



EPA

BOLETIN TECNICO

ZEOLITA UN ADSORBENTE VERSATIL DE CONTAMINANTES DEL AIRE

C LEAN
A IR
T ECHNOLOGY
C ENTER



EPA-456/F-99-003
Mayo 1999

**ZEOLITA
UN ADSORBENTE VERSÁTIL
DE CONTAMINANTES DEL AIRE**

Preparado por

*Clean Air Technology Center (MD-12)
Information Transfer and Program Integration Division
Office of Air Quality Planning and Standards
U.S. Environmental Protection Agency
Research Triangle Park, North Carolina 27711*

ACLARACIÓN

Este reporte ha sido revisado por la *Information Transfer and Program Integration Division* de la *Office of Air Quality Planning and Standards, U.S. Environmental Protection Agency* y aprobado para su publicación. La aprobación no significa que el contenido de este reporte refleje los puntos de vista y las políticas de la *U.S. Environmental Protection Agency*. La mención de nombres comerciales o de productos comerciales no significa un endoso ni recomendación para su uso. Se pueden conseguir copias de este reporte del *National Technical Information Service, U.S. Department of Commerce, 5285 Port Royal Road, Springfield, Virginia 22161*, numero telefonico (800) 553-6847.

ANTECEDENTES

El *Clean Air Technology Center (CATC)* [Centro para la Tecnología del Aire Limpio] sirve como un recurso en todas las áreas de tecnologías existentes y emergentes para la prevención y el control de contaminantes del aire, y provee acceso público a los datos y a la información sobre su uso, efectividad, y costo. Además, el *CATC* proporciona apoyo técnico, incluyendo acceso a las bases de conocimientos que mantienen la *EPA*, las agencias gubernamentales y otros, según lo permitan los recursos disponibles, relacionadas con la operación, mantención y factibilidad técnica y económica, y de estas tecnologías.

Acceso Público y Transferencia de Información

INTERNET / World Wide Web Home Page

<http://www.epa.gov/ttn/catc>

Comunicaciones

CATC Info-Line: (919) 541-0800 (Ingles)

FAX: (919) 541-0242

CATC/CICA Info-Line: (919) 541-1800 (Espanol)

E-Mail: catcmail@epamail.epa.gov

Gratis de Mexico (800) 304-1115 (Espanol)

Recursos de Datos

- ***RACT/BACT/LAER Clearinghouse (RBLC)***
Buscar, ver, y bajar a disco datos que tienen que ver con:
 - *Source Specific Technology Applications*
(Aplicaciones Tecnológicas para Fuentes Específicas)
 - *Air Pollution Regulatory Requirements*
(Requerimientos Regulatorios para Contaminantes del Aire)

- **PRODUCTOS DEL CATC**

Bajar a disco reportes técnicos, información de costos y programas.

Programas y Centros Relacionados

- **CICA - Centro de Información sobre Contaminación del Aire**
- **SBAP - Small Business Assistance Program**
- **International Technology Transfer Center for Global Greenhouse Gasses**

RECONOCIMIENTOS

Este boletín técnico se hizo posible por los esfuerzos diligentes y persistentes del Ing. Lyndon Cox, *Senior Environmental Employee* del *Clean Air Technology Center (CATC)*. Lyndon hizo un trabajo excepcional en la identificación de fuentes de información, en la recolección de datos relevantes y la elaboración de este boletín. El *CATC* agradece la ayuda de los correctores del borrador la Sra. Madeleine Strum del *Coating and Consumer Products Group, Emission Standards Division, Office of Air Quality Planning and Standards*, y el Ing. Chester A. Vogel del *Emissions Characterization and Prevention Branch, Air Pollution Prevention and Control Division, National Risk Management Research Laboratory* por su cooperación y sus comentarios útiles y oportunos.

Además, el *CATC* quisiera agradecer a los individuos, compañías e institutos que proporcionaron información de la zeolita y la tecnología de adsorción que se incorporó en este Boletín Técnico. En la sección de REFERENCIAS de este boletín se enlistan tales contribuciones..

