

PROYECTO PARA RECUPERAR, TRATAR Y RECICLAR EL AGUA RESIDUAL DEL PROCESO DE LAVADO DE ARENA EN LA UEB ARENA TRINIDAD DE LA EMPRESA GEOMINERA DEL CENTRO

Emida Yera Sánchez, María del Carmen Marero Pera, Denise Sánchez García, Diana Expósito Sanabria

Empresa Geominera del Centro, Carretera a Malezas, km 2¹/₂, Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

RESUMEN

La UEB Arena Sílice Trinidad perteneciente a la Empresa Geominera del Centro del MINBAS, se encuentra ubicada en Carretera a Casilda Km 2¹/₂, Provincia Sancti Spiritus, realiza el beneficio de arena sílice para diferentes usos y mercados, proceso industrial húmedo, que consume gran cantidad de agua (2 m³ de agua/m³ arena procesada) y genera gran volumen de residual líquido que tributa a una presa de colas y contiene gran cantidad de sólidos. Utilizando la metodología de Producción Más Limpia se logra la optimización del consumo de agua en el proceso, el manejo y uso del sedimento de la presa de colas y la eficiencia energética. La tecnología propuesta para la recirculación de agua, consiste en recolectar el residual líquido en un sedimentador (tratamiento físico), separando los sólidos sedimentables del agua, para reutilizarla en el proceso y estos sólidos devolverlos al yacimiento (rehabilitación). Se tomaron muestras de estos residuales para mediciones del caudal, análisis de laboratorio y determinación de la velocidad de sedimentación. Este proyecto se encuentra en fase de ejecución y tiene como destino lograr un buen manejo del recurso agua y energético. Se determinaron y evaluaron los impactos ambientales en todas las etapas del proyecto y la factibilidad económica y análisis de sensibilidad, resultando un **VAN de \$ 427 097.94**, una **TIR 391 %** y el periodo de recuperación de **0.74 años**. El análisis de sensibilidad resultó factible económicamente.

ABSTRACT

UEB Sand Silica Trinidad belonging to the Company Geominera of the Center of MINBAS, it is located in Highway to Casilda Km 21/2, County Sancti Spiritus, carries out the benefit of sand silica for different uses and markets, industrial humid process that consumes great quantity of water (2 m³ of processed agua/m³ arena) and it generates great volume of residual liquid that pays a prey of lines and it contains great quantity of solids. Using the methodology of Cleaner Production the optimization of the consumption of water is achieved in the process, the handling and use of the silt of the prey of lines and the energy efficiency. The technology proposed for the recirculation of water, consists on gathering the residual liquid in a sedimentador (physical treatment), separating the solid sedimentables of the water, for reutilizarla in the process and these solids to return them to the location (rehabilitation). They took samples of these residual ones for mensurations of the flow, laboratory analysis and determination of the sedimentation speed. This project is in execution phase and he/she has like destination to achieve a good handling of the resource dilutes and energy. They were determined and they evaluated the environmental impacts in all the stages of the project and the economic feasibility and analysis of sensibility, being a they GO of **\$ 427 097.94**, a **TIR 391 %** and the period of **0.74 year-old recovery**. The analysis of sensibility was feasible economically.

INTRODUCCION

Las aguas tratadas pueden ser reutilizadas en procesos mineros siempre y cuando cumplan con los requerimientos de calidad que la operación exija, minimizando el consumo de agua mediante la recirculación de agua de proceso y por tanto, los costos energéticos.

La UEB Arena Sílice Trinidad pertenece a la Empresa Geominera del Centro, subordinada al MINBAS, se encuentra ubicada en Carretera a Casilda Km 2¹/₂, Provincia de Sancti Spíritus. Es una planta de beneficio de arena sílice, para distintos usos y mercados, fundamentalmente las fundiciones. La materia prima procesada es extraída del yacimiento a cielo abierto, cuya explotación data de 1980. El proceso industrial es por vía húmeda, consume gran cantidad de agua (2 m³ de agua/m³ arena procesada) y genera gran volumen de residual líquido que tributa a una presa de colas y contiene gran cantidad de sólidos. El agua proviene de un pozo alejado de la unidad a 5 km y es propiedad de la propia entidad.

