

CAPITULO I. EL CARBÓN ACTIVADO Y SUS PROPIEDADES

1.1 Breve historia del carbón activado

El uso de los materiales de carbón se pierde en la historia, de forma que es prácticamente imposible determinar con exactitud cuando el hombre comenzó a utilizarlos. Lo cierto es que antes del uso de lo que en la actualidad denominamos carbones activados, es decir carbones con una estructura porosa altamente desarrollada, ya se empleaban como adsorbentes el carbón vegetal, o simplemente maderas parcialmente quemadas. [2]

Los primeros usos de estos primitivos carbones activos, generalmente preparados a partir de madera carbonizada (carbón vegetal), parecen haber tenido aplicaciones médicas. Así, en Tebas (Grecia) se halló un papiro que data del año 1550 a.C. en el que se describe el uso de carbón vegetal como adsorbente para determinadas prácticas médicas. Con posterioridad, en el año 400 a.C., Hipócrates recomienda filtrar el agua con carbón vegetal para eliminar malos olores y sabores y para prevenir enfermedades. En relación al tratamiento del agua con carbón activado, se sabe que ya 450 años a.C. en los barcos fenicios se almacenaba el agua para beber en barriles con la madera parcialmente carbonizada por su cara interna. Esta práctica se continuó hasta el siglo XVIII como medio para prolongar el suministro de agua en los viajes transoceánicos. Sin embargo, la primera aplicación documentada del uso de carbón activado aplicado a tratamiento de corrientes gaseosas no tiene lugar hasta el año 1793, cuando el Dr. D.M. Kehl utiliza el carbón vegetal para mitigar los olores emanados por la gangrena. El mismo doctor también recomienda filtrar el agua con carbón vegetal. [5]

La primera aplicación industrial del carbón activado tuvo lugar en 1794, en Inglaterra, utilizándose como agente decolorizante en la industria del azúcar. Esta aplicación permaneció en secreto por 18 años hasta que en 1812 apareció la primera patente. En 1854 tiene lugar la primera aplicación a gran escala del carbón activado para tratamiento de gases, cuando el alcalde de Londres ordena instalar filtros de carbón vegetal en los sistemas de ventilación de las cloacas. En 1872 aparecen las primeras máscaras con filtros de carbón activado utilizadas en la industria química para evitar la inhalación de vapores de mercurio.

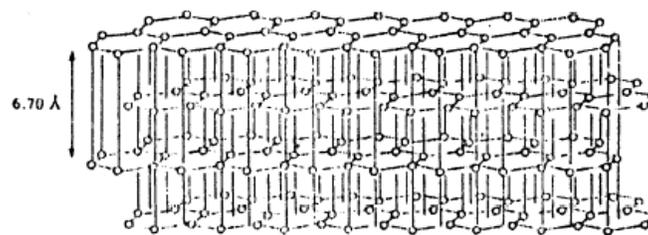
Sin embargo el término adsorción no fue utilizado hasta 1881 por Kayser para describir como los algunos tipos de materiales carbonizados atrapaban los gases. Aproximadamente por estas fechas R. von Ostrejko, considerado el inventor del carbón activado, desarrolla varios métodos para producir carbón activo tal y como se conoce en nuestros días, más allá de simples carbonizados de materiales orgánicos o del carbón vegetal. Así, en 1901 patentó dos métodos diferentes para producir carbón activado. El primero consistía en la carbonización de materiales lignocelulósicos con cloruros de metales; lo cual resulto la base de lo que hoy en día es la activación química. En el segundo, proponía una gasificación suave de materiales previamente carbonizados con vapor de agua o CO_2 ; es decir una activación física, o más correctamente térmica.

La Primera Guerra Mundial, y el uso de agentes químicos durante esta contienda, trajeron como consecuencia la necesidad urgente de desarrollar filtros de carbón activado para máscaras de gas. Sin duda este acontecimiento fue el punto de partida para el desarrollo de la industria del carbón activado y de un buen número de carbones activados usados no solo en la adsorción de gases tóxicos sino en la potabilización de agua. A partir de este momento tuvo lugar el desarrollo de multitud de carbones activados para las aplicaciones más diversas: depuración de gases y agua, aplicaciones médicas, soporte de catalizadores, etc. [5]

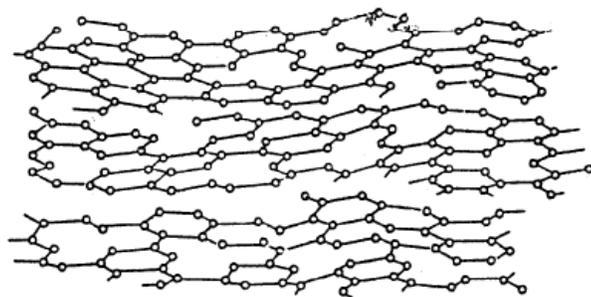
1.2 ¿Qué es el carbón activado?

