



## TÍTULO DE PATENTE No. 383712

**Titular(es):** UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO

**Domicilio:** Lascuráin de Retana No. 5, Colonia Centro, Guanajuato, Guanajuato, 36000, MÉXICO

**Denominación:** MODIFICACIÓN QUÍMICA DE LA SUPERFICIE DEL POLI (TEREFTALATO DE ETILENO) Y SU APLICACIÓN PARA REMOVER METALES PESADOS DISUELTOS EN AGUA.

**Clasificación:** **CIP:** C08F283/01; C02F101/20  
**CPC:** C02F11/147; C02F1/28; C22B3/24

**Inventor(es):** UBALDO MORALES ALVAREZ; FRANCISCO ANTONIO HORTA RANGEL; MARCO ANTONIO RAMÍREZ MORALES

### SOLICITUD

<b>Número:</b> MX/a/2014/011093	<b>Fecha de Presentación:</b> 15 de Septiembre de 2014	<b>Hora:</b> 14:43
------------------------------------	---	-----------------------

**Vigencia:** Veinte años  
**Fecha de Vencimiento:** 15 de septiembre de 2034  
**Fecha de Expedición:** 31 de mayo de 2021

La patente de referencia se otorga con fundamento en los artículos 1º, 2º fracción V, 6º fracción III, y 59 de la Ley de la Propiedad Industrial.

De conformidad con el artículo 23 de la Ley de la Propiedad Industrial, la presente patente tiene una vigencia de veinte años improrrogables, contada a partir de la fecha de presentación de la solicitud y estará sujeta al pago de la tarifa para mantener vigentes los derechos.

Quien suscribe el presente título lo hace con fundamento en lo dispuesto por los artículos 5º fracción I, 9, 10 y 119 de la Ley Federal de Protección a la Propiedad Industrial; artículos 1º, 3º fracción V, inciso a), 4º y 12º fracciones I y III del Reglamento del Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial; artículos 1º, 3º, 4º, 5º fracción V, inciso a), 16 fracciones I y III y 30 del Estatuto Orgánico del Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial; 1º, 3º y 5º fracción I Acuerdo Delegatorio de Facultades del Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial.

El presente documento electrónico ha sido firmado mediante el uso de la firma electrónica avanzada por el servidor público competente, amparada por un certificado digital vigente a la fecha de su elaboración, y es válido de conformidad con lo dispuesto en los artículos 7 y 9 fracción I de la Ley de Firma Electrónica Avanzada y artículo 12 de su Reglamento. Su integridad y autoría, se podrá comprobar en [www.gob.mx/impj](http://www.gob.mx/impj).

Asimismo, se emitió conforme lo previsto por los artículos 1º fracción III; 2º fracción VI; 37, 38 y 39 del Acuerdo por el que se establecen lineamientos en materia de Servicios Electrónicos del Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial.

### SUBDIRECTORA DIVISIONAL DE EXAMEN DE FONDO DE PATENTES ÁREAS BIOTECNOLÓGICA, FARMACÉUTICA Y QUÍMICA

#### EMELIA HERNÁNDEZ PRIEGO



Cadena Original:  
EMELIA HERNANDEZ PRIEGO|00001000000506482277|SERVICIO DE ADMINISTRACION  
TRIBUTARIA|56||MX/2021/61536|MX/a/2014/011093|Título de patente normal|1027|RGZ|Pág(=)  
1|sgvBdMUiiMxvd4QX1x8LHaKLoRkg=

Sello Digital:  
iDAYzWnm0NtYsAzPotdv5k0F51iVntQ8rR8aZT/8MqV+uCg5lRqxbY/INGZvw7YuE4/3Pep/wUaHWbpbNuP/I2TT4I  
qITQy1As/DUxfh4ZXe8nMzSeFfy/41BUavVSbq834rj35ef8xuTansh0X2KFt9gta/umsvlGQzFAwAMb+jL8La6/O8  
c9L55FvWawhU1Lwl8q+FC7sskHMEdQPpywfCqSmAGuQSbiGIIPYC7/XqJ6HAadE3kAf80BbL8SbBns7G/22fDv3e0qC  
ilxNPyGSHtYnN23f9vVasVMtZhcPqL0xQDYRh/wkaZg4p4pdP3gDYjmio8aCqL84Zy0crkg==



MX/2021/61536

## MODIFICACIÓN QUÍMICA DE LA SUPERFICIE DEL POLI (TEREFTALATO DE ETILENO) Y SU APLICACIÓN PARA REMOVER METALES PESADOS DISUELTOS EN AGUA

5

### OBJETO DE LA INVENCION

La presente invención se refiere a la modificación química de la superficie del PET para utilizarlo en el tratamiento de aguas de desecho. De manera particular se refiere a la modificación superficial de PET reciclado a partir de botellas de bebidas gaseosas, el cual inicialmente se sometió a trituración y posteriormente a un tratamiento químico con metionina para su posterior uso en la adsorción de metales pesados en aguas residuales.

### ANTECEDENTES

15

Desde su descubrimiento en la década de 1940, el poli(tereftalato de etileno) (PET) se ha convertido en uno de los polímeros termoplásticos más importantes y ampliamente utilizado. Su alta resistencia a la tracción y resistencia al impacto, la retención de CO<sub>2</sub> adecuada, resistencia a los ácidos, agentes oxidantes y microorganismos, claridad, facilidad de procesamiento, el color, y flexibilidad de diseño han acelerado la aplicación del PET en una amplia variedad de usos, incluyendo las fibras textiles, botellas de refrescos, frascos, cables de neumáticos, cintas de audio y películas fotográficas. La mayor parte de PET se utiliza en la fabricación de fibras, mientras que el segundo mercado más grande es en la producción de resina de grado botella<sup>1</sup>. De todos los termoplásticos comercialmente importantes y polímeros de ingeniería, el PET ha experimentado la mayor tasa de crecimiento del consumo de PET en general en el mundo llegando a 13 millones de toneladas en 2013. Sin embargo, las fibras de PET no contienen grupos funcionales químicamente reactivos, mostrando resistencia a la humedad, aniones o cationes<sup>2</sup>.