CONTENIDO

TEMA	Pagina
PROPÓSITOS DE ESTE DOCUMENTO.....	1
¿QUÉ ES LA ZEOLITA?.....	1
¿POR QUÉ SINTETIZAMOS LA ZEOLITA?.....	2
¿CUALES SON LAS CARACTERÍSTICAS IMPORTANTES DE LA ZEOLITA?.....	3
¿CÓMO SE PUEDE UTILIZAR LA ZEOLITA PARA CONTROLAR LOS CONTAMINANTES DEL AIRE?.....	4
¿TIENE LA ZEOLITA UN USO FUERA DEL CAMPO DE CONTROL DE CONTAMINANTES DEL AIRE?.....	6
¿QUÉ DEBERÍAMOS ESPERAR EN EL FUTURO?.....	8
¿QUÉ MÁS NECESITAMOS SABER?.....	10
REFERENCIAS.....	10

FIGURAS

1. Estructura en Y del Cristal de Zeolita	3
2. Concentrador de COV.....	5
3. Adsorbedor por Regeneración al Vacío.....	9
4. Separación en Cascada al Vacío.....	9

ESTA PÁGINA SE DEJA INTENCIONALMENTE EN BLANCO

PROPÓSITOS DE ESTE DOCUMENTO

Los propósitos de este documento son que usted se familiarice con: 1) la zeolita, 2) lo que puede contribuir al control de los contaminantes del aire - particularmente el control de los Compuestos Orgánicos Volátiles (COV) - y 3) lo que se puede esperar en el futuro.

¿QUÉ ES LA ZEOLITA?

La Zeolita es una roca compuesta de aluminio, silicio, y oxígeno. Se halla en una variedad de regiones del mundo donde la actividad volcánica prehistorica ocurrió cerca del agua, o donde el agua ha estado presente por milenios desde las erupciones. En 1756, el mineralogista sueco Baron Axel Fredrick Cronstedt descubrió la zeolita. Se relata que su perro sacó la piedra mientras escarbaba, y el mineralogista la llamó zeolita debido a que significa “perro” en sueco. En otro relato, se dice que descubrió que cuando la zeolita (la cual era realmente *Stilbite*) se calentaba, emitía vapor. Zeolita significa “piedra hirviendo” en griego. Como no sé sueco ni griego, tendrán que juzgar por su cuenta cual de estas historias son ciertas. Sabemos a ciencia cierta que la zeolita fue descubierta.

La zeolita tiene una porosidad natural debido a que tiene una estructura cristalina con ventanas, jaulas, y superjaulas. Las zeolitas naturales tienen ventanas de tamaño limitado (“tamaño de poro”) y todas son hidrofílicas (tienen afinidad por el agua). Algunas zeolitas sintéticas se parecen al carbón absorbente, dado que ambas pueden considerarse hidrofóbicas (tienen afinidad por los compuestos orgánicos, con poca o ninguna afinidad por el agua), y pueden adsorber vapores orgánicos con moléculas de tamaño más pequeño que el de sus poros. Tanto el carbón como la zeolita pueden adsorber agua y moléculas orgánicas; sin embargo, aquello por lo que tenga mayor afinidad, desplazará las demás moléculas. La zeolita tiene un “tamaño de poro” uniforme, lo cual hace que se le denomine como un “tamiz molecular”, mientras parece que los carbones tienen poros que se comunican con poros más pequeños que a su vez se comunican con poros todavía más pequeños *ad infinitum*.

“El carbon absorbente”, el cual es en realidad un adsorbente, también tiene afinidad por el agua en algunos sitios, lo que disminuye su capacidad para adsorber las moléculas orgánicas de las corrientes que contienen moléculas de agua. Esto puede ser cierto o no en el caso de la zeolita, dependiendo del tipo de zeolita que se seleccione. Generalmente, entre mayor sea la razón de silicio y aluminio, más hidrofóbica es la zeolita. Las zeolitas hidrofóbicas tiene que ser sintetizadas, ya que no se encuentran en la naturaleza. ¡Por lo cual, la carrera para sintetizar zeolitas con características específicas ha comenzado!

¿POR QUÉ SINTETIZAMOS LA ZEOLITA?

La síntesis es importante debido a que permite a los científicos e ingenieros (1) predecir las propiedades de la zeolita, (2) producir una zeolita con un “tamaño de poro” más grande, y (3) producir zeolita hidrofóbica. Los intentos iniciales para sintetizar la zeolita simulaban las condiciones volcánicas. Finalmente en 1949 se sintetizó la zeolita hidrofílica bajo condiciones hidrotérmicas (por ejemplo, a menos de 100 °C) por los químicos Milton, Breck, y otros investigadores. En 1985, los investigadores Bibby y Dale reportaron la síntesis de una zeolita de sílice pura. Otros investigadores han sintetizado una gran variedad de zeolitas hidrofílicas e hidrofóbicas.

Al sustituir otros elementos por aluminio o sílice durante la síntesis, se han producido estructuras cristalinas como las de la zeolita, pero la zeolita de la que vamos a hablar aquí es un aluminosilicato puro.