El carbón activado al igual que otros tipos de carbón, forman un grupo de materiales carbonosos en los cuales la estructura y propiedades son más o menos similares a la estructura y propiedades del grafito.

El carbón activado es un producto que posee una estructura cristalina reticular similar a la del grafito solo que el orden en la estructura del carbón activado es menos perfecta; es extremadamente poroso y puede llegar a desarrollar áreas superficiales del orden de 500 a 1,500 metros cuadrados ó más, por gramo de carbón. El área de superficie del carbón activado varía dependiendo de la materia prima y del proceso de activación. Son las altas temperaturas, la atmósfera especial y la inyección de vapor del proceso de fabricación del carbón activado lo que “activa” y crea la porosidad, dejando mayormente una “esponja” de esqueleto de carbón. [11]



(a)



(b)

Figura 1. (a) Arreglo estructural de las capas planas del grafito, (b) Estructura propuesta de las capas de carbón activado.

Fuente: [11]

1.3 ¿Qué es lo que hace al carbón activado un material tan versátil?

Es conveniente analizar primero el proceso de adsorción, para comprender mejor como el carbón activado realiza su función. La adsorción es un proceso por el cual los átomos en la superficie de un sólido, atraen y retienen moléculas de otros compuestos. Estas fuerzas de atracción son conocidas como " fuerzas de Van Der Waals". Por lo tanto al ser un fenómeno que ocurre en la superficie mientras mayor área superficial disponible tenga un sólido, mejor adsorbente podrá ser.

Todos los átomos de carbón en la superficie de un cristal son capaces de atraer moléculas de compuestos que causan color, olor o sabor deseables o indeseables; la diferencia con un carbón activado consiste en la cantidad de átomos en la superficie disponibles para realizar la adsorción. En otras palabras, la activación de cualquier carbón consiste en "multiplicar" el área superficial creando una estructura porosa. Es importante mencionar que el área superficial del carbón activado es interna. Para darnos una idea más clara de la magnitud de la misma, imaginemos un gramo de carbón en trozo el cual moleremos muy fino para incrementar su superficie, como resultado obtendremos un área aproximada de 3 a 4 metros cuadrados, en cambio, al activar el carbón logramos multiplicar de 200 a 300 veces este valor.

Por todo ello, cuando se desea remover una impureza orgánica que causa color, olor o sabor indeseable, normalmente la adsorción con carbón activado suele ser la técnica más económica y sencilla. [11]

1.4 Mecanismos de operación como adsorbente

Es importante comprender el mecanismo de adsorción ya que permite predecir con cierto grado de aproximación el comportamiento del carbón activado en muchas de las aplicaciones que puede tener.

Existen dos tipos de fenómenos de adsorción: *Fisisorción* y *Quimisorción*.

Fisisorción: Ésta es la más común para el caso de carbón activado, en este tipo de adsorción no existe intercambio de electrones entre adsorbente y adsorbato, lo que permite que el proceso sea reversible.

Quimisorción: Ésta es menos frecuente, este tipo de adsorción suele ser irreversible debido a que ocurren modificaciones de las estructuras químicas del adsorbato y del adsorbente. [3]

Tipos de poros dentro de una partícula de carbón

El carbón activado tiene una gran variedad de tamaños de poros que pueden clasificarse, de acuerdo con su función, en *poros de adsorción* y *poros de transporte*.

Los *poros de adsorción* consisten en espacios entre placas gráficas con una separación de entre una y cinco veces el diámetro de la molécula que va a retenerse. En estos, ambas placas de carbón están lo suficientemente cerca como para ejercer atracción sobre el adsorbato y retenerlo con mayor fuerza.

Los poros mayores que los de adsorción son los *poros de transporte* y tienen un rango muy amplio de tamaños, que van hasta el de las grietas que están en el límite detectable para la vista y que corresponden a 0.1 mm. En esta clase de poros, sólo una placa ejerce atracción sobre el adsorbato y entonces lo hace con una fuerza menor, insuficiente para retenerlo. Así, los poros de transporte actúan como caminos de difusión por los que circula la molécula hacia los poros de adsorción en los que hay una atracción mayor; por lo tanto, aunque tiene poca influencia en la capacidad del carbón activado, afectan la cinética o velocidad con la que se lleva a cabo la adsorción. [3]

Otra clasificación de los poros, es la de la IUPAC (International Union of pure and Applied chemists), que se basa en el diámetro de los mismos, de acuerdo con lo siguiente:

Micro poros: menores a 2 nm

Meso poros: entre 2 y 50 nm

Macro poros: entre 50 y 100,000 nm

Nota: arriba de 100,000 nm ya se consideran como grietas y empiezan a ser detectables por el ojo humano.

