

TECNOLOGÍA LIMPIA APLICADA AL TRATAMIENTO Y APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS DE AMALGAMA DENTAL

Jairo Ruiz Córdobaⁱ
Rosaura Carmonaⁱⁱ
Gabriel Jaime Gómezⁱⁱⁱ
José Alejandro Muñoz^{iv}

ⁱ M.Sc. en Ingeniería Metalúrgica, director grupo MAPRE Universidad de Antioquia.

ⁱⁱ Ingeniera Química, Investigación y Desarrollo New Stetic S.A.

ⁱⁱⁱ Ingeniero Metalúrgico, Investigación y Desarrollo New Stetic S.A. E-mail
gigagomez@newstetic.com

^{iv} Ingeniero de Materiales, estudiante de doctorado en Ciencia de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica, Universidad Politécnica de Cataluña, España.

Manizales, 2008-05-02 (Rev. 2008-06-15)

RESUMEN

A la problemática mundial sobre la contaminación del medio ambiente por las actividades humanas donde se utiliza el mercurio, se suma la contaminación generada por los residuos de amalgama dental cuando estos se disponen de manera inadecuada. En Colombia, a pesar de haber una normatividad clara al respecto, subsiste esta problemática cuando las instituciones prestadoras de servicios en salud oral arrojan por la alcantarilla, incineran o entierran los residuos de amalgama que producen, como forma de disponerlos. Esto se debe a que muchas veces dicha normatividad se desconoce o se aplica de manera parcial o equivocada. Como solución a esta problemática, la Universidad de Antioquia, a través de los grupos de investigación Ciencia y Tecnología Biomédica (CTB), Materiales Preciosos (MAPRE) y de Investigaciones Pirometalúrgicas y de Materiales (GIPIMME), y la empresa productora y comercializadora de insumos odontológicos New Stetic S.A., diseñaron e implementaron un proceso eco-eficiente de tratamiento de residuos de amalgama, con los objetivos de, primero, evitar una disposición inadecuada que impacte negativamente el medio ambiente y, segundo, aprovechar los metales recuperados por medio de su reintegro a la cadena productiva. Las etapas del proceso consisten en: la recuperación pirometalúrgica (altas temperaturas) del mercurio en un destilador hermético llamado Retorta y la recuperación hidrometalúrgica (recuperación en medio acuoso) del resto de los metales constituyentes. Esto permite obtener, de manera eco-eficiente y auto-sostenible, cada metal que a su vez pueden pasar a un proceso de refinación para darle valor agregado y ser reutilizado.

PALABRAS CLAVE

Amalgama dental, residuos de amalgama, mercurio, Retorta, lixiviación.

CLEAN TECHNOLOGY APPLIED TO THE TREATMENT AND MANAGEMENT OF DENTAL AMALGAM RESIDUES

ABSTRACT

The world problem regarding the environmental pollution due to human activities where mercury is used increases the contamination generated by the dental amalgam scraps when they are inadequately disposed. Although Colombia has clear regulations regarding this issue, the problem subsists when oral health service institutions discard down the drainpipe, incinerate or bury the amalgam scraps that they produce as a disposal method. This occurs because the regulations are unknown or because, many times, they are partially or incorrectly applied. As a solution to this situation, the Universidad de Antioquia through the research groups: Science and Biomedical Technology, Precious Materials and Pyrometallurgical and Material Researches, and the dental supplies manufacturing and marketing company New Stetic S.A., developed and implemented a eco-efficient recovery process for amalgam wastes in order to prevent any incorrect disposal that negatively impacts the environment, and to take advantage of the recovered metals by returning them to the production line. The process stages include the pyrometallurgical mercury recovery (at high temperatures) using a hermetical distiller called Retorta, and the hydrometallurgical recovery (selective recovery in watery media) of the rest of the constituent metals. The latter permits the obtainment, in an eco-efficient and self-sustainable manner, of each metal which can be taken through a refining process to be reused.

