



DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN PARA LA ESTIMACIÓN DE BOLSAS DAÑADAS EN UNA CASA DE BOLSAS USADA EN LA INDUSTRIA ASFALTERA.

Yoqsan Berumen^a, Sergio Valle^{a*}, Rafael Lucho^a, Alfredo Serrano^a, Cristhian Rodriguez^b, Juan Castro^b

^a Maestría en sistemas ambientales, Instituto Tecnológico de Durango, Felipe Pescador 1803 Ote, Nueva Vizcaya, Durango, Durango, 34080, MÉXICO. svc@alumni.utexas.net

^b Departamento de automatización, TRIASO S.A de C.V, Blvd. Domingo Arrieta 907 Col. Juan de la Barrera, Durango, Durango, 34180, MÉXICO.

Resumen

Las casas de bolsas son unos de los sistemas más ampliamente utilizados para el control de materia particulada en la industria. Sus altas eficiencias de remoción y su flexibilidad las han convertido en el sistema preferido por la industria del asfalto. Uno de los problemas más comunes al que se enfrentan estos sistemas es el de bolsas dañadas o rotas, el cual trae consigo bajas en la eficiencia de remoción y, por ende, aumentos en la carga de materia particulada emitida al ambiente. Desafortunadamente, conocer la cantidad de filtros dañados es muy difícil, implica detener el proceso por un tiempo indefinido y verificar cada filtro por separado. En este trabajo se presenta el desarrollo de una aplicación basada en MatLab[®] que ayuda a realizar una estimación de bolsas dañadas. La aplicación desarrollada puede ser instalada en cualquier computadora ya que es un archivo ejecutable. El algoritmo de la aplicación crea una gráfica que permite observar como decae la presión diferencial respecto a las posibles bolsas dañadas en el sistema. La geometría de los filtros también es tomada en consideración, es posible hacer una estimación tanto para filtros cilíndricos como para filtros elípticos.

Palabras clave: Casa de bolsas; Presión diferencial; Control de emisiones; MatLab[®].

1. Introducción

Una casa de bolsas (Fig. 1) es un dispositivo de control de contaminación del aire, normalmente usando un conjunto de filtros largos y cilíndricos, fabricados para remover materia particulada de una corriente de gases de escape. Conforme los gases de escape pasan a través de los filtros, las partículas son separadas de la corriente de aire, pegándose en las paredes del filtro. Las partículas atrapadas por los filtros son removidas periódicamente por varios métodos, como golpeando las bolsas, mandando un flujo de aire a través de las bolsas, o agitándolas. Las partículas caen en un recolector, el cual es descargado periódicamente (Blanchfield, 2012).

Las casas de bolsas se han convertido en el sistema de preferencia en la limpieza de corrientes de aire de la industria asfaltera y muchas otras. Esto es debido a que proporcionan ventajas económicas sobre otros sistemas, ya que regresan la materia recolectada a la mezcla del proceso, en lugar de desperdiciarla. Y sus altas eficiencias de remoción pueden llegar a retener partículas desde $10\mu\text{m}$ hasta $1\mu\text{m}$ con un adecuado funcionamiento, alcanzando eficiencias de hasta 99.99% (Swanson, 2016).

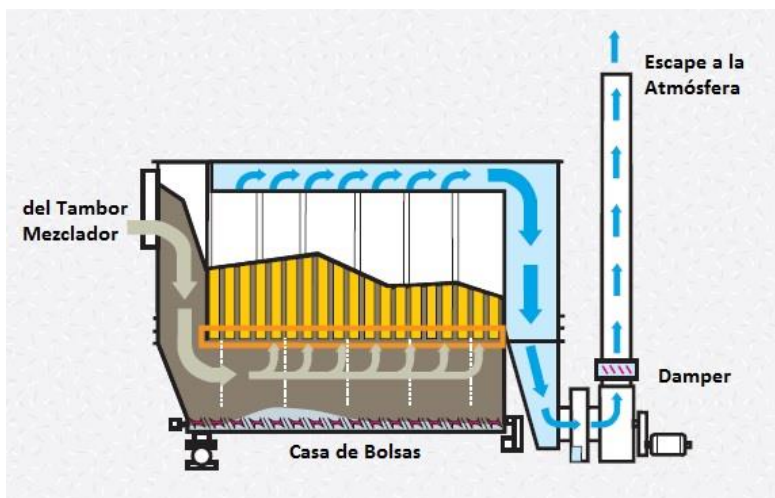


Figura 1 Diagrama de una casa de bolsas (Swanson, 2016).

