



**Universidad  
de Holguín**

---

FACULTAD DE  
INGENIERÍA

DPTO. CONSTRUCCIONES

# CARACTERIZACION DE LODO RESIDUAL DE LA CANTERA EL PILÓN DE MAYARÍ COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN

TESIS PRESENTADA EN OPCIÓN  
AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

Autor: Ramón Daniel Batista Blanco

HOLGUÍN 2021



FACULTAD DE  
INGENIERÍA

DPTO. CONSTRUCCIONES

# CARACTERIZACION DE LODO RESIDUAL DE LA CANTERA EL PILÓN DE MAYARÍ COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN

TESIS PRESENTADA EN OPCIÓN  
AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

Autor: Ramón Daniel Batista Blanco

Tutor: MSc. Alexander Fernández Pérez

HOLGUÍN 2021



## PENSAMIENTO

Nunca consideres el estudio como una obligación, sino como una oportunidad para penetrar en el bello y maravilloso mundo del saber.

Albert Einstein.



## DEDICATORIA

*El presente trabajo de diploma va dedicado a toda mi familia y amigos, especialmente a:*

*A mi madre y mi novia en especial ya que estas dos constituyeron el motor de arranque para que hoy sea ingeniero.*



## AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a:

*A mi tutor Alexander Fernández Pérez por su colaboración y constante dedicación a esta investigación. A Yanelis Herrera y todos los trabajadores de los laboratorios de CEDINIQ y NICAROTEC por su ayuda e interés constante en esta investigación. A mi familia en especial a mi mamá y mi novia me apoyaron y creyeron en mi cuando yo no lo hacía, a todos mi amigos y compañeros de universidad que siempre estuvieron a mi lado.*



## RESUMEN

Encontrar una aplicación a los lodos residuales de las plantas procesadoras de áridos por los efectos negativos que provocan al medio ambiente constituye una necesidad ante las afectaciones ocasionadas al ecosistema donde son depositados. Esta investigación tiene como objetivo caracterizar el lodo residual de la planta procesadora de áridos El Pílon en el municipio Mayarí de la provincia de Holguín para determinar alternativas de valorización. Para la caracterización se realizaron ensayos físicos y químicos, en los laboratorios de, la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicada de Holguín y del Centro de Investigación del Níquel en Nicaro respectivamente. Al obtener los resultados y analizar sus propiedades, se identifica según la norma NC 54-264:1984 como polvo de piedra calidad 2, por lo que se propone su valorización como materia prima en la elaboración de mezclas de morteros, supliendo así necesidades de la industria de materiales de la construcción. Para su desarrollo se aplicaron métodos de investigación del nivel teórico, empírico y estadístico, que permitieron constatar las insuficiencias y valorar la factibilidad de los aportes de la investigación. Igualmente, el asiento bibliográfico se desarrolló a partir de las normas APA.



## ABSTRACT

Finding an application to waste sludge from aggregate processing plants due to the negative effects they cause on the environment is a necessity in the face of the effects caused to the ecosystem where they are deposited. The objective of this research is to characterize the residual sludge from the El Pílon aggregates processing plant in the Mayarí municipality of the Holguín province to determine recovery alternatives. For the characterization, physical and chemical tests were carried out in the laboratories of the National Applied Research Company of Holguín and the Nickel Research Center in Nicaro, respectively. When obtaining the results and analyzing its properties, it is identified according to the NC 54-264: 1984 standard as quality 2 stone powder, which is why it is proposed to value it as a raw material in the preparation of mortar mixtures, thus meeting the needs of the construction materials industry. For its development, research methods of the theoretical, empirical and statistical level were applied, which made it possible to verify the shortcomings and assess the feasibility of the research contributions. Likewise, the bibliographic entry was developed from the APA standards.



## Índice

<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>2</b>
<b>CAPITULO I: FUNDAMENTOS SOBRE LA CARÁCTERIZACIÓN DE LODOS RESIDUALES GENERADOS EN CANTERAS DE ÁRIDOS.....</b>	<b>9</b>
1.1 Residuos. Clasificación. Características.....	9
1.1.1 Lodos residuales generados en canteras de árido.....	12
1.2 Valorización de los lodos residuales generados en canteras de áridos como material de construcción.....	14
1.2.1 Experiencias internacionales.....	15
1.2.2 Experiencias en Cuba.....	17
1.3 Entorno legal sobre el aprovechamiento de residuos generados en canteras.....	21
1.4 Ensayos para la caracterización y posterior valorización de lodos residuales.....	24
Conclusiones Parciales.....	26
<b>CAPÍTULO II: CARACTERIZACION DE LODOS RESIDUALES DE LA CANTERA PILÓN EN EL MUNICIPIO DE MAYARÍ.....</b>	<b>27</b>
2.1 Caracterización de la cantera El Pilon.....	27
2.2 Generación del residuo.....	35
2.2.1. Análisis de los volúmenes de lodo residual.....	37
2.3 Toma de las muestras de lodo residual.....	38
2.4 Determinar propiedades físicas, químicas del lodo residual de la cantera El Pilon.....	38
2.4.1 Ensayos físicos a las muestras.....	38
2.4.2 Ensayo físico-químico.....	41
2.4.3 Resultados de los ensayos al lodo residual de la cantera El Pilon.....	42
2.5. Propuesta de valorización de los lodos generados la cantera de áridos El Pilon de Mayarí.....	47
2.6 Aporte, social, económico y ambiental de la investigación.....	48
Conclusiones Parciales.....	49
<b>CONCLUSIONES GENERALES.....</b>	<b>50</b>



**RECOMENDACIONES. .... 51**

**BIBLOGRAFIA REFERENCIADA ..... 52**

**ANEXOS ..... 55**

## INTRODUCCIÓN

A nivel internacional la actividad constructiva constituye una de las ramas de la industria consumidora de recursos naturales, la demanda de estos supera los volúmenes extraídos, surgiendo entonces la necesidad de cambiar los patrones de producción y consumo vigentes hasta este momento. La piedra caliza ha constituido hasta la fecha la fuente principal de obtención de los volúmenes de áridos necesarios para mantener el ritmo constructivo que impone el desarrollo de los países. Aparejado a lo anterior otras industrias como la alimentaria y la cosmética consumen volúmenes considerables, incrementando adicionalmente su costo.

En Cuba debido al auge constructivo se ha acrecentado el consumo de áridos, dirigido fundamentalmente al programa de la vivienda tanto a las afectaciones provocadas por los fenómenos Hidro-meteorológicos que han azotado al país, como a las reparaciones del fondo habitacional existente, además de dar respuesta a los retos constructivos que impone el desarrollo social, convierte a la producción de materiales y productos de la construcción en una de las problemáticas de mayor actualidad para el Estado Cubano. Tales retos son recogidos en los documentos que norman la política económica y social de la Revolución Cubana.

La provincia de Holguín no se encuentra ajena a ello. La Empresa Productora y Comercializadora de materiales y productos de la construcción (MÉDANO) de la mencionada provincia tiene la responsabilidad de procesar, suministrar, comercializar y mantener la alta demanda de este recurso, para ello administra de forma eficiente seis plantas procesadoras, en las cuales en el año 2020 se produjeron 417 530,00<sup>1</sup> m<sup>3</sup> y en lo que va del 2021; 398 460,00<sup>1</sup> m<sup>3</sup>, pero a pesar de este nivel de producción no se cumple la demanda. Una de estas plantas procesadoras se encuentra ubicada en el municipio Mayarí.

La planta procesadora de áridos El Pilon se ubica al este de la capital del municipio de Mayarí a una distancia de 8 km y a 1 km de la carretera Mayarí Nicaro. El yacimiento donde se extraen las rocas ocupan un área 21,39 ha, representadas por calizas pelito mórficas, pelito mórfica–organógenas, calizas organógenas detríticas,

calizas brechosas y conglomerados calcáreos (Correia, 2016). La misma fue fundada en el año 1977, para el procesamiento y obtención de las diferentes granulometrías de áridos se contó con un molino de procedencia Española, con capacidad para producir 100 000.00 m<sup>3</sup>, el cual actualmente sigue en explotación.

En el año 2018 debido al auge en los proyectos constructivos de la provincia, donde además de cumplir la demanda necesaria para el programa de la vivienda, se suman, la continuidad del Trasvases Este-Oeste, así como la construcción del polo turístico Ramón de Antilla, fue imprescindible instalar otro molino, esta vez de procedencia Italiana con capacidad de producción anual de 200 000,00 m<sup>3</sup> de áridos de diferentes granulometrías. Según directivos de la planta procesadora las reservas de la cantera se estiman en 20 años con los dos molinos a plena capacidad de producción.

El proceso de obtención del árido se realiza en los dos molinos de forma muy parecidas, no obstante existen algunas diferencias, de forma general, se reciben de la cantera rocas de variados tamaños, con dimensiones de hasta 0.50 m, donde comienza el proceso de trituración, a través de un molino secundario encargado de la trituración de las rocas hasta su clasificación en granito, gravilla y arena. En esta etapa ocurre el proceso de lavado, que tiene por objeto liberar a la arena de los finos, materia orgánica y materiales térreos arcillosos.

En el Molino Español el agua del lavado transcurre directamente (junto a los sólidos disueltos) hasta la laguna de sedimentación, mientras en el molino Italiano esta se incorpora a la fracción fina (arena) que pasa al interior del hidrociclón, el cual la lava mediante el método de ciclonado, tomando agua procedente de la cisterna y devolviendo el agua usada al clarificador, donde se le añade floculante para tratarla y acelerar la decantación de los sólidos.

Durante este proceso se genera un material residual en forma de lodos el cual se deposita en lagunas de sedimentación en la que ocurre un proceso de asentamiento del residuo. Esta se diseñó con una cortina con el objetivo de retener el sólido que se asienta y filtrar el agua por el aliviadero para su reutilización en el proceso de lavado.

La limpieza de la laguna se efectúa cada siete años y el residuo en forma de residuo sólido es depositado alrededor de la cantera.

La planta tiene 44 años de explotación, satisfaciendo las exigencias en cuanto a los volúmenes de áridos, la que conlleva la misma cantidad de tiempo generando lodo residual generado durante el proceso de lavado, volúmenes que han aumentado desde la incorporación del molino Italiano. En la actualidad se calculan en más de 85 000,00 m<sup>3</sup> el volumen acumulado. Se estima que por cada metro cúbico de áridos obtenido se genera un 1.5% de lodo residual, en el caso del molino Español el volumen de residuos es mayor debido a su proceso tecnológico de producción, caso contrario el molino Italiano que es totalmente automatizado, empleando además un floculante para proceso de lavado.

La acumulación de este residuo además de aumentar su volumen a diario, al realizar la su extracción de la laguna de sedimentación se ubica en las áreas de producción limitando el espacio, en época de lluvias al producirse el escurrimiento de las aguas, estas arrastran gran parte de este residuo hasta la bahía de Nipe provocando no solo su contaminación sino disminuyendo el caudal de los ríos aguas abajo por la sedimentación del mismo.

Los lodos residuales generados en cantera han constituido un tema de interés para la comunidad científica, por la necesidad que implica darle un uso para así reducir los impactos asociados a su generación, y crear una nueva alternativa de recursos. Dentro de las investigaciones realizadas tanto a nivel internacional como nacional, se han empleado en la elaboración de ladrillos, como material cementante, en el diseño de morteros y hormigones, en la fabricación de pinturas, cumpliendo con las normativas de calidad que exigen estos productos.

La caracterización de los lodos residuales generados en la cantera El Pílon es una prioridad para la industria de materiales de la construcción, de la provincia de Holguín, pues el desconocimiento de sus características limita su empleo. Por las razones expuestas se necesita una propuesta que brinde solución a esta problemática, lo que conlleva como situación problemática el insuficiente conocimiento

sobre las características de los lodos residuales generados en la cantera El Pilón del municipio Mayarí limitan la propuesta de alternativas para su utilización como material de construcción.

Por lo que se entiende como problema de investigación ¿Cómo caracterizar los lodos residuales generados en la cantera El Pilón del municipio Mayarí que permita proponer alternativas para su utilización como material de construcción? El objeto de estudio está dado por los lodos residuales El campo de acción lo constituyen los lodos residuales generados en la cantera El Pilón del municipio Mayarí para su utilización como material de construcción.

