

TRATAMIENTO CON CARBÓN ACTIVADO

9.0 CARBÓN ACTIVADO:

El carbón activado es un material que, como su nombre lo indica, es materia carbonizada la cual puede ser de origen vegetal o mineral. Se le llama activado debido a que toda la materia carbonizada tiene propiedades adsorbentes, pero el estado de activación que se da a este tipo especial de carbón le confiere propiedades especiales que lo hacen tener una gran capacidad para adsorber ciertas sustancias.

La adsorción es diferente a la absorción ya que absorción implica el paso de una sustancia, inicialmente en suspensión, a la parte interna del material absorbente. Por ejemplo: el agua en una esponja. Adsorción es diferente en el sentido de que el material removido se adhiere físicamente o químicamente a la superficie del material adsorbente, sin penetrar en su estructura física.

La adsorción se cree que implica fuerzas de atracción del tipo dipolo/dipolo, fuerzas de London o fuerzas de Van Der Waals, entre las moléculas de la sustancia adsorbida y de la superficie del material que adsorbe éstas.

La alta efectividad en remoción o adsorción de compuestos, se debe a que el carbón activado tiene una gran área o superficie disponible para que puedan interactuar las moléculas de la sustancia que se adsorbe. Esta gran superficie se adquiere cuando el material carbonáceo se somete a altas temperaturas y se inyecta súbitamente vapor de agua, nitrógeno, bióxido de carbono, argón o algún otro gas inerte. Este repentino cambio en la estructura interna del material provoca un gran número de huecos de tamaño microscópico, cuya superficie es receptiva a la retención de moléculas con una cierta estructura o estereoquímica.

CLASIFICACIÓN DE LOS DIFERENTES TIPOS DE CARBÓN ACTIVADO: Un carbón activado tiene una superficie activa de 1,000 a 1,200 mts²/gr, lo cual significa que un gramo de carbón activado tiene una superficie activa similar al área de un campo de fútbol soccer.

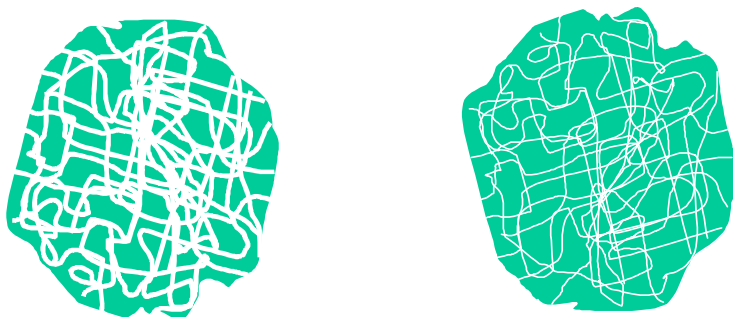


Figura 1: Macroporos y mesoporos en los gránulos de carbón activado.

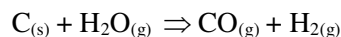
También, si el carbón tiene gran afinidad por la adsorción específica de un compuesto, la cantidad que puede remover de éste, es de hasta 60 gramos de contaminante por cada 100 gramos de carbón activado y por estas cualidades se ha dicho que el uso del carbón es la mejor tecnología disponible en este momento para la remoción de contaminantes del aire y del agua.

Existen en el mercado una amplia variedad de tipos de carbón activado, para usos específicos. Las aplicaciones de los diferentes tipos de carbón pueden ser para aspectos tales como:

- ⇒ Remoción de color, olores y sabores indeseables en líquidos y bebidas como: refrescos, cerveza, vinos, jugos, vinagre, etc.
- ⇒ En la clarificación de jarabes y azúcar refinada
- ⇒ En mejorar las propiedades de diferentes líquidos en la industria de alimentos.
- ⇒ En la remoción de contaminantes en aguas potables y residuales tratadas y no tratadas.
- ⇒ En la remoción de contaminantes en emisiones gaseosas.
- ⇒ En la filtración y acondicionamiento de aire en lugares públicos y cerrados.

La versatilidad de este tipo de adsorbente, que hace mas adaptable un tipo de carbón que otro para un proceso determinado, se debe a sus propiedades internas y la mas importante de ellas es el tamaño o diámetro de los capilares del carbón activado.

El proceso de activación, como ya se ha mencionado, consiste en una reacción térmica en donde la estructura se altera y se forman huecos microscópicos. Por ejemplo: cuando se trata el carbón a 800° C con vapor de agua se efectúa la siguiente reacción:



El carbón que reacciona con el vapor de agua, escapa en forma de hidrógeno y monóxido de carbono dejando una gran porosidad en la estructura del material. La forma, tamaño y naturaleza de la porosidad formada depende de factores como: el pretratamiento químico que se haya dado al material, el origen del material a partir del cual se elabora el carbón activado, temperatura de activación, etc.

