



**MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR.
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO DE MOA
“Dr. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ”
FACULTAD METALURGIA Y ELECTROMECÁNICA
DEPARTAMENTO METALURGIA**

Trabajo de Diploma

En opción al título de Ingeniero Metalúrgico

Título: Evaluación del material carbonatado de los sectores Serones IV y Juan Vicente para su utilización como neutralizante en la industria del níquel.

Autora: Niuris Peña Sablón

Tutor: Ing. Rolando Leyva Rodríguez

Moa, julio de 2010



**MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR.
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO DE MOA
“Dr. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ”
FACULTAD METALURGIA Y ELECTROMECAÁNICA
DEPARTAMENTO METALURGIA**

Trabajo de Diploma

En opción al título de Ingeniero Metalúrgico

Título: Evaluación del material carbonatado de los sectores Serones IV y Juan Vicente para su utilización como neutralizante en la industria del níquel.

Autora: Niuris Peña Sablón

Tutor: Ing. Rolando Leyva Rodríguez

Moa, julio de 2010

PENSAMIENTO

El pueblo más feliz es el que tenga mejor educados a sus hijos, en la instrucción de pensamiento, y en la dirección de los sentimientos. Educar es depositar en cada hombre toda la obra humana que le ha antecedido.

José Martí

AGRADECIMIENTO

Agradezco la realización de este trabajo a:

♥ *A mi tutor Ing Rolando Leyva y por su paciencia y constante preocupación, gestión y ayuda para que este trabajo se pudiera desarrollar.*

♥ *Al Ing. Roger Samuel Almenares Reyes por la ayuda incondicional y por su esfuerzo para hacer posible que la misma se hiciera con la calidad requerida.*

♥ *A Blanca Mojariet Hernández Serra por ser una persona especial en mi paso por la universidad y por ver contribuido a mi formación profesional.*

A todos muchas Gracias.

DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado a todos aquellos que contribuyeron de una forma u otra a mi formación como profesional:

♥ A mi padre Reemberto Peña que aunque ya no se encuentra conmigo físicamente, espiritualmente siempre lo estará, dándome las fuerzas necesarias para seguir adelante.

♥ A mi madre Marlenis Sablón por su apoyo incondicional, por darme su amor, confianza y comprensión cuando más lo necesitaba.

♥ A mi esposo Norberkis Perera por todo su amor y confianza.

♥ A mi hija Adriana Perera Peña que es mi motor impulsor el ser más especial e importante en mi vida.

♥ A mi hermano Reemberto Peña por darme cariño y comprensión.

A todas aquellas personas que estuvieron a mi lado para brindarme una mano amiga a todas muchas gracias.

Gracias

RESUMEN

El presente trabajo aborda la evaluación del material carbonatado de los sectores Serones IV y Juan Vicente para su posible utilización como neutralizante en la tecnología ácida a presión, a partir de sus características químico - físicas. Para la determinación de la composición química y la reactividad de los materiales de ambos sectores se emplearon los métodos de Plasma Acoplado por Inducción y el análisis Volumétrico respectivamente. Se establece que el sector Serones IV, cumple con el volumen de material carbonatado, y las exigencias de calidad de la materia prima (composición química y reactividad). En el sector Juan Vicente las expectativas de recursos no se cumplen en 5 de los 9 pozos analizados, los cuales exceden los límites de calidad para el hierro y el aluminio.

ABSTRACT

The present work approaches the evaluation of the carbonated material of the sectors Serones IV and Juan Vicente for its possible use like neutralizer in the pressure acid technology, starting from its chemical – physical characteristics. For the determination of the chemical composition and the reactivity of the materials of both sectors by the methods of Coupled Plasm Induction and the Volumetric analysis respectively were used. Its settles down that the sector Serones IV, it fulfills the volume of carbonated material, and the demands of quality of the matter it prevails (chemical composition and reactivity). In the sector Juan Vicente the expectations of resources are not completed in 5 of the 9 analyzed wells, which exceed the limits of quality for the iron and the aluminum.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1 MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL	4
1.1 ANTECEDENTES DEL TRABAJO	4
1.2 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS CALIZAS	5
1.2.1 Clasificación	5
1.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS DEPÓSITOS JUAN VICENTE Y SERONES IV	6
1.3.1 Característica del sector Serones IV	6
1.3.2 Característica del sector Juan Vicente	9
CONCLUSIONES PARCIALES	11
CAPÍTULO 2 MATERIALES Y MÉTODOS	12
2.1 METODOLOGÍA PARA LA TOMA DE LAS MUESTRAS	12
2.1.1 Trabajos de perforación	12
2.2 TOMA DE LA MUESTRA	13
2.2.1 Muestras básicas	13
2.2.2 Muestras complementarias	13
2.2.3 Muestreo compuesto	14
2.2.4 Muestreo de superficie	14
2.2.5 Muestreo tecnológico	14
2.3 PERSPECTIVAS DE USO DEL MATERIAL CALCÁREO	15
2.3.1 Requerimiento de las fuentes de calizas identificadas	15
2.4 PREMISAS PARA LA EVALUACIÓN DE LA MATERIA PRIMA	16
2.5 MÉTODOS EMPLEADOS EN LA INVESTIGACIÓN	17
2.5.1 Determinación de la reactividad	17
2.5.2 Caracterización química de la muestra	17
2.5.3 Determinación del contenido de carso	18
2.5.4 Metodología utilizada para el cálculo de los recursos	18
CONCLUSIONES PARCIALES	21
CAPÍTULO 3 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	22
3.1 RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DEL SECTOR SERONES IV	22
3.2 RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DEL SECTOR JUAN VICENTE	22
3.3 CONSIDERACIONES SOBRE LOS RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE LOS SECTORES SERONES IV Y JUAN VICENTE	23
3.3.1 Resultados del análisis de neutralización o reactividad con ácido	23
3.3.2 Resultados de los ensayos físicos	24
3.4 RESULTADOS DEL CÁLCULO DE LOS RECURSOS	26
3.4.1 Resultados del cálculo de los recursos Sector Serones IV y Juan Vicente	26
3.5 IMPACTO ECONÓMICO-AMBIENTAL	27
3.5.1 Valoración económica	27
3.5.2 Valoración ecológica	29
CONCLUSIONES PARCIALES	29
CONCLUSIONES	31
RECOMENDACIONES	32
BIBLIOGRAFÍA	33
ANEXOS	

INTRODUCCIÓN

El Grupo Empresarial Cuba Níquel se ha convertido en uno de los pilares en los que se sustenta el desarrollo económico-industrial del país y algunas de sus empresas en la actualidad enfrentan el reto del Perfeccionamiento Empresarial, vía para lograr un nivel competitivo mundial. Este perfeccionamiento empresarial como proceso integral no puede soslayar el perfeccionamiento tecnológico a partir de una aplicación consecuente de los avances de la ciencia y la técnica.

Las empresas Comandante “Rene Ramos Latourt” y “Comandante Ernesto Che Guevara” procesan los minerales oxidados de níquel mediante la tecnología de lixiviación carbonato amoniacal y la Empresa “Comandante Pedro Sotto Alba” lo hace a través de la tecnología ácida a presión.

Existen nuevos proyectos para la ampliación, modernización y modificación de nuevas plantas para procesar mineral laterítico por vía ácida, como es el caso de Pinares de Mayarí, esto trae consigo que la fuente que suministra varios insumos necesarios para el proceso no sea el que actualmente se emplea en la Empresa “Comandante Pedro Sotto Alba”, Moa Níquel S.A. debido a las condiciones locales. En tal caso encontramos el suministro del agente neutralizador de ácido, el cieno carbonatado.

Los materiales calizos han sido estudiados para diferentes aplicaciones, como la fabricación de pinturas, en la industria de los materiales de construcción, en la industria azucarera y de cosméticos. Se reportan algunos estudios para su utilización como agente neutralizante según las características de estos materiales que los hace aptos para este fin, pero para el caso de las industrias del níquel, no existe una propuesta específica que argumente la utilización de los mismos con una efectividad probada.

Situación Problemática

Necesidad de buscar y evaluar nuevas fuentes de suministros de material carbonatado que garanticen la calidad y el volumen para mantener en operación una planta de procesamiento con capacidad suficiente para abastecer a una futura industria de níquel y parte de las necesidades nacionales.

