

Carbón activado en **polvo** y sus particularidades

coco, mineral y madera

Ing. Germán Grosó Cruzado

Ing. Luis Caudillo Baca

4 junio 2024

Atención a clientes:



Como en cada webinar, les recordamos que el equipo de atención a clientes tendrá el gusto de acompañarlos en sus proyectos cuando lo requieran.

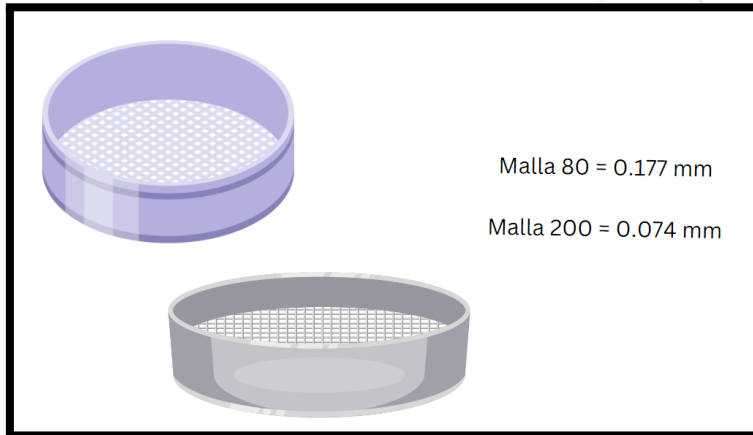
Departamento de compras



Departamento de administración





Hoy les presentamos a los equipos de compras y administración, sin quienes la actividad de Carbotecnia sería imposible.



La ASTM es el organismo más aceptado internacionalmente en cuanto a definiciones y pruebas de análisis de calidad de carbón activado. Este organismo define que al menos el 90% de las partículas que componen a un carbón activado en polvo (CAP) deben pasar la malla 80 (estándar americana, que corresponde a 0.177 mm).

En la mayoría de los CAP que se encuentran comercialmente, al menos el 90% de sus partículas pasan la malla 200 (0.074 mm). Esto no significa que no se encuentren disponibles CAP entre las mallas 80 y 200.

Recomendación de ANSI/AWWA	
	
CAP producido a partir de madera	CAP producido a partir de otras materias primas (concha de coco, carbones minerales, etc.)
95% < malla 100 85% < malla 200 60% < malla 325	99% < malla 100 95% < malla 200 90% < malla 325

La *American Water Works Association* (AWWA) es el organismo estadounidense más reconocido en materia de potabilización, y está acreditado por la *American National Standard Institute* (ANSI) en relación a las normas que establece. Una de ellas es la ANSI/AWWA B600-16 *Powdered Activated Carbon*, relativa al CAP que se destina a la potabilización. Esta norma recomienda que el CAP cumpla con la distribución de tamaño de partícula que muestra la imagen.

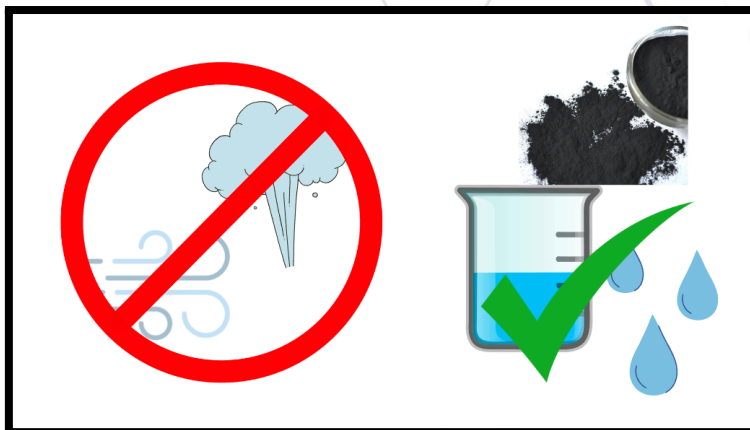
Aunque la norma referida no lo menciona, la recomendación anterior seguramente se debe a que la cinética de adsorción en poros grandes es mayor, gracias a la mayor facilidad de difusión de los adsorbatos. En la industria, cuando se hace referencia a carbones activados producidos a partir de madera, se alude a maderas no muy duras. Mientras menos dureza tiene la materia prima, los poros del carbón activado resultante son de mayor diámetro. De lo anterior, probablemente, con el objeto de compensar una más lenta difusión de los adsorbatos dentro de los poros de carbones activados producidos a partir de materias