En el diagnóstico ambiental realizado en la UEB Arena Trinidad, resultó como aspecto ambiental significativo, el gran consumo de agua, así como la situación crítica de este recurso, ya que debido a su explotación y no recuperación, se ha ido salinizando el agua de este pozo, afectando tanto el manto, suelos y aguas superficiales.

Utilizando la metodología de Producción Más Limpia, se generaron opciones que se enfocan en la optimización del consumo de agua en el proceso, el manejo y uso del sedimento de la presa de colas, y la eficiencia energética. Reutilizando el agua de proceso, las demandas de la necesidad energética son disminuidas y por lo tanto los ahorros se pueden hacer en costos de la energía.

La tecnología propuesta para la recirculación de agua, consiste en recolectar el residual líquido en un sedimentador, aplicando para ello un tratamiento físico en que se separan los sólidos sedimentables del agua, para reutilizarla en el proceso y estos sólidos devolverlos al yacimiento.

Para ello se aprovechará el área de la presa de colas existente en la parte trasera de la UEB, para lo cual se requiere de:

- Dragado de la presa de colas, aprovechando el sólido sedimentado como relleno de los bloques explotados del yacimiento, dando cumplimiento al Proyecto de Rehabilitación existente, o destinarle algún otro uso a ese sedimento (aproximadamente 5000 m³).
- Se construirá un sedimentador primario con un muro de división y un decantador, los cuales serán conectados entre sí y serán impermeabilizados, para evitar que el agua se filtre y poder recuperarla. En el diseño se tendrá en cuenta la inclinación que se dará para facilitar las limpiezas posteriores.

Para el diseño de este sistema de tratamiento, se tendrá en cuenta 500 m³ por turno de trabajo (máximo), ya que la planta está diseñada para 32 m³/h, 22 000 t/año para el 80 %. El plan actual es bajo, pero hay que tener en cuenta los datos anteriores.

El área prevista y colegiada con la dirección de la UEB se encuentra en niveles más bajos que la planta de proceso, por lo que el agua proveniente de la planta tributaría por gravedad hasta el sistema y de éste irá por bombeo hasta incorporarse de nuevo al proceso.

Requiere la instalación de un medidor de caudal, tuberías para los diferentes circuitos de la recirculación del agua y una bomba impulsora para recircular el agua en el sistema.

- Otro aspecto de gran importancia por las posibles afectaciones a la salud humana y que se tendrá en cuenta en este proyecto es el agua de consumo, utilizándose actualmente el agua del pozo que se usa para el proceso industrial. Las aguas de este pozo están contaminadas bacteriológicamente y tienen contenidos de nitratos, causantes de enfermedades crónicas y cancerígenas, por lo que urge resolver esta situación por el peligro que causa a la vida de los trabajadores de la unidad y queda prohibido su uso.

Este pozo cuenta con una electrobomba sumergible, con una potencia del motor de 40 kWatt, por lo que el consumo energético es muy alto y en la planta el 50% del gasto energético para producir 1 m³ de arena, se debe a éste, es decir, por concepto de pago de corriente eléctrica, se pagan \$2000.00 CUC solamente por el uso de la bomba, si se tiene en cuenta además, el costo del agua (\$ 300 o 400 CUC), evidentemente es una situación muy preocupante.

La dirección de la UEB explica toda la crítica situación del agua en esta entidad y la importancia de que se ejecute con rapidez este proyecto, pues de no ser así, se prevé el cierre de la misma en cualquier momento.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la ejecución del proyecto se requiere de:

- Viajes a la UEB para el levantamiento y mediciones del terreno donde se construirá el sedimentador, así como para los muestreos de residuales líquidos (muestras compuestas) y mediciones del caudal, durante 5 días laborables.
- Análisis de laboratorio al agua del pozo, a residuales líquidos y sedimentos y determinación de la velocidad de sedimentación. Los análisis de laboratorio se realizarán en el Laboratorio Central de la Empresa, excepto los bacteriológicos que se realizarán en el Laboratorio Provincial de Higiene y Epidemiología de Santa Clara.
- Alquiler de equipamientos y combustible para el dragado de más de 5000 m³ de sólidos en la presa de colas.
- Materiales para la construcción del sedimentador, viales, otros.
- Compra de electrobomba, luminarias exteriores, medidores de flujo.
- Materiales para el cercado y señalización del sistema de tratamiento.
- Permisologías establecidas.
- Evaluación de impactos ambientales en cada fase del proyecto.
- Determinación de las externalidades y beneficios tangibles del proyecto.
- Personal para realizar todas estas tareas.
- Uso y aplicación de la legislación y normativas vigentes para cada tarea.

RESULTADOS

Resultados de laboratorio

Para evaluar los resultados de las muestras de residuales líquidos se tuvo en cuenta que el cuerpo receptor según la NC 27.1999, es de Clase B en zona saturada, por su importancia para la reutilización del agua en la propia industria, los resultados son:

Tabla I.- Resultados de residuales líquidos

Determinaciones	UM	Método	LMPP	Muestra 1 (Compuesta)
pH		Potenciométrico	6-9	7.24
Conductividad	μS/cm	Potenciométrico	2000	857
DBO ₅	mg/l	Volumétrico	50	70
DQO	mg/l	Volumétrico	140	154
Nitrógeno Total	mg/l	Colorimétrico	10	0.18
Fósforo Total	mg/l	Colorimétrico	5	<0.20
Sólidos Sedimentables	ml/l	Gravimétrico	1	350
Grasas y aceites	mg/l	Gravimétrico	10	14
Hidrocarburos	mg/l	Volumétrico	0	3
Sól susp. totales	mg/l	Gravimétrico		43269
Sól. totales	mg/l	Gravimétrico		49770
Sól. dis. totales	mg/l	Gravimétrico		6501

Para evaluar los resultados de las muestras de agua del pozo se tuvo en cuenta lo establecido en la NC 93.02.1985 y la NC 93.11.1986.

Tabla II.- Resultados del agua del pozo

Ensayo realizado	Método utilizado	UM	LMPP	Muestra
Color	-	-		No
Olor	-	-		No
pH	Potenciométrico	U	6.5-8.5	7.23
Sedimento	-	-		No
Conductividad	Potenciométrico	(μS/cm)		1050
SiO ₂	Colorimétrico	mg/l		32.76
NH ₄ ¹⁺	Colorimétrico	mg/l	0	<0.04
NO ₂ ¹⁻	Colorimétrico	mg/l	0	<0.01
HCO ₃ ¹⁻	Volumétrico	mg/l	400	416.62
Cl ¹⁻	Volumétrico	mg/l	250	121.58
NO ₃ ¹⁻	Colorimétrico	mg/l	45	23.95
SO ₄ ²⁻	Gravimétrico	mg/l	400	70.77
Ca ²⁺	Volumétrico	mg/l	200	76.62
Mg ²⁺	Volumétrico	mg/l	150	57.93
Na ¹⁺	Absorción Atómica	mg/l	200	61.41
K ¹⁺	Absorción Atómica	mg/l		4.96
Dureza Total	Volumétrico	mgCaCO ₃ /l	400	425.08
Residuo seco (sólidos totales)	Gravimétrico	mg/l	1000	525

- **Caudal:** Se realizaron las mediciones del caudal con un recipiente de volumen conocido, durante los días de toma de muestras y durante el muestreo de la misma, resultando **3.8 l/seg.** Se requiere realizar más mediciones del caudal en días diferentes.
- **Velocidad de sedimentación:** Se realizó la prueba de la probeta para determinar la velocidad de sedimentación. Para ello se preparó en dos probetas de 1000 ml, muestras de este residual líquido que contiene gran cantidad de sólidos, durante la primera hora se midió cada tres minutos la altura de sedimentación, a partir de la segunda hora, las mediciones se realizaron cada 15

minutos. Se realizaron mediciones a las 24 y 96 horas, tiempo en que ya había sedimentado todo el sólido. Queda pendiente realizar más cantidad de pruebas para la determinación de este parámetro tan importante para el diseño del sedimentador.