Los micro poros tienen un tamaño adecuado para retener moléculas pequeñas, que aproximadamente corresponden a compuestos más volátiles que el agua, tales como olores, sabores y muchos solventes. Los macro poros atrapan moléculas grandes, como los colores intensos o las sustancias húmicas –ácidos húmicos y fúlvicos— que se generan al descomponerse la materia orgánica. Los meso poros son los apropiados para moléculas de tamaño intermedio entre las anteriores. [3]

El carbón activado posee la virtud de adherir o retener en su superficie uno o más componentes (átomos, moléculas, iones) que se encuentran disueltas en el líquido que está en contacto con él. Este fenómeno se denomina poder adsorbente. La adsorción es la responsable de purificar, deodorizar y decolorar el agua u otros líquidos o gases que entren en contacto con el elemento adsorbente. [2]

1.5 Propiedades y condiciones que afectan la adsorción en carbón activado.

La adsorción en carbón activado se ve afectada por diversas propiedades tanto del carbón como del adsorbato, así como por las condiciones del gas o del líquido en el que se lleva a cabo este fenómeno. Las propiedades que afectan la adsorción son las siguientes:

- a) Propiedades relacionadas con el tipo de carbón activado
 - La adsorción aumenta cuando el diámetro de los poros predominantes está entre una y cinco veces el diámetro del adsorbato.
 - Diferencias en la química superficial y en los constituyentes de las cenizas pueden afectar la adsorción, especialmente en fase líquida.

El carbón activado tiene grupos orgánicos superficiales y cenizas. Los primeros pueden ser de diverso tipo y estar presentes en distintas cantidades, dependiendo de las condiciones a las que se ha sometido el carbón desde el momento de su producción. Un carbón que se activa arriba de 600 °C en ausencia de oxígeno y que se enfría en una atmósfera inerte resulta cargado negativamente, se denomina carbón H, y adsorbe preferentemente moléculas ácidas en una solución líquida.

Si la activación se hace en presencia de oxígeno y a menos de 500 °C, el carbón activado queda cargado positivamente, se llama carbón L y tiene mayor afección por moléculas básicas de una solución líquida. En caso de que el carbón se active a temperaturas cercanas a 500 o 600 °C, o a temperaturas superiores pero en contacto con oxígeno durante su enfriamiento, entonces adsorbe por igual tanto ácidos como bases. [3]

Cuando el carbón activado se almacena a la intemperie, el oxígeno reacciona con su superficie y le da características de carbón L. A este fenómeno se le llama envejecimiento, debido a que tiene, como efecto adicional, una reducción en la capacidad para adsorber moléculas orgánicas en general.

El carbón activado también adquiere una química superficial por reacción en solución acuosa no sólo con oxígeno sino también con otros oxidantes. Estas reacciones pueden ocurrir de manera simultánea al proceso de adsorción de compuestos orgánicos; su interés radica en que pueden afectar a las propiedades de adsorción del carbón activado.

Respecto a las cenizas, los carbones activados comerciales de diversos orígenes contienen entre 3 y 15% de ellas, generalmente en forma de óxidos metálicos. La cantidad exacta puede determinarse por ignición de una muestra de carbón.

Las cenizas están constituidas por elementos no volátiles, como Na, K, Ca, Mg, S, Fe, Si, Al y P; con lavados ácidos es posible extraer hasta 90% de éstos. También aumenta su presencia en la superficie del carbón activado, cuando este se utiliza en el tratamiento de un líquido que los contenga, especialmente en concentraciones cercanas a la saturación. Las cenizas no solo pueden afectar la adsorción de moléculas orgánicas, sino también la quimisorción de oxígeno y la distribución del tamaño de poros del carbón activado después de que este se reactiva. [7]

b) Propiedades relacionadas con el adsorbato

Antes de enlistarlas, hay que mencionar que todo tipo de moléculas orgánicas se adsorbe bien en el carbón activado. No así las inorgánicas, excepto algunas como los molibdatos, los cianuros de oro, el dicianuro de cobre, el cloruro de mercurio, el yodo y las sales de plata, entre otros. [3]