Se han descubierto 40 zeolitas naturales; el Comité de Estructura de la Asociación Internacional de Zeolita ha catalogado 118 zeolitas; más de 600 zeolitas han sido identificadas, y si se incluyeran las estructuras cristalinas similares a las de las zeolitas (pero que utilizan otros elementos), el número aumentaría diariamente. Ninguna zeolita es exactamente igual a otra.

La estructura de un cristal de zeolita se basa en un tetraedro que está formado por cuatro átomos de oxígeno enlazados con un átomo de silicio por medio de sus cuatro electrones de valencia. Estos tetraedros se conectan en las “esquinas” de los oxígenos para formar los cristales. Cuando el aluminio está presente durante la formación de los cristales, se sustituye el silicio por los átomos de aluminio, el cual tiene solamente tres electrones de valencia. El electrón de valencia que falta es proporcionado generalmente por un átomo de hidrógeno o de sodio debido a que estos elementos se encuentran típicamente en el agua hidratante. Esto distorciona el tetraedro y hace un “sitio ácido” para el intercambio de otros iones. Esto además hace que la estructura sea hidrofílica. Si la zeolita se forma en una mezcla que contenga un catión orgánico (por ejemplo, un catión que tenga un núcleo de carbón), la estructura se puede formar alrededor del catión orgánico, utilizándolo como patrón. Esto a dado lugar a zeolitas hidrofílicas ricas en silicio con un “tamaño de poro” (o tamaño de ventana) lo suficientemente grande como para dejar pasar todo salvo las moléculas de petróleo que son más grandes.

La estructura cristalina de una zeolita consiste de ventanas, jaulas, y superjaulas. Es por las ventanas que las moléculas llegan a las jaulas y superjaulas para ser adsorbidas o catalizadas. Las jaulas son las celdas más pequeñas en la estructura cristalina. Las superjaulas son las celdas dentro de la estructura cristalina que son más grandes que las jaulas y pueden incluso contener jaulas. La Figura 1 muestra la estructura de la zeolita Y cuando se le ve con luz roja.

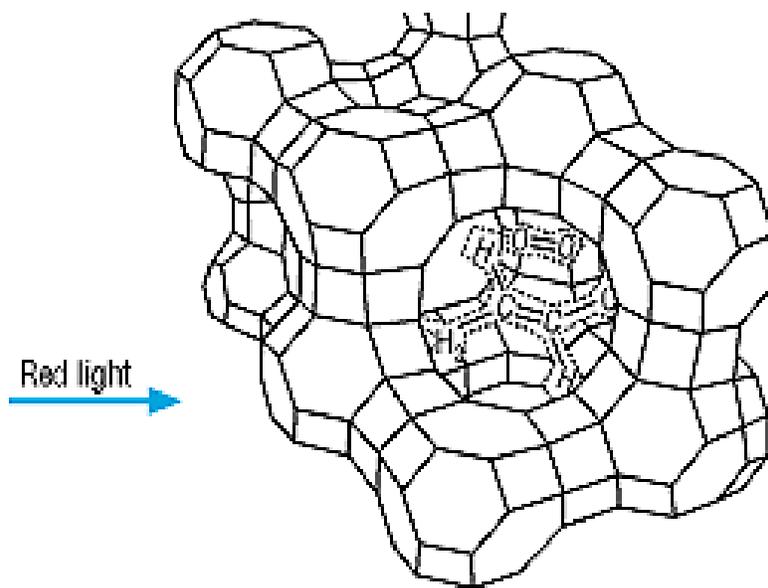


Figura 1 -- Estructura en Y del Cristal de Zeolita - Mostrando Ventanas, Jaulas, y Superjaulas. Reimpresa con permiso de CHEMTECH, Junio de 1996, 26(6), pp 24-30. Derecho de copias 1996, *American Chemical Society* (Sociedad Química Americana).

Red light = luz roja

La activación de una zeolita consiste en el calentamiento o evacuación de la zeolita para desorber el agua hidratante u otro material del área de adsorción, tal como se hace con el carbón.

El costo de las zeolitas hidrofóbicas varía de \$6,50 a \$40,00 dólares por libra, según la Corporación PQ (*PQ Corporation*). Compárese con el costo de \$1,40 a \$2,00 por libra para adsorbentes de carbón, según *Calgon Carbon*. Generalmente, se necesita un mínimo de una tonelada de zeolita para concentrar los COVs, y esta cantidad puede tratar un flujo de hasta 8,000 pies cúbicos por minuto (*cfm*). Sin embargo, el costo del carbón o la zeolita es solamente una pequeña parte del costo global de un adsorbente o concentrador.

