



ESTUDIO DE LAS TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES PROCEDENTES DE LOS PROCESOS DE EXTRACCIÓN DE ORO Y MÉTODOS DE REUTILIZACIÓN DE RELAVES DE LA MINERÍA AURÍFERA.

Carlos Díaz¹, Luis Vasquez¹, Lila Loaiza², Jiraleiska Hernández¹, Samuel Villanueva¹, Magaly Henríquez¹

Centro Nacional de Tecnología Química, Gerencia de Proyectos de I+D+i, Coordinación de Energía y Ambiente (CEA), Apartado Postal 1064, Caracas, Venezuela. Tel.: +58-212-2385321.

publicacionesgpidi.cntq@gmail.com

RESUMEN

La minería del oro es una actividad que se desarrolla desde el siglo XVIII y envuelve procesos desde su exploración con la deforestación de la cubierta vegetal, hasta la obtención del producto con la emisión de efluentes contaminantes que de varias formas pueden afectar el ambiente. En el presente trabajo, se reflejan las mejores tecnologías de tratamiento de efluentes o relaves provenientes de la minería del oro en el periodo 1900-2017. Identificadas a partir de bases de datos de publicaciones científicas y documentos de patentes. Adicionalmente, se hace referencia a las metodologías de reutilización de relaves para la fabricación de ladrillos, agregados de construcción, baldosas y como agente de purificación para aguas residuales. Estas propuestas surgen de la necesidad de brindar alternativas de solución a la problemática ambiental generada por las actividades mineras en Venezuela.

Palabras Clave: Minería, Impacto, Patentes, Relave, Tecnología, revalorización de residuos, tratamiento de efluentes.

ABSTRACT

Gold mining is an activity that takes place since the 18th century and involves processes from its exploration with the deforestation of the vegetation cover, to obtaining the product with the emission of polluting effluents that can affect the environment in various ways. In the present work, the best technologies for the treatment of effluents or tailings from gold mining in the period 1900-2017 are reflected. Identified from databases of scientific publications and patent documents. Additionally, reference is made to tailings reuse methodologies for the manufacture of bricks, construction aggregates, tiles and as a purification agent for wastewater. These proposals arise from the need to provide alternative solutions to the environmental problems generated by mining activities in Venezuela.

Keywords: Mining, Impact, Patents, Tailing, Technology, revaluation of waste, effluents treatment.

INTRODUCCIÓN

La minería del oro es una de las actividades con mayor antigüedad mostrando sus primeros indicios desde la edad de piedra, motivado a que es uno de los minerales que se encuentran en la naturaleza en un estado relativamente puro. A medida que transcurrieron los años fueron evolucionando las técnicas de extracción que permitían obtener el producto de interés en grandes cantidades y con el

SECRETARÍA DE LAS JORNADAS.

Coordinación de Investigación .Edif. Física Aplicada. Piso 2. Facultad de Ingeniería.
Universidad Central de Venezuela. Ciudad Universitaria de Caracas. 1053
Telf.: +58 212-605 1644 | <http://www.ing.ucv.ve>

menor esfuerzo posible. Sin embargo, en los últimos años han surgido preocupaciones por parte de las autoridades ambientales, así como, de organizaciones no gubernamentales (ONG) y profesionales del área ambiental debido a los efectos adversos a la salud pública y al entorno natural que ha producido la actividad minera del oro. Entre las principales consecuencias se mencionan los relaves o los efluentes mineros generados en grandes cantidades y vertidos en las fuentes de agua cercanas a la instalación minera.

ESTRATEGIA DE BÚSQUEDA UTILIZADA PARA LA BUSQUEDA DE INFORMACIÓN.

Se empleo una revisión bibliométrica y patentométrica a través de una selección de palabras claves referentes a la minería de oro y tratamiento de sus relaves, construidos en una ecuación de búsqueda que fue aplicada en las plataformas *Patent Inspiration* y *Web of Science (Wos)*, estableciendo una serie de filtros necesarios para la generación de indicadores que aportan datos relevantes de innovación tecnológica referente a la temática de estudio. (Ver tabla 1).

