

Propuesta de tratamiento para residuales de la fábrica de marmolosa en Santiago de Cuba

Treatment proposal for residuals from the marmolosa factory in Santiago de Cuba

*MSc. Telvia Arias-Lafargue, tal@uo.edu.cu, MSc Giselle Giralt-Ortega,
MSc. José Ramón Guerrero-Haber, Ing. Jorge Hernández-Arias, Ing. Abdel Espinosa-Peña*

Facultad Ingeniería Química y Agronomía. Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba

Resumen

Este trabajo se desarrolló en la fábrica de marmolosa “Renato Guitart Rosell” ubicada en carretera hacia Ciudadamar, en el municipio Santiago de Cuba. El mismo se centró en el proceso de corte de los materiales con el fin de proponer alternativas de aprovechamiento de las aguas residuales generadas en el mismo. La caracterización previa del residual líquido generado permitió demostrar la posibilidad de reutilizarlo, para ello se propone un procedimiento. La tecnología de tratamiento propuesta está compuesta por una balsa de aguas blancas o balsa de decantación, un neutralizador y los tanques de almacenamiento del neutralizante. Los beneficios implicarían para la entidad el aprovechamiento y aplicación del residual, resaltando el incremento de los ingresos económicos, así como la reducción de la contaminación al medio ambiente.

Palabras clave: residuales, tratamiento de residuales, marmolosa.

Abstract

This work was developed in the marmolosa factory "Renato Guitart Rosell" located in highway toward Ciudadamar in the Santiago of Cuba municipality. It was centred in the process of court of the materials with the purpose of proposing alternative of use of the residual waters generated in it. The previous characterization of the liquid residual generated allowed to demonstrate the recycle possibility, for intends it a procedure. The proposed treatment technology is composed by a raft of white waters or decantation raft, a neutralizer and the tanks of storage of the neutralizer. The benefits would imply for the entity the use and application of the residual, highlighting the increment of the cost-reducing entrances, as well as the reduction of the contamination to the ambient midway.

Keywords: residuals, waste treatment, marble.

Introducción

En los distintos lugares del mundo, el empleo de diferentes tipos de losas para cubrir los pisos y embellecer el entorno, es una de las prácticas más comunes. En la provincia de Santiago de Cuba una de las entidades que se dedica a su producción es la Unidad Empresarial de Base (UEB) Combinado Profundido Cerámica “Renato Guitart Rosell”, ubicada en la carretera hacia Ciudadamar. La misma es una de las entidades que se encuentran reportadas como

contaminadoras de la bahía santiaguera por el vertimiento indiscriminado de sus aguas residuales sin previo tratamiento.

Dicha entidad se dedica a producir diferentes objetos de losas de forma variada y de alta demanda, dentro de los que se encuentran la baldosa de diferentes tamaños según las exigencias del mercado, las losas para patios traseros o parques, ladrillos a base de cemento, tapas para bóvedas, entre otros /1/. En la elaboración de estos productos, la generación de residuos y el consumo de agua, es un problema que atenta en el proceso de precorte y corte primario del material para su transformación en planchas y piezas para su posterior puesta en obra. Dicho proceso, se realiza a través de telares o hilos diamantados y necesita el empleo de agua como refrigerante.

Para garantizar sus procesos productivos la entidad requiere de grandes volúmenes de agua y a pesar de que la industria tiene su fuente de abastecimiento de agua, la degradación de la calidad de la misma debido fundamentalmente a la sobreexplotación, a la ausencia de control en los vertidos y a la sequía que en ocasiones se presenta agresiva, ha conllevado a una disminución de este recurso y por tanto una disminución del agua disponible y un encarecimiento progresivo de esta, incidiendo en paradas de la producción por su ausencia.

En función de lo antes expuesto, adquiere una gran importancia la implantación de una gestión eficiente del recurso agua dentro del sector, por lo que es necesario realizar una investigación más a fondo sobre las posibilidades de reutilización que esta tiene, para tratar de recuperarla y reutilizarla en el proceso.

Constituye una necesidad social implementar en la empresa alternativas para aumentar el volumen de agua disponible para realizar el corte de los materiales. Por tanto se plantea como objetivo: proponer alternativas que permitan incrementar la disponibilidad de agua en la fábrica.