Evaluación de impacto ambiental

Se realizó la evaluación de impacto ambiental siguiendo la metodología de Conesa 2000, para todas las fases del proyecto

En la **fase de ejecución del proyecto** no existen impactos negativos de envergadura (la mayoría son menores que 25), debido a que se ocupará un área relativamente pequeña, se usará poca cantidad de equipos y existirá un rápido cronograma de ejecución. A pesar de ello existen algunos factores levemente impactados, para los cuales se proponen medidas que minimizan los mismos.

Las acciones más impactantes en esta etapa de ejecución son:

- Generación de residuos sólidos (almacenamiento de arena dragada), debido a la gran acumulación de este material en las lagunas de colas, ya que son residuos de varios años, por lo que se planifican 10 días para el dragado y traslado hacia el yacimiento.
- Alteración de la cubierta vegetal, ya que toda obra constructiva a realizar conlleva a esta acción negativa que afecta al suelo, flora y fauna.
- Tráfico de vehículos y maquinarias
- Generación de desechos sólidos provenientes de la obra. Impacto visual desagradable, afectando al suelo principalmente por la contaminación de desechos sólidos y por la erosión que puede causar la compactación que provocan estos equipos.

En la **etapa de funcionamiento** las acciones más impactantes son:

-De forma positiva:

- Consumo de agua. Calidad del agua de abasto, ya que al recircular este recurso no renovable, se disminuye su consumo, mejora la calidad de la misma y se cumple con las legislaciones vigentes para el uso y explotación de este recurso y la Ley 81 de Medio Ambiente.
- Vida útil del pozo de abasto. Sobreexplotación del recurso agua.
- Cumplimiento de las normas de medio ambiente vigentes, además de disminuir el consumo de este recurso.
- Generación de residuos líquidos. Se contamina menos el medio ambiente debido a las emisiones de residuos líquidos, cumpliendo los parámetros establecidos en la NC 27.1999.
- Consumo energético. Se disminuye al utilizar menos la electrobomba instalada para el bombeo del pozo al tanque elevado, la electrobomba a instalar para la recirculación del agua recuperada será de menor potencia que la anterior.
- El Drenaje pluvial mejora con la construcción de las redes para este fin, mejorando la imagen, salud de los trabajadores y vecinos al no propiciar la proliferación de vectores.

- Mejora de la imagen de la entidad

De forma **negativa**

- Generación de residuos sólidos (almacenamiento de arena dragada), la cual no es muy significativa si se cumplen las medidas que se proponen en esta etapa.
- Traslado de arena dragada hasta destino final (bloques del yacimiento explotados u otros usos), la cual es de menor envergadura en esta etapa que en la anterior, ya que el volumen de este material será mucho menor, siempre y cuando se cumplan todas las medidas propuestas en cada etapa.

En la fase de funcionamiento uno de los principales riesgos de contaminación son las acumulaciones de sedimentos de arena una vez extraídas de las lagunas, por diferentes causas (transporte, combustible, etc) y posibles derrames de esta arena durante el traslado de la misma hacia su destino final, lo cual puede afectar al suelo. El proyecto contempla las fundamentales medidas de seguridad que evitarían estos accidentes.

Los impactos identificados son de una magnitud moderada con la posibilidad de atenuarlos mediante la aplicación de medidas correctoras.

Etapas de cierre

Se considera fase de **cierre** una vez que se termine la explotación del yacimiento de arena Trinidad, para lo cual también se definirán los impactos ambientales relacionados con esta etapa, lo cual no es objetivo en este proyecto, pues el tiempo de explotación de este yacimiento según las reservas de arena calculadas, todavía demora unos varios años y desde la fecha hasta ese entonces, pueden variar las tecnologías, normas ambientales y otros aspectos de interés.