Tabla 1. Resultados obtenidos de la ecuación de búsqueda

Plataforma	Fecha de búsqueda	Ecuación	Filtros	Periodo de Búsqueda	Resultados
Web of Science	21-03-2018	(treatment OR remediation OR “metal recovery” OR “tailing* reuse”) AND (“gold extraction” OR “gold mining” OR “gold tailling*” OR “mining tailing*” OR “mining waste” OR “gold ore”)	Titulo. Artículo. Paper. Review	1900-2017	36
Patent Inspiration	21-03-2018	(treatment OR remediation OR “metal recovery” OR “tailing* reuse”) AND (“gold extraction” OR “gold mining” OR “gold tailling*” OR “mining tailing*” OR “mining waste” OR “gold ore”)	Titulo. Mostrar por una sola familia. Patentes sin titulo vació.	1985-2017	89

Fuente: Elaboración Propia, 2018.

Se visualiza un periodo de búsqueda diferente para las publicaciones científicas y patentes motivado a que el interés científico inicia al principio del siglo XX como aportes para el desarrollo de una actividad minera más responsable con el ambiente; mientras que las protecciones tecnológicas bajo la escala industrial se manifiesta a partir de la década de 1980.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la búsqueda realizada se obtuvo un universo de 36 publicaciones científicas y 89 documentos de patentes, que permiten mostrar la dinámica del área y presentar información útil para lograr identificar entidades y empresas generadoras de conocimiento en la temática de estudio.

SECRETARÍA DE LAS JORNADAS.

Coordinación de Investigación .Edif. Física Aplicada. Piso 2. Facultad de Ingeniería.
 Universidad Central de Venezuela. Ciudad Universitaria de Caracas. 1053
 Telf.: +58 212-605 1644 | <http://www.ing.ucv.ve>

En el gráfico 1, se muestra la cantidad de patentes aplicadas por año teniendo como máximos puntos el 2014 y 2015, con 14 y 16 registros, respectivamente a causa del desarrollo acelerado de la actividad minera como un esfuerzo por lograr la sostenibilidad y un alto rendimiento a partir del impulso proporcionado por las innovaciones tecnológicas (Fidel Nuñez, 2015).

Columna B

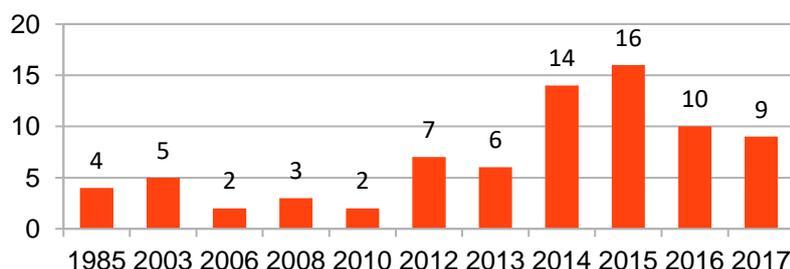


Gráfico 1. Cantidad de Patentes relacionadas a tecnologías de tratamiento de relaves del Sector Minero. Periodo 1985-2017.

Fuente: Datos *PatentInspiration* tratamiento CNTQ (2018).

En el gráfico 2, se enumeran las patentes registradas por país, evidenciando un dominio por parte del continente asiático en la protección de invenciones y tecnologías orientadas a las actividades mineras, representado por tres (03) países, resaltando China con cuarenta y tres documentos patentados (43), Japón (8) y Corea del Sur (6). Lo que pone en manifiesto la orientación de los asiáticos en patentar soluciones innovadoras y desarrollos tecnológicos que permita asegurar que la actividad minera sea de primera clase (mayor efectividad reduciendo costos) protegiendo al ambiente.

Columna B

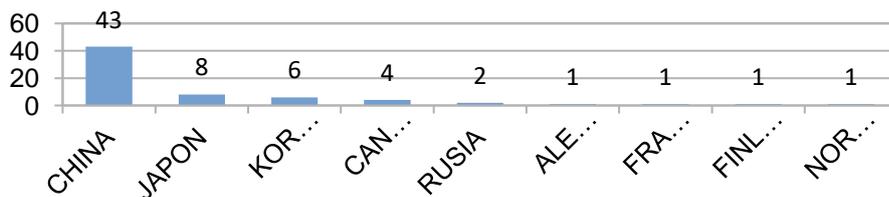


Gráfico 2. Cantidad de Patentes relacionadas a tecnologías de tratamiento de relaves del Sector Minero. Países.

