



INSTITUTO SUPERIOR MINERO

METALÚRGICO DE MOA

DR. ANTONIO NUNEZ JIMENEZ

Facultad: Geología y Minería

Departamento de Geología

Trabajo de Diploma

En Opción al Título de

Ingeniero Geólogo

*Título: Propuesta de Plan de cierre definitivo de
la presa de colas de la Empresa Comandante.
Ernesto Che Guevara.*

Autora: Susell González López

Tutora: Ms.C Amparo Velázquez Velázquez

Curso 2014-2015

“Año 57 de la Revolución”



Declaración de Autoridad

Yo: **Susell González López** autora del presente Trabajo de Diploma que tiene como tema: **“Propuesta de Plan de cierre definitivo de la presa de colas de la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara”** y la tutora: *Ms.C Amparo Velázquez Velázquez* declaramos la propiedad intelectual de este al servicio del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa para que el mismo disponga de su uso cuando estime conveniente.

Diplomante: Susell González López

Tutora: Ms.C. Amparo Velázquez Velázquez

Pensamiento

“Investigar es ver lo que todo el mundo ha visto, y pensar lo que nadie más ha pensado.”

Albert Szent Gyorgi.

“Para ser exitoso no tienes que hacer cosas extraordinarias, haz cosas ordinarias extraordinariamente bien”.

Ernesto Che Guevara



Dedicatoria

Dedico este trabajo primeramente a Dios por haberme dado salud y fuerza. A aquellas personas que durante estos 6 largos años se mantuvieron a mi lado, me apoyaron y creyeron en mi incluso en los momentos en que pensé que este sueño no se haría posible, en especial a los seres más preciados y queridos de mi vida a esos que han sido el motor impulsor y me han dado la fuerza para llegar hasta esta etapa tan importante de mi vida, por su amor incondicional, por su confianza, esfuerzo y sacrificio durante todos estos años de estudio. A mi madre Mariela López Amoró y a mi padre Eduardo González Barrera va dedicado el presente trabajo.


❖ *A mi querida hermanita Susana por ser alguien muy importante en mi vida, por haber estado presente en todo momento y siempre estar dispuesta a ayudarme.*


❖ *A mis abuelos que aunque no estén presentes me enseñaron que para triunfar hay que perseverar. A toda mi familia en general sin excluir ninguna.*


A todas esas personas que me quieren y han velado cada día por que sea mejor persona y logre ser una profesional. Y a los que creyeron que no podía lograrlo y me desearon mal. A todos va dedicado este trabajo.


Agradecimiento


Los resultados del presente trabajo han sido fruto del esfuerzo conjunto dedicación, apoyo y la colaboración de varias personas, las cuales me sirvieron de mucho apoyo para que se cumpliera este sueño en realidad. Por esta razón es necesario agradecer a quienes de alguna manera contribuyeron al feliz término de la misma y a quienes estuvieron presentes en estos arduos años de estudio.

 *Especial agradecimiento a mis padres por su esfuerzo, apoyo y comprensión en todo momento y por la simple razón de darme la vida.*

 *Agradezco a la Revolución Cubana, y a su líder indiscutible Fidel Castro Ruz por darme la oportunidad de formarme como un profesional competente.*

 *A mi tutora la Ms.C Amparo Velázquez Velázquez por transmitirme sus conocimientos y dedicarme algo de su preciado tiempo cuando lo necesité.*

 *Al claustro de profesores del Departamento de Geología del ISMMM por su entrega y dedicación en todos estos años, en especial al Ms.C Yurisley Valdés por creer en mí y al Dr. Ortelio Vera Sardiñas que aunque ya no se encuentra entre nosotros fue un eslabón fundamental en nuestra enseñanza, por sus consejos y su incondicional apoyo brindado a todos sus estudiantes.*

 *A Milagro Díaz, Evelio Jiménez, (padre) Mirlenis Moro por haber sido como unos padres para mí, por haberme apoyado y aconsejado cuando estuvieron a mi lado.*

Agradecimientos

+ A todos mis amigos y compañeros de aula que de alguna manera contribuyeron a hacer realidad este sueño, en especial a mis hermanos: Adisleydis, Jorge Luís, Legna, Keila, Melinda, Yasmani, Karel, Luisito, Alejandro Mendoza, Alejandro Vargas, Miguel Torres, Albert, Yoandri Hernández, Yoandri Caraballo, Pompa, Michel, Wilson, Miguel, Marcos, Chamizo, Manuel, a todos aquellos que estuvieron a mi lado en las buenas y las malas.

