

Propuesta técnica para la recuperación de agua del efluente MAE-3

Technical proposal for the recovery of water from the MAE-3 effluent

Osmani Marrero Cabrera ^{1*}, Yordanis Torres Batista ², Mariolis Rodríguez Cabrera³, Oneida Calzadilla Miliam⁴.

¹ Ingeniero Macánico. Empresa Ernesto Ché Guevara, Cuba. Osmanimarrero78@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-3694-1131>

² Doctor en Ciencias Económicas. Profesor Auxiliar. Universidad de Moa “Dr. Antonio Núñez Jiménez. ytbatista@ismm.edu.cu; ytbatista@gmail.com ORCID: [https:// orcid.org/0000-0003-1954-7447](https://orcid.org/0000-0003-1954-7447)

³ Máster en Bibliotecología y Ciencias de la Información. Profesora Auxiliar. Universidad de Moa “Dr. Antonio Núñez Jiménez. mrodriguez@ismm.edu.cu. ORCID: [https:// orcid.org/0000-0002-4294-8508](https://orcid.org/0000-0002-4294-8508)

⁴ Máster en Ciencias de la educación. Profesor Auxiliar. Universidad de Cienfuegos. Oneviti80@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8461-8737>

* Autor para correspondencia: Osmanimarrero78@gmail.com.

RESUMEN

Una sociedad requiere de agua para mantener y crear el crecimiento económico para realizar actividades como la pesca, producción de bienes, transporte, industria y el turismo. Es por esto, que la presente investigación tiene como objetivo “Diseñar una propuesta técnica en el proceso de canalización de la MAE-3 que permita la recuperación del agua y minimiza los impactos ambientales (vertimiento directo a las costas y el daño al litoral) por la en la Empresa comandante Ernesto Guevara. Para el desarrollo de la investigación se emplearon métodos científicos, dentro de los teóricos tenemos: histórico- lógico, inducción-deducción, análisis-síntesis, hipotético-deductivo, los que permitió llegar a la elaboración del marco teórico referencial, la sistematización de las aguas residuales, su tipología. Dentro de los empíricos se utilizaron la observación científica directa, la revisión y análisis de documentos, éstos facilitaron el diagnóstico del estado actual del sistema de canalización de las aguas residuales en la Empresa Ernesto Che Guevara y establecer nuevas pautas para el proceso de canalización. A partir de la propuesta técnica se realiza la caracterización física química del efluente y se define que la variante tecnológica más apropiada es la separación líquido-sólido, en el que se deberá emplear un sedimentador; se reduce el impacto sobre el litoral costero y se disminuye los gastos de la empresa por el consumo de agua en el proceso industrial.

Palabras clave: Aguas Residuales industriales, Optimización, Recuperación, Reutilización.

ABSTRACT

A society requires water to maintain and create economic growth to carry out activities such as fishing, production of goods, transportation, industry and tourism. This is why the objective of this research is to “Design a technical proposal in the channeling process of the MAE-3 that allows the recovery of water and minimizes environmental impacts (direct discharge to the coasts and damage to the coastline) by in the Comandante Ernesto Guevara Company. For the development of the research, scientific methods were used, among the theoretical ones we have: historical-logical, induction-deduction, analysis-synthesis, hypothetical-deductive, which allowed the elaboration of the theoretical referential framework, the systematization of the waters. residuals, their typology. Within the empirical studies, direct scientific observation, review and analysis of documents were used, these facilitated the diagnosis of the current state of the wastewater channeling system at the Ernesto Che Guevara Company and established new guidelines for the channeling process. Based on the technical proposal, the physical-chemical characterization of the effluent is carried out and it is defined that the most appropriate technological variant is liquid-solid separation, in which a sedimentation must be used; The impact on the coastal coastline is reduced and the company's expenses due to water consumption in the industrial process are reduced.

Keywords: *Industrial Wastewater, Optimization, Recovery, Reuse.*

INTRODUCCIÓN

La minería es una de las actividades industriales que se encuentra más estrechamente ligada al agua pues, por un lado, se necesita en un gran número de operaciones y por otro, se generan grandes volúmenes. Como consecuencia de esto último, en todos los proyectos mineros es preciso contemplar los medios necesarios para el control de los vertidos, así como las medidas de prevención de la contaminación de las aguas durante la explotación y tras el abandono posterior. La contaminación del agua se debe en general a la introducción de sustancias o de ciertas formas de energía, tales como el calor, que provocan cambios en sus características físicas y químicas.

El desarrollo económico demanda de productos y servicios los cuales evalúan la capacidad de producción, la competitividad de las personas, las industrias y de la tierra en general, para satisfacer las necesidades de consumo actual. En tal sentido, la minería es una fuente de innovación, empleo y riqueza para la industria, sin embargo, provoca alta degradación de los suelos, pérdida de la biodiversidad, desforestaciones, contaminación (emisiones a la atmósfera y contaminación sónica, productos químicos y desechos peligrosos, residuales líquidos y residuos sólidos), carencia y dificultades con la disponibilidad y calidad del agua; por lo que se deberán trazar estrategias que permitan revertir dichos impactos ambientales (Torres, 2020).

En este sector la inercia y el dominio de una tecnología han llevado a que rara vez sean aplicadas prácticas sustentables que logren una plena utilización de los recursos con procesos más amigables con el medio ambiente; sin embargo, en los últimos años, ya sea por acciones regulatorias ambientales o por lograr mejores rentabilidades, el sector minero pone mayor énfasis en la utilización eficaz de los recursos y la reutilización de las sustancias descartadas como residuos (Baptista, 2017).

