

# DESARROLLO DE COLUMNA EMPACADA PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA EXTRAIDA DE POZOS DE LA CIUDAD DE GUANAJUATO

Darío Domínguez García (1), Lorena Eugenia Sánchez Cadena (2)

1 [Ingeniería Química, Universidad de Guanajuato] | Dirección de correo electrónico: [dario\_domgar@hotmail.com]

2 [Departamento de Ingeniería Civil, División de Ingenierías, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato] | Dirección de correo electrónico: [hau10@hotmail.com]

## Resumen

En la ciudad de Guanajuato Capital en la parte sur, existen fraccionamientos que requieren agua de pozo, la cual es ligeramente dura. En el presente trabajo se desarrolló una columna de adsorción empacada para ablandar esta agua. Primero se compararon dos materiales adsorbentes diferentes, zeolita y resina iónica, para ello se utilizó una columna de acero inoxidable de 15 cm de diámetro por 25 cm de largo y se determinó que la resina iónica era más eficiente. Enseguida se utilizó una columna de vidrio 25 cm de altura y 2.54 cm de diámetro para validar el modelo de acuerdo a Freundlich y para conocer cómo era el comportamiento de la absorción (A) en UV con respecto al tiempo. La resina utilizada es la Amberlite IRA96. Se logró proponer un prototipo de uso casero para ablandar el agua de pozo y se conoció el valor de la constante adimensional de Freundlich  $n = 0.6170$ , validando con esto nuestro sistema de adsorción.

## Abstract

In the capital city of Guanajuato in the southern part, there are neighborhoods that require well water, which is slightly hard. In the present work is an adsorption column packed to soften the water was developed. First we compared two different adsorbent materials, zeolite and ion-exchange resin, for this purpose we used a stainless steel column of 15 cm in diameter by 25 cm long and it was determined that the ion-exchange resin was more efficient. Then we used a glass column 25 cm in height and 2.54 cm in diameter to validate the model according to Freundlich and to see how was the behavior of the absorption (A) in the UV with respect to time. The resin used is the Amberlite IRA96. It succeeded in proposing a prototype for home use to soften the well water and heard the value of the dimensionless constant Freundlich  $n = 0.6170$ , validating with this our system of adsorption.

## Palabras Clave

Dureza del agua; Resina de intercambio iónico; Isoterma de Freundlich; Adsorción

## INTRODUCCIÓN

El agua superficial y la subterránea para el consumo humano tienen diferentes grados de dureza y de alcalinidad. La dureza del agua no es atribuida a un único constituyente y es expresada, convencionalmente, como la concentración equivalente de carbonato de calcio,  $\text{CaCO}_3$ , aunque propiamente es debida a iones calcio y magnesio [1]. Una de las manifestaciones más comunes de la dureza del agua son los “grumos” insolubles que se forman por la reacción del jabón con los iones calcio y magnesio. Aunque los iones que causan la dureza del agua no forman productos insolubles con los detergentes, si afectan adversamente su rendimiento. Por consiguiente, el calcio y el magnesio deben ser eliminados del agua para que los detergentes funcionen adecuadamente. Otro problema causado por el agua dura es la formación de depósitos minerales en las tuberías y tanques de los sistemas para calentar agua, reduciendo la eficiencia de calentamiento [2]. Los cationes causantes de la dureza representan un problema económico importante especialmente en casas y calderas [3]. Por todo lo anterior, la eliminación de la dureza del agua es esencial. Para ello se usan varios procesos. Entre ellos destaca intercambio iónico, que se basa en la transferencia reversible de iones entre la solución acuosa y un material sólido capaz de enlazarse con los iones. El ablandamiento del agua por intercambio iónico no requiere la eliminación de todos los solutos iónicos, solo de los cationes responsables por la dureza del agua. Se usa la forma de sodio del intercambiador de cationes, de forma que los cationes divalentes sean reemplazados por iones de sodio. A bajas concentraciones los iones de sodio son inocuos en el agua para la mayoría de los propósitos y el cloruro de sodio es una sustancia barata y conveniente para recargar los intercambiadores catiónicos. Las ventajas del intercambio catiónico para el ablandamiento es la completa remoción de Ca y Mg porque la remoción no está controlada por la solubilidad del mineral, no hay necesidad de un pre o un post-tratamiento, ajuste de pH o potencial para un manejo más fácil de las corrientes residuales [4]. Existen también, minerales con propiedades de intercambio iónico, como el silicato de aluminio o las zeolitas. Un ejemplo de zeolita que se ha usado comercialmente en el ablandamiento de agua es la

glauconita. Las zeolitas sintéticas se preparan secando y moliendo el gel blanco que se produce al mezclar soluciones de silicato de sodio y aluminato de sodio. El descubrimiento a mediados de los años treinta, de las resinas de intercambio iónico sintéticas, compuestas por polímeros orgánicos con grupos funcionales adjuntos, marcó el inicio de la tecnología moderna del intercambio iónico. En la Imagen 1 se muestra la fórmula estructural de un intercambiador iónico típico, un intercambiador catiónico denominado “fuertemente ácido” porque el grupo  $\text{SO}_3\text{-H}^+$  es un ácido fuerte.

