Desarrollo de un sistema para la quema de diferentes residuos y desechos en un lecho fluidizado

E. Ramírez* J. Carrillo, A. Campos, E. Herrera R. Gómez

Centro de Investigación en Materiales avanzados, S.C. Departamento de Medio Ambiente y Energía

Development of a system for burning different kinds of waste and scrap in a fluidized bed

Abstract

Incineration is one of the thermal processes that can be applied in the treatment of municipal solid waste to reduce the quantity and build energy. The heterogeneity of materials to try and emission levels imposed by the legislation has forced them to develop and/or adapt technologies specific to this process. One of these technologies is the use of fluidized bed. The fluidized bed teams are used to carry out processes of combustion of any fuel, these teams offer great advantages over conventional combustors. These advantages include; great flexibility for fuels, improvements in environmental design, easy to use energy generated and smaller. The aim of this study is to evaluate the operation of a fluidized bed, identifying variables greatest impact on the burning of a variety of waste and scrap, which were used for testing various fuels, including coke, wood, sawdust, ground rubber and oil automotive, during operation of the fluidized bed was determined the minimum speed of fluidization, the amount of sand to be used for good fluidization bed, quantity and air pressure required, the mass flow of optimum fuel fed, the temperature of ignition, bed, discharge of gases, as well as the concentration of the flue gas generated, including CO, CO_2, O_2 and H_2O and efficient combustion process. Of the tests conducted were the parameters that have a greater influence on the operation and fluidized bed combustion process, which provides information for better operation of such equipment.

Key words: TiO_2, Sol-Gel, Degradation, Methylene Blue.

Resumen

La incineración es uno de los procesos térmicos que pueden aplicarse en el tratamiento de los residuos sólidos urbanos para disminuir su cantidad y aprovechar la energía que contienen. La heterogeneidad de los materiales a tratar y los niveles de emisión impuestos por las normas legales ha obligado a desarrollar y/o adaptar tecnologías específicas para este proceso. Una de estas tecnologías es el uso de lechos fluidizados. Los lechos fluidizados son equipos usados para llevar a cabo procesos de combustión de cualquier tipo de combustible, estos equipos ofrecen grandes ventajas sobre los combustores convencionales. Estas ventajas incluyen; gran flexibilidad para los combustibles, mejoras en el diseño medioambiental, facilidad para el aprovechamiento de la energía generada y menor tamaño. El objetivo de este trabajo es el de evaluar la operación de un lecho fluidizado, determinando las variables de mayor impacto en la quema de una variedad de residuos y desechos, para lo cual se utilizaron diversos combustibles para las pruebas, entre ellos coke, madera, aserrín, hule molido y aceite automotriz, durante la operación del lecho fluidizado se determinó la velocidad mínima de fluidización, la cantidad de arena a utilizar para una buena fluidización del lecho, la cantidad y presión de aire requerida, el gasto másico optimo de los combustible alimentados, las temperaturas de ignición, de lecho, de descarga de los gases, así como la concentración de los gases de combustión generados, entre los que se encuentra el CO, CO_2, H_2O y O_2 y la eficiencia de combustión del proceso. De las pruebas realizadas se obtuvieron los parámetros que tienen una mayor influencia en la operación del lecho fluidizado y el proceso de combustión, lo cual aporta información para una mejor operación de este tipo de equipo.

* Autor de correspondencia

E-mail: elias.ramirez@cimav.edu.mx, Tel. 614 439 1124, Fax: 614 439 1170

Palabras clave: lecho fluidizado, incineración, contaminación.