También al carbón puede ser producido a partir de un proceso de activación química. En este tipo de activación, el material a carbonizar (por ejemplo: cáscara de nuez o de coco o aserrín de madera) es saturado en una solución de ácido fosfórico y después es carbonizado a 500° C.

El tipo de carbón resultante, dependiendo si es una activación con vapor o con ácido fosfórico, tiene propiedades absorbentes específicas ya que los poros formados y la estructura del carbón producido es diferente y tiene diferentes aplicaciones.

De acuerdo al tamaño de poro, el carbón puede ser catalogado de acuerdo al tamaño de los poros en su estructura. Estos poros se clasifican de acuerdo a su tamaño en:

Microporos: son aquellos que tienen un tamaño promedio menor a 2 nanómetros

1 nanometro=1 nm=10⁻⁹ mts=10⁻⁷ cm

Mesoporos: Los que tienen un diámetro de 2-50 nm

Macroporos: Los que tienen un diámetro mayor a 50 nm

Los macroporos se encuentran inicialmente en el material antes de su activación. Los microporos y mesoporos son formados en el proceso de activación y son los que le dan propiedades adsorptivas al carbón (figura 1).

9.1 CARACTERIZACIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO:

El carbón activado se evalúa por su área o superficie activa de adsorción. Para esto se determina la cantidad de nitrógeno o de butano que es adsorbido por un carbón que se evalúa. Cuanto mayor sea la cantidad de gas adsorbido mayor es su superficie y por lo tanto mayor es su capacidad de retención de moléculas de gas.

Para la adsorción en fase líquida se emplea el índice de yodo, donde se evalúa la cantidad de yodo que adsorbe un carbón determinado y se compara su valor con los parámetros o valores estándar.

Si el carbón va a ser empleado en la adsorción de gases se caracteriza el material por su adsorción de gas butano o nitrógeno. Si va a ser empleado para la adsorción de compuestos en fase líquida, como es el caso del tratamiento de aguas, el parámetro mas importante a determinar es el índice de yodo.

Si se conoce que existe uno o más componentes indeseables en suspensión acuosa, es mas representativo determinar la capacidad adsorptiva de ese o esos compuestos en particular, para así seleccionar el mejor tipo de carbón para el tratamiento de remoción de contaminantes. Esto es conveniente de realizar ya que un solo proveedor puede recomendar cinco o más tipos de carbón activado, para un agua en particular, por lo que se requieren pruebas de laboratorio o mejor aún, pruebas piloto para evaluar y hacer la mejor elección.

En términos generales, los carbones microporosos son mas adecuados para la remoción de moléculas pequeñas, por ejemplo los trihalometanos, los cuales consisten de estructuras simples como: CHCl₃, CHClBr₂, CHClBr₂. También en la emisión de compuestos de gases de escape de combustión se emplean estos carbones microporosos. Si se desea remover el humus que da coloración a las aguas naturales, deberá emplearse un carbón que tenga en mayor proporción mesoporos y macroporos, ya que los compuestos químicos que forman parte del humus, son moléculas muy grandes, de estructura muy compleja y de alto peso molecular.

Para remover compuestos metálicos, los cuales se encuentran en forma de complejos de coordinación disueltos en una suspensión acuosa se emplean carbones cuya característica mas importante ya no es el diámetro de los poros sino las propiedades químicas de la superficie activa, ya que el mecanismo de retención es a través de formación de enlaces químicos entre el carbón y el complejo metálico que de esta manera es adsorbido. Un ejemplo de esto es la retención y adsorción del complejo de cianuro de oro. El carbón activado químicamente con ácido fosfórico no adsorbe efectivamente este complejo, pero el carbón activado térmicamente con vapor tiene una alta capacidad de retención del mencionado complejo de oro.

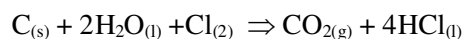
En términos generales se aplica la siguiente regla para la adsorción en fase líquida: los compuestos orgánicos de alto peso molecular de estructura compleja y de baja solubilidad en el solvente en que se encuentran, son mas fácilmente adsorbidos en el carbón, que los compuestos de bajo peso molecular, estructura sencilla y alta solubilidad en el solvente. Por ejemplo: el benzopireno que no es muy soluble en agua es de estructura compleja y de alto peso molecular, se adsorbe mas selectivamente que el metanol, el cual es de bajo peso molecular de estructura simple y de solubilidad infinita en el agua.