- La adsorción de orgánicos es más fuerte al aumentar su peso molecular, mientras el tamaño de la molécula no rebase el del poro.
- Las moléculas orgánicas no polares se adsorben con mayor fuerza que las polares.
- Las moléculas orgánicas ramificadas se adsorben con mayor fuerza que las lineales.
- La mayoría de las moléculas orgánicas que tienen ligados átomos de cloro, bromo o yodo se adsorben con mayor fuerza.
- La adsorción en fase líquida aumenta al disminuir la solubilidad del adsorbato. [3]

c) Propiedades relacionadas con el líquido que rodea al carbón activado

- Generalmente aumenta la adsorción al disminuir el pH.
- La teoría dice que la adsorción no se ve afectada por la temperatura; sin embargo, a mayor temperatura, aumenta la solubilidad del adsorbato y se adsorbe en menor proporción. Por otro lado, a mayor temperatura, también disminuye la viscosidad del solvente, facilitando la movilidad del adsorbato y por lo tanto acelerando su velocidad de difusión hacia los poros. En términos prácticos, generalmente aumenta la adsorción al aumentar la temperatura. [3]

1.6 Métodos de fabricación y materias primas

Para comprender el proceso de fabricación de carbón activado, es necesario empezar por describir la diferencia estructural entre los distintos tipos de carbón que se encuentran en la naturaleza o que fabrica el hombre, independientemente de que sean o no activos.

Una de las maneras más sencillas de diferenciar carbones es de acuerdo con el grado de ordenamiento entre sus átomos, que puede estar dentro de un rango muy amplio. En el extremo de mayor orden se encuentra el diamante y poco antes el grafito. [3]

Un carbón estará más ordenado cuanto mayor haya sido la temperatura de su formación y cuanto más tiempo haya durado este proceso.

El carbón activado no es más que carbón, cuyos átomos están ordenados en forma de placas grafíticas. De una manera simple, puede decirse que la diferencia entre el carbón activado y el grafito consiste en que en el grafito existe un grado de ordenamiento en las tres coordenadas en el espacio, mientras que en el carbón activado sólo existen dos, que corresponden a los planos independientes constituidos por las placas que lo conforman; estas placas tienen distintas orientaciones. Por lo tanto, es posible convertir carbón activado en grafito, pero no es posible convertir grafito en carbón activado. En otras palabras, el carbón activado puede fabricarse a partir de cualquier tipo de carbón cuyos átomos tengan un arreglo menos ordenado que el que tendrán cuando se transforme en carbón activado. [9]

1.6.1 **Métodos de activación del carbón**

La activación del carbón es la generación de partículas cristalinas altamente porosas con una enorme superficie de contacto en el interior de los gránulos o polvos de carbón, que le otorgan a éste un alto poder de adsorción.[3]

El carbón activado puede fabricarse a partir de todo tipo de material carbonoso o bien a partir de cualquier carbón mineral no grafitico; sin embargo, cada materia prima brindará características y calidades distintas al producto. [9]

En cuanto al proceso de activación, existen dos tipos de activación: *activación física* (llamada también *térmica*) y *activación química* (llamada también *deshidratación química*). [3]

Activación térmica: Cuando se parte de un material orgánico –madera, bagazo de caña, sangre, etc. –, el proceso se inicia con su carbonización, la cual debe realizarse a una temperatura baja en la que no se favorezca la grafitación. Si se parte de carbón mineral, normalmente no se requiere la carbonización, a menos que éste contenga un alto contenido de volátiles.

El carbón resultante se somete a temperaturas cercanas a 1000⁰C, en una atmósfera inerte o reductora, casi siempre saturada con vapor de agua. En estas condiciones, y a lo largo de un cierto tiempo, algunos átomos de carbón reaccionan y se gasifican en forma de CO₂, y otros se recombinan y condensan en forma de las mencionadas placas grafiticas. Estas placas tienden a ser pequeñas e imperfectas, y el tamaño y grado de imperfección dependen de la materia prima. [3]

El grado de activación y el rendimiento dependen de las condiciones de operación del horno de activación que son:

- La temperatura.
- La composición de los gases.
- El tiempo de residencia.
- El flujo volumétrico del vapor.

El rendimiento suele estar entre 0.25 y 0.5 kg de carbón activado por kilo de carbón.

A mayor grado de activación generalmente corresponde un menor rendimiento. Existe, sin embargo, un punto máximo de activación posible, más allá del cual sólo aumentan las pérdidas de carbón. Por grado de activación se entiende el área superficial generada en el carbón activado. Un hecho que resulta interesante es que aunque ésta varíe, la proporción de micro, meso y macro poros cambia poco. Como se mencionó antes el tamaño de poros depende básicamente de la materia prima.

