

CURSO INTENSIVO

LAS BASES DEL CARBÓN ACTIVADO

2025

+52-33-3834-0906

www.carbotecnia.info

ventas@carbotecnia.com.mx



Tabla de Contenido

01

Introducción al Carbón.

- Usos comunes del carbón.
- Historia del uso del carbón.
- Diferencia entre adsorción y absorción.

02

Invención y Desarrollo del Carbón Activado.

- Primeras plantas industriales de carbón activado.
- Uso del carbón activado en la Primera Guerra Mundial.
- Expansión de la industria del carbón activado.

03

El Átomo de Carbono y sus Propiedades.

- Características del átomo de carbono (catenación, tipos de enlaces).
- Formación de sólidos carbonosos (grafito, diamante, fullerenos, nanotubos)

04

Adsorción y Fuerzas Intermoleculares.

- Fuerzas de dispersión de London.
- Adsorbentes y adsorbatos.
- Características y consecuencias de las fuerzas de dispersión de London.

Tabla de Contenido

05

Activación del Carbón

- Métodos de activación: física (térmica) y química.
- Área superficial y su importancia.
- Aplicaciones del carbón activado en el tratamiento de aguas residuales.

06

Materias Primas para la Producción de Carbón Activado

- Tipos de materiales lignocelulósicos (vegetales y minerales).
- Clasificación de poros por la IUPAC (micro, meso y macroporos).
- Adsorción preferencial y tamaño de las moléculas.

07

Formas y Tamaños del Carbón Activado

- Presentaciones comerciales (gránulos, polvo, pélets, fibras, telas, rejillas, esferas).
- El mesh y la especificación de tamices (ASTM E11-15).
- Cinética de adsorción y tamaño de partícula.

08

Aplicación del Carbón Activado en Líquidos

- Proceso típico de aplicación (tanque de agitación).
- Consideraciones sobre la viscosidad del líquido y la agitación.
- Separación del carbón activado del líquido (filtro prensa).

01

INTRODUCCIÓN AL CARBÓN ACTIVADO

Escrito por:
Germán Grosso



Carbón

(en general)

Empezaremos hablando de carbón en general y no específicamente de carbón activado.

C^arbotecnia

www.carbotecnia.info

Tel. 33 38340 0906

ventas@carbotecnia.com.mx



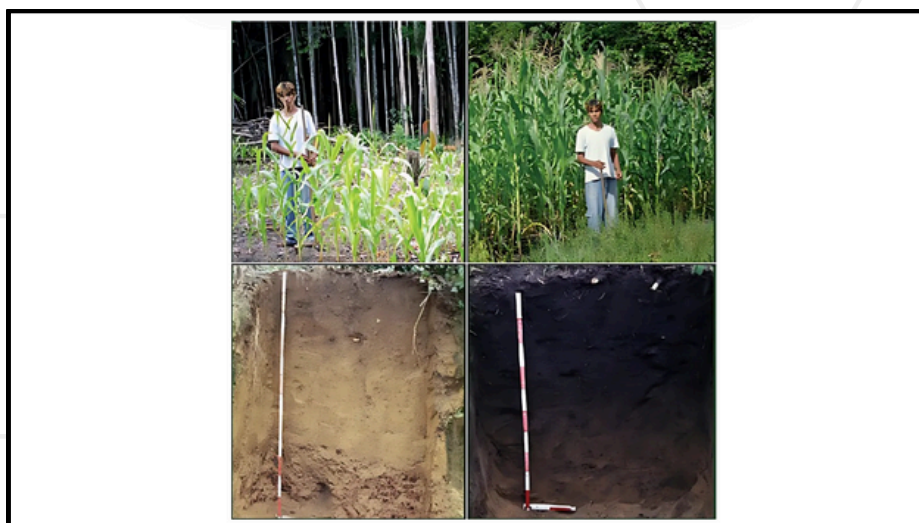
Es de conocimiento general que el carbón, simple carbón, como el que se utiliza para hacer carnes asadas, desodoriza el interior de un refrigerador.



También sabemos que en el campo mexicano es común la costumbre de curar males gastrointestinales ingiriendo tortilla carbonizada.

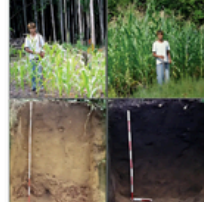


Si se carboniza el interior de una barrica de madera, disminuyen los aromas que le imparte al agua que se coloca en su interior. Así almacenaron el agua potable los navegantes de los mares hasta los viajes transoceánicos del siglo 18. Y así se atenúan los extractos que aporta la madera de la barrica a las bebidas alcohólicas o destiladas que se almacenan en ella.



En el Amazonas, desde hace más de 2000 años, se ha utilizado una técnica para hacer lo que denominan *terra preta*. Esta tierra es tres veces más fértil. La obtienen mezclando tierra y carbón que ellos mismos producen a partir de la quema controlada de vegetación.

¿Por qué el **carbón (simple carbón vegetal)** desodoriza el aire, purifica el agua y las bebidas, cura y mejora los cultivos?



De lo anterior, al menos podemos decir que el carbón es un purificante de fluidos (agua, aire y otros), un medicamento natural y un sustrato que mejora la producción de los cultivos.

The Quest of Pure Water (Baker, 1949): 2000 a.C. se purificaba agua con carbón.
Papiro egipcio (Tebas, Grecia, de 1550 a.C.): se curaban enfermedades con carbón.



De acuerdo con el libro "*The Quest for Pure Water*" (Baker, 1949), la purificación de agua ya se utilizaba en el año 2000 a.C. El documento más antiguo que hace referencia al uso de carbón vegetal para curar males intestinales y eliminar malos olores de heridas putrefactas es un papiro egipcio de alrededor del 1550 a.C. que se encontró en Tebas, Grecia.

02

INVENCION Y DESARROLLO DEL CARBÓN ACTIVADO.

Escrito por:
Germán Grosso



Homo sapiens, cazador y recolector hasta hace 12,000 años

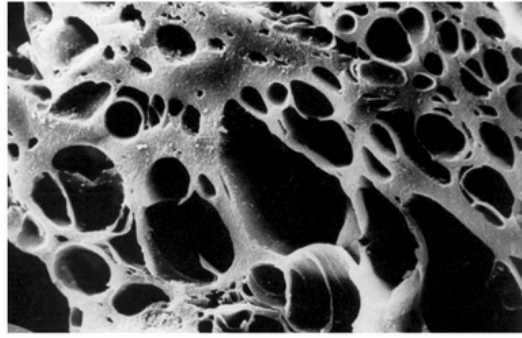


Hasta hace unos 12,000 años, mientras el *homo sapiens* fue cazador y recolector, su cerebro era más grande que el nuestro y, por lo tanto, tenía más masa encefálica. Era un investigador inteligente y muy capaz. Es muy probable que desde entonces haya descubierto algunas o todas estas capacidades del carbón.



Fue hasta 1881 que el físico alemán Heinrich Kayser acuñó el término **"adsorción"** para describir la habilidad del carbón para atrapar gases.

Fue hasta 1881 que el físico alemán Heinrich Kayser acuñó el término "adsorción" para describir la habilidad del carbón para atrapar gases. Se basó en el término "absorción". Cambió el prefijo "ab", por "ad" que indica aproximación, cercanía o adhesión.



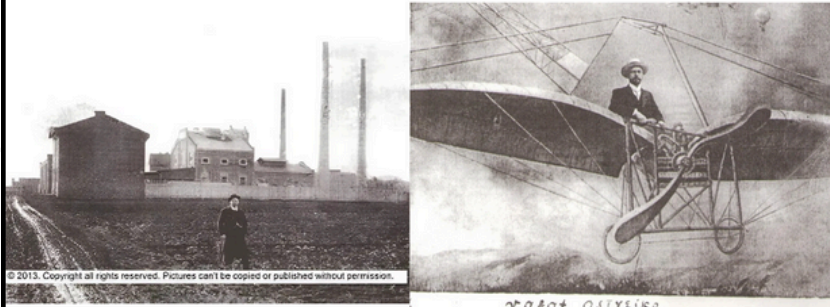
En 1900 y 1901, Rapsolas Ostreika (actual Lituania), patentó los primeros métodos para **augmentar el área superficial del carbón**, y ampliar así su capacidad natural para purificar

En 1900 y 1901, Rapolas Ostreika, nacido cerca de Jonowo (Jonava), distrito de Kaunas, en la actual Lituania, patentó los primeros métodos para aumentar el área superficial del carbón y ampliar así su capacidad natural para purificar. El primero de ellos bajo la patente: von Ostrejko, R., *Chemical Activation of Wood Using CaCl₂*, British Patent 14,224, Oct 13, 1900. Esta consistía en la carbonización de materiales lignocelulósicos con cloruros de metales, lo que fue la base de lo que hoy se conoce como “activación química”. En el segundo, proponía una gasificación moderada de materiales previamente carbonizados, mediante la aplicación de vapor de agua y dióxido de carbono. Esta se considera actualmente una activación física o térmica. (Nota: Ostreika germanizó su nombre, como Ostrejko ya que vivió en Austria y Alemania; y le agregó el “von” para indicar su origen noble).



El apelativo *carbón activado* no se debió a que el producto tuviera una mayor porosidad o una mayor y más activa área superficial, sino al método para producirlo.

Rapsolas Ostreika ➔ Raphael von Ostrejko



Inventor del carbón activado

A von Ostrejko se le considera el inventor del carbón activado.



Holanda, 1909

A partir de las patentes de Ostrejko, en 1909 se construyó la primera planta industrial para fabricar carbones activados en polvo destinados a la decoloración de azúcar. La planta se llamó *Chemische Werke*. Sus productos se registraron con los nombres: Eponit, Purit y Norit. La empresa *The Norit Company* inició la fabricación de carbón activado en Holanda y muy pronto se hizo conocido en la industria azucarera por sus carbones activados con el método de gasificación de von Ostrejko.

C^arbotecnia

www.carbotecnia.info

Tel. 33 38340 0906

ventas@carbotecnia.com.mx



Primera Guerra Mundial
carbón activado para protección
contra armas químicas

Durante la Primera Guerra Mundial, el uso de agentes químicos llevó a la urgente necesidad de un método de protección. Ambos bandos se involucraron en el esfuerzo de encontrarlo, y lo hicieron a través de máscaras contra gases. En 1915, los científicos alemanes encontraron que el carbón activado brindaba una protección importante contra muchos de los gases utilizados como armas químicas. Los británicos empezaron a utilizar carbón activado en 1916 en sus máscaras SBR. Los estadounidenses utilizaron carbón activado de concha de coco en sus máscaras tipo CE que los protegían contra fosgeno, gases lacrimógenos y cloro.



La Primera Guerra fue el punto de partida para el desarrollo de la industria de carbón activado que se expandió a otros usos.

FILTRACIÓN

ADSORCIÓN EN CARBÓN ACTIVADO
SEPARACIÓN POR MEMBRANAS
CLORACIÓN
SECADO
INTERCAMBIO IÓNICO
DESTILACIÓN
EVAPORACIÓN
ABSORCIÓN
EXTRACCIÓN (LIXIVIACIÓN)
DESHUMIDIFICACIÓN
CRISTALIZACIÓN
ELECTRODEIONIZACIÓN

De entre los procesos de separación que se aplican a fluidos...



... actualmente, el carbón activado es el segundo que se utiliza con mayor frecuencia.



Segunda Guerra Mundial
carbón activado mineral bituminoso como
protección contra armas químicas

Cuando Estados Unidos entró a la Segunda Guerra Mundial, la concha de coco generada en el sureste asiático era la materia prima con la que se producía el carbón activado granular que se utilizaba como medio de protección en las máscaras contra gases que usaba el ejército. El transporte por barco entre Asia y América se volvió peligroso. Esto disminuyó el suministro, y el gobierno pidió a la *Pittsburg Coke and Chemical Company* desarrollar un sustituto a partir de un material nativo. En 1942, la empresa produjo un carbón activado a partir de carbón mineral bituminoso (hulla bituminosa). Este fue el origen de la empresa *Calgon Carbon Corporation*.



Zapopan, México, 1988
carbón activado concha de coco
carbones activados especiales

En 1988 se fundó Nobrac Mexicana en Zapopan, Jalisco. Fue la primera empresa en producir carbones activados a partir de concha de coco en América. Y en 1996 nació la empresa que hoy se denomina Carbotecnia. Esta se especializó en la producción de carbones activados con características distintas a las de los carbones estándar: carbones con bajo contenido de compuestos solubles, carbones libres de finos, carbones impregnados para adsorción de gases y vapores no orgánicos, y carbones bacteriostáticos.

Carbotecnia

www.carbotecnia.info

Tel. 33 38340 0906

ventas@carbotecnia.com.mx



El carbón activado se ha convertido en el segundo método de purificación más utilizado por el ser humano, y su calidad se analiza mediante métodos estandarizados por organismos reconocidos, como ASTM, Food Chemicals Codex, NSF, AWWA/ANSI, y diversas farmacopeas.

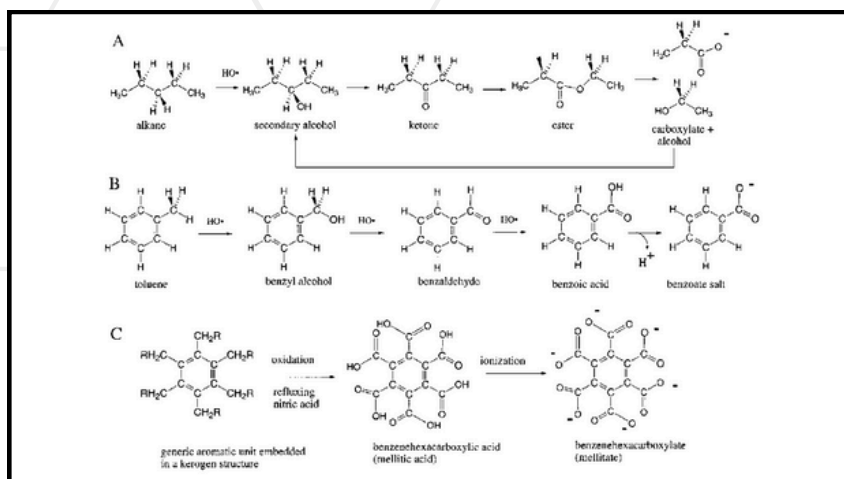


La acción que realiza el carbón en general, y el carbón activado en particular, se debe al fascinante átomo de carbono que los constituye. Hay que aclarar que, en español, el nombre del elemento cuyo símbolo es "C" es "carbono". Y el nombre del sólido formado esencialmente por átomos de carbono, es "carbón". En inglés, *carbon* es el átomo de carbono y *coal* es el sólido formado por átomos de carbono.

