

CAPITULO 4

EQUIPO EXPERIMENTAL

4.1 DESCRIPCION GENERAL

Se puede describir en forma general al equipo como un conjunto de partes formadas en su mayoría de acero inoxidable tipo AISI 304L y vidrio borosilicato [13] y que también incluye partes importantes como una bomba de 5 HP, un calentador de vapor, dos tanques estacionarios para el almacenamiento de agua y la nueva innovación para este equipo será la introducción de un intercambiador de calor. El equipo de fluidización se compone de dos partes, la primera parte es la que recibe el vapor proveniente de la sección de calderas de la Universidad y un sobrecalentador de vapor, y la segunda parte que es donde el vapor es utilizado como medio de fluidización de partículas sólidas. Cada parte, tanto la primera como la segunda, cuenta con un determinado número de válvulas que son utilizadas para regular el flujo de vapor en el sistema, varios manómetros que son usados para medir las presiones en las partes más importantes del equipo y varios termómetros para inspeccionar constantemente las temperaturas que alcanza el vapor en determinadas partes del sistema. El vacío es generado en la columna de fluidización mediante la bomba de vacío de 5 HP mencionada anteriormente. Las presiones de operación al vacío son controladas mediante válvulas que también son muy importantes en la toma y retiro de muestras experimentales. Debido a las altas temperaturas que alcanza el vapor, el agua utilizada por la bomba de vapor contenida en los tanques estacionarios se calienta considerablemente al combinarse esta con el vapor durante el proceso de experimentación. Esta situación disminuye la eficiencia de la bomba de vacío considerablemente. Por esto es necesario incluir en este sistema un intercambiador de calor que enfríe el agua constantemente durante la experimentación. En la figura 4.1 se puede observar la columna de fluidización del equipo.



FIGURA 4.1 Posición actual de la columna de fluidización en el equipo

4.2 PRIMERA PARTE DEL EQUIPO

Como se ha dicho anteriormente, en esta parte se recibe el vapor proveniente de la sección de calderas de la universidad. El vapor se introduce a un tubo de cuatro pulgadas de diámetro cedula 10, tiene una longitud de 400 mm y un diámetro interior de 10.82 cm [13]. El vapor que recibe nuestro sistema no tiene la calidad deseable y al inicio del proceso contiene mucho agua; por lo tanto, Guarneros[13] colocó una purga extra en la entrada del vapor al sistema para eliminar las impurezas y el agua contenida en el vapor desde su entrada al sistema. La entrada de vapor al sistema es regulada por una válvula de bola, la cual es capaz de regular el flujo del vapor. La primera purga

contiene una válvula de bola. En la figura 4.2 y 4.3 se puede observar la primera purga y las dos válvulas antes mencionadas.

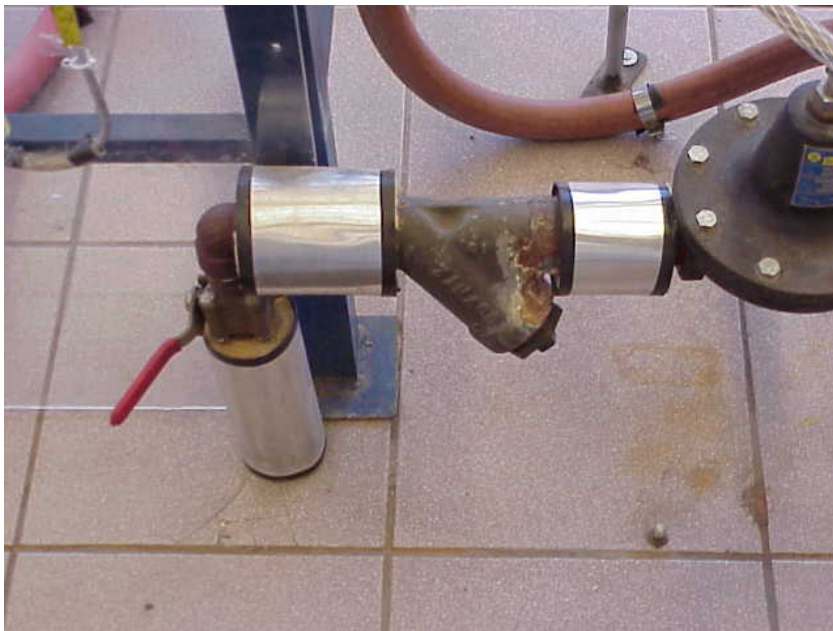


Figura 4.2 Entrada del sistema para el vapor. Se puede observar la válvula de bola que regula el flujo de vapor en su entrada al sistema



Figura 4.3 Primera purga del sistema. Se puede observar la válvula de bola que regula la salida de vapor a través de la primera purga instalada por Guarneros [13].