Existen distintos tipos de hornos de activación, entre ellos:

- El rotatorio de calentamiento directo.
- El vertical de hogares múltiples y
- El de lecho fluidizado.

El carbón activado sale del horno al rojo vivo, por lo que debe enfriarse antes de entrar en contacto con el aire que se encuentra a temperatura ambiente. De lo contrario, una parte de éste desaparecería como CO_2 y el producto resultaría con una cantidad muy grande de óxidos superficiales, que podrían afectarlo negativamente. Para lograr este enfriamiento puede recibirse el carbón en agua o en un equipo sellado con enfriamiento directo.

Lo anterior constituye la etapa básica del proceso. El resto consiste en operaciones de molienda y cribado para brindar al producto el rango buscado de tamaños de partícula. [3]

Activación química: Este método sólo puede aplicarse a ciertos materiales orgánicos relativamente blandos y que están formados por moléculas de celulosa, como es el caso de la madera de pino.

La primera etapa consiste en deshidratar la materia prima mediante la acción de un agente reactivo, como ácido fosfórico, cloruro de zinc o carbonato de potasio. Posteriormente, se carboniza el material deshidratado a baja temperatura (500-600⁰C), obteniéndose automáticamente la estructura porosa.

El producto resultante se lava, con objeto de dejarlo tan libre como sea posible del químico utilizado, así como para recuperar y reutilizar éste último. La rentabilidad del proceso radica, en gran medida, en la eficiencia de dicha recuperación.

El grado de activación puede variarse de acuerdo con la concentración del químico deshidratante utilizado.

Mediante esta tecnología no se obtienen las mismas placas gráficas que resultan del método de activación térmica. Las paredes del carbón más bien se asemejan a una molécula orgánica, parte aromática y parte alifática, o a un polímero muy ramificado y entre ligado. Además, estas paredes no son planas, sino rugosas –aun en el caso de los micro poros– y contienen grandes cantidades de átomos distintos al carbono, principalmente oxígeno.

Cuando una misma materia puede activarse de manera tanto térmica como química, el carbón activado producido por el segundo método adquiere poros cuyo tamaño es un poco mayor.

Las operaciones para dar un rango específico de tamaños de partículas son básicamente las mismas que se utilizan en el método de activación térmica (operaciones de molienda y cribado). [3]

1.6.2 Principales materias primas utilizadas y sus efectos en las características del producto.

Actualmente el carbón activado puede ser producido a partir de cualquier material rico en carbono, pero sus propiedades estarán muy influenciadas por la naturaleza de la materia prima con que es producido y por la calidad del proceso de activación.

Entre las principales fuentes se destacan:

- Carbones minerales
- Concha de coco
- Maderas

De estas, la concha de coco es la que rinde un producto final con mayor granulación y dureza, con un volumen de poros uniforme y un alto por ciento de porosidad. Además, al ser más denso que los obtenidos por las otras materias primas mencionadas, lo hace más cotizado para la eliminación de productos químicos contaminantes del medio.

La selección de la materia, que se utilizará para la obtención del producto final, dependerá de un grupo de factores que deben ser considerados, como son:

- Disponibilidad y costo de la materia prima.
- Tecnología disponible.
- Demanda en el mercado de un determinado tipo de carbón activado. [9]

En la tabla 1 se muestran las principales materias primas y tecnologías de activación utilizadas en la producción de carbones activados, así como la dureza, el radio medio de poro y el radio de poro dominante de los productos obtenidos.

Tabla 1. Principales materias primas y tecnologías con las que se fabrican carbones activados y valores típicos de las principales propiedades obtenidas.

MATERIA PRIMA	MÉTODO DE ACTIVACIÓN	DUREZA O RESISTENCIA A LA ABRASIÓN	RADIO MEDIO DE PORO	RADIO DE PORO DOMINANTE
Madera de pino	Deshidratación química*	30-50	200 a 2,000 nm	50 - 10,000 nm
Carbón mineral lignítico	Térmica**	40-60	3.3 nm	1 - 1,000 nm
Carbón mineral bituminoso	Térmica**	70-85	1.4 nm	1 - 100 nm
Concha de coco	Térmica**	90-99	0.8 nm	<10 nm

*Generalmente con ácido fosfórico y en ocasiones con cloruro de zinc. También hay empresas que lo activan térmicamente.