primas más duras que “la madera”, la norma recomienda un menor tamaño de partícula del carbón para incrementar la cinética de adsorción debida a la difusión que ocurre fuera de los poros.

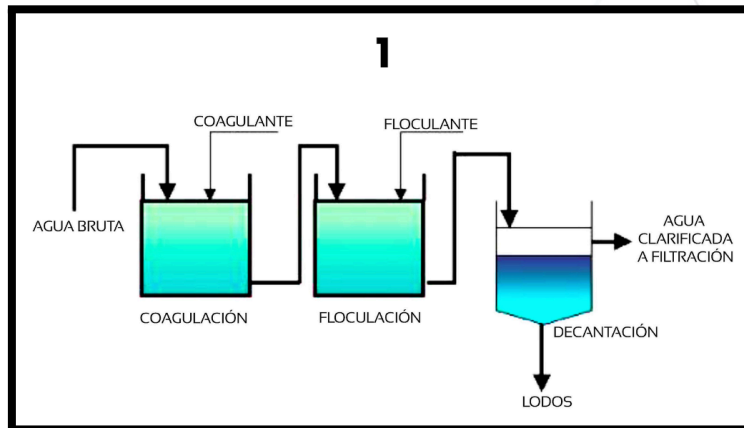
Las especificaciones de tamaño de partícula de CAP más laxas señalan que al menos el 90% debe pasar la malla 200 (0.074 mm); las más estrictas señalan que el 99% debe pasar la malla 100 (0.149 mm); 95% debe pasar la malla 200 y 90% la malla 325 (0.044 mm).

Cabe mencionar que un CAP compuesto por partículas que pasan la malla 200, tiene mucho parecido a uno compuesto por partículas que pasan la malla 325. Ambos son polvos parecidos a un talco negro.

¿Cuándo se aplica el carbón activado en polvo y no granular?



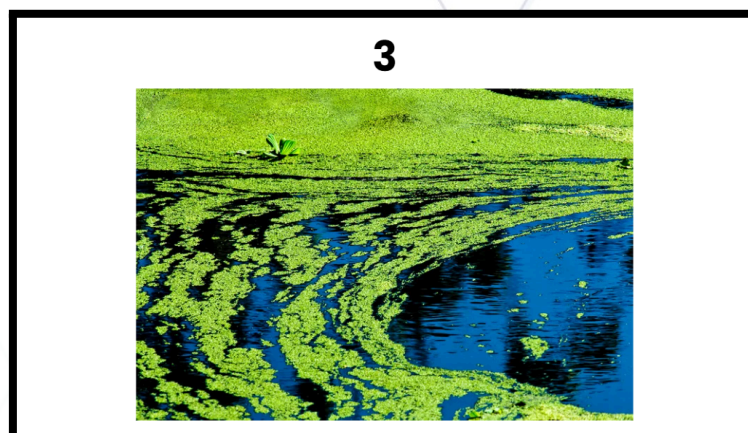
Antes de responder, hay que señalar que el CAP no se aplica en gases; solamente en líquidos. La razón es que su tamaño tan pequeño impide el flujo a través de una cama de carbón (la cama causaría una muy alta caída de presión). Entonces, se aplica solamente en líquidos en los que se dosifica el carbón y se mantiene en agitación durante un tiempo para que realice su función. Después de dicho tiempo, el carbón se separa del líquido por clarificación o mediante un filtro prensa o similar.