A estas dos válvulas les sigue una válvula de globo cuya función principal es la de controlar el flujo de vapor que entraría a las columnas de fluidización. A esta válvula le sigue un calentador de vapor eléctrico marca Chromalox con una capacidad de 9 kW, 240 Volts de tres fases y que incluye un termostato modelo AR-514 de la misma marca, cuyo rango va de 200° F a 550° F. [13]. Existe gran dependencia entre la última válvula mencionada y el calentador eléctrico, ya que este no es capaz de calentar grandes cantidades de vapor, por lo tanto es necesario regular el flujo del vapor a una cantidad de flujo que pueda ser calentada por el calentador eléctrico. La figura 4.4 muestra la válvula recientemente mencionada y la figura 4.5 muestra el calentador eléctrico.



Figura 4.4. Válvula de globo para nivelar el flujo de vapor que se dirige hacia el calentador. [13]



Figura 4.5 Calentador eléctrico

Como ya se mencionó anteriormente, la calidad del vapor que este sistema recibe no tiene la calidad deseada. El calentador se instaló con el objetivo de evaporar el agua en fase líquida que aun contiene el vapor y sobrecalentarlo. De esta manera la columna de fluidización recibirá solamente vapor. En la salida del calentador se encuentran tanto un termómetro bimetalico como un manómetro de carátula para monitorear constantemente tanto la temperatura a la cual sale el vapor del calentador y la presión a la cual se encuentra el sistema. La temperatura a la cual el vapor requiere ser calentado es controlada con el termostato que viene incluido en el calentador. Además, antes de la entrada del vapor a la columna, se encuentra instalada otra purga para asegurar la entrada de vapor puro y sobrecalentado al sistema. Esta purga es controlada mediante

una válvula de bola y el flujo de vapor en la entrada a la columna de fluidización es controlada mediante una válvula de globo. Cuando se ha asegurado que solamente existe vapor en el sistema y existan las condiciones de vacío requeridas en las columnas, se abre esta válvula de globo para que el vapor se introduzca en la columna de fluidización. La figura 4.6 muestra la última purga contenida en el sistema y la parte donde en vapor entra a las columnas de fluidización.

Toda la tubería que se encuentra en esta parte fue cubierta por Guarneros [13] con un sistema de aislante térmico, el cual consiste en secciones de fibra de vidrio y un recubrimiento de lámina de aluminio. Estos recubrimientos tiene la finalidad de evitar pérdidas de calor del vapor durante su trayectoria hacia las columnas de fluidización.



Figura 4.6 Última purga del equipo antes de que el vapor entre en la columna.

4.2 SEGUNDA PARTE DEL EQUIPO

Esta parte abarca todos los componentes localizados en la columna de fluidización al igual que el equipo encargado de generar el vacío dentro de la columna de fluidización y el intercambiador de calor, que será el nuevo componente que se incluirá en el equipo. Como se mencionó anteriormente, el vapor se introduce a la columna de fluidización por la parte inferior de esta y su flujo de entrada es controlado mediante una válvula de globo contenida en esta parte.

La columna de fluidización cuenta con varios elementos los cuales se explicaran a continuación:

4.2.1 RESISTENCIAS ELECTRICAS

En la segunda parte de nuestro equipo existen resistencias eléctricas conectadas en serie tanto en la sección superior, en la de en medio y en la sección inferior de la columna de fluidización. Las resistencias eléctricas con las que cuenta el equipo son una serie de abrazaderas de lámina de acero conectadas por medio de un circuito en serie, lo que permite que se calienten estas láminas con la finalidad de evitar condensación del vapor al paso de este a través de estas secciones de la columna. En la parte inferior de la columna existen dos resistencias eléctricas las cuales se muestran numeradas en la figura 4.7. Estas resistencias evitan la condensación del vapor en la entrada a la columna de fluidización. La resistencia uno tiene un valor de 71.6Ω y la resistencia 2 tiene un valor de 170Ω [13].