KEY WORDS

Dental amalgam, amalgam scraps, mercury, Retorta, leaching.

INTRODUCCIÓN

Acerca del mercurio en el medio ambiente

El mercurio está presente por doquier en el medio ambiente debido a que es arrojado en erupciones volcánicas, se evapora de los cuerpos de agua y asciende en forma de gas desde la corteza terrestre. Eventualmente regresa a la tierra para depositarse en sedimentos, océanos y lagos, o reingresa a la atmósfera por evaporación. Sin embargo, la mano del hombre se ha convertido en un factor contaminante muy significativo, porque es bien conocido su empleo desde finales del siglo XVIII y los albores de la Revolución Industrial, en una gran variedad de productos y procesos como bombillas, baterías, termómetros y barómetros, pesticidas, pinturas, medicamentos, entre otros. Posteriormente se libera el mercurio debido a la mala manipulación y uso y a la disposición final de estos materiales o de sus residuos, sumado al que se libera en procesos como la incineración de combustibles fósiles, la quema de bosques, la incineración de residuos hospitalarios como las amalgamas dentales, la combustión del carbón como fuente de generación de energía, la fundición de plomo y la producción de cloro, en la extracción y refinación del oro, en la cremación de personas con amalgamas en su boca, entre otros. Esta contaminación, generada por las actividades diarias de la sociedad en continua evolución y producción, se denomina *antropogénica*.

El mercurio que está contaminando los cuerpos de agua, es transformado por algunos microorganismos a metilmercurio, que es la forma potencialmente más nociva para los seres humanos, el cual es ingerido y *bioacumulado* en los peces, y mediante la cadena alimenticia a través de un proceso llamado *biomagnificación*, llega hasta los seres humanos. Este problema se agrava, aún más, porque anualmente en todo el mundo se producen unas 10 mil toneladas de mercurio para uso industrial, y entre 20 mil y 30 mil toneladas de mercurio son descargadas al medio ambiente como resultado de las actividades ya mencionadas.

Acerca de la amalgama dental y sus residuos

La amalgama dental ha sido el material restaurador más utilizado en odontología durante los últimos 150 años. Sus propiedades físicas, su facilidad de manejo y su costo-beneficio han sido sus ventajas más importantes. Y aunque su uso ha ido disminuyendo paulatinamente debido a la aparición de otros materiales restauradores más estéticos, todavía no se ha conseguido un material con su resistencia y duración como para ser considerado su sustituto. De hecho, la amalgama sigue siendo el material de elección de gran cantidad de profesionales para la restauración del sector posterior.

En lo referente a la toxicidad del mercurio usado en las amalgamas dentales, desde mediados del siglo XIX, cuando se comenzó a utilizar este material, ha dado lugar a muchas controversias. Sin embargo, aunque se ha demostrado que las cantidades de mercurio liberadas desde la amalgama no son ni mucho menos peligrosas y el riesgo de toxicidad para el profesional y el paciente es muy bajo con unas mínimas precauciones, si está bien demostrado el daño que pueden causar los residuos al medio ambiente cuando estos son dispuestos de manera inadecuada, lo que ha dado origen a proyectos como el que se describe en este artículo. Dicho proyecto cobra más relevancia cuando en Colombia, a pesar de haber una normatividad clara sobre residuos hospitalarios y similares, muchas veces no se cumple o se observa de manera parcial o imprecisa.

Al respecto, la Ley 430 de 1998 que dicta normas prohibitivas en materia ambiental referente a los desechos peligrosos, aplica igualmente al tema de los residuos de amalgama dental y deja clara la responsabilidad solidaria que tienen las entidades con servicios odontológicos como generadores, y los fabricantes e importadores de las aleaciones para amalgama (la ley los asemeja a un generador), de dar disposición final adecuada y acorde con la ley a dichos residuos. Además, el Manual de Procedimientos para la Gestión Integral de Residuos Hospitalarios y Similares en Colombia y el Decreto 2676 de diciembre 22 de 2000, establecen las disposiciones sobre la gestión integral de los residuos mercuriales provenientes del uso de la amalgama dental. Estas disposiciones incluyen la recolección y almacenamiento temporal del residuo en el consultorio odontológico, hasta la disposición final por parte de quien presta dicho servicio.