Materiales y métodos

Para proponer la tecnología, se tomaron como base los resultados de la caracterización física y química realizada al agua residual en el laboratorio del Departamento de Química de la Facultad de Ciencias Naturales y Exactas de la

Universidad de Oriente, en el período comprendido entre septiembre 2015 y febrero del 2016.

Las muestras objeto de análisis fueron recibidas en frascos de polietilentereftalato (PET). Estas comprenden el agua inicial antes del proceso de corte y luego el agua residual después de su uso. La muestra de agua antes del proceso de corte es transparente e inodora, sin embargo, la muestra de agua residual presenta una gran cantidad de sedimento, el cual fue eliminado por sedimentación y posterior decantación para la realización de los análisis físicos y químicos. Todos los análisis fueron realizados por triplicado auxiliándonos del análisis estadístico correspondiente.

Del proceso de sedimentación se obtiene un sólido que no constituye en este artículo objeto de análisis, aunque puede ser tratado y aprovechado, por lo que se encuentra incluido en la figura 1 que muestra el procedimiento a seguir para la caracterización y posterior determinación de alternativas de tratamiento y aprovechamiento.

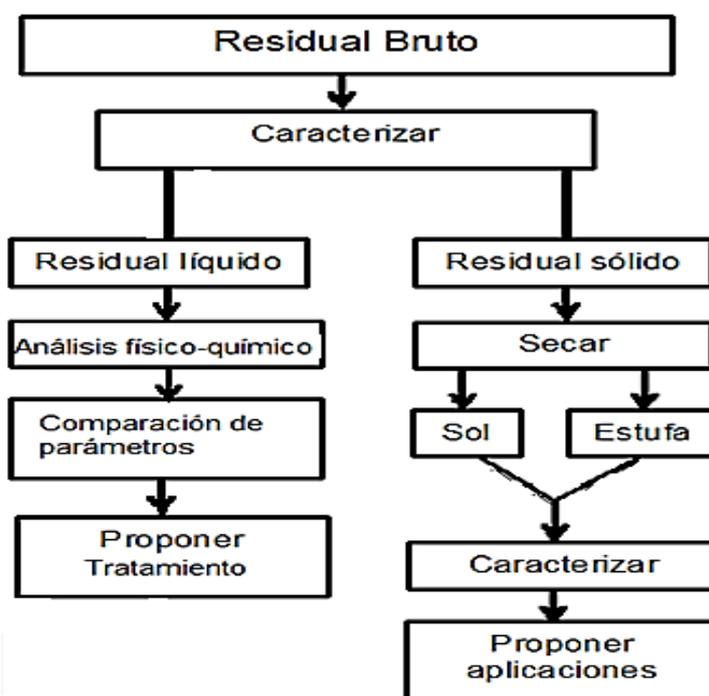


Figura 1. Procedimiento para la caracterización del residual.

Análisis físico-químico del residual

Después del proceso de decantación al residual líquido obtenido se le realizó la caracterización pertinente, evaluando las propiedades organolépticas, pH, tensión superficial ($\text{mN}\cdot\text{m}^{-1}$), densidad ($\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$), viscosidad relativa y conductividad ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$).

Los análisis se realizaron siguiendo la metodología presentada en “Recopilación de técnicas analíticas”, un texto disponible en el laboratorio /2, 5/.

Resultados y discusión de los experimentos realizados para la matriz líquida

Para el análisis físico-químico del residual líquido se extrajo la matriz del residual de la fábrica por decantación obteniéndose la parte líquida (de interés en este trabajo) y la parte sólida. Luego se evaluaron las propiedades que resultaron ser de utilidad para las posteriores aplicaciones y posibles alternativas de reutilización de este vital recurso.

Se tomaron tres representaciones de las muestras traídas de la entidad, las cuales fueron analizadas por triplicado.

Propiedades Organolépticas

Agua Inicial: La muestra es incolora, inodora y no es grasienta al tacto.

Agua residual: La muestra es turbia, con olor característico a tierra y se observa la presencia de una gran cantidad de sedimento de color gris claro, debido al proceso de corte de las baldosas.