+ A todos mis vecinos que se preocuparon, me ayudaron y me apoyaron en todo momento

+ A María y Yudi las carpenteras por preocuparse siempre.

...Mis más profundos agradecimientos a todas esas personas que me quieren y porque no, a los que no también, me hicieron más fuerte.

A Todos, MUCHAS GRACIAS.

Resumen

El presente trabajo tiene como objetivo la preparación de las condiciones para la prevención, minimización y control de impactos ambientales, sociales, de salud y seguridad, una vez ejecutado el cierre definitivo de las operaciones de la presa de colas en la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara del municipio de Moa. Para su conformación se realizó la revisión de la normativa legal cubana vigente para estas actividades, así como información científico técnica actualizada de actividades similares a nivel internacional que sirvieron de base para definir esta propuesta. Se realizó el diagnóstico ambiental de la presa de colas, resultados que se muestran en la tesis del diplomante Jadier Góngora Blet y que se tomaron como base para el presente trabajo. Se consultaron además especialistas de la Empresa de proyectos del níquel que han desarrollado cierres de actividades mineras. A partir de esta investigación se logra hacer una propuesta para el cierre de la presa de colas de la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara donde se describen las actividades implícitas en el mismo las actividades de postcierre, mantenimiento y medidas específicas de conservación para cada uno de los taludes de los sectores estudiados.

Abstract

The present work has as objective the preparation of the conditions for the prevention, minimization and control of environmental, social impacts, of health and security, once executed the definitive closing of the operations of the prey of lines in the Company Major Ernesto Che Guevara of the municipality of Moa. For their conformation he/she was carried out the effective Cuban legal revision of the normative one for these activities, as well as information scientist up-to-date technique of similar activities at international level that you/they served as base to define this proposal. He/she was carried out the environmental diagnosis of the prey of lines, results that they are shown in the thesis of the diplomant Jadier Góngora Blet and that they took like base for the present work. Specialists of the Company of projects of the nickel that have developed closings of mining activities were also consulted. Starting from this investigation it is possible to make a proposal for the closing of the prey of lines of the Company Major Ernesto Che Guevara where the implicit activities are described in the same one the postcierre activities, maintenance and specific measures of conservation for each one of the banks of the studied sectors.

Indice

Introducción.....	1
Marco teórico conceptual:	4
CAPÍTULO I .Características Físico geográficas de la Región de Estudio.....	8
1.1 Generalidades.	8
1.2. Ubicación geográfica del área de estudio.....	8
1.3 Geomorfología.....	9
1.4 Condiciones climáticas	11
1.5 Vegetación	14
1.6 Características geológicas del territorio	15
1.6.1 Características geológicas del área de estudio	19
1.7 Tectónica.....	23
1.8 Características hidrográficas e hidrogeológicas.	28
1.9 Procesos Geodinámicas y Antrópicos.	29
1.10 Sismicidad.....	30
CAPITULO II. Metodología de la Investigación:	33
2.1 Etapas de la investigación.....	33
2.1.2Recopilación y análisis de la información disponible.....	35
2.1.2Trabajo de campo	37
2.1.3 Procesamiento de la información obtenida sobre la temática	37
Capítulo III. Propuesta para cierre definitivo de la presa de colas.....	39
3.1Objetivos del Plan de cierre.....	40
3.2 Ubicación del área donde se ejecutará el cierre.....	41
3.3 Descripción de la Historia del proyecto	41
3.4 Diagnóstico ambiental de la presa de colas	45
3.5 Descripción de los impactos ambientales provocados por la presa de colas ..	46
3.6 Marco Legal a considerar en el cierre de la presa de colas	54

3.7 Consideraciones especiales a tener en cuenta durante el Cierre definitivo	62
3.8 Actividades de cierre:	64
3.8.1Desmantelamiento	64
3.8.2Demolición, Recuperación y Disposición.....	65
3.8.3Rehabilitación técnica y biológica.....	65
3.8.4 Soluciones hidráulicas.....	69
3.8.5Monitoreo de post - cierre.....	69
3.8.6 Monitoreo de aguas.....	70
3.8.7 Monitoreo biológico	70
3.8.8Actividades de Mantenimiento Post-Cierre.....	71
3.8.9 Solicitud de los permisos a los organismos de consulta.....	72
3.8.10Cronograma de ejecución	73
Conclusiones.....	74
Recomendaciones.....	75
Bibliografía:	76
Anexos	79

Introducción

Uno de los temas importantes asociados a las labores mineras corresponde, a todo aquello relacionado con las obras constructivas de disposición en la superficie de las colas; cuyos residuos provienen de las plantas metalúrgicas. Esto se debe a que en la industria minera estos depósitos han ido adquiriendo mayor relevancia, debido principalmente a que las leyes de los minerales en los yacimientos en explotación han disminuido, lo que ha obligado a extraer volúmenes de minerales por encima de lo planificado para lograr mantener los niveles de producción y se han incrementado así, la cantidad de desechos que deben ser dispuestos en la forma de pulpas que tienen como destino estos depósitos.