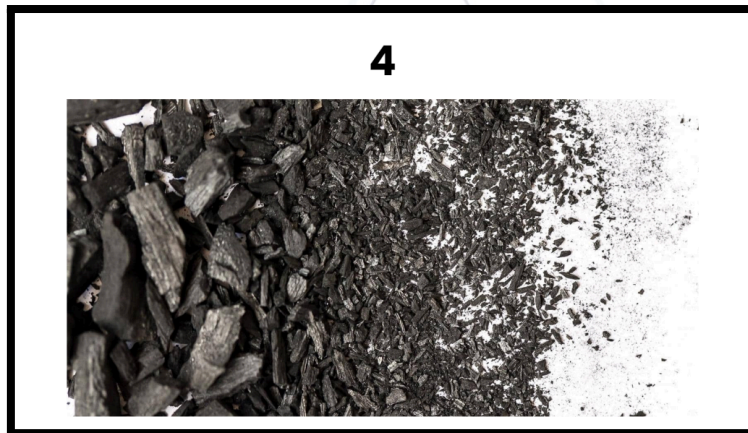
El primer caso es cuando el líquido en el que requiere aplicarse el carbón, ya pasa por un proceso de coagulación-floculación-clarificación. En este caso, la aplicación de CAP es conveniente ya que el proceso de clarificación separa con eficiencia el carbón del agua tratada con este. Es raro aplicar el proceso de clarificación cuando su único objetivo sería separar el carbón, ya que se trata de un proceso costoso.



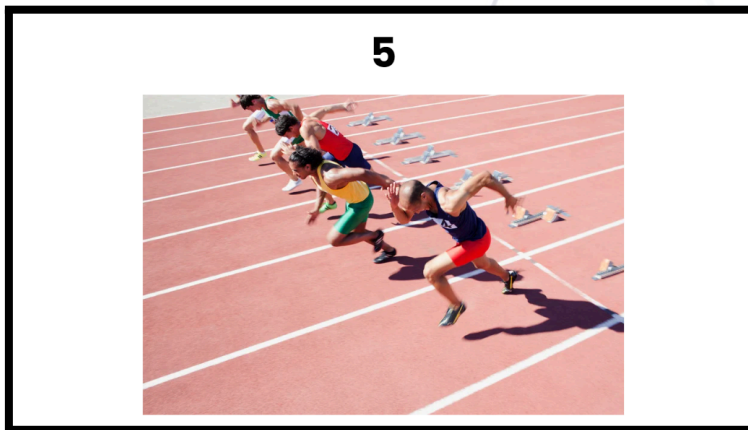
Otro caso: cuando cada lote de líquido a tratar requiere un tipo específico de carbón activado y una dosis precisa. Por ejemplo, en la producción de un vino blanco que debe tener un estándar de color.



Un tercer caso: cuando solamente se requiere aplicar carbón activado en ciertos lotes. Un ejemplo, es en potabilización de agua proveniente de una fuente superficial que presenta problemas de olor generados por algas estacionales.



Cuarto caso: cuando el carbón activado que se requiere no tiene suficiente resistencia mecánica y se colapsaría o se erosionaría si se aplicara como CAG.



Quinto caso: cuando la velocidad con la que adsorbe el carbón activado requerido es muy lenta si este se aplica en forma granular. En este caso, si pulverizamos el carbón y lo aplicamos como CAP, logramos una mucho mayor velocidad de adsorción.

¿Un CAP tiene mayor área superficial, y por lo tanto, mayor capacidad que un CAG?

Supongamos que tenemos una esfera perfecta de carbón activado con las siguientes características:

Área superficial de poros (BET) = 500 m²/g

Masa = 1 g

Densidad de partícula = 0.6 g/cm³

Volumen = 1.667 cm³

Área superficial exterior = 6.8 cm² = 0.00068 m²

Área superficial total (BET + exterior) = 500.00068 m²



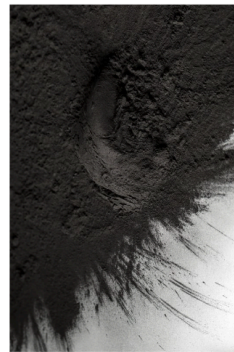
Para mostrar que el área que adquiere un carbón activado que se pulveriza (hasta un tamaño muy fino) es despreciable respecto al área superficial que tienen los poros del carbón, hemos propuesto el ejemplo que se muestra en la imagen y que parte de una esfera perfecta de carbón activado cuya masa es de 1 g. Supongamos que este carbón activado tiene un área superficial de poros de 500 m²/g. Se trata de un carbón activado que no es de muy alta activación. Supongamos también que la densidad de la esfera (incluyendo el volumen de sus poros) es de 0.6 g/cm³. Esta es una densidad de partícula muy común.