Para todos los análisis físicos y químicos realizados, como se menciona anteriormente, el sólido fue eliminado por sedimentación y posterior decantación.

Análisis del pH

Agua Inicial: Los valores promedios del pH oscilaron alrededor de 7,63 unidades, por lo que se comprueba el carácter neutro de la misma, ya que esta agua es recibida en la fábrica del acueducto “Aguas Santiago”.

Agua residual: Después del proceso de corte, el valor del pH asciende hasta aproximadamente 11 unidades, dándole a la misma un carácter básico, esto es debido a los residuos que se forman durante el proceso de corte de la baldosa, lo que responde a las características de la materia prima objeto de estudio.

Análisis del índice de refracción

El índice de refracción, tanto para el agua inicial como para la residual, es aproximadamente 1,334, lo que demuestra que no hay interferencias en la muestra que desvíe el ángulo de dispersión de la luz, este comportamiento en el agua residual está dado por el proceso de sedimentación y decantación efectuado para eliminar el sólido antes de hacer las determinaciones.

Análisis de la densidad

En el caso de la densidad, tanto para el agua inicial como para el agua residual, el valor alcanzado es de aproximadamente 1 g.cm^{-3} , por lo que no van existir cambios en esta propiedad física, aspecto a tener presente para la toma de decisiones.

Análisis de la conductividad

La conductividad es una medida de la habilidad de una solución de conducir la corriente eléctrica, para el caso del agua inicial se obtuvo un valor de $988,6 \mu\text{S.cm}^{-1}$ y en el caso del agua residual el valor obtenido fue de $2\,038,8 \mu\text{S.cm}^{-1}$, lo que demuestra que esta última conduce mucho más la corriente, resultando este un parámetro a tener en cuenta para aplicaciones posteriores. Esto está dado por la cantidad de material soluble al agua en el momento del corte de la baldosa y por las características del material.

Análisis de la viscosidad relativa

La viscosidad relativa tanto para el agua inicial como para el agua residual alcanza un valor de 1 aproximadamente por lo que no se evidencian cambios en esta propiedad, lo que demuestra la facilidad del agua a las deformaciones tangenciales y eso es debido a las débiles fuerzas de cohesión moleculares existentes.

Análisis de la tensión superficial

Con respecto a la tensión superficial en el agua inicial el valor determinado está en similitud con los resultados obtenidos para el agua del proceso de corte del material, aunque su efecto es nulo para el tipo de pruebas o trabajo que se hace.

La tabla 1 muestra los resultados de otras determinaciones que se le realizaron al agua residual en el Laboratorio de Geominera de Oriente. Los análisis se

solicitaron con el objetivo de tener más elementos para determinar las posibles aplicaciones del residual.

Tabla 1
Otras especies contenidas en el agua residual (Geominera)

Iones	Residual (mg.L⁻¹)	Norma 827:2012 (mg.L⁻¹)
NO ₂ ⁻	1,52	0,01
NO ₃ ⁻	13,07	45
Na ⁺	109,74	200
Ca ²⁺	115,83	200
Mg ²⁺	26,87	150
Dureza	142,7	400

Como se puede observar en la tabla 1 los valores de iones nitrato, calcio, sodio y magnesio, así como la dureza, se encuentran por debajo de los establecidos en la norma NC 827:2012 /2/, lo cual indica la no contaminación del agua. Sin embargo los valores de los iones nitritos superan lo normado, aspecto este que se puede atribuir a las características del material usado para la producción de baldosas.

Luego de realizar el análisis de las propiedades físico-químicas de las muestras objetos de estudio, se puede decir que los parámetros pH y conductividad son los que deben ser transformados en el agua residual para una posible reutilización, esto traería emparejado:

- Mejora de la imagen de la industria, y en concreto del sector de la construcción, gracias a la reutilización de los residuos generados y una menor contaminación al medio ambiente.
- La recuperación, reutilización y ahorro de agua en la entidad.
- Mejora de la competitividad, valoración de los residuos y aumento del abanico de salidas para los productos generados en esta empresa. Incremento de ventas, reducción de costos.