Evaluación económica

Para ello se tuvo en cuenta: las externalidades del proyecto, los ingresos, ahorros, costos de inversión y costos operacionales, impactos ambientales en cada etapa del proyecto, determinando los valores dinámicos como VAN, TIR y PRD

a) **Costos de Inversión:** Se refiere al valor de la construcción de la instalación hasta su puesta en marcha. Las obras consideradas dentro de los costos de inversión son las siguientes:

1. Investigaciones
2. Dragado y limpieza de laguna.
3. Impermeabilización inicial.
4. Construcción de sedimentador –decantador
5. Cercado y señalizaciones.
6. Equipamientos.
7. Legislaciones y permisos
8. Construcción de canales para el control de las aguas de escorrentía.
9. Construcción de viales (vías principales y secundarias); las primeras tienen especificaciones como vías permanentes durante la vida útil del proyecto, las secundarias se usan para llegar al frente de trabajo.

10. Obras de adecuación, que son las que se deben construir antes de iniciar el proyecto, como la valla de información, el cerramiento, las estructuras de entrada que incluye la puerta, los canales para el manejo de aguas de escorrentía, el descapote, la impermeabilización y el sistema vial.

11. Permisología (aprobación de las licencias ambientales)

El Costo de Inversión es de \$ 26 376.55

b) **Costos de Operación:** Se consideran los costos de mano de obra para la ejecución del proyecto (obras de construcción), costos de electricidad, reactivos y accesorios para los análisis de laboratorio, costo de agua y combustible.

El Costo de Operación es de \$ 77 989.25

c) **Ingresos:** Se suman las externalidades más los ingresos productivos en la UEB

Los Ingresos Totales son de \$ 181 110.00

Tabla III.- Resultados de VAN, TIR y PRD

VAN (15%) MP	427.097,94 €	Es factible
TIR	391%	
Periodo de recuperacion (años)	0,74	

DISCUSIÓN

De los resultados obtenidos en el laboratorio, se concluye que:

Residuales líquidos: Los parámetros DQO, DBO₅, todos los sólidos y las Grasas se encuentran por encima de los límites permisibles establecidos en la NC 27.1999, por lo que el proceso industrial genera altas cargas contaminantes en: sólidos suspendidos, sólidos sedimentables, hidrocarburos, sustancias inorgánicas, materia orgánica y materia orgánica biodegradable.

Los efectos que estas cargas contaminantes producen a los cuerpos receptores son muy variados, entre los más representativos: aumento de la materia orgánica presente en el cuerpo receptor, sedimentación en cauces y embalses y pérdida total de los valores estéticos. Todo ello afecta los usos previstos causando la contaminación de los recursos hídricos.

Los vertimientos de aguas residuales producidos se llevan a cabo generalmente sobre los cuerpos receptores directamente, con el agravante de un escaso tratamiento de las aguas residuales.

Con la ejecución del proyecto y puesta en funcionamiento de la planta de recirculación, se logran mitigar estos problemas actuales, además se proponen otras medidas.

Agua de consumo: Según los resultados del análisis químico - físico que se muestran en la tabla, el agua del pozo se puede clasificar como bicarbonatada clorurada, ya que presenta contenidos altos de bicarbonato y cloruro. Presenta también contenidos de calcio, magnesio y sodio, lo cual incide en la dureza de la misma, requiriéndose un tratamiento por ablandamiento.

El agua resultó químicamente un agua muy dura, por lo que su consumo puede acarrear trastornos renales y cuando se usa con fines domésticos crea jabones insolubles que aumentan el consumo de detergentes y jabones en general.

Estos problemas son propios de las aguas de pozos sin tratamiento previo (NC 93:11.1986). La conductividad eléctrica es proporcional a la concentración de iones disueltos en el agua, siendo ésta, la capacidad de un agua para transmitir la corriente eléctrica y depende de la concentración de las sustancias ionizadas, de la naturaleza de éstas y de la temperatura. Está relacionada con el residuo fijo, aunque no puede establecerse un factor fijo de conversión para todas las aguas.

Es preocupante el contenido de nitratos en el agua, que aunque resulta por debajo del límite máximo permisible, no es bajo y se debe accionar sobre esto para que no afecte la salud del hombre.

