

DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DE LAS TEMPERATURAS DE REACCIÓN EN LA COMBUSTIÓN DE LA TELA DE ALGODÓN

Vladimir Juárez Abraham

Instituto Tecnológico de Celaya
vladimir.juarez@itmatamoros.edu.mx

Arnoldo Maeda Sánchez

Instituto Tecnológico de Celaya
arnoldo.maeda@itcelaya.edu.mx

Jorge Alejandro Gallegos de la Cruz

Instituto Tecnológico de Matamoros
jorge.gallegos@itmatamoros.edu.mx

Blanca Estela Osorio Cedillo

Instituto Tecnológico de Matamoros
blanca.osorio@itmatamoros.edu.mx

Resumen

Este trabajo muestra la metodología utilizada para determinar experimentalmente las temperaturas de reacción en la combustión de textiles de algodón. Dada la complejidad del fenómeno y el costo de los equipos requeridos para tal fin, se propone una técnica simplificada para valorar dichas temperaturas, utilizando dispositivos de uso común en laboratorio. Para ello, se utilizan dos termopares tipo K, almacenando sus lecturas mediante dos multímetros con puerto de comunicación, logrando monitoreo permanente de las temperaturas durante la combustión de las muestras. Las condiciones se mantuvieron lo más estable posible confinando las muestras durante las pruebas.

Para su validación se comparan los resultados de hojuelas de madera con los reportados en la literatura, logrando una correspondencia aceptable.

Mediante esta técnica se han determinado varios rangos de temperatura correspondientes a mecanismos de reacción presentes en la combustión de tela de algodón, contrastándose sus resultados con aquellos obtenidos mediante un TGA practicado a 5 muestras de tela de algodón, alcanzándose correspondencias muy aceptables.

Palabra(s) Clave(s): Análisis; combustión; pirólisis; temperatura; TGA.

Abstract

This paper shows the methodology used for experimentally determine the reaction temperatures in cotton fabrics combustion. Given the phenomenon complexity and the cost of the required equipment to achieve this purpose, a simplified technique for the determination of those temperatures using devices commonly used in a laboratory it is proposed. To this end, two K – type thermocouples, whose readings were stored using multimeters with communication port, achieving permanent monitoring of the temperatures during the combustion of the samples. Confined environment was used to keep the experiment conditions as steady as possible.

For validation, results of wood chips with those reported in the literature are compared, achieving an acceptable match.

Using this technique have been determined corresponding data ranks to various reaction mechanisms present in the combustion of cotton fabrics. The results were compared with those obtained using a TGA practiced on five samples of cotton fabric, reaching very acceptable matching values.

Keywords: Analysis; Combustion; Pyrolysis; Temperature; TGA.

1. Introducción

Una reacción química es, básicamente, un proceso termodinámico donde una o más sustancias (reactantes) se transforman en otras (productos), cambiando sus enlaces y su estructura molecular.

Estos cambios pueden darse, ya sea por afinidad entre dos o más sustancias, o bien, por cambios de temperatura. Un tipo especial de reacción es la descomposición térmica o pirólisis, que se puede dar en casi todos los materiales, excepto en metales y vidrios, al calentarse. La reacción de pirólisis consta de otras reacciones, pues el material va descomponiéndose en diversos materiales, unos volátiles y otros sólidos, y cada degradación es en sí una reacción. Estas reacciones individuales dentro de la pirólisis son llamados mecanismos de reacción, los cuales están asociados a la energía proporcionada al sistema.

La combustión consta de la pirólisis de un material y la asociación de los productos resultantes con oxígeno, lo que provoca un proceso exotérmico, es decir, que libera energía calorífica. Debido a esta liberación de energía, es posible medir los cambios de temperatura que sufre la muestra al iniciar la combinación del oxígeno con los productos de la degradación térmica de un material, pudiendo determinar los inicios de los diferentes mecanismos de reacción en la combustión midiendo la temperatura de la muestra y comparándola con la temperatura ambiental. Para esto, se utilizan un par de termopares tipo K y un medio de registro de datos, como una interfaz a un PC, para tomar las temperaturas de forma simultánea.