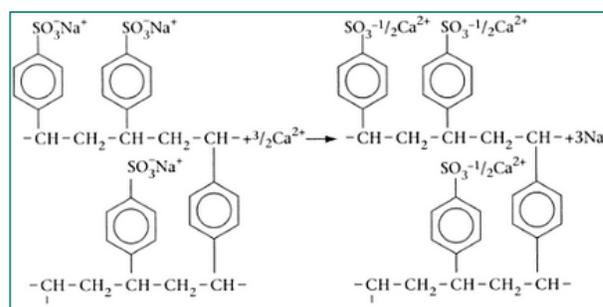


IMAGEN 1: Intercambiador catiónico fuertemente ácido. Se muestra el intercambio del sodio por el calcio en el agua.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Determinación de la concentración de carbonato de calcio en el agua

Se tomaron 3 muestras de agua extraída de un pozo, cada muestra será de 200 mL y se colocaron en un matraz Erlenmeyer. A cada muestra se le adicionó, de manera lenta y con agitación, 10 mL de solución buffer de  $\text{pH}=10$   $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ ; posteriormente se les adicionaron 10 gotas de indicador negro de eriocromo-T. Una vez que la muestra esté con un color rosado uniforme, se procedió a valorar con una solución de ácido etildiaminotetraacético (EDTA) de una concentración 0.1 N. Midiendo el volumen de la solución de EDTA utilizado para que la muestra muestre un cambio de color a un tono azul-morado, se logró determinar la concentración normal de la muestra, expresada en carbonato de calcio:

$$N_{\text{CaCO}_3} = \frac{N_{\text{EDTA}} V_{\text{EDTA}}}{V_{\text{muestra}}}$$

Debido a que se utiliza EDTA, el número de partículas intercambiadas es 1, así que el resultado hallado con la fórmula anterior es también la concentración molar de carbonato de calcio ( $M_{CaCO_3}$ ). Dicha concentración molar se convirtió a partes por millón, a través de la siguiente fórmula, multiplicando la molaridad por el peso molecular del carbonato de calcio ( $PM_{CaCO_3}$ ) y por un factor de ajuste de unidades:

$$ppm_{CaCO_3} = M_{CaCO_3} \cdot PM_{CaCO_3} \cdot \left( \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g}} \right)$$

### Determinación del mejor material adsorbente

En una columna de acero de 15 cm de diámetro por 25 cm de largo se empacó primero un costal de manta que contenía 110 g de la resina catiónica comercial Amberlite IRA96 (véase en imagen 2) la cual tiene una capacidad de intercambio por peso de 1.5eq/Kg y un tamaño promedio de 0.46 mm su capacidad por volumen es de 1.36 eq/L, en el intercambio iónico tienen lugar las fuerzas de Van der Waals y las fuerzas de polarización. Se hizo circular un flujo de agua extraída de pozo y con la concentración de  $CaCO_3$ , conocida previamente con un flujo volumétrico de 3.3674 mL/s. La concentración de  $CaCO_3$  en el agua de salida de la columna se determinó como se explicó anteriormente. Se repitió el procedimiento anterior pero ahora se utilizó un costal de un material adsorbente diferente: una zeolita sintética (véase imagen 3).

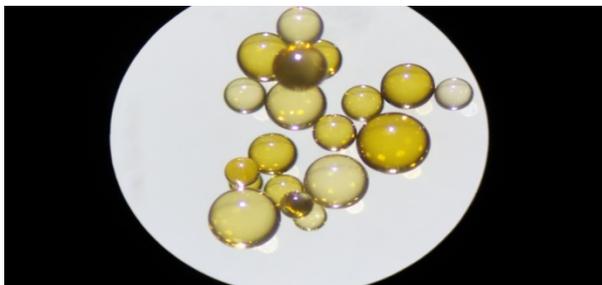


IMAGEN 2: Fotografía de la resina catiónica Amberlite IRA96 utilizada como material adsorbente.