Problema de la investigación

Insuficiente conocimiento de las reservas y las características químicas del material carbonatado de los sectores Serones IV y Juan Vicente para su posible utilización como neutralizante en la tecnología ácida a presión.

Objeto de estudio

Material carbonatado de los sectores Serones IV y Juan Vicente.

Hipótesis de la investigación

La caracterización química, el conocimiento del nivel de reactividad y las potencialidades de reserva del material carbonatado de los sectores Serones IV y Juan Vicente de Mayarí, permitirán evaluar la posible utilización del mismo como agente neutralizante en la tecnología ácida a presión.

Campo de acción

Propiedades químicas, y reservas del material carbonatado de los sectores Serones IV y Juan Vicente.

Objetivo General

Evaluar el material carbonatado de los sectores Serones IV y Juan Vicente para su posible utilización como neutralizante en la tecnología ácida a presión, a partir de sus características químicas y los volúmenes de reserva.

Objetivos específicos

1. Caracterizar el material carbonatado de los sectores Serones IV y Juan Vicente desde el punto de vista químico.
2. Determinar la reserva de material carbonatado en los sectores Serones IV y Juan Vicente.

Tareas de la investigación

1. Definición de los antecedentes y trabajos previos correspondientes a la caracterización y utilización del material carbonatado para la neutralización.

2. Caracterización química del material carbonatado de Serones IV y Juan Vicente para la neutralización.
3. Determinación de la reactividad del material calcáreo de los sectores Serones IV y Juan Vicente.
4. Cálculo de las reservas
5. Análisis de los resultados

CAPÍTULO 1 MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

En el presente capítulo se definen los antecedentes y trabajos previos correspondientes a la caracterización y utilización del material carbonatado para la neutralización y se comenta de forma general las características de los sectores objeto de estudio.

1.1 Antecedentes del trabajo

Martínez, A. (1998), en los trabajos geólogo-evaluativos de la primera etapa, en el municipio de Mayarí recomienda los sectores Serones IV y Juan Vicente para la ejecución de trabajos más detallados.

Martínez, A. Y Benítez, D. (1999), en su trabajo “Trabajo de reconocimiento para la evaluación de caliza y material carbonatado de los sectores Serones IV y Juan Vicente” descubren la cantera, describen los límites y la profundidad de los sectores y elaboran el mapa geológico de la región 1: 5000.

Martínez, A. y Benítez, D. (1999), en su trabajo “Informe de prospección preliminar y detallada del carbonato de calcio para la industria del níquel en los Sectores de Guaro II y Platanillo” descubren que hay presencia de caliza pero en pequeñas proporciones por lo que no se continúa el estudio con profundidad.

González, C. J.(1999), trabajó sobre la utilización del carbonato de calcio en la industria Azucarera (Micronizado).

No se reporta un estudio para la utilización como agente neutralizante de los sectores Serones IV y Juan Vicente que permita ser evaluado a partir de su caracterización química.

Se estudian otros trabajos tales como (Martínez, R. 2007, Ávila de Souza, P., 1988, Arteaga, R. R. 1991), que posibilitaron la valoración económica y medio ambiental de la presente investigación. Además de los trabajos como (Estévez, C. E. 2004; Lepin, O. V.; Ariosa, J. D., 1986 y Bustillo, R. M. y López, J. C. 1997), que permitieron enriquecer los aspectos sobre la valoración de los recursos de los yacimientos de minerales de caliza.

1.2 Características generales de las calizas

La caliza es uno de los compuestos minerales utilizados por el hombre desde la antigüedad. Las pirámides o las mastabas de Egipto, construidas hace más de 4.500 años, constaban básicamente de caliza y mortero, es decir, mezcla de arena, conglomerante y agua. La piedra calcárea siguió siendo utilizada por griegos y romanos en sus obras, monumentos y estatuas. Modernamente, las rocas calizas son materiales nobles aplicados a la construcción y elemento básico para diversas industrias. La caliza es una roca compuesta por carbonato cálcico, en proporción superior al 50 %, y que contiene índices variables de impurezas. En su acepción más amplia, se denomina caliza al conjunto de los materiales calcáreos, del que forman parte el mármol, la creta, el travertino, el coral y la marga.

En sentido específico se considera caliza a la roca calcárea estratificada, compuesta principalmente de material de calcita. Las rocas clasificadas como calizas comerciales contienen cantidades variables de carbonato de magnesio: cuando la proporción es menor del 5 %, se denomina caliza rica en calcio, cuando se sitúa entre el 5 y 30 % es magnesiánica; y cuando contiene del 30 al 45 % recibe el nombre de dolomítica.

1.2.1 Clasificación

Están formados por carbonato de calcio en forma de calcita no llegando a un 50 %, pudiendo presentar agonita, siderita y dolomita. El importante contenido en calcita provoca que sean rocas de escasa dureza, fácil corte y baja densidad.

Caliza: Se denominan así a las rocas carbonatadas con alto contenido en carbonato cálcico. Normalmente estarán acompañadas de ciertas impurezas que influirán notablemente en sus características técnicas. Por lo general, estas rocas fácilmente meteorizables, presentan escasa dureza al rayado, siendo el resto de las características función de su proceso de precipitación. Si son de buena calidad, se utilizan en revestimiento, fundamentalmente verticales e interiores. En cualquier caso constituyen la materia prima para la fabricación de conglomerado, la cal o el cemento. Se distinguen cuatro tipos: Caliza litográfica, tobas calizas, pisolita y estalactitas o estalagmitas.

Margas: Están constituidas por carbonato de calcio y arcilla, pudiendo contener muchos otros minerales accesorios. Si presenta mayor proporción de carbonato de calcio se

denominan margas calizas, y si es al contrario, margas arcillosas. Son muy sensibles a la humedad, no empleándose como piedra de construcción, sin embargo puede constituir una excelente materia prima para elección de cemento.

Dolomías: Aunque algunas dolomías pueden formarse por precipitación directa del $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ en el mar en ambientes reductores (dolomías primarias), la mayoría son el resultado de procesos metasomáticos que se producen cuando soluciones ricas en magnesio circulan a través de las calizas, de manera que el magnesio sustituye parcialmente al calcio, a este proceso se le llama dolomitización. Está formada por carbonato cálcico y magnesio, de aspecto exterior parecido a las calizas. De estructura granular, presenta buenas cualidades para ser empleada en la construcción, aún cuando le ataca la humedad y las atmósferas ácidas. Se distingue de la caliza porque el ácido clorhídrico diluido en frío no le produce efervescencia, aunque sí en caliente.

1.3 Características de los depósitos Juan Vicente y Serones IV

1.3.1 Característica del sector Serones IV

El sector de Serones IV está formado por calizas de la formación Mucará, de edad Eoceno medio Oligoceno inferior (Levantamiento geológico de escala 1:250 000 de la provincia de oriente, Nagy y otros (S.A)), las cuales contactan con ultrabasitas, gabros y conglomerados del cretácico superior.

Las rocas ocupan la parte superior del relieve, aflorando en la cota 247 m en la parte sur y en el norte de 90 a 100 m. Su área de afloramiento alcanza aproximadamente 85 ha y su potencia determinada 22,2 m.

Estructuralmente constituye un monoclinal con buzamiento de 20- 25 ° al norte con pequeñas dislocaciones que alteran localmente la yacencia de las rocas, así como suaves plegamientos de las capas. En los límites del cuerpo de rocas carbonatadas se desarrollan las siguientes variedades litofaciales.

Calizas biotriticas recristalizadas

Roca masiva, algo porosa, de dureza media (en dependencia del grado de recristalización el cual es variable), su color es blanco, crema, ocasionalmente con

tonalidades rosadas conferidas por óxidos e hidróxidos de hierro los que se reflejan preferentemente en los planos de estratificación, grietas y bordeando los clastos ; en áreas de la cantera superior se observa la textura fragmentaria con los clastos desde 0,5 a 2 cm de contorno subangulosos y subredondeados cementados por carbonato recristalizado a calcita, en parte se conservan restos fósiles de foraminíferos, algas y corales, siendo más frecuente en la parte sur y este del sector. Los fenómenos cársicos están presentes, observándose en superficie diente de perros, cavidades y cavernas .Estas rocas afloran en una superficie aproximada de 45 ha.

