

**▶ CAPACITACIÓN**

**APLICACIONES DE DECOLORACIÓN CON CARBÓN ACTIVADO EN POLVO**

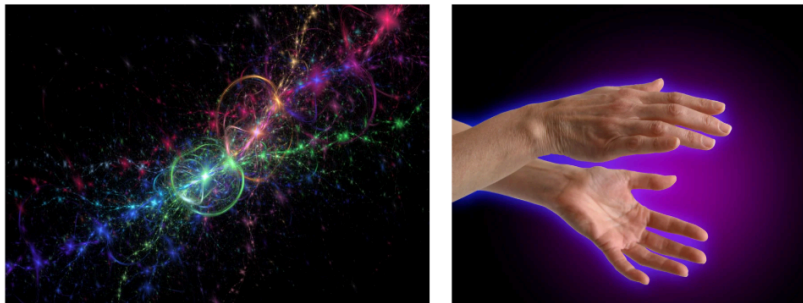
**MARTES**  
17 JUNIO | 25

PRESENTADO POR:  
**GERMÁN GROSSO**



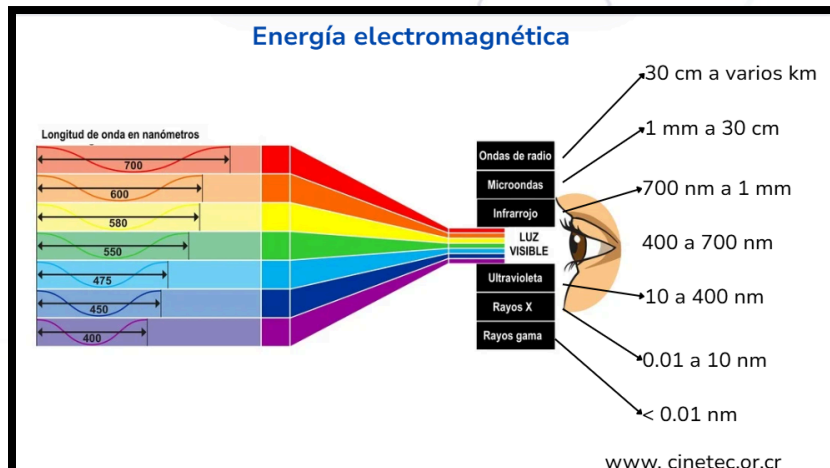
## Energía electromagnética

Todo grupo de átomos o moléculas a una temperatura mayor que 0 °K emite energía electromagnética.



Como se lee en la imagen, todo grupo de átomos o moléculas a una temperatura superior a 0 °K emite energía electromagnética.

## Energía electromagnética



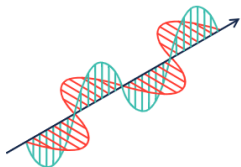
Esta energía puede tener longitudes de onda que van desde menos de una vigésima parte del diámetro del átomo de hidrógeno hasta de varios kilómetros. De entre esta energía, el rango de longitudes de onda que va de 380 a 740 nanómetros es la "luz visible". Es la que capta el ojo humano y está compuesta por los colores del arcoíris.

De entre las distintas longitudes de onda de la energía electromagnética, las que transmiten mayor energía térmica son la luz visible, el infrarrojo y las microondas.

## “Luz” es energía electromagnética



Velocidad de la luz (energía electromagnética) en el vacío:  
300,000 km/s



Se explica por:

- (1) Teoría ondulatoria clásica (Maxwell).
- (2) Teoría cuántica (Einstein, Planck y Dirac)

Todos hemos escuchado o leído que la velocidad de la luz en el vacío es cercana a 300,000 km/s. Esto es cierto, y también aplica a todo el espectro de la energía electromagnética. Por otro lado, hemos escuchado que, para explicar el comportamiento de la luz, son necesarias tanto la teoría ondulatoria clásica de Maxwell, como la teoría cuántica de Einstein, Planck y Dirac. Esto también aplica a todo el espectro de la energía electromagnética.

