

CAPITULO II. ESPECIFICACIONES DE CALIDAD Y REACTIVACIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO.

Como en el caso de cualquier producto industrial, las distintas propiedades del carbón activado se evalúan a través de métodos analíticos que han sido normalizados por diversas asociaciones. La mayoría de los productores los aplican con el objeto de estandarizar y de permitir al usuario la comparación de las especificaciones de diversos carbones.

La ASTM de Estados Unidos es el organismo cuyos procedimientos de evaluación sigue la mayoría de los fabricantes de carbón activado. Sin embargo, existen otros a los que comúnmente se hace referencia. Entre ellos está AWWA estadounidense, la DIN de Alemania, entre otras.

En México, la Dirección General de Normas de la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial también ha publicado métodos de análisis oficiales, aunque sólo para el caso de carbón activado pelletizado para la industria azucarera. Por su parte, los grandes fabricantes de carbón activado también siguen sus propias técnicas. Aunque existen diferencias entre un método y otro, en la mayoría de los casos se parecen entre sí. [1]

En la tabla 5 se muestran los principales parámetros especificados para carbón activado granular que se destina al tratamiento de agua. Algunos de éstos, como el número de yodo, el contenido de cenizas totales, los solubles en agua, la humedad y el pH, se aplican también para el carbón activado en polvo.

TABLA 5. Principales parámetros con los que se especifica un carbón activado granular para el tratamiento de agua y normas de análisis.

PARÁMETRO	UNIDADES EN LAS QUE SE EXPRESA	RANGO DE VALORES TÍPICOS	EJEMPLO DE UNA NORMA QUE SE APLICA
Número de yodo	mg/g de carbón	500 a 1,200	ASTM D-4607
Área superficial	m ² /g	500 a 1,200	Adsorción de N ₂ (método BET) ASTM D-3037
Radio medio de poro y volumen total de poro	nm y cm ³	0.7 a 500.0 y 0.2 a 1.0	Porosimetría con mercurio y adsorción de N ₂ . ASTM C-699
Densidad aparente	g/cm ³	0.26 a 0.65	ASTM D-2854
Dureza	Adimensional	30 a 99	ASTM D-3802
Rango de tamaño de partícula	Malla estándar americana (U.S. Std Sieve)	4x8 a 20x50	ANSI/AWWA B604-90
Tamaño efectivo de partícula	mm	0.4 a 3.3	ANSI/AWWA B604-90
Coefficiente de uniformidad	Adimensional	menor a 2.1	ANSI/AWWA B604-90
Contenido de cenizas totales	% base seca	3 a 15	ASTM D-2866
Solubles en agua	% base seca	0.5 a 7	ASTM D-5029
pH del extracto acuoso	pH	2 a 11	ASTM D- 3838
Humedad (al empacar)	%	2 a 15	ASTM D-2867
Longitud de semidecloración	cm	2 a 10	DIN 19603

Fuente: [1]

Todas las especificaciones, excepto la de humedad, se refieren al carbón en base seca.

2.1 Descripción de las especificaciones de calidad del carbón activado

2.1.1 Número de yodo y área superficial

El número de yodo es un índice del área superficial de un carbón activado. Esto se debe a que el yodo se adsorbe con mucha eficiencia en una capa monomolecular y su tamaño le permite alojarse hasta en los poros más pequeños en los que se lleva a cabo la adsorción. Por lo tanto, la cantidad de yodo adsorbido es proporcional al área del carbón. Hay que señalar una coincidencia afortunada que consiste en que el número de yodo, que se expresa en mg/g –miligramos de yodo adsorbidos por gramos de carbón–, tiene un valor aproximadamente igual al del área superficial obtenida por el método BET de adsorción de N₂, expresada en m²/g.

La ejecución del método BET requiere de tiempo así como de equipos y materiales caros. En cambio, el análisis del número de yodo es rápido, barato y se puede realizar en cualquier laboratorio que cuente con el equipo más básico de cristalería. Por lo tanto, este último suele utilizarse como la principal herramienta de control de calidad en la producción de carbón activado y como método de evaluación que puede realizar el comprador.