Aunque existen normativas, legislaciones y decretos-ley en Cuba relacionados con la protección del medio ambiente, los mismos no logran concretar acciones para minimizar los daños ocasionados por la minería a los ecosistemas. Por tanto, se deberá elaborar e implementar herramientas que posibilite disminuir o evitar que los residuales líquidos derivados de la industria lleguen directamente a las costas, lo que genera contaminación progresiva en los ecosistemas y dañan la flora, la fauna marina e inciden directamente en la salud humana.

En tal sentido, las industrias Comandante Ernesto Che Guevara de Moa no identifica proyectos que minimice el efecto de la minería con relación al recurso agua, así como su trascendencia en la vida marina por el vertimiento aguas residuales con alto grado de contaminación al mar y las filtraciones de los diques de cola contaminan el manto freático, tampoco cuenta con un sistema efectivos de canalización, recolección y tratamiento de los residuales líquidos, lo cual provoca afectaciones al medio ambiente. La industria deberá reinventarse para cumplir con la demanda de forma objetiva y responsable, donde se propongan nuevos métodos de tratamiento de residuales líquidos en los cuales exista un equilibrio entre las dimensión económica, social y ambiental.

De ahí, la importancia de proyectar trabajos para lograr la construcción del sistema de canalización, recolección y tratamiento de las aguas residuales que minimice el consumo de agua, tratamiento y reutilización en los procesos mineros con una visión sustentable, desde la fase de pre-factibilidad hasta la de operación (disponibilidad de agua las minas para la supresión de polvo, procesamiento de minerales, lavado de minerales, extracción hidrometalúrgica, sistemas contra incendio, jardinería limpieza de áreas interiores y otras actividades colaterales al proceso de minería pero de gran valor dentro de la industria).

Por tanto, en la presente investigación se Diseñar una propuesta técnica en el proceso de canalización de la MAE-3 que permita la recuperación del agua y minimiza los impactos ambientales (vertimiento directo a las costas y el daño al litoral) por la en la Empresa comandante Ernesto Guevara.

DESARROLLO

Se utilizó para la siguiente investigación los métodos teóricos como el histórico-lógico, inducción-deducción y análisis-síntesis lo que permitió sistematizar los elementos relacionados con las aguas residuales. Además, se aplica la observación científica directa y el análisis de documentos los que proporcionan el diagnóstico del estado actual del sistema de canalización de las aguas residuales en la Empresa Ernesto Che Guevara y establecer nuevas pautas para el proceso de canalización.

Para proponer el procedimiento, primero se realizó la caracterización de los efluentes, en el laboratorio analítico de la Empresa comandante Ernesto Che Guevara en Moa, durante el período 2018 hasta el año 2023 de los últimos cinco años. Propuesta de procedimiento para tratamiento de residuales líquidos de las distintas canalizaciones de la empresa Ernesto Che Guevara en Moa

Se tomó como muestra representativa la canalización MAE-3: efluentes que se generan en los procesos de Molienda, Calderas y Taller de Izaje-Compresores, Recuperación de Amoniaco, Talleres Mecánicos I y II, Taller Eléctrico y Laboratorio Central. También, se encuentran interconectadas las descargas de las trampas de grasas e hidrocarburos de Compresores, Objeto 151 y Taller Mecánico Central. y el punto número 2, aguas abajo del punto de vertimiento del Litoral costero.

Se empleó el muestreo no probabilístico como técnica, pues la elección de la muestra depende de las características específicas de la investigación. Estas muestras se tomaron con un tomamuestra rudimentario y se envasaron en frascos de plástico de 1 ½ litros.

Se entregaron al laboratorio analítico para su caracterización físico-química de acuerdo con sus diferentes métodos:

- Método gravimétrico para la determinación de los sólidos totales y sólidos suspendidos.
- Método volumétrico para la determinación de dureza total, alcalinidad y sulfuros.
- Método electrométrico para determinar pH y conductividad.

- Método volumétrico valorado por destilación para determinar amoniaco en agua.
- Método espectrofotométrico de absorción atómica para la determinación de Ni, Co, Zn, Cu, Cr, Al, Si, V, Pb.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

CARACTERIZACIÓN DE LA EMPRESA COMANDANTE ERNESTO CHE GUEVARA

La fábrica comandante Ernesto Che Guevara se encuentra al norte del yacimiento de mineral de Punta Gorda, en la costa norte de la provincia Holguín entre los ríos Moa y Yagrumaje, a 4 km de la ciudad de Moa y a 2 km del pueblo de Punta Gorda. El puerto marítimo se encuentra a unos 3 km al noroeste de la fábrica.

Imagen 1

Ubicación geográfica de la empresa comandante Ernesto Che Guevara



Nota: La figura representa la ubicación geográfica de la empresa comandante Ernesto Che Guevara. Tomada de la Tesis doctoral: Gestión económica y socioambiental para la rehabilitación minera (p. 83), por Torres Batista, 2020.

El esquema tecnológico de la empresa de níquel de Punta Gorda está basado en el proceso de lixiviación carbonato amoniacal de mineral reducido, o proceso Carón. Esta tecnología estudiada y aprobada en la práctica durante muchos años en la República de Cuba, funcionó según dicho esquema en la fábrica de Nicaro fundada en los años de la Segunda Guerra Mundial.

La decisión de utilizar el proceso de lixiviación carbonato amoniacal en la fábrica Punta Gorda se explica por las ventajas propias de esta tecnología. Es un proceso continuo que se realiza en las condiciones de presión atmosférica. El equipamiento tecnológico del proceso se distingue por su sencillez y amplia utilización de los aparatos conocidos como hornos de soleras múltiples, sedimentadores, columnas de destilación, etc.; estas características favorecen la creación de una producción con alto nivel de mecanización y automatización. El esquema amoniacal admite la elaboración de las mezclas de los minerales lateríticos y serpentínicos, mientras que el esquema por ejemplo de lixiviación de ácido sulfúrico permite solamente la elaboración de la fracción laterítica.