¿CUALES SON LAS CARACTERÍSTICAS IMPORTANTES DE LA ZEOLITA?

1. La zeolita es capaz del intercambio selectivo de iones.
2. La zeolita puede adsorber moléculas en su gran área interna, siempre que puedan pasar por las ventanas. La zeolita y el carbón son iguales en este aspecto, y se diferencian solamente en el área de adsorción a la que puede tener acceso una molécula dada que pase por sus "poros."
3. La zeolita puede ser un catalizador ácido sólido. Puede funcionar como un ácido fuerte (aunque se mantiene como un sólido) cuando la hidratación ha sustituido un hidrógeno, por un electrón de

valencia adicional, o un intercambio isoelectrónico con el aluminio.

4. Se puede usar la zeolita como un tamiz molecular debido a que tiene un tamaño de ventana (o poro) uniforme.

5. La zeolita es metaestable; quiere decir, es estable siempre que se mantenga a una temperatura y a un pH adecuados. Dentro de este rango, no se ve afectada por oscilaciones grandes de temperatura, presión, o radiación ionizante.

La zeolita natural existe como una roca natural, y puede alcanzar el tamaño de una roca grande. Sin embargo, los cristales de zeolita sintetizada siempre miden menos de un milímetro -- esto es debido a que estos cristales crecen muy lentamente. Estos pequeños granos pueden transportar rápidamente la molécula adsorbida al área de adsorción. El flujo de aire por el lecho de zeolita en polvo crea una gran pérdida de presión. Se han desarrollado zeolitas granulares en las cuales los granos se adhieren entre si para crear canales más grandes, y como resultado hay menos resistencia al flujo de aire.

¿CÓMO SE PUEDE UTILIZAR LA ZEOLITA PARA CONTROLAR LOS CONTAMINANTES DEL AIRE?

Se pueden elaborar las zeolitas hidrofóbicas por medio de: controlar la proporción de silicio a aluminio, “dealuminizando” la zeolita. Los diferentes tipos de zeolita tienen ventanas de 0.3 a 3.0 nanómetros (3 a 30 Ångstroms), pero cualquier tipo específico tiene su propio tamaño de ventana nominal. Un cambio en la relación Si/Al puede afectar el tamaño de ventana. Un intercambio de iones puede también afectar el tamaño de ventana.

Actualmente se utiliza la zeolita hidrofóbica para concentrar los COV antes de destruirlos. Estos concentradores se muestran esquemáticamente en la Figura 2. En esencia son adsorbedores de oscilaciones de temperatura (temperature swings) con el lecho montado en un rotor, el cual se regenera con cada rotación (de dos a cinco veces por hora). El flujo aire-vapor del diseño de un vendedor es axial por los sectores en el rotor. El diseño de otro vendedor dirige el flujo aire-vapor radialmente hacia adentro por segmentos ubicados a lo largo del exterior del rotor.

El costo y tamaño de un incinerador están relacionados al flujo de aire, y el flujo de aire del concentrador al incinerador se reduce aproximadamente en 90%. Los ahorros mayores vienen de la reducción del flujo de aire que pasa por el incinerador, lo cual reduce la cantidad de combustible que se necesita para subir la temperatura del flujo de aire.

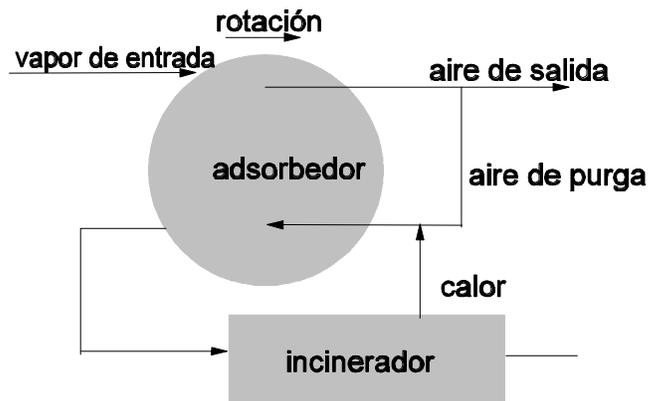


Figura 2. Concentrador de COV

Debido a esto, la concentración de los COV también se incrementa por un factor de aproximadamente diez, al igual que el “valor de calentamiento” (*heating value*) de los COV. De esta manera, el concentrador se utiliza para reducir el tamaño y costo del incinerador que se usa para destruir los COV, y para reducir la cantidad de combustible que debe agregarse para obtener con seguridad la eficiencia destructiva completa del incinerador.