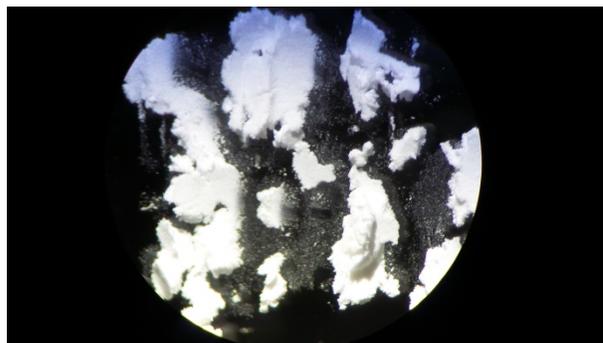


IMAGEN 3: Fotografía de la zeolita sintética utilizada como material adsorbente.

### Construcción de la isoterma de adsorción de Freundlich

En una columna de vidrio de 25 cm de altura y 1 pulgada de diámetro, se colocó una masa de 0.168 gr (masa de adsorbente) de resina catiónica Amberlite IRA96 y se le hicieron pasar soluciones de  $CaCO_3$  de diferentes concentraciones (400ppm, 200ppm, 100ppm y 80ppm) a un flujo de 10mL/min. Se midió la concentración de  $CaCO_3$  una vez a la salida de la columna y con los datos se construyó la gráfica de la ecuación de Freundlich linealizada:

La ecuación de Freundlich tiene la forma general [5]:

$$q_e = K_F C^{1/n}$$

Donde  $q_e$  es la concentración de soluto en el sólido ( $kg_{\text{adsorbato}}/kg_{\text{adsorbente}}$ ),  $C$  es la concentración de soluto en ppm.  $K_F$  y  $n$  son constantes y  $n$  debe ser menor a 1.

Para determinar  $q_e$  la masa de adsorbato se calculó como la diferencia en la concentración en ppm  $CaCO_3$  a la entrada y salida de la columna. Se multiplicó por el volumen de solución utilizado (0.5L) y se convirtió a Kg. De esta manera se obtienen los Kg de adsorbato. Solo falta dividir la cantidad que resulte de esto entre 0.000168 Kg de resina utilizada (Kg de adsorbente).

La ecuación de Freundlich es básicamente empírica pero es un instrumento útil para describir los datos. Los datos se ajustan generalmente a la forma logarítmica de la ecuación:

$$\ln q_e = \ln K_F + \frac{1}{n} \ln C$$

La cual nos da una línea recta con pendiente  $1/n$  y ordenada en el origen igual al valor de  $\ln K_F$ .

### Determinación del comportamiento de la absorbancia (A) del complejo EDTA-Calcio respecto al tiempo

De una solución de 400 ppm de  $\text{CaCO}_3$  se tomaron muestras cada 10 min, una vez que pasaron por la columna de vidrio empacada con resina Amberlite, durante un lapso de 50 minutos. Las muestras se analizaron en un espectrofotómetro de absorción molecular PerkinElmer y se determinó la absorbancia del complejo EDTA-Calcio para cada caso.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Determinación de la concentración de carbonato de calcio en el agua

En la siguiente tabla 1 se muestran los volúmenes de EDTA utilizados en las diferentes muestras, así como la molaridad de  $\text{CaCO}_3$  de las mismas y su concentración expresada en ppm:

Tabla 1: Concentración en ppm de  $\text{CaCO}_3$  del agua extraída de pozos de la ciudad de Guanajuato, Gto.

	$V_{\text{EDTA}}$ (mL)	Molaridad $\text{CaCO}_3$ (mol/L)	Partes por millón $\text{CaCO}_3$ (mg/L)
Muestra 1	2.6	0.0013	130.117
Muestra 2	2.5	0.00125	125.1125
Muestra 3	2.6	0.0013	130.117
Concentración Promedio	128.4488 ppm $\text{CaCO}_3$		

### Determinación del mejor material adsorbente

Realizando el procedimiento anterior se encontró que la concentración promedio de  $\text{CaCO}_3$  en el agua de salida de la columna cuando ésta se empacó con zeolita sintética fue de 120.108 ppm. Para el caso de cuando se empacó con la resina Amberlite IRA96 ni siquiera fue posible llegar al viraje del indicador, lo cual nos indica que ya no hay  $\text{CaCO}_3$  presente en la muestra con la cual el EDTA pueda acomplejarse, determinado de ésta manera, que el mejor material adsorbente es, sin duda la resina Amberlite IRA96.