Sin embargo, existen problemas que pueden afectar drásticamente estas ventajas. Las fallas en las bolsas son los problemas más serios a los que se enfrentan estos sistemas. Debido al uso, las bolsas se van deteriorando por varias razones, como la erosión térmica, estrés mecánico, abrasión, etc. A pesar de que

se prescribe cambiar los filtros después de un cierto número de horas, es muy difícil llegar a predecir o prevenir cuándo llegará a fallar una bolsa durante su operación. Cuando esto llega a pasar, se registra un repentino incremento en la carga de partículas a la salida, que puede traer consigo problemas tanto ambientales como de salud si es que llegan a superar los límites establecidos (Theodore *et al.*, 1979).

Lamentablemente no existen métodos para poder determinar rápidamente este tipo de fallas, muchas de ellas son imposibles de detectar en la práctica. El objetivo de esta investigación es proveer una aplicación basada en MatLab® que permita realizar una estimación del número de bolsas dañadas mediante los cambios en la presión diferencial, así como un estimado de la carga de partículas a la salida.

2. Descripción de la planta

La planta presentada sobre la que se realiza el estudio es una casa de bolsas diseñada y fabricada por la empresa TRIASO S.A. de C. V., equipada con 380 bolsas (filtros) y empleada en la producción de mezcla asfáltica caliente, que se encarga de limpiar los gases de escape mediante la retención de la materia particulada. La Figura 2 muestra un diagrama completo de la máquina productora de asfalto producida por esta empresa.

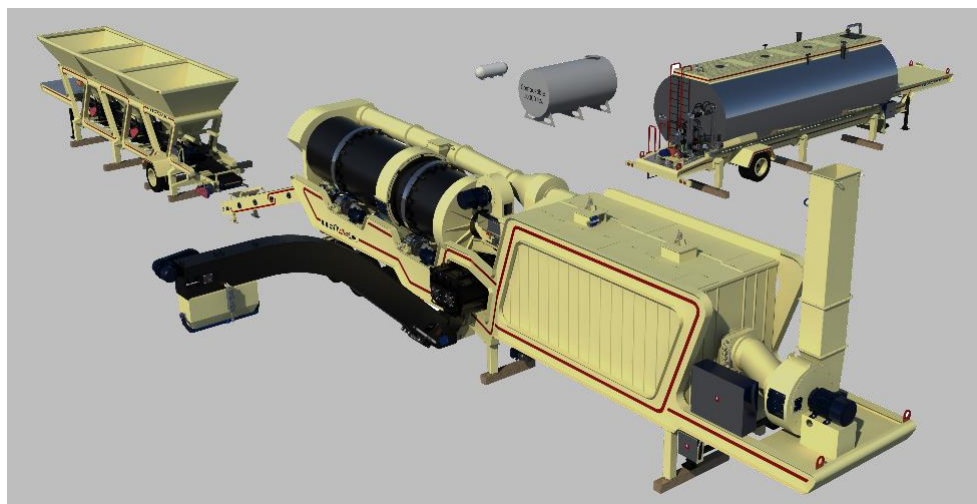


Figura 2 Máquina productora de asfalto producida por TRIASO S. A. de C. V.

El gas con partículas pasa a través de los filtros, donde quedan retenidas y van formando una capa alrededor que se conoce como tarta de polvo. Conforme pasa



el tiempo, esta capa va engrosando y la eficiencia para la retención de partículas va aumentando, al igual que la caída de presión dentro de la casa de bolsas. Por esto es necesario efectuar una limpieza periódica de los filtros para evitar disminuciones en el caudal y evitar que los filtros colapsen por la presión (Echeverri, 2008).