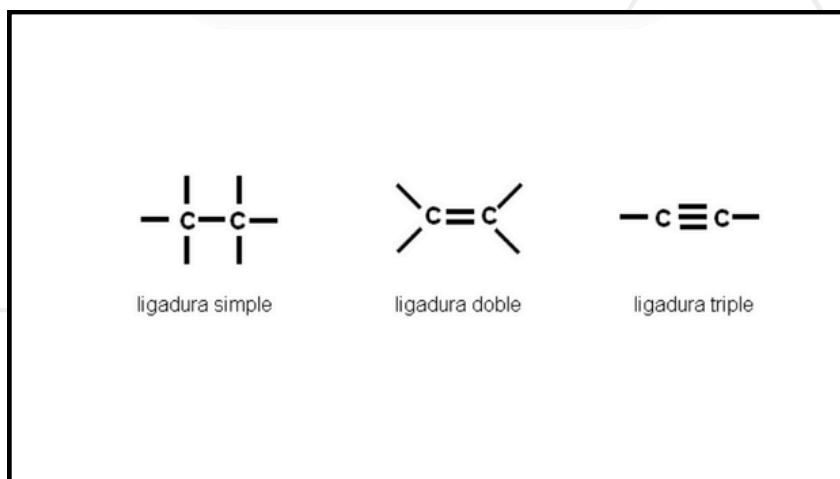
03

EL ÁTOMO DE CARBONO Y SUS PROPIEDADES.

Escrito por:
Germán Grosso



El átomo de carbono tiene dos propiedades muy importantes: (a) La capacidad de “catenarse” (de unirse con otros átomos de carbono) y formar un número interminable de cadenas y estructuras moleculares.



Y (b) La posibilidad de catenarse mediante una, dos y tres ligaduras. Esto incrementa aún más la cantidad de compuestos que puede formar. Ningún otro átomo tiene estas dos propiedades. La ilimitada cantidad de compuestos que puede formar el átomo de carbono llevó a diferenciarlos de los demás compuestos presentes en la naturaleza. Se les llamó compuestos orgánicos ya que los seres vivos los sintetizan. Posteriormente se descubrió que también pueden sintetizarse en un laboratorio o en un reactor. Actualmente se tienen identificados alrededor de 200 millones de compuestos orgánicos, y cada año se identifican alrededor de 500 mil adicionales.



Un compuesto también muy particular es el agua. Se comporta de manera única. Por ejemplo: con tan baja masa molar (18 g/mol) debiera ser un gas en las condiciones de la Tierra.



El agua, con sus propiedades únicas, y la cantidad y complejidad de moléculas que puede formar el átomo de carbono, permitieron “el milagro” de la vida en la tierra.

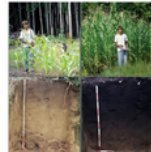


30 millones de células olfativas
Más de 10,000 aromas

Como nota interesante, los seres humanos contamos con más de 30 millones de células olfativas y somos capaces de distinguir hasta diez mil aromas distintos. Esta es una manifestación de la pluralidad de compuestos orgánicos volátiles presentes en la naturaleza.

Razones por las que el carbón (sólido carbonoso) es un purificante natural

¿Por qué el **carbón (simple carbón)** desodoriza el aire, purifica el agua y mejora los cultivos?



¿Por qué el carbón (simple carbón) cura, desodoriza el aire, purifica el agua y mejora los cultivos?

Carbotecnia

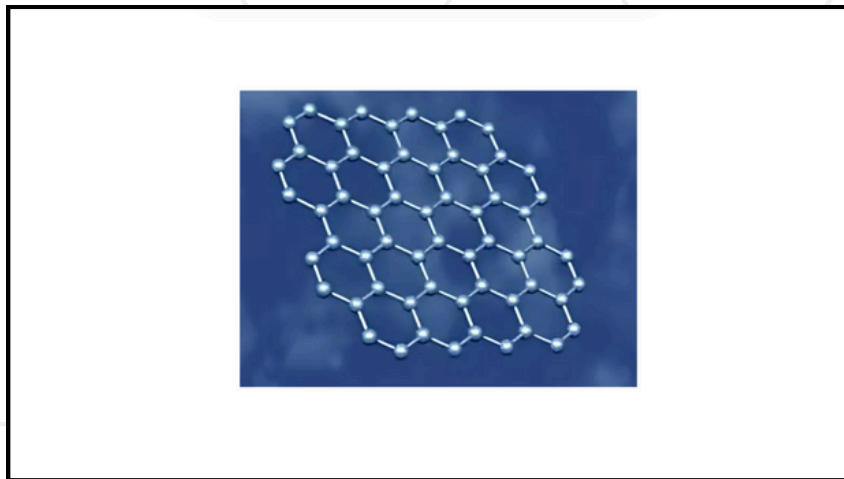
www.carbotecnia.info

Tel. 33 38340 0906

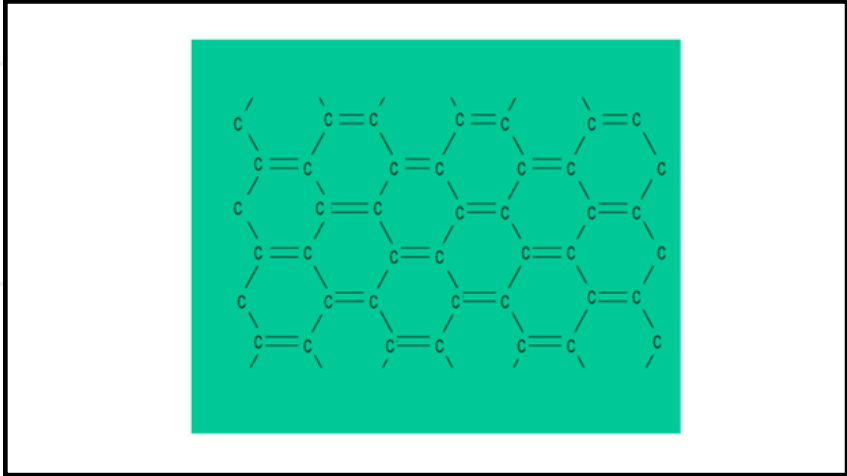
ventas@carbotecnia.com.mx



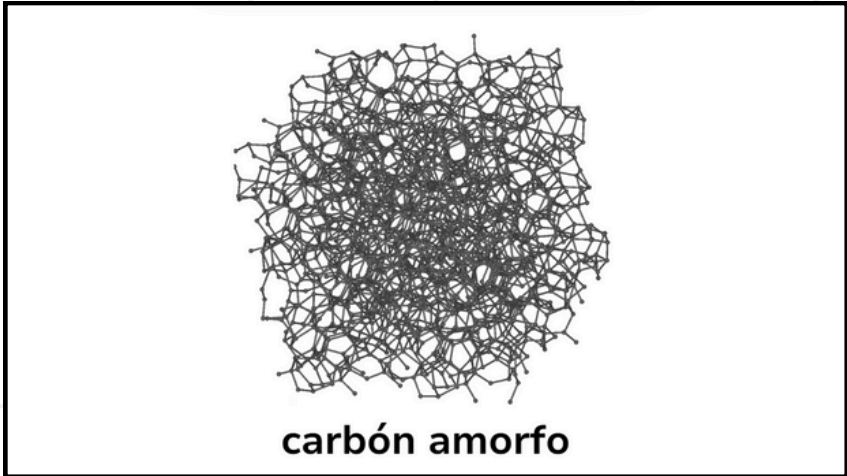
Cuando los átomos de carbono se unen entre sí, forman sólidos carbonosos.



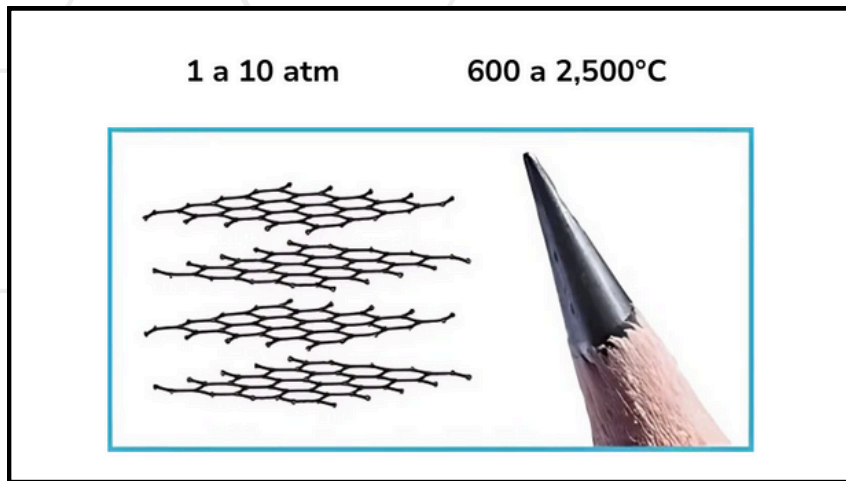
A excepción del diamante, los átomos de carbono se unen entre sí en forma de placas llamadas gráficas o grafeno. Los átomos de carbono que forman una placa presentan una estructura hexagonal.



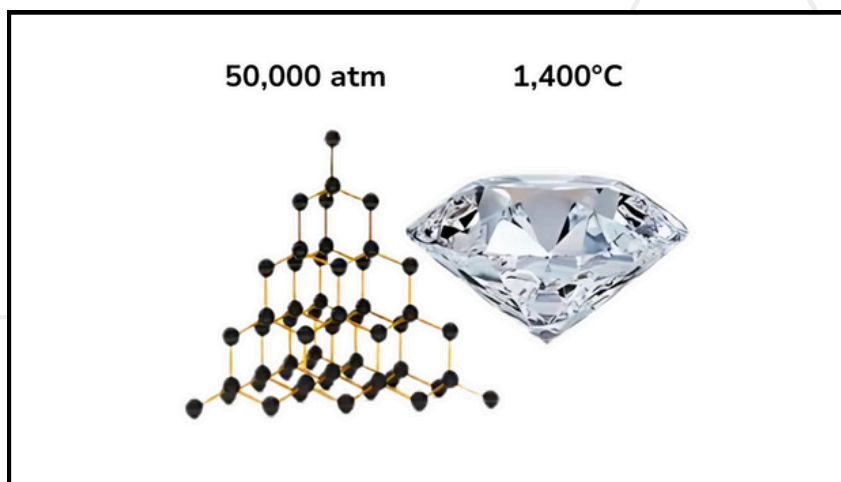
En dicha estructura, cada átomo de carbono satisface las cuatro ligaduras que lo caracterizan.



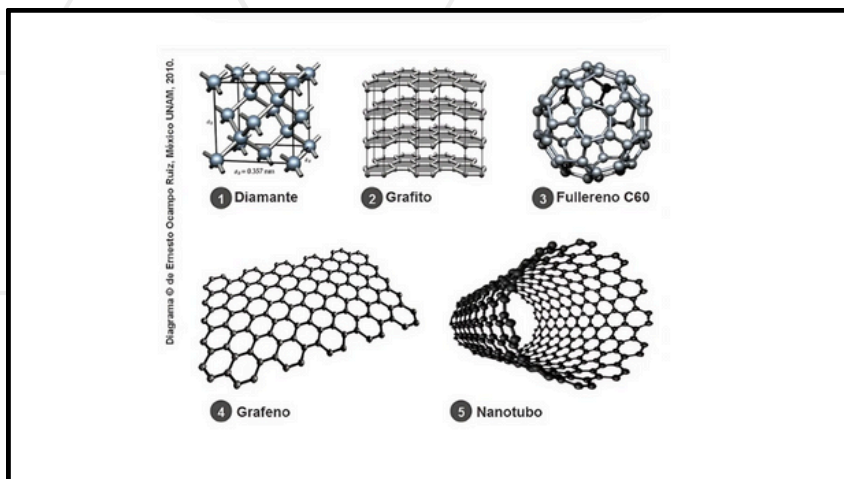
En la mayoría de los sólidos carbonosos, tanto de origen vegetal como mineral, las placas gráficas están desordenadas y forman un “carbón amorfo”.



Si se calienta un carbón amorfo en ausencia de aire hasta cierta temperatura, las placas gráficas se orientan en una misma dirección. El carbón resultante se comporta como un lubricante y pinta. A este material se le llama grafito. Al lubricar y pintar, va dejando placas de grafito embarradas en la superficie por la que se hace deslizar.