Como objetivo general caracterizar los lodos residuales generados en la cantera El Pilón del municipio Mayarí a través de variables físicas químicas que permitan proponer alternativas para su utilización como material de construcción. Determinando como hipótesis si se determinan las características de los lodos residuales generados en la cantera El Pilón del municipio Mayarí, a través del conocimiento de variables físicas químicas se podrían proponer alternativas para su utilización como material de construcción.

Lo cual conlleva como objetivos específicos:

1. Determinar los fundamentos teóricos y metodológicos sobre la caracterización de lodos residuales generados en canteras de áridos.
2. Caracterizar los lodos residuales generados en la cantera El Pilón del municipio, a partir del conocimiento de sus variables físicas químicas.
3. Propuestas de alternativas para la utilización los lodos residuales generados en la cantera El Pilón del municipio Mayarí como material de construcción.

La constatación de la hipótesis, el cumplimiento de los objetivos de la investigación y la solución del problema se concretan a partir del siguiente sistema de métodos de investigación:

Métodos teóricos:

- Sistémico estructural: Para conformar el aporte de la investigación con un enfoque sistémico que considere su estructura, componentes y relaciones que se dan entre ellos.
- Hipotético-deductivo: Para la elaboración de la hipótesis de la investigación, de las variables de la investigación y la orientación de la lógica investigativa.
- Histórico-lógico: Para realizar un análisis histórico de la utilización de lodos residuales generados en canteras de áridos. Resulta de valor además para el análisis cronológico de los fundamentos teóricos y metodológicos que sustentan el empleo de los mismos.
- Modelación: Para la elaboración de modelos que permiten comprender el alcance y significación del aporte de la investigación.
- Análisis y síntesis: Para el análisis de la información precedente de la caracterización histórica, teórico-metodológica y empírica del objeto y campo de la investigación.

#### Métodos empíricos:

- Análisis documental: Para la búsqueda de información relacionada con la caracterización histórica, teórico-metodológica y empírica del uso de los lodos residuales generados en la cantera de áridos El Pilón del municipio Mayarí y su propuesta de empleo como material de construcción.
- Observación científica: Observación científica: para la realización del trabajo de campo, con el objetivo de determinar el estado actual de la generación de residuos sólidos en el municipio Holguín y sus implicaciones ambientales.

#### Métodos estadísticos matemáticos:

- Estadísticos descriptivos: Para precisar la población y la muestra de la investigación, para el procesamiento y presentación de los resultados

provenientes del diagnóstico de la utilización de lodos residuales generados en la cantera de áridos El Pílon del municipio Mayarí.

- Estadístico matemático: permitieron un mejor diagnóstico del estado actual del objeto; además, posibilitaron gestionar, recepcionar, procesar, representar e interpretar las informaciones derivadas del análisis del objeto de la investigación y de las propuestas.
- Triangulación de datos: se utiliza en la fase exploratoria y en la investigativa para recoger datos de diferentes fuentes, contrastarlos y realizar una valoración convergente o una comprensión más global del campo de investigación.

Como Novedad Científica: se demuestra la utilización de los lodos residuales generados en la cantera de áridos El Pílon del municipio Mayarí partiendo del conocimiento de sus variables físicas químicas mediante propuestas de alternativas como material de construcción.

El aporte de la investigación constituyó el conocimiento de las variables físicas químicas que permite propuestas de alternativas como material de construcción.

La actualidad y pertinencia de la investigación está dada por la manifiesta relación que la misma tiene con las líneas de investigación, áreas de conocimientos y proyectos de investigación asumidos y llevados a cabo por parte del Departamento de Construcciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Holguín. Líneas de investigación asumidas por el departamento que derivan de las aprobadas en la Universidad y Facultad.

Además, dentro de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, la investigación en curso, forma parte del objetivo 11: Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles y su respectiva meta 11.6: reducir el impacto ambiental negativo per cápita de las ciudades, incluso prestando especial atención a la calidad del aire y la gestión de los residuos municipales y de otro tipo. También está relacionada con el objetivo 12: Garantizar

modalidades de consumo y producción sostenible y su meta 12.5: reducir considerablemente la generación de residuos mediante actividades de prevención, reducción, reciclado y reutilización.

El informe de la investigación se estructura en introducción y dos capítulos. En el primer capítulo se muestra el marco teórico referencial de la investigación, las premisas conceptuales, los antecedentes y evolución de la valorización de los lodos residuales en el mundo y en Cuba. En el capítulo dos se determina el potencial físico y químico de los lodos residuales de la cantera El Pílon de Mayarí y se realizan propuestas para su valorización. Se muestran, además, las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos.



## **CAPITULO I: FUNDAMENTOS SOBRE LA CARÁCTERIZACIÓN DE LODOS RESIDUALES GENERADOS EN CANTERAS DE ÁRIDOS.**

Este capítulo muestra el estado actual sobre la teoría y la práctica del objeto de estudio. En él se clasifica, se caracteriza y se fundamenta sobre los lodos residuales generados en canteras de áridos, estrategias e investigación para poder valorizarlo como material de construcción.

### **1.1 Residuos. Clasificación. Características.**

Uno de los cambios tecnológicos a realizar en Cuba es limitar y utilizar la gran cantidad de residuos de la construcción, los cuales resultan del “desarrollo” de la sociedad. Además su reciclaje y reutilización se considera la tecnología más limpia y amiga de los recursos naturales. Resulta de primera necesidad fomentar estudios actualizados que resulten beneficiosos y activos para así lograr dominar el campo de los residuos industriales y de la construcción

Es importante la limitación de los residuos en concordancia con las demandas de protección ambiental y la creciente falta de lugares de depósito apropiados. Además su utilización para un reciclaje adecuado, donde la energía y las fuentes puedan ahorrarse. La mayoría se deposita en rellenos sanitarios o vertederos sin dar los pasos necesarios para evitar la agresión medioambiental. Sin embargo existen razones económicas para centrarse en el desarrollo de unas cuotas más altas de reciclaje. Esta necesidad no solamente concierne a los países más industrializados, sino también a una demanda global con diferentes prioridades. (Blog Responsabilidad social)

Muchos países, que van desde los más industrializados como Holanda o Dinamarca, a otros en vías de desarrollo como Bangladesh, experimentan el ahorro de recursos naturales. También países en expansión como Kuwait se han dado cuenta de sus demandas para comenzar a aplicar técnicas de reciclaje (Lorenzo, 2010).

Los residuos se definen como aquellos materiales o productos cuyo propietario o poseedor desecha; pueden ser susceptibles de ser valorizados o requieren sujetarse a tratamiento que se encuentran en estado sólido o semisólido, líquido o gaseoso y que se contienen en recipientes o depósitos. Dentro de esta clasificación resulta interesante

la definición de los residuos líquidos o aguas residuales como la combinación de agua y residuos originados de la actividad doméstica, industrial, agropecuaria, minera o comercial (Blog Responsabilidad social).

Para Meraz Cabrera y Román Moguel (2005) los residuos son todos aquellos materiales, ya sean sólidos, líquidos o gaseosos, que se generan como consecuencia tanto de procesos de extracción de materias primas, su posterior transformación y su consumo y que su poseedor decide abandonar, porque generalmente le resulta inservible. Sin embargo, la mayor parte puede convertirse nuevamente en materiales útiles e incluso en productos de alto valor, sobre la base de su recolección por separado y su posterior reciclaje. Según Godoy del Pozo y Manresa González (2009) son todo material inútil o no deseado, originado por la actividad humana, en cualquier estado físico (sólido, líquido, gaseoso) y que puede ser liberado en cualquier medio receptor atmósfera, agua, suelo (Mosqueda, 2019).

Para Bernal (2017) los residuos son todos aquellos materiales que se consideran inútiles o no deseados. Se generan producto a la actividad humana y no pueden o son difíciles de ser asimilados por la naturaleza. Para comprender mejor lo expuesto por los autores citados se muestra en la figura 1.1,



Figura. 1.1. Clasificación de los residuos.

Fuente: Bernal (2017) en Fernández (2018)

Dentro de los residuos líquidos se encuentran los lodos residuales, los cuales son una mezcla semilíquida de agua y arena compuesta por sedimentos y partículas de polvo. Los mismos se caracterizan por ser un residuo extremadamente líquido (más de un 95% de agua). Su composición es variable y depende de la carga de contaminación del agua residual inicial y de las características técnicas de los tratamientos llevados a cabo en las aguas residuales (Miteco, 2015).

Por otra parte el sitio web SafetyDoc clasifica los residuos desde el punto de vista de la sostenibilidad y valorización;

Tipos de residuos Según su origen (SafetyDoc, 2020):

- Residuos domésticos: aquellos que han sido generados en los hogares por actividades domésticas.
- Residuos comerciales: producidos por la actividad propia de los comercios y servicios de restauración, así como de las oficinas y mercados y todos aquellos actores del sector servicios.
- Residuos Industriales: los que resultan de los procesos de producción, transformación, consumo o mantenimiento generados en la actividad industrial.
- Biorresiduos: los denominados biodegradables, provenientes de jardines y parques y los residuos alimenticios de hostelería, hogares y plantas de producción relacionadas con el sector alimentario.
- Escombros y residuos de construcción: los que se generan en una obra de construcción, sin incluir las tierras extraídas de los procesos de excavación.
- Residuos sanitarios: aquellos generados en centros sanitarios, resultado del trabajo realizado en laboratorios y centros médicos relacionados con la investigación, y que deben ser desechados de manera especial con el fin de no generar ninguna enfermedad.
- Residuos mineros: se refieren a los residuos sólidos o en pasta que se generan tras el aprovechamiento de un recurso geológico.
- Residuos radiactivos: aquellos que contienen elementos químicos sin ningún propósito práctico.

- Subproductos animales: también conocidos como SANDACH (Subproductos Animales No Destinados Al Consumo Humano) para denominar a los cuerpos enteros o partes de animales o productos de origen animal que, por motivos sanitarios no pueden ser consumidos.
- Residuos Sólidos Urbanos: Son un grupo muy amplio en el que participamos todos y, por esta razón, las campañas de reciclaje suele

Por lo expuesto anteriormente se concluye que los residuos en estudio se corresponden con residuos líquidos provenientes de actividades mineras, denominados lodos residuales generados de actividades de minería, específicamente en canteras para la extracción de árido.

#### **1.1.1 Lodos residuales generados en canteras de árido.**

Las canteras son instalaciones destinadas a la obtención de áridos, utilizados ampliamente en la esfera de la construcción y a medida que la tecnología evoluciona, también lo hacen las especificaciones que exigen a los materiales a utilizar.

Cuba, como en otros muchos países, la casi totalidad de las industrias productoras de arena (0.15-5 mm) cuentan, dentro de su proceso productivo, con un sistema de beneficio por vía húmeda a través del cual es separada la fracción fina (0-0.15 mm). Esta fracción o residuo de arena es eliminada junto con el agua al evacuarse por decantación posterior en el sinfín lavador, transportándose luego a lagunas artificiales o naturales donde cientos de metros cúbicos se incrementan en la medida en que se produce la arena. Estos residuos formados por porción muy fina, arcilla y/o limo, en distintos por cientos y con distinta composición mineralógica, se encuentran en polvo o formando pequeños grumos presentando una humedad variable en correspondencia con el tiempo de extraído de la laguna de sedimentación (Toirac. 1994)

Estos residuos líquidos denominados lodos residuales generados en canteras de áridos son materiales complejos y variados en su composición físico químico (Tabla 1.1), ellos varían según la técnica usada por el molino, la calidad del agua utilizada y

dependiendo de las propiedades de los elementos químicos que se utilizan para el proceso de limpieza de los áridos. Dentro de los que se encuentra en la actualidad los floculantes, el cual no es más que una sustancia química que aglutina sólidos en suspensión, provocando su precipitación.

Tabla 1.1 composición química de lodos residuales de la cantera La Inagua en Guantánamo.