Caliza fragmentaria. Calcirudita.

Roca granuda, formada por detritos generalmente mayores de 2 mm, compactas, recristalizadas, color crema y rosado parduzco. Los fragmentos son de calizas coralinas y biodetríticas con diferentes grados de cristalización; se observan cavidades y grietas rellenas de calcita así como geodas, la textura es fragmentaria. Ocupa la mitad oriental de la parte norte del sector, con una superficie aproximadamente de 20 ha, observándose una gran cantidad de bloques en superficies, con pocos afloramientos.

Calizas brechosas

Es una roca dura, compacta, fragmentario- brechosa, de color blanco, crema y tonalidades rosadas, recristalizada.

Los clastos constituyen más del 50 % de la roca, presentando contornos subangulosos y dimensiones hasta 30 cm, predominando los de 1 a 10 cm, generalmente con mayor recristalización que la matriz, presentando textura microgranular de aspecto aporcelanado; frecuentemente presenta coloración rosada producto de la contaminación de hierro. La matriz la constituye la caliza biodetrítica, similar a la anteriormente descrita, de color blanco, grisáceo, con menor recristalización que los clastos.

En la parte superior del corte de las calizas brechosas, se presentan otras rocas con mayor proporción y tamaño de los clastos, menor dureza y recristalización, y presencia de óxidos de hierro, adquiriendo una tonalidad crema amarillenta.

Estas rocas generalmente buzan hacia el norte con azimut de 3-4 ° y ángulos de buzamiento de 25- 30 °. Ocupan la parte noreste de la cantera y una pequeña franja al noroeste del sector ocupando una superficie aproximada de 4,5 ha.

Calizas margosas blandas con fragmentos

Constituyen la base del corte carbonatado en la mitad del norte del sector. Se presenta con texturas amorfas, blanda, deleznable a la presión de la mano, de color crema, con tonalidades rosadas, amarillentas o parduscas en dependencia de la contaminación de hierro y productos terrígenos; se observan fragmentos de caliza. Estas rocas han sido encontradas en la parte final de los pozos de perforación 8, 9, 11,12 y 17, así como al noreste (NE) del corte inferior de la cantera y la parte norte del camino de Serones IV a Ojo de Agua.

Conglomerado de gabros y rocas ultrabásicas

Están compuestas por fragmentos de ultrabasitas serpentínizadas, predominando las harzburgitas, gabros, presentan fragmentos y bloques de distintas dimensiones de contornos subredondeados hasta angulosos. El cemento es clástico, arenoso, constituido por rocas serpentinizadas y óxidos de hierro. El conglomerado presenta color abigarrado, gris amarillento verdoso, espesor visible, constituye unos 5 metros, localizándose en la parte occidental de la cantera inferior, donde aflora en su base, y en el camino que conduce a Serones, cubriendo a las ultrabasitas serpentinizadas.

Ultrabasitas serpentinizadas.

Ocupa la mitad sur del área, alrededor del cuerpo de las calizas biotriticas recristalizadas; existen pocos afloramientos, presentándose fragmentos de rocas ultrabásicas serpentinizadas, predominando las peridotitos serpentinizados, serpentinitas y fragmentos de gabros en menor medida.

Gabroides

Están representadas por gabros normales, olivínicos y gabrodiabasas, los cuales se manifiestan en forma de abundantes fragmentos en superficie de aspecto masivo, fresco, color gris a gris verdoso. Se encuentran en la parte Oeste del sector, así como formando pequeños cuerpos dentro de las ultrabasitas.

1.3.2 Característica del sector Juan Vicente

El sector Juan Vicente se encuentra constituido por calizas órgano - detríticas de textura porosa, cavernosa hasta deleznable, de edad oligocena Superior a Mioceno medio, de la Formación Camazán.

En orden ascendente en el corte del sector se identifican las siguientes litologías:

Ultramafitas serpentinizadas: las cuales junto a los gabros constituyen la base del corte predominando las harzburgitas serpentinizadas.

Gabroides: están presentes en forma de fragmentos y bloques en la superficie y constituidas por gabros normales, gabros – diabasa, los que además forman pequeños cuerpos dentro de las ultrabasitas. Están presentes mayormente en la parte sur del sector, se le atribuye edad Cretácico Superior.

Conglomerado basal gabro - peridotítico serpentizado: formado por fragmentos subredondeados y subangulosos de rocas ultrabásicas serpentinizadas y gabroides, en una matriz detrítico - arenosa, a su vez con presencia de carbonatos. Aflora en el cauce del arroyo Pontezuelo y en la parte Este del sector, se le atribuye edad Cretácico Superior. Su espesor observado no excede los 5 metros.

Jaspes: en las zonas de contacto del complejo gabro – peridotítico con las calizas (Arroyo Pontezuelo) se observan fragmentos de rocas silíceas, aparentemente metasomáticas calcáreas. En su parte exterior presentan similitud con las calizas, presentando en su interior aspecto vítreo, color gris amoratado, bandeamiento y gran dureza, apreciándose ópalo y calcedonia.

Calizas estratificadas de la Formación Bitirí: las rocas del complejo gabro – peridotítico serpentizado, están formado por calizas de estratificación fina – media

(2 - 20 cm), de color blanco crema, recristalizadas, de dureza media, arenáceas, con restos de fósiles, su yacencia general es al Norte con ángulos de 5-10°. En la parte Sur y Este del sector, aflora (margen del río Potezuelo) con espesor de 7 - 15 m. Se le atribuye edad Eoseno Superior Mioceno inferior.

Calizas órgano – detríticas de la Formación Camazán: constituye la secuencia productiva, estando formada por calizas organógenas de color crema - amarillo grisoso; porosas, de dureza variable, en la parte superior del corte se presenta con aspecto amorfo, deleznable a la presión de la mano, de color blanco, crema con tonalidades rosadas debido a la contaminación con hidróxidos de hierro. Este horizonte tiene un espesor máximo de 12,2 metros (Pozo No. 23), transicionando en profundidad a calizas blandas y semiduras fragmentadas. Ambos horizontes se denominan convencionalmente **“material carbonatado”**, presentando un espesor medio en los pozos perforados, de 603 metros.

Subyacen las calizas compactas, porosas de color beige, gris crema, las cuales aparentemente sobreyacen a las calizas estratificadas de la Formación Bitirí. Su espesor estimado es de unos 10 metros. La edad de la Formación Camazán es Oligoceno Superior – Mioceno medio.

El cuerpo del **“material carbonatado”** ocupa una superficie aproximada de 48 ha y un espesor aproximado de 6,3 metros presentando forma alargada con orientación SO - NE, con una longitud de 1600 metros y un estrechamiento en su parte central, su ancho es de 80 - 500 metros; ocupando las pendientes suaves y los firmes de las elevaciones situadas entre el arroyo Potezuelo, su afluente occidental y el río Juan Vicente. En el camino que une los pozos 2 y 4 se observan afloramientos intermitentes de calizas semiduras, sugiriendo que en las elevaciones las rocas blandas han estado expuestas a la erosión e intemperismo con mayor intensidad; tal es el caso del pozo No. 3, el cual no cortó la secuencia carbonatada blanda.

En parte nororiental, antiguo bloque P – 10, se observa una mayor estabilidad en la potencia del material carbonatado y una disminución de los afloramientos de calizas semiduras y duras.

En la parte Norte del cuerpo del **“material carbonatado”** existen áreas de cultivos y terrenos áridos con abundantes fragmentos de calizas y algunos afloramientos de material carbonatado, constituyendo una zona perspectiva para el incremento de las reservas. Hacia el sur afloran las calizas de la Formación Bitirí y el complejo gabro - peridotítico serpentizado.

Aparentemente el cuerpo de **“material carbonatado”** se originó de la débil diagenetización de las rocas carbonatadas, sumado a las acciones del intemperismo superficial.

Cabe esperar que el límite inferior del cuerpo de material carbonatado sea irregular, con respecto a los pináculos de calizas y ondulaciones, y su potencia sea variable.

Conclusiones parciales

- Los trabajos realizados demuestran las potencialidades de los sectores Serones IV y Juan Vicente por su gran contenido de material carbonatado.
- Los materiales calizos han sido estudiados para diferentes aplicaciones, como la fabricación de pinturas, en la industria de los materiales de construcción, en la industria azucarera, y la industria metalúrgica y química. Se reportan algunos estudios para su utilización como agente neutralizante.