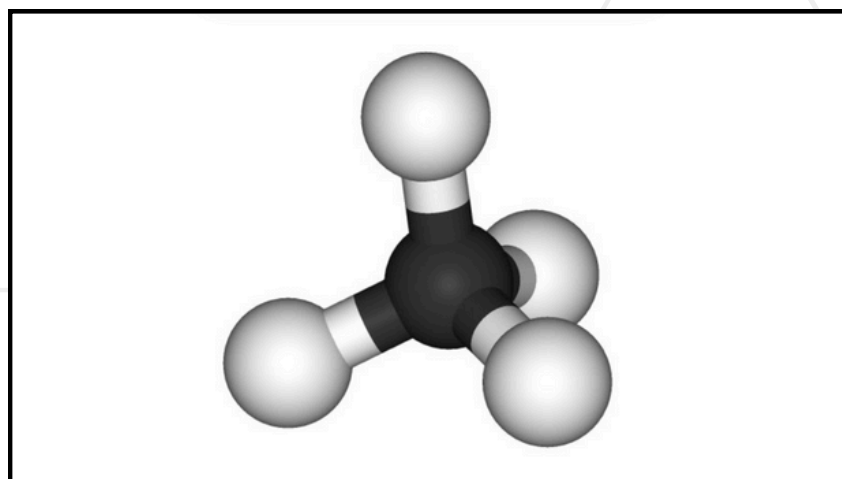


Si el grafito se lleva a una temperatura cercana a 1,400°C, y a una presión de 50,000 atmósferas, los átomos de carbono se ligan entre sí y forman diamante, el material natural con mayor rigidez y menor flexibilidad en la naturaleza. Estos diamantes no tienen el mismo nivel estético que los naturales, pero se utilizan para fabricar brocas.



En años recientes se descubrió que el átomo de carbono también forma esferas y tubos. A las primeras, se les ha llamado fullerenos, y a los últimos, nanotubos o buckitubos. La nanotecnología les ha ido encontrando uso.

Dejemos un momento las placas gráficas y vayamos a los compuestos orgánicos que forma el átomo de carbono.



Cuando un átomo de carbono se une químicamente a otros átomos para formar una molécula, forma esferas o esferoides.



De esta manera, los átomos que se repelen se separan lo más posible.

Esfera, esferoide: equilibrado

Plano: desequilibrado

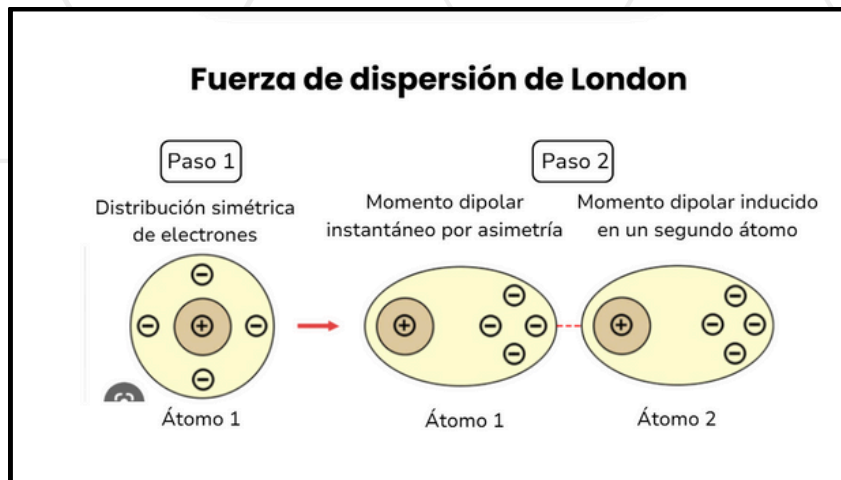
Cuando los átomos de carbono se ligan entre sí y forman placas gráficas, sus cuatro uniones químicas se ven forzadas a estar en un plano, lo que provoca un desequilibrio.

04

ADSORCIÓN Y FUERZAS INTER- MOLECULARES.

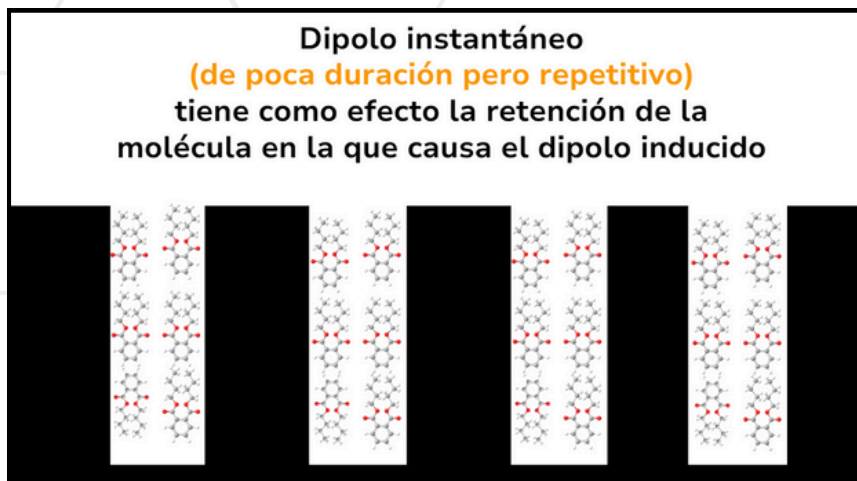
Escrito por:
Germán Grosso



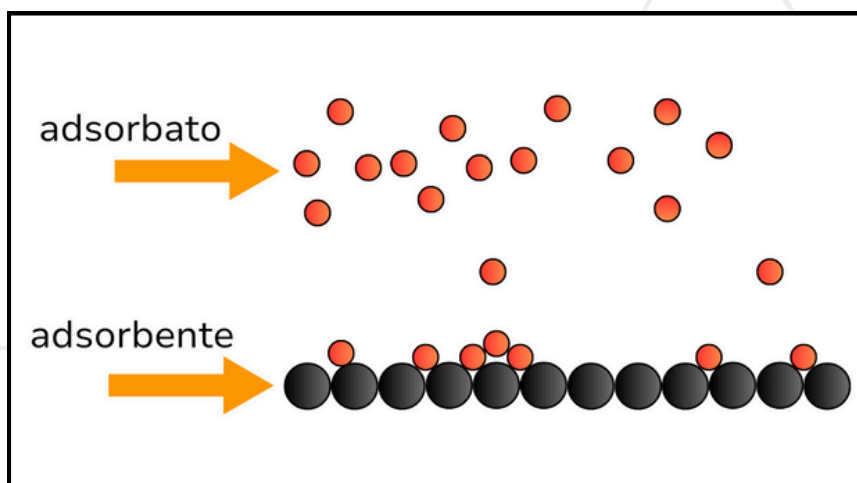


Las placas gráficas tienen un carácter totalmente covalente ya que están formadas por átomos iguales y, por lo tanto, con igual electronegatividad. Como resultado, no tienen polaridad. No obstante, ya que todos los átomos de carbono que las forman se encuentran desequilibrados por estar en un mismo plano, aumenta la tendencia natural a generar *momentos dipolares* que, por tener una duración muy baja se denominan *dipolos instantáneos*. Al formarse este dipolo instantáneo, los electrones de un átomo de carbono se desplazan hacia un lado, y le imparten carga negativa a ese lado del átomo. El otro lado del átomo, en el que se encuentra el núcleo, queda con carga positiva.

Al ocurrir un dipolo instantáneo en un átomo de carbono de los que forman una placa gráfica, si se encuentra cerca una molécula fluida que también tenga tendencia covalente (es decir, que no sea polar ni iónica) se ocasiona en ella un *dipolo inducido* que provoca la atracción entre la placa gráfica y la molécula fluida. A este fenómeno que ocurre entre moléculas con tendencia covalente, se le llama *Fuerza de dispersión de London* y es uno de los siete tipos de *fuerzas de van der Waals*.



El dipolo instantáneo dura un instante; desaparece un instante y vuelve a formarse; el ciclo se repite continuamente. El efecto global es la retención de la molécula en la que se ocasiona el dipolo inducido.



En el fenómeno de la adsorción, al sólido o al líquido que adsorbe se le llama *adsorbente* y a la molécula fluida que es adsorbida se le llama *adsorbato*.

Adsorbentes



Puede decirse que cualquier sólido adsorbe moléculas fluidas

Algunos sólidos adsorben más que otros

No solamente adsorben los sólidos de carácter no polar. También lo hacen los de carácter polar. Lo hacen mediante fuerzas de Van der Waals, aunque distintas a las fuerzas de dispersión de London (recordar que hay siete tipos de fuerzas de Van der Waals). De hecho, puede decirse que todos los sólidos adsorben en menor o mayor medida: los minerales, la lana, la piel, el pelo, las rocas, la tierra, la madera, las hojas. Sin embargo, aquellos que adsorben con mayor fuerza y capacidad, son los que se aplican comercialmente como *adsorbentes*. El adsorbente que más utiliza el ser humano es el carbón activado. Entre los adsorbentes polares que se utilizan comercialmente, están: arcillas activadas, diversas zeolitas y sílica gel.

**El desequilibrio que causan las
placas de grafeno en los
átomos de carbono que las
forman, **convierten a todo tipo
de carbón en un buen
ADSORBENTE****

Lo similar disuelve a lo similar

Los solutos no polares o muy poco polares se disuelven mejor en disolventes no polares.

Solutos polares se disuelven mejor en disolventes polares (como el agua).

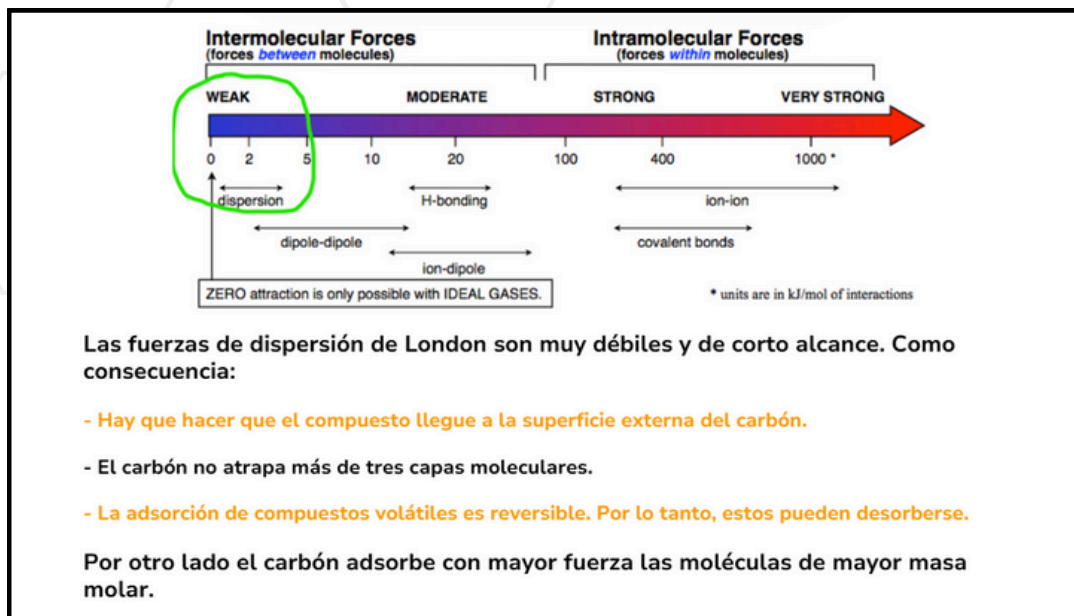
**Ya que el carbón es un sólido no polar,
adsorbe preferentemente
moléculas no polares o poco polares**

En fisicoquímica, es conocido que *lo similar disuelve a los similar*. De igual manera, *lo similar adsorbe a lo similar*. El carbón, por su carácter no polar, adsorbe mejor las moléculas fluidas que tienen el mayor carácter no polar.

Fuerzas de dispersion de London

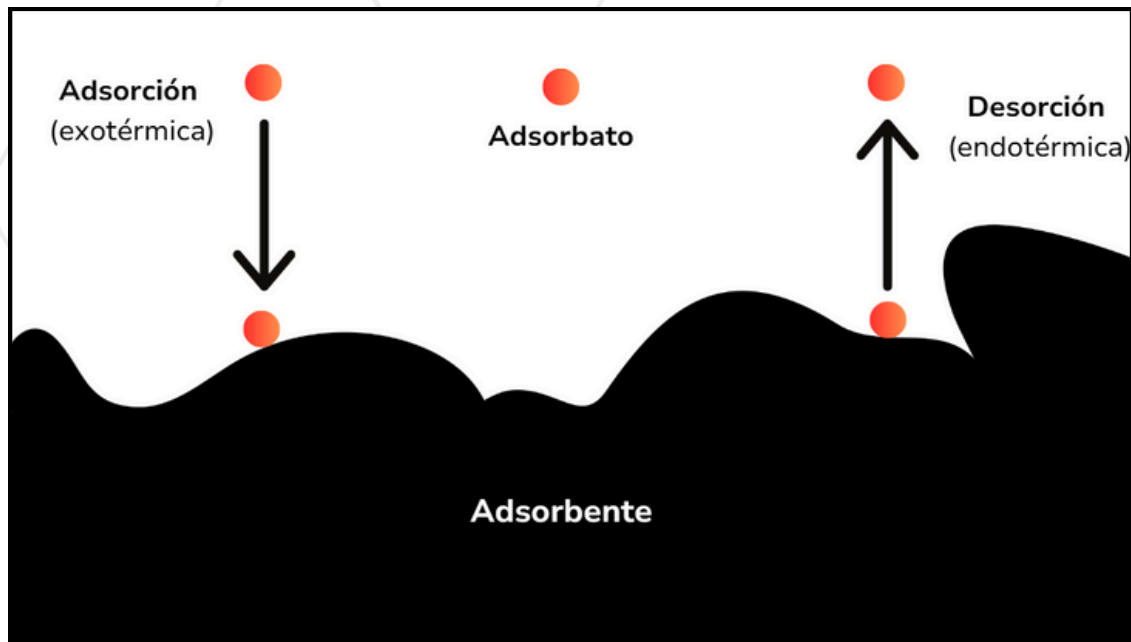
- Son débiles
- Son de corto alcance
- Aumentan con la masa molar y con el número de electrones

Las Fuerzas de dispersión de London son débiles, de corto alcance, y aumentan al aumentar la masa molar de las moléculas o átomos involucrados, así como el número de electrones.