El pH de la solución también es un factor de gran importancia, ya que dependiendo del pH la especie puede estar en forma molecular o ionizada, y la afinidad por la superficie del carbón es diferente para las dos especies químicas.

Estos ejemplos hacen evidente que es indispensable la caracterización de diferentes tipos de carbón para el tratamiento de un agua o un fluido en especial.

9.2 CLORACIÓN Y TRATAMIENTO CON CARBÓN ACTIVADO:

Uno de los usos mas extendidos del carbón activado, es para la remoción del cloro residual en las aguas potables. La posible reacción entre el carbón y el cloro es:



Además de remover el cloro residual que el agua pueda contener, el carbón también adsorbe otras impurezas del agua y le comunica mejores propiedades organolépticas al agua, por lo que su uso es muy difundido.

La razón de remover el cloro, es que este desinfectante es necesario que se encuentre presente en cantidades de 0.5 a 1.5 ppm para evitar que se desarrollen microorganismos en el agua que se empleará posteriormente. Cuando el agua se va a consumir o a emplear en una siguiente etapa, una vez cumplida su función, el cloro debe removerse, pues este desinfectante le comunica sabor al agua que puede ser desagradable para algunos consumidores, o puede interferir en el uso que posteriormente se da a al agua.

Por ejemplo: es indispensable que el agua tenga cloro residual en el rango apropiado cuando sale de una potabilizadora que surte agua a la ciudad. El cloro residual no permite que se desarrollen bacterias o microorganismos que pueden estar presentes en las tuberías que conducen el agua desde la planta hasta los diferentes lugares de consumo, y de esta manera el agua de que dispone el consumidor es completamente segura. Si se va a consumir el agua para beber, el cloro ya no tiene ninguna función, por lo que es deseable remover el cloro residual, lo cual se puede hacer pasando antes el agua por un filtro de carbón.

De manera similar, por ejemplo en la industria de elaboración de bebidas (refrescos, cerveza, vinos, jugos, lácteos, agua purificada, etc.), la remoción del cloro residual no solo es conveniente sino indispensable, ya que el carbón activado no solo remueve sabores y compuestos indeseables, sino que el cloro químicamente es muy activo y puede reaccionar con aditivos del producto, deteriorando la calidad de éstos, o arruinándolos por completo.

9.3 EL TRATAMIENTO CON CARBÓN ACTIVADO EN LA PRÁCTICA:

Existen dos clasificaciones de carbón activado según su origen: carbón vegetal y carbón mineral. Generalmente, pero no siempre, el carbón mineral es el mas adecuado para tratamiento de aguas.

Por su presentación, el carbón puede ser en polvo o granular. Cada presentación tiene sus ventajas e inconvenientes. Si se emplea carbón en polvo éste se mezcla directamente con el líquido a tratar y después se separa del fluido por sedimentación y/o filtración.

El carbón granular consiste de partículas de tamaño de entre 1-3 mm y éste se coloca dentro del cuerpo de un tanque de manera similar a como se coloca la resina o la arena en un tanque, donde es retenido

mientras el agua pasa a través del lecho de carbón activado. El agua se distribuye uniformemente y se retrolava periódicamente para evitar canalizaciones y remover impurezas sólidas que puedan depositarse en la superficie de las partículas de carbón.

Entre el carbón activado en polvo y el granular, éste último es el mas ampliamente empleado ya que es mas fácil manejarlo para regenerarse una vez agotado, o para desecharse y cambiarse por carbón activado virgen.

Para determinar cuando el carbón activado debe desecharse o regenerarse, se debe monitorear día a día o con la frecuencia necesaria, analizando el valor residual del o los componentes que se desea remover. Si el agua se encuentra cerca del valor máximo permitido deberá procederse al cambio.

9.4 MEDICIÓN DE LA CAPACIDAD ADSORTIVA DEL CARBÓN ACTIVADO:

Se sigue una cierta metodología de pruebas de laboratorio para evaluar los diferentes tipos de carbón activado para una aplicación específica. Un solo fabricante de carbón, puede producir hasta 150 diferentes tipos de carbón activado.

Si al fabricante se le pide información técnica de las características y usos de cada carbón, para la remoción de ciertos compuestos o para un tratamiento determinado, seguramente recomendará cinco o más diferentes tipos de carbón de todos los que tiene disponibles. Estos deberán ser evaluados en pruebas de laboratorio para seleccionar uno solo de los que hayan sido caracterizados como posibles adsorbentes.