Introducción

Durante las últimas décadas, la mayoría de los países industrializados con densidades de población elevadas han empleado la incineración como procedimiento, alternativo al vertedero controlado, para el tratamiento de los residuos sólidos urbanos (Romero, 1998). La utilización de esta tecnología permite reducir en gran medida el peso (75%) y el volumen (90%) de los residuos a tratar y, además, obtener energía. Son precisamente el poder calorífico del material a incinerar y el potencial contaminante de las emisiones dos motivos que han hecho evolucionar los sistemas de incineración hacia procedimientos capaces de alcanzar mayores rendimientos en la combustión y mayor eficacia en la eliminación de contaminantes (Alvarez y Anthony, 1995). La incineración ha sido objeto de críticas desde el punto de vista medioambiental debido a la formación de sustancias muy tóxicas, dioxinas y furanos, que junto a diferentes metales pesados, gases y partículas pueden ser emitidos por estas instalaciones (Romero, 1998). Las disposiciones y normas legales que limitan las emisiones de los incineradores son cada vez más estrictas de modo que para conseguir su cumplimiento ha sido necesario desarrollar nuevas tecnologías para el sistema de combustión y para el sistema de depuración de gases. Estudios económico-ambientales han demostrado que la disposición de los desechos es un problema ambiental y económico en crecimiento. La incineración de desechos se está convirtiendo en una alternativa más atractiva que los medios tradicionales de disposición como lo es el relleno sanitario. Algunos sitios de relleno tienen problemas con la incontrolada generación de gases que se escapan a la atmósfera, filtraciones, olores y compuestos tóxicos. Adicionalmente se estima que los sitios de relleno cercanos a la colección de basura cada vez es más difícil adquirirlos y consecuentemente los costos de transporte a sitios cada vez más lejanos son muy altos (Tung y Williams, 1987). Cuando estos costos se suman al cuidado y control que se debe tener sobre los rellenos, los procesos de combustión se convierten en métodos más viables. La incineración no genera productos que puedan sufrir putrefacción, la ceniza producida es estéril, con un 75% de reducción en masa y 90% en volumen, adicionalmente la incineración tiene la ventaja y proporciona la opción de recuperar energía y reducir costos (Carpenter *et al*., 1991). Sin embargo existe la desventaja de que la incineración genera contaminantes que, pueden causar daño al medio ambiente comparado con otras formas de disposición. Cabe mencionar que sin embargo con una buena operación y manejo del proceso se puede eliminar o disminuir esta problemática (Gogolek y Grace, 1995).

En el presente trabajo se enfoca a eficientar la operación de un lecho fluidizado con el objeto de buscar una reducción en el volumen y cantidad de los desechos, aprovechar el contenido energético de sólidos combustibles, lograr la destrucción de algunos desechos y la reducción de toxicidad en otros, logrando con ello disminuir su peligrosidad y su disposición final. Adicionalmente a lo antes mencionado, se busca el remplazar los combustibles fósiles como generadores de energía disminuyendo la emisión de gases de efecto invernadero.

Material y métodos

Equipo

El equipo en el cual se realizaron las pruebas es un lecho fluidizado de 20 cm de diámetro interno equipado con termopares tipo “k” (Fig. 1 y 2) acoplados a un monitor de temperaturas y con manómetros de plato para medir el flujo de aire suministrado, así como el agua de enfriamiento usada para controlar la temperatura de operación en el interior del lecho. Para iniciar la combustión se uso una resistencia eléctrica comercial. Para medir la concentración de gases de combustión se empleo un equipo analizador de gases marca Bacharach, modelo 6500 el cual usa el principio de celdas electroquímicas. Para la medición de la velocidad de los gases generados se usó un manómetro inclinado y un tubo pitot tipo “s” para la determinación de la densidad de humo generada por las partículas de combustión se empleo un opacímetro, el cual consiste en hacer pasar una muestra del gas a través de un filtro en donde se

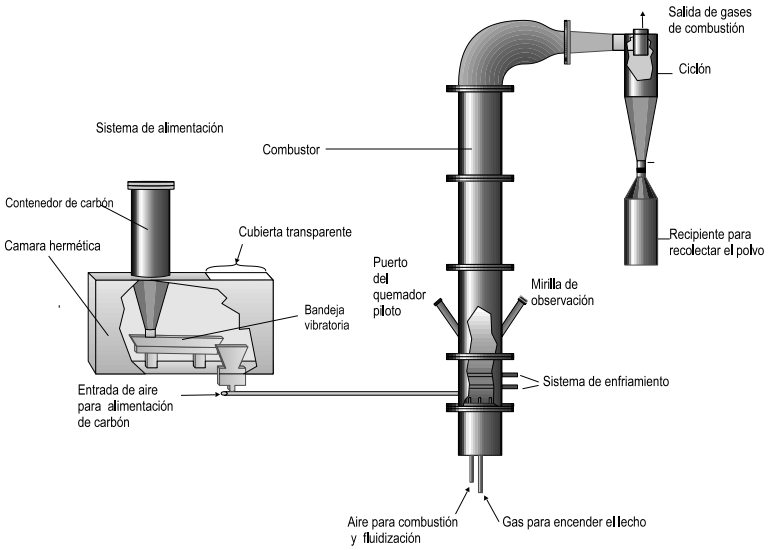


Figura 1. Lecho fluidizado burbujeante usado para las pruebas.