Las fuerzas de dispersión de London son las fuerzas intermoleculares más débiles. Esto tiene tres consecuencias:

- Son de corto alcance; para que el carbón adsorba un compuesto de carácter no polar contenido en un fluido, debemos provocar que el fluido choque con las partículas de carbón para que el compuesto llegue hasta la superficie exterior de estas.
- Al ser de corto alcance, el carbón no atrapa más de dos o tres capas de moléculas. Como consecuencia, la capacidad de adsorción de un carbón depende de su área superficial.
- Al ser débiles, pueden romperse. Si el adsorbato posee cierto nivel de volatilidad y se calienta, empieza a vibrar con mayor fuerza y puede escapar del carbón. A este hecho se le llama desorción.



La adsorción siempre es exotérmica. Se desprende la energía equivalente al cambio de estado del adsorbato: líquido sólido o gas sólido. La desorción es endotérmica, y requiere la misma energía necesaria para el cambio de fase del adsorbato: sólido líquido o sólido gas.

Ya que el carbón solamente atrapa dos o tres capas moleculares

para aumentar su capacidad adsorbente

hay que aumentar su área superficial

y esto puede lograrse,

añadiendo su porosidad

05

ACTIVACIÓN DEL CARBÓN

Escrito por:
Germán Grosso

Cómo activar un carbón **(cómo hacerlo más poroso)**

Entonces, activar un carbón es hacerlo más poroso.

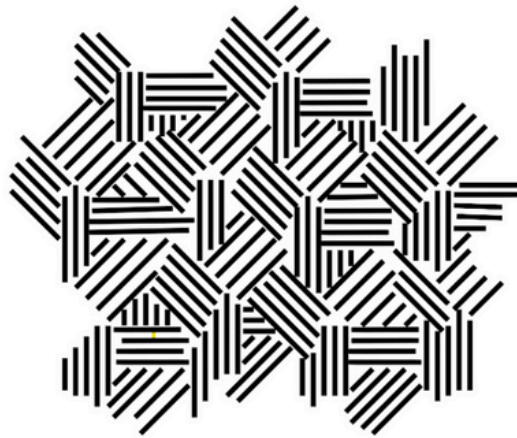
Activación física
(térmica)

Activación química

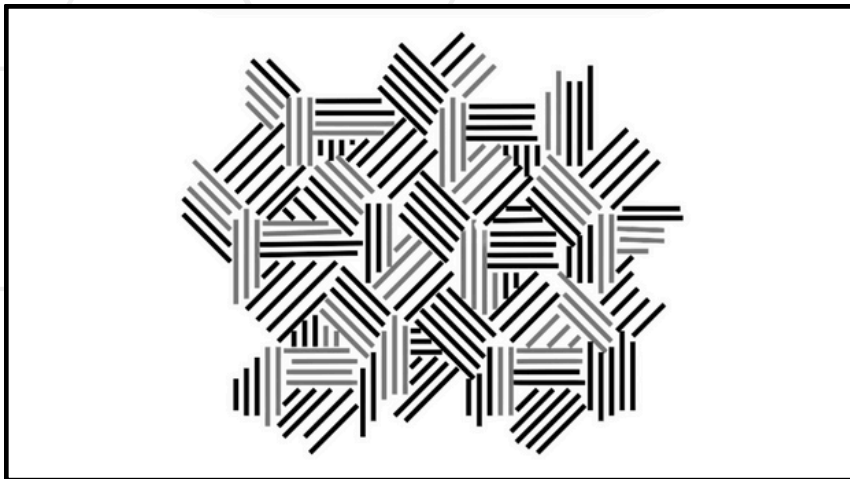
Existen dos métodos de activación: a uno se le llama *activación física (o térmica)* y al otro, *activación química*, aunque ambos métodos implican, tanto reacciones químicas como aumento de temperatura.

Vamos a explicarlo con la

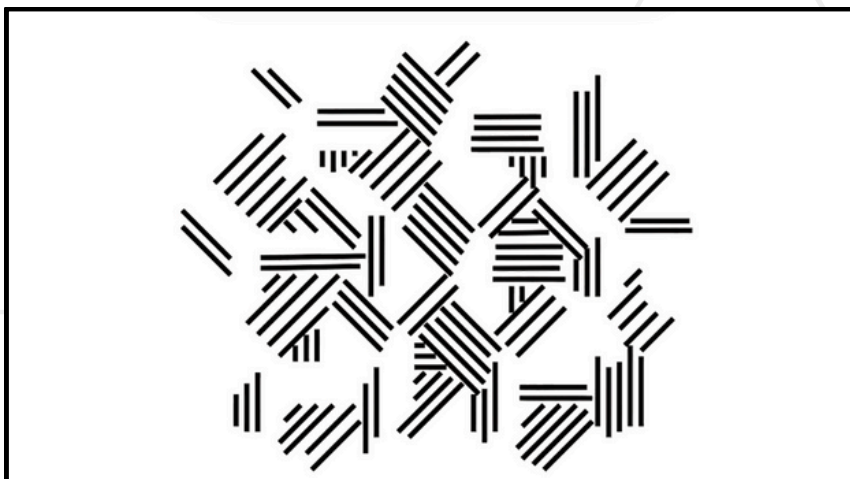
Activación física (o térmica)



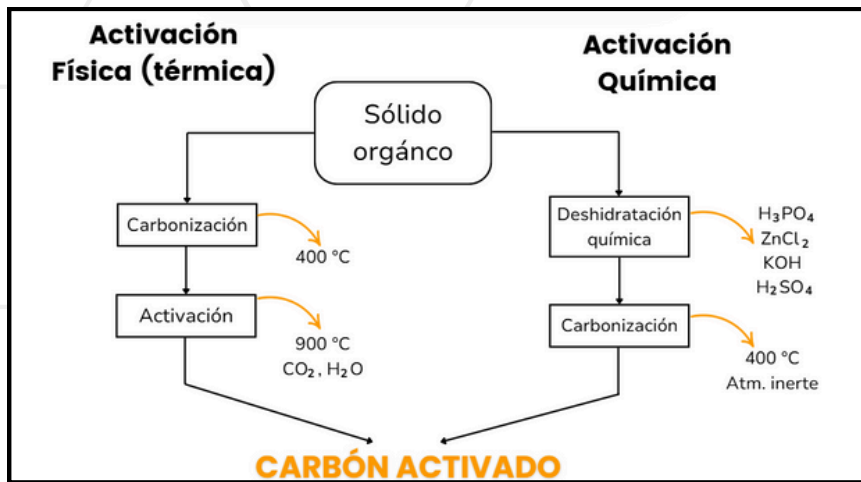
Para fines didácticos, vamos a ejemplificar las placas gráficas de un carbón amorfo, mediante rallas en todas las direcciones. El método de activación térmica se aplica a un material lignocelulósico (es decir, a un vegetal) previamente carbonizado. Si el hombre lo carbonizó, se le llama *carbón vegetal*. Si la naturaleza lo hizo y el carbón resultante se encuentra en una mina, se le llama *carbón mineral*. La imagen representa un carbón formado por placas gráficas desordenadas, que se encuentran orientadas en todas las direcciones.



El carbón se mete en un horno con una atmósfera controlada, en la que se empiezan a oxidar y gasificar las placas grafiticas menos perfectas. Estas placas son las más reactivas.



Cuando se han gasificado un número suficiente de placas, el carbón ya es poroso y está activado. Cuando se activa adecuadamente un carbón activado, sus partículas pesan menos (tienen menor densidad) pero no deben ser de menor tamaño.



El método de activación química parte del material lignocelulósico aún no carbonizado. Se le agrega un compuesto químico deshidratante. El compuesto más utilizado es ácido fosfórico. También se utiliza es cloruro de zinc, aunque con menor frecuencia. Otros se utilizan muy poco. Después de que se ha deshidratado la materia prima, se carboniza a baja temperatura. El carbón resultante ya está activado. Después de la activación, hay que proceder a lavarlo para eliminar residuos del agente químico y para recuperarlo y reutilizarlo en lotes de activación subsecuentes.

No existe acuerdo sobre el área superficial mínima que deba tener un carbón para considerarse activado.



Para la AWWA, el área superficial BET debe ser mayor a $500\text{ m}^2/\text{g}$

El área superficial BET de un sólido se calcula mediante la ecuación B.E.T. (Brunauer, Emmet y Teller), a partir de datos de adsorción y desorción de nitrógeno bajo condiciones determinadas. Los carbones activados que se manejan comercialmente suelen tener un área superficial BET de entre 500 y $1500\text{ m}^2/\text{g}$. El máximo valor que puede alcanzar un carbón activado es de alrededor de $3000\text{ m}^2/\text{g}$, aunque se ha encontrado que no vale la pena, porque gran parte de esta no es accesible a posibles adsorbatos, por lo que resulta inútil.

Aunque el carbón adsorbe preferencialmente compuestos no polares o poco polares, es un adsorbente inespecífico

Esto lo lleva a ser capaz de adsorber un sinnúmero de compuestos (la mayoría de los orgánicos).



La Toxicología considera al carbón activado el "antídoto más universal"

La inespecificidad del carbón activado, lo ha llevado a ser considerado por la toxicología como el antídoto más universal, ya que la mayoría de las intoxicaciones que sufre el ser humano se deben a compuestos orgánicos muy diversos. Por la misma razón, la adsorción en carbón activado es uno de los procesos con los que se purifica agua.

**La capacidad de adsorción de un
carbón activado en el equilibrio
suele ser de entre**

**20 y 80 g de adsorbatos retenidos
por 100 g de carbón activado**

La imagen muestra el rango de valores de capacidad de adsorción de un carbón activado respecto a moléculas por las que muestra buena adsorbabilidad y que caben en un porcentaje alto de sus poros.

**Área de competencia
del carbón activado
en cuanto a la concentración
de los adsorbatos que hay
que retener**

Aguas residuales biodegradables

Tratamiento	DBO inicial (mg/L)	DBO final (mg/L)
Digestión anaerobia	> 1,000 - 5,000	200 - 1,000
Digestión aerobia	200 - 1,000	50 - 150
Oxidación química	50 - 200	20 - 50
Adsorción en carbón activado	20 a 50	No detectable
Ósmosis inversa	< 10	No detectable

Los valores de DBO iniciales y finales dependen de diversas variables: composición del agua residual, diseño del digestor, tiempo de residencia del agua en el digestor, etc.

Tomando como ejemplo el tratamiento de aguas residuales, cada proceso es adecuado para una concentración inicial y una concentración final de contaminantes orgánicos. El carbón activado suele ser competitivo frente a otros métodos de disminución de compuestos orgánicos cuando la concentración inicial de compuestos adsorbibles es menor a alrededor de 20 mg/L (que corresponde a una DQO menor a 60 a 80 mg/L), y cuando se requiere alcanzar concentraciones menores a 1 mg/L (DQO menor a 3 a 4 mg/L).

Carbón activado



Si en el carbón activado incide agua con un aceite emulsionado o aire con una neblina orgánica (neblina = gotas menores a 1 μm), el carbón se satura con gran rapidez. Esto refleja la limitada capacidad de adsorción del carbón activado.

En las siguientes normas que aplican a agua potable y a aguas residuales

se observa que el carbón activado es un método adecuado para disminuir la concentración de contaminantes orgánicos y que aplica cuando se busca alcanzar concentraciones residuales muy bajas.

Los parámetros marcados en amarillo, son los que el carbón activado puede adsorber o descomponer (la descomposición corresponde a oxidantes que reaccionan con el carbón).

En fondo verde aparecen comentarios que hacemos respecto a la norma.

NOM-127-SSA1-2021			
Tabla 1 - Especificaciones sanitarias físicas			
PARÁMETRO	1994	2021	Comentarios
Turbiedad	5.0 UNT	4.0 UNT	Pasará a 3 en abril de 2025
pH	6.5 a 8.5 U de pH	6.5 a 8.5 U de pH	
Color verdadero	20 UC Pt/Co	15 UC Pt/Co	No lo señala la norma de 2021 pero el CA disminuye colores generados por moléculas orgánicas.
Tabla 2 - Especificaciones sanitarias químicas			
PARÁMETRO	1994 mg/L	2021 mg/L	Comentarios
Cianuros totales		0.07	
Dureza total como CaCO3	500.00	500.00	
Fluoruros como F ⁻	1.50	1.50	Bajará a 1.0 de acuerdo con Tabla 3
Nitrógeno amoniacal (N-NH3)	0.50	0.50	
Nitrógeno de nitratos (N-NO3 ⁻)	10.00	11.00	
Nitrógeno de nitritos (N-NO2 ⁻)	1.00	0.90	
Sólidos disueltos totales	1000.00	1000.00	
Sulfatos (SO ₄ ²⁻)	400.00	400.00	
Sustancias activas al azul de metileno	0.50	0.50	

PARÁMETRO	1994 mg/L	2021 mg/L	Comentarios
Aluminio	0.20	0.20	
Arsénico	0.025	0.025	Bajará a 0.01 de acuerdo con Tabla 5
Bario	0.7	1.3	
Cadmio	0.005	0.005	Bajará a 0.003 de acuerdo con Tabla 5
Cobre	2.00	2.00	
Cromo total	0.05	0.05	
Hierro	0.30	0.30	
Manganeso	0.15	0.15	
Mercurio	0.001	0.006	El mercurio suele encontrarse en el agua en forma de sulfuro de mercurio o de catión metilmercurio. El carbón activado lo adsorbe en ambas formas (no lo señala la norma 127-2021)
Níquel		0.07	
Plomo	0.01	0.01	
Selenio		0.04	

PARÁMETRO	1994	2021	Comentarios
<i>E. Coli</i> o Coliformes termotolerantes (fecales)	Ausencia o no detectable	< 1.1 NMP/100 mL o no detectable	
		< 1 UFC/100 mL	
		Ausencia/100 mL	
<i>Giardia Lamblia</i>		Ausencia Quistes/20 L	Aplica cuando el agua proviene o tiene influencia de fuente superficial

Microcistina-LR		1.0 µg/L	Aplica cuando el agua proviene de fuente superficial
-----------------	--	----------	--

Radiactividad alfa total	0.56	0.5 Bq/L	
Radiactividad beta total	1.85	1.0 Bq/L	

PARÁMETRO	1994 mg/L	2021 mg/L	Comentarios
Cloro residual libre	0.2 a 1.5	0.2 a 1.5	Aplica si se usa un compuesto de cloro
Yodo residual libre	0.2 a 0.5	0.2 a 1.5	Aplica si se usa yodo
Plata total		0.05 a 0.1	Aplica si se usa cualquier forma de plata

Tabla 10 - Especificaciones sanitarias de subproductos de la desinfección - trihalometanos Solo si el agua se desinfecta con un compuesto de cloro			
PARÁMETRO	1994 µg/L	2021 µg/L	Comentarios
Bromodiclorometano	200 µg/L la	60	
Bromoformo	suma de	100	
Cloroformo	todos los	300	
Dibromoclorometano	THMs	100	
Tabla 11 - Especificaciones sanitarias de subproductos de la desinfección - ácidos haloacéticos Solo si el agua se desinfecta con un compuesto de cloro			
Ácido cloroacético		20	
Ácido dicloroacético		50	
Ácido tricloroacético		200	
Tabla 12 - Especificaciones sanitarias de subproductos de la desinfección - aniones Solo si el agua se desinfecta con ozono			
Bromatos		10	
Cloratos		700	
Cloritos		700	
Tabla 13 - Especificaciones sanitarias de subproductos de la desinfección - carbonilos Solo si el agua se desinfecta con ozono			
PARÁMETRO	1994	2021	Comentarios
Formaldehído		900	

El formaldehído es el único compuesto orgánico limitado por la norma NOM-127-SSA1-2021 y que no adsorbe con eficiencia el carbón activado.