El caso de estudio cuenta con un sistema de limpieza de aire inverso con dos secciones. En este tipo de casa de bolsas, el flujo de gas hacia los filtros es interrumpido en la sección que está siendo limpiada y un flujo a contracorriente del exterior es dirigido a través de los filtros. Estos se inflan y el exceso de partículas cae a un colector. La frecuencia de limpieza depende directamente de los niveles de la presión diferencial medida dentro del sistema (Hung *et al.*, 2002).

Una de las variables más importantes a controlar dentro de la casa de bolsas es la presión diferencial, ya que es un indicador no sólo del correcto funcionamiento de los filtros y de una adecuada formación de la capa de partículas alrededor del filtro, sino que también es una medida de la energía requerida para mover los gases a través del sistema, lo que determina el costo del capital y requerimientos energéticos de los ventiladores. Presiones mayores a 5 pulgadas de H₂O indican una mala limpieza de los filtros, y representan un mayor gasto energético para mover; y presiones menores de 2 pulgadas de H₂O pueden indicar la posibilidad de un filtro dañado. Este rango de presiones se considera el adecuado para una casa de bolsas usada en producción de asfalto caliente (Miller, 2015; Swanson, 2016).

La temperatura también es una variable muy importante, pues debe tenerse en cuenta que no debe superar los límites establecidos por las características de los filtros, de lo contrario puede ocurrir un incendio dentro del sistema. Sin embargo, no hay forma de controlar esta variable dentro de la casa de bolsas, depende directamente del quemador del tambor rotatorio (Swanson, 2016).

Modelado de la planta

En su mayoría, las variaciones en la presión respecto al tiempo son causadas por la acumulación de partículas alrededor de los filtros. Un filtro limpio puede generar una caída de presión aproximada de 0.5 pulgadas de H₂O, dependiendo del material del que esté construido. Conforme transcurre el tiempo esta presión se incrementa de forma lineal debido a la acumulación de materia particulada, y una vez alcanzadas 2 o 3 pulgadas de H₂O se considera que la capa de partículas se ha formado adecuadamente y el sistema se encuentra en su mejor eficiencia de remoción (Miller, 2015). La caída de presión total a través de la casa de bolsas es una función de la resistencia que presentan los filtros, la caída de presión debida a



la capa de partículas formada y a la caída de presión generada por el sistema, lo cual puede ser expresado en la Ec. 1 (Echeverri, 2008):

$$\Delta P = \Delta P_s + \Delta P_f + \Delta P_c \quad (1)$$

Donde:

ΔP = Caída de presión total, en mm de H₂O,

ΔP_s = Caída de presión a través del compartimiento, en mm de H₂O,

ΔP_f = Caída de presión a través de los filtros, en mm de H₂O y

ΔP_c = Caída de presión a través de la capa de partículas, en mm de H₂O.

Otro factor importante en el diseño de la casa de bolsas es el flujo volumétrico que pasa a través de los filtros. Tanto el flujo volumétrico, como la presión diferencial, son factores que están íntimamente ligados, y esta relación puede ser utilizada para detectar posibles fallas en los filtros. Lo que quiere decir, básicamente, es que al haber bolsas rotas es común esperar caídas de presión debido a que el flujo de gases tiende a escapar por los orificios (Qin *et al.*, 2006). Para determinar el flujo a través de la casa de bolsas y considerar el efecto que pueden tener un cierto número de posibles bolsas rotas, es posible usar la Ec. 2 (Qin *et al.*, 2006):

$$Q_{Total} = \pi DH(N - x)k_f \Delta P + x \frac{\pi D^2}{4} C_o \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} \quad (2)$$

Donde:

Q_{Total} = Flujo volumétrico a través de la casa de bolsas,

D = Diámetro de las bolsas y de las perforaciones,

H = Longitud de las bolsas,

N = Número total de bolsas,

x = Número de bolsas dañadas o perforadas,

C_o = Coeficiente del orificio,

k_f = Constante de permeabilidad de las partículas,

ρ = Densidad del gas y

ΔP = Presión diferencial en estado estable de la casa de bolsas.