CAPÍTULO 2 MATERIALES Y MÉTODOS

En el presente capítulo se señalan los principales métodos, materiales, equipos, toma de muestras y análisis utilizados para la caracterización del material objeto de estudio.

2.1 Metodología para la toma de las muestras

En el área de los sectores Serones IV y Juan Vicente se trabajaron 21,8 km. Los itinerarios se realizaron por caminos, firmes, arroyos y siguiendo las zonas de contacto y de estructuras de interés.

2.1.1 Trabajos de perforación

Los trabajos de perforación en los sectores Serones IV y Juan Vicente se realizaron con el objetivo de tomar una muestra tecnológica de tres toneladas y se perforaron 316,80 m.

Sector Juan Vicente

En el material deleznable sin fragmentos, con diámetro de 224 mm, se realizaron perforaciones que se distribuyeron en una red irregular con esparcimiento entre 316 y 60 m, con una máquina autotransportadora UGB-50, empleando el método de espiral durante los primeros metros (aproximadamente de 3 - 6 m).

Para el material carbonatado deleznable se realizaron perforaciones empleando el método en columna de calizas blandas mezcladas, con diámetro 112 mm.

En total se perforaron 7 pozos denominados P-2, P-21, P-23, P-81, P-812, P-41y P-51.

Sector serones IV

Las perforaciones se distribuyeron en una red irregular con espaciamiento entre 202 y 70 m y se realizaron con una máquina autotransportada UKB-500 (CKB-4), en la caliza dura, con diámetro inicial de 112 mm hasta los 6,00 m, continuando con diámetro de 93 mm. En total se perforaron 7 pozos denominados P-10, P-11, P-12, P-13, P-14, P-16 y P-17.

En los pozos 16 y 17 se utilizó el tubo de circulación interna, con el objetivo de elevar la recuperación del testigo. El pozo 14 se perforó con doble tubo NQ del sistema Wireline, obteniéndose resultados satisfactorios.

Se perforaron 190,45 m en columna, obteniéndose una profundidad media de 27,20 mm, de este volumen fueron perforados 13,5 m en zonas de cavernas y cavidades cársticas.

La recuperación del testigo se obtuvo por encima del 80 %, la mínima fue de 83 % en el pozo 11 y la máxima de 93 % en el pozo 16.

2.2 Toma de la muestra

Las muestras de testigo de perforación fueron tomadas atendiendo a los tipos litológicos (cambio de coloración, granulometría, textura, presencia de grietas, cavernas y oquedades).

Para los análisis, se tomaron las siguientes muestras: básicas, complementarias, compósitos, de superficie y tecnológicas.

2.2.1 Muestras básicas

Se muestreó tomando la mitad longitudinal del testigo del intervalo previamente establecido, la otra mitad se tomó como duplicado. En el sector Juan Vicente se tomaron 28 muestras, con un intervalo de muestreo máximo de 3,0 m, mínimo de 0,50 m y promedio de 2,10 m. En el sector Serones IV se tomaron 59 muestras, con un intervalo de muestreo máximo de 4,05 m, mínimo de 1,0 m y promedio de 2,49 m.

2.2.2 Muestras complementarias

Para la caracterización de la materia prima se tomaron las siguientes tipos de muestras:

Muestras para los ensayos físicos empleados para las determinaciones del peso volumétrico seco y saturado, absorción y peso volumétrico natural. Todos esos análisis se realizaron en el laboratorio “Elio Trincado” de la Empresa Geominera Oriente.

2.2.3 Muestreo compósito

Fueron tomadas en los dos sectores. En Juan Vicente fueron constituidas por las muestras básicas de los pozos que conformaron las muestras tecnológicas con 6 muestras y en el sector Serones IV, del material resultante de la voladura, del frente de cantera, con 1 muestra.

2.2.4 Muestreo de superficie

Con la finalidad de caracterizar superficialmente la roca útil, se tomaron 10 muestras fragmentarias puntuales de superficie, con una masa aproximada de 2 a 3 kg, tomándose de cada muestra un duplicado (de igual peso).

Siete de dichas muestras (PM-101 a PM-107) se tomaron de la pared de la cantera (corte superior), distribuyéndose en toda su extensión con un espaciamiento aproximado de 20 metros.

Con estas muestras se caracterizan las calizas de dicha área, permitiendo la correlación con la muestra tecnológica, para establecer la representatividad de su composición química.

En el sector Serones IV fueron tomadas 10 muestras de superficie en área perspectiva para el cálculo de recursos, las muestras fueron fragmentarias puntuales y se extrajeron con la finalidad de estudiar la composición química y reactividad de las calizas en el área dada. Cada punto de muestreo fue documentado.

2.2.5 Muestreo tecnológico

Con la finalidad de investigar las propiedades de reactividad y neutralización de las calizas y material carbonatado de los sectores Serones IV y Juan Vicente, se tomaron dos muestras tecnológicas en ambos sectores para su investigación.

Las muestras tienen una masa de tres toneladas cada una, siendo tomadas: En el sector Juan Vicente, de los pozos de perforación y en Serones IV del antiguo frente de cantera.

Para la toma del material de la muestra en Juan Vicente se empleó el testigo de perforación de 8 pozos, 6 de los cuales fueron reperforados.

En la pared del corte superior del sector Serones IV se perforaron 3 pozos en el borde de la cantera, los que en una altura aproximada de 15 m, una longitud de 20 m y de ancho promedio de 0,8 m, arrancaron del pilar unos 240 m³ de caliza (580 - 600 ton) de las cuales se extrajo la muestra.

2.3 Perspectivas de uso del material calcáreo

Los nuevos proyectos requerirán cantidades significativas de material calcáreo y cal en el proceso independientemente del diagrama de flujo metalúrgico. Principalmente para la neutralización.

2.3.1 Requerimiento de las fuentes de calizas identificadas

Alta calidad para evitar que las impurezas se disuelvan y afecten la calidad de los productos finales de níquel y cobalto.

Alta reactividad que aseguren que la neutralización del ácido sulfúrico sea mediante una reacción rápida y efectiva, la cual permitiría un consumo mínimo de material calcáreo, una planta pequeña, y cantidades mínimas de residuos (yeso) el cual debe tener adecuadas propiedades de sedimentación, filtración y otras características ventajosas.

Amplios recursos de calidad uniforme suficientes para garantizar un suministro de material de más de 25 millones de toneladas de calidad estable a la planta metalúrgica.

Ubicación relativamente cercana al territorio donde se encuentra ubicado el yacimiento Pinares de Mayarí Oeste, y preferiblemente con posibles enlaces a vías de acceso terrestre o marítimo.

Posibilidad de ser calcinadas: para obtener cal de alta calidad y pura, la cal a utilizarse debe alcanzar un pH suficientemente alto (7 - 8) que garantice el completamiento de todas las reacciones de neutralización requeridas en el procesamiento del níquel y el tratamiento de efluentes y residuales. La caliza debe poderse convertir en cal a través del tratamiento convencional y con un consumo aceptable de energía.

Condiciones mineras sencillas para su posible minería por métodos convencionales.

Facilidad de molienda para ser triturada y molida hasta un tamaño de **-100 mesh**. Para lograr una molienda económica, de bajo consumo energético y máximo aprovechamiento del equipamiento.

Las exigencias **preliminares** del material calcáreo deseado serán:

- Reactividad del 90 % o más.
- Impurezas: hierro 1,0 % máximo, aluminio 2,0 % máximo, cobre 0,03% máximo y cinc 0,03 % máximo.

2.4 Premisas para la evaluación de la materia prima

Los parámetros de evaluación fueron asumidos a partir de las exigencias planteadas, así como atendiendo a las características químicas de los cienos carbonatados utilizados hoy en día en la neutralización de ácidos para la producción de concentrados de níquel.

Requisitos y Exigencias:

1. Calizas blandas y poco recristalizadas.
2. Calizas con contenido de carbonato de calcio mayor del 80 %.
 - Reactividad mayor del 90 %.
 - Impurezas. $\text{Fe}_2\text{O}_3 < 1.00 \%$
 $\text{Al}_2\text{O}_3 < 2.00 \%$
 $\text{Cu} < 0.03 \%$
 $\text{Zn} < 0.03 \%$

Bajo estas condiciones se realizó la evaluación de la materia prima útil y atendiendo a las indicaciones de la norma cubana NC 54-331. Carbonato de calcio para uso industrial.