Por seguridad, el nivel de COV una vez concentrado, debe mantenerse por debajo de la cuarta parte del Límite Inferior de Explosividad (LIE); por lo tanto, la concentración a la entrada al concentrador no debe ser mayor a aproximadamente 500 partes por millón (ppm). Típicamente, la concentración a la entrada es solamente de unos cuantos cientos de ppm. Tomando esto en cuenta, se debería utilizar el concentrador para concentraciones de COV entre los niveles que son económicos para el adsorbedor de lecho fijo y el condensador

Si se utiliza un incinerador con tales niveles de COV sin concentrarse el COV, debe agregarse mucho combustible debido a que el valor de calentamiento del COV es muy bajo antes de concentrarse. Por medio de la concentración del COV, el valor de calentamiento se incrementa y menos combustible debe añadirse. El costo global de la destrucción del COV es de \$1.000 a \$3.000 dólares por tonelada, según *Munters ZEOL*. Los costos más altos pertenecen a las concentraciones más diluidas.

Las zeolitas hidrofóbicas pueden ser muy eficientes para adsorber y desorber COV, como se muestra en el informe “*Sorption and Diffusion of VOC on Hydrophobic Zeolites*” *Paper 83f, 1996 Annual Meeting, American Institute of Chemical Engineers.* Las zeolitas se pueden utilizar con un rango de temperatura más grande que el del carbón, y son superiores a éste como adsorbente.

Cuando están fríos, los motores que usan gasolina emiten COVs en sus gases de escape. La zeolita hidrofóbica es utilizada en los convertidores catalíticos para adsorber estos COV. Cuando

el motor se calienta y los gases calientes desorben los COV de la zeolita, la zeolita hace entonces el papel de catalizador para la oxidación de los COV. La zeolita no se altera por los 1.000 °F de temperatura que alcanzan los gases de escape.

Los motores diesel tienen un problema enteramente diferente. Emiten óxidos de nitrógeno (NO_x) los cuales pueden ser reducidos catalíticamente a nitrógeno y oxígeno (como en el aire limpio) por medio de una zeolita con intercambio de cerio que utiliza urea o amoníaco como agente reductor.

La separación de dióxido de carbono de los gases de escape fue investigado en Corea (*Industrial Engineering Chemical Research, 1995, 34, pp. 591-598*). Los autores descubrieron que la zeolita 13X era superior a un “carbón absorbente” en un sistema “con oscilaciones de presión” (pressure swing). Puesto que el dióxido de carbono es un gas de invernadero que se asocia con el calentamiento global de la Tierra, esto puede ser muy importante para reducir tales emisiones.

Otra zeolita denominada *Chabazite*, ha sido utilizada como un tamiz molecular para remover dióxido de azufre de los gases de escape. Los óxidos de azufre también son producto del procesamiento de algunos minerales. Los óxidos de azufre son constituyentes de la lluvia ácida. La reducción de tales emisiones podría tener un efecto profundamente beneficioso sobre el medio ambiente.

La zeolita natural *Clintoptilolite* puede remover amoníaco de aguas residuales. Se ha utilizado para controlar el amoníaco de la orina en camas para gatos (*kitty litter*) y en los establos de caballos. Se utiliza además para adsorber los COV que causa malos olores por humedad y hongos, y en alfombras. Se regenera con la luz del sol y el aire limpio. Hay que destacar que la zeolita se puede utilizar también para catalizar la oxidación de hidrocarburos en la presencia de luz. Sin embargo, puede ser muy selectiva en estas reacciones según *CHEMTECH, 1996, 26(6), 24-30 American Chemical Society*.

¿TIENE LA ZEOLITA UN USO FUERA DEL CAMPO DE CONTROL DE CONTAMINANTES DEL AIRE?

En una sola palabra, SI. En el tratamiento de desechos radiactivos, la zeolita se utiliza para remover el cesio y el estroncio radiactivos de las aguas residuales. Como la zeolita es impermeable hasta a niveles altos de radiación, se usa para intercambiar y atrapar estos iones. Es capaz de remover estroncio radiactivo a una concentración de 1 microgramo por litro mientras el sodio esté presente a 150.000 veces esta concentración. En esta aplicación la zeolita está en forma de polvo o del tamaño de granos de arena, la cual es entonces agregada al concreto como relleno. El concreto a su vez se deposita en tambores para su disposición. Se considera que este método de disposición es impermeable a la lixiviación de agua salada, y por tanto se pueden disponer los desechos radiactivos en un confinamiento o en el fondo del océano.