Pulverizamos a malla 325 y obtenemos muchas esferas con un diámetro de 0.044 mm:

37,367,246 pequeñas esferas

Área superficial exterior de cada esfera =
6.0821376 x 10⁻⁵ cm²

Área superficial exterior de todas las esferas =
2,272.7 cm² = 0.2273 m²



Pulverizamos la esfera de carbón y suponemos que todas las partículas que obtenemos tienen un diámetro de 0.044 mm que es el que corresponde a la abertura de una malla 200

(americana estándar). Obtenemos más de 37 millones de pequeñas esferas. Con álgebra calculamos el volumen y el área de cada una de ellas. La suma del área de todas las esferas es de 0.2273 m^2 .

Al pulverizar la esfera original, el área superficial exterior aumentó 334 veces (33,400 %)

Área superficial total (BET + exterior) del carbón pulverizado =
500.2273 m²

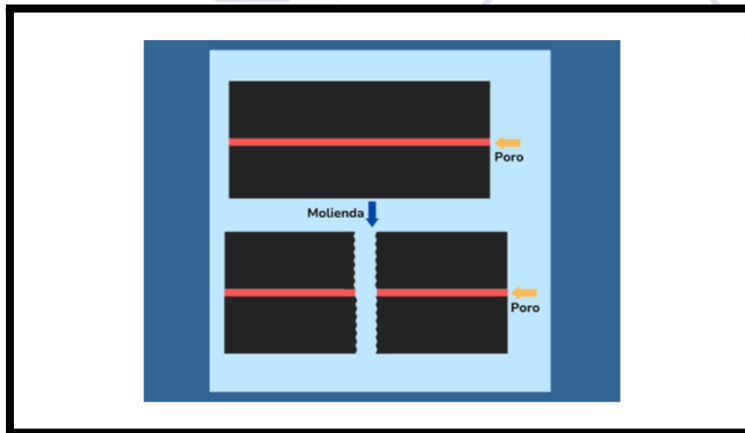
Aumento del área superficial total, debido a la pulverización = **0.045%**

Podemos observar que, al pulverizar la esfera de carbón activado, el área superficial de todas las pequeñas esferas obtenidas aumenta 334 veces respecto al área superficial de la esfera original. Aunque este aumento es muy grande, su aportación es insignificante respecto al área superficial de los poros que forman al carbón activado.

Conclusión:
**por más que pulvericemos un carbón
activado, prácticamente no aumentamos su
área superficial**

El ejemplo nos permite concluir que, por más que pulvericemos un carbón activado, no aumenta el área superficial de sus poros.


Considerando que no se incrementa la capacidad de adsorción de un CAG cuando se pulveriza, ¿tiene alguna ventaja hacerlo desde el punto de vista del fenómeno de adsorción?



En la parte superior de la imagen, esquematizamos un bloque de carbón activado con un poro que atraviesa de lado a lado el bloque. Cada molécula adsorbible que entra al poro, se difunde hasta el fondo del mismo, por un fenómeno parecido a la capilaridad. Esta difusión es el paso limitante (el paso más lento en todo el proceso de adsorción). Si partimos el bloque de carbón en dos, queda como lo muestra la parte inferior de la imagen. El área del poro sigue siendo la misma; no obstante, duplicamos el número de entradas y disminuimos a la mitad el trayecto que cada molécula sigue para ir llenando el poro. Como resultado, aunque no aumenta el área superficial de los poros, la cinética de adsorción aumenta, y mucho.