## Velocidad de la energía electromagnética

$$v = f \cdot \lambda$$

Símbolo	Magnitud física	Unidad en el SI	Comentario
$v$	Velocidad de propagación de la onda electromagnética	metros por segundo (m/s)	En el vacío, es $c = 299,792,458 \text{ m/s}$
$f$	Frecuencia de la onda	hercios (Hz = 1/s)	Número de ciclos por segundo
$\lambda$	Longitud de onda	metros (m)	Distancia entre dos crestas sucesivas

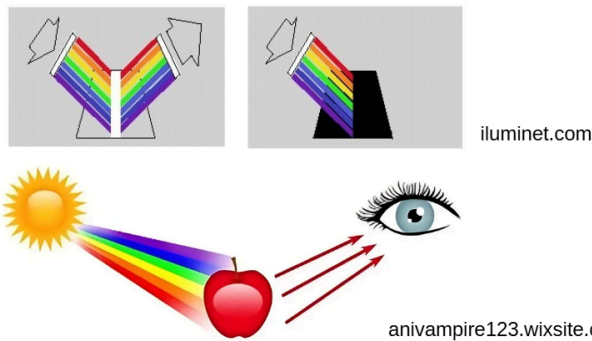
La energía electromagnética tiene una velocidad constante, independientemente de su longitud de onda, porque su frecuencia es inversamente proporcional a dicha longitud de onda.

## Energía radiante (causa y efecto de la E. electromagnética)

Tipo de radiación	Rango de longitud de onda (aprox.)	Frecuencia (Hz)	Comentarios
Rayos gamma ( $\gamma$ )	< 0.01 nm ( $10^{-11}$ m)	> $10^{20}$ Hz	Origen nuclear, muy penetrantes
Rayos X	0.01 – 10 nm	$10^{16}$ – $10^{20}$ Hz	Imagenología médica, difracción de rayos X
Ultravioleta (UV)	10 – 380 nm	$10^{15}$ – $10^{17}$ Hz	Daño a la piel, fluorescencia
Luz visible	380 – 750 nm	$\sim 4 \times 10^{14}$ – $7.9 \times 10^{14}$ Hz	Detectable por el ojo humano
Infrarrojo (IR)	750 nm – 1 mm	$10^{11}$ – $4 \times 10^{14}$ Hz	Calor, sensores térmicos
Microondas	1 mm – 30 cm	$10^9$ – $10^{11}$ Hz	Telecomunicaciones, radar, hornos de microondas
Ondas de radio	> 30 cm (hasta varios km)	< $10^9$ Hz	AM/FM, televisión, radioastronomía

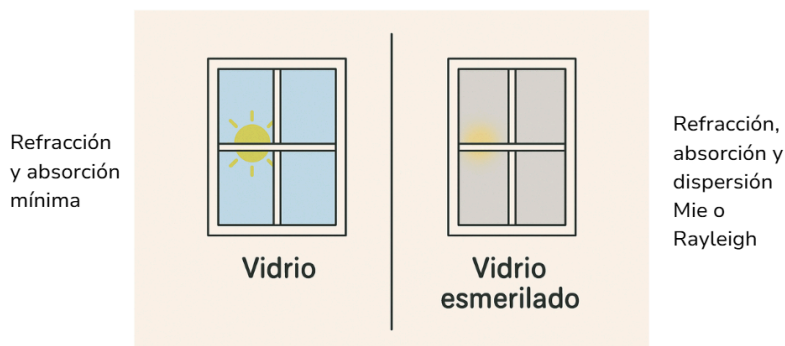
Cuando la energía electromagnética tiene un uso práctico o un efecto que nos importa, le llamamos energía radiante. En la imagen anterior se muestran algunas de los usos prácticos y de los efectos importantes de las distintas longitudes de onda que puede tener este tipo de energía.

## Absorción y reflexión de energía electromagnética en cuerpos opacos



Sabemos que la luz blanca se compone de todas las longitudes de onda del espectro visible. Si un haz de luz blanca incide en la superficie de un cuerpo opaco muy reflejante (blanco o plateado metálico brillante), casi toda se refleja. Si incide en una superficie de un tono negro intenso y opaco, el cuerpo absorbe todo el haz de luz y refleja muy poco. Si incide en una manzana que vemos roja es porque los compuestos de la cáscara de la manzana absorben las longitudes de onda lejanas al rojo y únicamente reflejan las longitudes de onda cercanas al rojo. Lo mismo sucede con los cuerpos que vemos de cada color: naranja, amarillo, verde, azul, índigo, violeta...

## Cuerpos transparentes y translúcidos



En los cuerpos transparentes o translúcidos en los que incide un haz de luz, además de absorción y reflexión (que es baja), ocurre transmisión, que es la luz atraviesa al cuerpo. A esta luz le puede ocurrir refracción, difracción y dispersión. Vale la pena conocer las bases de estos fenómenos que podemos experimentar cuando tratamos soluciones coloridas transparentes o translúcidas.

### Cuerpos transparentes y translúcidos

Curvatura o expansión que sufre una onda (no cambia  $\lambda$  ni  $f$  ni  $v$ . No cambio de medios. Genera interferencias (franjas de luz y sombra).

#### Comportamiento de las ondas de luz

Cambio de dirección,  $\lambda$  y velocidad por cambio de medios. No cambia  $f$ .