- Minimización de los residuos generados. Avance tecnológico de las empresas en cuestión de maquinaria para el tratamiento de lodos de proceso. Nuevas líneas de Investigación y Desarrollo (I + D).

Tecnología de tratamiento propuesta

La tecnología de tratamiento estaría encaminada en primer lugar a un proceso de sedimentación, luego neutralización con ácido sulfúrico y posterior recirculación a la cisterna para dar inicio nuevamente al proceso de corte.

Instalación de tratamiento propuesta

El agua residual procedente del proceso se trasiega por las redes de canaletas que se encuentran en la parte inferior de cada equipo para ser vertidas a la balsa de aguas blancas. Cuando la balsa alcanza su nivel máximo de capacidad, automáticamente se abre la válvula de mariposa y se realiza el transvase de agua limpia. Tras realizar el vaciado del tanque la válvula se cierra y arranca el sistema de extracción de lodos, basado en una serie de tuberías conectadas a una bomba centrífuga que extrae los lodos y los envía directamente al depósito de lodos. El agua clarificada es enviada por gravedad al neutralizador donde se mezcla con una solución diluida de ácido sulfúrico de concentración $0,1 \text{ mol/dm}^3$ durante un intervalo de tiempo de 15-30 minutos para lograr que la reacción de neutralización ocurra eficientemente. La concentración de ácido a emplear, así como el intervalo de tiempo se determinaron experimentalmente. Una vez alcanzado el tiempo previsto se controla el pH en el tanque y si es el deseado se abre la válvula de globo para que el agua con los parámetros de calidad establecidos fluya hacia la cisterna de la entidad para su posterior reutilización en el proceso.

Componentes de la instalación propuesta

La figura 2 muestra el esquema de los componentes de la instalación propuesta para el tratamiento de agua.

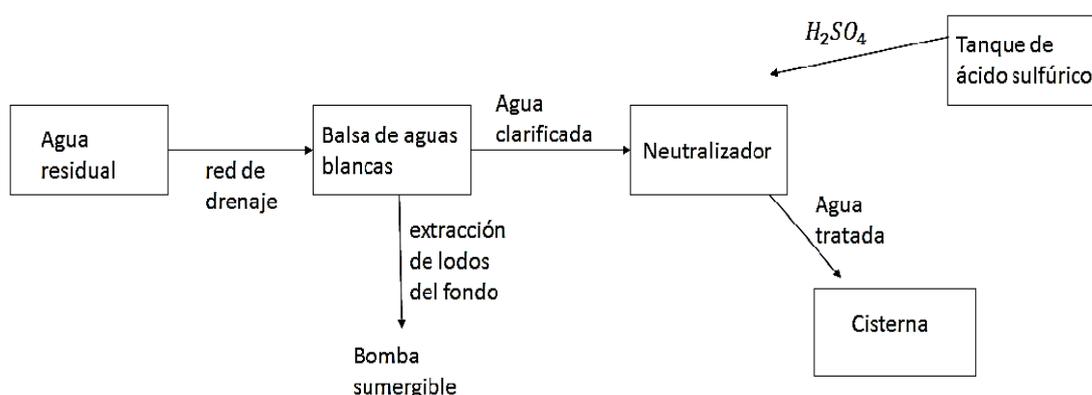


Figura 2. Esquema de los componentes de la instalación propuesta para el tratamiento de agua.

Balsa de decantación /5/

Para la recogida de aguas blancas procedentes del corte y pulido de mármol existe una balsa de hormigón con una capacidad para 26 000 L.

Mediante un proceso de decantación estática de 45 min se obtiene, por un lado el agua con un porcentaje de sólidos en suspensión que permite su reutilización, y por otro, los depósitos formados fundamentalmente por carbonato de calcio. Los sólidos en suspensión son el óxido de silicio, sulfato de calcio, sílice y sulfatos sedimentables.

Tomando como base los criterios de diseño de una balsa de decantación /6/.

- La profundidad de la balsa será de 2m.
- La relación largo / ancho (L/A) será de 3,25 m.
- La relación largo / profundidad (L/H) de 3,25 m.
- El fondo de la balsa tendrá una pendiente de 5 % para facilitar el deslizamiento del sedimento. Además, en la zona de salida de agua limpia se realiza una pendiente del 50 %, con el fin de evitar que los sedimentos sean succionados durante el transvase.