**En atmósfera saturada de vapor de agua o con gases de combustión.

Fuente: [9]

Además de las materias primas antes mencionadas, también han sido utilizadas otras, como son:

- Bagazo de caña
- Semillas (frijol, arroz, etc.)
- Desechos de maíz
- Residuos del petróleo
- Algas marinas
- Huesos de frutos
- Cáscara de arroz
- Turba, etc.

La dureza o resistencia a la abrasión es una propiedad muy importante en los carbones activados que se van a utilizar en forma de gránulos, ya que la falta de ésta provoca erosión y rompimiento durante el manejo y uso. Esta propiedad puede medirse con diversos métodos.

El carbón de madera de pino tiene una dureza muy baja, que suele hacerlo inapropiado para el uso en forma granular y, por el contrario, el de concha de coco tiene la ventaja de ser el más resistente.

En cuanto al radio medio de poro y al radio de poro predominante, puede observarse que el carbón activado de madera tiende a la macro porosidad, los minerales a la meso porosidad y el de concha de coco a la micro porosidad. [9]

En la tabla 2 se muestran las principales aplicaciones de los distintos tipos de carbón activado en tratamiento de agua, de acuerdo con su origen y, por lo tanto, con el tamaño de sus poros predominantes.

Tabla 2. Principales aplicaciones del carbón activado en tratamiento de agua de acuerdo con su origen.

TIPO DE CARBÓN ACTIVADO DE ACUERDO CON SU ORIGEN	PRINCIPAL APLICACIÓN EN TRATAMIENTO DE AGUA.	OBSERVACIONES
Vegetal (madera de pino)	<ul style="list-style-type: none"> - Agua residual con colores intensos y/o con cantidades sustanciales de grasas, aceites y otros compuestos de alto P.M. - Potabilización de agua superficial con alto contenido de materia orgánica natural. 	<p>Se requiere un carbón activado macro poroso, ya que los contaminantes mencionados tienen un tamaño molecular relativamente grande.</p> <p>Usado en la industria textil, de alimentos y de petróleo. Como este carbón activado es poco duro, normalmente se aplica como polvo.</p>
Mineral lignítico	<ul style="list-style-type: none"> - Agua residual cuyos contaminantes sean muy diversos, como las de procedencia municipal. 	<p>Este carbón activado tiene poros de muy diversos tamaños, por lo que es el adecuado cuando los contaminantes sean de una gran gama de tamaños moleculares.</p> <p>La dureza de este carbón es relativamente baja.</p>
Mineral bituminoso	<ul style="list-style-type: none"> - Agua residual en la que predominen contaminantes de P.M. intermedio. - Potabilización de agua superficial o con un ligero color producido con algas. 	<p>La mayoría de los poros de este carbón activado están en el rango bajo de la meso porosidad.</p> <p>Es menos duro que el de concha de coco, pero más adecuado cuando hay una alta proporción de contaminantes no volátiles</p>
Concha de coco	<ul style="list-style-type: none"> - Potabilización de agua de pozo. - Eliminación de olor, sabor y compuestos volátiles en agua superficial. - Agua residual contaminada con solventes volátiles o con otras moléculas de bajo peso molecular. - Decloración. 	<p>Es el carbón con mas proporción de micro poros, por lo tanto es el más adecuado para retener moléculas pequeñas.</p> <p>Es el carbón utilizado cuando solamente se requiere declorar, ya que es el más duro y resistente a la abrasión.</p>

Fuente: [3]

Cuando el carbón activado se produce por el mismo método de activación –Térmica– las placas grafiticas del carbón de madera resultan pequeñas, muy separadas entre sí y con una orientación no uniforme. Por el contrario, el carbón de concha de coco está formado por placas de mayor tamaño, poco separadas y con una orientación básicamente similar todas ellas. Los carbones minerales poseen características intermedias. [3]