Fuente: Datos *PatentInspiration* tratamiento CNTQ (2018).

Del universo de textos científicos que se observan en el gráfico 3, se refleja que el 80% de los documentos fueron publicados en los últimos ocho (8) años dado principalmente por los incentivos económicos ofrecidos por instituciones y organismos interesados en la identificación de tecnologías

SECRETARÍA DE LAS JORNADAS.

Coordinación de Investigación .Edif. Física Aplicada. Piso 2. Facultad de Ingeniería.
 Universidad Central de Venezuela. Ciudad Universitaria de Caracas. 1053
 Telf.: +58 212-605 1644 | <http://www.ing.ucv.ve>

de tratamiento de los efluentes procedentes de la actividad minera, como medidas que contribuyan a reducir el impacto ambiental producto de la extracción de minerales de oro.

Columna B

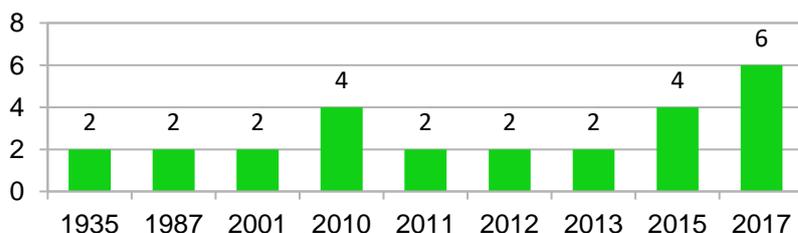


Gráfico 3. Cantidad de

Publicaciones relacionadas a tecnologías de tratamiento de relaves del Sector Minero. Años de publicación.

Fuente: Datos *Web of Science (WoS)* tratamiento CNTQ (2018).

En el gráfico 4 se visualizan las organizaciones con mayor número de publicaciones, destacando los centros de investigación y universidades como representación del sector académico. La lista es encabezada por la Universidad Federal de Minas Gerais con cinco (5) documentos científicos, esta cuenta con una escuela de minas que estimula el desarrollo científico a través de la exploración de tecnologías químicas, físicas y biológicas para tratar los efluentes de la extracción del oro, así como alternativas para la obtención de este mineral.

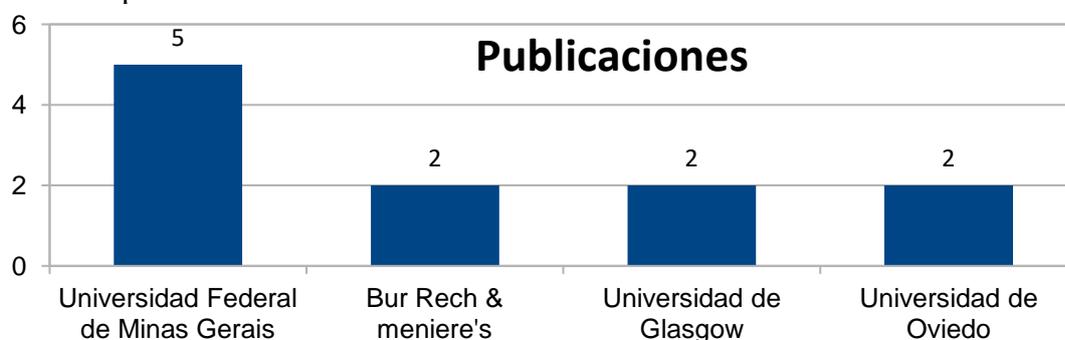


Gráfico 4. Cantidad de Publicaciones relacionadas a tecnologías de tratamiento de relaves del Sector Minero. Organizaciones.

Fuente: Datos *Web of Science (WoS)* tratamiento CNTQ (2018).