2.5 Métodos empleados en la investigación

2.5.1 Determinación de la reactividad

Se aplicó el método “análisis de neutralización o reactividad con ácidos”, para lo cual se utilizó 3 g de la muestra pulverizada y ácido sulfúrico 0,5 mol/L.

En un beaker de 250 mL se añadió 40 mL de ácido sulfúrico con agitación constante y 3 g de la muestra previamente pulverizada, y se midió el pH durante cinco minutos, lo que permitió evaluar el material de acuerdo a la clasificación existente de la reactividad de los carbonatos frente al ácido sulfúrico.

El comportamiento fue igual para todas las muestras a los 5 minutos, obteniéndose una reactividad de 100 %, no resultando igual para la determinación de las mismas desde tiempos menores de 1 minuto, debido fundamentalmente al porcentaje de carbonato y las características físicas de las muestras (dureza, porosidad, etc)

2.5.2 Caracterización química de la muestra

Las determinaciones químicas se realizaron en el laboratorio de la Empresa Geominera por el método de Plasma Acoplado por Inducción.

El método consiste en que el plasma recalentado es inducido en un campo magnético y se forma una antorcha plasmática que es espectroscópica. Se puede generar un plasma acoplado por inducción al dirigir la energía de un generador de frecuencia de ondas de radio hacia un gas apropiado (en este caso argón).

El acoplamiento se produce generando un campo magnético pasando una elevada corriente eléctrica de alta frecuencia a través de una espiral de inducción enfriada con un sistema Chiller.

Este inductor genera un campo magnético oscilante orientado al plano vertical de la espiral. La ionización del gas argón entrante se inicia con una chispa de la llamada espiral de Tesla. Los iones resultantes y sus electrones asociados luego interactúan con el campo magnético fluctuante. Esto genera energía suficiente para ionizar átomos de argón por excitación de choque.

Los electrones generados en el campo magnético son acelerados perpendicularmente hacia la antorcha. A altas velocidades, los cationes y electrones conocidos como corriente turbulenta, colisionarán con los átomos de argón para producir mayor ionización, lo que produce un gran aumento de temperatura. Se crea un estado estable con alta densidad de electrones. Se produce plasma en la parte superior de la antorcha. Esta antorcha de alta intensidad luminosa es la fuente espectroscópica que permite la técnica analítica. La misma contiene todos los átomos del analito y los iones que fueron excitados por el calor del plasma. Las ventajas analíticas del ICP -Plasma Acoplado por Inducción yace en su capacidad de analizar una gran cantidad de analitos en un período corto con muy buenos límites de detección para la mayoría de los elementos.

2.5.2.1 Determinación del contenido de componentes útiles y nocivos

En cada pozo se determinó el contenido medio de elementos útiles (calcio) y perjudiciales (hierro, aluminio, cinc y cobre), ponderando los contenidos por la potencia para todo el intervalo de roca útil que cumple con las condiciones técnicas del cálculo de recursos.

Para el cálculo del contenido medio de calcio en el bloque I se ponderó el contenido por el espesor de cada intervalo (pozo), para los demás componentes se estableció el rango de su contenido. Para los bloques II y III, se asumen los contenidos del bloque I.

2.5.3 Determinación del contenido de carso

Partiendo del metraje perforado en roca útil, el cual asciende a 201,85 m y de la longitud total del metraje de perforación que atravesó cavernas y cavidades cársticas, ascendentes a 13,5 metros, se estableció un porcentaje de carsitividad de 6,69 %. Los recursos calculados son afectados por ese coeficiente.

2.5.4 Metodología utilizada para el cálculo de los recursos

Para el cálculo de los recursos se empleó la siguiente fórmula:

$$Q = Sp \cdot P \cdot Pv$$

Donde:

Q = Recursos en ton.

S = Área en m².

P = Potencia del intervalo del pozo en m.

Pv = Peso volumétrico en ton/m³

Sector Serones IV

Los recursos han sido calculados por el método de bloques geológicos dada la morfología del yacimiento y la disposición de la red de laboreos de prospección.

Según la red de perforación, la densidad del muestreo y las características del yacimiento, los recursos pudieran evaluarse como probables, sin embargo, el no contar con una base topográfica instrumental y no haberse estudiado el corte geológico en su totalidad y caracterizado los tipos tecnológicos de rocas útiles, determina la conveniencia de evaluar los recursos en la categórica de Posible (Inferidos).

Se conformaron tres bloques de recursos:

El bloque I **“Posible”** está delimitado por interpolación de los pozos No 10; 11; 14; 16 y extrapolación de los pozos 12; 9; 17 y 16, contando con los pozos 13 y 8 en el interior del bloque. La extrapolación se realizó a la distancia de 50 metros (menos de 50 % de la red promedio de prospección; extrapolándose hacia el noreste (EN) y sureste (SE) en la parte noroeste (NO) las potencias disminuyen bruscamente y hacia el suroeste (SO) se fijó un pilar de seguridad de 100 m de ancho).

Los bloques II y III de **“Recursos Hipotéticos”** están formados por extrapolación en la distancia de 100 m del bloque I de **“Recursos Posibles”**

El bloque II se dispone en la parte sureste (SE) y se fundamenta en los datos del levantamiento geológico y las muestras de superficie PM-108, PM-109 y PM-110.

El bloque III está situado al noroeste (EN) del bloque I y se fundamenta en los datos del levantamiento y corte geológicos.

Se considera que el estudio realizado en el sector, argumenta plenamente la conformación de los bloques de **“Recursos Hipotéticos”**.

El área de los bloques de cálculos fue medida en AUTOCAD, obteniéndose los siguientes resultados:

Bloque I – 87862 m²

Bloque II – 36652 m²

Bloque III – 11770 m²

Sector Juan Vicente

El cálculo de los recursos se efectuó por el mismo método empleado para el sector Serones IV.

Área del bloque **(S)**. Se calculó por AUTOCAD, arrojando una superficie de 479863 m².

Potencia útil **(P)**. Se calculó por promedio aritmético de la potencia de 9 pozos, arrojando un espesor promedio de 7,73 m

Peso Volumétrico **(Pv)**. Se calculó en base a 6 muestras de laboratorio, la que arrojaron un valor de 1,62 ton/m³.

Al total de recursos Q se le aplica una disminución de 6,69% debido a la presencia de zonas cársicas.

Debido a las regularidades del cuerpo del material carbonatado, al afloramiento de rocas subyacentes en sus límites y al insuficiente estudio de su corte vertical, se adopta un coeficiente de seguridad K = 0,5 disminuyendo los recursos.

Conclusiones parciales

- Se han fundamentado las propiedades a investigar a partir de la necesidad de la descripción y caracterización del objeto de estudio para definir sus principales regularidades a través del empleo de métodos científicos de investigación estructurados metodológicamente con un enfoque dialéctico, sistémico y controlado que posibilitan la ejecución ordenada del proceso investigativo.
- Los métodos y materiales (muestras) empleados para la realización de los análisis son efectivos y novedosos, lo que fundamenta la fiabilidad de los resultados de esta investigación.

CAPÍTULO 3 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

En el capítulo se presentan los resultados de la caracterización de los materiales objetos de estudio. Para una mejor comprensión de este epígrafe trataremos los sectores Serones IV y Juan Vicente por separado.

3.1 Resultados de la caracterización química del sector Serones IV

Se realizaron análisis químico a 74 muestras, resultando positivo los valores obtenidos con relación a los requisitos exigidos por la industria.

Los resultados de los análisis químicos varían de la siguiente forma:

Tabla 1 Composición química del sector Serones IV

Composición química	Contenido promedio (%)
CaO	1.47
Fe ₂ O ₃	0,29
Al ₂ O ₃	0,3
Cu	0,004
Zn	0,006

El contenido promedio de carbonato de calcio para el sector es de 97,93 %

3.2 Resultados de la caracterización química del sector Juan Vicente

En este sector se tomaron 33 muestras, a las que se le realizaron análisis químicos.