## Reciclaje de PET

El reciclaje de PET ha atraído mucha atención, en principio puede ser casi 100% reciclado. Con el aumento de la producción y la demanda de PET también ha aumentado la necesidad de su reciclaje eficiente.

- 5 El reciclaje de PET se puede realizar de tres formas diferentes: Reciclaje primario, secundario y terciario<sup>3</sup>. En el reciclaje primario, el material de desecho en una planta se recicla sin introducir contaminantes y puede ser procesada con el material virgen para asegurar la calidad del producto. En el reciclaje secundario, PET post-consumo se separa de otros polímeros o papel, mediante molienda y lavado antes de procesamiento en fusión. Los
- 10 productos de reciclaje secundario se utilizan sobre todo en fibra, hoja y película. Sin embargo, las propiedades se deterioran en cada etapa, por ejemplo el peso molecular se reduce a causa de los contaminantes residuales. El reciclaje terciario implica la despolimerización de PET a sus precursores monoméricos u oligoméricos, dependiendo de la ruta de despolimerización empleada. La despolimerización de PET puede llevarse a cabo
- 15 a través de metanólisis, glucólisis, aminólisis, y la hidrólisis<sup>4</sup>. La repolimerización de oligómeros o monómeros después de purificación adecuada a continuación, permite el uso del PET reciclado en los envases de alimentos y bebidas en conjunto con PET virgen.

La United Resource Recovery Corporation (URRC) es una de las compañías líderes en el mundo de reciclaje que produce PET reciclado de grado alimenticio. Su proceso de

20 reciclaje, consiste en una combinación de métodos de reciclaje secundario y terciario. El proceso de reciclaje se inicia con la adquisición de las balas de reciclaje designada por los residuos sólidos de los municipios. Botellas y envases fabricados con PET son separados de otros residuos y luego son picados en pequeños copos. Después los copos de PET están expuestos a la solución cáustica. La degradación química de PET en la solución cáustica se

25 limita a sólo la superficie más externa de las escamas, en marcado contraste con la degradación completa de PET en la presencia de aminas. Los copos se descontaminan a continuación, a temperaturas elevadas, se enjuaga, se neutraliza, se seca, y se envasa. Esta ruta permite la eliminación selectiva de sólo una capa delgada de PET, junto con otras impurezas, a partir de copos durante el reciclado, en lugar de despolimerización de escamas

enteras para recuperar monómero que puede ser posteriormente repolimerizado a un costo significativo de energía. Con este proceso, aproximadamente el 5% del PET reciclado se despolimeriza y los copos de PET reciclado restantes son adecuados para la producción de envases de calidad alimentaria<sup>5</sup>.

5

#### PET como matriz adsorbente

En los últimos años, se han propuesto varias metodologías para eliminar iones de metales pesados del agua potable y de aguas residuales mediante el uso de fibras poliméricas como adsorbentes<sup>6</sup>, por lo que el PET ha sido considerado como un buen candidato.

- 10 Existen varios reportes sobre la modificación de fibras de PET con ácido metacrílico, dicha modificación puede adsorber  $Pb^{2+}$  (44.1 mg/g)<sup>21</sup>,  $Ni^{2+}$  (95 %),  $Zn^{2+}$  (97.3 %),  $Cd^{2+}$  (98.3 %),  $Co^{2+}$  (94.1 %)<sup>7</sup>.

- 15 Monier y Abdel-Latif realizaron la modificación de fibras de PET con tiosemicarbazidas para la remoción de iones de Hg (II), Cu (II) y Co (II) de disoluciones acuosas, sus resultados mostraron que la matriz adsorbente se comporta bajo un modelo de Langmuir y presenta una capacidad de adsorción de hasta 120.02, 96.81 y 78.08 mg/g para  $Hg^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$  y  $Co^{2+}$  respectivamente<sup>2</sup>.

- 20 Fibras de PET tratadas con acetona se han utilizado para la adsorción de iones de cobre (II), cobalto (II), y hierro (III) en soluciones acuosas. Se demostró que la afinidad de estas fibras es mayor para cobalto y menor para hierro por lo que se ha propuesto que son un material potencial para el tratamiento de aguas residuales para los iones estudiados.<sup>8</sup>

En este trabajo se presenta un estudio sobre la modificación superficial del poli(tereftalato de etileno) (PET) y su aplicación como un nuevo adsorbente para la remoción de iones metálicos de disoluciones acuosas, mediante una técnica de equilibrio por lotes.

- 25 El poli(tereftalato de etileno) (PET) representa gran parte de los residuos sólidos generados, por otro lado en nuestro país existen poblaciones en las que el agua que utilizan

para desarrollar las actividades domésticas contiene grandes concentraciones de metales pesados disueltos lo cual la hace no apta para consumo y su uso presenta graves problemas de salud debido a intoxicaciones.

