$Q = CA_2 \sqrt{\frac{2}{\rho} \left[ \frac{P_1 - P_2}{1 - (A_2 / A_1)^2} \right]} \quad (8.1)$$

Sin embargo, el área  $A_2$  es desconocida. Por lo tanto, se puede expresar  $A_2$  en función del área del orificio de la placa representada como  $A_o$  y en función del coeficiente de contracción  $C_c$ , obteniendo la siguiente expresión  $A_2 = C_c A_o$ . Donde,  $C_c$  se tiene que obtener experimentalmente. Pero, si se combinan los coeficientes  $C$  y  $C_c$ , se puede obtener la siguiente ecuación para el orificio de la placa: [34]

$$Q = C_o A_o \sqrt{\frac{2}{\rho} \left[ \frac{P_1 - P_2}{1 - (A_o / A_1)^2} \right]} \quad (8.2)$$

Donde, el valor de  $C_o$  se obtiene de la figura 7.13.



**Figura 7.13** Coeficiente de descarga del orificio como una función del número de Reynolds.