Para determinar las temperaturas a las que se presentan los diversos mecanismos de reacción, se registrarán a la par las temperaturas del ambiente en que se llevará cabo el proceso y la temperatura de la muestra. Una elevación de la temperatura de la muestra respecto a la del ambiente indicará el inicio de por lo menos un mecanismo de reacción, mientras que un descenso puede indicar el fin del mecanismo de reacción o el inicio de otro.

Debido a la amplia utilización en la industria textil de fibras celulósicas y a la diversidad de electrodomésticos empleados en la vida moderna que entran en contacto con las prendas, especialmente máquinas térmicas, tales como planchas y secadoras de ropa, se vuelve necesario un estudio térmico de textiles celulósicos, por ejemplo, de base algodón.

Debido al alto contenido de celulosa en el algodón (mayor a 91%), a la abundancia de su cultivo y residuos, en diversos países se han llevado estudios enfocados a la caracterización de los contaminantes liberados en la cinética de la pirólisis y

combustión, para la contención y neutralización de dichos contaminantes así como para la utilización del algodón como combustible en la generación de energía, ya sean sus textiles (Moltó, 2007) o la espiga residual en los campos (Fu, et al., 2012, Sun, et al., 2010). En la caracterización térmica de materiales se han utilizado termopares tipo K (Ortiz et al, 2010, León et al., 2003), mientras que en otros trabajos se han utilizado técnicas tales como la fotoacústica (Balderas et al., 2009, Bedoya et al., 2014).

Para determinar a ciencia cierta el inicio y fin de los mecanismos de reacción y cuál de ellas se está llevando a cabo, es necesario determinar los volátiles generados y/o la pérdida de masa respecto a la temperatura, lo que se logra con un análisis termogravimétrico (TGA).

Para poder determinar el rango de temperaturas en que se realizarán los TGA's es conveniente determinar a qué temperaturas se dan los diversos mecanismos de reacción. Por lo general, muchos estudios de descomposición térmica son a temperaturas moderadas, de no más de 450 °C, pero este límite no es suficiente para permitir una descomposición completa, por lo que este estudio determina la mínima temperatura a la que se debe llevar el TGA.

Los resultados de la metodología practicada a la tela de algodón se validan con hojuelas de madera de pino, debido a que su contenido de celulosa es alto y que existen estudios acerca de la inflamabilidad de la madera en donde se determina su descomposición térmica.

2. Métodos

Metodología

El equipo utilizado para caracterizar los mecanismos de reacción de pirólisis y combustión es el siguiente: 1 horno eléctrico, con capacidad de alcanzar temperaturas hasta de 1200 °C, 2 multímetros con medición de temperaturas en un rango de -40 °C a 1000 °C con interfaz RS 232 para PC y sus respectivas sondas termopar, 2 adaptadores RS 232 a USB, software de captura y registro de datos para utilizarse con los multímetros, 1 laptop, 1 embudo de vidrio borosilicatado, 1 balanza analítica con capacidad máxima de 250 g, lectura de

0.0001 g, repetividad de 0.0002 g, linealidad ± 0.0002 g y un medidor de humedad. Para lograr un buen desarrollo del proceso de combustión, el primer paso es identificar el perfil de temperatura generado por el horno en su configuración máxima (figura 1).