Tomando en consideración al déficit de energía eléctrica en Cuba, el proceso amoniaco consume mucha energía eléctrica, sin embargo, tiene muchas ventajas con el proceso hidrometalúrgico.

Al mismo tiempo este proceso se realiza con un consumo de reactivo relativamente pequeño. El único reactivo que se utiliza en cantidades grandes es el amoníaco, el consumo del cual es necesario solo para compensar las pérdidas mecánicas.

Otro de los factores ventajosos a favor de la aplicación de la tecnología amoniaco en la fábrica de Punta Gorda es la experiencia que se ha acumulado durante el proceso de explotación de la fábrica de Nicaro.

El principal producto final de la fábrica es el óxido de níquel sinterizado, un producto exportable con estabilidad en el mercado internacional; la tecnología aplicada ha tenido mejoras con respecto a su diseño, lo que ha permitido incrementar la eficiencia metalúrgica. Fundamentalmente para el caso de la sección de cobalto, con la implementación de un sistema de tratamiento del licor producto para asegurar la calidad del Sínter y la obtención del sulfuro de Ni y Co.

El complejo minero-metalúrgico de níquel de la fábrica de Punta Gorda comprende las siguientes unidades de producción y aseguramientos:

- Unidad Básica minera.
- Unidad Básica de Producción de Preparación de Mineral.
- Unidad Básica de Producción de Hornos de Reducción.
- Unidad Básica de Producción de Lixiviación y Lavado.
- Unidad Básica de Producción de Recuperación de Amoníaco-Cobalto.
- Unidad Básica de Producción de Calcinación y Sínter.
- Unidad Básica de Servicio Termo-energética.
- Unidad Básica de Servicio Recepción y Suministro.
- Direcciones y Unidades Básicas de Servicios para el aseguramiento al proceso productivo.

La Mina: tiene la función de suministrar el mineral a la fábrica. La mina está situada a 1,5 km al suroeste del área industrial de la fábrica y es una mina a cielo abierto. Para la alimentación del mineral a la fábrica la mina tiene instalada una tecnología compuesta por equipos de arranque y carga de diferentes características para el transporte hasta las instalaciones de depósito e industria.

Los yacimientos concesionados a la Empresa comandante Ernesto Che Guevara son:

- Yacimiento Punta Gorda.
- Yacimiento Yagrumaje Norte.
- Yacimiento Yagrumaje Sur.
- Yacimiento Camarioca Este.

Actualmente tres en explotación: Punta Gorda, Yagrumaje Norte y Yagrumaje Sur; estos yacimientos están formados por capas que tienen distintos intereses en su utilización. La parte superior, escombros, compuesta por minerales sin interés industrial en estos momentos, ya que no se cuenta con tecnología económicamente factible para su procesamiento y tiene una altura de (1 a 15) m, la capa de reserva industrial, (1 a 20) m de altura, está compuesta por minerales de lateritas y serpentinas blandas y otra capa de serpentina dura que no se emplea en este proceso industrial, pero se reserva para otros tipos de procesos. Estos yacimientos contienen altas humedades lo que dificulta el proceso de extracción.

Los componentes fundamentales del mineral son el níquel, cobalto y hierro en mayor proporción, así como una representación de sílice y magnesio en el material estéril.

Preparación de Mineral: tiene la función de darle tratamiento al mineral recibido de la mina en cuanto a humedad y granulometría para ser tratado en el proceso de extracción, mediante la reducción del níquel y cobalto, fundamentalmente.

Hornos de Reducción: es la planta que transforma al mineral para extraer el Ni y Co de forma selectiva en hornos de soleras múltiples con gases obtenidos del petróleo.

Lixiviación y Lavado: extrae el Ni y el Co de la pulpa del mineral reducido y aireada en un sistema a contracorriente con licores carbonato amoniacal, obteniendo un licor enriquecido de Ni y Co y una pulpa empobrecida de estos dos elementos, pero con contenido de amoníaco que se recupera posteriormente.

Recuperación de Amoníaco-Cobalto: cumple la función de limpiar los licores provenientes de la primera etapa de lixiviación para luego descobaltizar y obtener el sulfuro de níquel y cobalto como un producto comercializable, además de destilar el licor descobaltizado para obtener el carbonato de níquel, destilar la cola para recuperar amoníaco y producir el licor fuerte que se alimenta a la planta de Lixiviación y Lavado.

Calcinación y Sínter: se encarga de espesar y filtrar la pulpa de carbonato producto de la destilación del licor, convertir el carbonato secado en óxido de níquel para producir el Sínter como producto final para la comercialización. Cuenta con un sistema de recolección de polvo para disminuir las pérdidas de níquel de donde se obtiene el polvo metalúrgico y el polvo químico que también se comercializan.

Termo energética: se dedica a suministrar el vapor y la energía eléctrica al sistema productivo.

Recepción y Suministro: es la encargada de tratar y alimentar al proceso el agua, amoníaco, carbón antracita.

Direcciones y Unidades Básicas de Servicios: aseguran el suministro de los diferentes recursos, el mantenimiento de las instalaciones, la fuerza laboral con la competencia necesaria, la supervisión, la

tecnología y desarrollo, el control económico y todas las acciones para garantizar el desarrollo del Sistema de Dirección y Gestión Empresarial.

Las aguas residuales de la industria constituyen una de las mayores fuentes de emisión de metales del proceso tecnológico y son vertidas a través de 5 emisarios hacia los ríos y el entorno costero. Entre los metales presentes en esta agua se encuentran el hierro, aluminio, manganeso, níquel y magnesio. Acompañando a estos metales es posible encontrar en solución diferentes especies de aniones de azufre y carbonatos, silicatos y otros compuestos como el amoniaco (CEAC, 2014).