Consecuentes con lo anterior, los grupos de investigación de la Universidad de Antioquia: Ciencia y Tecnología Biomédica (CTB), Materiales Preciosos (MAPRE) y de Investigaciones Pirometalúrgicas y de Materiales (GIPIMME), conjuntamente con la División de Investigación y Desarrollo de la empresa New Stetic S.A., desarrollaron e implementaron un proceso para tratar los residuos de amalgama, que permite, en forma eco-eficiente, recuperar cada uno de los componentes metálicos, los cuales se pueden

reintegrar a la cadena productiva y así prevenir una mala disposición de fuerte impacto ambiental.

MATERIALES Y MÉTODO

Para lograr el tratamiento de los residuos de amalgama dental y el aprovechamiento de sus metales valiosos, se diseñó e implementó una planta piloto que se puso a punto por etapas. La primera etapa fue estandarizar el proceso de recuperación de mercurio utilizando un destilador hermético llamado Retorta, cuyo diseño partió de uno optimizado en la Universidad de Antioquia para el sector de la mediana y pequeña minería en la recuperación del mercurio de las amalgamas de oro (Fig. 1).

La estandarización incluyó la definición del tamaño partícula, cantidad de muestra y el tiempo de tratamiento o quema, además de mediciones ambientales de mercurio con el objetivo de verificar la seguridad del equipo y el proceso. Las tomas de muestra para su posterior análisis se realizaron con una bomba portátil marca Buck Basic 5 y con captadores de carbón activado (Fig. 2). Los análisis de mercurio se realizaron en el Centro de Investigaciones Ambientales y de Ingeniería (CIA), de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Antioquia.

La segunda etapa fue tratamiento del resto de la aleación (Ag-Sn-Cu), la cual consistió en una lixiviación ácida, para lo que se desarrolló un diseño experimental con el propósito de establecer las condiciones ideales de disolución. Estos ensayos se efectuaron utilizando una aleación fabricada con plata, cobre y estaño (no con aleación recuperada de la amalgama), con el fin de determinar una zona interesante desde el punto de vista de los parámetros fundamentales del proceso como lo son la temperatura, el tiempo y la concentración del medio ácido.

En la primera parte del diseño experimental se realizaron diversos ensayos con el objetivo de evaluar la velocidad de disolución de los metales y seleccionar la reacción más lenta como variable de respuesta, ya que ella condicionaba la cinética de la reacción de todo el sistema.

Los resultados también permitieron obtener una visión preliminar de cómo los factores temperatura, concentración de la solución ácida y tiempo de lixiviación influyen en la variable respuesta, así como la definición de los rangos de experimentación para los factores necesarios para la segunda parte del diseño experimental.

En la segunda parte se aplicaron dos diseños estadísticos: primero un diseño factorial 2³ con el cual se realizaron diferentes análisis químicos combinando los valores máximos y mínimos de los diferentes factores involucrados, con el fin de evaluar la influencia en la variable respuesta como un primer acercamiento a las condiciones ideales del proceso de lixiviación, y segundo un diseño central compuesto con el objetivo de establecer las condiciones óptimas para el proceso de la lixiviación.

Determinados los niveles de temperatura, concentración del medio ácido y tiempo, se realizó el diseño y montaje físico del proceso (Fig. 3); iniciándose el tratamiento de la aleación recuperada de los residuos de amalgama y la correspondiente evaluación y puesta a punto.

Al completarse la disolución ácida de la aleación, los metales se recuperaron selectivamente: primero el estaño como óxido (SnO_2), el cual se origina directamente como producto de la lixiviación; segundo la plata precipitándola por cementación con cobre metálico (Fig. 4) y, por último, el cobre en solución por un proceso de electro-deposición.