En el gráfico 5 se visualiza a Brasil como el líder en Latino América y a nivel mundial según la cantidad de publicaciones científicas relacionadas a las tecnologías de tratamiento de relaves debido al interés de grupos de investigación de la Universidad Federal de Minas Gerais donde han publicado una serie de documentos que advierten sobre los peligros que están expuestas las áreas

SECRETARÍA DE LAS JORNADAS.

Coordinación de Investigación .Edif. Física Aplicada. Piso 2. Facultad de Ingeniería.
 Universidad Central de Venezuela. Ciudad Universitaria de Caracas. 1053
 Telf.: +58 212-605 1644 | <http://www.ing.ucv.ve>

protegidas producto de la exploración minera del oro. Los documentos exponen diversos métodos para lograr una actividad minera mas responsable y entre ellas resaltan las técnicas de tratamiento de efluentes mineros.

Cantidad de Publicaciones

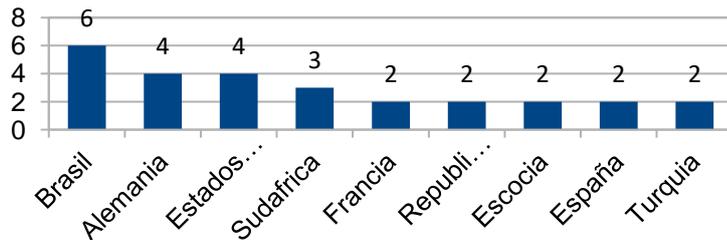


Gráfico 5. Cantidad de Publicaciones relacionadas a tecnologías de tratamiento de relaves del Sector Minero. Países.

Fuente: Datos *Web of Science (WoS)* tratamiento CNTQ (2018).

Del análisis de los documentos, resaltan cinco (5) tecnologías de tratamiento los relaves o efluentes provenientes de la minería del oro que podría ser aplicada en la industria nacional como medidas preventivas y mitigantes ante la contaminación natural que genera las actividades mineras.

Proceso INCO SO₂/ Air

Fue desarrollado por Inco Metals Company en 1984 en Canadá (Canadian Mining Journal, 2002). Se usa una mezcla de SO₂ y aire en presencia de cobre como catalizador, bajo condiciones controladas de pH entre 8 a 10 que oxidan las especies de cianuro libres y complejas. En el proceso INCO, el cianuro libre (CN) o los complejos de metal-cianuro débilmente unidos presentes en el efluente se oxidan a cianato (CNO⁻) mediante la adición de dióxido de azufre y oxígeno. (Nural, 2013). [1]

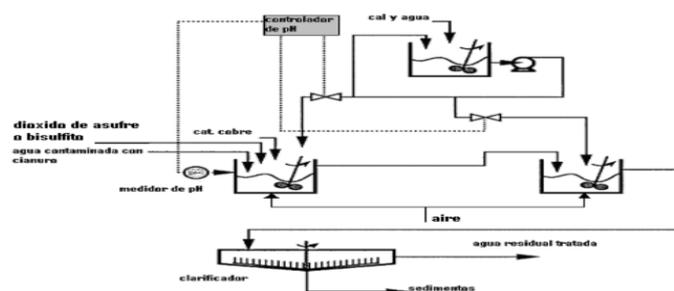


Figura 1. Diagrama simplificado del Proceso INCO SO₂ – Aire.

Fuente: EPA, 1994.

Oxidación por Peróxido de Hidrógeno

Es un potente agente oxidante que ha sido aplicado intensivamente a nivel mundial para el tratamiento de efluentes de procesos de cianuración, especialmente en las plantas de tratamiento

norteamericanas. El proceso de tratamiento con peróxido de hidrógeno oxida el ión cianuro (CN^-) al ión cianato (CNO^-) utilizando un catalizador de cobre (generalmente sulfato de cobre) a concentraciones de 5 a 50 mg/L. [2]

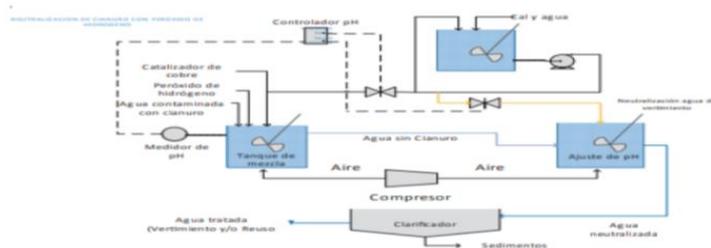


Figura 2. Proceso de oxidación con peróxido de hidrógeno.