Los contenidos promedios para el sector varían de la siguiente forma:

Tabla 2 Composición química del sector Juan Vicente

Composición química	Contenido promedio (%)
CaO	12.49
Fe ₂ O ₃	0,97
Al ₂ O ₃	2,02
Cu	0,009
Zn	0,011

El carbonato de calcio de este sector es de 84,50 %.

3.3 Consideraciones sobre los resultados de la caracterización química de los sectores Serones IV y Juan Vicente.

Si observan los contenidos de Al_2O_3 de las tablas 1 y 2, se puede observar que estos son relativamente bajos y existe una diferencia relativamente pequeña, de 1,72 %.

Partiendo de una valoración de la homogenización de los materiales carbonatados de ambos sectores, los resultados obtenidos reflejados en las Tabla 1 y 2, se puede decir que la materia prima es factible para el uso que se propone. Los contenidos promedio ponderados son los siguientes:

Tabla 3 Composición química promedio para ambos sectores

Composición química	Contenido promedio (%)
CaO	13,96
Fe_2O_3	1,26
Al_2O_3	2,32
Cu	0,013
Zn	0,017
CaCO_3	94,32

3.3.1 Resultados del análisis de neutralización o reactividad con ácido

En el laboratorio "Elio Trincado Figueredo" se realizaron pruebas de laboratorio complementario de las investigaciones geológicas realizadas con el fin de localizar material calcáreo para ser utilizado como neutralizante en el proceso ácido metalúrgico para la extracción de los valores metálicos del mineral laterítico que consistieron en:

Determinación de parámetros para la prueba de neutralización.

a) Prueba de neutralización.

- Determinación volumétrica del grado de reactividad.

Para el caso de las muestras básicas de los sectores objeto de estudio se observan buenos resultados. Para el sector Serones IV en todas las muestras de los pozos analizados la reactividad se comporta de 95 a 100 % (Ver anexo 1).y en el sector Juan

Vicente se obtienen valores por debajo de 90 % en algunos pozos, aunque toda la masa representativa se observan resultados positivos (ver anexo 2).

Para el caso de las muestras compósitos analizadas se observa en la Tabla 4 que para ambos sectores se obtiene una reactividad de 100 %, justificando así con mayor certeza su empleo como neutralizante.

Tabla 4. Resultado de la reactividad o neutralización de ácidos de las muestras compósitos

Sector	Muestra	Reactividad
Serones IV	MC - 1	100
Juan Vicente	PB - 1	100
	PB – 2	100
	PB – 3	100
	PB – 4	100
	PB – 5	100
	PB – 6	100
	PB - 8	100

3.3.2 Resultados de los ensayos físicos

Para el caso del sector Serones IV se realizó el ensayo de peso volumétrico en seco y saturado además del porcentaje de absorción. (Tabla 5)

Tabla 5. Resultado de los ensayos físicos del sector Serones IV

No.	Pozo	Muestra	Peso volumétrico (g/cm ³)		% Absorción
			Seco	Saturado	
1	P-11	1102	2,41	2,47	2,69
2	P-13	1301	2,64	2,65	0,35
3	P-12	1201	2,56	2,6	1,49
4	P-12	1202	2,57	2,61	1,46
5	P-12	1203	2,56	2,6	1,62
6	P-12	1204	2,61	2,64	1,1
7	P-14	1401	2,34	2,41	3,04
8	P-13	1306	2,38	2,48	4,16
9	P-13	1307	2,49	2,55	2,34
10	P-17	1701	2,53	2,56	1,19
11	P-8	82	2,4	2,48	3,59
12	P-8	83	2,35	2,4	5,01
13	P-8	84	2,54	2,59	1,96
14	P-8	85	2,45	2,49	1,61
15	P-8	86	2,52	2,6	4,93
16	P-8	87	2,32	2,4	3,83
17	P-9	91	2,44	2,52	4,87
18	P-9	92	2,52	2,69	5,77
19	P-9	93	2,4	2,59	4,73
20	P-9	94	2,26	2,45	4,18
21	P-9	95	2,52	2,69	5,54
22	P-9	96	2,48	2,59	4,08
23	P-9	97	2,44	2,51	4,93
24	P-9	98	2,35	2,45	6,81
25	P-9	99	2,49	2,54	4,08

Tabla 6. Peso volumétrico natural del material carbonatado del sector de Juan Vicente

No.	No. Muestra	Peso Volumétrico Natural (g/cm ³)
1	201	1,55
2	202	1,64
3	2201	1,58
4	2202	1,71
5	8101	1,54
6	8102	1,72

En la Tabla 6 se ofrecen los resultados de los ensayos físicos de las muestras de testigos de perforación.

3.4 Resultados del cálculo de los recursos

3.4.1 Resultados del cálculo de los recursos Sector Serones IV y Juan Vicente

El volumen de los recursos posibles inferidos constituye 4523699 ton, y los recursos hipotéticos suman 2493075 ton, para el sector Serones IV. Los recursos hipotéticos del sector Juan Vicente suman 3004566 ton.

Tabla 6 Recursos de los sectores Serones IV y Juan Vicente

Bloque	Categoría	S(m ²)	P(m)	Pv(ton/m ³)	Q(ton)	Carso (%)	Q final(ton)
I (S IV)	Recursos posibles	87862	22,43	2,46	4848032	6,69	4523699
II (S IV)	Recursos Hipotéticos	36652	22,43	2,46	2022077	6,69	1887080
III (S IV)	Recursos Hipotéticos	11770	22,43	2,46	649443	6,69	605995
I (JV)	Recursos Hipotéticos	47986	7,73	1,62	6009132	50	3004566
Totales					1352868		1002134

Tabla 7 Calidad de los recursos (valores promedio mínimo y máximo)

Determinación	Promedio (%)	Mínimo (%)	Máximo (%)	Observaciones
Reactividad	95,8	88	100	Mínimo
CaO	13,96	1,47	12,49	Mínimo en P-23
Fe ₂ O ₃	0,94	0,67	1,33	Menor de 1 % en los pozos 5; 21; 23; 81.
Al ₂ O ₃	2,06	1,19	3,07	Menor de 2 % en los pozos 5; 21; 22; 23
Zn	0,011	0,006	0,019	
Cu	0,03	0,001	0,01	

Atendiendo al cumplimiento de los parámetros de calidad en los pozos y contenido de Al₂O₃ en el bloque, puede apreciarse que los recursos no cumplen las condiciones favorables para su utilización.

3.5 Impacto Económico-ambiental

3.5.1 Valoración económica

El principal aporte económico de esta investigación está relacionado con las posibilidades que se ofrecen de utilizar una materia prima menos costosa que la que actualmente se utiliza para la neutralización de los licores ácidos del proceso de lixiviación ácida del Grupo Empresarial Cubaníquel, específicamente, en la Empresa Pedro Soto Alba Moa Níquel S.A.

Como patrón para el análisis económico de la presente investigación se toma como referencia el costo de producción de 1 ton de concentrado carbonatado en la Empresa Pedro Soto Alba Moa Níquel S.A. de Moa. La tecnología actual de esta planta comprende la utilización del Carbonato de Calcio extraído de la bahía de Moa. Este se somete a varios procesos que comprenden desde la extracción en aguas submarinas de la bahía moense, el transporte hasta la Planta de Coral para su procesamiento y el transporte por tubería hasta la Planta de Neutralización de la Empresa Pedro Soto Alba Moa Níquel S.A.

Según Martínez (2007), el costo de adquisición de 1 ton de Cieno Carbonatado es de 22,17 CUC. Según los ritmos de producción actuales, la planta de Neutralización consume 610 ton/día de cieno carbonatado, lo que representa un consumo de 222 650 t/año de cieno carbonatado. Según estos indicadores, la empresa destinó alrededor de 4 936 150,00 CUC para la compra de cieno carbonatado.

La variante de utilización del concentrado carbonatado de los yacimientos de Serones IV y Juan Vicente para su utilización como neutralizante en el proceso de lixiviación ácida, presupone la necesidad de montar una planta de tratamiento de la materia prima (caliza) constituida, en esencia, por las secciones de extracción, transporte, molienda y clasificación mecánica (cribado). Si se asume el costo de adquisición de una planta de beneficio similar a la de Pílon, Mayarí, con un costo de \$ 3 000 000,00 USD y una capacidad máxima de producción de 700 ton/día y se tienen en cuenta los costos de

salario, operación y mantenimiento y otros, el costo total en el primer año ascendería a unos \$ 3.278.476,35 CUC + 267.621,36 CUP, según los indicadores de la tabla 8.