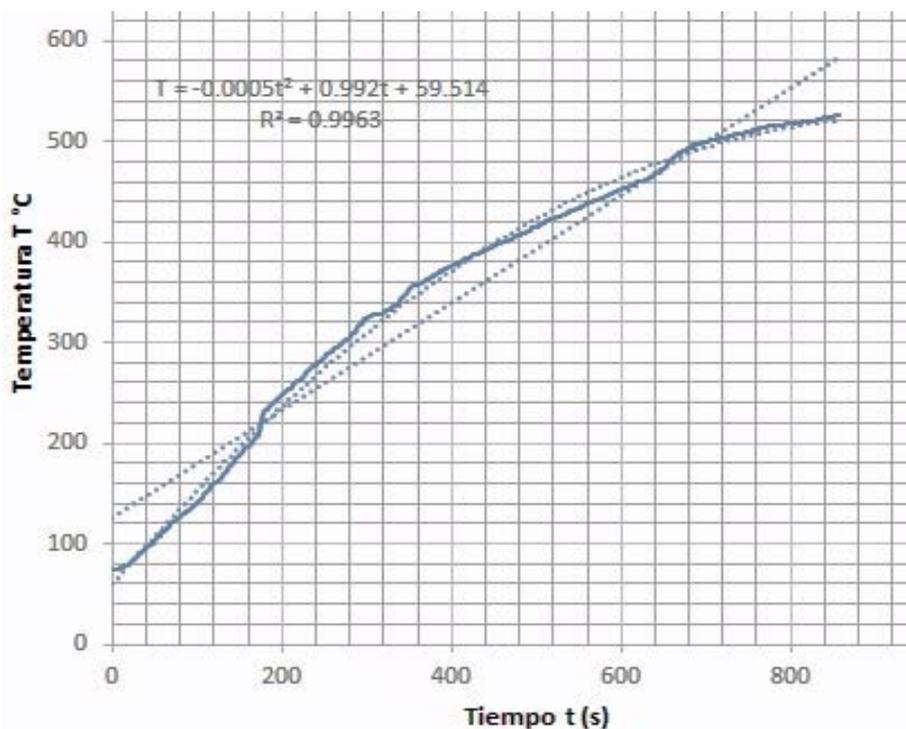


Figura 1 Perfil de temperatura dado por la mufla.

Los datos de la figura 1 se tomaron con un termopar tipo K, aislado térmicamente con un aislante automotriz aluminado, que resiste temperaturas hasta de 1093 °C conectado a un multímetro, con toma de datos cada 2 segundos, a partir de temperatura ambiente hasta los 526 °C. Una vez establecido el perfil térmico generado, se procedió a dejar enfriar el horno hasta llegar a la temperatura ambiente. La mufla exhibe un comportamiento cuadrático, sin embargo, el coeficiente del término cuadrático es despreciable respecto al término lineal, por lo que puede tomarse como un comportamiento lineal.

Las muestras de tela se prepararon lavando una camiseta de 100% algodón, blanca, nueva de paquete, durante treinta minutos en agua sin ningún tipo de aditivos, tales como detergentes o suavizantes, con el fin de eliminar los almidones

y otros compuestos utilizados en la fábrica para preparar los tejidos o planchar la tela. La camiseta se cortó en muestras de diferentes formas geométricas, (rectangulares, circulares) y de diversos tamaños, utilizando guantes de látex. Se seleccionaron cinco muestras cuyas masas era aproximadamente entre 100 a 145 mg. Por otro lado, las muestras de madera de pino se prepararon cepillando una tabla a una profundidad de 0.5 mm con un cepillo de carpintero. Con una navaja se cortaron muestras de aproximadamente 1×1 cm, manipulándose de la misma manera que las muestras de tela de algodón.

Se conectó un termopar para medir la temperatura del horno, y verificar su correspondencia con el propio de la mufla, mientras que un segundo termopar se introducía en la campana donde se encerró la muestra. Cada termopar se conectó a un multímetro con interfaz a PC. Se etiquetaron los termopares, multímetros, interfaces y puertos, de tal manera que siempre fuera la misma configuración del sistema, uno, para medir la temperatura ambiente y el otro la temperatura de la muestra (figura 2).



Figura 2 Arreglo experimental para medir y registro temperaturas.

El software de registro de datos se configuró para registrar datos cada segundo. Se adquirieron 2987 datos de la temperatura de la muestra de algodón, mientras que de la temperatura del horno se obtuvieron 2990 datos.

3. Resultados

Las mediciones se realizaron en el laboratorio de Análisis Cuantitativo del Instituto Tecnológico de Matamoros, donde se tiene el equipo listado en la sección

anterior, bajo una temperatura ambiente promedio de 21 °C y una humedad relativa promedio del 57.8%. Las muestras fueron obtenidas a partir de una camiseta de algodón 100%, blanca, con forma rectangular de tamaños aproximados a 3x3 cm, con masas comprendidas entre los 100 a 145 mg, con contenidos de humedad entre 6% y 11%.