Por otro lado, el número de yodo disminuye en proporción al grado de saturación del carbón activado. En general, el carbón requiere cambiarse cuando el número de yodo llega al 50% de su valor original; por lo tanto, este parámetro puede utilizarse para estimar el tiempo de vida útil que resta a un carbón en uso. [1]

2.1.2 Radio medio de poro

Es función básicamente del tipo de materia prima y se ve poco afectado por las condiciones del proceso. El método analítico para obtener su valor es caro y lento y por eso no se evalúa con frecuencia, aunque los productores de carbón activado normalmente sí reportan su valor. Es una de las variables que más pesan en la selección de un carbón. Suele reportarse en nm. [1]

2.1.3 Volumen total de poro

Esta variable se expresa en ml/g y es función tanto del tipo de materia prima, como del grado de activación. Es decir, su valor depende del radio medio de poro y del área superficial del carbón. El método analítico para determinarlo es el mismo que se utiliza en el caso del radio medio de poro y, por las razones ya expuestas, tampoco se evalúa con frecuencia. Al igual que el área superficial y que el número de yodo, es un parámetro indicador de la capacidad de un carbón activado. [1]

2.1.4 Densidad aparente

Es el peso en g/cm^3 de carbón totalmente seco en aire. Es decir, incluye el volumen de los poros y el de los espacios entre las partículas de carbón. Esta variable es la base para determinar el volumen de cama necesaria para contener una determinada masa de carbón activado granular. Su valor determina en gran parte el flujo de agua necesario para lograr un buen retrolavado del carbón. [1]

2.1.5 Dureza

Existen varios métodos para evaluarla, aunque desafortunadamente ninguno de ellos simula las condiciones reales que provocan la erosión y el rompimiento del carbón en las diferentes etapas de su uso, como el transporte y el retrolavado.

La mayoría de los métodos reportan resultados de dureza cuyo valor está entre 0 y 100. El de la ASTM D-3802 consiste en agitar la muestra de carbón junto con balines de acero. Después de 30 min se mide el porcentaje en peso de carbón que queda sobre una malla cuya abertura es lo más cercano posible a la mitad de la abertura de la malla que define el mínimo tamaño de partícula nominal de la muestra original. El resultado se reporta como valor de dureza. [1]

2.1.6 Rango de tamaño de partícula, tamaño efectivo de partícula y coeficiente de uniformidad

El rango de tamaño de partícula es el número de las dos mallas – estándar americanas– que encuadran todo el rango de partículas que conforman un lote de carbón activado granular. Por ejemplo, 20x50 significa que las partículas de carbón pasan por la malla 20 y se retienen en la 50. Normalmente el fabricante especifica que más de 90% de su producto está dentro de dicho rango. Mientras menor es el tamaño de partícula, el carbón activado granular adsorbe con mayor rapidez, aunque ocasiona una mayor caída de presión. La malla 80 suele considerarse como la frontera entre carbón activado granular y carbón activado en polvo. [1]

Hay que hacer notar que puede haber grandes diferencias entre dos carbones con el mismo rango de tamaño de partícula nominal. Esto se debe a que uno puede tender más hacia los gruesos y el otro hacia los finos, manteniéndose ambos dentro del rango especificado. Para evitar estas diferencias, se especifican otras dos variables que son el tamaño efectivo de partícula y el coeficiente de uniformidad. La primera corresponde a la abertura de la malla por la que pasa 10% del carbón activado granular y se expresa en mm o en pulgadas; la segunda es el resultado de dividir la abertura de la malla por la que pasa 60% del carbón entre la abertura de la malla por la que pasa 10%, y es adimensional. [1]

La especificación de carbón activado granular para tratamiento de agua de la ANSI/AWWA B604-90 señala que el coeficiente de uniformidad no debe exceder de 2.1. [1]

En cuanto al tamaño efectivo de partícula, no se especifica un rango si no que se deja abierto para cada caso, puesto que depende de la presión disponible para el flujo y de la necesidad –o no– de que el carbón activado granular realice una función de filtración. [1]

2.1.7 Contenido de cenizas totales

Son el residuo que queda después de calcinar el carbón a 650⁰C, hasta llegar a peso constante, y se expresan en términos de porcentaje en base seca. La cantidad y composición de las mismas puede influir en la adsorción y en ciertas propiedades del carbón activado.

Es posible disminuir su presencia en el carbón mediante lavados con ácido, lo que se hace en el caso de procesos que se ven afectados por ellas. Como ejemplo está el carbón activado granular que se utiliza en la recuperación de solventes del aire. Al tener un menor contenido de cenizas, aumenta su temperatura de ignición, disminuyendo el riesgo de que ésta suceda, debido a que las cenizas son óxidos de sodio, potasio y de otros metales, que actúan como chispa y provocan la ignición de la cama de carbón saturado.