Evaluación de impactos ambientales

Los impactos ambientales en cada etapa, calculado a través de la matriz Conessa 2000, revela que el impacto producido por las transformaciones efectuadas en cada una de las etapas se comportará como sigue:

- Etapa de ejecución: Impacto moderado
- Etapa de funcionamiento: Impacto moderado.

Evaluación económica:

Las externalidades de este proyecto se consideran del tipo **reciprocantes**, ya que el uso irracional del agua de consumo afecta a todos, la salinización de este recurso afecta a la flora, fauna, al hombre y al medio ambiente.

Los métodos utilizados para valorar las externalidades fueron:

- Por evaluación de los impactos negativos, basado en los precios del mercado.
- Costos de oportunidad: Ya que el proyecto es positivo y se logran beneficios de preservación de la vida humana y para el medio ambiente.
- Plan de producción de la entidad.

Ingresos y Ahorro de agua y energía eléctrica: Análisis del mercado de la UEB. En el año 2009 el plan de la UEB es de 6000m³ arena para un total de \$ 124 800.00. El precio de la arena beneficiada es de \$20.80/ m³ arena producida. El gasto de agua es de aproximadamente 2 m³/ m³ arena procesada (12 000 m³) ya que el rendimiento es del 50%. Entonces el gasto total de agua en el año fue de 12 000 m³, y para un precio mensual de 400.00 CUC/1000 m³, significan \$4800.00 **CUC** al año.

Se planifica una recuperación del 60% de agua, la cual se recirculará, ahorrándose \$ 2880 **CUC** al año.

Análisis de gastos de corriente. Se pagan \$ 2 000.00 CUC por la bomba (40 Kwatt), para el 40%, se pagan solamente por este concepto \$ 800.00 CUC, por lo que se ahorran \$1 200.00 CUC Hay que sumar el gasto de la bomba nueva que será de mucho menor consumo, por lo que el ahorro es evidente.

Al existir un sistema de tratamiento de residuales líquidos adecuado y una correcta gestión de los residuos sólidos, la minimización de residuos se realiza mediante prácticas de reducción en el origen y mediante el reciclaje de recursos, por medio de la modificación de procesos o de tecnologías por otras más limpias.

Las prácticas de reducción en el origen son:
Por cambio de procesos:

- Se reducen los residuos y emisiones generados. Disminuye la contaminación.
- Se mejora la calidad del recurso no renovable
- Se disminuye el sobreuso del agua subterránea.
- Incremento de la capacidad de producción al no paralizar la planta por escasez de agua.

Beneficios tangibles.

- Disminución de la carga contaminante a verter al medio.
- Impactos positivos sobre el medio ambiente.
- Influencia positiva en la imagen de la empresa.
- Uso adecuado del agua.

Programa de monitoreo.

Durante la etapa de preparación/proyección se realizarán muestreos al agua y del influente o entrada a la presa de colas, así como al sedimento. Se recomiendan estos mismos análisis una vez que el proyecto se encuentre en la fase de funcionamiento, con una frecuencia de muestreo dos veces al año.

- Se proponen monitoreos posteriores (uno al terminar la ejecución del proyecto) de aguas, residuales y sedimentos, además de las auditorias para comprobar si se está cumpliendo lo propuesto y comparar con el inicial.
- Además los especialistas de Medio Ambiente y Seguridad y Salud de la UEB, previa conciliación con el laboratorio, elaborarán los Gráficos de Control analítico para aguas, residuales líquidos y sedimento de la presa de colas, cumpliendo las normas vigentes para aguas, vertimiento de residuales y suelos.

CONCLUSIONES

1. Con la ejecución de este proyecto se obtienen beneficios tangibles, fundamentalmente por el ahorro de agua y se logran producciones más limpias.
2. El proyecto es **Factible económica y ambientalmente.**

BIBLIOGRAFÍA

Manual de la Dirección Técnica del MINBAS.

De Heredia R. (1995) Dirección Integrada de Proyecto – DIP– "Project Management", Segunda Edición, E.T.S de Ingenieros Industriales.

Capítulos 10 y 11. Manual de la Dirección Técnica de la Producción. Empresa Geominera del Centro NC 27. 1999. Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado. Especificaciones. Resolución 132. 2009. CITMA