Conforme se fue aumentando la temperatura del horno, se observaron varios máximos y mínimos locales en las temperaturas de la muestra. El primero que se observa es un máximo de 55 °C en la muestra, ocurrido a los 80 °C del horno, seguido de un mínimo de 46 °C en la muestra a los 90 °C del ambiente. Según la literatura, este sería el proceso de secado, o remoción de humedad, que se daría entre 30 °C a 105 °C. El segundo máximo se presentó a los 263 °C del horno, con un valor de 150 °C en la temperatura de la muestra. Después de este punto el ascenso de temperatura fue menos pronunciado y se observó que vuelve a elevarse a partir de los 283 °C (~ 540 °F). Luego presentó otro pico de 197 °C a los 323 °C del horno. Por el comportamiento en esa parte de la curva, el mecanismo de reacción que tiene lugar se desarrolló en el intervalo de temperatura del horno entre 323 °C y 336 °C. Otro intervalo de temperaturas interesante se dio cuando la temperatura del horno estaba entre 419 °C y 438 °C. Mientras, a partir de los 520 °C se observó ya la primera ignición del material y una ignición sostenida se observó aproximadamente en 540 °C (figura 3). Los intervalos anteriores son de evolución de volátiles. Si comparamos con los datos de Moltó Berenguer (2007) realizados en textiles se observan coincidencias.

Para validar los resultados obtenidos, se repitió la metodología con hojuelas de madera de pino, debido a la similitud de los componentes de la madera (hemicelulosa, celulosa y lignina) con el algodón y a la literatura existente sobre el tema (Lowden, 2013). Se presentan las gráficas de las temperaturas en las hojuelas de madera comparadas contra la temperatura del horno (figura 4).

La diferencia de la forma de la gráfica puede deberse a diversos factores, como diferencias de humedad y componentes en la madera. Aquí se observaron puntos críticos en los rangos de temperatura de 80 °C a 150 °C, de 340 °C a 380 °C y en el Intervalo 520 °C a 640 °C.

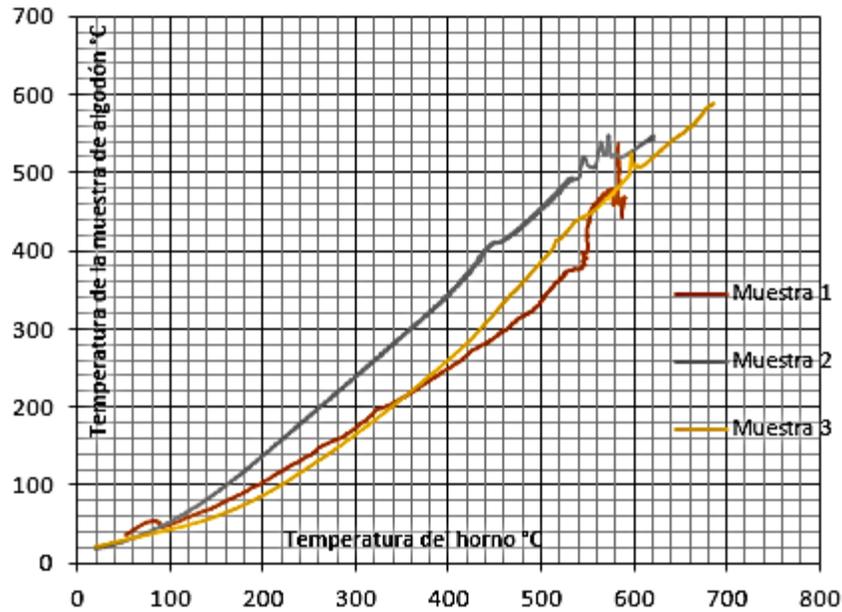


Figura 3 Comportamiento de la temperatura: tela de algodón contra el horno.