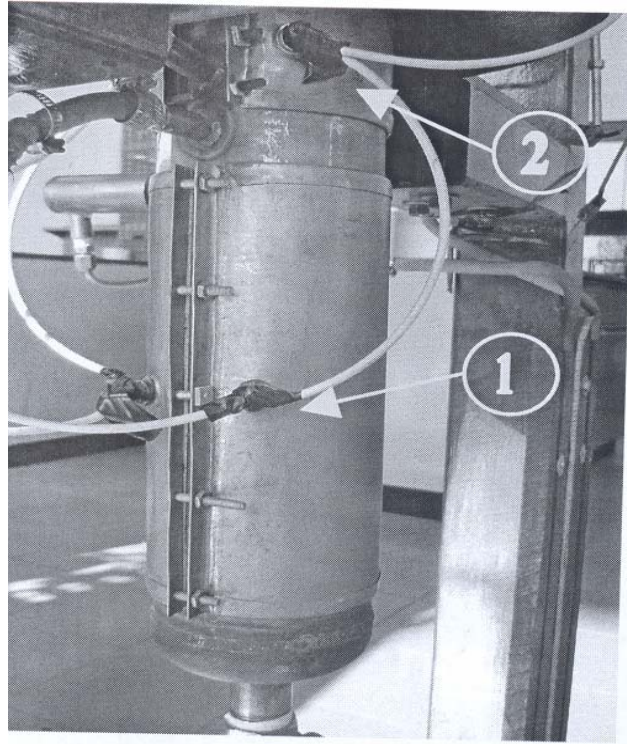


Figura 4.7 Resistencias eléctricas en la parte inferior de la columna [13].

En la sección media y superior de la columna se encuentran conectadas seis resistencias de lámina de acero muy parecidas a las dos resistencias de la parte inferior de la columna pero diferentes tanto en magnitud de tamaño como de número de ohms que contienen. Estas resistencias evitan la condensación del vapor durante el paso de estas a través de la columna de fluidización. Estas seis resistencias se encuentran conectadas en serie con las dos resistencias que se encuentran en la parte inferior de la columna de fluidización. La figura 4.8 muestra las seis resistencias numeradas en la parte media y superior de la columna. Las resistencias en esta parte tienen los siguientes valores: 95.1Ω para la resistencia 1, 191.3Ω para la resistencia 2, 150.3Ω para la resistencia 3, 317Ω para la resistencia 4, 287Ω para la resistencia 5 y 193.9Ω para la resistencia 6 [13].

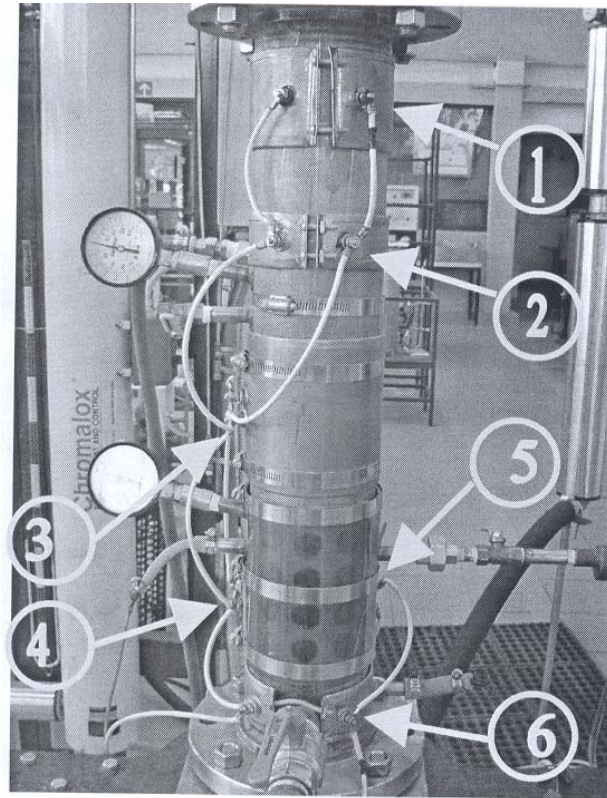


Figura 4.8 Resistencias de la parte media y superior de la columna [13].