<b>Compuestos y elementos químicos</b>	<b>Contenido %</b>
<b>CaO</b>	50.98
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0.336
<b>Fe<sup>2+</sup>O<sup>3-</sup></b>	0.396
<b>SiO<sup>3</sup></b>	0.233
<b>MgO</b>	0.123
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	0.027
<b>KO</b>	0.003
<b>MnO</b>	0.001
<b>ZN</b>	0.001
<b>Cu</b>	0.001
<b>SO<sub>3</sub></b>	0.106
<b>CaCO<sub>3</sub></b>	93.32
<b>PPI</b>	15.61

Fuente: Mosqueda (2019).

En el proyecto europeo Life Sludge Aggregates se estudiaron principales compuestos químicos del lodo residual de la cantera y arrojo como resultado las siguientes características (Futuro en Viro 2016):

- El lodo de cantera está compuesto principalmente de óxidos silicio.
- Los principales minerales presentes en el lodo de cantera son filosilicatos (70%, análisis semicuantitativo), seguidos por el cuarzo (30%, análisis semicuantitativo). El filosilicato mayoritario es la caolinita (75% análisis semicuantitativo).
- Los lodos residuales estudiados presentan nulas concentraciones de carbono inorgánico, debido, principalmente, a la ausencia de minerales carbonatados, como la calcita, en su composición mineralógica.

Este sector productivo no solo se ve obligado a perfeccionar sus procesos sino también a buscar la manera de obtener el máximo aprovechamiento de los recursos. Pero a la vez lograr la valorización de sus residuos para que dejen de significar un

problema y se conviertan en una fuente de ingresos. Unido a lo anterior se lograría una disminución del vertido en los lugares de depósitos o almacenamiento al ser utilizados en otros fines, lo que de forma general contribuiría a lograr un ambiente más limpio, libre de residuos.

Estos lodos residuales pueden ser de gran utilidad en la construcción y a su vez con un estudio de las características que presenta, se pueden desarrollar normativas específicas para su aplicación mediante varios mecanismos. De esta forma se contribuye a reducir el consumo de recursos naturales.

### **1.2 Valorización de los lodos residuales generados en canteras de áridos como material de construcción.**

Debe señalarse que las posibilidades de prevenir la generación de los residuos de industrias extractivas (y el caso de las canteras para áridos no es la excepción) son limitadas, a partir del desarrollo de la economía y en especial del sector constructivo depende en gran medida del funcionamiento de ellas; más factible resulta la aplicación de algunas medidas para prevenir el impacto ambiental de las actividades de la extracción de recursos minerales.

En la sociedad actual se tiene muy en cuenta la protección del medio ambiente, la reducción del consumo energético, la preservación de las fuentes de materias primas y la reducción de residuos. Los residuos deben ser estabilizados para así evitar su efecto nocivo. Se debe garantizar la seguridad ambiental en el vertido de aquello que, por razones tecnológicas o económicas, no haya podido ser reutilizado. Es muy alta la cantidad de residuos que no puede volver a incorporarse a los ciclos naturales o a las líneas de producción industrial, por las vías hasta ahora conocidas. Este puede llegar a ser un problema crítico si no se encuentra una solución, y mayor será el problema cuanto más se tarde en llegar a ésta, por esta razón la investigación de nuevas vías de tratamiento resulta imprescindible.

Los volúmenes almacenados desde hace décadas, además de no permitir la reutilización de estas lagunas o diques en la actualidad, dificulta el movimiento de los cargadores en el patio y el traslado de los residuales hasta su depósito. Por lo que se impone la necesidad de Identificar los residuales, para su valorización en la industria de la construcción u otra que las propiedades resulten de interés. Por otra parte, el

medio ambiente se beneficiaría tanto por la renovación del paisaje como por rescate de áreas ocupadas que pudieran tener otra utilización.

### **1.2.1 Experiencias internacionales**

En la bibliografía consultada se aprecia una amplia utilización de los lodos residuales generados en canteras de áridos en la industria de la construcción. Dentro de los que se encuentran:

La actividad de lavado de los áridos ha sido una preocupación que se ha resuelto parcialmente al aplicar sistemas de decantación y deshidratación, tales como balsa o presa de decantación por sedimentación natural, balsa o presa de decantación por sedimentación forzada, celda de sedimentación forzada, sistema de tanque de espesado o clarificador y filtros prensa. No cabe duda que estas alternativas introducidas, especialmente en el sector extractivo de la Rioja en España han contribuido a atenuar el impacto negativo sobre el medio, además de valorizar los residuos a través de la recuperación del agua para su empleo en el proceso de tratamiento, sistemas de control del polvo, sistemas de riego de áreas reforestadas, lavado de equipos de trabajo y la recuperación de la fase sólida para su utilización como material para la restauración (relleno o mejora del suelo), subproducto y materia prima para otros procesos (recuperación de arcillas) (Mosqueda, 2019).

Pero se considera que no se ha logrado potenciar el uso de estos residuos, dado el volumen que ocupan y el efecto que los mismos causan (Manual de La Rioja, 2006).

En España la problemática con los lodos que proviene del proceso de tratamiento del lavado de los materiales, se resuelve generalmente, con su utilización como material de relleno o mejora de suelos, en algunos casos para la recuperación de arcilla o subproductos (ANEFA. 2008).

La cantera de grava y arena El Castillo en Madrid, debido a la mala situación en la que se encontraba la zona, a causa de la empresa que gestionaba anteriormente la explotación, se vio obligada a una fuerte actuación medio ambiental para salvar esta zona , siendo así , que para la restitución topográfica efectuada y su posterior cobertura con tierra vegetal, fue necesario, complementarla con la aportación de los

lodos desecados resultantes del lavado del material en la nueva planta de tratamiento (Regueiro y González-Barros, M. (2006).

La compañía Aricemex S.A. en España se hizo cargo de la cantera “Las Cubetas”, que tiene desarrollada una línea de innovación y desarrollo ambiental con una rehabilitación de los espacios naturales acorde a los principios de conservación y mantenimiento del entorno que supone la utilización de medidas innovadoras para minimizar las afecciones al medio de su proceso productivo, estas iniciativas constituyen algunas de las fases de restauración con el objetivo de conseguir una mayor valorización de los residuos (Los Áridos y el Desarrollo Sostenible. 2009).

Sepúlveda( 2017), manifiesta que el proceso de reciclado ha logrado un gran posicionamiento dentro del sector minero, y a que se ha con vertido en una alternativa de ahorro y comercialización : “ Ahora las compañías mineras tienen la posibilidad de pagar menos al momento de disponer sus residuos, pues antes de ser trasladados a lugares autorizados por la normativa , son analizados para evaluar su comercialización y aplicación de minimización , las cuales están dirigidas a reducir su peligrosidad y volumen ” . Enfatiza en que “anteriormente, las minera chilena debían disponer casi el 100% de sus residuos y, a través del reciclado, dicho costo se redujo a la mitad”. Estos autores coinciden en otorgarle un uso a los lodos en relleno de huecos y caminos, sin embargo no realizan análisis físicos-químicos del que pudieran emerger propiedades que permitieran utilizarles de otro modo.

En busca de una alternativa de disposición final de lodos producidos tanto en los tratamientos de Agua Potable y Residual de cantera, y basándose en investigaciones previas; este componente se podría incorporar a la industria de la construcción para la elaboración de cementos, ladrillos, hierro y acero, cerámica y materiales refractarios; constituidos por sales férricas y de aluminio adquiridos en el proceso de coagulación, en canteras de áridos., se plantea la elaboración de morteros mediante el uso de lodos deshidratados provenientes de canteras de áridos que secados térmicamente a no menos de 450 °C los cuales se disponen como la mejor opción para la fabricación de morteros. (Bermeo & Idrovo, 2014)



### **1.2.2 Experiencias en Cuba**

La industria de materiales de construcción tiene la necesidad de preservar de manera sustentable y poner a disposición de la economía nacional, todos los patrimonios geológicos con la agilidad que exige la dinámica para la toma de decisiones referente a la temática en Cuba, la cual realiza grandes transformaciones en la rama de la construcción y realiza esfuerzos en obras sociales para incrementar la cultura y el conocimiento de nuestro pueblo, el gobierno cubano ha puesto fundamental atención a las canteras de árido para materiales de construcción a lo largo y ancho del país. Desde hace algún tiempo, al analizar las propiedades de estos residuos, y su posibilidad de ser empleados como materias primas en la producción de materiales de construcción constituye una premisa de desarrollo para el país (Revista Ciencia y Sociedad, 1994).

Es inevitable reconocer la potencialidad del lodo residual generado en canteras de áridos, este material ha demostrado en varios estudios su utilización, pero no se ha realizado su empleo en grandes producciones, pero el interés en varios sectores como la construcción y la necesidad de preservar los recursos tradicionales y además darle utilización a este residuo, por el espacio que ocupa es grande. Durante muchos años varios autores han escrito sobre su potencial ya que cumple con requisitos físico-químicos que dan la oportunidad de suplir materiales de la construcción o ser parte de su elaboración. Ya está demostrado su uso en la realización de morteros, ladrillos, cemento, además según sus resultados granulométricos cumple con propiedades de polvo de piedra.

Actualmente se presta especial atención por parte de los ministerios que cada empresa aplique la debida protección al medio ambiente y el cumplimiento de las legislaciones vigentes. Es por esto que cada empresa debe prestar atención a la protección del medio ambiente y el cumplimiento de las legislaciones cubanas. En Cuba ya se comienza a dar pequeños pasos al respecto. No obstante, persisten problemas con el tratamiento de los residuales de varias industrias, especialmente la industria de los materiales de la construcción, la cual ha tomado gran auge en los últimos tiempos por la demanda de los productos para la construcción de viviendas y

otras obras sociales. Esta industria genera grandes volúmenes de residuos sólidos que impactan en un determinado grado al medio ambiente, por lo que el uso de estos materiales, en la medida de lo posible, sería de gran importancia para mitigar los problemas anteriormente señalados.

El Ing. Cubano José Toirac publicó en 1994 en la revista Ciencia y Sociedad el uso del lodo residual de canteras de áridos para la producción de elementos de piso y pared para viviendas de bajo costo. Los ensayos realizados en la utilización de estos residuos de arena lavada en la preparación de elementos de construcción fueron exitosos. Debido a sus propiedades físico-químicas, al ser empleados en la sustitución de los áridos naturales disminuyen los índices de consumo de importantes materias primas en los mosaicos, se aprovecha su carácter plastificante en la fabricación de bloques huecos de hormigón, se usa como único material inerte en la fabricación de ladrillos prensados de buena calidad. El autor se propuso como objetivo además lograr la generalización de estos resultados a otros territorios del país, así como su estudio y valoración en otros países, donde reducir el costo de la vivienda seguiría siendo siempre objetivo esencial, es perfectamente posible según sus características y factibilidad.

Salazar (2015), realiza un diseño de materiales compuestos para uso en la construcción, optimizando la participación del cemento Portland a través de la utilización de varios residuos dentro de los que se encuentran residuos sólidos industriales o escombros como matriz cementante o de relleno, residuos de la industria cerámica roja y lodos residuales de plantas de tratamiento de áridos. Algunos desarrollos o aplicaciones de los últimos cuatro (4) años son: producción de cementantes, elementos de mampostería, agregados para bases de vías, arenas de construcción, y hormigones.

A fin de dar respuesta a estos problemas ambientales, y para evitar sus efectos negativos sobre el medio, se están potenciando medidas correctoras del impacto ambiental que puede causar el vertido incontrolado de fangos de lavado de áridos en los ríos. En este sentido Savón (2015), realiza un diagnóstico ambiental en la Unidad Empresarial Básica Molino 200 mil de Gibara Holguín, la cual procesa un material representado por caliza y donde está instalado un sistema de lavado de árido, y se

recomienda la búsqueda de alternativas para el uso de los lodos y otros materiales no aprovechables, ya que poseen potencialidades para diferentes usos y que se consideran como uno de los principales problemas ambientales, que provoca serios problemas de contaminación (encharcamiento, vertimientos de residuos sólidos y líquidos en lugares no recomendados, tupiciones del sistema de drenaje, entre otros), y afecta el proceso productivo, así como el riesgo de desarrollo de vectores negativos para salud humana y la higiene ambiental de la instalación.