Tabla 14 - Especificaciones sanitarias de compuestos orgánicos sintéticos			
PARÁMETRO	1994 µg/L	2021 µg/L	Comentarios
Compuestos orgánicos halogenados adsorbibles fijos		10	
Compuestos orgánicos no halogenados		25	
Compuestos orgánicos halogenados adsorbibles purgables		5	
Compuestos orgánicos volátiles no halogenados			
Benceno	10	10	
Estireno		20	
Etilbenceno	300	300	
Tolueno	700	700	
Xilenos (isómeros orto, meta y para)	500	500	

Si el agua rebasa el máximo límite permitido en los parámetros señalados, hay que cumplir con otros parámetros

Tabla A.1 Límites permisibles de compuestos orgánicos halogenados adsorbibles fijos

Compuestos orgánicos semivolátiles clorados			
PARÁMETRO	1994 µg/L	2021 µg/L	Comentarios
Hexaclorobutadieno		0.60	
Pentaclorofenol		9.0	
2, 4, 6 Triclorofenol		200	
Epiclorhidrina		0.40	
Plaguicidas clorados			
Alacloro		20	
Combinación Aldrin + Dieldrin	0.03	0.03	
Atrazina		100	
Clordano (total de isómeros)	0.20	0.20	
Cianazina		0.60	
DDT y metabolitos	1.0	1.0	
Endrin		0.60	
Lindano		2.0	
Metolacloro		10	
Metoxicloro	20.00	20	
Pendimetalina		20	
Terbutilazina		7.0	
Trifluratina		20	
Herbicidas clorados			
2,4-D	30.00	30	
2,4,5-T		9.0	
2,4,5-TP		9.0	
2,4-DB		90	
Diclorprop		100	
Mecoprop		10	
Plaguicidas clorados derivados de urea			
Clorotoluron		30	No lo señala la norma pero puede retenerse en CA

Tabla A.2 Límites permisibles de compuestos orgánicos no halogenados

Carbamatos y compuestos orgánicos semivolátiles			
PARÁMETRO	1994 µg/L	2021 µg/L	Comentarios
Aldicarb		10	
Carbofurán		7.0	
Ácido edético		600	
Ácido nitrilotriacético		200	
Acrilamida		0.50	
Hidrocarburos poliaromáticos			
Benzo(a)pireno		0.70	
Plaguicidas fosforados			
Clorpirifos		30	
Dimetoato		6.0	
Molinato		6.0	
Simazina		2.0	
Compuestos orgánicos semivolátiles no clorados			
Di-(2-Etilhexil) ftalato		8.0	
Plaguicidas no clorados derivados de urea			
Isoproturon		9.0	

Tabla A.3 Límites permisibles de compuestos orgánicos halogenados adsorbibles purgables

Compuestos orgánicos halogenados volátiles			
PARÁMETRO	1994 µg/L	2021 µg/L	Comentarios
1,2-Diclorobenceno		1000	
1,2-Dicloroeteno (cis + trans)		50	
1,2-Dicloropropano		40	
1,2-Dicloroetano		30	
1,3-Dicloropropeno (cis + trans)		20	
1,4-Diclorobenceno		300	
Cloruro de vinilo		0.30	
Diclorometano		20	
Tetracloroetano		40	
Tetracloruro de carbono		4.0	
Tricloroetano		20	
1,2-Dibromoetano		0.40	
1,2-Dibromo-3-cloropropano		1.0	

De las tablas anteriores, podemos hacer las siguientes observaciones:

Norma	No. de parámetros	No. de parámetros orgánicos	Porcentaje de parámetros que puede resolver el carbón activado
NOM-127-SSA1-1994 (modificación 2000)	45	17	100.0 %
NOM-127-SSA1-2021 (cuando se cumplen los tres grupos de compuestos orgánicos sintéticos *	51	19	94.7 %
NOM-127-SSA1-2021 (cuando no se cumple ninguno de los tres grupos de compuestos orgánicos sintéticos)	97	67	98.5 %

* Solamente no se adsorbe eficientemente formaldehído

NOM-001-SEMARNAT-2021

TABLA 1
Limites Permisibles

Parámetro (*) (mligramos por litro, excepto cuando se especifica)	Rios, arroyos, canales, diques			Embalses, lagos y lagunas			Zonas marinas mexicanas			Suelo											
	PM	PD	VI	PM	PD	VI	PM	PD	VI	Riego de áreas verdes			Infiltración y otros riegos			Cáritico					
Temperatura (°C)	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
Oxígeno y Acidez	15	10	21	15	10	21	15	10	21	15	10	21	15	10	21	15	10	21	15	10	21
Sólidos Suspendidos Totales	60	72	84	20	24	28	20	24	28	30	36	42	100	120	140	20	24	28	24	28	32
Demanda Química de Oxígeno	150	180	210	100	120	140	85	100	120	60	72	84	150	180	210	60	72	84	84	100	120
Carbono Orgánico Total	38	45	53	25	30	35	21	25	30	15	18	21	38	45	53	15	18	21	21	25	30
Nitrógeno Total	25	30	35	15	25	30	25	30	35	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	15	25	30
Fósforo Total	15	18	21	5	10	15	15	18	21	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	5	10	15
Muestras de Heuristas (Nuevas/litro)	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	1											
Escherichia coli (NMP/100 ml)	250	500	600	250	500	600	250	500	600	250	500	600	250	500	600	50	100	200	200	250	300
Enterococos fecales* (NMP/100 ml)	250	400	500	250	400	500	250	400	500	250	400	500	250	400	500	50	100	200	200	250	300
pH (LpH)	6-9																				
Color verdadero	Longitud de onda									Coeficiente de absorción espectral máximo											
	436 nm									7.0 m ⁻¹											
	525 nm									5.0 m ⁻¹											
	620 nm									3.0 m ⁻¹											
Toxicidad aguda (LT)	2 a los 15 minutos de exposición																				

NOM-201-SSA1-2015

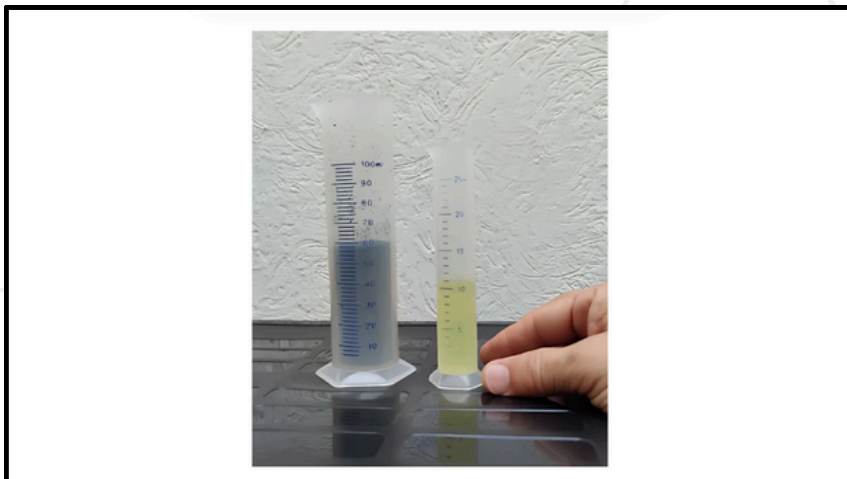
PARÁMETRO	NOM-201-SSA1-2015	NOM-127-SSA1-2021	Nota (Unidades en mg/L excepto si se señala otra variable)
Organolépticas y físicas			
Color	15	15	Pt/Co
Turbiedad	3	4	UNT
Microbiológicas			
Coliformes totales	< 1.1		NMP/100 mL
	Cero		UFC/100 mL
	Ausencia		Organismos/100 mL
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> (solo para agua mineral natural)	< 1.1		NMP/100 mL
	Cero		UFC/100 mL
	No aplica		Organismos/100 mL
Enterococos fecales (La autoridad sanitaria establecerá los casos en que se realizará la determinación de estas especificaciones)	< 1.1		NMP/100 mL
	Cero		UFC/100 mL
	Ausencia		Organismos/100 mL
Esporas de <i>Clostridium</i> sulfito reductores (solo para agua mineral natural) (La autoridad sanitaria establecerá los casos en que se realizará la determinación de estas especificaciones)	< 1.1		NMP/100 mL
	Cero		UFC/100 mL
	No aplica		Organismos/100 mL

Metales, metaloides y compuestos inorgánicos			
Antimonio	0.005		
Arsénico	0.01	0.025	
Bario	0.70	1.3	
Borato como B	5.00		
Cadmio	0.003	0.005	
Cromo total	0.05	0.05	
Cobre	1.00	2.0	
Cianuro	0.07	0.07	
Fluoruros como F ⁻	0.70 2.0	1.5	No aplica para aguas minerales naturales. Aplica para aguas minerales naturales.
Manganeso	0.40	0.15	
Mercurio	0.001	0.006	
Níquel	0.02	0.07	
Nitrógeno de nitratos	10.00	11.0	
Nitrógeno de nitritos	0.06	0.9	
Plomo	0.01	0.01	
Selenio	0.01	0.04	

Compuestos orgánicos sintéticos			
Compuestos orgánicos halogenados adsorbibles fijos	0.0005	0.01	
Compuestos orgánicos no halogenados	0.01	0.025	
Compuestos orgánicos halogenados adsorbibles purgables	0.001	0.005	
Carbono orgánico purgable	0.01		
Sustancias activas al azul de metileno	0.5	0.5	
Desinfectantes			
Cloro residual libre	0.1	0.2 a 1.5 (l/l)	
Subproductos de desinfección			
Desinfección con cloro (cloro libre)			
Formaldehído	0.9	0.9	
Bromodiclorometano	0.06	0.06	
Bromoformo	0.1	0.1	
Dibromoclorometano	0.1	0.1	
Cloroformo	0.2	0.3	
Desinfección con ozono			
Formaldehído	0.9	0.9	
Bromato	0.01	0.01	
Radiactivos			
Radiactividad beta total	1.85	1.0	Aplica para aguas minerales naturales
Radiactividad alfa total	0.56	0.1	Aplica para aguas minerales naturales



Las normas anteriores muestran que concentraciones muy bajas de diversos contaminantes orgánicos, llevan al agua a incumplir con los parámetros de potabilidad. Si se agregan 11.4 mL de benceno a un millón de litros de agua, se rebasa el límite permisible por la norma NOM-127-SSA1-2021: $10\mu\text{g/L}$ (densidad del benceno a 25°C : 0.88 g/mL).



No obstante, 60 mL de carbón activado adsorben los 11.4 mL de benceno.

06

MATERIAS PRIMAS PARA LA PRODUCCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO

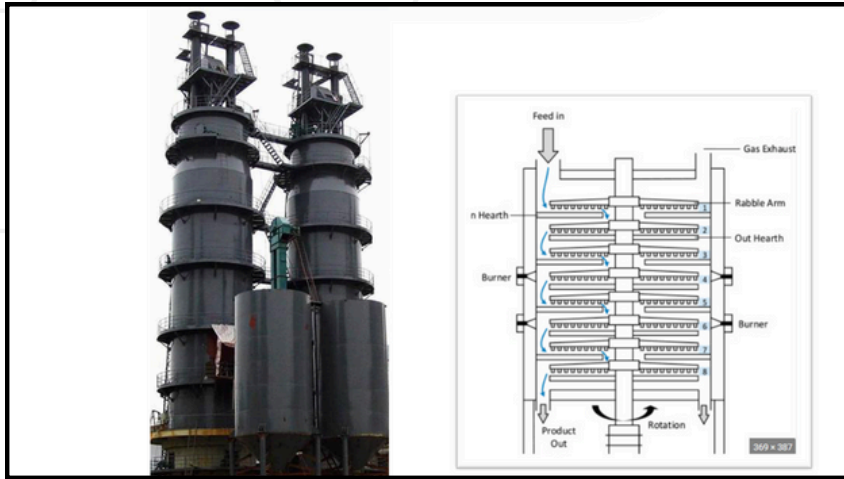
Escrito por:
Germán Grosso



¿En qué equipos se produce el carbón activado?



La activación se puede llevar a cabo en diversos tipos de hornos. El más común es el *rotatorio*.