4.2.2 MIRILLAS

Durante el proceso de fluidización de partículas sólidas, el control visual del proceso es muy importante, ya que muchos parámetros que influyen en el proceso de fluidización solamente pueden medirse en forma visual. Por este motivo, el equipo cuenta con dos mirillas transparentes. Una se localiza en la parte baja de la sección superior de la columna y la otra se localiza justo arriba de la primera, como se observa en la figura 4.9. Las mirillas consisten en dos piezas de vidrio borosilicato con una curvatura menor de 2.25 mm con una junta de silicón rojo Permatex®, las cuales se sujetan por medio de dos abrazaderas a una sección de la columna que cuenta con un arreglo de 12 barrenos de 1 pulgada de diámetro cada uno [13].

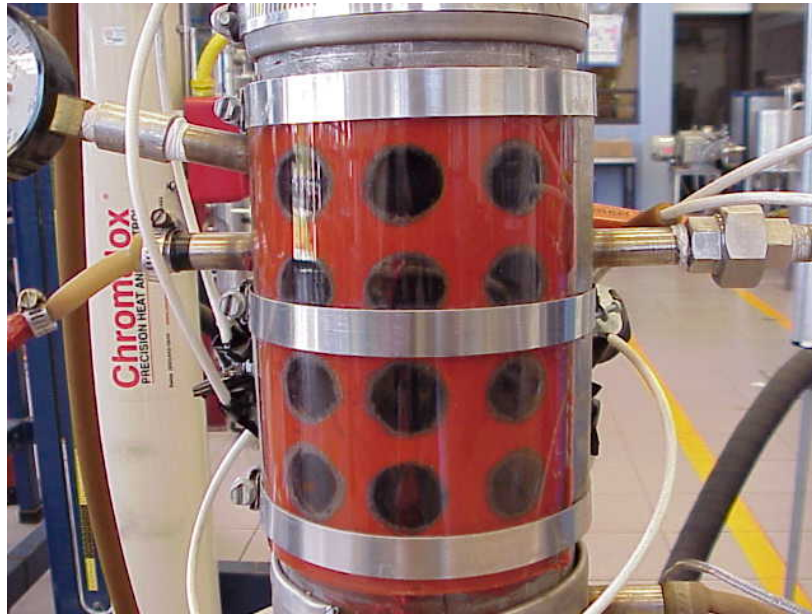


Figura 4.9 Mirillas de la columna de fluidización.

4.2.3 DISPOSITIVO PARA LA ADMISION DE PARTICULAS

Las partículas sólidas pueden entrar a la columna de fluidización mediante un tubo de entrada localizado en la parte inferior frontal de la sección superior de la columna de fluidización. Este tubo tiene una válvula de bola que se encuentra naturalmente cerrado excepto si se requiere la admisión de partículas sólidas dentro de la columna de fluidización. Una vez que se ha generado el vacío requerido en la columna, es posible introducir las partículas sólidas a la columna por medio de succión. Las partículas son colocadas en la boca del tubo de entrada y, al existir vacío dentro de la columna, este vacío succionara las partículas en la boca del tubo. Este mismo dispositivo para la admisión de partículas es también utilizado para desalojar las mismas una vez que la prueba ha terminado. Para retirar las partículas que se encuentran dentro de la columna, es necesario aplicar aire comprimido a la columna, de esta forma, las partículas serán arrojadas por este dispositivo de admisión. La figura 4.10 muestra la ubicación de este dispositivo en la columna de fluidización.