En la sociedad actual se tiene en cuenta la protección del medio ambiente, la reducción del consumo energético, la preservación de las fuentes de materias primas y la reducción en la emisión de residuos. Los residuos deben ser estabilizados para así evitar su efecto nocivo. Se debe garantizar la seguridad ambiental en el vertido de aquello que, por razones tecnológicas o económicas, no haya podido ser reutilizado. Es muy alta la cantidad de residuos que no puede volver a incorporarse a los ciclos naturales o a las líneas de producción industrial, por las vías hasta ahora conocidas. Esto puede llegar a ser un problema crítico sino hallamos una solución, y mayor será el problema cuanto más nos tardemos en llegar a ésta, por esta razón la investigación de nuevas vías de tratamiento resulta imprescindible (Crespo y Jiménez, 2012).

A pesar que el desarrollo en la rehabilitación minera, reutilización de residuos, reciclado entre otros, es insipiente, se vienen desarrollando algunas investigaciones en la búsqueda de vías alternativas de utilización de los lodos procedentes de lavado de áridos, entre las investigaciones más recientes se conocen las de Crespo y Jiménez, (2012) los cuales investigan las posibles aplicaciones en la construcción de los lodos procedentes del lavado de áridos naturales de las cantera La Victoria II y Dragón Camoa, después de determinar las propiedades físicas y las características químicas y mineralógicas. En su investigación exponen posibles usos como morteros y aditivos a mezclas con arcillas para la producción de ladrillos.

Cabrales (2012) y Garrido (2018), realizaron estudios sobre la caracterización física, química y granulométrica de los lodos de las plantas procesadora de áridos “El Cacao”, y “Los Caliches” respectivamente, demostrando que poseen perspectivas

de valorización como materia prima para la elaboración de cal, cemento y en la industria del níquel como neutralizante en el proceso de lixiviación.

En la provincia Villa Clara, se encuentra la cantera Mariano Pérez Balí, "El Purio", donde existe gran cantidad de material que se está acumulando diariamente debido al proceso de lavado de la arena, provocando un impacto negativo en la misma. Precisamente en el trabajo de diploma de Yanisleidis Montalván se realiza un análisis de las características que presenta el residual para luego comprobar si este puede ser empleado en la fabricación de morteros y hormigones sin provocar alteraciones en sus propiedades. En la investigación se obtuvo como resultado, que los morteros de albañilería no sufren alteraciones en la resistencia a flexo-tracción al sustituir el residual por el hidrato de cal y en la resistencia a compresión aumenta al incrementar el residuo aunque no en un alto intervalo. En cuanto a la resistencia a la compresión de los hormigones, la mezcla que presentó mayor resistencia es para 1.0 % del residual con la calidad de 40 MPa, y para hormigones de 30 MPa, el mejor resultó con un 0.5% del residual. Significando que aún no se han complementado los estudios con respecto al posible uso de este residual, al recomendar que se tengan en cuenta otras propiedades de los morteros imprescindibles para su desempeño Crespo y Jiménez, 2011 caracterizaron las canteras de producción de áridos La Victoria y Dragon-Comoa relacionando estas con el objetivo de demostrar que los lodos residuales generados por estas tenían aplicación en la industria de los materiales de la construcción. Mediante ensayos realizados tanto de granulometría, físico-mecánicos, adherencia y químicos, se obtuvieron resultados con diferentes aplicaciones. Demostró que los lodos residuales precedentes de la cantera La Victoria cumplían con la mejor resistencia para la realización de morteros, por otro lado demostró que ambos lodos residuales cumplían siendo mezclados con distintos tipos de arcillas plásticas para la elaboración de ladrillos cerámicos.

De forma general en las investigaciones los autores proponen posibles valorizaciones de los residuos pero recomiendan que se realicen caracterizaciones desde el punto de vista físicas, químico y granulométrico que pudieran servir de base para la aplicación en el contexto objeto de estudio; pero teniendo en cuenta sus peculiaridades.

Es por todo lo anterior que la reutilización y el reciclaje son algunas de las oportunidades apropiadas la reutilización de los residuos que estos sectores pueden utilizar, ya que no solamente le dan respuesta al impacto negativo al medio ambiente, sino que convierten algunos de sus residuos en productos con valor económico. Está comprobado que una cantidad de material reciclado puede usarse para reemplazar las caras materias primas. Es cierto, están las barreras de la tradición, pero hay que vencerlas para ilustrar que la reutilización de residuos para la construcción es el camino del futuro.

### **1.3 Entorno legal sobre el aprovechamiento de residuos generados en canteras.**

En el mundo el índice de aprovechamiento de los residuales todavía es bajo. Muchos son los países que han establecidos decretos y leyes que tratan el tema del aprovechamiento de los residuos en la minería, como son:

En España la Ley 22/1973 exige autorización para aprovechar los residuos mineros, que clasifica como recursos de la Sección B. Además de exigir la elaboración de un Plan de medidas preventivas y correctoras para recuperar el espacio natural afectado y previsiones para el almacenamiento de residuos mineros generados. El Plan de Restauración ha de contemplar un Proyecto de Almacenamiento de los Residuos Mineros que generen y sistemas previstos para paliar el deterioro ambiental por este concepto. (Manual La Rioja, 2006).

También plantea que se debe ir más allá de la simple eliminación o el aprovechamiento por métodos seguros de los residuos producidos y procurar resolver la causa fundamental del problema intentando cambiar las pautas no sostenibles de producción y consumo. Ello entraña la aplicación del concepto de gestión integrada del ciclo vital que representa una oportunidad única de conciliar el desarrollo con la protección del medio ambiente.

La filosofía que inspira tanto la legislación europea en materia de Residuos de Industrias Extractivas (RIE), como en la legislación española de residuos, se basa en los siguientes principios (Miteco, 2015);

1. Principio de Prevención

Siempre que sea tecnológica y económicamente viable se deberán aplicar las medidas para evitar o disminuir la generación de RIE, reducir los contenidos de sustancias peligrosas, facilitar su reciclaje y valorización.

## 2. Principio de jerarquía

Es obligado en todo Plan de Gestión de Residuos respetar el llamado principio de jerarquía, se trata de prevenir en la medida de lo posible, reutilizar lo que se pueda, reciclar lo que no se pueda reutilizar y darle un valor energético. La eliminación final en vertedero, escombrera, balsa o cualquier otro depósito, es la última opción y la menos satisfactoria, y es por ello que el objeto de este plan es el de minimizar las cantidades de estos residuos que van a eliminación (mma, 2015).

## 3. La responsabilidad del productor

Es responsabilidad de quienes generan los RIE, es decir las empresas propietarias o explotadoras de las actividades de extracción, la correcta gestión ambiental de los residuos en ellas generadas. (mma, 2015)

El Plan de Implementación de la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sustentable (Johannesburgo 2002) propuso así mismo, prevenir y reducir al mínimo los residuos y aumentar en la medida de lo posible la reutilización y el reciclaje de materiales alternativos que no dañen al medio ambiente, con participación de los gobiernos locales, regionales y todos los interesados, con el objetivo de minimizar los efectos adversos sobre el medio ambiente y mejorar la eficiencia en los recursos, prestando asistencia financiera, técnica a los países en desarrollo (CNA, 2005).

Por su parte México aprobó la Norma Oficial mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003, relativa a las especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura, obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos y posible utilización, que en coordinación con la Guía de cumplimiento de la NOM-083-SEMARNAT-2003, han sido de vital importancia en la construcción de rellenos sanitarios (Battikhi, 2009).

La Constitución Política de Perú establece en su artículo 67 que el Estado determina la política nacional del ambiente y promueve el uso sostenible de su recursos naturales, así mismo la Ley General de Residuos Sólidos de acuerdo a su artículo 4 ° se enmarca dentro de la política nacional ambiental.

En Argentina y Uruguay, Cementos Avellaneda S.A. y Cementos Artigas S.A. respectivamente, la consideración por el ambiente es entendida por la organización como un factor clave a tener en cuenta en la definición de políticas y estrategias en todas sus actividades. Para esto la organización establece y mantiene un Sistema de Gestión Ambiental de acuerdo a la Norma ISO 14001:2004, en progresiva integración con el Sistema de Gestión de Calidad de acuerdo a la Norma ISO 9001: 2000; en el que se incluyen todos los aspectos que tengan repercusión sobre el ambiente. Entre sus principios ambientales está minimizar la cantidad de residuos generados por sus operaciones, reciclando los mismos en la medida de lo posible. Además de inclinarse a la utilización de tecnología, materia prima e insumos alternativos, minimizando riesgos e impactos negativos sobre el ambiente natural y social (Mosqueda, 2019).

La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, aprobada en septiembre de 2015 por la Asamblea General de las Naciones Unidas, establece una visión transformadora hacia la sostenibilidad económica, social y ambiental de los 193 Estados Miembros que la suscribieron y será la guía de referencia para el trabajo de la institución en pos de esta visión durante los próximos 15 años. El conocimiento de los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) asociados a esta Agenda ayuda a evaluar el punto de partida de los países de la región y a analizar y formular los medios para alcanzar esta nueva visión del desarrollo sostenible, que se expresó de manera colectiva y quedó plasmada en la Agenda 2030.

La Constitución de la República de Cuba en su artículo sobre la Protección del Medio Ambiente después de la Cumbre de Río con su artículo No.27, dispone que "...El estado protege el Medio Ambiente y los recursos naturales del país...", reconoce su estrecha vinculación con el desarrollo económico y social sostenible para hacer más racional la vida humana y asegurar la supervivencia, el bienestar y la seguridad de las generaciones actuales y futuras (Mosqueda, 2019).

La ley 76 de Minas de enero de 1995 establece en sus artículos 40 y 42 que todos los concesionarios están obligados a preservar adecuadamente el medio ambiente y las condiciones ecológicas del área , elaborando estudios de impactos derivado de la actividad minera en los términos que establece la legislación.

La Ley 81 del Medio Ambiente se establece en el año 1997 y plantea en su capítulo I de disposiciones generales, artículo 81, inciso a), que se asegurará la racionalidad en el uso de los recursos naturales, para lo cual se cuidará su perdurabilidad cuantitativa y cualitativa, se desarrollará el reciclado y la recuperación y se salvaguardarán los ecosistemas a los que pertenezcan.

Los Lineamientos de la Política Económica Social del Partido y la Revolución para el período 2021-2026 en sus artículos 15, 141 y 174 respectivamente, se refieren a:

- Perfeccionar el modelo de gestión de la Industria Local, a partir de flexibilizar su operación en las actividades de producción de alimentos, materiales de la construcción y de productos varios, incluidos los implementos deportivos, a partir del aprovechamiento de recursos endógenos.
- Desarrollar la Industria del Reciclaje, promover una cultura al respecto; potenciar
- La clasificación, recuperación y el procesamiento de la chatarra ferrosa, no ferrosa y los desechos no metálicos, aprovechando el potencial de los residuos sólidos urbanos.

Mantener la atención prioritaria al aseguramiento del Programa de Viviendas a nivel municipal, incrementando la producción local y comercialización de materiales de la construcción, empleando las materias primas y tecnologías disponibles que permitan aumentar la participación popular. Recuperar viviendas que se emplean en funciones estatales, así como inmuebles que pueden asumir funciones habitacionales.