En el caso de tratamiento de agua, la desventaja fundamental de las cenizas consiste simplemente en que mientras mayor es su porcentaje, menor es la cantidad de carbón realmente efectivo. [1]

2.1.8 Solubles en agua

Algunas de las cenizas se disuelven en agua. En ciertas aplicaciones, el producto tratado con el carbón puede afectarse con la cantidad y el tipo de estas sustancias. Tal es el caso de la decoloración de glucosa y de la descafeinación de café. En el caso de tratamiento de agua, esta propiedad puede cobrar importancia cuando afecta al pH. [1]

2.1.9 pH del extracto acuoso

Los solubles en agua pueden tener carácter ácido o básico. Por ejemplo, en el caso de un carbón que se activa con ácido fosfórico, el producto que sale del proceso de fabricación tiene fosfatos que al disolverse en agua se convierten en ácidos y por lo tanto disminuyen el pH. En otro ejemplo, un carbón activado de concha de coco, aunque se activa con vapor de agua y sin la intervención de reactivos químicos, contiene sodio y potasio en forma de óxidos, que provienen de la misma materia prima; al disolverse en agua, éstos forman hidróxidos que aumentan el pH de la misma.

Si el pH del extracto acuoso es igual al del agua que va a tratarse, no ocurre alteración en esta última. Cuando es diferente, solamente se modificará el pH de los primeros litros tratados; sin embargo en algunas aplicaciones es inaceptable esta variación. Para estos casos, algunos fabricantes ofrecen carbones con valores de pH similares al del líquido que va a tratarse. En su defecto, el usuario puede agregar un ácido o un álcali e inundar al carbón activado granular en agua hasta lograr el pH requerido, o bien, puede lavar el carbón hasta eliminar los solubles que modifican el pH; este último método puede llegar a requerir grandes volúmenes de agua. [1]

2.1.10 Humedad (al empacar)

Ésta se especifica ya que mientras mayor es su contenido, menor es el porcentaje de carbón neto que recibe el comprador. [1]

2.1.11 Longitud de semidecloración

Es la profundidad de cama requerida para disminuir el contenido de cloro libre en agua pura de 5 a 2.5 mg/l. se utiliza como una medida de la velocidad con la que el carbón activado granular declora. Mientras menor es el tamaño de partícula, mayor es la velocidad de decloración y por lo tanto menor es la longitud de semidecloración. [1]

2.2 Reactivación del carbón activado

El principal mecanismo por medio del cual se retienen contaminantes orgánicos en la superficie del carbón activado granular es el de la adsorción física y, como tal, es reversible. La teoría de adsorción señala que al cambiar las condiciones en las que se encuentra el carbón, se podrá lograr la desorción o desprendimiento de los adsorbatos retenidos, dejando libre la superficie del carbón activado.

La desorción, sin embargo, puede ser muy lenta y puede no llegarse a restablecer toda o casi toda la capacidad original del carbón. Por otra parte, la quimisorción implica una reacción química, por lo que las moléculas retenidas por este otro mecanismo se desprenderán con estructuras moleculares completamente distintas de aquella que tenía el adsorbato originalmente; finalmente, existen moléculas inorgánicas que no han sido adsorbidas pero que sí precipitan y se depositan en la superficie del carbón y cuya eliminación tampoco responderá a los métodos de desorción de moléculas adsorbidas físicamente.

Afortunadamente, la estructura grafitica del carbón activado hace que éste sólido sea muy estable bajo condiciones muy distintas. Resiste temperaturas elevadas, así como cambios bruscos de la misma, no se ve afectado por ácidos, álcalis ni por muy diversos solventes, aunque reacciona con oxidantes fuertes. Basados en estas propiedades, existen métodos llamados reactivación o de regeneración, con los que pueden eliminarse adsorbatos de diversa naturaleza y sustancias orgánicas e inorgánicas depositadas en la superficie del carbón. [10]

Un carbón activado que se retira del proceso en el que se utilizó, se determina carbón agotado, independientemente de que se deseche o de que se vaya a reactivar. Mientras más duro es un carbón, menor porcentaje de este se pierde a lo largo del ciclo de reactivación, ya que resiste mejor los esfuerzos mecánicos a los que se somete, empezando por el manejo y transporte del mismo. [12]

Tipos de reactivación

Reactivación con vapor de agua

Consiste en hacer circular un vapor de agua a través de la cama de carbón, sin permitir que éste se condense. De esta manera se desorben moléculas orgánicas con una volatilidad menor o aproximadamente igual a la del agua –es decir, con temperatura de ebullición menor a 100 °C, –a nivel del mar – y que habían sido retenidas por adsorción física.