$$\frac{v}{V} = \frac{D^2}{d^2}$$

La ecuación anterior permite estimar el aumento de la cinética al disminuir el tamaño promedio de la partícula de carbón activado que se utiliza. Se puede observar que el aumento de la cinética es inversamente proporcional al cuadrado de la disminución del diámetro promedio de partícula del carbón activado.


$$\frac{v}{V} = \frac{(0.074)^2}{(0.044)^2} = 2.83$$

D = 0.074 mm (carbón en polvo, malla 200)
d = 0.044 mm (carbón en polvo, malla 325)

En la imagen anterior se muestra la diferencia entre la cinética de adsorción de un carbón de malla 200 (0.074 mm) y uno de malla 325 (0.044 mm): el carbón malla 325 adsorbe con una velocidad casi tres veces mayor.

Si se administra carbón activado en polvo a una persona intoxicada (lo que realizan los médicos toxicólogos y urgenciólogos por vía oral, en suspensión acuosa), la mayor velocidad de actuación de un carbón de menor tamaño es importante.

Máxima viscosidad a la que es aplicable el CA en líquidos



Cuando la viscosidad del líquido a tratar es muy alta, la difusión de adsorbatos dentro de los poros del carbón activado se vuelve muy lenta, y el proceso de adsorción llega a ser inútil. Esto aplica tanto a CAP como a CAG.

En el caso de líquidos, la viscosidad de la mayoría de ellos disminuye al aumentar la temperatura. Si la viscosidad disminuye suficiente con un aumento razonable de la temperatura, el líquido se calienta antes de someterse al tratamiento con carbón activado.

El carbón activado suele ser efectivo cuando se aplica a líquidos con viscosidades no muy superiores a 1 Cp.

Hay casos en los que, si se calienta el líquido, sufre alteraciones o genera moléculas indeseables. En estos casos, puede ocurrir que no pueda aplicarse el calentamiento y que, por lo tanto, el tratamiento con carbón activado, granular o polvo, no sea una buena alternativa.

Algunas ventajas que vale la pena subrayar del CAG

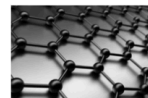
- El CAG puede reactivarse.
- Puede lavarse antes de ponerse en operación.

Algunas ventajas que vale la pena subrayar del CAP

- *Se aprovecha totalmente, ya que siempre alcanza su punto de saturación (para que el CAG alcance su punto de saturación requiere instalarse en dos o más columnas conectadas en serie, que permitan retirar el carbón de la primera columna cuando se encuentre totalmente saturado).
- *Permite dosificar la cantidad exacta de carbón requerido.
- *No requiere cambiar la cama de carbón, lo que consume tiempo si no se cuenta con un sistema hidráulico para colocar y retirar un CAG.

Elementos y compuestos presentes en un carbón activado comercial

1) C (que forma placas grafiticas)



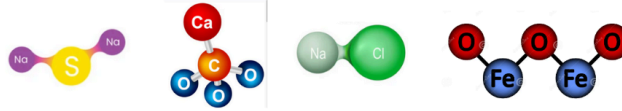
2) Humedad



Cuando vemos que el carbón activado, ya sea granular o en polvo, es negro, normalmente no pensamos que pueda contener compuestos distintos al carbón, más allá de la humedad que tiene el producto.

3) Cenizas (elementos y compuestos inorgánicos) (pueden modificar el pH de una solución acuosa)

- Los que estaban presentes en el vegetal originario del carbón.
- Restos del compuesto utilizado en caso de activación química (fosfatos, $ZnCl_2$, etc.)
- Los que estaban presentes en el agua, en caso de que esta se haya utilizado en el proceso de producción del carbón activado.



No obstante, los carbones activados contienen otros compuestos. Un grupo importante son los de carácter inorgánico. Estos provienen de los minerales contenidos en el vegetal del cual se produjo el carbón activado. También pueden provenir del compuesto utilizado en caso de que el carbón se haya activado químicamente. Un compuesto muy utilizado es el ácido fosfórico. Otro es cloruro de zinc. Y se utilizan también algunos otros. Al final del proceso de activación química se lava el carbón (antes de pulverizarlo) para reducir al máximo el compuesto utilizado que quedó como residuo. No obstante, el lavado nunca es perfecto.