- 5 El abastecimiento de agua para uso y consumo humano con calidad adecuada es fundamental para prevenir y evitar la transmisión de enfermedades gastrointestinales entre otras, para lo cual se requiere establecer límites permisibles en cuanto a sus características bacteriológicas, físicas, organolépticas, químicas y radiactivas. Con el fin de asegurar y preservar la calidad del agua en los sistemas, hasta la entrega al consumidor, se debe someter a tratamientos de potabilización<sup>9</sup>.
- 10 Las tecnologías actualmente practicadas para la eliminación de metales pesados de efluentes industriales parecen ser insuficientes, creando a menudo problemas secundarios con lodos de metales que son extremadamente difíciles de eliminar. Debido a su clasificación como "sustancias tóxicas" estos lodos de metales pesados requieren manejo, métodos y lugares de eliminación especiales.
- 15 Las "mejores tecnologías de tratamiento" actualmente disponibles para la remoción de metales de efluentes no son lo suficientemente efectivas o son costosas e inadecuadas considerando grandes cantidades de aguas residuales. Las plantas de tratamiento de aguas de desecho no están diseñadas ni equipadas para tratar con desechos tóxicos. Los metales pesados necesitan ser removidos desde la fuente en un paso de "pre-tratamiento"
- 20 especialmente diseñado, este tratamiento específico necesita ser económico.

El objetivo final de un tratamiento de aguas residuales consiste en separar los materiales tóxicos de las corrientes de aguas residuales de diversas industrias.

- 25 La precipitación ha sido la tecnología de remoción de metal crudo más ampliamente aplicada. Especies metálicas en solución se precipitan a través de un aumento en el pH, normalmente ayudado por la adición de ciertos productos químicos. El proceso está dirigido a la desolubilización del metal y aumentar el tamaño de partícula precipitada en la solución para llevar a los metales como residuos de lodos. Hay ciertas desventajas de este tipo de tratamiento de agua que se puede resumir de la siguiente manera:

- La adición de productos químicos debe ser precisa, haciendo el proceso sensible y a menudo poco fiable.
  - La eliminación de metales residuales no siempre cumple con las regulaciones ambientales más estrictas.
- 5
- El proceso de precipitación deja de lado los "lodos peligrosos", que deben ser eliminados de manera segura.
  - Los metales no pueden recuperarse económicamente de los lodos.

El intercambio iónico puede eliminar metales disueltos de manera muy eficaz. Sin embargo, debido a su costo no es ampliamente aplicado, en particular para operaciones de  
10 limpieza a gran escala como es el caso del tratamiento de efluentes.

Debido a que las normas de emisión son más estrictas, las técnicas comunes de remoción de metales se están haciendo cada vez más inadecuadas. La búsqueda se centra entonces en soluciones eficientes y económicamente efectivas<sup>10</sup>. El proceso de adsorción proporciona un tratamiento alternativo y atractivo comparado con otras técnicas de eliminación, ya que  
15 es más económico y se puede implementar fácilmente<sup>11</sup>.

#### Proceso de Adsorción

En los procesos de adsorción, uno o más componentes de una corriente de gas o de líquido se adsorben en la superficie de un sólido y se lleva a cabo una separación. En los procesos comerciales, el adsorbente generalmente tiene la forma de partículas pequeñas en un lecho  
20 fijo. El fluido se hace pasar por el lecho y las partículas sólidas adsorben componentes del fluido. Cuando el lecho está casi saturado, el flujo se detiene y el lecho se regenera térmicamente o por otros métodos, de modo que ocurre una desorción. Así se recupera el material adsorbido (adsorbato) y el adsorbente sólido queda listo para otro ciclo de adsorción.

25 Entre las aplicaciones de la adsorción en fase líquida están la eliminación de compuestos orgánicos del agua o de soluciones orgánicas, la eliminación de impurezas coloreadas de sustancias orgánicas y la eliminación de diversos productos secundarios de las descargas de

los fermentadores. Las separaciones incluyen la de parafinas de compuestos aromáticos y la de fructosa de glucosa utilizando zeolitas.

Las aplicaciones de la adsorción en fase gaseosa incluyen el secado de hidrocarburos gaseosos, la remoción de componentes azufrados del gas natural, disolventes y la  
5 eliminación de olores del aire y de otros gases.

Se han desarrollado muchos adsorbentes para una amplia gama de separaciones. Por lo común, los adsorbentes tienen forma de esferas, cuentas o gránulos cuyo tamaño va de cerca de 0.1 mm a 12 mm, y las partículas más grandes se usan en los lechos empacados. Una partícula de adsorbente tiene una estructura con numerosos poros muy finos, cuyo  
10 volumen alcanza hasta el 50% del volumen total de la partícula. La adsorción física, o de van der Waals, por lo general sucede entre las moléculas del adsorbato y la superficie interna sólida del poro del adsorbente, y es fácilmente reversible.

El proceso de adsorción global consta de una serie de pasos. Cuando el fluido pasa alrededor de la partícula en un lecho fijo, el adsorbato primero se difunde desde el volumen  
15 del fluido hacia toda la superficie exterior de la partícula, luego, el adsorbato se difunde hacia el interior del poro y por último, se adsorbe sobre la superficie.

Comercialmente existen diferentes adsorbentes los cuales se caracterizan por tener grandes áreas superficiales de los poros, que van desde 100 hasta más de 2 000 m<sup>2</sup>/g.

- Carbón activado. Es un material microcristalino que proviene de la descomposición  
20 térmica de madera, cortezas vegetales, carbón, etc., y tiene áreas superficiales de 300 a 1 200 m<sup>2</sup>/g con un promedio de diámetro de poro de 10 a 60 Å. Es el adsorbente de elección para la remoción de compuestos orgánicos.
- Gel de sílice. Este adsorbente se fabrica mediante el tratamiento ácido de una  
25 solución de silicato de sodio. Tiene un área superficial de 600 a 800 m<sup>2</sup>/g y un promedio de diámetro de poro de 20 a 50 Å. Se utiliza principalmente para deshidratar gases y líquidos y para retener hidrocarburos.