#### **1.4 Ensayos para la caracterización y posterior valorización de lodos residuales.**

Comprensiblemente, con el fin de tratar y disponer los lodos que se producen en canteras de áridos de manera efectiva, es fundamental conocer las características en dicha cantera. Establecer sus particularidades físicas es importante para un correcto dimensionamiento de los sistemas de espesamiento así como de los equipos electromecánicos en los que se van a tratar. Siendo así se debe tener en cuenta como aspectos físicos y químicos para su caracterización (Crespo, Jiménez ,2011):

Dentro de los aspectos físicos se encuentran:



- Análisis granulométrico: se realiza con la ayuda de tamices, en el cual se separan las partículas del material ensayado por fracciones de tamaño, en función de la abertura de los orificios de los tamices usados, este ensayo se debe realizar según la NC-178:2002. Durante la operación de tamizado debe someterse al conjunto de tamices a un movimiento lateral y vertical, acompañado de una acción de sacudida, de manera tal que el material se mantenga en movimiento sobre la malla de los tamices. En esencia, la granulometría es la distribución por tamaño de las partículas o granos componentes del material
- Determinación del contenido de partículas de arcilla: este ensayo se debe de realizar según la norma NC 179:2002, Áridos. Determinación del contenido de partículas de arcilla. Método de ensayo, la cual establece el procedimiento que debe seguirse para la determinación del contenido de partículas de arcilla en los áridos que se utilizan en la elaboración de hormigones y morteros.
- Determinación del material más fino que el tamiz 75  $\mu$  (No. 200): este procedimiento se basa en separar mediante lavados y tamizados sucesivos, las partículas finas existentes en los áridos. Entendiéndose por finos las porciones que pasan a través del tamiz de 0,074 mm. Este ensayo se rige por la norma NC 182:2002.
- Módulo de finura: se determina mediante el cálculo matemático.
- Peso específico corriente, saturado sin humedad superficial y aparente: se determina para conocer las afectaciones que provoca el grado de humedad que posea el material. Este ensayo se realiza tanto para árido fino como para grueso y está regido por las normas NC 186:2002 y NC 187:2002.
- Peso volumétrico unitario: determina el peso suelto o compactado y el porcentaje de los vacíos de los agregados finos, gruesos o una mezcla de ambos. La NC 181:2002, establece los requisitos a seguir para determinar este ensayo.
- Determinación de impurezas orgánicas: se basa en la comparación colorimétrica de la solución obtenida en el ensayo conteniendo las materias

orgánicas presentes en la arena con una solución patrón. Este ensayo se encuentra regulado por la norma NC 185:2002.

- Espectroscopia de absorción atómica: Este método consiste en transformar la muestra problema en átomos en estado de vapor y medir la radiación electromagnética absorbida por dichos átomos, esto permite utilizar a la absorción atómica con fines cuantitativos.

### **Conclusiones Parciales**

El análisis de los fundamentos teórico-metodológicos permitió obtener las premisas necesarias para la valorización de los lodos residuales procedentes de canteras de áridos

El estudio bibliográfico de la caracterización de los lodos residuales generados en canteras de áridos permitió identificar las diferentes formas de valorización, en función de las variables físico - químicas y su implementación de acuerdo a la situación económica y social de los territorios.

En el caso de Cuba y específicamente en la cantera El Pílon de Mayarí, existen limitaciones en la organización y estructura para la implementación de las diferentes formas de valorización de estos residuos, al no considerarse sus potencialidades.

## **CAPÍTULO II: CARACTERIZACION DE LODOS RESIDUALES DE LA CANTERA PILÓN EN EL MUNICIPIO DE MAYARÍ.**

En el presente capítulo se expone el proceso productivo de la cantera el Pílon, así como la generación del lodo residual. Se propone la valorización de los mismos partiendo de los resultados de los ensayos físico-químicos realizados en laboratorios del territorio

### **2.1 Caracterización de la cantera El Pílon**

La cantera El Pílon fue fundada en el año 1977, la cual contó con un molino de procedencia española capaz de producir  $100\ 000m^3$  (fig. 2.1) de árido al año, el cual aún sigue en explotación, generando gran cantidad de lodo residual. En el año 2018 para aumentar la producción por la necesidad de áridos y los productos que genera dicha cantera en proyectos como Trasvases Este-Oeste y el polo turístico Ramón de Antilla se puso en marcha un molino de origen italiano, totalmente automático con la capacidad de producir  $200\ 000m^3$  de árido al año (Fig. 2.2).



Fig. 2.1 Molino español, con una capacidad de producción de  $100\ 000\ m^3$  de áridos al año.

Fuente: El autor

En la visita a la cantera los especialistas que dirigen el proceso de producción exponen que en estudios posteriores realizados se ha conocido que dicha cantera genera un 48% de residuos con respecto al total de producción, dividiendo este

porcentaje en 28% generado por el molino español y 20% generado por el molino italiano. Se conoce que el residuo generado sale en primera instancia en forma de lodo luego pasa a un tanque de sedimentación donde se separa del agua, en el caso de los dos molinos este proceso difiere un poco en base a la modernización de la técnica partiendo que el molino español es el más antiguo y el residuo sale directo al tanque de sedimentación en forma de laguna con una cortina parecida con el objetivo de separar el agua del residuo.



Fig. 2.2 Molino italiano con capacidad de producir 200 000 m<sup>3</sup> de áridos al año.  
Fuente: El autor

El proceso en el molino italiano este se realiza a través de un proceso automatizado donde se utiliza floculante disuelto en el agua de lavado con el objetivo de separar con más facilidad las materias contaminantes del árido, posteriormente esta sustancia se traslada al tanque de sedimentación en el cual ocurre el proceso de separación del agua, cada cierto tiempo se realiza la limpieza de estos tanques, extrayendo el residuo que se va depositando en el fondo, después del proceso de evaporación del agua se observa un residuo en forma de un polvo..

El ciclo de desarrollo del proceso tecnológico (Fig. 2.3) de la cantera comprende las siguientes etapas (Correia, 2016):

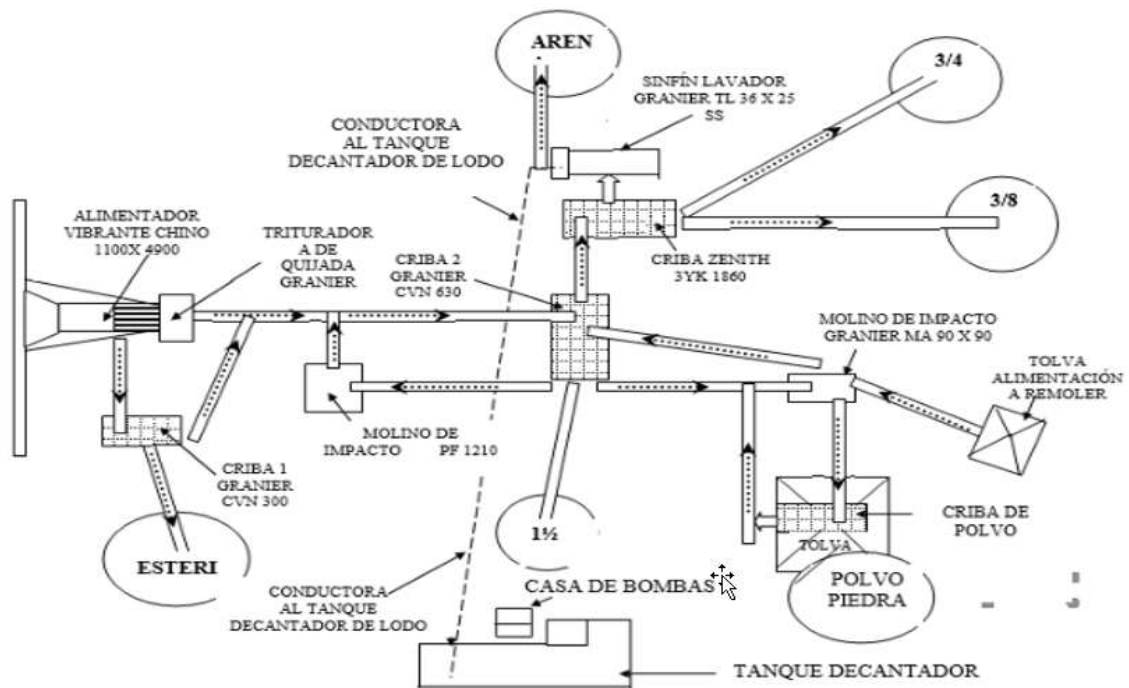


Fig. 2.3 Esquema tecnológico de la cantera El Pilón

Fuente: Correia. 2016

1. Tala y Desbroce: En la tala y desbroce se realiza todo lo referente a eliminar la materia vegetal del área que se va explotar. Esta actividad es realizada con buldócer, cargadores y camiones de volteo.
2. Destape: En el destape consiste, como su nombre indica, destapar el mineral útil que es en este caso la caliza, eliminar todo el estéril que yace sobre el material útil. Se usa para este caso el buldócer dependiendo del espesor de material a mover y de las características de este. También puede usarse perforación y voladura de acuerdo a las condiciones existentes en el área.
3. Extracción: La extracción es el arranque que se le realiza al material útil, que en este caso es a través de la perforación y voladura, y se emplea para a este fin la carretilla barrenadora y el compresor.
4. Actualmente se perfora a una profundidad de 13 m, con una longitud de sobre perforación de 1 m, obteniéndose escalones de aproximadamente 12 m.
5. Carga: Para la carga tanto de las rocas ya sean estéril o mineral, se utiliza un cargador Volvo de 5 m<sup>3</sup> de capacidad. Existe como equipo de carga complementario, la excavadora Hitachi.
6. Transporte: La transportación de las rocas (tanto estéril como mineral) desde la cantera hasta la escombrera, tolva de recepción o almacén de mineral

según el caso se realizar con camiones Belaz – 540 de 27 t de capacidad de fabricación rusa.

7. Preparación mecánica: La planta de tratamiento y clasificación cuenta con tres etapas de reducción de tamaño de la materia prima y se obtienen cinco productos:

- Árido grueso de 1 ½ de pulgada (38 - 19mm).
- Gravilla ¾ de pulgada (19 a 10mm).
- Granito 3/8 (15 a 10mm).
- Arena con granulometría de 5 hasta 0.15mm
- Polvo piedra cuya granulometría varia de 5 a 0 mm.

La cantera emplea equipos mineros y de transporte que operan con motores de combustión interna, relacionado con el abastecimiento de energía eléctrica la misma tiene instalado un transformador de 1000kW, la instalación dispone de líneas de voltajes de operación de 33 000 Volt, cuenta además con un taller de mantenimiento automotor, que brinda servicios de mantenimiento y reparaciones ligeras, tanto a los equipos tecnológicos como los no tecnológicos. Los resultados de las entrevistas realizadas a los dirigentes y trabajadores de la planta de tratamiento de la cantera se pudieron evidenciar que el mantenimiento se considera regular, teniendo en cuenta que solo se realiza engrase y no se cumple con el mantenimiento planificado cada once meses.

Los trabajos sistemáticos de explotación de la cantera han provocado una total transformación de las condiciones ambientales en el lugar. La meseta conformada por rocas calizas afectada por el proceso cárstico que originó un sistema cavernario donde las estalactitas y estalagmitas formaban figuras caprichosas y de gran belleza, fue cediendo paso a un paisaje nuevo totalmente degradado y sin calidad visual, en el que predomina grandes excavaciones a diferentes niveles separadas por taludes casi verticales de más de tres metros de alto.

La vegetación que existía en el lugar, característica de mesetas de este tipo fue desapareciendo en la medida que se abrían nuevos frentes ampliando el área de explotación, provocando que las especies de la fauna fueran emigrando hacia zonas cercanas no afectadas por la actividad. La atmósfera del lugar se encuentra

altamente contaminada por polvo y ruido fundamentalmente en las horas de extracción y procesamiento del material.

Para reducir los impactos generados por los equipos móviles se deben implementar las siguientes medidas:

- Mantenimiento correcto de la maquinaria para lograr el funcionamiento adecuado de estos.
- Cumplir con lo establecido en el pasaporte de barrenación y voladura.
- No utilizar cordón detonante lo que conlleva una reducción muy significativa de la onda aérea.
- Perfección de las vías de acceso dentro del área de la instalación industrial.
- Acatamiento del sistema de velocidad para los vehículos.

En la planta de procesamiento y clasificación, el análisis se realiza torno a las áreas que generan polvo y ruido. Como medidas de seguridad se realizan entregas de medios de protección individual a los operarios.

Gestión de residuos: La empresa cuenta con un plan de entrega de residuos a CUPET mensualmente, lo que indica que no existe contaminación al medio en este sentido.

Valoración de la Seguridad del trabajo: la empresa de materiales de construcción de Holguín cuenta con proyectos donde muestran medidas encaminadas a mejorar la gestión en el área de seguridad, salud y medio ambiente en el trabajo, además de ofrecer conferencias a cada dirigente y trabajador, considerando que la premisa fundamental en una empresa es el hombre, su integridad física, bienestar y el ambiente que le rodea y fundamentada en la instrucción para la preparación de los equipos para su uso y la vinculación de los equipos en la prevención de los accidentes y enfermedades.

El sistema de señalización de la cantera es regular porque tanto el frente, la planta de tratamiento como las pistas no se encuentran debidamente señalizadas, sin embargo, no se ha registrado ningún tipo de accidentes.

