

# CAPÍTULO 38

Regeneración de  
carbones activados.

BEATRIZ LEDESMA CANO

Para contextualizar el marco en el que se centra el trabajo, cabe mencionar los estudios previos desarrollados por el grupo de investigación GAIRBER (Grupo de Aprovechamiento Integral de Recursos Biomásicos y Energías Renovables) en esta línea. Dichos estudios se basan en la preparación de CAs, así como, su aplicación en procesos de adsorción. Entre los compuestos con los que se ha trabajado destacan: isótopos radiactivos, proteínas, metales pesados y en mayor proporción los compuestos orgánicos. En este estudio se ha seleccionado un CA comercial: Carbsorb (CB). El trabajo se ha centrado en la regeneración de dicho carbón, mediante dos vías: Térmica (RT) y Oxidación Húmeda (OxH). Asimismo, se han realizado ciclos de adsorción-regeneración para conocer el número de usos posibles que cada proceso permite hacer del adsorbente.

Antes de continuar cabe mencionar qué es el CA. Se trata de carbón poroso que se produce artificialmente de manera que exhiba un elevado desarrollo de porosidad y una alta superficie interna. En este caso se ha utilizado para la adsorción de contaminantes, ya que como consecuencia del uso del agua, ya sea industrial, agrícola o urbano, se produce la contaminación de ésta por la presencia de diferentes tipos de sustancias. Los compuestos fenólicos son, entre los diversos contaminantes que pueden generarse en estos procesos, los más abundantes. Tienen una gran peligrosidad, debido a su persistencia en el medio y su capacidad de contaminar corrientes acuosas naturales, introduciéndose en la cadena trófica de los seres vivos. Para este estudio se ha seleccionado como compuesto modelo el p-nitrofenol (PNF) el cual se usa en diversos procesos, como la producción de n-acetil-p-aminofenol, el cuál es material primario para la producción de paracetamol; también, el PNF es empleado como un intermediario químico para la manufactura de insecticidas o para conservantes del cuero.

El procedimiento seguido era adsorber el contaminante hasta saturar el CA en unas condiciones concretas. El procedimiento llevado a cabo para la saturación del adsorbente consistió en poner en contacto durante 5 días (previos ensayos de tiempo de equilibrio e isothermas de adsorción), 5 g de CA con una disolución de 3 g L<sup>-1</sup> de PNF en un recipiente de 1 L de capacidad. Posterior a ese tiempo, las disoluciones eran filtradas y el CA agotado se secaba en un horno a 50 °C durante 24 horas.

Una vez saturado dicho CA se llevó a cabo su regeneración. Y... ¿por qué se regenera? Porque debido a su versatilidad y posibilidad de ser diseñados para satisfacer necesidades específicas, el consumo mundial de CA está experimentando un crecimiento muy importante, cercano al 10% por año; estudios recientes pronostican un consumo de CA de 1,5 millones de toneladas anuales. En la mayoría de los casos, el CA agotado es incinerado, lo que conlleva algunas desventajas, como la imposibilidad de reusar el CA y la generación

de compuestos de gran toxicidad. De este modo, la regeneración de CA es muy interesante al permitir una significativa reducción en los costes asociados a su producción, y además, asegurar el uso de un residuo, que de otro modo sería desechado. En este sentido, la eficiencia y el coste de la regeneración tienen un papel fundamental en la factibilidad del proceso de adsorción.

Básicamente, la regeneración persigue eliminar de la estructura porosa del carbón saturado los compuestos adsorbidos, para recuperar de nuevo las propiedades adsorbentes. En general, lo que se hace es someter al carbón a aquellas condiciones en las que se altera el equilibrio de adsorción a favor de la desorción. El tratamiento ideal será aquél que conlleve la desorción del contaminante sin producir modificación alguna de su porosidad, ni de sus características químicas superficiales. Sin embargo, esto no es del todo posible, dada la existencia de interacciones irreversibles adsorbente-adsorbato, destrucción de poros, además de otros efectos como la erosión y el desgaste. Con todo, serán deseables las condiciones que lleven a una mayor eficiencia de regeneración, entendidas éstas como la relación entre la capacidad adsorbente del carbón regenerado y la del carbón virgen.

Se han propuesto diversos métodos de regeneración de CAs. El balance global entre las ventajas y desventajas de estos métodos, lleva a que sean la RT y la OxH los más interesantes, debido a su sencillez, y a la posibilidad de permitir *in situ* el tratamiento del efluente generado, para bien destruirlo, o para llevarlo a formas menos contaminantes para el medio ambiente.