- Alúmina activada. Se obtiene mediante la deshidratación térmica del óxido de aluminio. Se usa principalmente para secar gases y líquidos. El área superficial fluctúa entre 200 y 500 m<sup>2</sup>/g con un promedio de diámetro de poro de 20 a 140 Å.
- Zeolitas tipo tamiz molecular. Estas zeolitas son aluminosilicatos cristalinos porosos que forman una red cristalina abierta que tiene poros de uniformidad precisa a diferencia de otros adsorbentes en los que los poros son de diferentes tamaños. Las zeolitas se usan para secado, separación de hidrocarburos, etc.
- Polímeros o resinas sintéticas. Se fabrican polimerizando dos tipos principales de monómeros. Los que se generan a partir de compuestos aromáticos como el estireno y el divinilbenceno. Se usan para adsorber compuestos orgánicos no polares dispersos en soluciones acuosas. Los polímeros que provienen de ésteres acrílicos se utilizan para adsorber sustancias más polares dispersas en agua<sup>12</sup>.

#### Modelos de adsorción

- 15 En la bibliografía se pueden distinguir varios modelos de adsorción clasificados sobre la base del tipo de atracción entre el adsorbato y el adsorbente las cuales pueden ser electrostáticas, de Van der Waals o de naturaleza química (formación de enlaces).

20 El modelo electrostático es un proceso de intercambio iónico mediante el cual los iones de una sustancia se concentran como resultado de la atracción entre la carga eléctrica del ion (adsorbato) por los sitios electrizados de la superficie del adsorbente. Para dos adsorbatos iónicos presentes en la misma muestra, y considerando las mismas condiciones de otras variables, la carga del ión es el factor determinante en la adsorción de intercambio. Para iones de igual carga, el tamaño molecular (radio de solvatación) determina el orden de preferencia para la adsorción.

- 25 La adsorción que tiene lugar debido a las fuerzas de Van der Waals generalmente se denomina adsorción física o fisisorción. En estos casos, el adsorbato no está fijo en un lugar específico de la superficie, sino más bien es libre de trasladarse dentro de la interfase. Esta adsorción, en general, predomina a temperaturas bajas. La adsorción de la mayoría de las



sustancias orgánicas dispersas en el agua con carbón activado se considera de naturaleza física.

Si el adsorbato sufre una interacción química con el adsorbente, el fenómeno se llama adsorción química, adsorción activa o quimisorción. Las energías de adsorción son elevadas, del orden de las de un enlace químico, debido a que el adsorbato forma enlaces fuertes localizados en los centros activos del adsorbente. Esta adsorción suele estar favorecida a una temperatura elevada.

La mayor parte de los fenómenos de adsorción son combinaciones de las tres formas de adsorción por lo que no es fácil distinguir entre adsorción física y química<sup>13</sup>.

10

#### DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

**Figura 1.** Espectro FTIR-ATR completo: Se muestra la comparación de las señales obtenidas del PET (PET en ATR), PET después del tratamiento con hidróxido de sodio (PET con NaOH) y después del tratamiento con metionina (PET con metionina)

15 **Figura 2.** Espectro FTIR-ATR Ampliación de la señal de vibración del grupo carbonilo del éster: Se muestra la disminución de la intensidad de la señal debido a la formación del grupo amida durante el tratamiento del PET con metionina.

**Figura 3.** Espectro FTIR-ATR Ampliación de la señal de vibración de grupos oxidrilo terminales del PET (PET en ATR), se muestra el aumento de la intensidad de la señal durante el tratamiento con hidróxido de sodio (PET con NaOH) y la disminución de la intensidad de la señal con el tratamiento con metionina (PET con metionina).

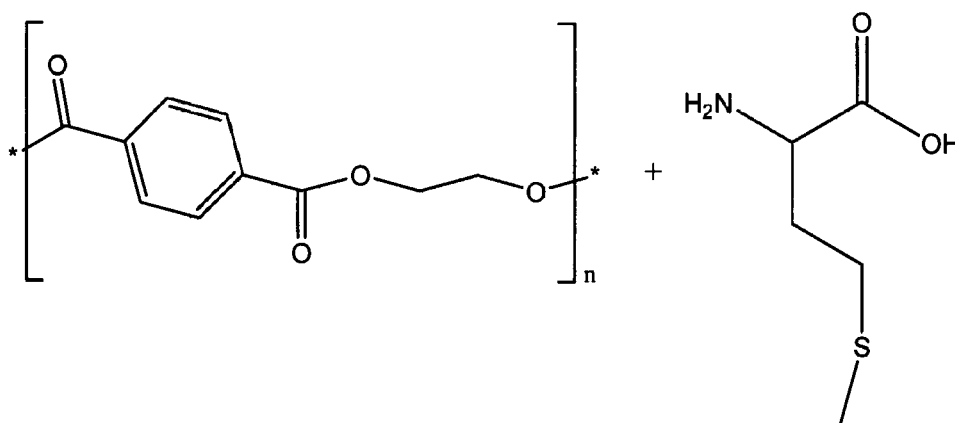
20 **Figura 4.** Gráfica de resultados de tiempo de contacto del PET modificado con metionina con una disolución estándar de Mn(II) a una concentración de 5 ppm.

25 **Figura 5.** Gráfica de resultados del efecto del incremento de la concentración inicial de Mn(II) sobre la capacidad de adsorción del PET modificado.