La presión diferencial puede ser determinada de forma práctica cuando el sistema se encuentra funcionando en estado estable. El coeficiente del orificio, C_o , depende del número de Reynolds, y normalmente tiende a un valor asintótico de 0.61, independientemente del radio que pueda tener el orificio, por lo que es común usar este valor como una aproximación. La densidad del gas, ρ , puede ser determinada mediante la ecuación de los gases ideales. El diámetro D , se considera



el mismo de los filtros al de los orificios, ya que si existe una perforación se considera inexistente el filtro, por lo tanto el mayor diámetro posible por el que atravesará el flujo es el diámetro equivalente de los filtros. Para estimar k_f puede ser usada la Ec. 3 (Qin *et al.*, 2006):

$$k_f = \frac{Q_{Total}}{\pi D H N \Delta P_0} \quad (3)$$

Donde ΔP_0 es la caída de presión en operación normal (sin bolsas rotas). Es posible asumir que las bolsas rotas no proveen resistencia alguna al flujo de gas, por lo que es válido asumir esto para orificios grandes o una pérdida completa de un filtro. A partir de las ecuaciones descritas anteriormente es posible determinar o hacer una estimación de los cambios en la presión diferencial respecto a un número cualquiera de bolsas dañadas o perforadas (Qin *et al.*, 2006). Para obtener la relación que existe entre las bolsas dañadas y las fluctuaciones en la presión diferencial es necesario despejar de la Ec. (3) el término correspondiente a la presión diferencial, con lo cual se obtiene la Ec. 4:

$$\left(\frac{4k_f H(N-x)}{x C_0 D}\right)^2 \Delta P^2 - \left(\frac{2}{\rho} + \frac{32 Q_{Total} k_f H(N-x)}{\pi C_0^2 D^3 x^2}\right) \Delta P + \left(\frac{4 Q_{Total}}{\pi C_0 D^2 x}\right)^2 = 0 \quad (4)$$

La cual es una ecuación de segundo grado.

Se consideró también que las bolsas dentro del sistema fabricado por TRIASO tienen una geometría elíptica y no totalmente cilíndrica, por lo que deben hacerse ajustes al algoritmo, dando como resultado la Ec. 5:

$$\left(\frac{4k_f(N-x)(\pi D H + 2 L R H)}{x C_0(\pi D^2 + 4 D L R)}\right)^2 \Delta P^2 - \left(\frac{2}{\rho} + \frac{32 Q_{Total} k_f(N-x)(\pi D H + 2 L R H)}{C_0^2 x^2(\pi D^2 + 4 D L R)^2}\right) \Delta P + \left(\frac{4 Q_{Total}}{C_0 x(\pi D^2 + 4 D L R)}\right)^2 = 0 \quad (5)$$

Que de igual manera es posible resolverla con la fórmula general para ecuaciones de segundo grado, para determinar la presión respecto a un número de bolsas dañadas.

3. Resultados

Para los algoritmos usados para determinar las posibles bolsas dañadas se desarrolló una aplicación como la mostrada en la figura 3. es posible estimar tanto bolsas cilíndricas como elípticas.