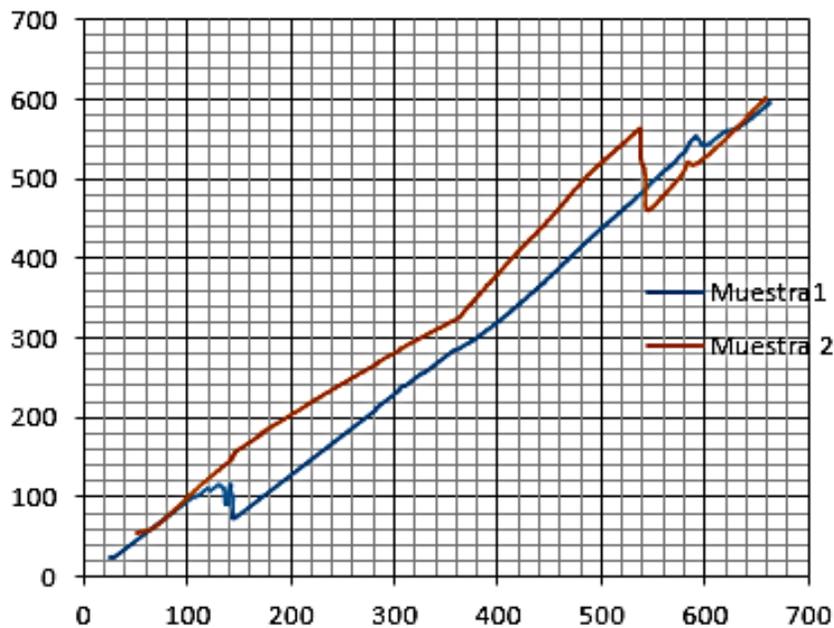


Figura 4 Comparación de la temperatura: hojuelas de madera contra el horno.

Finalmente, mediante análisis termogravimétricos, (TGA's, por sus siglas en inglés), los cuáles son estudios sobre cambio de masa de un material conforme cambia su temperatura, realizados a tres muestras de tela de algodón con atmósfera estática de aire en el Centro de Investigación de Materiales Avanzados,

Campus Monterrey (CIMAV Monterrey), conducidos mediante las siguientes especificaciones:

La determinación se llevó a cabo en un analizador termogravimétrico (TGA) con calorimetría de barrido diferencial (DSC) simultáneo de la marca TA Instruments, modelo SDT Q600, en las siguientes condiciones:

- Rampa de calentamiento a 5 °C/min de temperatura ambiente hasta 650 °C
- Empleo de crisoles de alúmina de 90 µL.
- La muestra se calibró con metal Indio, de acuerdo a la norma E 794 “Melting Crystallization Temperatures by Thermal Analysis”.

Se observó que las muestras Núm. 1, 2 y 3 presentan dos pérdidas de porcentaje en peso de 275 a 375 °C y de 390 a 490 °C (figura 5).

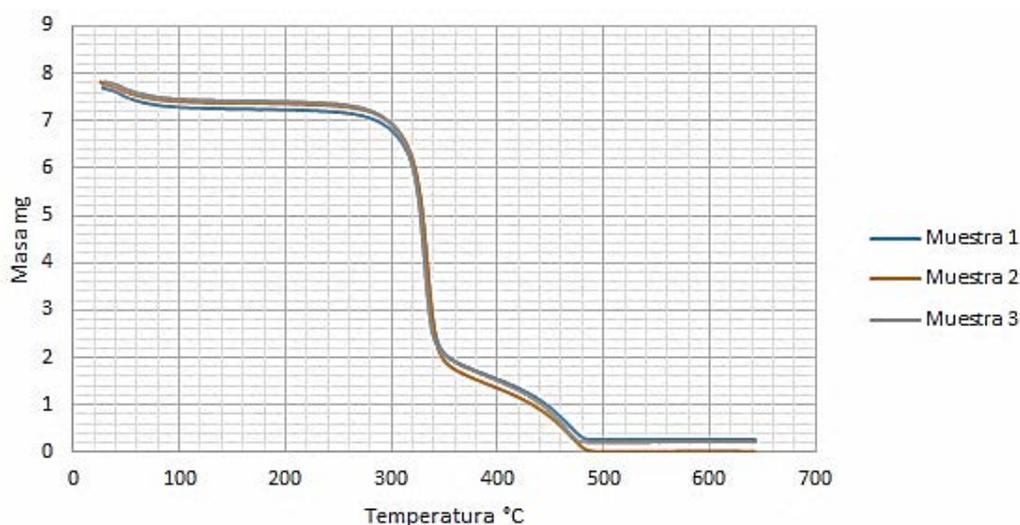


Figura 5 TGA de 3 muestras de tela de algodón en atmósfera estática de aire.