Fuente: Centro Nacional de Producción Más Limpia. [2]

Electrocoagulación

El efluente minero es tratado usando electrólisis con cátodos de acero inoxidable junto con un ánodo de metal. Una unidad de electrocoagulación típica consiste en una cámara con una serie de placas de metal de hierro o aluminio. A medida que las aguas residuales fluyen a través de la cámara, se aplica una corriente continua a la cámara conectando conductores positivos y negativos a los terminales primero y último. Las placas de metal son electrificadas actuando como un electrodo inducido y liberando iones metálicos como cobre, aluminio y manganeso en la solución. (EPA, 2014). [3]

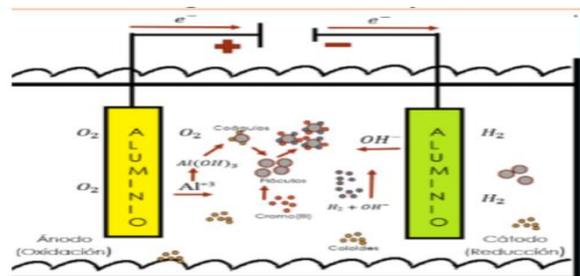


Figura 3. Sistema de electrocoagulación con ánodo y cátodo de aluminio.

Fuente: Beltrán González. [3]

Ósmosis Inversa

La ósmosis inversa es la separación de contaminantes impulsada por presión a través de una membrana semipermeable que permite el paso del agua a ser tratada a través de la retención de contaminantes. La ósmosis inversa es un método comprobado para desmineralizar el drenaje ácido de la mina. Sin embargo, requieren importantes costos de construcción y operación. En la figura 4 se observa un diagrama del proceso típico de la Ósmosis Inversa. [4]

SECRETARÍA DE LAS JORNADAS.

Coordinación de Investigación .Edif. Física Aplicada. Piso 2. Facultad de Ingeniería.
 Universidad Central de Venezuela. Ciudad Universitaria de Caracas. 1053
 Telf.: +58 212-605 1644 | <http://www.ing.ucv.ve>

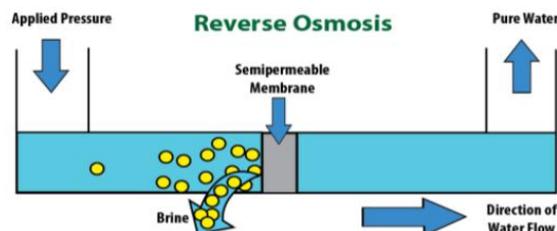


Figura 4. Diagrama de la Tecnología de Ósmosis Inversa

Fuente: EPA. [4]

Reducción Biológica

Es un sistema de tratamiento compuesto por Contactores Biológicos Rotatorios (RBC) que consiste en la utilización de biodiscos con cepas seleccionadas de microorganismos de origen natural no patógenos sembrados en la base del mismo para lograr la oxidación bacteriana de cianuro y eliminación de los metales pesados mediante adsorción por bacterias presentes en el efluente minero. [5]

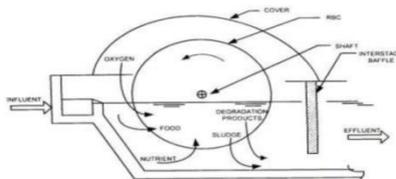


Figura 5. Proceso RBC

Fuente: Grady, 1999. [5]

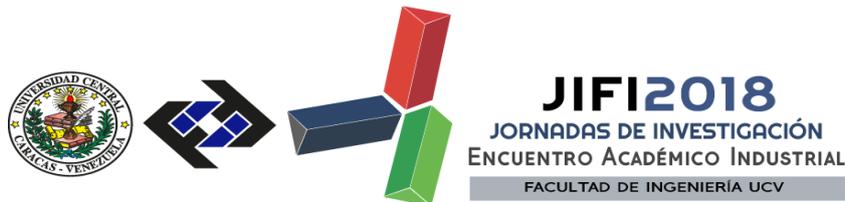
Como todo tipo de residuos, los relaves pueden ser reutilizados, se presentan dos (02) propuestas aplicadas a la industria de construcción y como agentes purificadores de agua.