- Valoración Socio-económica:

En términos económicos es preciso resaltar que la cantera tiene una producción de casi 300 00 m<sup>3</sup> de áridos anual, cuenta con una fuerza laboral de 51 trabajadores, de ellos un 80% directo a la producción y un 20% asignables de manera indirecta. El

aspecto positivo de la cantera hacia la comunidad está dirigido principalmente al incremento del nivel de empleo y al mejoramiento de la red de transporte ya que el 80% de sus trabajadores proceden del mismo poblado.

Los índices técnicos económicos muestran que la cantera genera ganancias en función de que cumple el costo de producción es menor que el precio de venta del  $m^3$  del producto, sin embargo, el margen de ganancia es aún pequeño por lo que debe mejorar la eficiencia y aumentar la producción para mejorar su rentabilidad. Un aspecto que incide en estos resultados se relaciona con la obsolescencia del equipamiento tecnológico con que cuenta la cantera. Los niveles de consumo de energía y combustible son permisibles al no existir sobre giro en estos indicadores. En la caracterización de la cantera el pilón se ha tenido presente todos tipos de aspectos generalizando su entorno histórico-técnico-económico. Otros aspectos que describen de forma física la cantera de El Pílon son (Correia, 2016):

- Ubicación geográfica

El área de estudio se encuentra ubicada al este de la ciudad de Mayarí a unos 7 Km aproximadamente (Fig. 2.4), ubicándose en el poblado de Pílon, municipio Mayarí a 1 kilómetro al Sur de la carretera central Mayarí-Levisa, con las coordenadas Lambert siguientes:

X: 625 000-625 600 m

Y: 221 000-221 300 m

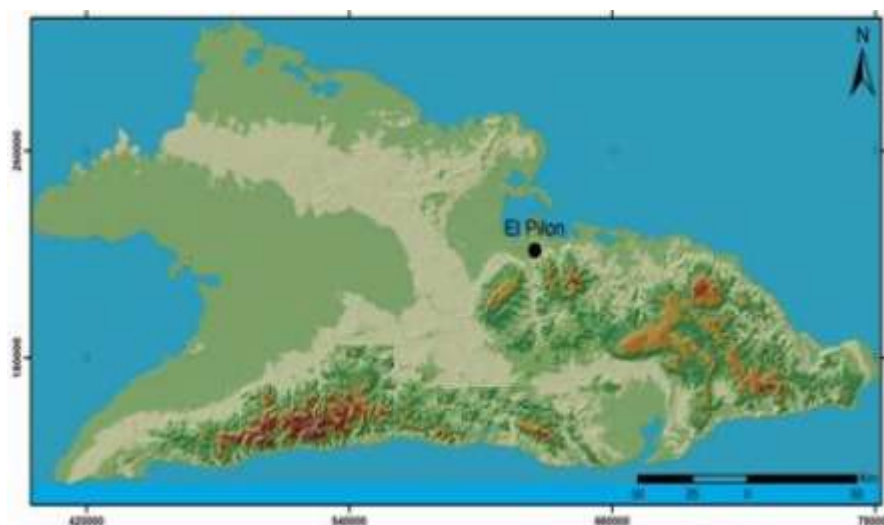


Figura 2.4. Ubicación geográfica cantera El Pílon,



Fuente: Hernández (2014)

- Relieve

El relieve original fue modificado por las acciones de explotación, actualmente son niveles de explanación que interceptan los frentes de explotación aproximadamente en las cotas 60, 70 y 80 m. La máxima elevación está al SE con 137.6 m de altura.



Fig.2.5 Vista satélite a una altura de 1km

Fuente: El autor, tomado de GoogleMap. (23 de marzo 2021)

- Hidrografía

La red hidrográfica es poco compleja. El yacimiento está limitado por dos arroyos; uno al Norte que corre en dirección E-W y el otro al Sur Sureste, ambos tributan sus aguas al arroyo El Polo que a su vez es tributario de los ríos Ceiba y Mayarí.

- Geología

El yacimiento El Pílon se ubica en el extremo oriental de Cuba, se corresponde con calizas que se enmarca en un contexto geológico de poca complejidad, con formaciones geológicas de edades del Oligoceno Superior-Mioceno Inferior parte baja, en contacto con serpentinitas (Figura 2.6).

El yacimiento se encuentra en el Formación Bitirí y las litologías que lo componen se subdividen en tres tipos principales diferenciadas por capas: calizas, calizas

organógenas y órgano-detriticas. En ocasiones, estas calizas se encuentran en contacto con serpentinitas, las que se describen a continuación:

Capa 1: Caliza estratificada de color blanco crema con tonalidades amarillentas. Posee resistencia media, es compacta, de grano fino y en los planos de estratificación a veces

se observa un material arcilloso carbonatado, de color gris verdoso. Constituye la secuencia inferior del corte estratigráfico del yacimiento.

Capa 2: Caliza organodetrítica de color blanco crema hasta rosado claro, presenta oquedades cársticas de diferentes dimensiones y grietas rellenas de óxidos de hierro y de calcita. Exhibe una estructura masiva, en gran parte con textura irregular y de resistencia media; es la variedad más extendida en el yacimiento, que ocasionalmente se presenta recristalizada y marmolizada. La resistencia a la compresión de las calizas de esta capa disminuye en ocasiones debido a roturas de las muestras por planos de agrietamiento durante el proceso de ensayo.

Capa 3: Caliza organogenia de color blanco rosáceo con manchas amarillentas, presenta abundantes restos fósiles de corales, conchas de bivalvos, etc. Se observa muy porosa con abundantes oquedades cársticas, generalmente es masiva y de resistencia baja. En algunos intervalos se alterna con una caliza margosa al parecer estratificada.

Las serpentinitas conforman el basamento de la secuencia carbonatada con relaciones tectónicas evidentes entre ellas. Éstas poseen un color verdoso, están agrietadas y muchas veces rellenas de calcita. En el área de estudio se presentan diversos fenómenos físico-geológicos, tales como:

Intemperismo: Este fenómeno se encuentra muy extendido, observándose como resultado suelos finos, de colores blancos y rojizos.

Carso: Su manifestación es extensa, tanto a nivel superficial como subterráneo. Las oquedades cársticas de diferentes dimensiones dan paso a microestructuras de 10,50 a 17,70 m. Además, en varias zonas del yacimiento son visibles cavernas de grandes dimensiones.

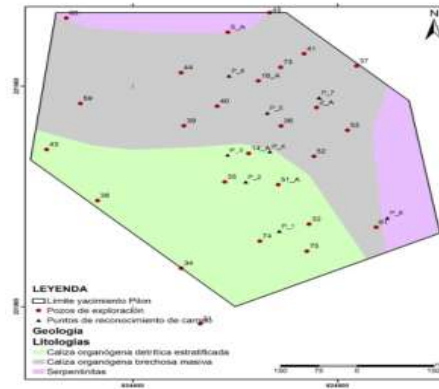


Figura 2.6. Plano geológico del área de estudio, yacimiento

Fuente: Hernández (2014)

## 2.2 Generación del residuo.

La cantera El Pílon, está destinada a la obtención de áridos que son utilizados ampliamente en la esfera de la construcción. Por características propias del yacimiento, existen grandes inclusiones de arcilla plástica que hacen imprescindible el lavado de los áridos para evitar la existencia en éstos de este elemento que suele resultar perjudicial

En este caso para este proceso de lavado se emplean los hidrociclones, los cuales realizan el proceso de lavado, separando el árido de materiales contaminantes. Es en esta etapa donde se genera el lodo residual en estudio, el cual se ha acumulado de manera excesiva sin avizorársele un posible empleo, ocasionando además afectaciones al ecosistema donde se depositan.

El proceso de generación del lodo residual está constituido por un tanque de sedimentación para el tratamiento de las aguas residuales del proceso y una laguna de sedimentación. En el primero se genera agua residual cargada de partículas finas de en suspensión las cuales son enviadas al tanque de sedimentación para ser tratada con floculantes (tabla 2.1), las partículas tiene un alto grado de sedimentación y el agua se clarifica rápidamente (Fig.2.7). Esta agua es almacenada en un depósito construido al efecto y luego recirculada al proceso producción.



Fig. 2.7 Clarificador

Fuente: El autor

El lodo que se obtiene en el fondo del sedimentador es enviado a la laguna de sedimentación que se encuentra a 150 m aproximadamente del área de producción (Fig. 2.8).



Fig. 2.8. Laguna de sedimentación

Fuente El autor

Además del lodo residual se obtienen otros residuos,

- Escombros del proceso de laboreo minero, almacenado en las escombreras.

- Material estéril el cual es un residuo grueso que se clarifica y separa en la trituración primaria. Contiene arcilla y fragmentos de rocas., tiene varios usos principalmente como relleno de terraplenes y carreteras



Fig. 2.9. Sistema de circulación y reutilización del agua.

Fuente: El autor

Tabla .2.1. Datos sobre el floculante utilizado en la cantera El Pilón

Aspecto	Solido granular, blanco
Olor	Ninguno
PH	5-9 g/L
Punto de fusión/congelación	>150°C
Densidad relativa	0.6-0.9(valor más preciso en boletín técnico)
Solubilidad	Soluble en agua
Coefficiente de partición	-2
Temperatura de auto-inflamación	No auto-ignición
Temperatura de descomposición	>150°C
Propiedades explosivas	No es inflamable a fuentes de ignición inferior a 2.5 KJ

Fuente: SNF hojas de seguridad

### 2.2.1. Análisis de los volúmenes de lodo residual.

Del total de los residuos generados en la cantera, el 48% se corresponde con el lodo residual, el 28% de ellos generados por el molino español mientras que el 20%

restante por el de procedencia Italiana, diariamente se generan entre 2.3 y 4.0 m<sup>3</sup>. Desde el inicio de las operaciones en la cantera nunca se ha utilizado este residuo, por lo que se calcula que pueden existir más de 85 000 m<sup>3</sup>, un volumen nada despreciable.

### **2.3 Toma de las muestras de lodo residual**

Para la realización de los ensayos requeridos para la caracterización del lodo residual de la cantera El Pilón se tuvo que hacer toma de muestra: Esta se realizó en el lugar destinado para poner dichos residuos que queda a unos 600 m de las oficinas de la cantera, a unos 150 m del molino italiano y a pocos metros de la laguna de sedimentación Para realizar la operación se siguen los pasos descritos en la NC-671: 2008 para el tratamiento de áridos almacenados en pilas:

Se preparan en puntos aleatorios del depósito. Se realiza el muestreo, recogiendo en sacos multicapas de nylon grueso y con palas cuadradas porciones de material de la parte superior, intermedia y de la base de los montículos. Se toman seis muestras con peso equivalente a 15 kg se trasladan en bolsas de polietileno al Laboratorio Analítico de Nicaro perteneciente al Centro de Investigación del Níquel, ubicado en el municipio Mayarí.

### **2.4 Determinar propiedades físicas, químicas del lodo residual de la cantera El Pilón**

#### **2.4.1 Ensayos físicos a las muestras**

Cuando se analiza un material de construcción es preciso caracterizarlo a través de propiedades, las cuales son inherentes no solo al tipo de material sino al producto que se obtiene a partir de su utilización. Para adecuar esas propiedades existen las normas, las que proporcionan los rangos idóneos o ideales de los cuales se parte, permitiendo la toma de decisiones en cuanto a su valoración y posterior utilización.

Se determinan las propiedades de los residuos, para su posible uso, mediante los siguientes ensayos de laboratorio.

- Análisis granulométrico

La composición granulométrica es una característica particular de los materiales a granel, como las arenas, gravas, piedra triturada en general y otros materiales

granulados. En esencia, la granulometría es la distribución por tamaño de las partículas o granos componentes del material. Esta característica tiene una gran importancia práctica en el estudio y trabajo general con los áridos, pues ella influye decididamente en el grado de acomodo de las partículas y por tanto en el grado de compacidad que se logra en el volumen ocupado por él, o lo que es equivalente, en el volumen de los espacios inter-granulares, este ensayo se debe realizar según la NC-178:2002 Áridos. Análisis granulométrico.