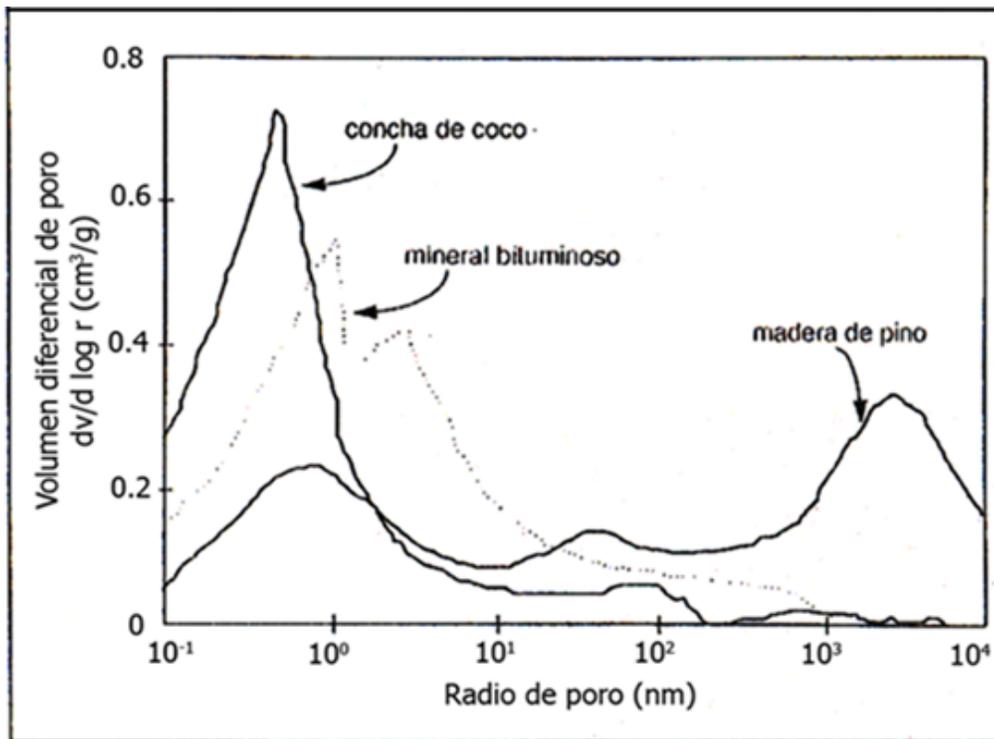


Figura 2. Distribución de tamaños de poros en distintos tipos de carbón activado

Fuente: [3]

1.7 Forma física, tamaño del carbón y sus efectos en la velocidad de adsorción.

El carbón activado puede tener forma de gránulos irregulares, polvo, pellets o fibras. Los tres primeros son los más comunes. Aunque los pellets normalmente son cilindros, también se producen con otras formas. En todos los casos, aun cuando la forma física difiera, el producto básico es el mismo y, por lo tanto, trabaja con el mismo principio.

El carbón activado granular

El carbón activado granular consiste en gránulos de forma irregular que se instalan dentro de un recipiente por el que se hace circular el líquido o gas que va a tratarse. El carbón activado granular se fabrica en diversos rangos de tamaños. Por ejemplo, un 8x30 es un carbón cuyas partículas pasan por la malla 8 pero no por la 30. La especificación de malla que se utiliza con mayor frecuencia es la estándar americana (U.S. Std. Sieve). El número de malla equivale al número de aberturas por pulgada lineal. Un carbón 8x30 tiene partículas de entre 0.595 y 2.38 mm como podemos ver en la tabla 3. [3]



Figura 3. Carbón activado granular

Mientras menores son las partículas de carbón, trabajan con una rapidez sustancialmente mayor, aunque también causan una mayor caída de presión en el fluido tratado. Lo primero se debe a que se acorta y se facilita el acceso del adsorbato a la superficie interna del carbón. Para dar una idea del efecto que tiene el tamaño de partícula en la cinética de la adsorción, un carbón activado granular comercial tamaño 12x40 normalmente adsorbe con el doble de rapidez que uno 8x30.

Como conclusión, en toda aplicación hay que buscar el tamaño de carbón activado granular menor posible, siempre y cuando la caída de presión provocada no sea excesiva.

En la tabla 3 se mencionan algunos de los rangos de tamaño más comunes en distintas aplicaciones. La única limitante por la que no se suelen usar tamaños menores es la presión disponible para el flujo a través de la cama de carbón o el costo que tiene el vencer la caída de presión. De cualquier manera, cabe la posibilidad de que se elijan tamaños menores o mayores a los típicos, según las características y limitaciones de cada proceso. [3]

Tabla 3. Especificaciones de mallas estándar americanas (U.S. Std. Sieve)

MALLA U.S.	ABERTURA (mm)	MALLA U.S.	ABERTURA (mm)
¼	6.35	30	0.595
4	4.76	35	0.500
5	4.00	40	0.420
6	3.36	45	0.354
8	2.38	50	0.297
10	2.00	60	0.250
12	1.68	70	0.210
14	1.41	80	0.177
16	1.190	100	0.149
18	1.000	200	0.074
20	0.841	325	0.044
25	0.707	400	0.037

Fuente: [3]

TABLA 4. Rangos típicos de tamaño de carbón activado granular para distintas aplicaciones.