Mediante la RT el adsorbente saturado es sometido a un calentamiento en atmósfera inerte. Ello conlleva la eliminación de los compuestos más volátiles adsorbidos. Como resultado, se obtiene un carbón que ha recuperado parte de su porosidad. Sin embargo, existe un volumen de poros que permanece inaccesible debido a la presencia de parte del adsorbato, así como, residuos carbonizados provenientes del craqueo de éste. La eliminación de los compuestos más fuertemente enlazados en la superficie del carbón precisará de la adición de un agente oxidante, de modo que frecuentemente el tratamiento térmico es seguido de una posterior activación, con aire, vapor de agua o  $\text{CO}_2$ . Dicho proceso consigue, mediante los equilibrios químicos correspondientes, la oxidación selectiva de la materia que permanece en los poros de modo que se consigue así una importante mejora en la recuperación de la porosidad del carbón.

Para las experiencias de RT se emplearon dos reactores cilíndricos en serie. El reactor 1 estaba provisto de una cesta de malla donde se alojaba el CA. En la zona lateral existía una entrada para el gas de alimentación ( $\text{N}_2$ ), y en la parte superior del reactor existe una salida para gases que se comunica con el segundo reactor. El reactor 2 poseía otra entrada lateral, por la que se introduce vapor de agua para el craqueo de dicho gas. En su parte superior también existe una salida para gases y productos condensables. Por otra parte, se realizaron ensayos de regeneración con posterior activación física.

Para llevar a cabo diferentes series experimentales se han variado algunos parámetros tales como la temperatura, la rampa de calentamiento, el caudal de gas activante y el tiempo de operación.

De estos ensayos se dedujo que la activación con vapor logra una mayor recuperación de porosidad, aumenta el volumen de poros y su superficie, aunque la activación con aire resulta, con diferencia, más barata que las que emplean  $\text{CO}_2$  o vapor de agua, por el coste del gas, así como la menor exigencia térmica.

En cuanto al proceso de regeneración mediante OxH tiene lugar mediante una secuencia de pasos:

- 1 Inicio del proceso de desorción del adsorbato desde la superficie interna del CA a la externa.
- 2 Transferencia de masa desde la superficie externa a la fase acuosa.
- 3 Transferencia de masa de oxígeno desde la totalidad del gas a la fase líquida.
- 4 La reacción entre el oxígeno y el adsorbato en la disolución.

Generalmente, en dicho proceso, la materia orgánica se convierte por medio de un mecanismo de radicales libres a productos finales intermedios con una reducción significativa de toxicidad y aumento de biodegradabilidad.

Una de las ventajas de esta técnica es que la mayoría de los contaminantes permanecen en la fase acuosa.

Los elementos más característicos de la instalación experimental utilizada son: reactor cilíndrico a presión de acero inoxidable, orificio de entrada de gases, en este caso oxígeno, otra abertura de salida de muestras líquidas, y uno último para introducir la sonda de temperatura. En este caso se modificaron la temperatura y la presión, y se fijó la velocidad.

De las experiencias realizadas se extrajo que al aumentar la temperatura y la presión mejoran todos los parámetros. Por otra parte, es interesante destacar la mejora de la regeneración del carbón con oxidación, al modificar el equilibrio de desorción, con respecto a los carbones regenerados sin oxígeno.

Para llevar a cabo los ciclos de adsorción-regeneración en las experiencias descritas, se partía de una masa conocida de CA saturado. Después se regeneraba el carbón mediante las técnicas vistas anteriormente, se analizaban las características texturales y químicas de la muestra mediante diversas técnicas para saber cómo quedaba el carbón regenerado y, seguidamente, se saturaba de nuevo la muestra regenerada. Después se repetía el procedimiento tantas veces como fuera necesario hasta agotar el adsorbente por encima de un determinado porcentaje y dar por finalizados los ciclos.

En cuanto a los ciclos de RT con posterior activación de vapor de agua se observó que la capacidad de adsorción de  $N_2$  a 77 K no se ve mermada a medida que aumentan los usos del carbón. En este sentido, la única limitación para la reutilización en ciclos del carbón es la pérdida másica que se produce tras cada regeneración, debida ésta, principalmente, a pérdidas por manipulación y por conversión.

En el caso de la regeneración mediante OxH, sí hubo una disminución progresiva del volumen de poros accesible al  $N_2$ . Estos resultados parecen indicar que los enlaces de adsorción del PNF son cada vez más fuertes, de modo que el adsorbato es más resistente a la oxidación por parte del oxígeno.

## APUNTES BIOGRÁFICOS

**Beatriz Ledesma Cano** (Navalvillar de Pela (Badajoz), 17 de agosto de 1984) es Ingeniera Química y Doctora por la Universidad de Extremadura. Desde 2002 reside en Badajoz, donde empezó su andadura universitaria y actualmente es Personal Investigador en el Área de Física Aplicada de la Universidad de Extremadura.

Contacto: [beatrizlc@unex.es](mailto:beatrizlc@unex.es)