El efluente final del proceso es el licor proveniente de las columnas de destilación que se separa por sedimentación de la pulpa de carbonato básico de níquel. Este licor contiene níquel en solución en concentraciones que varían entre 75 y 250 mg/L el cual es recuperado a través de la precipitación con una solución de hidrógeno sulfuro de amonio y posterior decantación del sólido precipitado. El agua residual es enviada a la presa de colas y se utiliza en la formación del espejo de agua necesario en esta instalación para evitar el levantamiento de polvo (Díaz, 2016).

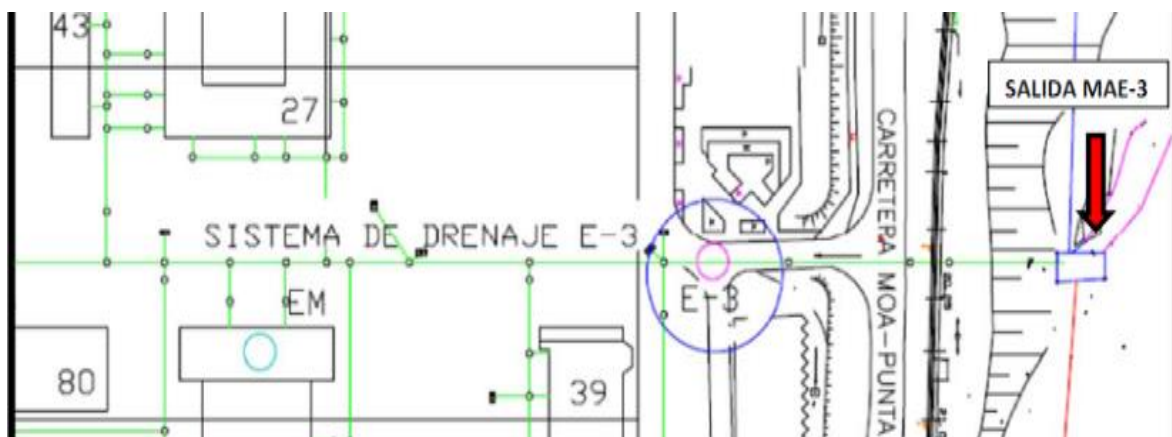
CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO DE CANALIZACIÓN MAE-3 DE LA EMPRESA COMANDANTE ERNESTO CHE GUEVARA.

El proceso de canalización implica la planificación, diseño, instalación y mantenimiento de sistemas de tuberías que cumplen con los requisitos de seguridad, eficiencia y normativas específicas de la industria. Esto incluye la selección de materiales adecuados para las tuberías, la instalación de válvulas, bombas y otros equipos necesarios, así como el seguimiento regular del sistema para garantizar su funcionamiento óptimo.

El efluente MAE-3 es una canal soterrada que se encuentra en la parte este de la calle principal de la empresa. Las coordenadas geográficas del punto inicial de la canalización es 20.634008, -74.879915 y la salida está ubicada en 20.645798, -74.879695.

Imagen 2

Salida de la MAE-3. Tomado del ANEXO 01-Plano de Canalizaciones ECG



Esta canal recoge los vertimientos generados en los procesos de Molienda, Calderas y Taller de Izaje-Compresores, Recuperación de Amoniac, Talleres Mecánicos I y II, Taller Eléctrico y Laboratorio Central. También, se encuentran interconectadas las descargas de las trampas de grasas e hidrocarburos de Compresores, Objeto 151 y Taller Mecánico Central.

Entre los principales contaminantes se encuentran el mineral en forma de sólidos suspendidos, sólidos disueltos, carbonatos, amoniac y metales disueltos, en mayor medida hierro, níquel, etc. Lo que implica, el incumplimiento de la norma NC 521 “Vertimiento de residuales industriales en zonas costeras y aguas marinas” y a la vez, el alto consumo de agua. La carga contaminante que más influye en este efluente es la proveniente de la planta de recuperación de amoniac.

PRINCIPALES RIESGOS Y VULNERABILIDADES PROVOCADOS POR LOS RESIDUALES

El agua se contamina por residuos de diferentes químicos que intervienen en el proceso industrial, vertidos en las aguas dulces (subterráneas, superficiales), terminan por contaminar también las saladas. El agotamiento y degradación medioambiental alcanzan cifras alarmantes y generan consecuencias dañinas resultantes por la falta de tratamiento de aguas, como son:

- Toxicidad: afecta directamente a la flora y fauna de los cuerpos que reciben el agua contaminada y a quien la beba.
- Infecciones: diferentes organismos patógenos son transmitidos a través del agua, que afectan a los organismos terrestres y marinos con los que entran en contacto.
- Contaminación térmica de las reservas que contienen el agua: los líquidos industriales pueden elevar la temperatura de las zonas donde se desechan.
- Malos olores: las reacciones químicas y sustancias contenidas en aguas residuales generan gases, resultado de la reacción y descomposición.

La experiencia acumulada muestra que las afectaciones ambientales son serias y difícilmente reversibles en el corto plazo, se requieren de años para pagar las deudas con la naturaleza; la desertificación de los suelos, la contaminación de los ecosistemas daña la flora y la fauna, revertir la situación requiere de las ciencias y la voluntad del hombre.

Entre las principales fuentes de contaminación que afectan las aguas del litoral en las costas donde la Empresa comandante Ernesto Guevara de la Serna se identificó las siguientes:

- La actividad minera arrastra sólidos en suspensión y altera algunas de las propiedades físicas y químicas de las aguas como el color, turbidez, sólidos totales disueltos, material sedimentable y algunos elementos que son disueltos por la propiedad de disolvente que tiene la misma.
- Los sistemas de tratamiento de aguas residuales no son adecuados lo que alteran la calidad del agua, desde el punto de vista químicos y bacteriológico, con la presencia de sustancias tóxicas

y metales pesados en un área determinada que gana en extensión cubriendo todo en litoral del municipio.