Tabla 8. Resumen de los principales indicadores del costo total de la inversión para el procesamiento de los materiales carbonatados de los sectores Serones IV y Juan Vicente

Indicadores de costo	TOTAL (CUC+CUP)	CUP	CUC
Adquisición y Montaje de un molino	3000000		3000000
Explotación y Mantenimiento	118861,59	27658,48	91203,11
Otros Gastos	40.460,93	16.007,88	24.453,05
Contingencia	104297,77	34.849,19	69.448,58
Salario	222477,42	189.105,81	33371,61
Costo Capital Total	3546097,71	267.621,36	3.278.476,35

Como se observa, los costos iniciales ascienden debido a la inversión en la adquisición y montaje de la planta, por lo que considerando que anualmente se pueden procesar alrededor de 255 500 ton, que la demanda actual de la Empresa Pedro Soto Alba Moa Níquel S.A. es de alrededor de 222 650 ton/año y asumiendo el costo de venta del concentrado carbonatado similar al del cieno carbonatado que se produce actualmente (22,17 CUC/ton), se obtendrían 4 936 150,00 CUC por concepto de venta del producto.

Si se asume una producción anual estable alrededor de los 4 936 150,00 CUC y se deducen los gastos de explotación y mantenimiento, de contingencia, salario y otros gastos (278 476,35 CUC) según la Tabla 8, entonces la ganancia neta sería de 4 657 673,65 CUC; por lo que la inversión tendría un período de amortización igual a:

$$PA = \frac{3546097,71}{4\,657\,673,65} = 0,76 \text{ años} \approx 9 \text{ meses}$$

3.5.2 Valoración ecológica

La utilización de una materia prima que compromete mucho menos el medio ambiente que el ceno carbonatado es, sin dudas, una importante contribución al desarrollo sostenible de la humanidad. La extracción del coral en la bahía moense ha originado cambios en la flora y la fauna, observándose un creciente deterioro de la calidad de los fondos marinos de la bahía. Por lo que con la variante propuesta se elimina este nocivo procedimiento de suministro de la materia prima a la industria. Por otra parte, garantiza un sistema de explotación sostenible al prever la recuperación de los suelos explotados a través de la reforestación y reanimación de las áreas, lo que garantiza la supervivencia de especies animales y vegetales de la región.

Conclusiones parciales

- En el sector Serones IV se calcularon 7 millones de toneladas de calizas, correspondiendo 4,5 millones de toneladas a los recursos posibles y 2,5 millones a los recursos hipotéticos, por lo que se cumple con el volumen solicitado. Las exigencias de calidad de la materia prima se cumple satisfactoriamente.
- En el sector Juan Vicente las expectativas de recursos no se cumplen, no responden 5 de los 9 pozos que cortaron la secuencia carbonatada, a las exigencias de calidad planteadas. Fueron calculadas 3 millones de toneladas de recursos hipotéticos los cuales exceden los límites de calidad planteados para el hierro y el aluminio. Las posibilidades de incremento de recursos no son sustanciales para responder a la demanda.
- En el sector Serones IV todas las muestras reportaron valores positivos, obteniéndose los siguientes resultados: CaO – 1,47 %, Fe₂O₃ - 0,29 %; Al₂O₃ - 0,30 %; Cu - 0,004 %; Zn - 0,006 %; CaCO₃ – 97,93 % y una reactividad de 99,4 %.

- En Juan Vicente de las 27 muestras analizadas de los pozos de perforación, 13 presentan problemas con los nocivos, sin embargo los promedios ponderados para el sector son los siguientes: CaO- 12,49 % (CaCO_3 - 84,50%); Fe_2O_3 - 0,97%; Al_2O_3 - 2,02 %, Cu- 0,009 %; Zn- 0,011% y una Reactividad de 96,48%.

CONCLUSIONES

- Se evaluó el material carbonatado de los sectores Serones IV y Juan Vicente para su posible utilización como neutralizante en la tecnología ácida a presión, a partir de sus características químicas y los volúmenes de reserva.
- La caracterización química, el conocimiento del nivel de reactividad y las potencialidades de reserva del material carbonatado de los sectores Serones IV y Juan Vicente de Mayarí, permitieron evaluar la posible utilización del mismo como agente neutralizante en la tecnología ácida a presión.
- En el sector Serones IV fueron calculados 7 millones de toneladas de calizas, correspondiendo 4,5 millones de toneladas a los recursos posibles y 2,5 millones a los recursos hipotéticos, por lo que se cumple con el volumen solicitado, el cual posee las exigencias de calidad de la materia prima, las exigencias químicas y de reactividad en el sector reportaron valores positivos, obteniéndose los siguientes resultados: (CaCO_3 – 97,93 %; Fe_2O_3 - 0,29 %; Al_2O_3 - 0,30 %; Cu – 0,004 %; Zn - 0,006% y una reactividad de 99,4 %).
- En el sector Juan Vicente las expectativas de recursos no se cumplen, 5 de los 9 pozos no responden a las exigencias de calidad planteadas, los cuales exceden los límites de calidad para el hierro y el aluminio. Las posibilidades de incremento de recursos no son sustanciales para responder a la solicitud formulada.
- La variante propuesta elimina el nocivo procedimiento de suministro de CaCO_3 para la lixiviación ácida a presión que compromete la calidad ambiental del territorio y a la vez garantiza un sistema de explotación sostenible al prever la recuperación de los suelos explotados a través de la reforestación y reanimación de las áreas, lo que garantiza la supervivencia de especies animales y vegetales de la región.

RECOMENDACIONES

Después de finalizado el trabajo se recomienda:

- Se requiere elevar el grado de estudio para la asimilación industrial de los recursos, extender la red de perforación y estudiar el corte de roca útil en todo su espesor.
- Caracterizar por separado los últimos ejemplares litofaciales de rocas.

BIBLIOGRAFÍA

- ARTEAGA, R. R. 1991: "Manual de evaluación técnico-económica de proyectos mineros de inversión". ITGE, Madrid,
- AVILA DE SOUZA, P., 1988: Avaliação económica de proyectos mineros, 4to Curso de Economía mineral, Belo Horizonte.
- BORISOV, S., KLOKOV M. y GORNOVOI B. 1976: Labores Mineras. De. Mir. Moscú.
- BUSTILLO, R. M. y LÓPEZ J. C. 1996. Recursos Minerales. Tipología, prospección, evaluación, explotación, mineralurgia e impacto ambiental. Ed. Graficas Arias Montana. Madrid. 372 p.
- BRUNAUER, S., EMMETT, P. H., TELLER, E. 1938: "Adsorption of Gases in Multimolecular Layers." Journal of American Chemical Society. Vol 60, pp 309-319.
- BUSTILLO, R. M. y LÓPEZ, J. C. 1997: Manual de evaluación y diseño de explotaciones mineras. Ed. Graficas Arias Montana. Madrid. 708 p.
- CÁRDENAS V. J. y BAUTISTA, O. 1965: Geología regional y yacimientos minerales de una porción de la Mixteca Oaxaqueña, inédita CRNNR, 213 p.
- COLECTIVO DE AUTORES. 1996: Manual de restauración de terrenos y evaluación de impactos ambientales en minería. Instituto Tecnológico Geominero de España ITGE. Madrid.
- COLECTIVO DE AUTORES. 1997: Manual de evaluación técnico-económica de proyectos mineros de inversión. Instituto Tecnológico Geominero de España ITGE. Madrid. ISBN: 84-7840-305-1
- COOKS, R.G., CHEN, G., WONG, P., WOLLNIK, H. 1997: "Mass Spectrometers". Enciclopedia of Applied Physics, Vol. 19, 300 p.