Dispersión cromática: un haz de luz blanca se separa en sus distintos colores al atravesar un medio donde cada color se propaga a distinta velocidad.

### Moléculas que confieren color a una solución

Agua de jamaica  
(delfinidina-3-sambubiósido, que es una antocianina)

El agua de Jamaica se ve roja porque las moléculas de delfinidina-3-sambubiósido que forman parte de ella absorben las distintas longitudes de onda de la luz visible, aunque no las cercanas al rojo. Por lo tanto, la luz transmitida —la que atraviesa la solución— es roja.

### Moléculas inorgánicas que confieren color a una solución

Electrones en orbitales d absorben luz, saltan a niveles de mayor energía y, al regresar casi de inmediato a su estado original, liberan energía en forma de luz de una longitud de onda específica.

Los compuestos inorgánicos suelen conferir color cuando contienen metales de transición. Estos metales tienen orbitales d o f incompletos. Al incidir la luz visible en ellos, los electrones de los orbitales mencionados se excitan y pasan a niveles de mayor energía. Casi de inmediato regresan a su nivel de energía original, y, al hacerlo, emiten energía electromagnética que puede ser visible aunque no en todo el rango de longitudes de onda que conforman la luz blanca. Si la energía que emiten tiene longitud de onda cercana al azul, el compuesto conferirá color azul a toda la solución en la que se encuentra disuelto.

## Moléculas orgánicas que confieren color a una solución

- Enlaces dobles conjugados: es decir, doble, simple, doble, simple.... Este patrón permite que los electrones se desplacen con facilidad a través del sistema, y así puedan absorber luz visible.
- Presencia de cromóforos, que son grupos químicos que absorben ciertas longitudes de onda de luz. Ejemplos comunes:  
Grupo azo ( $-N=N-$ )  
Grupo nitro ( $-NO_2$ )  
Grupo carbonilo ( $C=O$ ).
- Auxocromos, como  $-OH$  o  $-NH_2$ , no generan color por sí solos, pero modifican o intensifican el color del cromóforo cuando están cerca de él en la molécula.

En el caso de los compuestos orgánicos, el color suele deberse a lo que menciona la imagen.

## Moléculas orgánicas más pequeñas que confieren color a una solución acuosa

Nombre	Fórmula	Masa molar (g/mol)	Color en agua	Comentarios
P-nitrofenol	$C_6H_5NO_2$	139.11	Amarillo (en pH básico)	Es incoloro en medio ácido, pero en medio alcalino se ioniza y da un amarillo brillante.
P-nitroanilina	$C_6H_4N_2O_2$	138.13	Amarillo	Tiene grupo $-NH_2$ (auxocromo) y $-NO_2$ (cromóforo). Poco soluble en agua fría, más soluble caliente.
Ácido pírico (2,4,6-trinitrofenol)	$C_6H_2N_3O_7$	229.10	Amarillo intenso	Alta solubilidad en agua (hasta 12 g/l), incluso en frío. Muy estable como colorante, pero es explosivo.
Indofenol	$C_{12}H_9NO$	~183	Azul o violeta	Colorante clásico, soluble en agua con ayuda de pH o sales; reacción base de ciertos métodos analíticos.
Azul de metileno	$C_{16}H_{14}ClN_4S$	319.85	Azul	No es de los más pequeños, pero es uno de los colorantes más usados en agua. Soluble sin requerir disolventes auxiliares.
Fenoltaleína	$C_{20}H_{14}O_4$	318.32	Incolora → rosa → fucsia (según pH)	Entra como ejemplo límite por peso, pero es uno de los colorantes orgánicos más conocidos en agua.

Podemos observar que las moléculas orgánicas más pequeñas que confieren color a una solución acuosa tienen masas molares cercanas a 140 g/mol. Estas se desplazan (difunden) con rapidez en microporos y se adsorben bien en dichos microporos.

## Moléculas orgánicas medianas que confieren color a una solución acuosa

Nombre	Masa molar (g/mol)	Tipo	Color	Grupos que permiten solubilidad
Azul de metileno	319.85	Tiazina	Azul intenso	$Cl^-$ (sal), $N^+$ cargado
Indigotina (Índigo carmin)	466.35	Derivado del índigo	Azul violáceo	2 grupos $-SO_3^-$
Tartrazina (E102)	534.36	Azo (alimentario)	Amarillo	2 grupos $-SO_3^-$
Rojo allura (E129)	496.42	Azo	Rojo	$-SO_3^-$ ; grupos polares
Amarillo ácido 36	~617.5	Azo con estructura extendida	Amarillo anaranjado	2-3 $-SO_3^-$ y cadenas polares
Betaina (de betabel)	550.5	Betalaina natural	Rojo púrpura	Grupo amino, grupos ácidos ( $COO^-$ ), glucósido
Antocianinas (ej. cianidina-3-glucósido)	449-700	Flavonoides glucosilados	Rojo, azul, púrpura	Glucosa, grupos OH, sales de flavylum