El ensayo granulométrico se realiza con la ayuda de tamices, en el cual se separan las partículas del material ensayado por fracciones de tamaño, en función de la abertura de los orificios de los tamices usados. Durante la operación de tamizado debe someterse al conjunto de tamices a un movimiento lateral y vertical, acompañado de una acción de sacudida, de manera tal que el material se mantenga en movimiento sobre la malla de los tamices.

Para efectuar el ensayo granulométrico los tamices deben colocarse de manera superpuesta, de mayor a menor abertura. Luego de tomar una muestra representativa del árido se realiza la preparación de la misma, se seca hasta masa constante (a una temperatura de 105-110oC) y se toma una cantidad en masa que estará en correspondencia con el tamaño máximo del mismo.

- Determinación del contenido de partículas de arcilla

Este ensayo se debe de realizar según la norma NC 179:2002, Áridos. Determinación del contenido de partículas de arcilla. Método de ensayo, la cual establece el procedimiento que debe seguirse para la determinación del contenido de partículas de arcilla en los áridos que se utilizan en la elaboración de hormigones y morteros. Las muestras deberán obtenerse por cuarteo o con un separador mecánico de una muestra representativa tomada del material que se quiere ensayar. Las mismas serán tratadas de manera tal que no se rompan las partículas de arcilla que puedan estar presentes. Se extienden en una capa delgada en el fondo de un recipiente y se examina para descubrir las partículas de arcilla. Cualquier partícula que pueda dividirse finamente con los dedos deberá clasificarse como partícula de arcilla. No se deberán presionar contra una superficie dura. Después de haberse



pulverizado todas las partículas de arcilla, se separa el residuo de las mismas usando los tamices que se prescriben en la Tabla 2.1

Tabla 2.2. Relación entre el tamaño de las partículas de la muestra y el tamaño del tamiz de ensayo

Tamaño de las partículas que conforman la muestra	Tamaño de tamiz para separar los residuos de las partículas de arcilla
Mayor o igual a 36.1 mm	4.76mm(No.4)
38.1-19.1 mm	4.76 mm(No.4)
19.1-9.52 mm	4.76 mm(No.4)
9.52-4.76	2.38 mm(No.8)
Árido fino retenido en el tamiz 1.19 mm(No.16)	0.84 mm(No.20)

Fuente: Adaptado de NC 179:2002

- Determinación del material más fino que el tamiz 75  $\mu$  (No. 200)

La norma NC 182:2002 Áridos. Determinación del material más Fino que el tamiz de 0.074 mm (No. 200). Método de ensayo. Esta Norma Cubana establece el procedimiento que debe seguirse para la determinación de la cantidad total de finos existentes que pasan por el tamiz en los áridos que se usan en la construcción. El procedimiento se basa en separar mediante lavados y tamizados sucesivos, las partículas finas existentes en los áridos. Entendiéndose por finos las porciones que pasan a través del tamiz de 0,074 mm.

- Módulo de finura (MF): se determinará por la ecuación 2.1

$$MF = \frac{\sum \% \text{ Retenido acumulado en los tamices normados}}{100}$$

*Ecuación 2.1*

Dónde: los tamices normados serán: 76,2 mm (3"); 38,1 mm (1,5"); 19,1 mm (¾"); 9,52 mm (3/8"); 4,76 mm (# 4); 2,38 mm (# 8); 1,19 mm (# 16); 0,59 mm (# 30); 0,297 mm (# 50); 0,149 mm (# 100) (NC 251: 2013). La clasificación se realizará según lo establecido en la tabla 2.3.

Tabla 2.3. Clasificación del Módulo de finura

Módulo de finura	Clasificación
MF < 2.20	Arena fina
2.20 < MF < 3.20	Arena media



3.20 < MF < 6	Arena gruesa
MF > 6	Árido grueso

Fuente: Adaptado de NC 251: 2013

- Peso específico corriente, saturado sin humedad superficial y aparente

La masa o peso específico de un material cualquiera se ve afectado por el grado de humedad que posea el mismo. Los pesos específicos corriente, saturado y aparente se determinan tanto para los áridos fino como para los gruesos, según las Normas Cubanas (NC) NC 186:2002 y NC 187:2002, respectivamente, las que plantean resumidamente que se obtienen después de secar en la estufa a temperatura de 105-110 °C por 24 horas, sumergir en agua también durante 24 horas, secar superficialmente y pesar, por último, pesar sumergido en agua en la balanza hidrostática.

- Peso volumétrico unitario

La NC 181:2002, establece los requisitos a seguir para determinar el peso volumétrico unitario, a través de recipientes con determinadas dimensiones denominándose peso volumétrico unitario suelto y compactado, dependiendo del sistema de acomodamiento que se le haya dado al material y pesado inmediatamente después de la prueba.

- Determinación de impurezas orgánicas

Este ensayo se encuentra regulado por la norma NC 185:2002 Arena. Determinación de impurezas orgánicas. Se basa en la comparación colorimétrica de la solución obtenida en el ensayo conteniendo las materias orgánicas presentes en la arena con una solución patrón. Para la comparación del color se preparan cinco soluciones de cantidades variables de polvo puro de dicromato de potasio ( $\text{Cr}_2\text{O}_7\text{K}_2$ ) disuelto en ácido sulfúrico puro ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) con una densidad 1,84 g/ l. Cada solución se prepara según cantidades señaladas en la norma.

#### **2.4.2 Ensayo físico-químico**

- Espectroscopia de absorción atómica

Este método consiste en transformar la muestra problema (que puede encontrarse en disolución o sólida) en átomos en estado de vapor y medir la radiación electromagnética absorbida por dichos átomos. La mayor parte de la información útil

se obtiene operando en las regiones UV, visible y rayos X. Los espectros atómicos están constituidos por picos estrechos y bien definidos que se originan por transiciones entre los diferentes niveles de energía electrónica, estas líneas de resonancia tienen origen en el estado basal y un destino en diferentes estados excitados. La absorción atómica es el proceso que ocurre cuando átomos de un elemento en estado fundamental absorben energía radiante a una longitud de onda específica. La cantidad de radiación absorbida aumenta al incrementar el número de átomos del elemento presentes en el “camino óptico”, esto permite utilizar a la absorción atómica con fines cuantitativos. Este método puede detectar cantidades tan bajas como 10 gramos. La absorción de radiación por átomos libres involucra una transición de estos átomos desde el altamente poblado estado basal hasta un estado electrónico excitado.

### 2.4.3 Resultados de los ensayos al lodo residual de la cantera El Pilón

- Resultados Análisis granulométrico

En la tabla 2.4 se exponen los resultados del análisis granulométrico se observa una granulometría continua.

Tabla 2.4. Análisis Granulométrico del residuo.

Tamiz No	Tamiz (mm)	%Pasado
$\frac{3}{8}$	9.52	100
4	4.76	100
8	2.38	78
16	1.19	65
30	0.59	48
50	0.297	23
100	0.149	19
200	0.074	10

Fuente: Elaborado por el autor con datos ofrecidos por Laboratorio de la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas de Holguín.

- Resultado determinación del contenido de partículas de arcilla

El ensayo realizado en los laboratorios de la Empresa nacional de Investigaciones aplicadas de Holguín arrojó como resultado que no se encontraron partículas de arcilla.

- Resultado Módulo de finura (MF):

Tabla 2.5. Resultado del ensayo módulo de finura

Determinación	Lodo residual	Valores NC 251: 2013
Módulo de finura	0.14	2,20-3,58

Fuente: Elaborado por el autor con datos ofrecidos por Laboratorio de la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas de Holguín.

- Resultado determinación del material más fino que el tamiz 75  $\mu$  (No. 200)

Tabla 2.6. Resultado material más fino que el tamiz 75  $\mu$  (No. 200)

Ensayo	Lodo residual
Material más fino que el tamiz 75 $\mu$ (No. 200) (%)	10

Fuente: Elaborado por el autor con datos ofrecidos por Laboratorio de la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas de Holguín.

- Resultados de los pesos específicos

Se obtienen los pesos específicos, así como la absorción de agua para cada muestra de áridos, tanto naturales como de escoria negra de acería (tabla 2.7).

Tabla 2.7. Resultados de ensayos de pesos específicos

Ensayos	Lodo residual
Peso específico corriente ( $\text{g/cm}^3$ )	2.25
Peso específico saturado ( $\text{g/cm}^3$ )	2.83
Peso específico aparente ( $\text{g/cm}^3$ )	2.98

Fuente: Elaborado por el autor con datos ofrecidos por Empresa nacional de Investigaciones aplicadas de Holguín.

- Resultados pesos volumétrico unitario

Tabla 2.8. Resultados de ensayos de pesos volumétrico unitario

Ensayo	Lodo residual	
Pesos volumétrico unitario ( $\text{kg/m}^3$ )	Suelto	1063
	Compactado	1252

Fuente: Elaborado por el autor con datos ofrecidos por Empresa nacional de Investigaciones aplicadas de Holguín.

- Determinación de impurezas orgánicas

El ensayo realizado en los laboratorios de la Empresa nacional de Investigaciones aplicadas de Holguín arrojó como resultado que no se encontraron impurezas orgánicas.

- Resultados de ensayo de espectroscopia de absorción atómica

Determinación de la composición química del lodo residual de la cantera El Pílon: para determinar la composición química cuantitativa de  $\text{SiO}_2$  se utiliza el método gravimétrico y para el  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$  y  $\text{MgO}$  métodos volumétricos. El resto de los análisis se hicieron por espectroscopia de absorción atómica. El procedimiento que se realizó en este ensayo:

Se pesaron 35 g de lodo residual, se molieron con un molino planetario, posteriormente se introdujeron en una estufa a una temperatura  $110^\circ\text{C}$  por espacio de una hora, a continuación se agita durante 25 minutos con el objetivo de homogenizar la muestra. Con una pipeta se tomaron 2 ml depositándose en el pocillo del equipo, donde permaneció durante 5 minutos



Fig. 2.10 Molino Planetario en el Laboratorio Analítico de Nicaro CEDINIQ

Fuente: El Autor



Fig. 2.11 Mufla en el Laboratorio de La empresa de Servicios NICAROTEC

Fuente: El Autor

El cálculo de PPI se realizó en el laboratorio de química del CEDINIQ. Para ello se tomaron 2 g de muestras previamente secadas a 110°C durante 24 horas y pulverizadas. Seguidamente en crisoles de porcelana rotulados y pesados se tomó el peso del material seco. Se calcinaron en el laboratorio de la empresa de servicios Nicarotech (Fig. 2.11) a 800°C durante 2 horas, se extraen y se depositan en una desecadora. Cuando se encuentra a temperatura ambiente se toman los diferentes pesos y se calcularon las pérdidas, que también fueron utilizadas para la corrección de los datos obtenidos por FRX.



Fig. 2.12 Equipo de Absorción Atómica en el Laboratorio Analítico de Nicaro CEDINIQ

Fuente: El Autor

- Resultado del ensayo de Espectroscopia de Absorción Atómica (EAA)

En el Centro de Investigaciones del Níquel (CEDINIQ), Laboratorio Analítico de Nicaro se realizaron ensayos de Espectroscopia de Absorción Atómica (EAA), según procedimientos, los ensayos realizados fueron

- UPL-PT-A-26 Determinación de Si, Al, Mg, Ni, Co, Mn, Cr y Fe. Método de EAA.
- UPL-PT-A-07 Determinación de cobre, zinc, magnesio, níquel, cobalto, hierro y manganeso. Método de EAA.
- UPL-PT-G-01 Minerales. Determinación de la pérdida por ignición. Método gravimétrico.
- UPL-PT-G-09 Determinación de azufre total. Método gravimétrico.

Tabla 2.9. Resultados (%) de ensayos de absorción atómica a la muestra en estado natural

Nombre	Código	Ni	Co	Fe	SiO <sub>2</sub>	MgO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	AL <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Mn	Zn	PPI
Lodo residual El Pilón	659, 60, 1, 2, 3, 4	0.05	0.006	1.08	2.67	33.37	-	0.06	0.69	0.09	58.85

Fuente: Elaborado por el autor con datos ofrecidos por Laboratorio analítico Nicaro CEDINIQ

- El proceso de calcinación se realizó en una mufla a 800°C durante 1 hora en el cual se utilizó una mezcla fundente (tetra borato de sodio +carbonato de sodio).