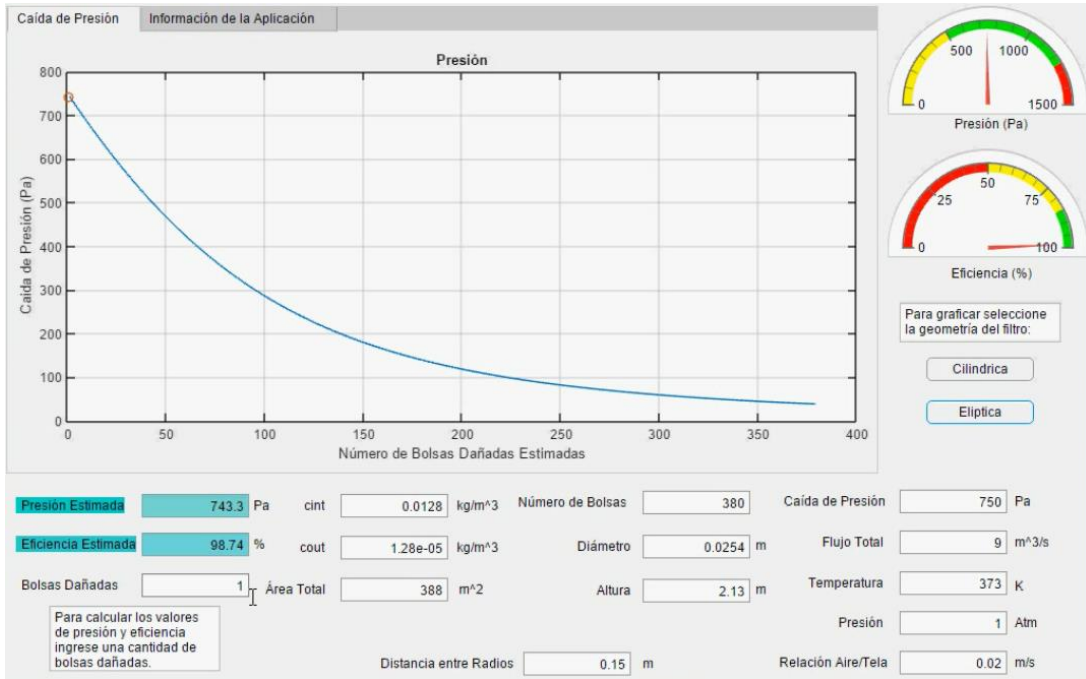


Figura 3 Estimación de bolsas dañadas respecto a la presión diferencial.

En esta primera imagen podemos observar que incluso para un estimado de una sola bolsa dañada la eficiencia baja casi un 2%. No supone un gran problema ya que los niveles de eficiencia y presión siguen dentro de rangos estables. En la figura 4 podemos observar la respuesta ante 10 bolsas dañadas.

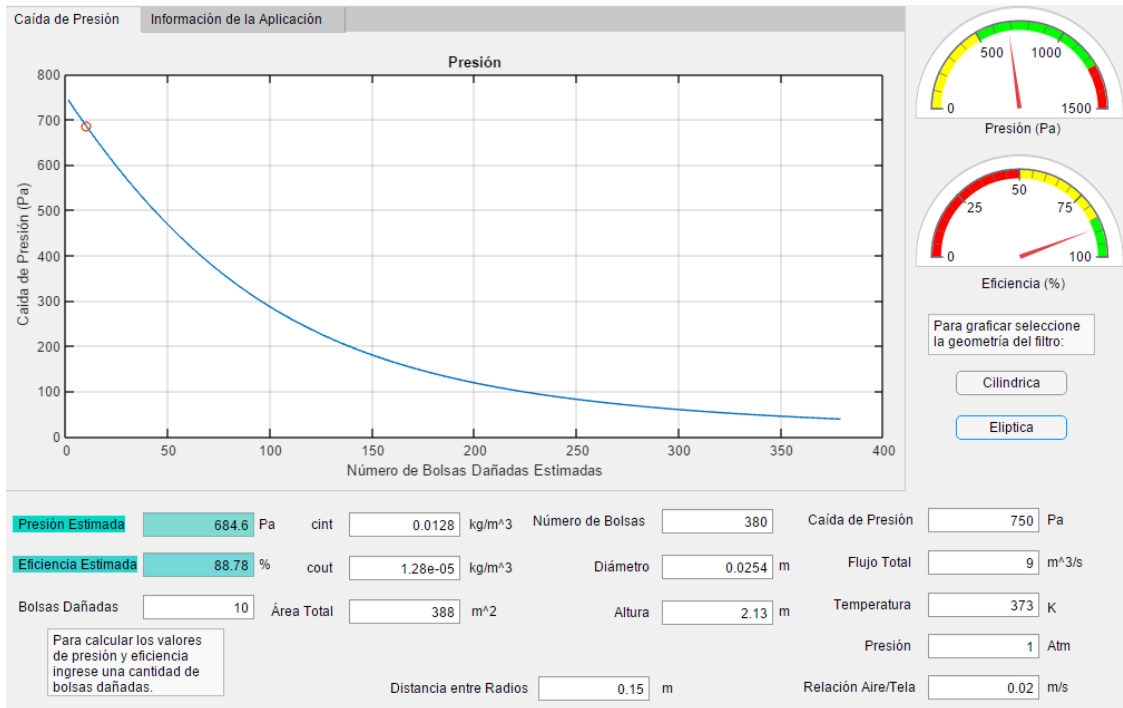


Figura 4 Respuesta ante 10 bolsas dañadas.