Es un método muy utilizado para recuperar solventes de carbones que los adsorbieron de una corriente de aire, ya que las moléculas desprendidas mantienen su estructura original. Como sabemos el carbón es sometido a ciclos alternativos de adsorción-desorción. En el primero, se retiene solvente hasta que el carbón se satura; en el segundo, se desorbe el solvente y la mezcla de éste y el vapor de agua se separa por decantación o destilación.

Mientras mayor sea la presión del vapor utilizado, mayor será su temperatura y, por lo tanto, será capaz de desorber compuestos más pesados. La máxima presión a la que se maneja el vapor de una manera práctica es de 8 kg/cm² (absoluta), a la que le corresponde una temperatura de cerca de 170 °C. [10]

Reactivación con gases calientes

Es igual a la anterior, pero utiliza gases de combustión. En el caso de algunos estudios científicos a nivel laboratorio, en los que se requiere reactivar sin la interferencia de un gas oxidante, la desorción se lleva a cabo mediante un gas inerte que se calienta de manera indirecta. También puede lograrse un resultado más rápido o eficiente mediante vacío. [15]

Reactivación térmica

Es el método más utilizado, ya que elimina prácticamente todos los contaminantes orgánicos retenidos por adsorción física o química. También remueve algunos compuestos inorgánicos y destruye óxidos y grupos superficiales. Por lo tanto, reactiva carbones utilizados en decoloración o en la eliminación de cloraminas, permanganato de potasio, ozono y otros agentes oxidantes.

La reactivación térmica consiste en la eliminación de los adsorbatos de un carbón agotado mediante un horno igual al utilizado para la activación térmica de carbón activado, pero a una menor temperatura. [15]

Reactivación con ácido

Cuando las partículas de un carbón presentan un color entre blanco y gris claro, lo más probable es que se encuentran envenenadas o bloqueadas con carbonato o con hidróxido de calcio. En estos casos, la reactivación térmica no logra eliminar dichos compuestos; en cambio, un lavado de una solución ácida sí lo hace.

Se puede utilizar cualquier tipo de ácido fuerte, pero el clorhídrico es el más común. Se prepara la solución de alrededor de 5 por ciento en peso y el carbón se inunda en ésta.

El proceso de disolución de las sales de calcio es lento. El tiempo exacto varía dependiendo de qué tan impregnado se encuentra el carbón, pero puede estar entre 10 y 40 horas. Para lograr mayor rapidez, se calienta la solución a 60 - 70 °C y se mantiene el proceso en agitación. Con esto el tiempo puede reducirse.

Una vez terminada la reactivación, el carbón debe haber recobrado su color negro. [4]

Reactivación mediante la modificación del pH en solución acuosa

Cuando la capacidad de retención de un adsorbato específico depende del valor del pH, puede aprovecharse esta condición para desorberlo, regenerando así al carbón. Por ejemplo, el fenol se adsorbe en cantidades relativamente altas a valores de pH bajos y ocurre todo lo contrario a valores de pH altos. Así, si el carbón activado granular saturado con este compuesto se lava con una solución al 4% de sosa, es posible disolver un buen porcentaje del mismo. Este método sólo se aplica en procesos muy específicos en los que el carbón ha adsorbido un solo compuesto, como el fenol. [4]

Reactivación biológica

La reactivación biológica del carbón activado sucede en el tratamiento de agua, las bacterias que se desarrollan en la superficie del carbón se alimentan de la materia biodegradable adsorbida. Este beneficio también puede lograrse en el carbón activado una vez que este método se ha retirado del proceso de adsorción. Para lograrlo, el carbón se coloca en una columna por la que se recircula una solución aireada y rica en nutrientes en un principio, a modo de cama expandida.

Este método ha encontrado aplicación en el ramo de tratamiento de aguas residuales, logrando 80% de regeneración en 96 horas; sin embargo, hasta el momento su uso no es frecuente. [12]

Reactivación térmica a vacío

Como su nombre lo indica, es una modalidad de la reactivación térmica en la que se hace vacío, como el objeto de lograr la desorción de ciertos contaminantes que, a presión atmosférica, sufrirían una pirolisis antes de desorberse. Con esto se busca recuperar el adsorbato y evitar su destrucción.

Este proceso se aplica en muy raras ocasiones a escala industrial, debido al costo que significa el vacío. Sin embargo, se utiliza con frecuencia en estudios a escala en el laboratorio. [15]