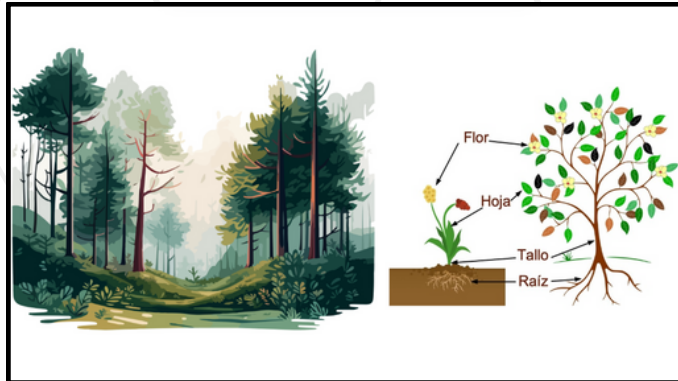


Otro horno de activación, que se utiliza mucho menos, es el vertical de hogares múltiples.



Un horno de activación utilizado en China es el vertical de un solo hogar.

Materias primas para producir carbón activado



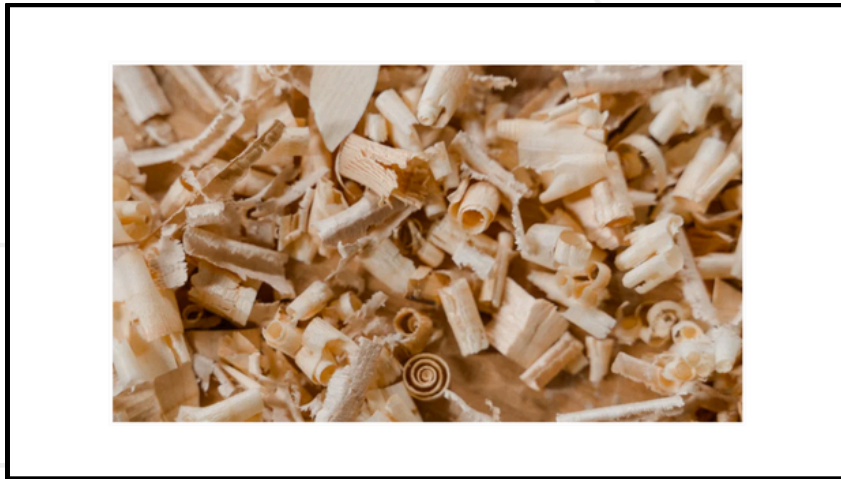
Se puede producir carbón activado a partir de cualquier material lignocelulósico (vegetal) del que sea posible obtener carbón. Mientras más compacto y denso es el material, se obtendrá un carbón más compacto, de mayor resistencia mecánica y con poros de menor diámetro.



Por cuestión de costos, las materias primas vegetales de las que se obtienen carbones activados son residuos. Entre los de menor dureza y compactación, está la cáscara de cacahuete. Se produce poco. Un productor se encuentra en Argentina.



Otros residuos vegetales de baja dureza son el bagazo de agave y el olote. El bagazo de agave, al ser fibroso, puede dar origen a un carbón activado que adsorbe con muy buena cinética (velocidad). Aún no se están utilizando estas dos materias primas.



Un residuo de madera de baja dureza que se utiliza mucho para producir carbón activado es la viruta o el aserrín de pino.



El residuo vegetal de mayor densidad y dureza que se utiliza para producir carbón activado es la concha de coco. Otros residuos agrícolas con los que pueden obtenerse carbones de alta densidad y dureza son cáscara de nuez, hueso de aceituna y hueso de durazno.



También puede producirse carbón activado a partir de una gama de carbones minerales. La naturaleza formó estos carbones a partir de vegetación en el periodo Carbonífero, ocurrido hace 350 a 300 millones de años, al final de la era Paleozóica. Entre los carbones minerales de los que puede producirse carbón activado, los hay de diversos grados de carbonización. A mayor grado de carbonización, mayor es la densidad y compactación del carbón. Estos carbones pueden ser: turba, lignito, hulla sub-bituminosa, hulla bituminosa y antracita. La imagen anterior muestra, de izquierda a derecha: turba, lignita y hulla bituminosa. Independientemente del grado de carbonización, los carbones minerales siempre tienen cierta gama de tamaños de poros, ya que se formaron a partir de distintos vegetales y de distintas partes de estos. El nombre que Carbotecnia asignó a los carbones activados de origen mineral es *Gama*, debido a que poseen poros de una gama de diámetros.

Distribución de tamaño de poro de carbón activado

de acuerdo con:

**Materia prima
Método de activación**

**Mayor densidad y resistencia mecánica de
la materia prima**

Menor tamaño de poros

Activación física (térmica):

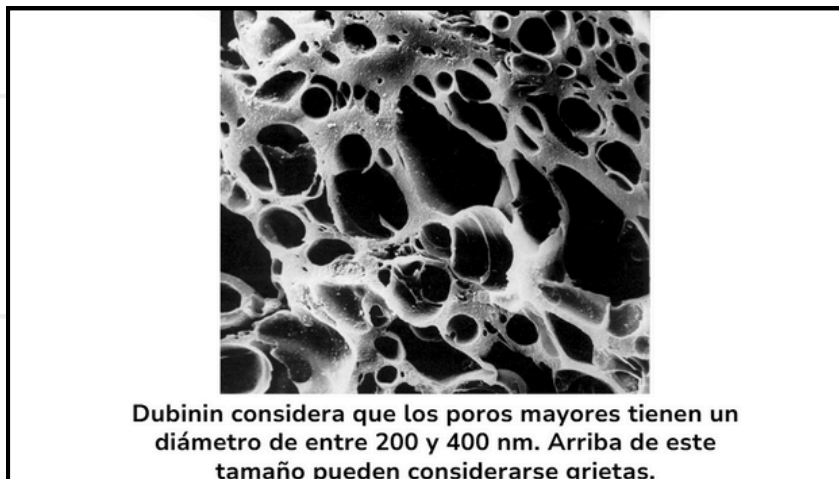
Menor tamaño de poros

Con la activación química se obtienen poros de un diámetro un poco mayor que los que se obtienen con activación física (o térmica).



La IUPAC (Unión Internacional de Química Pura y Aplicada) clasificó los poros en micro, meso y macroporos. Como dijimos, mientras más denso y compacto es el material lignocelulósico del que se obtiene el carbón activado, este resulta con poros de menor diámetro. En un intento de explicarlo de manera aproximada: las moléculas que pueden estar en forma gaseosa a las presiones y temperaturas de cualquier punto de la Tierra, caben en los microporos; las moléculas que no pueden evaporarse o gasificarse mediante calentamiento, caben en macroporos, pero no en mesoporos. El resto de las moléculas, caben en los mesoporos.

Lo anterior hace posible elegir el carbón activado con la distribución de tamaño de poro más adecuada para adsorber el o los adsorbatos que buscamos adsorber.

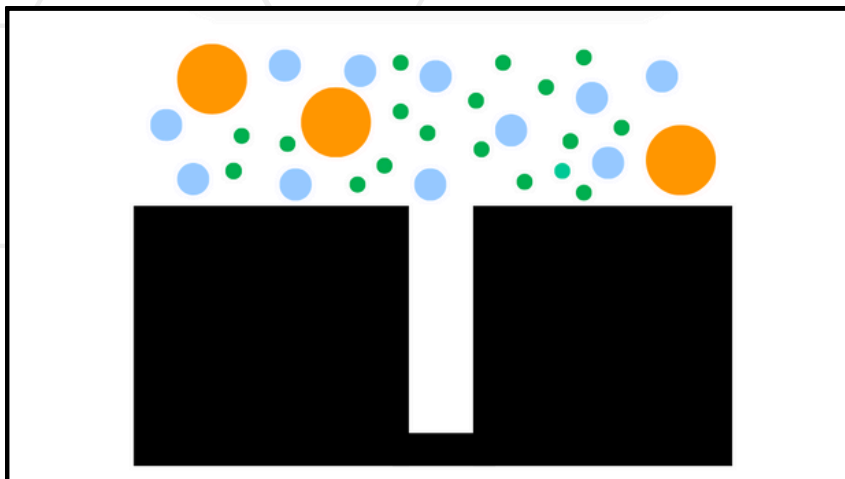


El carbón activado, además de poros, adquiere una superficie más agrietada. No existe una definición generalizada sobre el tamaño de los macroporos de mayor tamaño. Dubinín considera que los mayores son de entre 200 y 400 nm. Arriba de este tamaño pueden considerarse grietas.

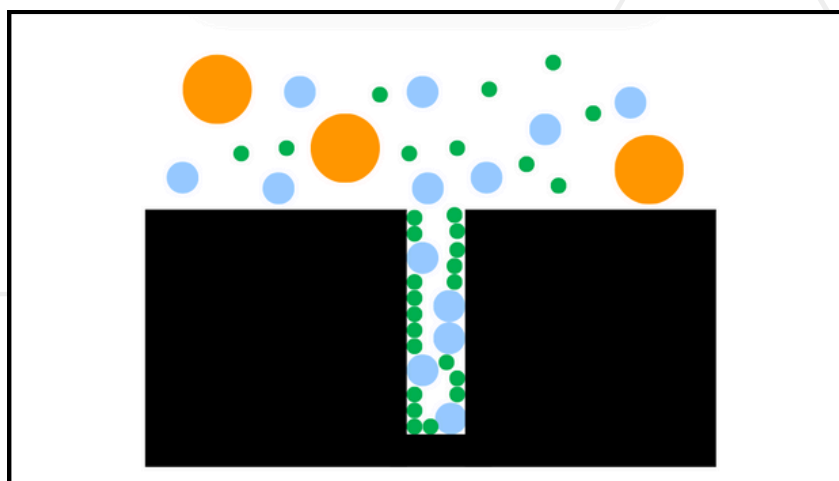
Materia prima del carbón activado	Algunas aplicaciones típicas
Concha de coco	Todas las aplicaciones en fase gas. Deodorización de agua y otros líquidos. Potabilización de agua de pozo profundo (más de 50 m).
Carbón mineral bituminoso (o hulla bituminosa)	Aplicaciones en fase gas, aunque suele tener menor capacidad que un carbón de concha de coco. Potabilización de agua de pozo somero (menos de 50 m) y de agua de cuerpos superficiales (previa coagulación y floculación). Decoloración de aguas residuales con colores ligeros
Carbón mineral lignítico (o lignito)	Retención de grasas y aceites disueltos en agua u otros líquidos. Retención de ácidos grasos presentes en destilados. Decoloración de aguas residuales con colores medios o intensos.
Carbón de madera de pino	Refinación de azúcar. Decoloración de aceites. Retención de proteínas. Retención de ácidos grasos.

El carbón de antracita está en un punto intermedio entre el de hulla bituminosa y el de concha de coco.

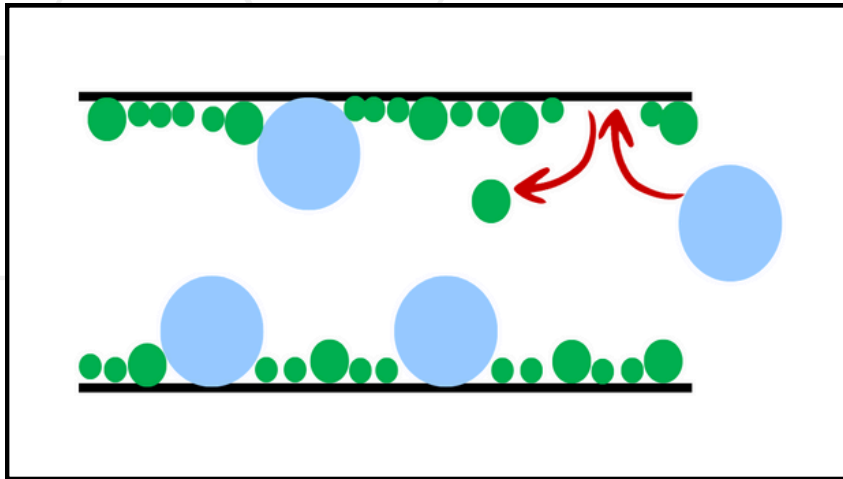
Cuando la dosis de carbón activado es limitada este se quedará con las moléculas más grandes que quepan en sus poros



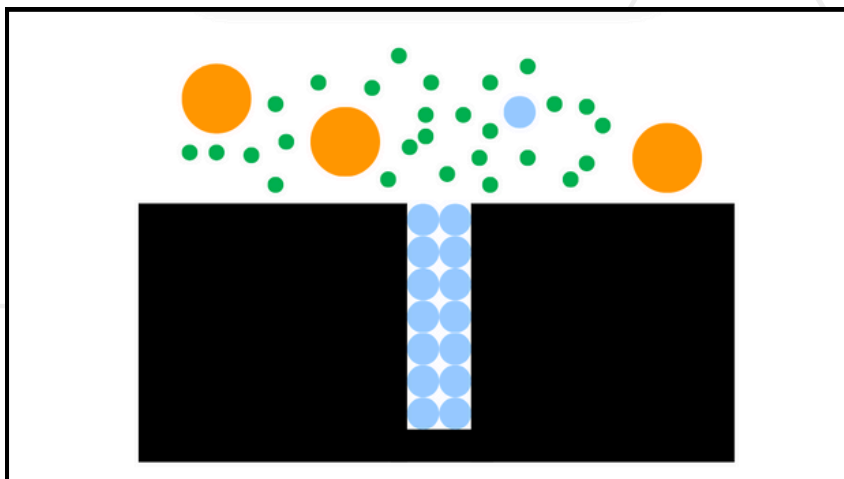
La imagen anterior representa el poro de un carbón activado. Los círculos son moléculas orgánicas no polares. Hay grandes (anaranjadas), medianas (azules) y chicas (verdes). Las grandes no caben en el poro, por lo que no pueden entrar en él.