- Los desechos sólidos vertidos por la actividad minera en ocasiones llegan al mar y su disolución generan contaminación concentrada hasta que culmina la degradación, afectando la fauna marina directamente e indirectamente a los consumidores de peses.
- Pérdida de la vegetación natural marina y la desaparición de los corales por los acumulados de sustancias químicas.

CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL DE LA PLANTA RECUPERACIÓN DE AMONIACO

Se realizó una caracterización del agua residual proveniente de la Planta de Recuperación de Amoníaco, que circula por los registros 108 y 125 de esta área, analizadas por el CEDINIQ.

Tabla 1

Datos estadísticos, análisis realizados CEDINIQ, 2021

PARÁMETRO	NORMA	U.M	MUESTRA 1 (8:00 AM)	MUESTRA 2 (12:00 M)
Ni	4,0	mg/L	6,0	23,5
Co	4,0	mg/L	0,5	0,3
NH ₃	12,0	mg/L	3 798,5	571,2
S.S.	75,0	mg/L	136	294

Los resultados obtenidos para un día de operaciones normales en la Planta de Recuperación de Amoníaco, muestran que el parámetro amoníaco actualmente está muy por encima de los límites establecidos, por lo que la separación de este flujo de agua es imprescindible para poder recuperar el residual MAE-3.

Para conocer el flujo que aporta el agua residual de la Planta de Recuperación de Amoníaco, se realizó el cálculo por el método alternativo de medición de flujo en tuberías, considerándose una pendiente del 15%, y un coeficiente de rugosidad de 0,011, evaluándose diferentes niveles de agua, para un valor de flujo máximo de 70 m³/h aproximadamente.

El estudio realizado a las aguas residuales de la MAE-3 arrojó resultados alarmantes sobre el grado de vertimiento de sustancias contaminantes disueltas en el agua que llega al litoral. El pH según norma es de (5,5 a 9) y se comporta superior a 9, los sólidos totales alcanzan los 350,0 mg/L y se comporta hasta 4 veces superior, por norma el amoníaco (NH₃) es de 12,0 mg/L, en el 2022 fue de 425,274 mg/L, en todos los años se observan niveles muy superiores.

Análisis de los Resultados de los efluentes de la Canalización MAE-3

Se compararon los resultados obtenidos a partir de la caracterización físico-química de las muestras tomadas en los dos puntos de muestreo, con lo que establece la norma que regula el vertimiento a los medios receptores. En el caso específico de esta investigación corresponde la Norma Cubana 27:2012 «Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado. Especificaciones.» donde se exponen los métodos para el muestreo al agua destinada al consumo humano.

Se obtuvo que algunos indicadores regulados se encuentran por encima de los parámetros permisibles como: INDES: Revista de Innovación Social y Desarrollo/vol.4/n.2/2019

- **pH:** en los puntos 2 y 3 se encuentra en rangos ligeramente superiores a 9.
- **Sólidos sedimentables:** en los puntos 1 y 3 sus valores son 22 veces superiores a lo regulado.

Estos resultados corroboran que existe contaminación ambiental en el medio receptor, causada por las descargas hídricas sin tratamiento previo. Se demuestra, además, que la disminución de la inocuidad de estos efluentes constituye una necesidad que impactará en el mejoramiento de la calidad de las aguas del receptor y en la calidad de vida de los pobladores del consejo popular de Punta Gorda, comunidad más cercana. Las corrientes marinas esparcen la contaminación por todo el litoral, situación que da pie al surgimiento de la propuesta del autor para evitar que las aguas se sigan vertiendo al mar o al río Moa; además, de involucrar menos volumen de agua en el proceso industrial al fomentar el reúso en operaciones normales dentro de la industria niquelífera.

PROPUESTA TÉCNICA PARA LA RECUPERACIÓN DE AGUA DEL EFLUENTE MAE-3

El efluente MAE-3 es una canal soterrada que se encuentra ubicada a todo lo largo de la calle central de la Empresa, por lo que la propuesta incluye la separación de las canalizaciones internas de la Planta de Recuperación de Amoníaco, que descargan directamente a la MAE-3 y su redireccionamiento hacia la canalización MAE-2. Se propone la pavimentación de todas las áreas que incluya la instalación.

Además, la construcción del pozo colector y sistema de bombeo del residual MAE-3 hacia el Sedimentador de tratamiento primario. La base del pozo colector debe ser diseñada teniendo en cuenta el peso del contenido de líquido + sólido, cuando éste se encuentra lleno. En esta área además se debe crear un muro de contención por si ocurre alguna avería y el tanque se derrama. Se requiere la construcción de la caseta para la protección del Centro de Control de Motores (CCM). Deben fundirse las bases de las bombas.

Luego de ser bombeada al sedimentador comienza el proceso de separación del sólido y líquido, el agua que se incorpora al proceso, volumen este que no hay que comprar a Recursos Hidráulicos, los sólidos deben ser enviados para la Presa de Colas. El área debe ser pavimentada con una canalización perimetral con tapas de rejilla y bomba de achique para reincorporar posibles vertimientos.

La propuesta está sustentada en que la planta niquelífera Comandante Ernesto Che Guevara, es una de las entidades más consumidoras de agua en el territorio, de ahí que se deriven los altos volúmenes de agua residual con altos contenidos de sólidos suspendidos, sólidos disueltos, carbonatos y amoníaco que afectan la Bahía de Moa y el litoral contero e incumple con la norma NC 521 “Vertimiento de residuales industriales en zonas costeras y aguas marinas”; por los motivos antes mencionados se hace necesario desarrollar una alternativa para el aprovechamiento de este recurso.

