

CAPITULO 11

CONCLUSIONES, OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES

11.1 Equipo Experimental

El equipo experimental fue nuestra mayor preocupación a lo largo de la realización de los experimentos. Cuando se comenzó a realizar las pruebas experimentales, se hizo notable que el equipo se encontraba en condiciones en las que no se podía trabajar correctamente. La disponibilidad del equipo fue bastante baja a lo largo de la realización de los experimentos, y esperamos que eso pueda mejorar con el plan de mantenimiento, así como que la curva de aprendizaje se reduzca.

El equipo tenía varias deficiencias, siendo las primera con la que me encontré, la temperatura del vapor. Era en realidad un problema triple, ya que el calentador no elevaba la temperatura, como se suponía debería hacerlo, el control de temperatura se desestabilizaba con suma facilidad, y se tenían fugas en la tubería que nos suministraba calderas. Para hacer que el calentador funcionara de manera adecuada, se tuvo que traer a una persona experta, se desmontó, se checaron las conexiones y las resistencias. Después de esto se pudo conseguir temperaturas más elevadas. El control de temperatura se tuvo que cambiar. Se consideraron dos modelos, uno que era idéntico al que tenía y otro electrónico. Se optó por este último, ya que presentaba ciertas ventajas sobre el otro,

como tener un mayor control de la temperatura, tener más funciones, y que diera una lectura instantánea de la temperatura del vapor, además el precio era casi el mismo.

En un principio, el control no funcionaba bien, y se tuvo que cambiar dos veces de termopar, hasta que se descubrió que el lugar donde estaba situado no era el adecuado, ya que se encontraba en medio de las resistencias dentro del calentador. Se movió entonces el termopar que registraba la temperatura a dos posiciones nuevas, hasta que encontramos el lugar idóneo para su funcionamiento; fue instalado un tapón que se encuentra en la tubería justo antes de entrar a la columna. Actualmente el control funciona a la perfección. El tercer problema tardó mucho en resolverse, hasta que al fin las personas de mantenimiento arreglaron las fugas. El problema que se tiene ahora con el suministro de vapor es que es muy irregular, y de repente se cae la temperatura, y puede llegar a condensarse. Este problema ha sido reportado anteriormente por Cabrera [11] y por Martínez [64]. Esto puede arruinar por completo la prueba experimental en la que se este trabajando.

Otro problema que tuvimos fue el uso del intercambiador de calor, ya que al principio, se tenía que compartir, con personal de otros proyectos, afortunadamente se adquirió otro intercambiador y ahora se cuenta con el intercambiador con el que se trabajaba originalmente, de tiempo completo. El problema ahora es la eficiencia del sistema de enfriamiento, ya que su capacidad no es suficiente, y se pierde mucho tiempo debido a esto, ya que, por ejemplo para una prueba de 40 kPa se debe de enfriar el agua un poco más de 3 horas y media, para que el sistema se mantenga en las condiciones operacionales durante todo el proceso. Tampoco no se tenía registro de cómo era que los

tesistas anteriores circulaban el agua entre el tinaco y el intercambiador de calor, y si era de manera continua o solo se vaciaba. Por lo que se idea un sistema de mangueras muy sencillo por el cual el agua circula del intercambiador a la bomba y de ahí al tinaco, de donde cae hacia el intercambiador de calor de nuevo. Es un sistema suficientemente eficiente, y cumple su cometido.

Es necesario utilizar la malla dentro de la columna o el filtro para evitar el paso de basura hacia la bomba. Esto resultó muy difícil con el arroz con cáscara, ya que contiene mucha basura, y hacía que la malla se tapara y que la bomba se forzara.

El manómetro de mercurio presenta cuarteaduras, y no pudo ser desmontado para su limpieza, y debido al nivel de impurezas, era muy difícil tomar las lecturas de caída de presión. Una de las dificultades más grandes que tuvimos, y por lo cual las gráficas de velocidad mínima de fluidización no son muy precisas es la lectura del manómetro de tetracloruro de carbono CCl_4 , que mide la presión en la columna, y a que es muy difícil de determinar lecturas correctas. Esto también fue reportado por Martínez [64]. Tal vez cambiando el fluido se podría mejorar este aspecto.

Los termopares que se encuentran en la columna, no funcionaban cuando llegamos a trabajar en el equipo, por lo que los cambiamos. Pero las lecturas que nos marcan no son muy confiables, y a veces no coinciden, sería recomendable, aislar los termopares dentro de la columna, y que estos realmente sólo tomen la temperatura lecho

fluidizante que existe dentro de la columna, pues al no estar aislado, el tocar la columna puede ocasionar errores en la medición.

Es recomendable que se revise la instalación que se encuentra junto a la columna, por estándares de seguridad.