Finalmente, se establecieron procedimientos documentados del proceso y se implementaron las directrices de seguridad industrial y salud ocupacional para el operario de la planta de tratamiento.

RESULTADOS

Recuperación de mercurio en la Retorta

Realizada la estandarización del proceso, la eficiencia de recuperación del mercurio fue del 98.6%, el resto queda retenido en el condensador y se extrae a través de una limpieza periódica. El mercurio recuperado es de alta pureza, pero requiere de una limpieza superficial y posterior filtración para eliminar las partículas contaminantes y regenerar su brillo natural. Para determinar el impacto ambiental en la zona del proceso, se realizaron tres monitoreos cuyas especificaciones y resultados se muestran en la tabla 1.

Los resultados obtenidos están por debajo del límite máximo establecido por la Occupational Safety and Health Administration (OSHA) de los Estados Unidos de Norteamérica, que es de 0.1 mg Hg/m³; sin embargo, es susceptible el mejoramiento de las condiciones de operación, con el fin de disminuir los niveles de mercurio cerca a la Retorta.

Lixiviación de la aleación

Generalmente los residuos de amalgama son recolectados en los consultorios odontológicos en un recipiente que contiene glicerina, la cual debe ser retirada mediante varios enjuagues con agua para evitar su acumulación en el condensador de la Retorta durante la destilación del mercurio, e impedir una reacción química con el ácido en la etapa de lixiviación. Posteriormente se procede a recuperar los elementos disueltos por precipitación, cementación y electro-deposición. Los porcentajes promedio de la recuperación de estaño, plata y cobre se muestran en la tabla 2.

La plata obtenida por cementación fue sometida a un proceso de fundición con el fin de llevarla a forma de lingote y posteriormente poderla someter a un proceso de refinación electrolítica para obtener plata de altísima pureza. Las figuras 5 y 6 muestran la plata fundida y refinada, respectivamente.

CONCLUSIONES

- El tratamiento eco-eficiente de los residuos de amalgama dental, es la mejor opción para la disposición final de estos residuos peligrosos, no sólo porque impide la contaminación ambiental a raíz de una mala disposición, sino porque permite recuperar metales que luego pueden ser reintegrados a la cadena

productiva. La recuperación y el reciclaje son la mejor alternativa entre las aceptadas por la normatividad ambiental colombiana.

- Para el adecuado tratamiento de los residuos de acuerdo con el procedimiento descrito, es muy importante que los residuos sean recogidos en el consultorio odontológico en recipientes plásticos con glicerina, en vez de la mala práctica de emplear líquidos de rayos-X o flor de azufre, ya que estas sustancias no sólo no son aceptadas por la normatividad ambiental colombiana, sino que hacen necesario tener procedimientos adicionales para su disposición final.
- La recuperación de mercurio en la Retorta del 98.6% no indica que el 1.4% restante se haya escapado al ambiente, pues la hermeticidad del equipo y la seguridad del proceso se evidenciaron con los resultados de los análisis ambientales. Estas “pérdidas” fueron pequeñas gotas de mercurio retenidas en el interior del condensador de la Retorta, que se retiran por medio de una cuidadosa y adecuada limpieza.
- El éxito del diseño, puesta a punto y optimización de la planta de tratamiento, se sustenta en el diseño estadístico de experimentos, es decir, nuevamente se comprueba que donde intervienen varios factores o variables, se constituye en una poderosa herramienta tecnológica que permite determinar los parámetros o zona de condiciones ideales, que garantizan la máxima eficiencia y eficacia del proceso. La optimización de estos procesos bajo otra perspectiva se pueden constituir en engorrosos e insolubles problemas.