### Construcción de la isoterma de adsorción de Freundlich

En la tabla 2, se muestran los datos obtenidos de la experimentación en la columna de vidrio y con los cuales se construyó la isoterma de Freundlich en su forma general y en su forma linealizada (véase imagen 4). De ésta última se tomó la ecuación que resultó de hacer una regresión lineal y se determinó el valor de las constantes  $K_F$  y  $n$ , viendo que, efectivamente "n" es menor a 1, pues tiene un valor de 0.6170.

Tabla 2: Valores de  $q_e$  (Kg adsorbato/Kg adsorbente) y concentración C (ppm  $\text{CaCO}_3$ ) necesarios para la construcción de la isoterma de Freundlich

Concentración inicial $C_0$ (ppm $\text{CaCO}_3$ )	Concentración final C (ppm $\text{CaCO}_3$ )	$q_e$ (Kgadsorbato/Kgadsorbente)
400	145.1305	0.75854018
200	115.1035	0.25266905
100	75.0675	0.07420387
80	60.054	0.0593631

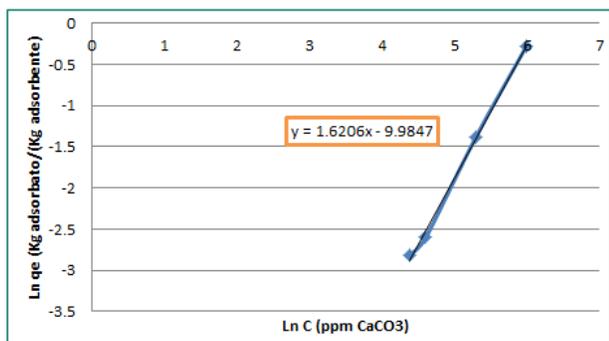


IMAGEN 4: Gráfica de la isoterma de Freundlich linealizada.

Así, de la ecuación:

$$y = 1.6206 x - 9.9847$$

Encontramos que:

$$n = \frac{1}{1.6206} = 0.6170$$

$$K_F = e^{-9.9847} = 4.6099 \times 10^{-5}$$

### Determinación del comportamiento de la absorbancia (A) del complejo EDTA-Calcio respecto al tiempo

La tabla 3 muestra la absorbancia para las diferentes muestras con el complejo EDTA-Calcio formado, a diferentes tiempos.

Tabla 3: Valores de absorbancia (A) para las diferentes muestras tomadas cada 10 min.

Tiempo (min)	Absorbancia (A)
10	3.3998
20	3.3132
30	3.3197
40	3.3034
50	3.299

Los valores obtenidos nos indican que la resina catiónica va intercambiando más iones calcio con el paso del tiempo.

## CONCLUSIONES

Del trabajo realizado se concluye que la tecnología de intercambio iónico a través de resinas Amberlite, como la utilizada durante el desarrollo de éste trabajo, es exitosa para el propósito de ablandamiento del agua, al retirar eficazmente los iones calcio y magnesio, dando pauta a desarrollar un prototipo que puede adaptarse a hogares de la ciudad de Guanajuato. Se comprobó que este sistema trabaja de acuerdo a la ecuación de Freundlich, y se observó como la Absorbancia vá disminuyendo con respecto al tiempo, lo cual se relaciona con el hecho de que la resina va “reteniendo” más calcio y magnesio.

## AGRADECIMIENTOS

A los docentes del Departamento de Ingeniería Química de la Universidad de Guanajuato el Dr. Zeferino Gamiño Arroyo, IQ. Miriam Gordillo Reyes y Dr. Fabricio Omar Barroso Muñoz y a los docentes del Departamento de Química de la misma institución la Dra. María del Pilar González Muñoz y Dr. Mario Ávila Rodríguez.

## REFERENCIAS

- [1] Pastrana-Martínez, L.M., López-Ramón, M.V., Fontecha-Cámara, M.A., Moreno-Castilla, C. (2010). Batch and column adsorption of herbicide fluroxypyr on different types of activated carbons from water with varied degrees of hardness and alkalinity. *Water Research*, 44(8), 879-885.
- [2] Manahan, S.E. (2007). *Introducción a la Química Ambiental* (1ª ed). Barcelona, España: Reverté.
- [3] Apell, J.N., Boyer, T.H. (2010). Combined ion exchange treatment for removal of dissolved organic matter and hardness. *Water Research*, 44(8), 2419-2430.
- [4] Comstock, S.E., Boyer, T.H. (2014). Combined magnetic ion exchange and cation exchange for removal of DOC and hardness. *Chemical Engineering Journal*, 44(241), 366-375.
- [5] Weber, W.J. (2003). *Control de la calidad del agua procesos fisicoquímicos* (3ª reimpresión). Barcelona, España: Reverté.