Las moléculas medianas que confieren color a soluciones acuosas tienen masas molares de entre 300 y 700 g/mol. Son moléculas que, por su tamaño, no caben en los microporos. Requieren mesoporos tanto para desplazarse como para adsorberse. Los ejemplos que menciona la imagen únicamente corresponden a moléculas hidrosolubles. Las hay liposolubles

y que el carbón también adsorbe bien (como es el caso de la decoloración de aceites).

## Ácidos húmicos y fúlvicos. Taninos y lignina

Compuestos orgánicos de **baja toxicidad**. Cuando su concentración es relativamente alta, **brindan al agua un tono amarillento y generan sabores terrosos, astringentes, amargos o a moho**. Mejoran la fertilidad de la tierra.

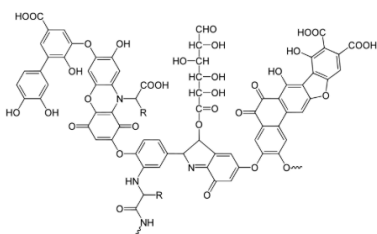
**Ácidos húmicos:** masa molar 10,000 a 100,000 g/mol. Muy poco solubles en agua. Color marrón oscuro. Mejoran la fertilidad del suelo. Reaccionan con metales y disminuyen su toxicidad. **Prácticamente no son adsorbibles en carbón activado.**

**Ácidos fúlvicos:** masa molar 500 a 5,000 g/mol. Solubilidad intermedia en agua. Color marrón claro o amarillo. Tienen mayor porcentaje de oxígeno en su estructura. **Adsorbibles en carbones activados de poros grandes.**

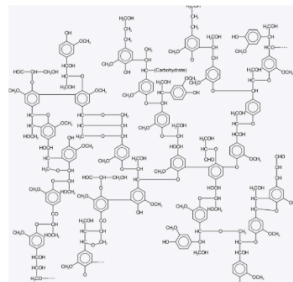
**Taninos y ligninas:** masa molar 500 a 20,000. Se derivan de la descomposición de materia vegetal. **Los de alta masa molar no son adsorbibles en carbón activado.**

De entre las moléculas grandes que confieren color, las que tienen masas molares mayores a 20,000 o 30,000 g/mol, no caben ni en los macroporos por lo que el carbón activado no las adsorbe con eficiencia.

### Ácidos húmicos



### Ligninas



Fuente:Wikipedia

Entre las moléculas que no caben en los poros más grandes de un carbón activado están los ácidos húmicos y las ligninas.

### Blanqueamiento de azúcar de caña o remolacha

Propósito fundamental: obtener un **producto estable**

Se reduce el color oscuro del azúcar crudo causado por **pigmentos naturales, compuestos fenólicos y melanoidinas** (formadas por la reacción de Maillard).

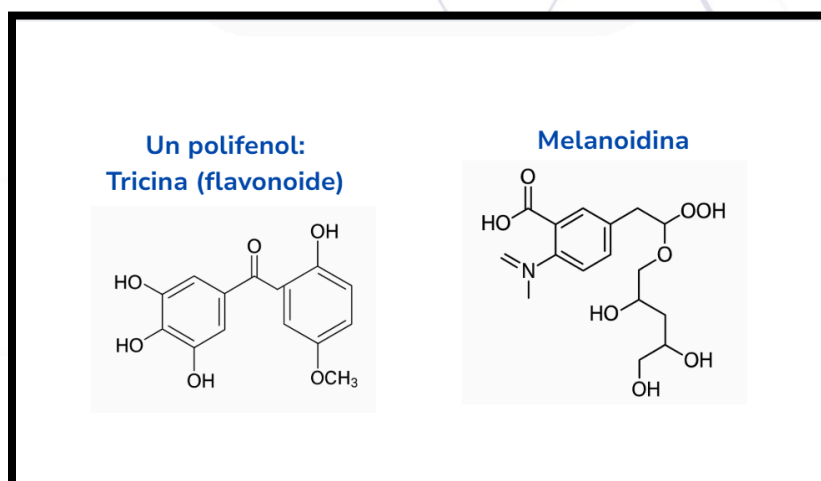


En cuanto a las aplicaciones de decoloración de soluciones con carbón activado, una de las más comunes es el blanqueamiento de azúcar de caña o remolacha. El blanqueamiento se lleva a cabo principalmente con el propósito de obtener un producto estable. Esto es, un producto que no

fermenta. Las moléculas que confieren color al jugo de caña o remolacha son pigmentos naturales, compuestos fenólicos y melanoidinas.