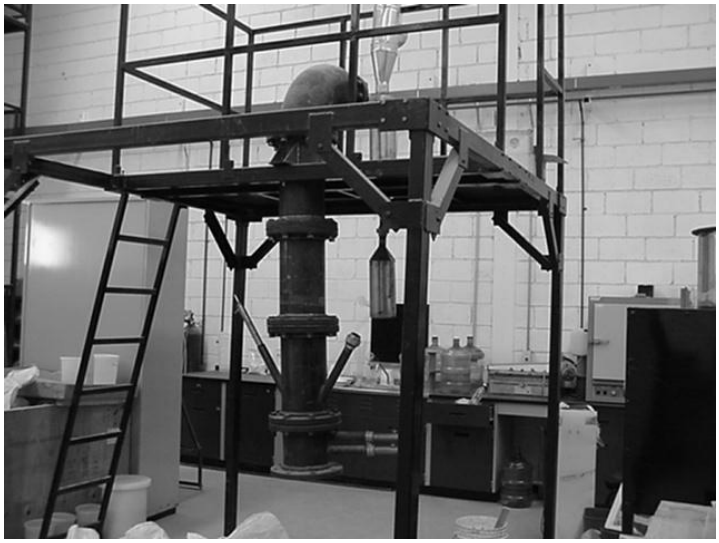


Figura 2. Imagen del lecho fluidizado.

retienen las partículas, las cuales son evaluadas en función de la cantidad de luz absorbida o dispersada.

Materiales

Para el lecho se utilizó arena sílice del desierto de Chihuahua en una cantidad de 6 y 7 kg. Los materiales usados como combustibles fueron gas LP, olote molido, aserrín, coke, hule molido y aceite automotriz. Para las mediciones de gases de combustión se usaron celdas electroquímicas.

Procedimientos

Para la medición de los gases de combustión se uso el método de celdas electroquímicas. Las celdas electroquímicas se emplean para medir la corriente inducida por la reacción electroquímica de una selección de contaminantes. La especie a medir, sea

ésta O_2, CO o NOX se difunde a través de una membrana semipermeable hasta pasar a la celda. La rapidez de difusión es proporcional a la concentración de la especie a medir. Cuando se emplea un electrolito oxidante en la celda, se liberan electrones en el electrodo sensor, por la reacción electroquímica de oxidación. La producción de electrones causa que el electrodo esté a un potencial más bajo en relación del contra-electrodo. Fluirá, entonces una corriente de electrones, la que se puede amplificar por un equipo electrónico apropiado. La selectividad de la celda se determina por la membrana semipermeable, el electrolito, los materiales del electrodo y el potencial retardador.

Para medir la velocidad de los gases se uso el el principio del tubo pitot el cual se basa en la propiedad del sistema tubo de pitot-manómetro, de ser capaz de medir las presiones totales, dinámica y estática del gas en la corriente.

Resultados

La velocidad mínima de fluidización se determina midiendo la caída de presión provocada por la arena a diferentes regímenes de velocidad de aire, para lograrlo se uso 6 y 7 kg de arena.

Para iniciar la ignición en el combustor se utilizó gas LP alimentando 5 l min^{-1}, aire ambiente con un flujo de 100 l min^{-1} y una resistencia eléctrica para generar la chispa. La resistencia se alimentó con corriente de 110 V. Una vez que se inicia la combustión, se mantiene hasta alcanzar una temperatura de 250°C, punto en donde se deja de suministrar gas y se comenzaba a alimentar olote molido a razón de 1800 gramos por minuto para mantener la combustión e iniciar a incrementar la temperatura de operación hasta alcanzar unos 600°C, punto en donde ya se puede iniciar a quemar cualquier otro combustible como son aceite, hule y carbón o coke debido a que estos materiales tienen un punto de ignición más elevado. Otros materiales como son madera, aserrín, cartón, basura, etc. pueden comenzarse a alimentar a temperaturas más bajas debido a la facilidad que presentan para ser quemados.