También hay que considerar que el compuesto utilizado para activar químicamente puede tener distintos grados de pureza, y que una parte de los contaminantes de dicho compuesto quedan en el carbón activado producido. Cuando un carbón que se activa químicamente se va a aplicar en un proceso en el que se requiere alta pureza, se busca que el reactivo sea de alto nivel de pureza.

Las cenizas se pueden dividir en:

- 3.1) Insolubles en agua y en ácidos fuertes (SiO_2).
- 3.2) Solubles en ácidos fuertes, pero no en agua ($CaCO_3$).
- 3.3) Solubles en agua (bicarbonatos, cloruros, sulfatos, nitratos... de distintos metales).

Entre los compuestos inorgánicos presentes en un carbón activado, algunos son insolubles (en agua e incluso en ácidos fuertes). Otros solamente son solubles en ácidos fuertes, pero no en agua. Y otros son solubles también en agua. Los compuestos solubles en el líquido a tratar con el carbón activado se disolverán y aumentarán los sólidos disueltos totales o modificarán el pH. En el caso de que un carbón activado se vaya a aplicar en polvo, es muy

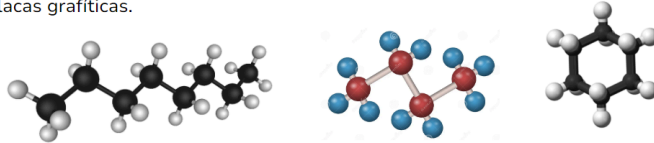
importante considerar los compuestos presentes en el carbón que se van a disolver en el líquido a tratar. Debemos buscar el CAP adecuado, que no afecte negativamente al líquido.

4) Compuestos orgánicos

- Restos de celulosa o lignina del vegetal originario del carbón activado (sobre todo, en caso de activación química, que se realiza a baja temperatura).

- Compuestos orgánicos adsorbidos.

- Óxidos que forman grupos funcionales ligados a los bordes de las placas gráficas.



Un carbón activado virgen también puede contener compuestos orgánicos. Algunos provienen del vegetal que se utiliza como materia prima para producir carbones que se activan químicamente y en los que no se logra la carbonización completa. También se forman grupos orgánicos en los bordes de las placas gráficas, por reacciones de oxidación entre ellas y los agentes oxidantes presentes en el horno de activación (se forman grupos carbonilo, carboxilo, lactona...).

Cuando el carbón activado se va a aplicar en forma granular, aquellos de estos compuestos que son solubles en el líquido que se va a tratar (y que muchas veces es agua o una solución acuosa), pasan al líquido en las primeras horas de operación del CAG. Cuando estos compuestos afectan al producto, esta agua o solución acuosa se descarta.

Cuando el carbón activado se va a aplicar en forma de polvo que se agrega a un lote de líquido, todos los compuestos solubles en el líquido pasan al mismo y lo pueden afectar. Por lo tanto, para el caso de CAP, es importante que este no contenga compuestos que vayan a afectar al producto que se tratará con el carbón.

Cuando un carbón se activa químicamente, puede utilizarse un reactivo con distintos grados de pureza. Algunas aplicaciones requerirán del uso de compuestos químicos activantes más puros.

Por otro lado, al terminar el proceso de activación química de un carbón, antes de que este se pulverice, es necesario disminuir la presencia del químico activante o de otros subproductos de la activación. Esto se realiza mediante lavados del carbón. Mientras mayor es la pureza requerida en el carbón obtenida, mayor será la eficiencia de los lavados que hay que llevar a cabo.

Cuando los compuestos inorgánicos residuales presentes en el CAP obtenido se disuelven en líquido a tratar, y este es agua o una solución acuosa, pueden modificar su pH. En este caso, si no se disminuye lo suficiente la presencia de los mismos, es necesario someter el carbón a un proceso de modificación de pH cuando se encuentra en suspensión acuosa.