El residual MAE-3 tiene un flujo promedio de 230,8 m³/h, con incremento en día de lluvia de hasta 453,7 m³/h. Anualmente se registra un acumulado de 1,8 millones de metros cúbicos, con una carga contaminante de sólidos suspendidos de 426,3 toneladas y de sólidos totales disueltos de 683,8 toneladas.

Tabla 2

Resultados de los análisis del laboratorio central de la Empresa Ernesto Che Guevara.

CONTAMINANTE	ACUMULADO (t/año)
Sólidos Totales Disueltos.	683,8
Sulfatos Totales Disueltos	108,6
Sulfuros Totales Disueltos	78,9
Carbonatos Totales Disueltos	533,1
Amoníaco Disueltos	297,8
Sólidos Totales Suspendidos	426,3
Aceites y Grasas	13,4

Nota: La presente tabla representa los resultados de los análisis del laboratorio central de la Empresa Ernesto Che Guevara. Tomado del archivo del control de los resultados de las evaluaciones que realizan en el laboratorio central, (2023)

La carga de sólidos disueltos es aportada fundamentalmente por los residuales procedentes de la sección de Molienda, Recuperación de Amoníaco y el Laboratorio Central.

Los agentes contaminantes mayoritarios son los carbonatos disueltos, sulfatos disueltos y amoníaco. Por otra parte, los aceites y grasas son aportados por las trampas de grasas e hidrocarburos del Objeto 151, Compresores y Taller Mecánico, debido al funcionamiento inadecuado de estos órganos de tratamiento.

Objetivos de la propuesta:

- Redireccionar los flujos aportados por Recuperación de Amoníaco hacia el residual MAE-2, por su contenido de Amoníaco para una futura utilización como agua de dilución de cola en la Planta de Lixiviación.

- Desarrollar la ingeniería conceptual para el tratamiento del residual MAE-3 proveniente de Molienda, Calderas y Compresores, Recuperación de Amoniac, Objeto 152 y Laboratorio Central en un sedimentador de la planta de Lixiviación y Lavado (SD-109B o SD-109C), de conjunto con el residual de planta baja Hornos de Reducción y su reutilización como agua de reposición en el Ciclo I de Torres de Enfriamiento. El contenido de sólido derivado del tratamiento de este efluente será enviado a la Presa de Colas.

Consideraciones del Diseño

En el diseño deben ser usadas las normas cubanas, resoluciones, procedimientos y leyes vigentes establecidas, siempre en el sistema métrico decimal:

- Ley 150/2022 de Ley del Sistema de los Recursos Naturales y Medio Ambiente.
- Decreto Ley 200/99 de las Contravenciones en Materia de Medio Ambiente.
- Decreto Ley 170/97 del Sistema de medidas de Defensa Civil.
- Decreto Ley 138 de las aguas terrestres.
- Decreto 139/88. Reglamento de la ley de la salud pública.
- Decreto 199/95. Contravenciones de las Regulaciones para la Protección y el uso racional de los Recursos Hidráulicos.
- Resolución N°. 132/09 CITMA Reglamento del Proceso de Evaluación de Impacto Ambiental.
- Resolución N°. 111/02 CITMA Sistema Nacional de Monitoreo Ambiental.
- NC 521/2007 Vertimiento de aguas residuales en zona costera y aguas marinas.

CONSIDERACIONES MECÁNICAS

Se debe tener en cuenta la abrasividad de los fluidos a bombear para la selección de los materiales y equipos que se instalarán y así evitar perforaciones y daños a estos.

El tanque colector, así como las bombas estarán en contacto con el agua residual que recoge la canalización MAE-3, una vez separados los flujos de la UBP Recuperación, la cual posee una temperatura que oscila en un rango de 35 a 65 °C.

Se propone la instalación de variadores de velocidad en el sistema de bombeo que permitan la automatización de este sistema.

CONSIDERACIONES MEDIOAMBIENTALES:

Los trabajos están incluidos dentro de las concesiones mineras de la ECG. Se solicita al proyectista la realización o revisión de los estudios medioambientales relacionados directamente con los

requerimientos de la nueva instalación, así como las condiciones del sitio. Se prevé dentro de la construcción la calidad del pozo recolector, que no filtre contenido líquido a las aguas subterráneas.

Tanto en la fase de construcción como en la fase de operación de la propuesta, deben considerarse los factores que pueden generar emanaciones de gases perjudiciales, así como las acciones para reducirlas o eliminarlas, también la posibilidad de implementar tecnologías más limpias y ecológicas durante el tratamiento, y garantizar que el agua tratada alcance concentraciones de contaminantes inferiores a lo establecido en la legislación ambiental cubana vigente.

Pueden existir afectaciones al medio ambiente desde el punto de vista de operación, en caso de ocurrir una avería en el área colectora que se construya, en alguna bomba y/o línea instalada que provoque algún derrame fuera del área establecida. Por este motivo es fundamental diseñar un muro de contención para los puntos donde sean ubicadas en caso de no tenerlo.

CONSIDERACIONES DE LOS SERVICIOS TOPOGRÁFICOS

El proyectista debe realizar una actualización topográfica del área subterránea y los terrenos abiertos incluidos dentro de la tarea.

Se debe evaluar como segunda opción la modificación del Tanque de hormigón en desuso de la antigua planta de Separación de Cobalto, donde se realizará el tratamiento primario al residual MAE-3, con la separación de sólidos, donde el agua tratada se reutiliza como agua de reposición en el Ciclo I de Torres de Enfriamiento y los sólidos deben ser enviados para la Presa de Colas. El área debe ser pavimentada con una canalización perimetral con tapas de rejilla y bomba de achique para reincorporar posibles vertimientos.