El cierre de las actividades mineras comprende el desarrollo de acciones tales como: diseño de ingeniería requeridos para el desmantelamiento; demoliciones; estudios in-situ para la disposición final y/o el rescate de materiales; estabilización física, geoquímica e hidrológica; restablecimiento de la forma del terreno; revegetación; rehabilitación de hábitats acuáticos; rehabilitación de las áreas de préstamo; provisiones para brindar servicios esenciales a la comunidad; transferencia de propiedad y acceso a las tierras; etc.

La Empresa Comandante Ernesto Che Guevara cuenta dentro de su infraestructura con una presa de colas que data de mediados de la década de 1980 y comprenden la minería de níquel y cobalto contenidos en la laterita y la serpentinita intemperizada para producir un concentrado de níquel y cobalto por un proceso en tres etapas de lixiviación amoniacal.

Las dos corrientes principales de desechos desde el proceso incluyen residuos de lixiviación de hidróxido metálico (colas) y agua residual del proceso de recuperación del cobalto. Por esta razón la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara ha declarado entre sus prioridades inmediatas la ingeniería para el

cierre de la presa de colas actual debido a que la misma ha llegado al límite de su capacidad por lo que se realiza la siguiente investigación **“Propuesta para el cierre definitivo de la presa de colas de la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara”**.

Problema:

La Empresa Comandante. Ernesto Che Guevara no cuenta con un Plan de cierre definitivo de la presa de colas activa que llega ya al límite de su capacidad de almacenamiento.

Objeto de Estudio:

La presa de colas de la empresa Comandante. Ernesto Che Guevara.

Campo de Acción:

Plan de cierre definitivo de la presa de colas de la empresa Comandante. Ernesto Che Guevara.

Hipótesis:

Conociendo el estado ambiental de la presa de colas de la Empresa Comandante. Ernesto Che Guevara, los instrumentos legales vigentes en Cuba para estos fines y la base teórica que sustente su cierre definitivo es posible realizar una propuesta para el Plan de cierre definitivo de dicha presa.

Objetivo General:

Proponer un Plan de cierre definitivo de la presa de colas de la empresa Comandante. Ernesto Che Guevara.

Objetivos Específicos:

1. Definir el Marco Legal Ambiental vigente en Cuba a considerar durante los cierres de presas de colas.
2. Describir los impactos ambientales que genera la presa de colas de la Empresa Comandante. Ernesto Che Guevara, tomando como base el diagnóstico ambiental realizado en la misma.
3. Definir las actividades que deben ser incluidas en el Plan de cierre definitivo de la presa de colas de la Empresa Comandante. Ernesto Che Guevara.

Para lograr el cumplimiento de los objetivos propuestos, se plantean las siguientes tareas:

1. Revisión de bibliografía y trabajos precedentes.
2. Análisis y definición de los impactos ambientales generados en la presa de colas de la Empresa Comandante. Ernesto Che Guevara.
3. Caracterización de las actividades que deben ser incluidas en el Plan de cierre definitivo de la presa de colas de la Empresa Comandante. Ernesto Che Guevara.
4. Análisis de los resultados ambientales obtenidos.
5. Realización de la propuesta.

Marco teórico conceptual:

Conceptos fundamentales.

Las colas: Son sedimentos friables, sueltos de granulometría pequeña y fina, fuertemente limosas, saturadas por las aguas, con alta capacidad de fluidez (ante el agua). Precisamente esta última propiedad puede tener lugar de diferentes formas, desde muy lenta, lenta, a rápida hasta llegar a un movimiento catastrófico. La movilidad de las colas indica que existe una inestabilidad en el medio, así como una pérdida de resistencia y la deformabilidad de este suelo. (Barrera S. & Lara J. (1998), Barrera S. & Riveros C. (2000). El tamaño típico de las partículas de los mismos corresponde al de las arenas de tamaño medio a partículas del tamaño de los limos. Son usualmente transportados desde la planta de proceso al área de recepción a través de tuberías en forma de pulpa con contenido de sólidos, concentración que varía de 35 a 56%.

Una presa de colas: No es más que una estructura u obra de ingeniería civil construida sobre la superficie del terreno. Generalmente consiste en un dique exterior de tierra u otro material que delimita una superficie determinada. En el área delimitada por el dique (vaso de presa) se almacenan los residuos minero-metalúrgicos. (Guardado y Columbié, 2013).