También es posible mezclar el CAP con un reactivo sólido pulverizado a la misma malla que el CAP, que en conjunto con el CAP ocasione en el líquido a tratar el valor de pH deseado (por ejemplo, mezclar CAP obtenido mediante activación con ácido fosfórico mediante la mezcla del mismo con cal).

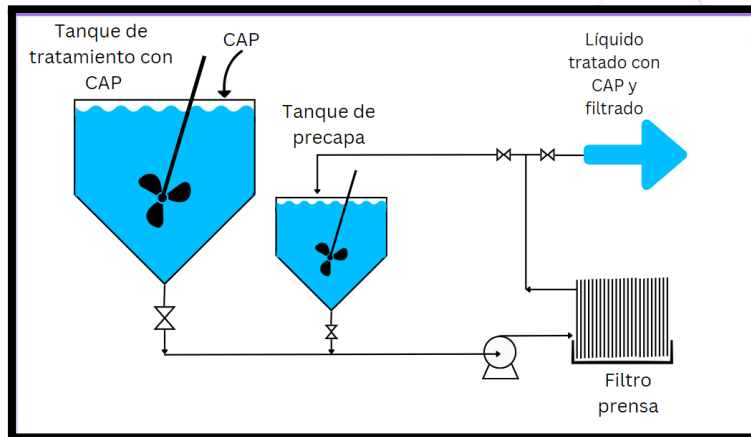


En algunas de sus aplicaciones, además del reto que tiene el carbón activado en cuanto a su capacidad de adsorber determinados compuestos, debe cumplir con ciertos estándares de pureza. Una de esas aplicaciones es la farmacéutica, en la que el carbón activado se utiliza como antídoto contra intoxicaciones, y debe cumplir con los parámetros que establece la farmacopea del país correspondiente.

Parámetros de valoración de calidad de carbón activado	
CAG y CAP	CAG
Área superficial (BET)	Actividad al tetracloruro de carbono
Distribución de tamaño de poro	Actividad al butano
Diámetro promedio de poro	Densidad de partícula
Volumen total de poros	Dureza
Número de yodo	Resistencia a la abrasión
Actividad al azul de metileno	
Distribución de tamaño de partícula	
Densidad aparente	
Humedad	
Contenido de volátiles	
Contenido de cenizas	
Solubles en agua	
Solubles en ácido	
Solubles en etanol	
pH del extracto acuoso	
Actividad relativa de melazas	

La tabla muestra que ningún parámetro de valoración de la calidad de un CA aplica únicamente al CAP. En cambio, algunos de ellos aplican exclusivamente a CAG. Esto corresponde al hecho de que todo CAP puede sustituirse con CAG. Hacemos esta mención ya que permea la idea de que todos los carbones decolorantes deben ser pulverizados.

Actualmente se producen “carbones aglomerados” a partir de CAP que, en combinación con un agente ligante, forman un CAG. Los carbones aglomerados son interesantes porque pueden producirse mediante la combinación de distintos tipos de carbón activado que den como resultado un CAG con la combinación de poros de tamaño más adecuado.



Este diagrama muestra la forma típica de aplicar CAP. El líquido se encuentra en un tanque que cuenta con un sistema de agitación. Cuando se logra un mezclado perfecto entre el CAP y la viscosidad del líquido es cercana a 1 Cp (Centipoise), el CAP termina su función en alrededor de 15 min. En líquidos con viscosidad alta (mayor a 1.5 Cp), si no se ven afectados por el calentamiento, vale la pena aumentar su temperatura para disminuir la viscosidad. Cuando el líquido tiene una alta viscosidad y no puede calentarse, el CAP puede no ser efectivo. En dichos casos, hay que buscar una alternativa de tratamiento.