4. Discusión

Los materiales celulósicos, como el algodón y la madera, al ser calentados, presentan varios mecanismos de reacción, manifestados mediante evoluciones en compuestos volátiles, que, en presencia de oxígeno, reaccionan exotérmicamente. Esa manifestación exotérmica sirve para determinar los rangos de temperatura en que se producen los diferentes mecanismos de reacción.

La diferencia de los comportamientos exhibidos en las gráficas puede deberse a variaciones en la rampa de temperatura, lo mismo que a una deficiencia de purgado de gases entre un experimento, o también a la diferencia de la estructura molecular de la muestra, especialmente en la madera, en virtud de que puede poseer diferentes formas de los anillos o de las fibras que la componen, mayor concentración de algún compuesto como aceites, etc.

Las aproximaciones de los resultados obtenidos con los termopares resulta satisfactoria y suficiente para considerarse válidos, por lo que esta metodología puede utilizarse como una alternativa para análisis iniciales o de carácter general que no requieran de un conocimiento a fondo sobre los mecanismos de reacción ocurrientes en este tipo de procesos, toda vez que los puntos críticos encontrados coinciden en los rangos donde se desarrollan los diferentes mecanismos de reacción, mismos que presentan una concordancia aceptable con aquellos encontrados en literatura sobre estudios de pirolisis y combustión, realizados a materiales celulósicos. Como es el caso de diseño de secadoras de ropa, cuyo ambiente es propicio para que pueda presentarse una combustión espontánea, debido al rango de temperaturas que emplea.

5. Bibliografía y Referencias

- [1] Bailey, P. S., Bailey, C. A.: Javier, E. Y. (1998). *Química orgánica: Conceptos y aplicaciones*. México: Prentice Hall.
- [2] Balderas López, J. A., Martínez López, I. S., León Martínez, M., Gómez Y Gómez, Y. M.: Bautista Ramírez, M. E.: Muñoz Diosdado, A.: Díaz Reyes, J. (2009). *Thermal and Optical Characterization of Pigments Attached to Cellulose Substrates by Means of a Self-normalized Photoacoustic Technique*.
- [3] Bedoya Pérez, A. F. (2014). *Contribución a la caracterización térmica de materiales con la técnica del alambre caliente (líquidos, gases y sus mezclas) y fotoacústica* (Tesis de maestría sin publicar).
- [4] Berenguer, J. M. (2007). *Descomposición térmica de residuos textiles estudio cinético y formación de contaminantes*. Alicante: Universidad de Alicante.

- [5] Fu, P.: Hu, S.: Xiang, J.: Sun, L.: Su, S.: An, S. (2012). Study on the gas evolution and char structural change during pyrolysis of cotton stalk. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 97, 130-136. doi:10.1016/j.jaap.2012.05.012
- [6] León Monzón, I., Valdés Zaldívar, E. E. (2003). Medición de temperatura con alta precisión. *Ingeniería Electrónica, Automática Y Comunicaciones*, 24(3), 47.
- [7] Ortiz, F., Cruz, R.: Correa, R. (2010). *Medición En Línea De La Temperatura De Una Muestra En Una Cavidad De Microondas*.
- [8] Sun, Z., Shen, J., Jin, B., WEI, L. (2010). Combustion characteristics of cotton stalk in FBC. *Biomass and Bioenergy*, 34(5), 761-770. doi:10.1016/j.biombioe.2010.01.019
- [9] (n.d.). Retrieved from http://www.ecured.cu/index.php/Enlace_por_puente_de_hidr%C3%B3geno