PLAZOS DE EJECUCIÓN

En la elaboración del Cronograma, el mismo debe tener implícito desde la elaboración de la tarea técnica, ingeniería básica, obtención de los permisos y licencias y la confección del Expediente de Factibilidad Técnico Económico (EFTE) en la etapa de Preparación de la Inversión. La elaboración de la ingeniería de detalle, contratación de los suministros nacionales y de importación (equipamiento) y la ejecución de la construcción y el montaje de las especialidades de civil, eléctrica, hidráulica, mecánica, automática y tecnología en la etapa de Ejecución; por lo que se estima un periodo no inferior a tres años de ejecución.

VALORACIÓN DEL EFECTO TÉCNICO ECONÓMICO

Para evaluar la pertinencia de la propuesta se realizó un estudio de factibilidad, se tuvo en cuenta un grupo de elementos básicos para poder estimar un costo aproximado de la inversión.

Estudio de factibilidad:

- Precio del Agua Cruda, $m^3 = 1 \text{ CUP/ } m^3$

- Flujo de Agua MAE-3 = 150.00 m³/h
- Consumo Diario = 3,600.00 m³/d
- Consumo Anual = 1, 314,000.00 m³/a
- Gastos por pérdidas de agua en este efluente = 1, 314,000.00 CUP/a

Inversión:

- Foso (20 m³): 300,000.00 CUP
- Bombas de 250 m³/h (2 u): 1, 000,000.00 CUP
- Tuberías 200 mm (2 u), 2000m: 1, 300,000.00 CUP
- Sedimentador (ya existe): 0.00 CUP
- Seccionalización para separación agua amoniacal: 1, 500,000.00 CUP
- Otros: 820,000.00 CUP

TOTAL: 4, 920,000.00 CUP

TIR: 3.7 años.

CONCLUSIONES

El residual aportado por la planta de Recuperación de Amoniacal presenta un flujo promedio de 70 m³/h, con una carga importante de Amoniacal y Níquel disuelto; que deben ser enviado al residual MAE-2, para la eliminación de estos contaminantes del residual MAE-3 para su posterior tratamiento.

El tratamiento del residual MAE-3 sin los aportes de la Planta de Recuperación de Amoniacal y el Laboratorio Central podrían ser tratado de conjunto con el residual de la planta baja de Hornos de Reducción, permitiendo el aprovechamiento de 160 m³/h en el Ciclo I de Torres de Enfriamiento y para la dilución de la pulpa que va a destilación de las colas.

La implementación de esta propuesta permitirá un aporte económico ascendiente a 350 400 CUC al año, evitando el vertido de 426,3 t/año de mineral al litoral costero de nuestro municipio que pueden ser tratados en la presa de cola.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aponte, G. (2017). Gestión de la innovación tecnológica en la relación universidad- Empresa en Venezuela. Revista Venezolana de Análisis de Coyuntura, 23 (2), 123-151. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/journal/364/36457168008/html/>
- Baptista, F. (2017). Procedimiento para la gestión del reciclaje de RSU en el municipio de Cabinda. Republica de Angola. [Tesis de doctorado, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Cuba]. <https://avances.pinar.cu/index.php/publicaciones/article/view/486>

- Bravo, E. (2007). Los impactos de la explotación petrolera en ecosistemas tropicales y la biodiversidad. Acción Ecológica. Recuperado de: https://inredh.org/archivos/documentos_ambiental/impactos_explotacion_petrolera_esp.pdf
- CITMA. (2001). Panorama ambiental de Cuba 2000. La Habana: Editorial Academia. CIGEA.
- CEAC. (2014). Evaluación de la calidad de las aguas de la Empresa del níquel “Comandante Ernesto Che Guevara”. [Informe complementario del reporte final (No. 04/14). Archivo Empresa Ernesto Che Guevara.
- CEDINIQ, (2021) Datos estadístico del Laboratorio Central de la Empresa. Informe inédito. (p. 215)
- Constitución de la República de Cuba. (2019). Asamblea Nacional del Poder Popular. Recuperado de: <https://www.ilo.org/dyn/travail/docs/1317/Constituci%C3%B3n%20de%20la%20Rep%C3%BAblica%20de%20Cuba.pdf>
- Decreto - Ley No. 170. Decreto-Ley del Sistema de Medidas de Defensa Civil. <https://www.informea.org/es/legislation/decreto-ley-n%C2%BA-170-sistema-de-medidas-de-defensa-civil>
- Decreto - Ley No.199. Sobre la Seguridad y Protección de la Información Oficial. Gaceta Oficial de La República de Cuba, 78. <https://vuceregulaciones.mincex.gob.cu/media/Decreto-Ley%20199-99%202.pdf>
- Decreto Ley N° 200/1999. Contravenciones en materia de medio ambiente. Gaceta Oficial de la República de Cuba, 83, 23 de diciembre de 1999. <https://www.ecolex.org/es/details/legislation/decreto-ley-no-200-contravenciones-en-materia-de-medio-ambiente-lex-faoc020131/>
- Decreto Ley No. 138/1988. Aguas terrestres. Gaceta Oficial de la República de Cuba, 12, 22 de febrero de 1988. https://www.cecmed.cu/sites/default/files/adjuntos/aguas%20terrestre/Dec_Ley-138-88.pdf#overlay-context=aguas%20terrestres/aprobadas%3Fpage%3D15.
- Decreto Ley No. 139/1988. Reglamento de la ley de la salud pública. Gaceta Oficial de la República de Cuba, 12, 22 de febrero de 1988. https://www.cecmed.cu/sites/default/files/adjuntos/Reglamentacion/Dec_Ley-139-88.pdf#overlay-context=reglamentacion/aprobadas%3Fpage%3D18
- Decreto presidencial No. 17 (2017). Gaceta Oficial de La República de Cuba. 34, Ordinaria de 15 de noviembre de 2017. Recuperado de: <https://www.gacetaoficial.gob.cu/sites/default/files/goc-2017-o34.pdf>
- Decreto-Ley No. 54. (1982). Disposiciones Sanitarias Básicas. Gaceta Oficial de la República de Cuba, 15. La Habana, 23 de abril de 1982.