Para 10 bolsas dañadas el sistema sigue siendo un poco estable y la eficiencia se mantiene cerca del 90%. En la figura 5 podemos observar que para 50 bolsas dañadas el sistema se encuentra en niveles críticos. Esto nos indica que para un aproximado del 15% de las bolsas dañadas, la eficiencia se reduce casi a la mitad, lo que puede traer consigo una gran cantidad de emisiones. La presión también se encuentra en niveles críticos. De la figura 6 podemos inferir que ante un aumento en el flujo volumétrico de 9 m³/s a 12 m³/s la caída de presión diferencial tiende a volverse más lineal. Lo que indica que mientras mayor sea el flujo volumétrico, la caída de presión se comportada como una línea recta con pendiente negativa. Aunque si por el contrario el flujo se reduce, como en la figura 7, la caída de presión se vuelve asintótica.

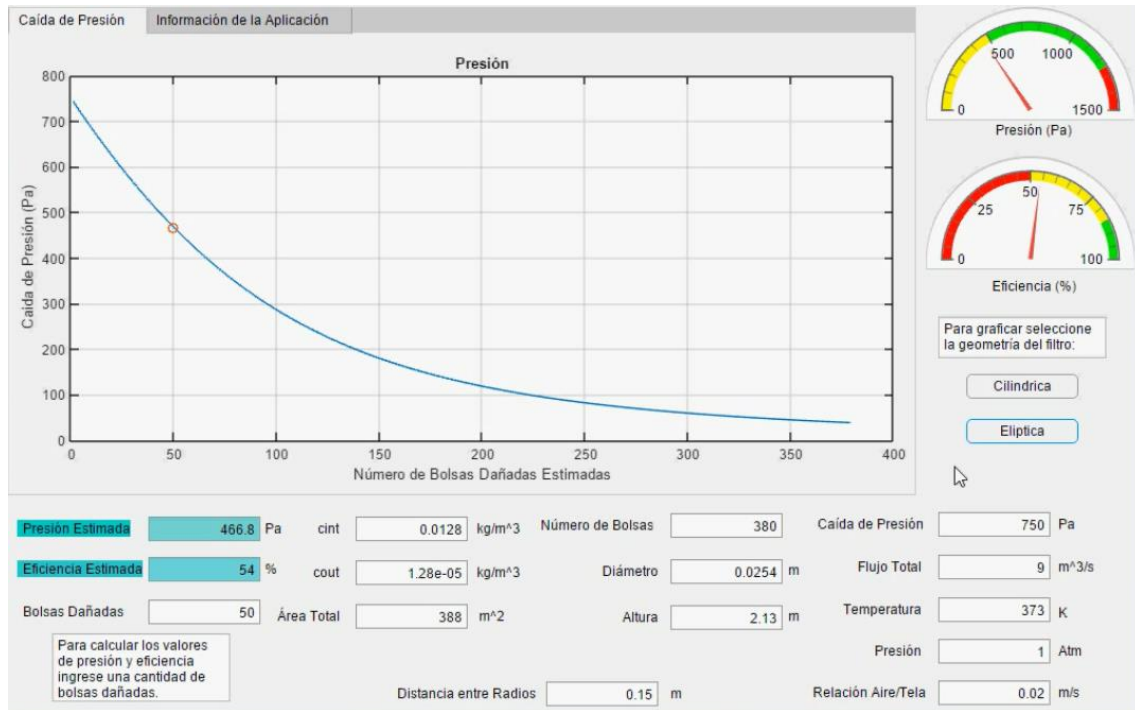


Figura 5 Respuesta ante 50 bolsas dañadas.