Como se mencionó anteriormente, las variables a controlar durante todo el proceso de quemado son: el volumen y la presión de alimentación de aire, la cantidad de material combustible alimentado, la temperatura de operación en el interior del combustor para lo cual se puede controlar la cantidad de agua de enfriamiento y la cantidad de aire de arrastre usado también para presurizar la cámara de alimentación de combustible. Al tener control sobre las variables se garantiza que el régimen de fluidización sea el adecuado y por consiguiente que la combustión se realice de manera eficiente (Andrei *et al.*, 1985). Para garantizar las cantidades de aire tanto de combustión como de arrastre, gas LP y agua de enfriamiento, deben verificarse continuamente los flujos de cada uno de ellos por medio de los rotámetros instalados para esta función. Si alguno de los flujos no es el adecuado se debe corregir al flujo deseado en cada uno de los rotámetros. Para conocer las temperaturas de operación del lecho a diferentes alturas del cuerpo del lecho se instalaron 4 termopares, uno en el interior del lecho, uno en la cámara de combustión de volátiles, otro al final de la parte recta del lecho y otro más en la salida de los gases, mismos que se monitorearon con un lector de temperaturas (Scan). Para efecto de medir la concentración de contaminantes generados en el combustor y su influencia sobre el régimen de combustión se decidió seleccionar tres diferentes flujos de alimentación de combustible, mismos que se muestran en las tablas de resultados que se presentan más adelante. Estos flujos o regímenes de alimentación se seleccionaron en función de la capacidad que proporciona el sistema de alimentación de combustible. Dependiendo del tipo de material que se esté quemando en el combustor deberá tenerse cuidado de evacuar continuamente el contenido de partículas colectadas en el ciclón para evitar aglomeraciones y taponamientos que pueden alterar la operación del combustor.

Debe tenerse especial cuidado para observar la combustión a través de la mirilla de inspección, siempre debe contar con el vidrio protector, ya que los gases y la radiación pueden producir quemaduras en los ojos, cara y en el pelo, debido a que pueden ocurrir pequeñas explosiones ocasionadas por compuestos volátiles que provoquen que el material de combustión y la flama salgan por dicho orificio. La medición de los gases de combustión fueron realizadas en dos puntos diferentes del lecho fluidizado, directamente en la cámara de combustión y en la chimenea de descarga de gases a la atmósfera, las mediciones se realizaron

cuando la temperatura del lecho y la combustión se estabilizaban por periodos de tiempo de por lo menos media hora, con fluctuaciones bajas. Las muestras fueron tomadas por duplicado para cada uno de los puntos. Dichas condiciones se encuentran registradas y tabuladas en las tablas que se presentan más adelante.

Discusión

Basándonos en los resultados de la eficiencia de combustión y la concentración de monóxido de carbono (CO) para una cantidad de 6 litros de arena en el lecho y para el tamaño de malla utilizado de la misma, se observa que las condiciones de operación optimas son: una alimentación de combustible sólido de 1537 g hora^{-1} y 225 l min^{-1} de aire de fluidización. De los datos de caída de presión y velocidad del aire alimentado se establece que la velocidad mínima de fluidización para combustibles sólidos es de 300 l min^{-1} usando 6 litros de arena en el lecho. La velocidad mínima de fluidización que se debe usar para la quema de combustibles líquidos (aceite) es de 325 l min^{-1} de aire con una cantidad de 7 litros de arena. No se recomienda usar menos cantidad de arena ya que se corre el riesgo de que la combustión se realice por arriba del lecho, con lo cual se pierde el objetivo del uso del combustor que es quemar el combustible en el seno del lecho para aprovechar al máximo el calor radiado por la arena. La cantidad de energía generada durante la quema de estos materiales es suficiente para generar vapor para una casa habitación. Para que disminuir la emisión de contaminantes se deben implementar medidas adecuadas, ya que su pudo apreciar una emisión considerable, sobre todo de partículas en la descarga de los gases, esto se confirma con las muestras de densidad de humo, las cuales sobrepasan los límites establecidos por las normas mexicanas.