- ESTÉVEZ, C. E. 2004: Apuntes sobre estimación de recursos y reservas. Universidad de Pinar del Río. Cuba [en línea]<http://www.monografias.com/trabajos35/evaluacion-acimientos/evaluacion-yacimientos.shtml> [Consulta 20 de abril 2010]
- EVANS, A.M., 1995 Introduction to Mineral Exploration, Blackwell Science
- GEOLOGIA ECONOMICA. S.A: Universidad Nacional de La Plata. Argentina [en línea]http://rapidshare.com/files/381265559/Mina_La_Fe._Formula_Richards_y_Gy.doc [Consulta 7 de mayo 2010]
- GONZÁLEZ, C. J. 1999: Producción de Carbonato de Calcio Micronizado. Grupo Empresarial de Construcciones Azucareras (GECA), Ministerio del Azúcar, Ciudad de la Habana.
- KAZHDAN A. 1982: Prospección de yacimientos minerales. Editorial Mir. Moscu. 202 p.
- KREITER M. 1978:. Investigación y prospección geológica. Editorial Paraninfo. Madrid. 376 p.
- LEPIN, O. V., y ARIOS, J. D., 1986: Búsqueda, Exploración y Evaluación Geólogo Económico de Yacimientos Minerales Sólidos, Editorial Pueblo y Educación, Ciudad de La Habana, Primera Parte, 348 p, Segunda Parte, 191 p
- LEPIN, O. V., y ARIOS, J. D., 1986, Búsqueda, Exploración y Evaluación Geólogo Económico de Yacimientos Minerales Sólidos, Editorial Pueblo y Educación, Ciudad de La Habana, Primera Parte, 348 p, Segunda Parte, 191 p
- LOPEZ, J, C. 1994.: "Manual de perforación y voladuras de rocas". ITGE, Madrid. 780 p.
- MARTÍNEZ, A. y BENÍTEZ, D. 1999: Prospección preliminar y detallada. Carbonato de calcio para la industria del níquel en los Sectores de Guaro 2, Sector Platanillo. Informe Técnico. Geominera Oriente. Santiago de Cuba.

- MARTÍNEZ, A. y BENITEZ, D. 1999: Reconocimiento geológico para la evaluación de caliza y material carbonatado de los sectores Serones IV y Juan Vicente. Informe Técnico. Geominera Oriente. Santiago de Cuba.
- MARTÍNEZ, R. 2007: Estudio Energético del Hidrotransporte del Cieno Carbonatado en la Empresa Pedro Soto Alba Moa Níquel s.a. Tesis de Maestría. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.
- MC KINSTRY H. E. 1970: Geología de Minas. Editorial Omega. Barcelona.
- MCKINSTRY H. E, 1961: Geología de minas, Ediciones Omega, Barcelona, España
- NOVITZKY A. 1966: Transporte y extracción en minas y a cielo abierto. Buenos Aires.
- NOVITZKY A. 1978: Prospección, exploración y evaluación. Buenos Aires.
- ORCHE GARCIA ENRIQUE 1999: Manual de evaluación de Yacimientos Minerales. Graficas Arias Montano. Madrid.
- PEELE R. y CHURCH J. A. 1941: Mining Engineers Handbook. Ed. Willey y Sons. Tomos I y II. New York. 2442 p.
- SABIO D.:1991: Valuación de labores mineras subterráneas. Rev. Asoc. Arg. de Geol. Economistas. No 8. Buenos Aires.
- TULCANAZA E. 1992: Técnicas geoestadísticas y criterios técnico-económicos para la estimación y evaluación de proyectos mineros. Edic. Estudios Mineros. Chile.
- WELLMER, F.W., 1989: Economic Evaluations in Exploration, Springer Verlag. Berlin
- ZAPATA, A., 1995: Estudio Geoeléctrico para prospección de materiales de aluvión y perforación triconica pozos PT1, PT2 Y PT3. Planta APROMIN S.A – Municipio de Girardota-Antioquia. Colombia.
- ZAPATA, A., 1997: Estudio Geoeléctrico para prospección de materiales de aluvión. Planta INGENIESA S.A – Municipio de Girardota-Antioquia. Colombia.

ZAPATA, A., 1998: Estudio Geoeléctrico para prospección de materiales pétreos provenientes del Río Medellín y cálculo de reservas. Depósito PREDINAL S.A. en las inmediaciones del municipio de Bello-Antioquia. Colombia.

ANEXOS

Anexo 1 Resultados de la reactividad o neutralización de ácidos de las muestras básicas.

Sector	Tipos de labor	Muestra	Profundidad (m)		Reactividad (%)
Serones IV	Pozos		Desde	Hasta	
	P-10	1001	1	3,2	100
	P-10	1002	4,8	7,7	95
	P-11	1101	2,65	5,6	95
	P-11	1102	5,6	9,65	100
	P-12	1201	2,7	5	100
	P-12	1202	5	8	95
	P-12	1203	8	11,2	95
	P-12	1204	13,9	16,2	100
	P-12	1205	16,2	18,5	100
	P-12	1206	20,4	23,5	100
	P-12	1207	23,05	26,5	100
	P-12	1208	26,5	29,55	100
	P-13	1301	1	4	100
	P-13	1302	4	6	100
	P-13	1303	6	9,8	100
	P-13	1304	9,8	11,7	100
	P-13	1305	11,7	14,7	100
	P-13	1306	14,7	18	95
	P-13	1307	18	20,2	100
	P-13	1308	22,8	26,4	95
	P-13	1309	26,4	30	100
	P-13	1310	30	33,4	95
	P-13	1311	33,4	36	100
	P-13	1312	36	40	100
	P-14	1401	0,5	2,5	100
	P-14	1402	2,5	4,5	100
	P-14	1403	4,5	6,5	100
	P-14	1404	6,5	8,5	100
	P-14	1405	8,5	11	100
	P-14	1406	11,8	14,8	100
	P-14	1407	14,8	17,9	100
	P-14	1408	18,9	21,9	100
	P-14	1409	21, 90	25	100
	P-14	1410	25	26	100

	P-14	1411	26	27,2	100
	P-14	1412	27,2	28,5	100
	P-14	1413	29,3	30,6	100
	P-14	1602	3,7	5,5	100
	P-16	1603	5,5	6,8	100
	P-16	1604	6,8	8,3	100
	P-16	1605	8,8	9,4	100
	P-16	1606	10,3	12,3	100
	P-16	1607	12,3	15,3	100
	P-16	1608	15,3	17,7	100
	P-16	1609	17,7	19	100
	P-16	1610	19	21	100
	P-16	1611	21	23	100
	P-16	1612	23	24,8	100
	P-16	1613	24,8	26,06	100
	P-16	1614	26,6	27,6	100
	P-16	1615	27,6	30,1	100
	P-17	1701	1	3,3	100
	P-17	1702	3,3	6,6	100
	P-17	1703	6,6	9,1	100
	P-17	1704	9,1	11	100
	P-17	1705	11	14	100
	P-17	1706	14	17	100
	P-17	1707	17	20	100
	P-17	1708	20	23	100
	Afloramiento				
		PM-108	-	-	100
		PM-109	-	-	100
		PM-110	-	-	100
	Cantera				
		PM-101	-	-	100
		PM-102	-	-	100
		PM-103	-	-	100
		PM-104	-	-	100
		PM-105	-	-	100
		PM-106	-	-	100
		PM-107	-	-	100

**Anexo 2 Resultados de la reactividad o neutralización de ácidos de las muestras básicas
Juan Vicente.**

Sector	Tipos de labor	Muestra	Profundidad (m)		Reactividad (%)
Juan Vicente	Pozos		Desde	Hasta	
	P-2	201	0	1,5	100
	P-2	202	1,5	3	100
	P-2	203	3	4,5	100
	P-2	204	4,5	6	100
	P-2	2,05	6	9	100
	P-21	2101	0	3	100
	P-21	2102	3	6	100
	P-21	2103	6	9	80
	P-21	2104	9	10,7	90
	P-22	2201	0	3	95
	P-22	2201	3	6	95
	P-23	2301	0	2	90
	P-23	2302	2	5	90
	P-23	2303	5	8	95
	P-23	2304	8	11	80
	P-23	2305	11	12,2	100
	P-51	5101	0	3	100
	P-51	5102	3	5	100
	P-81	8101	0	3	100
	P-81	8102	3	6	100
	P-81	8103	6	7,5	100
	P-81	8104	7,5	8	95
	P-812	81201	0	1,5	100
	P-812	81202	1,5	3	100
	P-812	81203	3	6	100
	P-812	81204	6	9	100
	P-812	81205	9	11	95