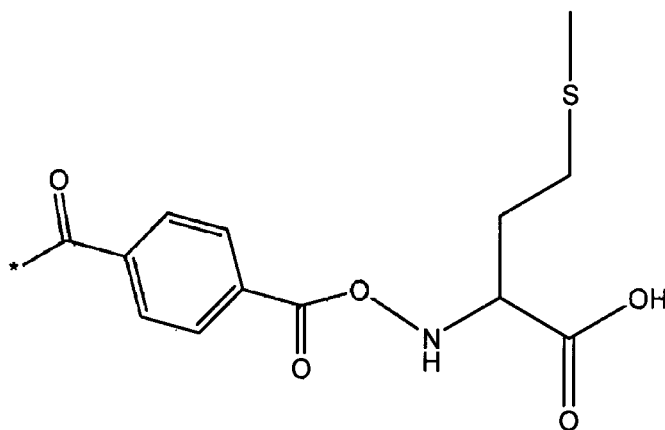
**Figura 6.** Gráfica de resultados de la comparación de la capacidad de adsorción del PET y del PET modificado con respecto al incremento de la concentración de Mn(II).

#### DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCIÓN:

- 5 Para la modificación química de la superficie del PET, el primer paso consiste en obtener un polvo fino de PET. Posteriormente el PET pulverizado se trata con una solución acuosa de hidróxido de sodio 1M con agitación constante a 80 °C por 2 horas, quedando la parte terminal de la superficie del PET con el grupo del ácido ptereftálico como la correspondiente sal de sodio y etilenglicol en la disolución acuosa.
- 10 Después el PET se filtra y se enjuaga con agua ligeramente ácida para eliminar el exceso de hidróxido de sodio y regenerar el grupo hidroxilo del ácido carboxílico. El PET se mezcla con una solución de DL-metionina 0.1 M y se mantiene en agitación constante a 80 °C por 12 horas.



- 15 El ácido carboxílico terminal de la superficie del PET reacciona con el grupo amino de la metionina formando un grupo amida, la modificación presenta la siguiente estructura:



Para comprobar que la estructura de la superficie del PET se ha modificado se obtuvieron espectros infrarrojos de reflectancia total atenuada (FTIR-ATR), los cuales mostraron modificaciones en el número de onda, la forma e intensidad de las señales asociadas a las vibraciones del ácido carboxílico del PET, las cuales se muestran en las figuras 1, 2 y 3:

La estructura final posee una cantidad considerable de átomos con capacidad coordinante, por lo cual se puede aplicar como agente adsorbente de metales pesados disueltos en agua, tales como: Manganeso, Hierro, Plomo Cobre, Cobalto, Cadmio, Mercurio, Talio, Níquel, Vanadio, Cromo, Estaño, Antimonio, Selenio, Arsénico, Zinc y otras especies químicas como Cianuros y Fluoruros.

## EJEMPLOS

Para demostrar su aplicabilidad se han realizado estudios como el que se muestra en los siguientes ejemplos:

### 15 Ejemplo 1

Se tomaron 6 botellas de PET de bebidas gaseosas, se enjuagan con agua y jabón, posteriormente se pulverizaron obteniendo 24 g de polvo de PET. El polvo obtenido se lava nuevamente con agua y jabón en un vaso de precipitados de 500 ml con agitación constante de aproximadamente 1000 rpm y se mantiene a 60 °C por dos horas. Después del lavado el

PET se enjuaga con agua destilada, se filtra y se vuelve a enjuagar con agua destilada. El PET se coloca en otro vaso de precipitados de 500 ml y se agregan 400 ml de una disolución de hidróxido de sodio 1 M, la mezcla se calienta hasta 80 °C y se mantiene a esa temperatura con agitación constante de aproximadamente 1500 rpm por 3 horas.

5 Posteriormente se filtra y se lava dos veces con agua destilada y después se vuelve a enjuaga con 200 ml de una disolución de ácido clorhídrico 0.1 M y finalmente se vuelve a filtrar y a enjuagar con agua destilada. El PET se transfiere a otro vaso de precipitados de 500 ml y se agregan 400 ml de una disolución de DL-metionina 0.5 M, la mezcla se calienta hasta 80 °C y se mantiene a esa temperatura con agitación constante de 1500 rpm

10 por 12 horas. El PET se filtra y se enjuaga 3 veces con agua destilada. Finalmente se deja secar al aire y temperatura ambiente. Para comprobar que la estructura de la superficie del PET se ha modificado se obtuvieron espectros infrarrojos de reflectancia total atenuada (FTIR-ATR), los cuales mostraron modificaciones en el número de onda, la forma e intensidad de las señales asociadas a las vibraciones del ácido carboxílico del PET, las

15 cuales se muestran en las figuras 1, 2 y 3.

## Ejemplo 2

Se toma 1 gramo de PET modificado y se coloca tubos falcon y se le agregan 5 mL de solución estándar de Manganeso (II) a una concentración de 100 ppm, se deja en contacto por 2 horas y después se filtra y se diluye con agua destilada. Luego la dilución se le agrega

20 1 gota de ácido nítrico concentrado y se cuantifica la cantidad de Mn (II) remanente en la disolución por absorción atómica.

### 1. Tiempo de Contacto del PET-MET con la disolución de Mn(II)

Los resultados de la gráfica de la figura 4 mostraron que la adsorción de Mn(II) alcanza el equilibrio a las 2 horas de contacto.

### 25 2. Efecto de la Concentración inicial de Mn(II)

Estas pruebas se realizaron aumentando la concentración inicial de la disolución de Mn(II) en un rango de 25 a 100 ppm. Los resultados se muestran en la gráfica de la figura 5. Los

resultados mostraron que la adsorción de Mn(II) se incrementa considerablemente al aumentar la concentración inicial de iones, se observa una adsorción máxima aproximadamente del  $23.30 \pm 0.05$  % en el rango de concentraciones utilizado.