BIBLIOGRAFÍA

- D. ARENHOLY-BINDSLEV. Dental Amalgam – Environmental Aspects. Adv. Dent. Res., 6:125-130, september 1992, 125-130 p.
- PEREA, B., y DEL RIO, P. Recomendaciones Sobre el Tratamiento de los Residuos de Mercurio Procedentes de las Amalgamas de Plata Usadas en Odontoestomatología. Revista Prof. Dent., vol. 4, núm. 10, diciembre 2001, 617-620 p.
- AMERICAN INSTITUTE OF CHEMICAL ENGINEERS. Fundamental Aspects of Hydrometallurgical Processes, 1978, 151 p.
- CONGRESO DE COLOMBIA. Ley 430 de 1998. Bogotá.
- GÓMEZ M., Gabriel J. Recuperación Piro e Hidrometalúrgica de los Metales de Desechos de Amalgamas Odontológicas. Trabajo de grado Universidad de Antioquia, 2001, Medellín, 95 p.
- Medición del Mercurio. Revista Noticias de Seguridad, Julio 2000, 4 – 9 p.
- METALLURGICAL SOCIETY OF AIME. International Symposium on Hydrometallurgy. Hydrometallurgy: Research, Development and Plant Practice: Proceedings. Atlanta, Georgia, 1982, 1020 p.
- MINISTERIO DE SALUD Y MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Manual de Procedimientos para la Gestión Integral de Residuos Hospitalarios y Similares en Colombia (MPGIRH), 2002, Bogotá.
- MUÑOZ, J. A. Diseño e Implementación de una Planta Semipiloto para el Tratamiento de Residuos de Amalgama Dental. Trabajo de grado Universidad de Antioquia, Medellín, 2004.

- REVELO, R. Informe semestre de práctica industrial en New Stetic S.A. Práctica industrial Universidad de Antioquia, Medellín, 1995, 117 p.
- RUIZ, J. et al. Manejo de la Amalgama Dental en Consultorios Odontológicos Pequeños y Medianos de Medellín, Itagüí, Envigado, Sabaneta y Bello. Revista Facultad Nacional de Salud Pública, vol. 23, Núm. 1, 2005, 59-69 p.

ANEXOS

Figura 1. Retorta en funcionamiento



Figura 2. Bomba para muestreo ambiental de mercurio



Figura 3. Montaje del proceso de lixiviación

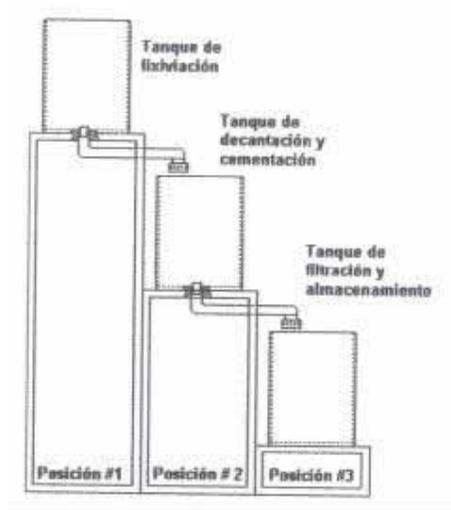


Figura 4. Plata cementada con cobre (Vista superior)



Tabla 1. Resultados de los monitoreos ambientales de mercurio

Muestra	Condiciones ambientales	Punto de muestreo	Concentración (mg/m ³)
1	Destilación del mercurio a una temperatura ambiente de 25 °C	Cerca a la Retorta	0.06120
2	Temperatura ambiente de 15 °C, sin realizar destilación	Área general	0.00353
3	Destilación a una temperatura ambiente de 23 °C	Cerca a la Retorta	0.04490

Tabla 2. Pureza y eficiencia de la recuperación

Metal	Forma física como se recupera	Método de recuperación	Eficiencia de recuperación (%)	Pureza obtenida (%)
Estaño	SnO ₂	Precipitación directa durante la lixiviación de la aleación	98.77	87.74
Plata	Ag impura	Precipitación por cementación con cobre	87.21	87.04
Cobre	Cu electrolítico	Electro-deposición	96.90	99.89

Figura 5. Lingote de plata fundida



Figura 6. Plata refinada

