

EQUILIBRIO DE ADSORCION DE MEZCLAS  
BINARIAS EN CARBON ACTIVADO

---

JOSE B. CONTRERAS\*

**Resumen**

Mezclas binarias de fenol-piridina; ácido P-aminobenzoico-fenol y piridina fenol fueron adsorbidas en carbón activado manteniendo constante las concentraciones del segundo componente del par. Las isothermas mostraron una apreciable disminución de las cantidades adsorbidas al compararlas con las isothermas simples. La competencia entre los componentes por ocupar un mismo lugar en la superficie del adsorbente es la responsable de la disminución producida en las cantidades adsorbidas.

*Palabras claves: Carbón activado, adsorción, mezclas binarias.*

Los procesos de adsorción tienen una importancia extraordinaria en la vida práctica, ejemplo de lo cual es el secado y purificación de productos gaseosos o líquidos; la separación de n-parafinas de fracciones petróleo; la purificación de emisiones gaseosas industriales así como el tratamiento de aguas potables y residuales.

Numerosos modelos matemáticos han sido desarrollados para describir la adsorción de sustancias simples en diferentes adsorbentes como carbón activado, trióxido de aluminio, tamices moleculares, etc.

---

\* Facultad de Ciencias y Humanidades. INTEC.

Pero dado que en la práctica, las sustancias químicas no aparecen como componentes aislados, también han sido desarrollados modelos para la adsorción de mezclas de dos componentes e incluso de mayor cantidad de sustancias.

El objeto del presente trabajo es la presentación de resultados obtenidos en laboratorio al estudiar la conducta de adsorción de sustancias orgánicas típicas como Fenol, ácido P-aminobenzoico y Piridina, mezclados en determinadas proporciones.

### Teoría

En el terreno de la adsorción competitiva o de mezclas, se han formulado numerosos modelos como los de Jain y Snowyink;<sup>1</sup> la aplicación de la teoría de potencial de adsorción de Polanyi a mezclas de compuestos formulados por Rosene y Manes.<sup>2</sup>

Uno de los más extraordinarios aportes al estudio de la adsorción de mezclas lo constituyó la formulación de la teoría de la solución ideal adsorbida (IAS-THEORY) de Myers y Prausnitz<sup>3</sup> ampliada y descrita detalladamente por Radke y Prausnitz<sup>4</sup> y utilizada exitosamente por Jossens, et. al.<sup>5</sup>

La IAS-THEORY se fundamenta en la equivalencia termodinámica de la tensión superficial de cada soluto en el equilibrio y permite predecir la conducta de adsorción de la mezcla a partir del conocimiento del comportamiento de las especies individuales.

En una mezcla, la tensión superficial del soluto y por unidad de peso de adsorbente usando la modificación de Kidnay y Myers<sup>6</sup> es definida como sigue:

$$\pi(q_i) = \frac{RT}{A} \int_0^{q_i^*} \frac{d \log C_i}{d \log q_i} \cdot dq_i$$

en la cual  $C_i$  y  $q_i$  son las concentraciones de  $i$  en la solución y en la fase sólida en situación de equilibrio, en un sistema de soluto simple.  $A$  es el área específica del adsorbente;  $R$  es la constante de los gases ideales y  $T$  la temperatura absoluta.

Por su parte Kong y Digiano<sup>7</sup> usaron la misma teoría al estudiar la capacidad de adsorción de carbón activado y resinas carbonáceas

usando los compuestos orgánicos volátiles Tetracloroetileno, Tricloroetileno y Tetracloruro de carbón.

Nakahara<sup>8</sup> formuló un modelo para el estudio de adsorción de mezclas con auxilio de la curva normal de distribución de Gauss en el cual la heterogeneidad de la superficie adsorbente se considera como la integración de 1000 lugares de adsorción homogéneos, obteniendo las cantidades adsorbidas de cada componente como el promedio de 1000 combinaciones. Otros trabajos de este último autor se ocupan también del tema.<sup>9</sup>

Baldauf, Frick y Sontheimer,<sup>10</sup> no sólo propusieron un método para la evaluación de mezclas sino que extrapolaron sus resultados para incluir el pH considerando a las especies disociadas y no disociadas como compuestos separados.

Hoppe y Worch<sup>11</sup> usaron una ecuación ampliada de Langmuir para la adsorción de mezclas binarias según la cual

$$N_1 = \frac{N_1 \cdot b_1 \cdot p_1}{1 + b_1 \cdot p_1 + b_2 \cdot p_2}$$

$$N_2 = \frac{N_2 \cdot b_2 \cdot p_2}{1 + b_1 \cdot p_1 + b_2 \cdot p_2}$$

Donde  $N_1$  y  $N_2$  son los valores de saturación de las isothermas simples;  $b_1$  y  $b_2$  coeficientes de adsorción de las isothermas simples.

Relaciones similares fueron utilizadas por Fritz y Schlünder<sup>12</sup> desarrollando expresiones tanto para la ecuación de Langmuir como la de Freundlich.