Si el adsorbente va a ser empleado para la adsorción de contaminantes o sustancias indeseables disueltas en una fase líquida se recomienda la siguiente metodología

- 1: Se toman muestras lo mas representativo que sea posible, del líquido a tratar
- 2: Se agregan cantidades variables de carbón activado en una proporción que cubra un rango de 0.10 a un 5.0 de porcentaje en peso de carbón con relación al líquido.
- 3: Se determina cual es la dosis adecuada de carbón, para alcanzar un valor residual del o los compuestos a remover.

Para efectuar éstas pruebas, si el carbón no está en polvo, se pulveriza antes de mezclarse con el licor a tratar.

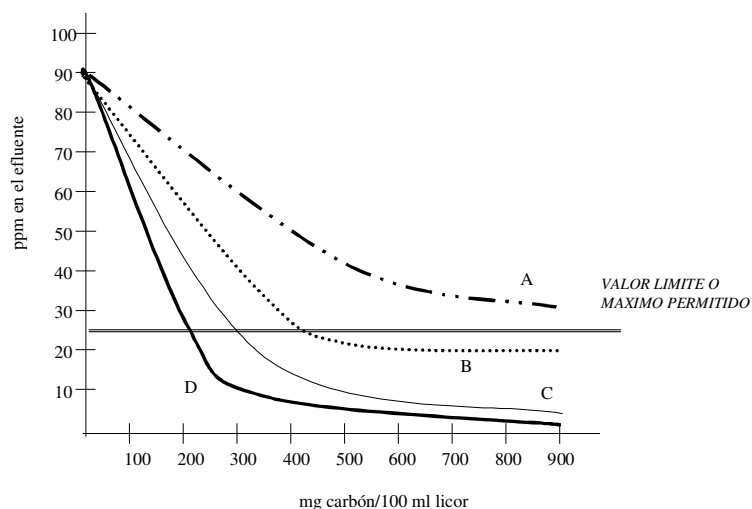


Figura 2: Resultados experimentales de la evaluación de los carbones activados A, B, C y D.

Se agrega la cantidad de carbón establecida, por ejemplo: 0.2 grs de carbón en 200 ml. del líquido a tratar (0.1% en peso de carbón). En otro recipiente se colocan 0.5 grs. de carbón con 200 ml. de líquido (0.25% en peso de carbón) y así sucesivamente.

El líquido y el carbón se ponen en agitación para un mayor contacto entre las dos fases, durante una hora.

Al término de la prueba se filtra la solución para separar el líquido del carbón, y en el fluido se cuantifica el o los compuestos a remover para determinar el grado de remoción a las diferentes dosis de carbón. La

cuantificación de las sustancias que se desea remover puede ser por: cromatografía de gases, cromatografía de líquidos, o por métodos espectroscópicos.

Esta serie de pruebas con dosis variables de carbón, se realizan para cada uno de los diferentes carbones que sean factibles de usar

Con estas pruebas se determina cualitativamente cual es el tipo de carbón mas adecuado para el proceso de remoción deseado, y también es posible determinar semicuantitativamente la dosis de carbón para el mismo propósito.

La figura 2 muestra cuatro diferentes carbones evaluados y sus resultados. En estos se puede observar que los carbones B, C y D remueven el compuesto indeseable a valores menores de lo máximo permitido, pero el carbón D lo hace mas eficientemente que el B y C, ya que requiere de menor cantidad de carbón para dejar un residual igual o menor al máximo permitido.

No se puede decir en esta sola prueba que el carbón D sería la mejor elección, ya que otro factor importante es el precio. Si por ejemplo: un kilogramo del carbón D costara el doble del carbón C, pudiera ser mejor elección el carbón C, ya que el D requiere de 200 mg/100 ml para alcanzar el valor máximo permitido, y el C requiere de aproximadamente 300 mg/100 ml para alcanzar el mismo valor, por lo que concluimos que el carbón D tiene 1.5 veces la capacidad adsortiva del carbón C pero su precio es 2 veces el del carbón C, y pudiera ser mejor elección el carbón C que el carbón D al evaluar conjuntamente capacidad y precio.

4: Una vez que se ha seleccionado el carbón mas adecuado y se ha determinado la dosis óptima de éste, se debe determinar el tiempo de contacto requerido para alcanzar el equilibrio. En algunos casos las moléculas a adsorber se fijan rápidamente en la superficie del carbón; en otras ocasiones el mecanismo de adsorción implica procesos de difusión y de transferencia de masa que requieren de un cierto tiempo. Para saber cuanto tiempo de contacto es requerido, se agrega el carbón activado seleccionado en la dosis mas conveniente y se pone en agitación la mezcla a diferentes tiempos. El tiempo necesario de contacto se establece a partir de la gráfica obtenida, como se ejemplifica en la figura 3.