Pigmentos naturales presentes en el jugo de caña no refinado				
Tipo de pigmento	Compuestos principales	Origen	Color observado	Solubilidad
Polifenoles (precursores oxidables)	Ácido cafeico, ácido ferúlico, ácido p-cumárico, ácido clorogénico	Tejido vegetal de la caña	Amarillo claro – marrón (tras oxidación)	Solubles en agua
Quinonas (productos de oxidación)	Benzoquinona, orto-quinonas derivadas de polifenoles	Por oxidación enzimática post-corte	Marrón a marrón oscuro	Solubles o parcialmente solubles
Clorofilas (trazas)	Clorofila a, clorofila b	Si hay contaminación con hojas	Verde amarillento (muy débil)	Liposolubles, no estables
Carotenoides (trazas)	β-caroteno, luteína	Tejido celular, especialmente si hay corteza	Amarillo anaranjado (mínimo)	Liposolubles
Melanoidinas (iniciales)	Productos tempranos de Maillard (si hubo algo de calor)	Etapas post-corte o preevaporación	Amarillo oscuro a pardo	Solubles, peso molecular medio
Pigmentos nitrogenados naturales	Compuestos nitrogenados conjugados	Metabolismo de la caña	Amarillento o pardo	Solubles

La imagen muestra de manera más específica los principales grupos de moléculas que confieren color al jugo de caña o de remolacha. Podemos darnos cuenta de que son compuestos muy diversos.



La imagen muestra dos ejemplos de estas moléculas.



El azúcar es solo un ejemplo de que las moléculas que confieren color a los líquidos obtenidos a partir de vegetales son muy diversas. En el caso de los vinos blancos, se suele aplicar carbón activado para lograr el tono que el fabricante busca. La razón de este tono suele tener un motivo estético.



La producción de jugos de frutas y vegetales muchas veces conlleva un paso de decoloración y de homogenización del color.



También se decoloran aceites mediante carbón activado. Tal es el caso del aceite de coco, entre otros.



La industria farmacéutica decolora productos tanto obtenidos sintéticamente como a partir de materias primas de origen vegetal.



En el caso del agua, se busca cumplir con un parámetro de color tanto en el agua potable como en las aguas residuales que se van a descargar.



Se decoloran productos cosméticos de origen vegetal.



También se requiere decolorar el solvente que utilizan las tintorerías para el “lavado en seco”. El más común es percloroetileno.



Se decoloran aceites esenciales.



Se decoloran solventes por motivos estéticos o prácticos. Un motivo práctico consiste en obtener un producto de mayor pureza, que no contamine cuando se aplique.



Se decolora la glucosa que se obtiene a partir del maíz. Este es un producto que se fabrica mucho en Guadalajara.

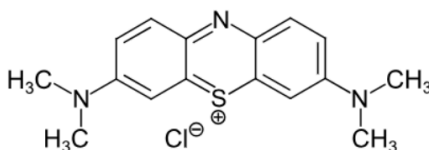


Y hay aplicaciones nuevas como la producción de tequila cristalino —tan incomprensible desde el punto de vista de la calidad organoléptica pero que, por la suavidad lograda, es bien aceptado por muchos actualmente—.

### Actividad al azul de metileno

(Estándar nacional China: GB/T 12496.10-1999)

Molécula  
(masa molar:  
319.85  
g/mol)



Actividad al azul de metileno se expresa en:

g de AM/100 g CA

mg AM/g CA

En cuanto a los estándares para medir la calidad de un carbón activado que se aplicará para decolorar líquidos, uno es la actividad al azul de metileno. Se expresa en g de azul de metileno que adsorben 100 g de carbón activado, o mg de azul de metileno que adsorbe un gramo de carbón activado, cuando la concentración residual de azul de metileno en la solución es del orden de entre 0.1 y 0.2 mg de azul de metileno por litro de solución tratada. La ASTM no publica un estándar para determinar la actividad al azul de metileno de un carbón activado. La República Popular de China publica el estándar que se menciona en la imagen.

### Decoloración de melazas

(No hay un estándar universalmente aceptado )

(masa molar  
muy variable  
> 200 g/mol)

- Polifenoles (ácidos fenólicos, flavonoides)
- Productos de reacciones de Maillard
- Melanoidinas (productos de condensación azúcar-aminoácido)
- Antocianinas y pigmentos vegetales residuales
- Restos de lignina degradada, si la clarificación fue deficiente

$$RE (\%) = \left( \frac{A_0 - A}{A_0} \right) \times 100$$

Otro parámetro para valorar la capacidad de decoloración de un carbón activado es la decoloración de melazas. No hay un estándar de aceptación

universal. El ensayo consiste en medir la disminución porcentual de la absorbancia de una solución de melazas tratada con determinada cantidad de carbón activado. Esta cantidad depende de cada protocolo —por ejemplo, 1.0 g de carbón activado por 100 ml—.