Tabla 1. Parámetros medidos en la operación del lecho fluidizado

Hora	18:31	18.32	18:34	18:49	18:50	18:56	18:50	18:59	19:11	19:04	19:07
Combustible	Carbón	Carbón	Carbón	Carbón	Carbón	Carbón	Carbón	Carbón	Carbón	Carbón	Carbón
T ambiente (°F)	69	69	69	69	69	64	73	64	73	73	64
T gas. (°F)	99	98	97	94	86	586	406	72	82	465	74
O_2 (%)	17.7	18.1	18.06	1.8	0.9	3.1	1.1	0.4	2.6	2.2	0.5
Exceso de aire (%)	533	623	780	8	3	16	5	1	13	10	2
CO_2 (%)	2.9	2.5	2.1	17.4	18.2	16.2	18	18.6	16.6	17	18.5
CO (ppm)	2039	2311	1822	3436	3464	1307	3422	3514	3488	3471	3513
Nitrógeno (%)	79.19	79.16	79.66	80.45	80.55	80.58	80.56	80.64	80.45	80.45	80.64
Índice Opacidad (#)	6	6	6	6	6	7	7	7	6	6	7
Humedad (%)	2.5	2.0	1.5	12	1	12	13.5	13.5	11.5	12	14
Eficiencia	99.9	99.9	99.9	96	98.1	83	88	99.8	98.6	86.1	99.7
Posición de medición	Abajo	Abajo	Abajo	Arriba	Arriba	Arriba	arriba	Abajo	Abajo	Arriba	Abajo
Alimentación (g/h)	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800
Aire plenum (l/min)	100	100	100	100	100	250	75	250	100	100	75
Aire cámara (l/min)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
T bulbo húmedo (°C)	54	54	54	54	54	68	58	68	54	54	58
T bulbo seco (°C)	246	246	246	246	246	586	406	586	465	465	406
P plenum (Psi)	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
P cámara (Psi)	6	6	6	6	6	5	5	5	5	5	5
Flujo de agua (ml/min)	380	380	380	380	380	380	380	380	380	380	380
Tlecho aprox (°C)	765	780	780	784	788	792-797		792-797	773	778	
Velocidad de los gases (pie/min)	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250

Conclusiones

De los resultados obtenidos se concluye que el lecho fluidizado presenta un buen desempeño para la quema de materiales gaseosos y sólidos, no siendo el caso de los líquidos. En la tabla 1 se presentan solo los datos del combustible que presenta mejor desempeño, siendo el caso del coke, siendo el que generó una temperatura mayor en el proceso. La mayoría de los materiales se queman eficientemente, generando una gran cantidad de energía, por lo que se puede decir que este tipo de equipo puede ser adecuado para la quema y generación de energía usando basura y desechos como combustible. De la prueba realizada con hule molido se pudo observar que el sistema de alimentación del combustible no es el adecuado, debido a que este material se aglomera y aglutina obstruyendo el ducto de alimentación, por lo que no se recomienda el uso de este diseño de combustor para este material. La cantidad de energía generada durante la quema de estos materiales es suficiente para generar agua caliente para una casa habitación. Es necesario instalar un sistema de captura de emisiones ya que durante los procesos de combustión se genera una serie de emisiones, principalmente partículas, las mediciones de densidad de humo demuestran esta situación las cuales se pueden controlar instalando un ciclón adecuado al tipo de partículas generadas.

Bibliografía

Alvarez C., M. y Anthony E.J. 1995. "Pressurized Fluidized Bed Combustion", Blackie Academic and Professional, London.

Andrei M.A., Sarofim, A.F. and Beer, J.M. 1985. "Time-resolved Burnout of Coal Particles in Fluidized Bed", Combustion and Flame, 61, PP1727.

Carpenter, L., Longan W., Dellefield, R. Nelking, G. and Hand, T. 1991. "Pressurized Fluidized Bed Combustion A Comercially Available Coal Technology", Proceedings of the 1991, International Conference on Fluidized Combustion , ed. E.J Anthony, Montreal, pp 462-474.

Gogolek P. E. G. y Grace, J. R. 1995. "Fundamental Hydrodinamics Related to Pressurized Fluidized Bed Combustion", "Prrog. Energy Combust. Sci., 21, pp 419-451.

Romero, S. A. 1998. Incineración de residuos Sólidos Urbanos", Depto de Ing. Química, Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Complutense de Madrid. 28040 Madrid, PCT/ES98700053.

Tung S.E. y Williams G.C. 1987. Atmospheric Fluidized Bed Combustion, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA (1987).