La descarga de agua limpia se efectúa por gravedad, mediante una válvula de mariposa maniobrada de forma automática, dependiendo del tiempo de descarga calculado para una altura de 0,9 metros, es decir, 12 min para 13 500L.

Conociendo que se generan 25 000 L de residuo por día de trabajo (8 horas) y que para 1L de muestra se recupera 460 mL de agua clarificada entonces, se generarían 11 500 L de agua clarificada.

Neutralizador

Realizando pruebas a escala de laboratorio se logró reducir el valor de pH agregando ácido sulfúrico ($0,1 \text{ mol/dm}^3$) a 100 mL de agua clarificada. Los mejores resultados se obtuvieron para 4mL de solución diluida de ácido sulfúrico, disminuyendo el valor de pH hasta 7,2 unidades, niveles de pH similares al agua de entrada al proceso. Por tanto:

Para neutralizar 11 500 L de agua clarificada que se generan en la balsa de decantación, se necesitan 460 L de solución diluida de ácido sulfúrico de concentración $0,1 \text{ mol/dm}^3$.

Teniendo en cuenta que las sustancias a sedimentar son de origen inorgánico (óxido de silicio, sulfato de calcio, sílices provenientes de la cal, sulfatos sedimentables, entre otros), se puede considerar un tiempo de permanencia en el neutralizador de 15-30 min (con agitación) /3/.

Tanques de almacenamiento de solución diluida de ácido sulfúrico

Se determinó utilizar dos tanques para el almacenamiento de solución diluida de ácido sulfúrico de concentración $0,1 \text{ mol/dm}^3$, uno que contendrá el doble del volumen del otro. Garantizando que una vez terminado el tratamiento para un día de trabajo sea transvasado por gravedad el volumen que necesita el otro depósito para comenzar el turno del día siguiente, siendo este un ciclo de reserva en caso de encarecimiento de materia prima.

Sistema de extracción de lodos

Tras realizarse la extracción del agua clarificada se acciona el sistema de extracción de lodos, basado en una serie de tuberías conectadas a una bomba centrífuga, que extrae los lodos y los envía directamente al depósito de lodos.

La extracción de los lodos, al igual que la descarga de agua limpia, está automatizada y depende del tiempo de aspiración calculado para una altura de 0,4 m, es decir 10 min para 6 000 L.

En la tabla 2 se muestran las dimensiones características para los equipos del proceso. Para su diseño se tuvieron en cuenta los datos brindados por la entidad, donde su ubicación en planta es posible existiendo terreno suficiente para la construcción de la instalación.

Tabla 2
Dimensiones de los equipos

Equipos	Vu(m ³)*	Hu(m)*	Ht(m)*	D(m)*
Neutralizador	12	2,5	3,13	2,5
Tanque para ácido diluido(1)	1	1,72	2,15	0,86
Tanque para ácido diluido(2)	0,5	1,37	1,71	0,69
Mezclador	Tipo	Potencia (kW)	Intensidad	
	paleta	0,72	débil	

*Vu: Volumen útil del tanque, m³

*Hu: Altura útil del tanque, m

*Ht: Altura total del tanque, m

*D: Diámetro del tanque, m

Cantidad de agua recuperada en un período determinado

Conociendo que un año tiene 365 días, que mensualmente se trabajan 24 días y que el costo por m³ consumido de agua a escala industrial es de 1,55 CUP (siempre que se cumpla con los consumos establecidos en las normas, en caso contrario se deben abonar 3,0 CUP por cada m³ consumido de agua), se puede conocer el ahorro de este imprescindible producto para la entidad y el país.

Luego:

Al año se trabajan $24 \times 12 = 288$ días.

Un día de trabajo de la instalación presentada garantiza el ahorro de 11 500 L de agua, por tanto:

$288 \times 11\,500 = 3\,312\,000$ L = $3\,312$ m³ de agua/ año, lo que representa

$3\,312 \times 1,55 = 5\,133,6$ CUP (gasto por consumo de agua normado)

$3\,312 \times 3,0 = 9\,936$ CUP (gasto por consumo de agua fuera de norma)

Determinación del costo de adquisición de los equipos

Para el cálculo del costo actual del equipamiento (tabla 3) se utiliza el método descrito por Peter, 1991 /4/.