- Degremont, CH. y otros (1979). Manual técnico del agua. Tratamiento de las aguas de consumo.
- Díaz, A. (2016) Bioadsorción de Níquel Disuelto en Residual de La Empresa “Comandante Ernesto Che Guevara” Usando Biomasa DEPHYLLANTHUS ORBICULARIS.
- Díaz, S. (2013). Propuesta técnica para el tratamiento primario de las aguas residuales generadas en la industria petrolera. (Trabajo de Diploma). Universidad Nacional Autónoma de México.
- Fernando, L. (2019). Aproximación crítica a la teoría económica propuesta por Schumpeter. REV. Investigación& Negocios, 12(20), 2521-2737. Recuperado de: http://www.scielo.org.bo/pdf/riyn/v12n20/v12n20_a06.pdf
- Ferrás, X. (2014). Una definición de innovación. Un blog para los apasionados de la Innovación 6.0. Recuperado de: <https://xavierferras.com/2014/09/una-definicion-de-innovacion/>
- García y Col (2001). Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales. <http://www.madrimasd.org/>.
- Gómez, F. A. (2018). Herramientas de gestión de la innovación aplicadas en las organizaciones empresariales. Revisión bibliográfica. (Trabajo de Diploma). Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Bogotá. <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/25611/%20%09fgomezrom.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ley 150 de 2022. Ley del Sistema de los Recursos Naturales y Medio Ambiente. Gaceta Oficial de la República de Cuba, 14 de mayo 2022. <https://www.gacetaoficial.gob.cu/es>
- Lineamientos de la política económica y social del estado y la revolución. (2016). VII Congreso del Partido Comunista de Cuba. La Habana: pp. 38.
- Martínez, (2018). Evaluación del sistema tratamiento de residuales líquidos generados en una central eléctrica operando con "fuel oil". Alternativas tecnológicas. Tecnología Química, 38(1), <http://scielo.sld.cu/pdf/rtq/v38n1/rtq12118.pdf>
- Metcalf and Eddy (1995). Ingeniería de aguas residuales: tratamiento. Vertido y reutilización.
- NC 27: (2012). Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado. Especificaciones, Cuba. <https://ftp.isdi.co.cu/biblioteca/biblioteca%20universitaria%20del%20isdi/coleccion%20digitale%20de%20normas%20cubanas/2012/nc%2027%20a2012%2014p%20sky.pdf>
- NC 521: (2007). Vertimientos de aguas residuales a la zona costera y aguas marinas. Especificaciones (Obligatoria). <http://www.citmapri.gob.cu/wp-content/uploads/2023/03/NC-521-2007-vertm.-de-aguas-residuales-en-zonas-costeras.pdf>

Resolución 111/2002. Establece y aprueba las bases para el funcionamiento del Sistema Nacional de Monitoreo Ambiental. Gaceta Oficial de la República de Cuba, 13 de septiembre de 2023.
<https://www.parlamentocubano.gob.cu/sites/default/files/documento/2023-10/goc-2023-o87.pdf>

Resolución 132/2009 - Reglamento del proceso de evaluación de impacto ambiental. Gaceta Oficial de la República de Cuba, 13 de septiembre de 2023.
<https://www.parlamentocubano.gob.cu/sites/default/files/documento/2023-10/goc-2023-o87.pdf>

Síntesis curricular de los autores

Osmani Marrero Cabrera

Ingeniero mecánico de la empresa comandante Ernesto Ché Guevara de Cuba. Realiza investigaciones relacionadas a la gestión ambiental, principalmente en el tratamiento de las aguas residuales. Los resultados alcanzados han sido presentados en eventos nacionales e internacionales. Actualmente cursa la maestría en Desarrollo sustentable en la actividad minera- metalúrgica en Cuba.

Yordanis Torres Batista

Realiza investigación científica desde el año 2013 donde trabaja varias líneas de investigación tales como: Gestión socioambiental y económica, economía ambiental, valoración económica de los bienes y servicios ecosistémicos, marketing, rehabilitación minera y gestión empresarial. Es licenciado en economía, máster en desarrollo sustentable en la actividad minera-metalúrgica y doctor en ciencias económicas, obtuvo el premio de la academia de ciencias de cuba en el año 2020, así como el Sello Forjadores del futuro. En el año 2023 fue seleccionado joven asociado a la academia de ciencias de Cuba y es miembro del consejo científico de la Universidad de Moa Dr. Antonio Núñez Jiménez.

Mariolis Rodríguez Cabrera

Realiza investigaciones científicas relacionadas con la gestión documental y el conocimiento, economía ambiental, educación ambiental, marketing, habilidades informacionales y contribuye con las líneas de investigación de economía y medio ambiente. Es graduada de Bibliotecología y Ciencias de la Información, Máster en Bibliotecología y Ciencias de la Información y se encuentra cursando el doctorado en Ciencias de la Educación. En el año 2023 obtiene categoría del premio al rector a nivel de facultad y Centro.

Oneida Calzadilla Miliam.

Realiza investigaciones vinculadas a la las líneas de investigación de especies exóticas invasoras, educación ambiental y biodiversidad. Profesora auxiliar de biología. Actualmente trabaja en la universidad de Cienfuegos.