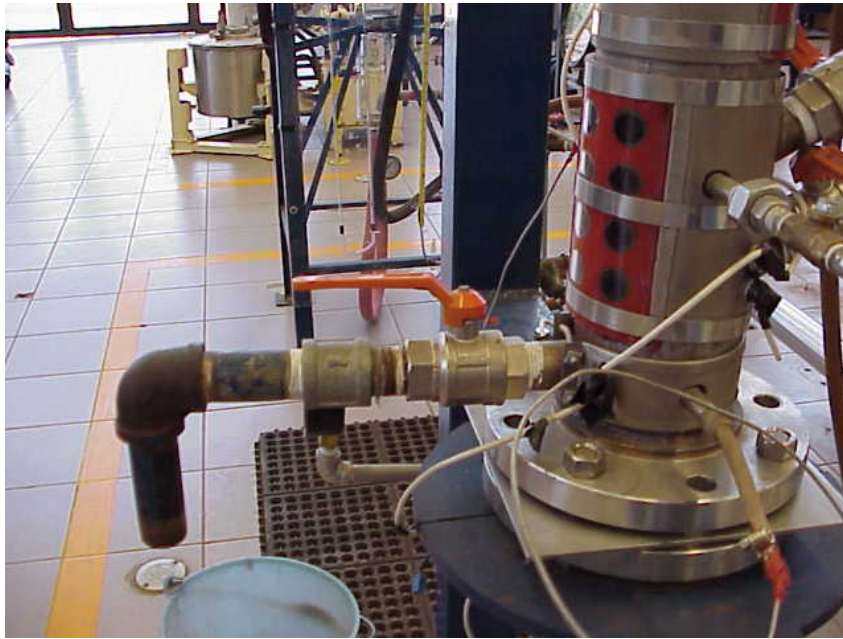


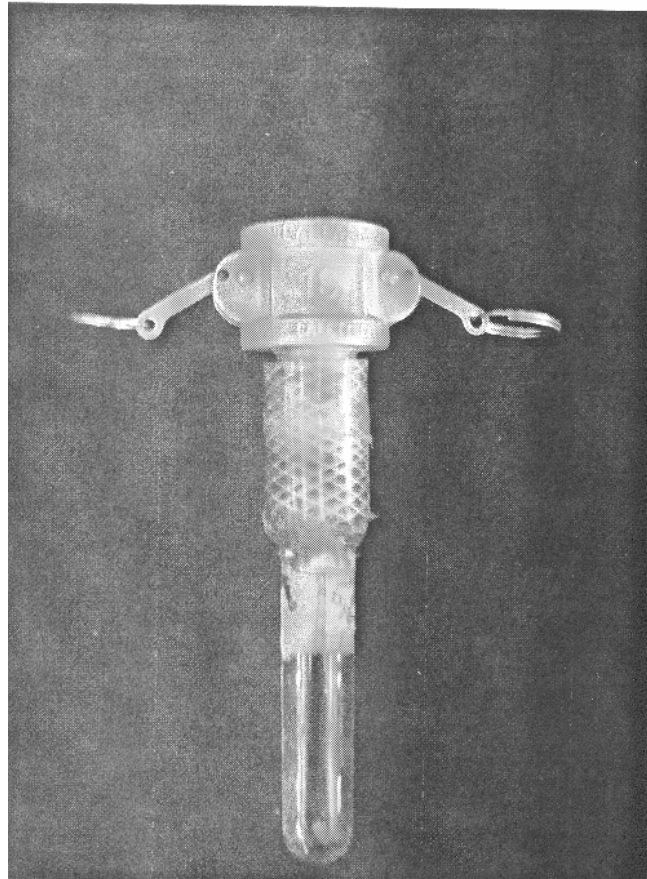
Figura 4.10 Dispositivo para la admisión de partículas

4.2.3 DISPOSITIVO PARA TOMA DE MUESTRAS

Para la toma de muestras existen dos salidas en la columna. La elección de estas salidas dependen de la altura del lecho fluidizado. En la figura 4.11 se puede observar la posición de cada una de estas salidas. En la figura 4.11 también puede verse el dispositivo que debe atornillarse a una de las dos salidas para poder extraer la muestra. Este dispositivo es muy importante, ya que, además de contener una válvula de bola para controlar el número de muestras que se desean obtener, también sirve para colocar el tomador de muestra que se muestra en la figura 4.12.



Figura 4.11 Dispositivo para toma de muestras atornillado en la toma inferior



4.12 Tomador de muestras [13]

La forma en que puede obtenerse la muestra es mediante una derivación del vacío, se desvía la generación de vacío hacia otro punto de la columna para que al abrir la válvula de bola colocada en la salida, las partículas salgan dirigidas hacia un filtro de vapor colocado de tal manera que el vapor pueda pasar libremente mientras que las partículas sean desviadas hacia el tomador de muestras [13].