Por su parte Yen y Singer<sup>13</sup> probaron con resultados satisfactorios la IAS Theory estudiando el comportamiento de mezclas de fenoles y fenoles sustituidos en carbón activado, confirmando la utilidad de la citada teoría.

Müller<sup>14</sup> propuso un modelo que posibilita la predicción del equilibrio de adsorción de varios componentes en soluciones acuosas, Kümmel, Worch y Contreras<sup>15</sup> obtuvieron satisfactorios resultados al estudiar la influencia del pH en la adsorción de P-nitrofenol y Acido Benzoico, considerando las especies neutrales e iónicas como

componentes de una mezcla. Otros trabajos se han ocupado incluso de la cinética de mezclas.<sup>16</sup>

### **Materiales y métodos**

Como adsorbente fue utilizado carbón activado "Dargo"  $1.7 \leq dk/mm \leq 2.0$  el cual fue previamente cocido en una solución al 10% de HCl por espacio de 20 minutos en dos ocasiones sucesivas. Posteriormente el carbón fue lavado con H<sub>2</sub>O destilada hasta pH neutral y secado por 24 horas en un horno a 125° C.

Como adsorbato fueron utilizadas mezclas de Fenol-Acido P-aminobenzoico y Fenol-Piridina. La concentración de uno de los componentes era mantenida constante (7.5 mmol/l) mientras se variaba la del otro.

Los experimentos fueron realizados en matraces Erlenmeyer de 250 ml con 100 ml de solución y 0.1 g de carbón activado. Los matraces fueron cerrados herméticamente y colocados en un vibrador Shrist-Aktion, Fisher durante 48 horas. Experimentos previos de cinética mostraron que al cabo de ese tiempo se lograba el equilibrio.

Las muestras fueron analizadas en un espectrofotómetro UV-Vis Shimadzu 265 a las longitudes de onda de 250 nm; 265 nm y 270 nm.

Los resultados fueron presentados en un gráfico cantidad adsorbida Vs. concentración en equilibrio obteniéndose las correspondientes isothermas.

### **Resultados y discusión**

En la tabla I se presntan los datos de la adsorción de Fenol, ácido P-Aminobezoico y Piridina como compuestos únicos para una concentración en equilibrio de 10 mmol/l.

Como se observará, se produce una disminución de un 83% en la cantidad adsorbida de Fenol cuando está en presencia de Piridina, relacionada con la adsorción como componente único, mientras que en la adsorción de piridina se produce un descenso de un 81% al ser adsorbida en presencia de fenol.

Por su parte el Acido P-Aminobenzoico descendió un 86% al ser adsorbido en presencia de fenol, comparado con su isoterma como componente único.

La disminución de la cantidad adsorbida de cada sustancia al estar

TABLA I

Sustancia	Cantidad Adsorbida (mmol/g)
Fenol	1.80
Acido P-Aminobenzoico	1.02
Piridina	1.60

En la Tabla II se presentan las cantidades adsorbidas en mezclas.

TABLA II

Mezcla	Cantidad adsorbida (mmol/g)
Fenol en presencia de Piridina	0.50
Acido P-Aminobenzoico en presencia de fenol	0.15
Piridina en presencia de fenol	0.30