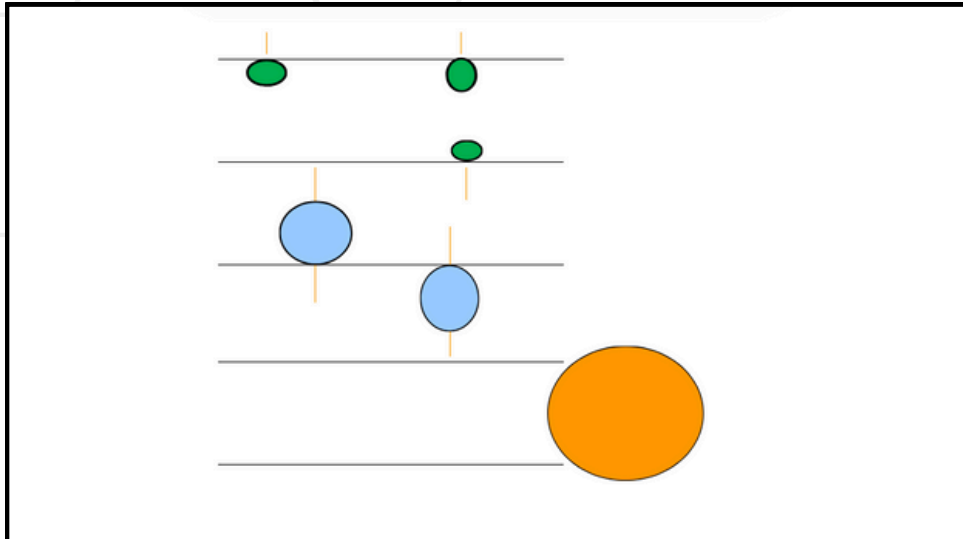
Las moléculas medianas y las chicas caben en el poro y lo llenan.



Como hemos dicho: (a) Las fuerzas de dispersión de London son débiles y pueden romperse; y (b) Un adsorbato con mayor masa molar se adsorbe con mayor fuerza. Por lo tanto, aunque todo el poro ha adsorbido moléculas, si llega una molécula con mayor masa que otras adsorbidas, las desplaza.



Hasta que el poro se encuentra saturado con moléculas medianas. La posibilidad de elegir un carbón con determinado tamaño de poro predominante, y el hecho de poder dosificar la cantidad de carbón más conveniente para un tratamiento, es la base para llevar a cabo procesos de refinación (adsorción preferencial de las moléculas que queremos retener).



Hay que recordar que cada placa gráfica atrapa un máximo de tres capas de moléculas de un tamaño determinado. Por lo tanto, cuando el tamaño de una molécula que puede ser adsorbida es demasiado pequeña en relación al diámetro del poro, solamente es atrapada por una placa gráfica. Cuando la molécula tiene un diámetro mayor al 20% del diámetro del poro, ambas placas la adsorben y la retienen con mayor fuerza.

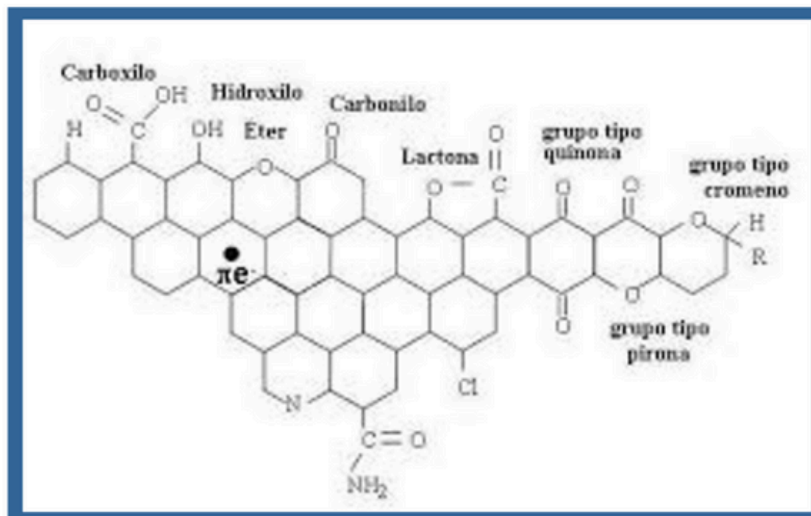
El carbón activado
tiene una química superficial
que puede llegar a tener una
influencia importante,
particularmente en ciertos
casos

07

FORMAS Y TAMAÑOS DEL CARBÓN ACTIVADO

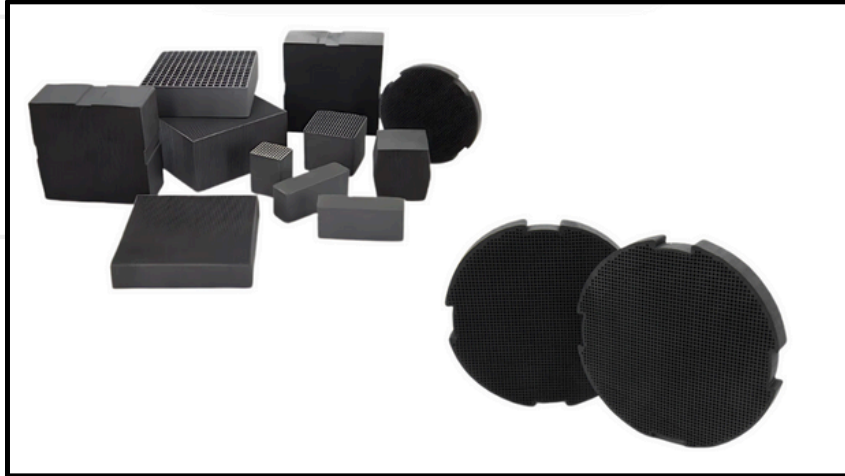
Escrito por:
Germán Grosso





El carbón activado puede tener grupos funcionales en los bordes de las placas gráficas. Estos grupos pueden impartirle cierto carácter particular. Puede modificarse la química superficial de un carbón activado, de manera que se aumente su afinidad por cierto tipo de compuestos orgánicos.

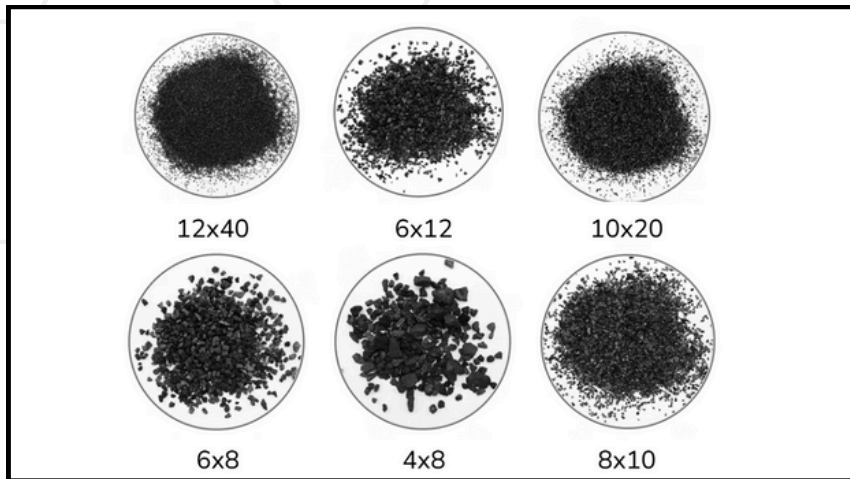
Formas y tamaños en los que se produce el carbón activado



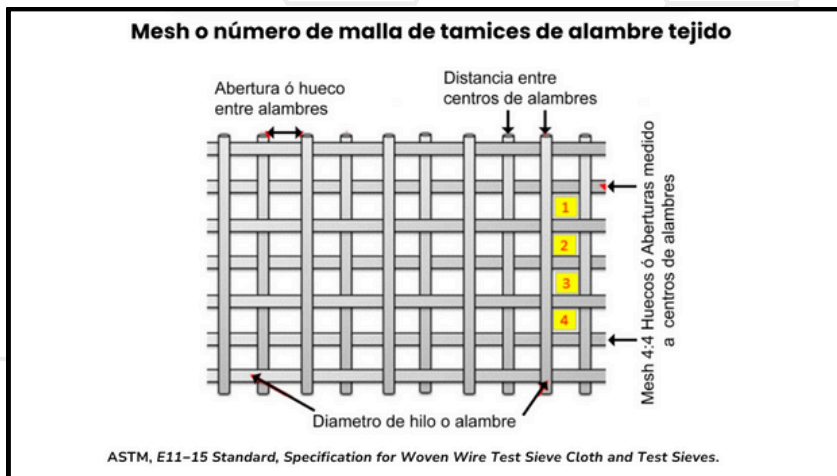
Se producen rejillas de carbón activado a partir de rejillas poliméricas que se carbonizan y activan. Se aplican principalmente en tratamiento de aire.



Aunque prácticamente no se encuentran en el mercado, algunas empresas con alta tecnología producen carbones esféricos. La fotografía es de un carbón producido en Japón por la empresa Kureha.



Las distintas formas de carbón se producen en distintos tamaños (o rangos de tamaño).



El mesh o número de malla es el número de alambres o de aberturas por pulgada lineal que se cuentan a partir del centro de cualquier alambre, hasta una distancia exactamente de una pulgada. Si el número resulta fraccionario, se redondea al entero inmediato superior (*ASTM E11-15 Specification for Woven Wire Test Sieve Cloth and Test Sieves*).

Abertura de tamices de alambre tejido (U.S. Standard Mesh)

Número Malla (U.S. STD. Sieves)	Abertura (mm)	Número Malla (U.S. STD. Sieves)	Abertura (mm)
4	4.75	35	0.500
5	4.00	40	0.425
6	3.35	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	1.19	100	0.149
18	1.00	200	0.074
20	0.841	325	0.044
25	0.707	400	0.037
30	0.595		

Existen diversas especificaciones para los tamices de alambre tejido. Las variaciones entre una y otra se deben, principalmente, a que el calibre de los alambres utilizados es distinto. La especificación estándar americana (*U.S. Std. Mesh*) es la misma que la *Tyler Mesh* (ASTM E11). Otras son: *British Standard Sieve* (BS 410), ISO 3310-1, DIN 4188, JIS (*Japanese Industrial Standard*), AS (*Australian Standard*). En relación a la evaluación de la calidad del carbón activado, los productores y usuarios de este sólido en todo el mundo han adoptado como referencia a la *American Standard for Testing and Materials* (ASTM). Como es natural, la ASTM define tamaños conforme a la especificación estándar americana.

Carbón activado granular: 90% mayor a la malla 80 (definición de la ASTM).

De lo anterior, un **carbón activado en polvo** es el que pasa la malla 80 (al menos en un 90%).

Comercialmente, los **carbones activados en polvo** casi siempre pasan la malla 200 (al menos en un 90%). En pocos casos se ofrecen carbones que pasan la malla 150.

Esto significa que, comercialmente, no se manejan carbones activados en polvo entre las mallas 80 y 150.



La ASTM considera que un carbón activado es “granular” cuando al menos 90% de las partículas que lo conforman es mayor a la malla 90. Por lo tanto, la ASTM considera que el carbón activado es “polvo” cuando más del 90% de sus partículas pasan la malla 80. Sin embargo, la mayor parte de los carbones activados que se ofrecen comercialmente en polvo pasan (al menos en un 90%) la malla 150. Por lo tanto, comercialmente, no se manejan carbones activados en polvo que estén entre las mallas 80 y 150.

Tamaños típicos de carbones activados que se manejan comercialmente (las mallas se refieren al U.S. Std. Mesh, que es la que considera la ASTM,)		
Forma	Tamaño o rango de tamaño	Nota
Granular	Se especifica un rango. Por ejemplo, 4x6 significa "entre las mallas 4 y 6". El estándar más usado es U.S. Standard Mesh: 4 x 6, 4 x 10, 6 x 12, 6 x 16, 8 x 16, 8 x 30, 12 x 20, 12 x 40, 20 x 50	Los rangos formados por partículas mayores (4 x 6 y 4 x 10) solamente se aplican a gases y vapores, ya que la adsorción es muy lenta en el caso de líquidos.
Polvo	Se especifica el % que pasa una, dos o tres mallas. Un ejemplo es el siguiente: 99% < malla 100 95% < malla 200 90% < malla 325	El carbón activado en polvo (CAP) únicamente se aplica en líquidos. El líquido y el CAP se agitan 1 h y el CAP se separa mediante filtro prensa.
Pélet (son cilindros)	Se especifica el diámetro nominal del cilindro: Diámetros de entre 0.8 y 5 mm	Normalmente se aplican a gases o vapores, ya que la forma cilíndrica causa una baja caída de presión.

La imagen muestra los tamaños o rangos de tamaño típicos de las tres principales formas en que se ofrecen comercialmente los carbones activados: granular, polvo y pélet.

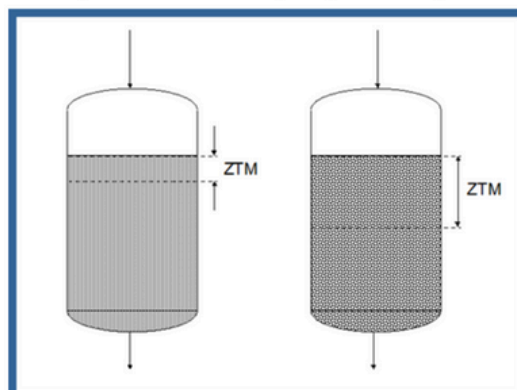


¿Qué diferencia hay en el desempeño de las distintas formas y tamaños de carbón activado?