4.2.4 DISTRIBUIDOR DEL VAPOR

El distribuidor es la parte encargada de distribuir uniformemente el vapor sobrecalentado en la columna de fluidización. Generalmente se define como una placa delgada que contiene un determinado número de agujeros a través de los cuales el vapor es distribuido en la columna de fluidización. Para este equipo se cuentan con dos distribuidores de acero inoxidable 304L. Las características de cada distribuidor son presentadas a continuación [13].

- El primer distribuidor tiene un espesor de 1.5 mm y 294 barrenos de 1.59 mm de diámetro. La forma de la celda unitaria es de triángulo equilátero cuyo lado mide 6 mm. La relación que hay entre el área de todos los orificios y el área del ducto se refiere al área libre existente en el distribuidor, y para este caso es de $f = 0.0633$. Este distribuidor se muestra en la figura 4.13.
- El segundo distribuidor al igual que el primero tiene un espesor de 1.5 mm, 276 perforaciones de 1.59 mm de diámetro. Se tiene un arreglo de estrella de 5 picos con una separación radial de 5.2 mm. La relación de área libre es de $f = 0.0594$. Este distribuidor se puede observar en la figura 4.14.

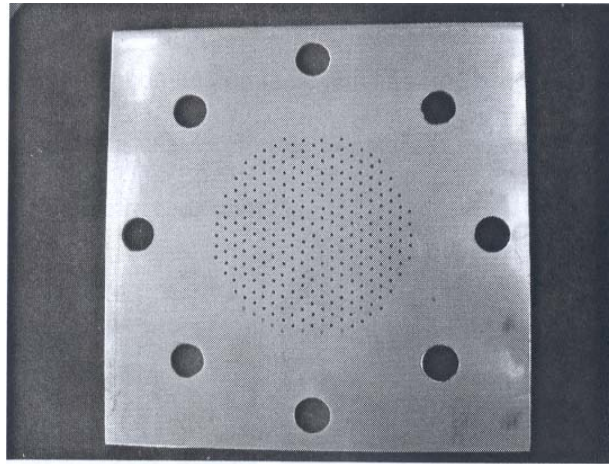


Figura 4.13 Primer distribuidor [13]

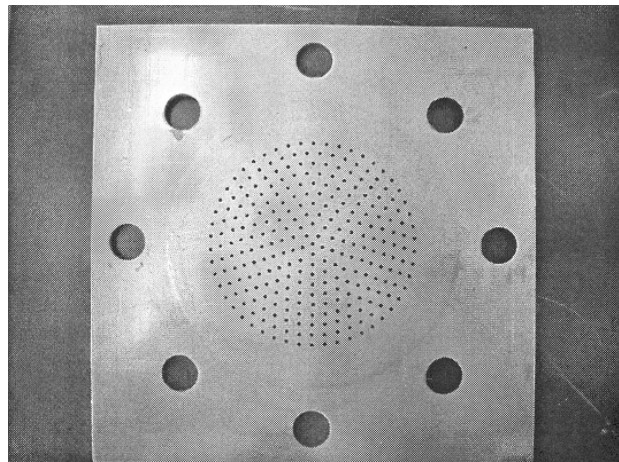


Figura 4.14 Segundo Distribuidor [13]

4.2.5 APARATOS DE MEDICIÓN EN LA COLUMNA

Para poder medir y monitorear constantemente los parámetros que influyen en los procesos de fluidización, existen varios instrumentos de medición distribuidos estratégicamente a lo largo de la columna de fluidización. Estos instrumentos son utilizados para medir y monitorear la presión de operación y la temperatura del vapor dentro de la columna.

Para medir temperaturas en tres zonas importantes a lo largo de la columna de fluidización, se cuenta con tres termopares tipo J con bulbo de 3/16 in de acero inoxidable. Para medir las presiones de vacío en tres diferentes puntos estratégicos a lo

largo de la columna, esta cuenta con tres manovacúómetros distribuidos a lo largo de la columna. En las figuras 4. 15 y 4.16 se puede observar los tres manovacúómetros y uno de los tres termopares descritos anteriormente.



Figuras 4.15: Se observan los 3 manovacúómetros instalados a lo largo de la columna



Figuras 4.16. Uno de los tres termopares a los largo de la columna de fluidización.