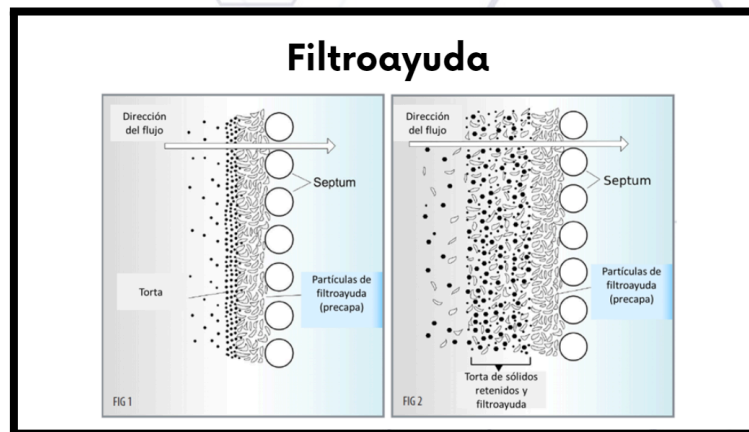
Independientemente de la viscosidad, en equipos industriales, la agitación se realiza por tiempos de entre 20 min y una hora, para compensar la falta de eficiencia del proceso de agitación.

Normalmente, la separación CAP-líquido se realiza en un filtro prensa. Casi siempre resulta conveniente aplicar un filtro ayuda, ya sea como precapa, o combinando precapa y filtro ayuda adicional, mezclado con el líquido que se va a filtrar.

Debe evitarse la agitación rápida, esto puede hacer que la impureza se oxide y cambie su respuesta a la filtración, haciéndola más difícil.

Durante la filtración, se recomienda continuar con la agitación para mantener una suspensión uniforme.

El aire comprimido o las líneas de vapor conectadas a la entrada del tanque provocan un soplido en la torta filtrante, lo que provoca la salida del líquido retenido en la torta y el filtro.



Un filtroayuda es un agente que aumenta la eficiencia y la facilidad de la filtración, lo que es importante cuando los sólidos que requieren retenerse son muy pequeños (tan pequeños, que traspasan el *septum*, que es la malla o membrana filtrante).

Generalmente, el filtroayuda es tierra de diatomea, perlita o celulosa. Estos materiales se caracterizan por ser partículas sólidas, irregulares y porosas que se entrelazan entre sí, forman intersticios y aportan permeabilidad.

En casi todos los casos, el filtroayuda se aplica para formar una precapa directamente sobre el *septum*, antes de iniciar la filtración del líquido que desea tratarse (Figura 1).

Cuando la cantidad de sólidos que desean retenerse es relativamente alta, también se dosifica filtroayuda en la suspensión a filtrar para que los sólidos retenidos formen una torta más porosa, menos compresible y, por lo tanto, más permeable (Figura 2).

Aplicación del CAP en dos o más pasos a contracorriente o en multidosis: una estrategia para disminuir sustancialmente su consumo

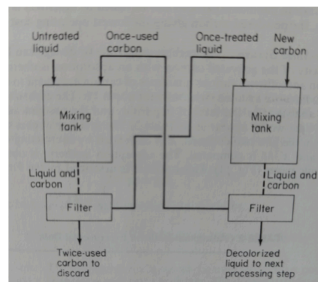


FIG. 9 Two-stage countercurrent carbon treatment. (By permission, ICI United States, Inc.)

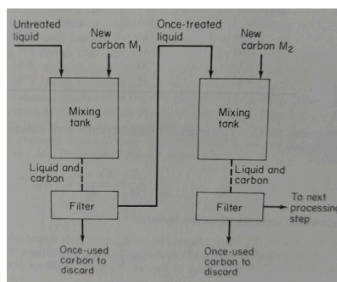


FIG. 10 Two-step divided carbon treatment. (By permission, ICI United States, Inc.)

Una forma de disminuir sustancialmente el consumo de CAP es alimentándolo en dos o más pasos a contracorriente o en multidosis. Esto vale la pena cuando la cantidad de CAP que se utiliza es relativamente alta. Si se interesa en abordar este análisis, lo podemos apoyar en Carbotecnia.

Gracias por su atención

Tel. + 52 33 3834-0906
ventas@carbotecnia.com.mx

Carbotecnia
PURIFICACIÓN AVANZADA