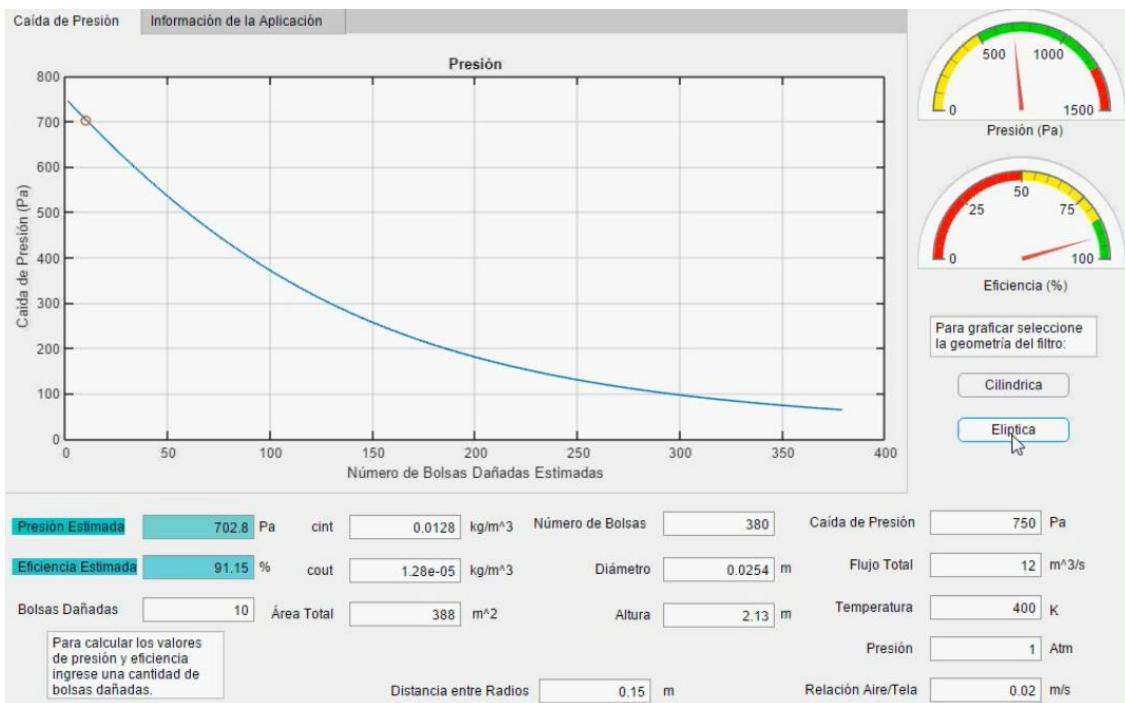


Figura 6 Respuesta ante al aumento de flujo volumétrico

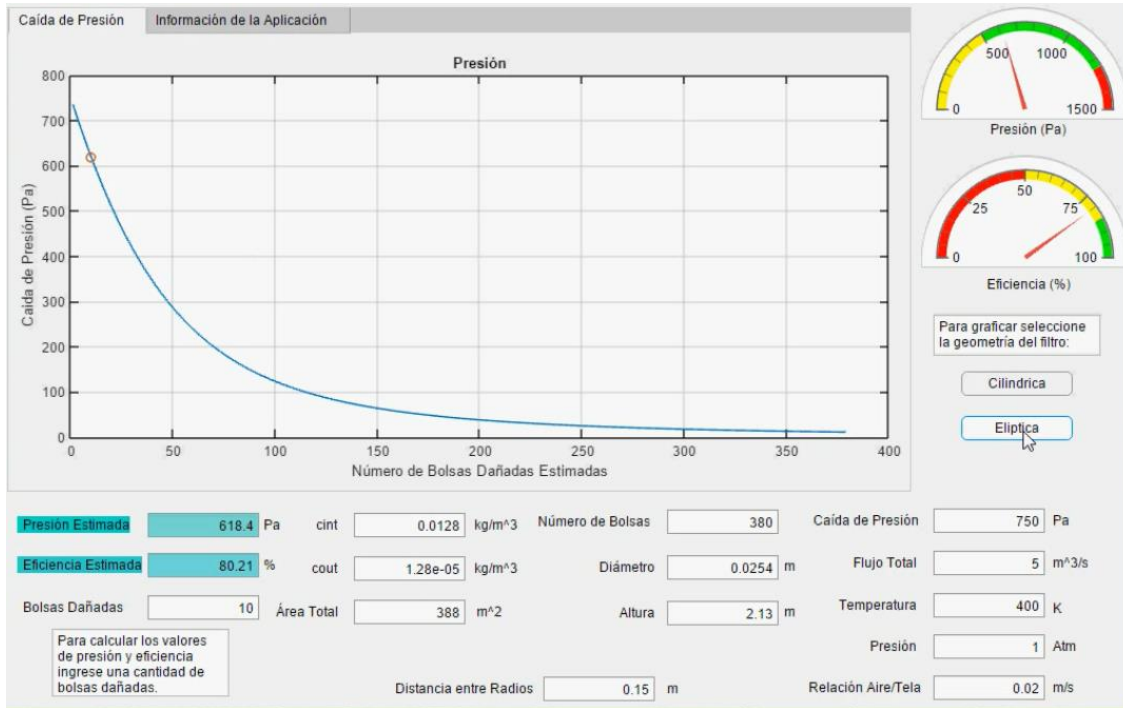


Figura 7 Respuesta del sistema ante una reducción en el flujo volumétrico.

Se puede decir entonces que mientras mayor sea el flujo volumétrico, el sistema podrá durar en un estado aceptable con una mayor cantidad de filtros dañados y al contrario, si el flujo volumétrico es pequeño, al comportarse como una asíntota la presión, el sistema entrara en estado crítico con una menor cantidad de filtros dañados.

4. Conclusiones

Es difícil en la práctica determinar exactamente cuántos filtros pueden estar dañados, sin embargo, los algoritmos desarrollados pueden dar un buen estimado.

Las aplicaciones desarrolladas se basan en teorías físicas y los datos de una planta proporcionada por la empresa TRIASO, es recomendable desarrollar el estudio sobre otras plantas para hacer comparaciones y mejorar la precisión del algoritmo.

Se observó una tendencia asintótica de la presión al haber flujos volumétricos bajos, por lo que puede tomarse este factor en consideración al momento de realizar el diseño de la casa de bolsas.

5. Referencias

- [1] Blanchfield, D. S. (2012). "Environmental encyclopedia." (Gale Cengage Learning, Ed.) (4ta ed.). Emerald Group Publishing Limited. Recuperado de:
http://www.cengage.com/search/productOverview.do?N=197&Ntk=P_EPI&Ntt=98960256819478102101116450300336963139&Ntx=mode+matchallpartial
- [2] Swanson, M. (2016). "Baghouse applications." Chattanooga, Tennessee: Astec Inc. Recuperado de: <http://www.astecinc.com/images/file/literature/Astec-T-139-Baghouse-Applications-EN.pdf>
- [3] Theodore, L., & Reynolds, J. (1979). "Effect of bag failure on baghouse outlet loading." *Control Technology News*, 58–61. <http://doi.org/10.1080/00022470.1979.10470875>
- [4] Echeverri, A. (2008). "Diseño de filtros de talegas." *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 43–60.
- [5] Hung, Y., & Cora, M. G. (2002). "Controlling Industrial Particulate Emissions : A Practical Overview of Baghouse Technology.", 53–65. <http://doi.org/10.1002/tqem.10041>
- [6] Miller, B. (2015). "Particulate formation and control technologies." In Elsevier (Ed.), *Fossil Fuel Emissions Control Technologies* (1ra ed., pp. 145–196). Butterworth-Heinemann. <http://doi.org/10.1016/B978-0-12-801566-7.00003-8>
- [7] Qin, W., Dekermenjian, M., & Martin, R. J. (2006). "Prediction of particulate loading in exhaust from fabric filter baghouses with one or more failed bags." Los Angeles, CA: Air & waste management association.