Tabla 2.10. Resultados (%) de ensayos absorción atómica a la Muestra en estado calcinado

Nombre	Código	Ni	Co	Fe	SiO <sub>2</sub>	MgO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	AL <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Mn	Zn	PPI
Lodo residual El Pilón	665, 6, 7, 8, 9	0.09	0.02	1.75	-	-	-	-	0.046	0.66	-

Fuente: Elaborado por el autor con datos ofrecidos por Laboratorio analítico Nicaro. CEDINIQ

## Análisis de los resultados de los ensayos

Según los resultados de análisis granulométricos se observa que la muestra tiene una granulometría continua, se evalúan los valores obtenidos con la norma NC 251: 2003, no coincidiendo con los porcentos pasados para el árido fino, ampliando la búsqueda se compara con la norma NC 54-264:1984 polvo de piedra, resultando acorde con la calidad 2, además no presenta partículas de arcillas ni tampoco impurezas orgánicas según resultados ofrecidos. En cuanto al porcentaje retenido en el tamiz de 75 micras solo paso un 10%, representativo de un polvo de piedra. El módulo de finura no se corresponde con los límites establecidos con los valores de la norma NC 251: 2013, así como los pesos específicos, al igual ocurre con los pesos volumétricos unitarios

En cuanto a los resultados de los ensayos de absorción atómica, se dividieron en resultados de la muestra en estado natural y en estado calcinado. En la muestra en estado natural se realizaron seis determinaciones, se aprecia que, la sumatoria de los valores de  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y de Fe ( $1.08 + 2.67 + 0.06$ ) no son suficientes para su consideración como puzolanas naturales, se aprecian altos valores (33,57 %) de óxido de magnesio (MgO) algo esperado por su origen de rocas calizas, se aprecia un alto valor de pérdidas por ignición (PPI). Se señala que los valores de CaO y de CaCo no se obtuvieron debido a que el laboratorio no cuenta con las determinaciones para su obtención. En cuanto a los valores en estado calcinado también se realizaron cinco determinaciones.

### **2.5. Propuesta de valorización de los lodos generados en la cantera de áridos El Pílon de Mayarí**

Partiendo de los resultados obtenidos en la caracterización del lodo residual generado en la cantera de áridos El Pílon de Mayarí, y del análisis de los fundamentos teórico metodológicos permitió obtener los antecedentes necesarios para realizar una propuesta de valorización.

- Según su granulometría y los valores de óxido de magnesio (MgO) se propone como polvo de piedra categoría 2 según la norma NC 54-264:1984.

- Su adición en mezclas de morteros, partiendo de que en los análisis efectuados arrojó que no contenían partículas de arcillas ni material orgánico, algo muy positivo.
- No es recomendable su empleo en hormigones hidráulicos como arena o árido fino a partir de los resultados obtenidos debido a, según la norma NC 251:2013, el porcentaje pasado por el tamiz 200 no debe ser superior al 7% en los casos que el hormigón este sometido a la abrasión y los resultados ofrecieron un 10%.
- Según sus características granulométricas y químicas se pudieran emplear en la fabricación de ladrillos cerámicos, su adición mejoraría la resistencia a compresión, disminuyendo el consumo energético y podría contribuir a la reducción de la plasticidad, facilitando el secado del ladrillo (Mosqueda, 2019).

## **2.6 Aporte, social, económico y ambiental de la investigación**

La importancia que tiene en la actualidad la reutilización de los lodos residuales generados en la cantera de áridos El Pílon de Mayarúa es que constituye una vía para la búsqueda de soluciones a las diversas problemáticas no solo de esta cantera sino hacerlos extensivo a otras a nivel nacional, así como ofrecer alternativas para la producción de materiales y/o productos de la construcción,

- Despertar el interés de las instituciones para su investigación y partiendo de los resultados incentivar a la industria para su empleo.
- Se mejorarían las condiciones ambientales en los sitios de deposición al disminuir los volúmenes actuales existentes.
- La reutilización de estos residuos sería una solución al problema de la acumulación de residuos en el sector minero.
- Al emplearlos como polvo de piedra se estaría disminuyendo el consumo de los recursos naturales tradicionales.
- Mejoraría la imagen ambiental no solo de la cantera sino de la empresa.



- Si se logra realizar la comercialización de estos lodos, aumentarían los ingresos económicos a la empresa.
- La industria de la construcción mejoraría su imagen gracias a la utilización de residuos generados en cantera y a la atenuación de daños al medio ambiente

En cuanto a los impactos económicos a la cantera y por ende a la empresa se recomienda continuar la investigación.

### **Conclusiones Parciales**

La sistematización de los fundamentos teóricos y metodológicos que sustentan la caracterización de los lodos residuales generados en canteras de áridos permitió comprobar que constituyen una fuente de materia prima.

La caracterización del lodo residual generado en la cantera el Pílon de Mayarí permitió conocer sus propiedades físicas y químicas a partir de las cuales se establecen propuestas de alternativas para su valorización.

Se observa que en la cantera El Pílon de Mayarí, existen limitaciones en la organización y estructura para la implementación de las diferentes formas de valorización de estos residuos, al no considerarse sus potencialidades.

## CONCLUSIONES GENERALES

- Mediante la sistematización de los fundamentos teóricos y metodológicos sobre la caracterización de lodos residuales generados en canteras de áridos se pudo conocer el desarrollo de investigaciones del tema a nivel internacional y nacional, comprobando que constituyen una fuente de materia prima.
- La caracterización del lodo residual de la cantera de áridos El Pílon del municipio Mayarí, en los laboratorios de la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas (ENIA) y al Laboratorio Analítico de Nicaro (CEDINIQ), a través de ensayos físicos y químicos permitió el conocimiento de sus propiedades.
- El conocimiento de las propiedades físico químicas del lodo residual de la cantera El Pílon de Mayarí permitió según la norma NC 54-264:1984 clasificarla como polvo de piedra calidad 2. Es por ello que se propone su empleo en mezclas de morteros.

## **RECOMENDACIONES.**

Al Departamento de Construcciones y a la empresa MEDANO continuar la investigación incorporando:

- El estudio de los componentes químicos como el carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) que permitan trazar estrategias para su valorización.
- Evaluar su desempeño en muestras de morteros tanto de albañilería como estructurales.
- Socializar los resultados de la investigación en eventos.

## BIBLOGRAFIA REFERENCIADA

ANEFA (Asociación Nacional de Empresarios Fabricantes de Áridos).2008, Gestión de residuos en explotaciones mineras a cielo abierto, España, 100p

Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. (2015) Organización de Naciones Unidas  
Bernal González, I. (2017). Valorización de los residuos de la construcción y demolición como áridos reciclados en el municipio Holguín.

Blog Responsabilidad social Residuos: qué son, definición, clasificación, manejo y ejemplos. Se encuentra en la URL: <https://www.responsabilidadsocial.net/residuos-que-son-definicion-clasificacion-manejo-y-ejemplos/>

Bermeo & Idrovo, (2014) Aprovechamiento de lodos deshidratado generados en plantas de tratamiento de agua potable y residual como agregado para materiales de la construcción.

Bairiki Tulin, 2009.Gestione de residuos. México

Conceptualización del modelo económico y social cubano de desarrollo socialista lineamientos de la política económica y social del partido y la revolución para el periodo2021-2026. Redacción: Comité Central del Partido Comunista de Cuba  
Junio / 2021

Francisca Suraia Correia Víctor, (2016). Diagnóstico tecnológico de la cantera de áridos El Pílon de la provincia Holguín

Godoy del Pozo, L. y Manresa González, R. (2009). Gestión de residuos sólidos: un tema de vital importancia para la gestión ambiental empresarial.

Gestión de residuos en explotaciones mineras a cielo abierto. España p 100.

HLC, (2019) Como se hace un ensayo granulométrico se encuentra en la URL: <https://www.hlcsac.com/noticias/como-se-hace-un-analisis-granulometrico/>

Consultado 15 de septiembre 2021

Lorenzo Fleites Jenny, 2010 .Uso del residual obtenido del proceso de lavado de la arena en la cantera “El Purio” en la fabricación de morteros de albañilería.

Lodos de depuración de aguas residuales.  
URL:<https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujos/lodos-depuradora/>. Consultado 15 de septiembre 2021

Mosqueda Rodríguez Yanisleidis, (2019). Caracterización de lodos residuales en la cantera La Inagua de la provincia de Guantánamo.

Miteco (2007-2015). Plan nacional de Residuos de industrias Extractivas.  
URL:[http://www.mma.es/portal/secciones/calidad\\_contaminacion/residuos/planificacion\\_residuos/borrador\\_pnir.htm](http://www.mma.es/portal/secciones/calidad_contaminacion/residuos/planificacion_residuos/borrador_pnir.htm). Consultado 15 de septiembre 2021

Manual de la Rioja (2009). Conceptos básicos de residuos. ANEFA (Asociación Nacional de Empresarios Fabricantes de Áridos. p 20

NC 178: 2002 ARIDOS. ANALISIS GRANULOMETRICO se encuentra en la URL:  
<https://trid.trb.org/view/966859> Consultado el 15 de octubre 2021

NC: 178 (2002) Áridos. Análisis granulométrico.

NC: 182 (2002) Áridos. Determinación del material más fino que el tamiz de 0.074 mm (Nº200). Método de ensayo.

NC: 179 (2002) Áridos. Determinación del contenido de partículas de arcilla. Método de ensayo.

NC: 185 (2002) Arena. Determinación de impurezas orgánicas. Método de ensayo.

2007-2015 Plan nacional de Residuos de industrias Extractivas. Disponible en la  
URL:[http://www.mma.es/portal/secciones/calidad\\_contaminacion/residuos/planificacion\\_residuos/borrador\\_pnir.htm](http://www.mma.es/portal/secciones/calidad_contaminacion/residuos/planificacion_residuos/borrador_pnir.htm). Consultado el 25 de octubre 2021.

Revista Futuro en Viro: Valorización de los lodos procedentes del tratamiento de agua residuales y del proceso productivo de árido para la obtención de áridos ligeros. Se encuentra en la URL:  
[http://www.futurenviro.com/pdf/articulos/201609/LIFE\\_Sludge4Aggregates\\_September%202016.pdf](http://www.futurenviro.com/pdf/articulos/201609/LIFE_Sludge4Aggregates_September%202016.pdf) Consultado el 15 de octubre 2021

Rayda Crespo Castillo, Rafael Jiménez Chappotin, (2011). Utilización de los lodos procedentes del lavado de áridos naturales en la producción de materiales de la construcción.

Regueiro y González-Barros, M. (2006) La extracción de áridos en la Unión Europea en el marco de la estrategia del uso sostenible de los recursos naturales. Boletín Geológico y Minero

Savón Z Y. 2011. Diagnóstico ambiental de la Unidad Básica procesadora de áridos Molino 200 mil.

Salazar J.A. 2005. Experiencias de Reciclaje en la Producción de Materiales de Construcción. V CONGRESO NACIONAL DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SOLIDOS. 30 de septiembre de 2005. Pereira 57 p

SafetyDoc Empresa de destrucción de documentos: Clasificación y reciclaje de Residuos – Definición y Clasificación. Se encuentra en la URL: <https://www.safetydoc.es/tipos-de-residuos-definicion-y-clasificacion/> Consultado el 15 de octubre 2021

TOIRAC., I. J. (1994) Utilización de residuos de arena lavada en la producción de elementos de piso y pared para viviendas de bajo costo. . Ciencia y Sociedad.

UNAM.[http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/exposicion\\_absorcion\\_atomica\\_5045.pdf](http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/exposicion_absorcion_atomica_5045.pdf) Consultado el 15 de octubre 2021

Yenisleidy Delgado Montalván, (2009). Caracterización del residual del proceso de lavado de la arena en la cantera Mariano Pérez Balí “El Purio”

Yaritza Cabrales,(2012).Caracterización física y química de lodos residuales de la cantera El Cacao: propuesta de uso industrial.

## ANEXOS

### Anexo 1. Panel de control automatizado del molino Italiano



Fuente: El autor

Anexo 2: Cuarto de tratamiento de agua totalmente automatizado en el molino italiano



Fuente: El autor



### Anexo 3: Vista de la cantera El Pílon



Fuente: El autor