APLICACIÓN	GRANULOMETRÍAS
Tratamiento de agua y de líquidos en general, a nivel industrial y municipal.	8x30, 12x40, 14x30, 14x40
Purificadores de agua caseros.	12x40, 14x40, 20x50
Acondicionamiento de aire, purificación de gases (como CO ₂ , He, acetileno), recuperación de vapores de solventes, campanas para cocinas.	4x6, 4x8, 4x10
Mascarillas de gases.	12x20
Recuperación de oro.	6x12, 6x16, 8x16, 10x20
Boquillas de cigarros.	8x14, 12x20, 20x50

Fuente: [3]

Además del rango de tamaño con el que se especifica un carbón activado granular, existen dos variables que definen con mayor precisión la distribución de tamaños dentro de ese rango: el tamaño efectivo de partículas y el coeficiente de uniformidad. [3]

El carbón activado en polvo

El carbón activado en polvo se define como aquel carbón cuyas partículas pasan a través de la malla 80. Como ejemplo, la norma de la AWWA B600-90 relativa al carbón activado en polvo para el tratamiento de agua señala que 99% debe pasar por la malla 100, 95% debe pasar la 200, y 90% la malla 325. Este rango de tamaños corresponde aproximadamente al del talco. [3]



Como es obvio por su tamaño, este tipo de carbón no puede emplearse en lechos fijos y por lo tanto no se utiliza en el tratamiento de gases. Se adiciona al líquido en un tanque agitado: después de un tiempo que suele ser de entre 10 y 30 minutos, se deja sedimentar o se separa por medio de un filtro, que normalmente es tipo prensa. La sedimentación puede requerir de floculantes y filtración (tierras diatomáceas). Aunque el proceso puede ser continuo, normalmente se realiza por lotes, ya que en el primer caso se requiere controles muy precisos.

Puede parecer, a priori, que el tamaño tan pequeño de las partículas de carbón activado en polvo le brindan una mayor área superficial que a un carbón activado granular; sin embargo esto no es así, ya que el área de los poros es muy superior al área externa de las partículas de carbón, cualquiera que sea su tamaño. [3]

Ventajas del carbón activado en polvo sobre el carbón activado granular:

- El carbón activado en polvo trabaja a una velocidad superior a la del carbón activado granular.
- No requiere dureza, por lo tanto, cuando el carbón activado no es suficientemente duro como para aplicarse como granular, el polvo es una buena alternativa. Tal es el caso del carbón vegetal de madera de pino.

Desventajas del carbón activado en polvo sobre el carbón activado granular:

- El carbón activado en polvo genera una mayor caída de presión.

El carbón activado pelletizado

El carbón activado puede pulverizarse y posteriormente pelletizarse bajo presión o con la ayuda de agentes ligantes, como brea, alquitranes y glucosa, entres otros.



Los pellets suelen ser cilíndricos debido a que normalmente se producen por extrusión. Su principal ventaja consiste en que causan una menor caída de presión que los carbones granulares, cosa que los hace muy útiles en la purificación de aire y otros gases en los que existe una baja presión disponible. Sin embargo en ocasiones también se aplican en fase líquida. Comercialmente se encuentran en diámetros de 0.8 a 5 mm, siendo el de 4 mm el más común.

Una característica de este tipo de carbones radica en que, gracias a su forma regular, no tienen partes puntiagudas que se puedan romper fácilmente durante el manejo o erosionar durante los retrolavados o la operación. Esto es importante en ciertos procesos, en los que es imprescindible evitar desprendimiento de partículas finas, como es el caso de recuperación de oro, en el que el valioso metal se concentra en el carbón. Cabe aclarar que para este tipo de aplicaciones también puede utilizarse carbón activado granular, siempre y cuando sea duro –como es el caso del el de concha de coco– y el fabricante lo haya sometido a un proceso de rodado en el que se eliminan las puntas. La resistencia a la abrasión de este tipo de carbón activado depende del agente ligante y del método de pelletizado. [3]

Otra aplicación de la pelletización consiste en brindar resistencia a carbones vegetales o ligníticos que en su estado natural se rompen o erosionan con facilidad. De esta manera, es posible aplicarlos como un lecho fijo en casos de purificación de líquidos, en los que se requieren las características de poro de estos materiales.

Además de los pellets cilíndricos, se fabrican otras con diversas formas, como la de panal de abejas para acondicionamiento de aire, o la de estatuillas y figuras decorativas para eliminar olores de cigarros en casas y oficinas, también existen en forma esférica.

Desventaja de los carbones pelletizados:

- Mayor costo de fabricación, que resulta en precios más altos con respecto a los granulares. [9]