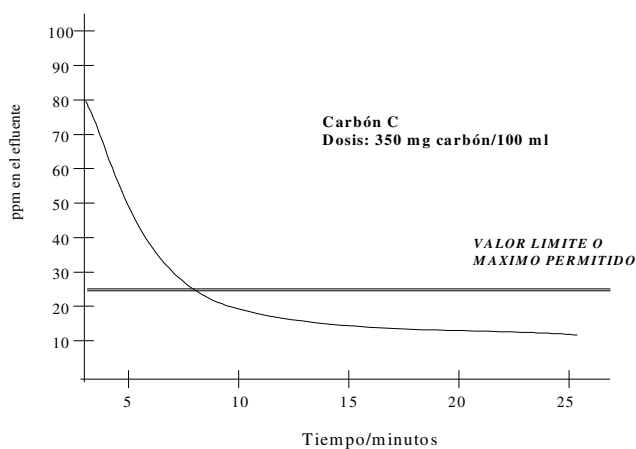


Figura 3: Tiempo requerido para alcanzar el equilibrio en la reacción de adsorción.

9.5 FLUJO POR ÁREA Y TIEMPO DE CONTACTO:

En las pruebas de laboratorio o pruebas piloto es posible determinar el tiempo de contacto necesario para remover un contaminante específico, o la cantidad de carbón que se requiere por cada metro cúbico de agua tratada. Se hace una estimación y se obtiene información muy valiosa con este tipo de pruebas, pero la práctica y la experiencia es lo que finalmente marca los parámetros de operación.

En un tratamiento estándar o convencional, y en ausencia de datos experimentales en la remoción de un contaminante específico, los parámetros de diseño son:

⇒Tiempo de Contacto: 5-15 minutos. Cinco minutos mínimo.

⇒ Relación G/A (Gasto/Área)=100 lts/min-mt²

En la vida real, el control que se tiene en el proceso de adsorción consiste en monitorear el efluente con la frecuencia que se estime conveniente y determinar la concentración de los contaminantes a remover. Si el valor de éstos está por debajo de los límites máximos permitidos, la operación es correcta. En el momento en que los valores del contaminante en el efluente aumentan y se acercan al valor máximo tolerable, es necesario cambiar el carbón activado, ya que éste se ha saturado.

El carbón agotado es considerado residuo peligroso, por lo que su disposición deberá hacerse conforme al reglamento en materia ambiental o también este carbón puede reactivarse térmicamente y emplearse nuevamente.

Para evitar fugas del compuesto o compuestos a remover, así como para aprovechar al máximo la capacidad de adsorción del carbón, es muy conveniente tener un sistema doble en el cual el efluente pasa a la primera unidad y después a la segunda. La primera unidad es la que adsorbe la mayor cantidad de sustancia y la unidad dos solo remueve el residual, por lo que la primera unidad se agota mas rápidamente. Cuando esto ha ocurrido la segunda unidad es la que recibe ahora el efluente directamente y el nuevo carbón o carbón virgen se agrega a la unidad que estaba agotada y que ahora es la que va a ser pulidora del efluente.

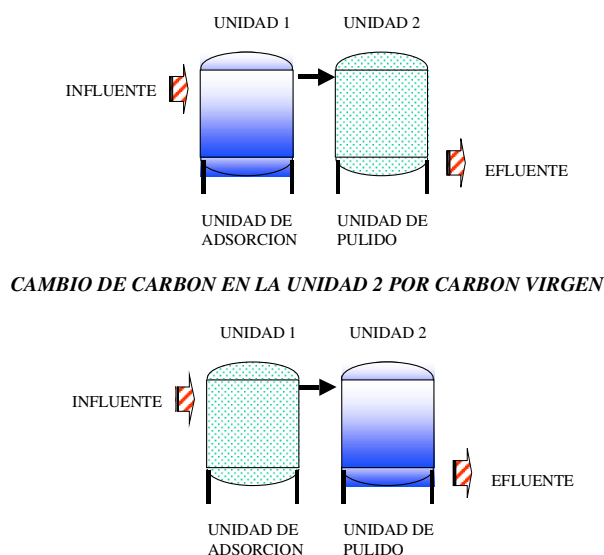


Figura 4: Secuencia de tratamiento del agua con carbón activado para obtener el máximo aprovechamiento de la capacidad adsorptiva del medio adsorbente.

En este arreglo se tiene seguro que no hay fugas ya que la segunda unidad siempre está lejos del punto de saturación, y el carbón se aprovecha a su máximo de capacidad ya que la primera unidad siempre recibe la carga máxima de contaminante (Figura 4).