### Decoloración de caramelo (sintético)

(Estándar nacional China: GB/T 12496.9-2015)

(masa molar  
variable  
> 1000 g/mol)

Caramelo sintético  
de absorbancia  
conocida

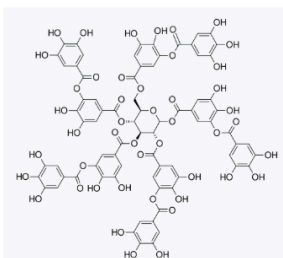
$$\text{Decoloración (\%)} = \left( \frac{A_0 - A}{A_0} \right) \times 100$$

El estándar publicado por la República Popular China que muestra la imagen aplica también a la decoloración de azúcar de caña o remolacha, pero coloreada no por melazas naturales sino por un caramelo que se obtiene sintéticamente. Este método tiene la ventaja de que se pueden comparar resultados entre distintos laboratorios. Con el método de decoloración de melazas, no son comparables los resultados de dos laboratorios ya que cada uno cuenta con melazas distintas. La desventaja del caramelo sintético es que está formado por compuestos mucho menos plurales que los que conforman una melaza.

### Valor de taninos

(AWWA B600-16)

$C_{76}H_{52}O_{46}$   
(masa molar  
1701.19  
g/mol)

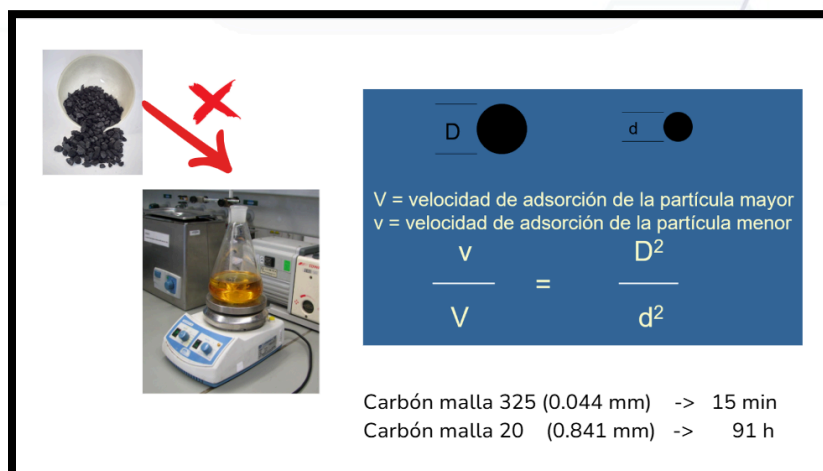


mg por litro de CA requerido para disminuir la  
concentración de ácido tánico de 20 mg/L a 2 mg/L.

Otro parámetro utilizado para valorar la capacidad de decoloración de un carbón activado es el valor de taninos, descrito en el estándar B600-16 —*Powdered Activated Carbon*— de la AWWA —*American Water Works Association*—. Este método consiste en determinar la cantidad de carbón activado, expresada en miligramos por litro, necesaria para reducir la concentración de una solución de ácido tánico desde un valor inicial de 20 mg/L hasta un valor final de 2 mg/L. El ácido tánico es un compuesto fenólico que aporta color a las soluciones y que se encuentra comúnmente en productos de origen vegetal.



Finalmente, la mejor manera de valorar la capacidad de decoloración de carbón activado es aplicándolo al líquido que se requiere decolorar. Una técnica muy útil para valorar esta capacidad de adsorción de un carbón activado consiste en obtener la isoterma de adsorción, a través de agregar distintas dosis de carbón a una misma cantidad del líquido, agitar durante un tiempo suficiente (que suele ser de entre una y dos horas), filtrar y analizar el color obtenido. Se le llama isoterma porque todos los matraces deben mantenerse durante la prueba a la misma temperatura para que sean comparables los resultados obtenidos en cada uno de ellos. El método D3860 de la ASTM es una guía detallada de cada paso a realizar así como la manera de reportar e interpretar los resultados.