La bomba de vacío se descompuso y se tuvo que desmontar y montar varias veces, lo cual es muy difícil, ya que es muy pesada. Se descubrió que el principal problema era que se tapaban las mangueras, por la basura proveniente de la columna. Se aprovecho el desmontar la bomba para darle mantenimiento, y cambiar algunos empaques.

También al empezar las pruebas experimentales se nos encomendó el cambiar la válvula con la que se regula el flujo de vapor, ya que se contaba con una de globo, la que es muy imprecisa. Esto ha ayudado al equipo, pero no ha sido el factor determinante, que nos permita tener pruebas de fluidinámicas óptimas.

Una dificultad que se tuvo a la hora de realizar los experimentos, principalmente los fluidinámicos, fue la lectura de la alturas, ya que el observar por las mirillas es muy difícil, y si las partículas están húmedas y se pegan a las mirillas, es imposible tener la lectura de la altura máxima y mínima de la fluidización. Así mismo, no se contaba con cinta métrica cuando empezamos a utilizar el equipo, por lo que se tuvo que colocar una.

Sería bueno contar con un desagüe, ya que cuando se tira por alguna razón agua del tinaco es muy difícil que se seque, así que sería bueno tener un sistema que desaloje el agua que se llegue a derramar en el tinaco.

Se recomienda ampliamente leer con sumo cuidado el protocolo de funcionamiento del equipo que se encuentra en la tesis de Guarneros [37], así como el plan de mantenimiento que se incluye en esta tesis.

11.2 Experimentos fluidinámicos y de secado

La obtención de la velocidad mínima de fluidización es muy complicada con el sistema que se tiene. Las graficas que arrojan la velocidad mínima de fluidización son muy inexactas y presentan un error considerable. Sería muy recomendable tener un dispositivo que midiera el flujo antes de pasar por la placa de orificio, como lo menciona Martínez[64], por ejemplo el sistema de aire es muy eficiente en ese aspecto.

Dentro de lo poco que se puede observar claramente dentro de las pruebas fluidinámicas, podemos decir que la velocidad mínima de fluidización aumenta al grado que la presión dentro de la columna disminuye, pues cambian las propiedades del vapor considerablemente, el efecto de la temperatura es menor. La diferencia entre las pruebas de partícula húmeda y seca no es muy notoria, ya que en las pruebas de fluidinámica, no se toman muestras para determinación de humedad, y esta puede variar de una prueba a otra, ya que en muchas ocasiones las pruebas no duran el mismo tiempo.

El arroz con cáscara es una partícula sumamente difícil de fluidizar, y se tuvo que lidiar con ello tanto en las pruebas fluidinámicas como en las de secado. En las pruebas de fluidinámica las partículas dejaban de fluidizar con mucha facilidad, y tenía que dársele unos golpes a la columna para que volviera a fluidizar. En el secado tuve problemas con la partícula a la hora de tomar las muestras, ya que no salía nada, por lo que se tenía que aumentar el vacío a la hora de sacar la muestra y esto ocasionaba que la temperatura empezara a variar. A la hora de desviar el vapor y vacío de la columna a la toma de muestras, se llegaba a condensar el vapor, lo que a veces se reflejaba en los resultados.

Por medio de las curvas de secado nos podemos percatar del comportamiento de esta partícula en el lecho fluidizado. El efecto de la presión en el secado de la partícula a menores temperaturas es mayor, y este efecto se reduce a temperaturas de operación mayores. También podemos observar, que la influencia de la temperatura se hace notoria con un menor vacío, pero este efecto disminuye mientras se disminuye la presión, es decir aumentando el vacío. La velocidad tiene cierta incidencia al principio del experimento de secado, aunque como transcurre el tiempo la diferencia se hace menor. Aunque también podemos observar que las velocidades tienen muy poco efecto a 40kPa. Con respecto al contenido final de humedad, mientras mayor sea la temperatura en exceso, menor es el contenido de humedad final.

En las pruebas de secado, especialmente en las de presiones de 67kPa no se pudo alcanzar las velocidades de 2.9m/s y 3.3m/s, por lo que se optó por trabajar con velocidades de 2.3 m/s y 2.5 m/s.

El uso de vapor sobrecalentado en un lecho fluidizado supone ciertas ventajas sobre el uso de aire, como los tiempos de resiliencia y calidad del producto, y se ha utilizado por largo tiempo, aunque no existan muchas publicaciones al respecto. Esto supone una buena oportunidad para que el proyecto crezca y se pueda dar a conocer.

El proyecto de lecho fluidizado tiene mucho futuro, y se puede mejorar en muchos aspectos. Es recomendable, dedicar por completo un proyecto de tesis, para mejorar aspectos como la toma de muestras, la cual probablemente necesite un rediseño pues no es muy eficiente para partículas difíciles de fluidizar, la medición de la diferencia de presión en la columna y del flujo de vapor para los experimentos fluidinámicos, y la implementación de un sistema de enfriamiento más eficiente o el mejoramiento del actual.