Índice actual = 1 635,5

Índice original = 256

Tabla 3
Resultados del costo de equipamiento

Equipos	Costo de los equipos (CUP)	
	Desinstalado	Instalado
Balsa de decantación	448	515,2
Neutralizador	8 500	9 775
Tanque para el almacenamiento de neutralizante (1)	750	862,5
Tanque para el almacenamiento de neutralizante(2)	375	431,25
Motor del agitador	350	672,2
Motor de la bomba	198	267,29
Bomba	420	546

La implementación de la propuesta tecnológica garantizaría la recirculación de agua disminuyendo no solo el consumo de esta por la entidad para realizar las distintas operaciones de trabajo, sino también que disminuya el impacto ambiental negativo que ocasiona el vertimiento de las aguas residuales a la bahía santiaguera.

Para la entidad, el aprovechamiento del residual implica beneficios, resaltando aspectos fundamentales como la mejora de la calidad del producto final y el incremento de los ingresos económicos. Por otra parte, se hace necesario la búsqueda de alternativas para enfrentar situaciones de sequía como la que acaba de pasar la provincia, por lo que si se implementa la opción presentada, serviría de ejemplo a otras instituciones del municipio, la provincia y el país, debido a la mejora de imagen en los distintos parámetros de evaluación integrada.

Conclusiones

- 1. Químicamente las aguas residuales generadas en el proceso de corte de los materiales resultaron ser de interés para las posteriores**

aplicaciones y posibles alternativas de reutilización, resultando de principal atención, en comparación con el agua utilizada en la entidad, el pH con un valor promedio de 10,6 unidades y la conductividad con un valor de 2038,8 (mS.cm⁻¹).

- 2. Se propuso una alternativa para el aprovechamiento de los residuales generados en el proceso de corte, teniendo como premisa la reinserción del agua de desecho. Por esta razón, la tecnología de tratamiento a emplear estará compuesta por una balsa de aguas blancas o balsa de decantación, un neutralizador y los tanques de almacenamiento del neutralizante (ácido sulfúrico diluido).*
- 3. Se realizó el dimensionamiento de los distintos equipos que componen la propuesta tecnológica, así como la red de tuberías por la que se trasiegan los fluidos de la planta, obteniéndose diámetros de 1/8 y 4 pulgadas para cada línea en particular, un diámetro de 2,5 m para el neutralizador y 0,86 m para el primer tanque que contiene neutralizante.*
- 4. Se realizó una valoración de los beneficios que implica para la entidad el aprovechamiento y aplicación del residual, resaltando el incremento de los ingresos económicos, así como la reducción de la contaminación al medio ambiente.*

Bibliografía

1. ARIAS, Telvia. "Caracterización de algunas de las principales fuentes contaminantes de la bahía de Santiago de Cuba y sus consecuencias en el medio ambiente". *Tecnología Química*. 2008, vol. 28, núm. 2, p. 79-89.
2. OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. *Agua potable — requisitos sanitarios*. NC 827. 2da Edición. La Habana, 2012.
3. PERRY, R. y CHILTON, C. H. *et al.* *Chemical Engineering Handbook*. McGraw Hill, 8TH edition. EEUU, 2008. 2700 p. ISBN 978-0-07-142294-9.
4. PETERS, Max. y TIMMERHAUS, Klaus D. *Plant design and economics for chemical engineers*. McGraw Hill, 4TH edition. Singapore, 1991. 925 p. ISBN 0-07-049613-7.

5. RODRÍGUEZ, Patricia, *et al.* "Flow models for rectangular sedimentation tanks". *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*. Elsevier, 2008. vol. 49, num. 9, p. 1705-1716.
6. UNLU, Ayhan; URGUP, Nuri; HALIL, Hasar. "Optimal design of sedimentation tanks for effluent of marble works and use of settled solids in concrete". *Civil Engineering and Environmental Systems*. Taylor & Francis, 2003. vol. 20. p. 49-59.