La caída de presión en el lecho fluidizado es uno de los parámetros más importantes que influyen en el proceso de fluidización. Este parámetro se mide con ayuda de un manómetro tipo U ubicado en la parte inferior derecha de la columna de fluidización. El fluido de medición que utiliza este manómetro es tetracloruro de carbono (CCl_4). Guarneros [13] agregó yodo al tetracloruro de carbono de este manómetro para dar coloración a este fluido de medición y de esta forma, facilitar la lectura de las alturas del fluido. La razón del uso de este fluido se debe a que el peso específico del tetracloruro de carbono le permite ser más sensible a las caídas de presión pequeñas, y de esta forma, existe un mayor desplazamiento del fluido en el manómetro que el que existiría con cualquier otro fluido de medición. El manómetro tipo U está conectado en la parte superior e inferior del distribuidor mediante dos condensadores que contienen agua, la cual desplaza el fluido de medición para obtener las diferencias de alturas en el manómetro al existir caídas de presión. Las figuras 4.17 y 4.18 muestran el manómetro tipo U y los condensadores respectivamente.

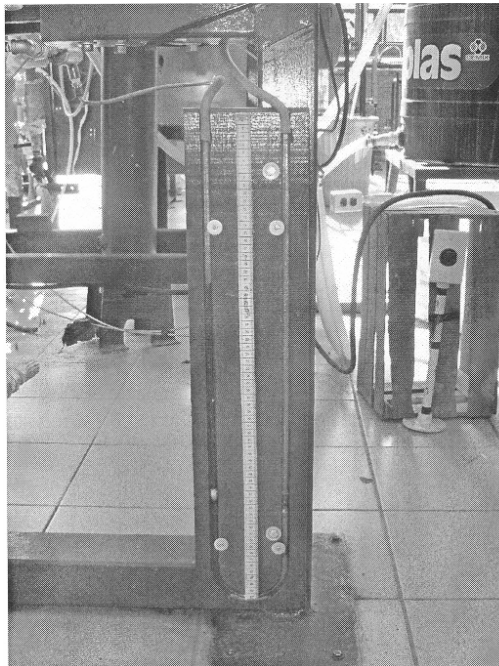


Figura 4.17 Manómetro de Tetracloruro de carbono

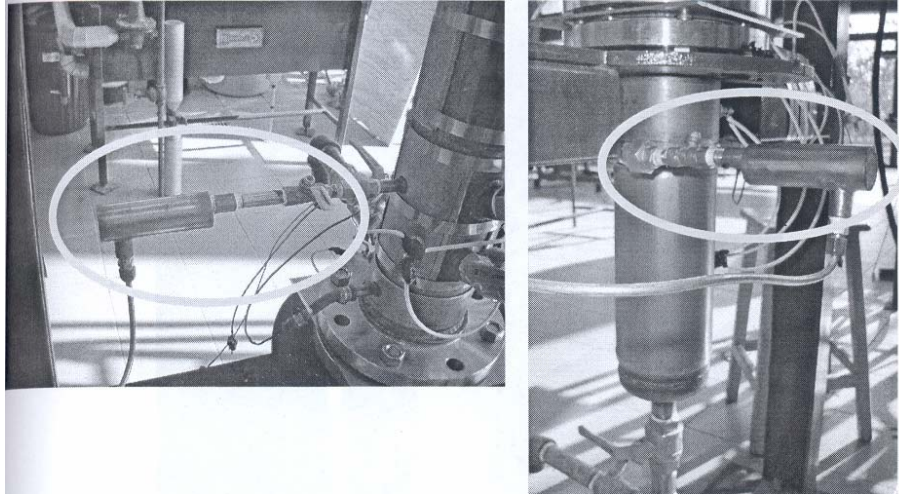


Figura 4.18 Condensadores conectados a la columna para medir la caída de presión.

4.3 INTERCAMBIADOR DE CALOR

Como se ha mencionado anteriormente, se adaptará a nuestro equipo un intercambiador de calor que enfriará el agua usada por la bomba de vacío.