- 5 3. Comparación entre PET-MET y PET sin modificar como agentes adsorbentes de Mn(II).

Las concentraciones de las disoluciones de Mn (II) se incrementaron en el rango de 25 a 100 ppm. Los resultados se muestran en la gráfica de la figura 6. Del análisis de los resultados observamos que el PET sin tratamiento también es capaz de adsorber iones de Mn(II), sin embargo el porcentaje de adsorción en el rango de concentraciones de la prueba es menor que el observado con el PET modificado (PET-MET).

10 En conclusión las pruebas de adsorción analizaron el tiempo de contacto y la variación de la concentración inicial de Mn (II) sobre la capacidad de adsorción del PET-MET en comparación con el PET no tratado. La capacidad máxima de adsorción se encontró a un tiempo de contacto de 2 horas con un porcentaje de retención aproximado del  $23.3 \pm 0.05$ %  
15 en el rango de concentraciones iniciales probado. El análisis estadístico de los datos reveló una diferencia significativa en la adsorción de Mn (II) del PET-MET comparado con el PET sin tratamiento químico.

#### Bibliografía:

20

1. Stumm, W., and Lee, G. F., "Oxygenation of Ferrous Iron," Ind. Eng. Chemistry (American Chemical Society) 53:143, 1961
2. Monier, M., Abdel-Latif, D.A., (2013) "Modification and characterization of PET fibers for fast removal of Hg(II), Cu(II) and Co(II) metal ions from aqueous solutions", J. Haz. Mat., 250-251, pp. 122-130.
- 25 3. Plastic Business Data and Charts The Association of German Plastics Manufacturers, 2004
4. F. Pardos, Vol. 2010, [http://www.pardos-marketing.com/paper\\_e03.htm](http://www.pardos-marketing.com/paper_e03.htm), 2006

5. Abdouss, M. et al. (2012) "Modified PET Fibers for Metal Ion and Dye Removal from Aqueous Media", *Poly. & Poly. Comp.*, Vol. 21, No. 4
6. Robinson-Lora, M., Brennan, R., (2010) "Biosorption of manganese onto chitin and associated proteins during the treatment of mine impacted water", *Chem. Eng. J.*, 162, pp. 565-572
7. Ganesa, P., Lakshmi, J., (2013) "Removal of Manganese from Water by Electrocoagulation: Adsorption, Kinetics and Thermodynamic Studies", *Can. J. Chem. Eng.* Vol. 91 pp. 448-458
8. Yigitoglu, M., et al. (1998) "Adsorption of Copper (II), Cobalt (II), and Iron (III) Ions from Aqueous Solutions on Poly (ethylene terephthalate) Fibers", *J. App. Poly. Sci.*, Vol. 68, pp. 1935-1939
9. NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-127-SSA1-1994
10. Volesky, B., (2003) "Sorption and Biosorption", BV Sorbex, Quebec, Canadá
11. Taffarel, S., Rubio, J., (2010) "Removal of  $Mn^{2+}$  from aqueous solution by manganese oxide coated zeolite", *Min. Eng.*, Vol. 23, pp. 1131-1138.
12. Geankoplis, C., (2006) "Procesos de transporte y principios de procesos de separación", Ed. Continental, 4 ed.
13. Appelo, C., Postma, D., (1993) "Geochemistry, groundwater and pollution", Ed. Balkema. pp. 536.
14. Tekerlekopoulou, A.G., Vasiliadou, I.A., Vayenas, D.V., *Biochemical Engineering Journal*, 38(2008), 292-301
15. Han, S.C., Choo, K. H., Choi, S.J., Benjamin, M.M., *Journal of Membrane Science*, 290(2007), 55-61.
16. Taffarel, S., Rubio, J., (2010) "Removal of  $Mn^{2+}$  from aqueous solution by manganese oxide coated zeolite", *Min. Eng.*, Vol. 23, pp. 1131-1138.
17. Abdessalem, O., Mourad, B. (2012) "Removal of manganese (II) ions from aqueous solutions by adsorption on activated carbon derived a new precursor: Ziziphus spina-christi seeds", *Alex. Eng. J.*, 51, 343-350.

18. Robinson-Lora, M., Brennan, R., (2010) "Biosorption of manganese onto chitin and associated proteins during the treatment of mine impacted water", Chem. Eng. J., 162, pp. 565-572.

5

10

15

20

## REIVINDICACIONES

Habiendo descrito lo suficiente mi invención reclamo como de mi propiedad lo contenido en las siguientes reivindicaciones:

1. Un proceso para la modificación de la superficie del poli(tereftalato de etileno) (PET) para remover metales pesados disueltos en agua el cual consiste en los siguientes pasos:
  - a) Pulverización del PET.
  - b) El PET pulverizado se pone en contacto con una solución de Hidróxido de sodio.
  - c) Después el PET se filtra y se enjuaga con una solución ácida.
  - d) Luego el PET se mezcla con una solución de DL-metionina o D-metionina o L-metionina y se deja reacciona durante 1 a 48 h, en una disolución acuosa de DL-metionina o L-metionina o D-metionina, con agitación de 1500 rpm a temperatura de hasta 80 °C.
2. El proceso de acuerdo a la reivindicación 1 caracterizado porque el PET puede ser virgen o reciclado.
3. El proceso de acuerdo a la reivindicación 1 caracterizado porque la concentración de hidróxido de sodio es de 0.5 M a 2 M.
4. El proceso de acuerdo a la reivindicación 1 caracterizado porque el PET en contacto con la solución de hidróxido de sodio se pone a una agitación de 1500 rpm.
5. El proceso de acuerdo a la reivindicación 3 caracterizado porque el tiempo de reacción es de 1 a 48 horas.
6. El proceso de acuerdo a la reivindicación 1 caracterizado porque la solución ácida es de ácido clorhídrico o ácido nítrico.
7. El proceso de acuerdo a la reivindicación 1 caracterizado porque la concentración de la solución ácida es de 0.1 M a 0.5 M.
8. El proceso de acuerdo a la reivindicación 1 caracterizado porque la concentración de la solución de DL-metionina o D-metionina o L-metionina es de 0.1 M a 1 M.
9. El proceso de acuerdo a la reivindicación 1 caracterizado porque la reacción entre el PET y la metionina se llevan a cabo con agitación de 1500 rpm.