La zeolita se ha utilizado para suavizar agua. Cuando se pasa agua dura por un lecho de zeolita, se intercambian los iones del calcio y magnesio, evitando que formen jabones insolubles que se ven como “residuos de jabón.” La zeolita puede regenerarse pasando agua salada a través de ella. Los cloruros de los iones intercambiados son solubles en el agua y por tanto su disposición es

fácil. Debido a que el agua acídica cruda ataca a las zeolitas naturales, ahora se utilizan materiales más resistentes, aunque por décadas se usó la zeolita hidrofílica.

Los constituyentes base de los detergentes, también suavizan el agua, aunque no sufren tal ataque debido a que se utilizan solamente una vez. La zeolita se utiliza como “constructor” y reemplaza la mayor parte del tripolifosfato de sodio, el cual fue muy utilizado anteriormente y que resultó ser nocivo al medio ambiente. Aquí también la zeolita remueve los iones de calcio y magnesio del agua. Setecientos millones de toneladas de zeolita por año se utilizan de esta manera. La zeolita pulverizada no tiene efectos nocivos en el medio ambiente salvo el de ser un polvo molesto de vez en cuando.

El uso de catalizadores de zeolita en el “craqueo catalítico” (*catalytic cracking*) en las refinerías de petróleo dependió del descubrimiento de una zeolita con ventanas grandes que fuera hidrofóbica. Los investigadores Charles J. Plank y Edward J. Rosinski inventaron tal zeolita y su síntesis. Los catalizadores de zeolita ahora reducen nuestro consumo de petróleo importado por \$8 a \$16 mil millones de dólares por año. Hay que agregar a estos ahorros la reducción en las emisiones de bióxido de carbono de las reducciones en la demanda energética de las refinerías.

Investigadores de la *University of the West Indies* están investigando utilizar la zeolita para producir gasolina a partir de etanol. Nueva Zelanda ya utiliza la zeolita como catalizadora para producir un gran porcentaje de su combustible para autos a partir de metanol, debido a que no cuenta con reservas de petróleo.

La zeolita se utiliza para secar aire comprimido. Funciona como desecante para adsorber humedad. Puede retener hasta una cuarta parte de su peso en agua sin un incremento significativo en la presión de vapor.

La zeolita también se utiliza en los refrigeradores para resecar el refrigerante. Esto previene la formación de cristales de hielo que pudieran obstruir el flujo y las válvulas.

Los fertilizantes de lento desprendimiento utilizan la zeolita para controlar su emisión al suelo. Las bacterias en el suelo convierten la urea a amoníaco. La *Clintoptilolite* adsorbe el amoníaco, y previene que las bacterias del suelo lo conviertan a nitrato. La lixiviación subsiguiente del amoníaco permite que esta nitrificación ocurra a lo largo de un período de meses. De otro modo, los nitratos acumulados se enjuagarían del suelo y contaminarían tanto las aguas subterráneas como las superficiales.

La zeolita se utiliza para separar el nitrógeno del oxígeno del aire. La leve diferencia en tamaño entre una molécula de nitrógeno y una molécula de oxígeno, junto con la polarización y una zeolita adecuada, permite que el oxígeno pueda ser adsorbido selectivamente del aire. Se deja escapar el nitrógeno, para después desorber el oxígeno. Esta técnica se usa para generar oxígeno para las tripulaciones de aviones, procesos industriales y en los acuarios.

Se han sintetizado las zeolitas en forma de membrana, lo cual permite su uso como tamices moleculares. Los tamices moleculares dejan pasar las moléculas para las cuales tienen afinidad, y

que son más pequeñas que su tamaño de poro (ventana). Se está utilizando esta propiedad para los transductores químicos en las mezclas donde las especies moleculares sean conocidas. Si una molécula de diámetro conocido pasa por el transductor y causa una respuesta del mismo, la respuesta puede ser calibrada a la concentración de la especie molecular conocida. Así, tenemos ahora transductores que detectan la concentración química sin necesidad de una reacción química.

Similarmente, la Universidad de Greenwich en Londres, Inglaterra ha desarrollado una zeolita que se utiliza como un tamiz molecular que deja pasar las moléculas de agua -- pero no permite el paso de COV. Esta es una zeolita hidrofílica, la cual se halla en forma de una membrana delgada que debe dejar que las moléculas de agua se adsorba/desorba y de este modo pasar por la membrana. Se puede producir esta zeolita con un tamaño de poro de 0,42 nanómetros. Se la utiliza como tamiz molecular para remover el agua de la muestra sin ninguna pérdida de COV.

¿QUÉ DEBERÍAMOS ESPERAR EN EL FUTURO?