Reuso de relaves mineros como insumo para la elaboración de agregados de construcción para fabricar ladrillos y baldosas

Técnica desarrollada a escala de laboratorio para obtener agregados de construcción a partir de relaves mineros para fabricar ladrillos o baldosas mediante técnicas de fijación y micro encapsulación de los metales pesados en los desechos provenientes de la minería con el objetivo de estabilizar a los metales peligrosos y contaminantes que se encuentran en los procesos mineros. [6]

Preparación de un agente de tratamiento de aguas residuales de la escoria de los relaves de la mina de oro

En el año 2012, se patentó (CN105923913A) un método que comprende la eliminación de impurezas de la escoria de desechos provenientes de la minería y su pulverización a partículas con un adhesivo, añadiendo un aditivo que es agitado y comprimido para obtener un material húmedo



uniformemente mezclado; y moldeado por extrusión para obtener un agente de tratamiento de aguas residuales. [7]

CONCLUSIONES

Entre las tecnologías químicas destaca la oxidación con peróxido de hidrógeno por sus bajos costos y una rápida oxidación de sus contaminantes. La ósmosis inversa puede eliminar metales, sólidos totales disueltos y sulfato de relaves mineros. Sin embargo, requiere de altas presiones, lo que implica un alto consumo de energía. En cuanto a la reducción biológica la utilización de biodiscos hace efectiva la eliminación de cianuro en sus diversas formas en el efluente. Los relaves una vez de haber sido tratados pueden ser utilizados para la fabricación de ladrillos o baldosas que servirían en las bases de soporte de las edificaciones en fachadas y pisos de obras civiles urbanas y en las cimentaciones de los puentes peatonales debido a que su resistencia es similar a la de un concreto común.

REFERENCIAS

- [1] NuralKuyucak, Ata Akcil (2013). "Cyanide and removal options from effluents in gold mining and metallurgical processes".Golder Associates Ltd., 32 Steade Drive, Kanata, Ontario K2K 2A9, Canada.
- [2] U. S. Environmental Protection Agency (1993). "Cyanide Detoxification: INCO Sulfur Dioxide/Air Process". U..S. Environmental Protection Agency Office of S olid Waste, Special Waste Branch 401 M Street, S. W. Washington, D.C. 20460.
- [3] Álvarez Gracia, R (2005). "Aplicación de sistemas pasivos para el tratamiento soluciones residuales de procesos de cianuración en minería del oro". Universidad de Oviedo Departamento de Explotación y prospección de minas, Escuela Técnica superior de ingenieros de minas de Oviedo, España.
- [4] EPA technologies 542-R-14-001 (2014). "Reference for Guide to treatment mining-influenced water".EPA United States Environmental Protection Agency.
- [5] Beltran, E. (2015). "Diseño Conceptual y Construcción de un Electrocoagulador controlado por Labview". Universidad Santo Tomas, Facultad de Ingeniería Ambiental, Bogotá.
- [6] A. Kappor, A. Kuiper, P. Bedard, W. D. Gould. (2003). "Use of a rotating biological contactor for removal of ammonium from mining effluents".Mining and Mineral Sciences Laboratory, Natural Resources Canadá.
- [7] CN105923913A Water purifying agent for mine waste water treatment. JIANGMEN JIANGHAI WEIJE WATER PURIFYING MAT COLTD.

SECRETARÍA DE LAS JORNADAS.

Coordinación de Investigación .Edif. Física Aplicada. Piso 2. Facultad de Ingeniería.
Universidad Central de Venezuela. Ciudad Universitaria de Caracas. 1053
Telf.: +58 212-605 1644 | <http://www.ing.ucv.ve>