Para obtener la isoterma de adsorción es fundamental aplicar el carbón en forma pulverizada, conforme a las indicaciones específicas de cada método. Esta pulverización debe realizarse incluso si, en la aplicación industrial, el carbón se utilizará en forma granular. La razón es que, si el carbón no se pulveriza adecuadamente, el tiempo necesario para alcanzar el equilibrio de adsorción —es decir, el punto en que la adsorción de colorantes por el carbón se estabiliza— se incrementa de forma considerable. Como lo muestra la imagen, si una partícula que justo pasa la malla 325 (con abertura de 0.044 mm) tarda 15 minutos en alcanzar el equilibrio, una partícula que justo pasa la malla 20 (0.841 mm) tardará 91 horas en alcanzar el equilibrio. Es por ello que, cuando no se pulveriza adecuadamente el carbón que se va a probar, parece que no funciona.

## ¿Por qué se suele utilizar CAP para decolorar?



Los carbones activados utilizados para decoloración suelen aplicarse en forma pulverizada. Esto se debe a que, en su mayoría, presentan una estructura porosa dominada por mesoporos y macroporos, la cual se asocia comúnmente con una baja resistencia mecánica. Cuando estos carbones se utilizan en forma granular, tienden a fracturarse o erosionarse con facilidad durante el manejo o la operación.

Si se desea aplicar un carbón con poros grandes en forma granular, una alternativa viable es aglomerarlo —si se parte de carbón activado en polvo— o reaglomerarlo —si se utiliza carbón granular de baja resistencia mecánica como materia prima—. Tanto la aglomeración como la reaglomeración se realizan mediante la incorporación de un agente ligante, seguida de un proceso de extrusión y horneado para conferir al material la integridad mecánica necesaria.

### Ventajas de un CAP (respecto a un CAG)

- \*Se aprovecha totalmente.
- \*Permite dosificar la cantidad exacta de carbón requerido.

### Desventajas

- \* La filtración es más compleja (se hace por lotes)
- \* No es rentable la reactivación.

### Importante cuidar

- \* pH del carbón
- \*Pureza

La aplicación de carbón activado en forma pulverizada (CAP) presenta dos ventajas importantes. La primera es que se aprovecha completamente, ya que todo el carbón dosificado alcanza el equilibrio. En cambio, cuando se emplea carbón activado granular (CAG) en un lecho fijo, debe desecharse o enviarse a reactivación una vez que el efluente ya no cumple con los parámetros de calidad requeridos, aun cuando el carbón aún no ha alcanzado su saturación completa. La segunda ventaja del CAP es que permite dosificar con precisión la cantidad exacta de carbón necesaria para cada tratamiento. Entre sus desventajas destacan dos: (1) La separación del carbón del líquido, que requiere de un proceso de filtración más compleja; y (2) La reactivación térmica del CAP no es rentable, debido a su tamaño de partícula, que es difícil de manejar.

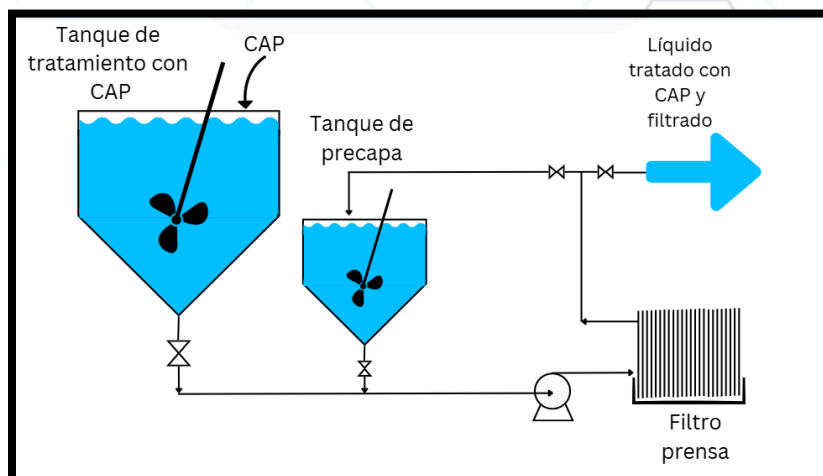
Además, existen dos aspectos críticos que deben controlarse cuando se aplica un carbón activado pulverizado: el pH que genera el carbón en el

extracto acuoso y su grado de pureza. A diferencia del CAG, el CAP no puede prelavarse antes de su aplicación, por lo que los compuestos solubles, que son sales inorgánicas presentes —y que proceden de la materia prima a partir de la que se obtuvo el carbón—, se disuelven en el líquido tratado. Por esta razón, el CAP que se utilice debe contar con el grado de pureza adecuado para no afectar negativamente al líquido que va a decolorar.