Ahora que se puede formar la zeolita en granos que permiten el libre flujo de aire, veremos que la zeolita reemplaza al carbón en los adsorbedores de lecho fijo en los EEUU. Esto ya ha ocurrido en Europa. Hay una razón para que esto ocurra. El carbón (o los metales en o sobre el) catalizan la oxidación de COV, y esto ha provocado incendios en los lechos de carbón. Esto no pasaría necesariamente en un lecho de zeolita, y aunque ocurriera un incendio en el lecho, solamente el COV se quemaría. La zeolita también tiene un isoterma de adsorción no-lineal, lo cual incrementa la adsorción a bajas concentraciones de COV. Esto permite eficiencias de remoción de 99% para la zeolita mientras que el carbón tendría una eficiencia de 95%. El carbón tiene la ventaja en eficiencia solamente a las concentraciones más altas. Además la zeolita se regenera más completamente que el carbón.

La catálisis ocurre cuando un monómero, como el estireno, se adsorbe por el carbón y luego se desorbe por medio de vapor. Esto deja un "talón" de monómero polimerizado en el carbón en un sistema de oscilaciones térmicas (*thermal swing*) regenerado por vapor. El uso de un lecho de zeolita regenerado por vacío (véase la Figura 3) podría extender la vida útil del lecho, recuperar el estireno y tal vez hacer que el uso de la zeolita sea economicamente atractivo.

Cuando se utilice la zeolita comunmente en los adsorbedores de lecho fijo en los EEUU, podemos esperar que se utilice la adsorción selectiva basada en el diámetro molecular. Esto se haría posible por adsorbedores en cascada de diferentes zeolitas, como se muestra en la Figura 4. Cada adsorbedor en esta cascada adsorbería un rango de diámetros moleculares. Al seleccionar la

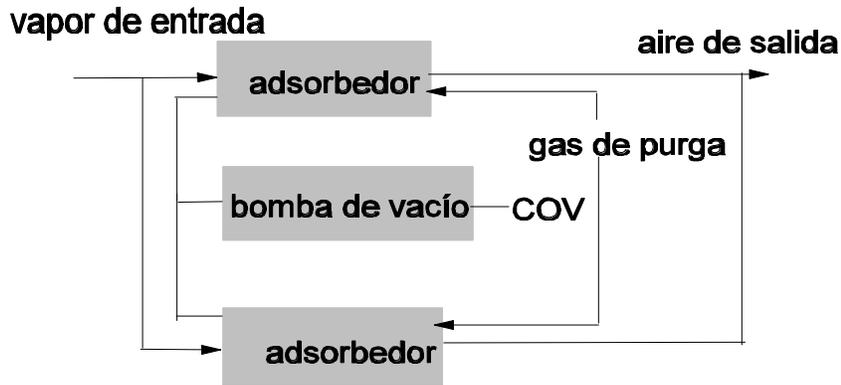


Figura 3. Adsorbedor por Regeneración al Vacío

zeolita basándose en el tipo y tamaño de poro, cada COV se puede recuperar con una pureza al menos comparable a la de grado comercial -- si tan solo se recupera un COV por cascada en el adsorbedor. Así, el COV recuperado podría servir para recuperar la inversión y ayudar a pagar el costo de operación del sistema de adsorción. Sabemos que algunos COV son transformados a otros isómeros por la acción catalítica de algunas zeolitas. Si este es el caso con su COV, entonces la planta puede vender el isómero, o utilizar el nuevo isómero en vez del anterior, o cambiar el tipo de zeolita que se utiliza.

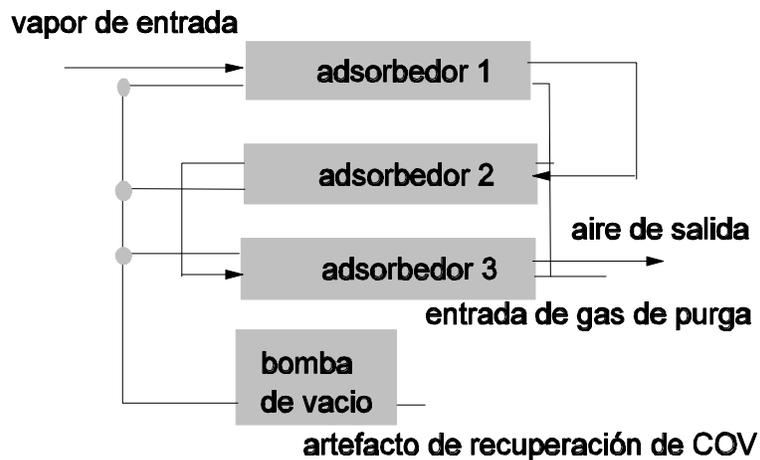


Figura 4. Separación en Cascada al Vacío

¿QUÉ MÁS NECESITAMOS SABER?