Durante el proceso de fluidización, el agua utilizada por la bomba de vacío es calentada hasta aproximadamente 90 grados centígrados debido al contacto que existe entre ella y el vapor sobrecalentado. Esto provoca una disminución considerable de la eficiencia de la bomba de vacío y, consecuentemente, presiones de vacío en la columna mucho menores a las requeridas en los experimentos. En trabajos anteriores con este equipo [13], [7], [14], se utilizaron dos tanques de agua para ir cambiando el agua constantemente una vez que esta se encontraba demasiado caliente. Sin embargo, existía mucha pérdida de tiempo en este proceso. El intercambiador de calor con el que contará nuestro equipo enfriará constantemente el agua que ha sido calentada durante el proceso de fluidización, y de esta manera, la eficiencia de la bomba de vacío permanecerá constante.

El intercambiador de calor está instalado a un tanque estacionario de agua de aproximadamente 230 litros. El agua de este tanque es enfriado constantemente por el

intercambiador de calor, marca Gilvert ® modelo GF3AD-A202TFC-E. La potencia con la que cuenta el intercambiador de calor es de 2 hp y requiere un suministro de energía eléctrica de 220 V. El gas utilizado por el intercambiador de calor para enfriar el agua que se encuentra en el tanque de 230 litros es R22. Para el ciclo de enfriado de este gas, el intercambiador de calor utiliza un sistema de acumulación de refrigerante marca Copeland®, modelo CRD1-0200-TFS-501 y requiere un voltaje de entre 200 a 240 V. para su buen funcionamiento.

El agua caliente generada durante el proceso será bombeada por la bomba de vacío hasta el tanque estacionario que contiene el agua enfriada por el intercambiador de calor. La misma bomba tomará agua fría de este mismo tanque para generar las presiones de vacío requeridas dentro de la columna. La figura 4.19 y 4.20 nos muestran el intercambiador de calor y el tanque estacionario de agua fría respectivamente.



Figura 4.19. Equipo de enfriamiento que contiene el serpentín de calor



Figura 4.20. Tanque estacionario en el cual se descargará el agua caliente y se tomará agua fría para el buen funcionamiento de la bomba de vacío.

Sin embargo este equipo de enfriamiento se encuentra ubicado en una zona muy inaccesible en planta piloto. Debido a cuestiones de seguridad y pérdidas de presión, se descarto la idea de bombear agua desde la zona de columnas de fluidización hasta el equipo de enfriamiento. En cambio, se opto por construir un medio de transporte para todo el equipo de enfriamiento. Este medio de transporte tendría la capacidad de transportar tanto el serpentín de calor como el tanque de estacionario de agua de manera simultánea hasta la zona donde se ubican las columnas de fluidización. El transporte tuvo que ser diseñado con la geometría necesaria para que alojara en forma correcta tanto el motor del serpentín de calor como el tanque estacionario de agua. La parte del transporte que sostendría el tanque de agua fue construido de tubular de 1/8 pulgadas de espesor y el perfil cuadrado con dimensiones de 2 x 2 pulgadas. El material de este tubular es acero ASTM A36. Las rodajas o ruedas que sostendrían esta parte del transporte son modelo HI-76PGB, con un diámetro de la rueda de 3 pulgadas, con la capacidad de soportar una carga de 90 Kgs. cada una, y de material hule.

La parte del transporte que sostendría el motor y la bomba del equipo de refrigeración fue construido con tubular de 1/8 pulgadas de espesor y el perfil cuadrado con dimensiones de 1 x 1 pulgadas. El material en esta parte fue el mismo que en la parte antes mencionada. Las rodajas o ruedas que sostendrían esta parte del transporte son modelo HT-415A, con un diámetro de la rueda de $1\frac{5}{8}$ pulgadas, con la capacidad de soportar 50 Kgs entre las cuatro y de material hule. Ambos tipos de rodajas utilizadas en ambas partes son marca Rodamex®. En la parte del transporte donde se sostendría el tanque estacionario se utilizó material más grande y rodajas mas resistentes debido a que esta parte sostendría un peso de aproximadamente 230 Kgs. mientras que la otra parte sostendría un peso de aproximadamente 50 Kgs. La figura 4.21 muestra este medio de transporte para el equipo de enfriamiento.



Figura 4.21 Transporte para equipo de enfriamiento del agua usada en los experimentos de fluidización.