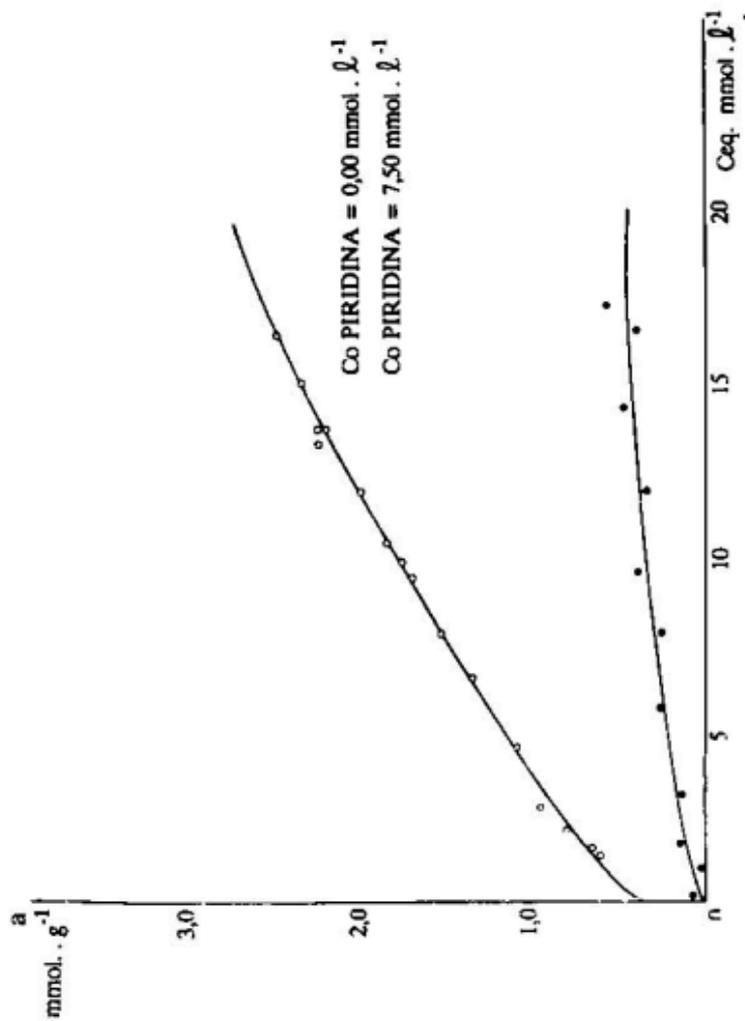


Fig. 1. Isotermas de adsorción del fenol con y sin presencia de Piridina en carbón activado "Dargo" 1.7 a dk/mm a 2.0. pH 8.6.

en presencia de otra, se debe a la competencia de ambas por ocupar un mismo espacio en la superficie del adsorbente, lo que se traduce en una compartición del espacio disminuyendo entonces la cantidad de cada una de ellas que puede ser adsorbida.

En el caso del Fenol y la Piridina se observa que las disminuciones sufridas por cada uno de ellos cuando está en presencia del otro son aproximadamente iguales (83% y 81% respectivamente), lo cual era de esperarse en virtud de que en las isotermas simples ambos presentan conducta de adsorción muy semejante (1.80 mmol/g y 1.60 mmol/g) para la concentración de 10 mmol/g escogida como referencia.

La figura I muestra las isotermas del fenol tanto como componente único en mezcla con una solución 7.5 mmol/g de Piridina.

Las cantidades adsorbidas de Fenol, Acido P-Aminobenzoico y Piridina se redujeron sustancialmente cuando cada una de ellas se adsorbió en presencia de otra sustancia. La disminución producida es debida a la competencia que se desarrolla entre los componentes de la mezcla, por un mismo lugar en la superficie del carbón activado.

## LITERATURA CITADA

1. Jain, J. S.; V. L. Snoeyink. *Competitive Adsorption from bisolute systems on activated carbon*. **Journal of water pollution control federacion**, 45, (1973):2463.
2. Rosene, M. R.; M. Manes. *Aplication of the Polanyi adsorption potential theory to adsorption from solution on activated carbon. Competitive adsorption of solids from water solution*. **Journal of physical chemistry**, 80, (1976):953.
3. Myers, A. L.; J. M. Prausnitz. *Thermodynamics of mixed-gas adsorption*. **AIChE Journal**, 11, (1965):121.
4. Radke, C. J.; J. M. Prausnitz. *Thermodynamics of multi-solute adsorption form dilute liquid solutions*. **American Institute of Chemical Engineering Journal**, 18, (1972):761.
5. Jossens, L.; J. M. Prausnitz; W. Fritz; E. U. Schlünder; A. L. Myers. *Thermodynamics of multi-solute adsorption from dilute aqueous solutions*. **Chemical Engineering Science**, 33, (1978):1097.
6. Kidnay, A. J.; A. L. Myers. *A simplified method for the prediction of*

- multicomponent adsorption equilibria from single gas isotherms. American Institute of Chemical Engineering Journal*, **12**, (1966):981.
7. Kong, E. J.; F. A. Digiano. *Competitive adsorption among of volatile organic chemicals (vocs) on activated carbon and carbonaceous resin. Journal of American Waste Water Association*, **78**, (1986):181.
  8. Nakahara, T. *Calculation of adsorption equilibria for the binary gaseous mixtures on a heterogeneous surface. Chemical Engineering Science*, **41**, (1986):2093.
  9. Nakahara, T.; M. Hirata; G. Amagasa; T. Ogura. *Adsorption of binary gaseous mixtures of ethylene-ethane and ethylene-propylene on a carbon molecular sieve. Journal of Chem. Engng. Data*, **29**, (1984):202.
  10. Baldauf, G.; B. Frick; H. Sontheimer. *Berechnung des sorptionsverhaltens von gemischen. Vom Wasser Wasser*, **49**, (1977):315.
  11. Hoppe, H.; E. Worch. *Zur Berechnung von gemischadsorptionsgleichgewichten. Wissenschaftliche Zeitschrift TH Leuna-Merseburg*, **23**, (1981):418.
  12. Fritz, W.; E. U. Schlünder. *Competitive adsorption of two dissolved organics onto activated carbon- I. Adsorption equilibria. Chemical Engineering Science*, **36**, (1981):721.
  13. Yen, C.; P. C. Singer. *Competitive adsorption of phenols on activated carbon. Journal of Environmental Engineering*, **100**, (1984):976.
  14. Müller, G. *Disertación Doctoral, Karlsruhe Universität (TH), República Federal Alemana*, 1981.
  15. Kümmel, R.; E. Worch.; J. B. Contreras. *pH-abhängigkeit von adsorptionsprozessen aus wässriger lösung. Chemische Technik*, **37**, (1985):291.
  16. Contreras, J. B. *Disertación Doctoral. Universidad Técnica "Carl Schorlenmer". Leuna - Merseburg. República Democrática Alemana*, 1985.