10. El proceso de acuerdo a la reivindicación 9 caracterizado porque el tiempo de reacción es de 1 a 48 horas,
11. El proceso para la modificación de la superficie del poli(tereftalato de etileno) (PET) de acuerdo a la reivindicación 1 en donde el PET modificado se utiliza como matriz adsorbente de metales pesados (Manganeso, Hierro, Plomo Cobre, Cobalto, Cadmio, Mercurio, Talio, Níquel, Vanadio, Cromo, Estaño, Antimonio, Selenio, Arsénico, Zinc y otras especies químicas disueltos en agua (Cianuros y Fluoruros).

10

15

20

## RESUMEN

La presente invención se refiere a la modificación química de la superficie del poli(tereftalato de etileno) (PET) y su aplicación como un nuevo material adsorbente para la remoción de iones metálicos tales como hierro, manganeso, cobre, plomo, talio, cobalto, mercurio, cromo, níquel, vanadio, selenio, zinc, estaño, cadmio, antimonio, selenio y otras especies químicas como cianuros y fluoruros de disoluciones acuosas, mediante una técnica de equilibrio por lotes. El PET se obtuvo de botellas de bebidas gaseosas, se sometió a trituración y a tratamiento químico con metionina.

1/3

Figura 1

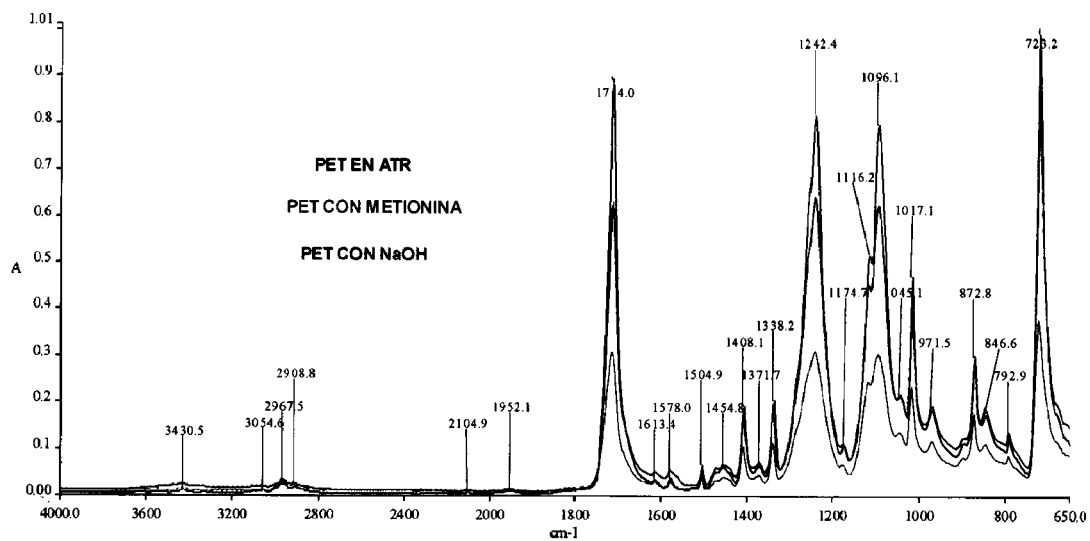
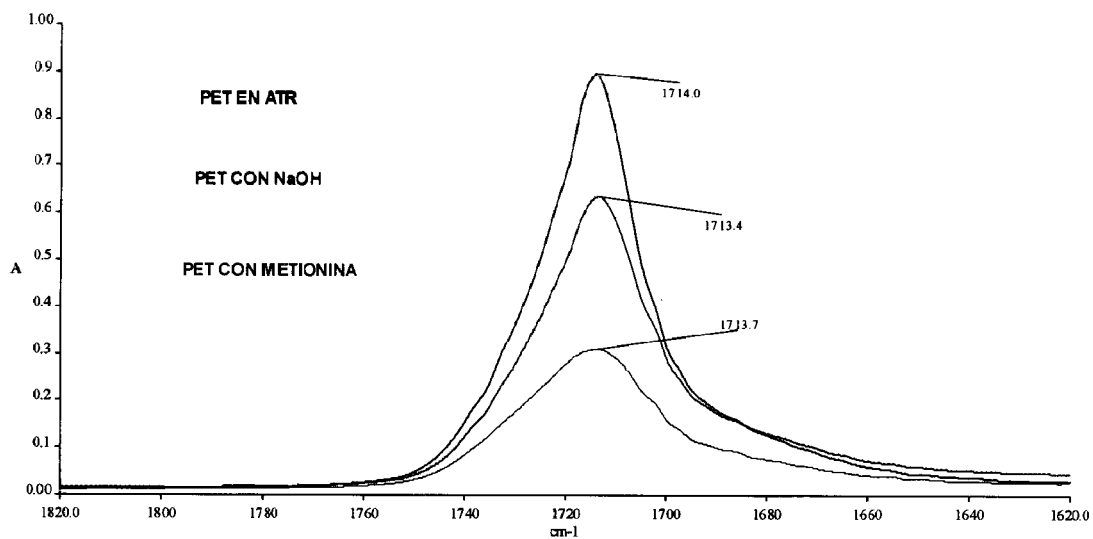