Necesitamos saber (1) cuál es el tamaño de ventana efectivo para las diferentes zeolitas con diferentes átomos de intercambio, y (2) cual es el diámetro molecular efectivo para cada COV. Con este conocimiento, podemos enlistar los COV que pueden pasar por las ventanas y alcanzar el área de adsorción. Debemos saber también la temperatura y presión críticas para la reacción catalítica para cada COV con cada zeolita (así como para los tipos de carbón). La temperatura y presión críticas podrían ser curvas, con un valor para la polimerización, y otro para la oxidación. Con el uso de estos tipos de información, podemos diseñar el sistema de adsorción para evitar o utilizar estas reacciones.

Algunos de estos datos ya están disponibles en el Internet y en las bibliotecas. Sin embargo, frecuentemente estos datos no se encuentran en una forma útil para las personas que diseñan tales sistemas. Por ejemplo, los tamaños cristalográficos de poros disponibles son actualmente diferentes del tamaño efectivo de poro para las moléculas de COV. Esta información debe ser difundida mas ampliamente en una forma adecuada para el uso de los ingenieros.

REFERENCIAS:

Este documento se basa en la información de las siguientes fuentes:
(Se presenta la dirección de Internet donde se puede obtener el documento.)

*Chemistry Department, University of Manchester Institute of Science and Technology,
Manchester, England, UK
trigger.ch.umist.ac.uk:808/zeolite/web/allchaps.htm*

*Department of Chemical Engineering, Worcester Polytechnic Institute, Worcester, MA
otis.msfc.nasa.gov/MSAD/scirev/sacco.html*

*Moulinex Marketing, Mumbai, India
www.bjmoulinex.com/mol.htm*

*Philip Schmidt and David Price, Center for Energy Studies, University of Texas, Austin, TX
www.me.utexas.edu/~prep/mwr.html*

*California Institute of Technology, Dr. Mark Davis
www.aiche.org/docs/chapterone/zeolites.htm*

*University of Illinois at Chicago
www2.uic.edu/~rpeddi3/zeolites/zeolites.html*

*Chemical Engineering and Materials Science, University of Minnesota, Minneapolis, MN
www.cems.edu/~zeolites/*

Zeolyst International
zeolyst.com/faq.html

Technical Transfer Information Partnerships, U. S. Geological Survey
www.usgs.gov/tech-transfer/factsheets/94-066b.html

Laboratoire for Kristallographie ETH, Zurich, Switzerland
kristall.erdw.ethz.ch/research/zeolite_group

Research Foundation of State University of New York
imr.chem.binghamton.edu/labs/zeolite.html

Axel Brunger's Research Group, Yale University, Hew Haven, CT
www-iza-sc.csb.yale.edu/IZA-SC/Atlas

Agricultural and Biological Research Group, Katholich Universiteit, Leuven, Belgium
www.agr.kuleuven.ac.be/pers/tomr/zeostruc.htm

Department of Chemical Engineering, Cambridge University
www.cheng.cam.ac.uk/~jah1015/zeolites.html

Oxford University, Chemistry Department
www.chem.ox.ac.uk/mom/zeolite.html

Dr. Daniel Resasco, School of Chemical Engineering and Materials Science
University of Oklahoma www.ou.edu/catalysis

Ph.D. Project of the OSPT - Delft
www.ct.utwente.nl/~ospt/minipost96/tud/wijnand.html

Pollution Online
news.pollutiononline.com/industry-news/ind02289704.html

Zeolite Membrane Passes Only Water
Filtration & Separation, October 1997, p. 814

Air and Waste Management Association:
Paper 96-RA106.05, Adsorption of VOCs on Zeolite
Paper 96-RA106.02, Microwave Regeneration of VOC Adsorbents

CHEMTECH, The American Chemical Society
acsinfo.acs.org/hotartcl/chemtech/96/jun/zeo.html

Department of Chemical Engineering, California Institute of Technology
www.che.caltech.edu/research/catalysis.html

Zeolite (a commercial page for clintoptilolite)
www.gtamart.com/mart/products/zeolite

University of the West Indies, Mona, Jamaica
wwwchem.uwimona.edu.jm:1104/lectures/synfuel.html

Munters ZEOL, Amesbury, MA

1996 AIChE Annual Meeting, Session 83, Paper 83f, Sorption and Diffusion of Volatile Organic Compounds on Hydrophobic Zeolites, M. Chandak and Y. S. Lin, University of Cincinnati

Zeotech, Arlov, Sweden