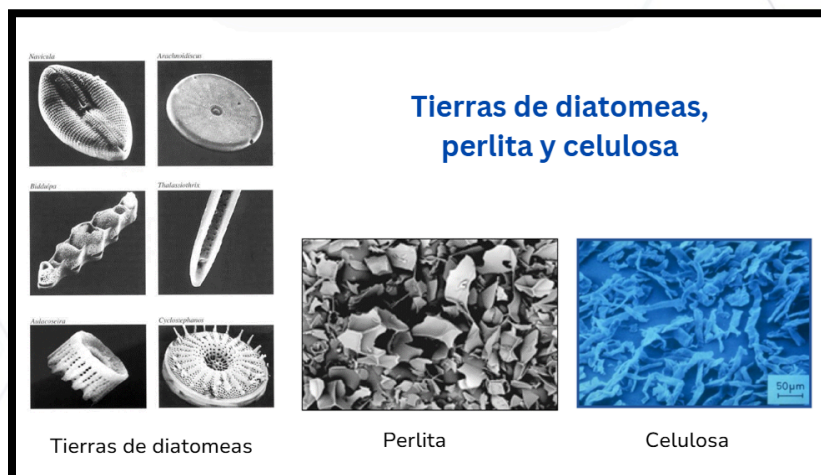
## Algunas ventajas del CAG (aglomerado o reaglomerado)

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

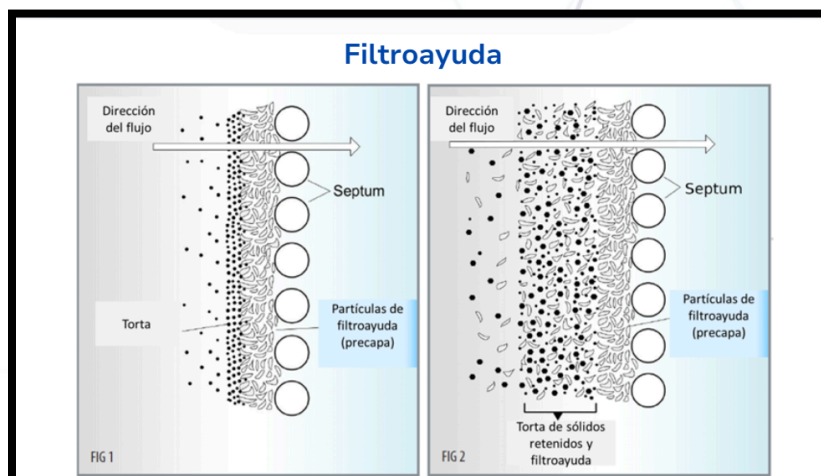
Como mencionamos con la imagen anterior, el carbón activado granular o el aglomerado o reaglomerado tienen la ventaja de que pueden reactivarse y lavarse antes de ponerse en operación.



Este esquema muestra una instalación típica para aplicar carbón activado en polvo. Se requiere un tanque de tamaño pequeño en relación con el tanque de proceso para formar la precapa en el filtro prensa. En este tanque se añade el filtroayuda a cierto volumen del líquido tratado en lotes anteriores. Se requiere de cierta habilidad para llevar a cabo este proceso y en Carbotecnia podemos acompañarlo.



Los filtroayudas son necesarios para separar el CAP del líquido mediante filtración.

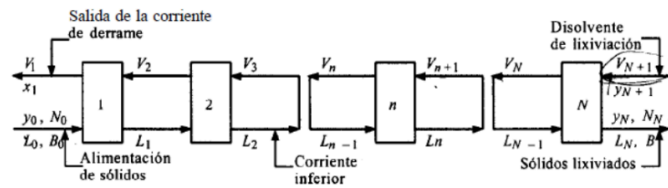


Los filtroayudas forman una precapa muy porosa que retiene las partículas de carbón y evita el apelmazamiento y la colmatación del filtro. Hay casos en los que el filtroayuda no solamente se adiciona para formar la precapa, sino que se agrega a todo el líquido a filtrar.



El mejor carbón activado para una aplicación en particular es insuficiente. Para obtener el mejor resultado del mismo, debe aplicarse con el método adecuado. En Carbotecnia estamos convencidos de ello y sabemos que nuestro servicio requiere más allá de entregar el carbón activado. Ya que es nuestra especialidad, ofrecemos el acompañamiento que pueda serle útil o necesario al usuario.

## Ahorro en carbón activado de hasta 75%



Un ejemplo de lo que puede lograrse con métodos adecuados es la disminución de la dosis requerida de CAP cuando este se aplica en multietapas. Se puede disminuir la cantidad de carbón requerido hasta en un 75%. Este caso se justifica cuando el consumo de carbón es alto, ya que cada etapa de adsorción-filtración conlleva un costo operativo.

## Gracias por su atención

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