Figura 2



2/3

Figura 3

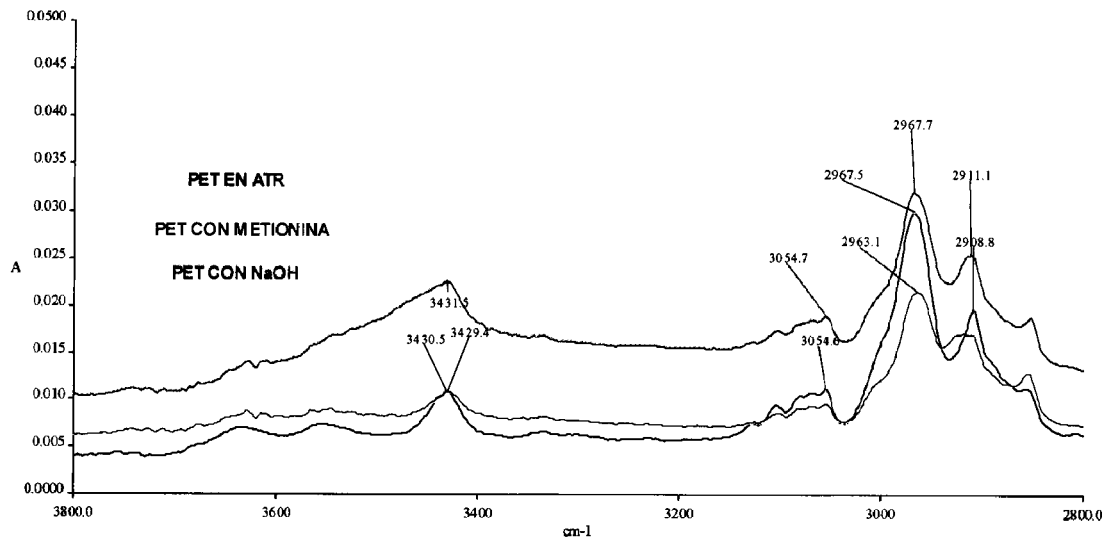
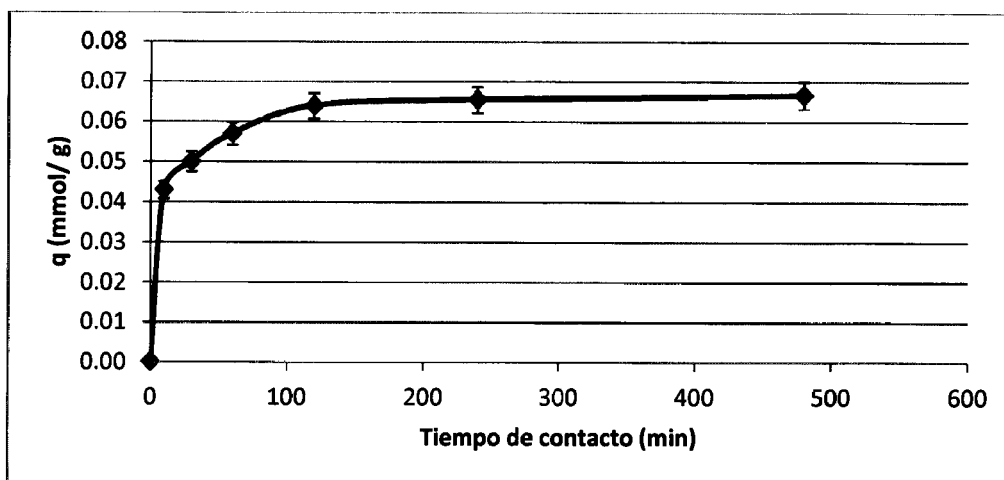


Figura 4



3/3

Figura 5

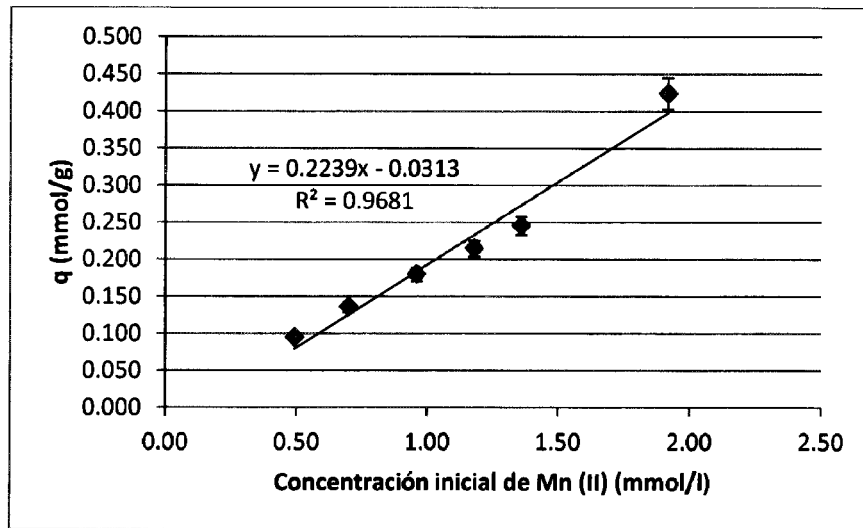


Figura 6