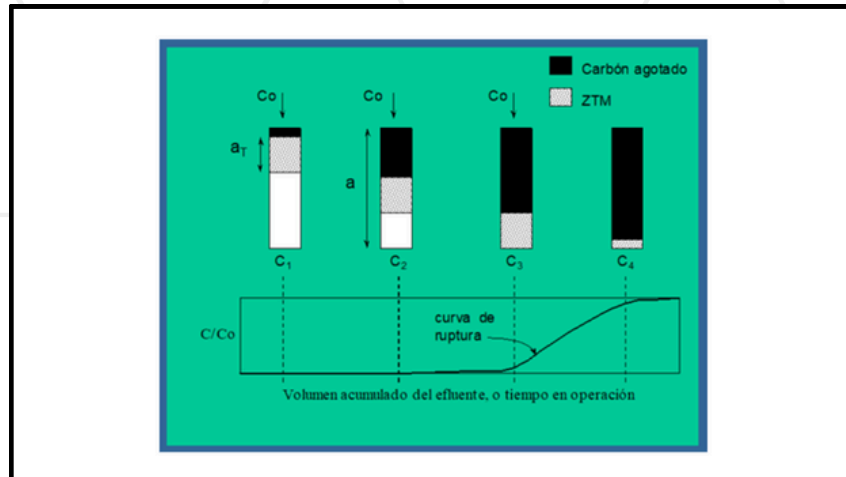
No tienen diferencias fisicoquímicas; solamente cinéticas. Es decir, adsorben lo mismo y con la misma capacidad, aunque unos adsorben con mayor rapidez que otros.

Independientemente de la forma y del tamaño, desde el punto de vista químico y fisicoquímico, el carbón activado es el mismo, y lo único que se afecta es la velocidad (cinética) con la que el carbón trabaja.

Incidencia del tamaño del carbón en la cinética de adsorción y en la resistencia que opone al flujo del fluido



Mientras menor es el tamaño promedio de partícula del carbón, este trabaja con mayor velocidad aunque causa mayor caída de presión al fluido. Supongamos que, en los recipientes de la imagen, tenemos carbón activado granular (CAG) del mismo tipo y grado de activación. La masa y el volumen de CAG en ambos recipientes son los mismos. La única diferencia está en el tamaño promedio de partícula: en el tanque de la izquierda, las partículas del CAG son menores. Ambos recipientes reciben el mismo flujo instantáneo de agua con una concentración determinada de un compuesto orgánico adsorbible. Digamos que el compuesto es benceno. El CAG de menor tamaño (recipiente de la izquierda) adsorbe el benceno con mayor rapidez, por lo que termina de hacerlo en una menor profundidad de cama. A esta profundidad se le llama zona de transferencia de masa (ZTM). Conforme se va saturando el CAG, la ZTM desciende en ambos recipientes. En el efluente del recipiente de la derecha, se detectará la presencia de benceno antes que en el efluente del recipiente de la izquierda.



El punto de ruptura es aquél en el la “fuga del compuesto” que debe adsorber el carbón, rebasa un límite máximo permitido. Esto nos lleva a concluir que, mientras menor es el tamaño promedio de las partículas de carbón activado, estas adsorberán con mayor rapidez. Por otro lado, sabemos que si formamos una cama de carbón activado por la que hacemos circular un fluido, mientras menor es el tamaño de las partículas de carbón, la caída de presión que sufrirá el fluido será mayor.

Una esfera de carbón activado:

Área superficial 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

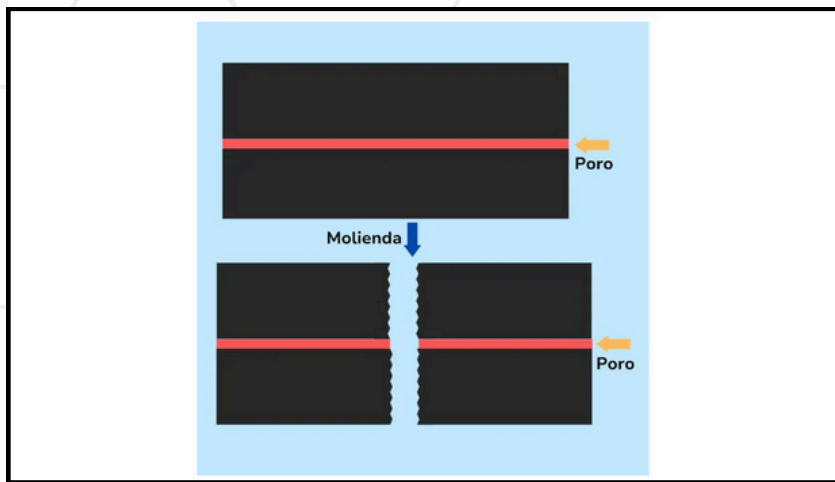
Pulverizamos a malla 325 (aberturas de 0.044 mm) y obtenemos:

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
 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%

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

En el ejercicio descrito en la imagen anterior se demuestra que, por más que se pulverice un carbón activado, es despreciable el aumento de su área superficial. Esto se debe a que el área superficial de los poros es mucho mayor que el área superficial exterior de las partículas de carbón activado.



En la parte superior de la imagen, esquematizamos un bloque de carbón con un poro. Dicho poro representa a una enorme cantidad de poros. Cada molécula adsorbible que entra al poro, se difunde hasta el centro, por un fenómeno parecido a la capilaridad. Esta difusión es el paso limitante (el 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 seguirá para ir llenando el poro. Como resultado, aunque no aumenta el área superficial de los poros, la cinética de adsorción sí.

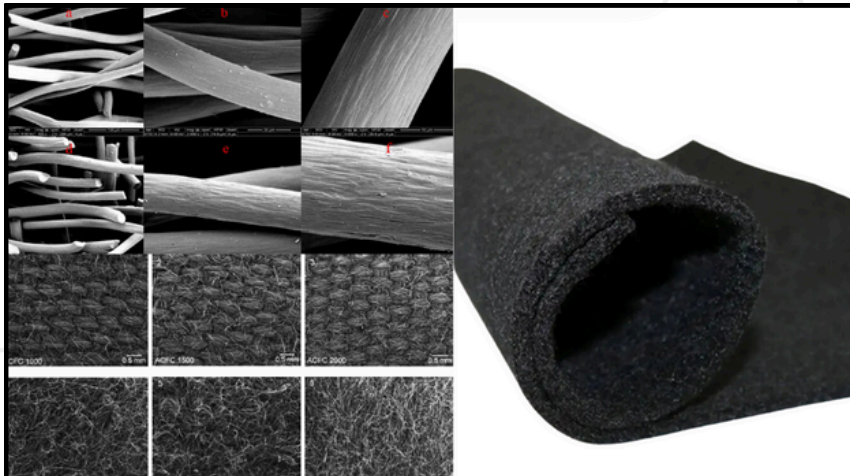
$V = \text{velocidad de adsorción de la partícula mayor}$
 $v = \text{velocidad de adsorción de la partícula menor}$

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

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 la velocidad de adsorción aumenta cuadráticamente en relación con la disminución del tamaño de la partícula.



Las formas más comunes son gránulos, polvo y pélets. El granular se aplica tanto en fase líquida como en fase gas. El polvo solamente se aplica en fase líquida. Los pélets se aplican en fase gas (en muy pocos casos en fase líquida).




También se producen fibras de carbón activado a partir de la carbonización y activación de fibras de materiales orgánicos sintéticos. Se aplican tanto en fase líquida como gas. Su principal ventaja es que el acceso a los poros es muy grande y trabajan con una muy alta cinética. Por otro lado, están las telas de materiales naturales o sintéticos que se impregnan con carbón activado que se adhiere a la tela con un agente ligante. Estas telas impregnadas se suelen aplicar como tratamiento de aire.

08

APLICACIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO EN LÍQUIDOS.

Escrito por:
Germán Grosso






$D = 1.2605 \text{ mm}$ (carbón 12 x 20)
 $d = 1.1255 \text{ mm}$ (carbón 14 x 20)

$$\frac{v}{V} = \frac{(1.2605)^2}{(1.1255)^2} = 1.25$$

La diferencia en el tamaño promedio de las partículas entre un carbón 12 x 20 y uno 14 x 20 es muy pequeña. Ambos carbones son casi idénticos. No obstante, el de menor tamaño promedio (el 14 x 20) adsorbe con una velocidad 25% mayor.



$D = 0.074 \text{ mm}$ (carbón en polvo, malla 200)
 $d = 0.044 \text{ mm}$ (carbón en polvo, malla 325)

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

Ahora comparamos la velocidad de adsorción de un carbón activado en polvo malla 325 respecto a la de uno malla 200. Ambos carbones se ven parecidos. Son como un talco negro. No obstante, el de menor tamaño (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.



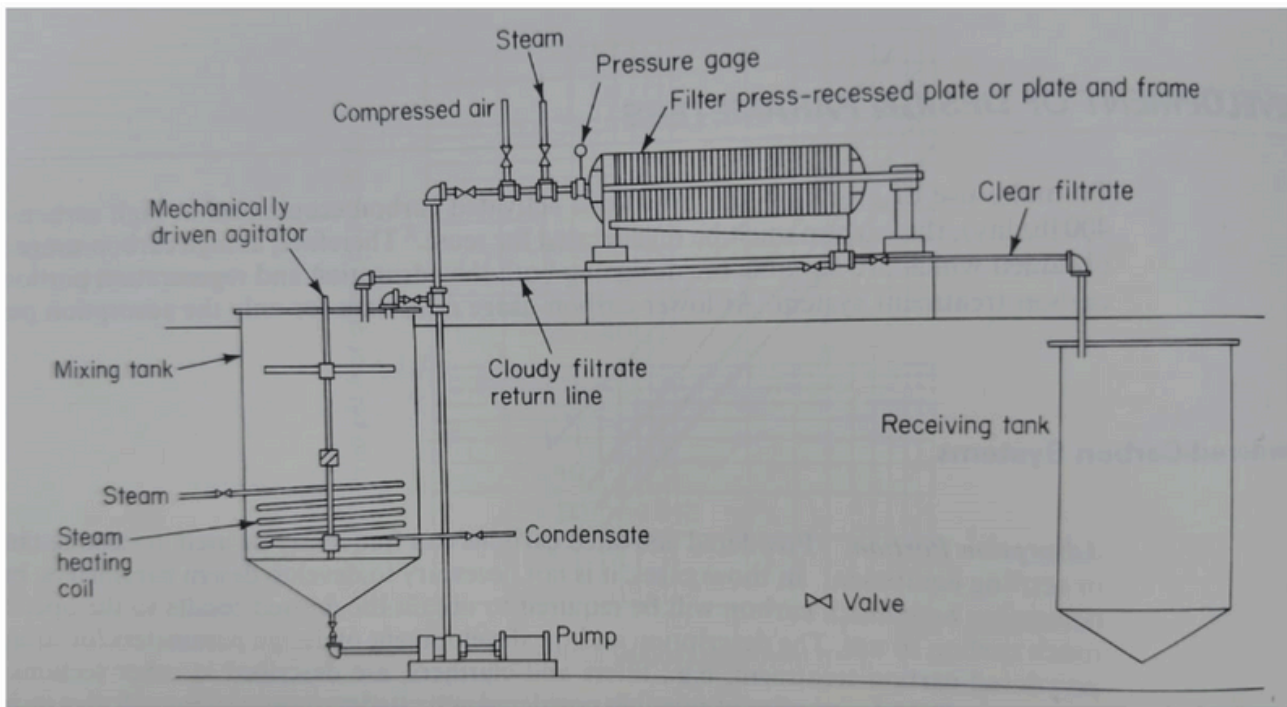
Supongamos que se desea probar si un carbón activado es capaz de decolorar un líquido. El carbón que queremos probar es granular y está entre las mallas 12 y 40. La dosis propuesta es 1 g/L. Se colocan 100 mL del líquido en un matraz Erlenmeyer, por lo que la cantidad de carbón a agregar es 0.1 g. Si se pulveriza el carbón hasta que la totalidad pase la malla 325, terminará su función en 15 min (es conocido que, con este tamaño de partícula, no requiere de más tiempo). No obstante, si no se pulveriza y se dosifica el carbón con su rango de tamaño (12 x 40), terminará de realizar su función de adsorber en 142 horas. ¿Cómo calculamos este valor? El diámetro promedio de partícula de un carbón 12 x 40 es 1.05 mm. La abertura de la malla 325 es 0.044 mm. Si dividimos 1.05 entre 0.044, y elevamos el resultado al cuadrado, obtenemos un valor de 569. Multiplicamos este valor por 15 min, y el resultado son 142 horas. Por lo tanto, si se va a aplicar carbón activado a un líquido en agitación, ya sea a nivel laboratorio o a escala industrial, el carbón debe pulverizarse, por lo menos hasta que la mayoría pase la malla 200.

¿En qué casos se utiliza carbón activado en polvo (CAP) y no carbón activado granular (CAG) para tratar un líquido?

- Cuando el carbón activado más adecuado no tiene suficiente resistencia mecánica y se erosionaría o rompería si se aplicara como CAG.
- Cuando la dosis de carbón es variable y debe ser muy precisa, de acuerdo con el lote a tratar (Ejemplo: la refinación de azúcar).
- Cuando solamente requiere aplicarse en lotes específicos (Ejemplo: un lote de un destilado de agave que resultó con un parámetro problema).
- Cuando solamente requiere aplicarse en ciertas épocas del año (Ejemplo: potabilización de agua de un cuerpo natural superficial que se ve afectado estacionalmente por la presencia de un alga).
- Cuando la cinética de adsorción en CAG es muy lenta (Ejemplo: decoloración de tequila reposado, añejo o extra-añejo, para obtener tequila cristalino).

Cuando el agua, además de tratarse con carbón activado, se va a someter a un proceso de coagulación-floculación-sedimentación. En este caso, el CAP se adiciona justo antes de dicho proceso, y se separa en el clarificador.

¿Cómo se aplica un carbón activado en polvo (CAP) en la purificación de un líquido?



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 (sustancialmente superior a 1 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 cercanos a 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.

MÁS INFORMACIÓN, ASESORÍA Y COTIZACIONES:

+52-33-3834-0906

www.carbotecnia.info

Email:

ventas@carbotecnia.com.mx