En la industria minero metalúrgica del níquel el mineral que se extrae entra al proceso industrial y sale como residuo sólido el que es depositado en las presas contiguas a la industria. Dentro de estos sólidos o suelos de relaves podemos diferenciar:(Guardado y Columbié, 2013).

Mineral de rechazo: Es el que entra al proceso pero al no cumplir los requisitos técnicos establecidos en el proceso es depositado en forma de pulpa en las presas de residuos anexas.

Residuos metalúrgicos: Son los residuos sólidos del proceso metalúrgico que salen del proceso y son depositados en forma de colas en los depósitos o presas construidas para su efecto.

Cierre de Pasivos Ambientales Mineros: El Cierre de Pasivos Ambientales Mineros puede definirse como el conjunto de actividades a ser implementadas a fin de cumplir con los criterios ambientales específicos y alcanzar los objetivos sociales deseados después de la etapa de identificación y aprobación del Plan de Cierre de Pasivos Ambientales Mineros.

Remediación o Cierre: El cierre es la ejecución de las actividades contempladas en el Plan de Cierre Aprobado por el Ministerio de Energía y Minas para cumplir con los objetivos ambientales y sociales específicos. El cierre comprende el desarrollo de actividades tales como: diseños de ingeniería requerido para el desmantelamiento; demoliciones; estudios in-situ para la disposición final y/o el rescate de materiales; estabilización física, geoquímica e hidrológica; restablecimiento de la forma del terreno; revegetación; rehabilitación de hábitats acuáticos; rehabilitación de las áreas de préstamo; provisiones para brindar servicios esenciales a la comunidad; transferencia de propiedad y acceso a las tierras; etc.

Actividades Post Cierre: El titular del Plan de Cierre de Pasivos Ambientales Mineros debe continuar desarrollando las medidas de tratamiento de efluentes y emisiones, monitoreo, mantenimiento o vigilancia que corresponda, de acuerdo con el plan de Cierre aprobado por la autoridad competente por un período mínimo de cinco años después del cierre del mismo. Luego de dicho período, el Estado, o un tercero, podría asumir el cuidado y mantenimiento post-cierre del sitio.

El riesgo ambiental por rotura de una presa de colas.

El vertido de residuos mineros al medio ambiente por rotura de una presa de colas tiene frecuentemente consecuencias ambientales catastróficas. Esto se debe fundamentalmente a que la fracción sólida posee una elevada superficie específica (superficie por unidad de peso). Esta propiedad determina en primer lugar que la mezcla sólidos-agua (lodo) se comporte como un fluido viscoso, permitiendo que el volumen vertido se esparza sobre grandes superficies.

Este lodo tiene además gran capacidad para cubrir drenajes, tapar tuberías, etc., debido al pequeño tamaño de las partículas, generalmente menor de 0.5 mm. Una vez ocurrido el vertido, la fina granulometría facilita la erosión de las colas por el escurrimiento superficial debido a las precipitaciones atmosféricas, permitiendo que las partículas vuelvan a ponerse en suspensión en el agua.

La Constitución de la República de Cuba sobre la Protección del Medio Ambiente comienza a partir de 1940 y 1976, siendo modificada en agosto de 1992 después de la Cumbre de Río con su artículo N°. 27, la cual 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.

- Ambiente en general.
- Corresponde al Ministerio de Energía y Minas reglamentar y controlar la actividad minera y lo relacionado con las áreas mineras reservadas, sin perjuicio de la competencia que la legislación le confiere a otros órganos y organismos estatales.
- Las personas naturales o jurídicas que desarrollan actividades de aprovechamiento de recursos minerales estarán en la obligación de rehabilitar las áreas degradadas por su actividad así como las áreas y ecosistemas vinculadas a estas que puedan resultar dañadas de

conformidad con lo dispuesto en La Ley de Minas y en la presente Ley de Medio Ambiente, o en su defecto, a realizar otras actividades destinadas a la Protección del Medio Ambiente en los términos y condiciones que establezcan el Ministerio de

Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA), el Ministerio de la Agricultura y el de la Industria Básica, actualmente Ministerio de Energía y Minas.

CAPÍTULO I .Características Físico geográficas de la Región de Estudio.

1.1 Generalidades.

El municipio de Moa tiene una extensión territorial de 732.6 kilómetros cuadrados. Se encuentra ubicado en la provincia Holguín, al noroeste de Cuba Oriental. Limita al Este con el municipio Baracoa, separados por los ríos Jiguaní y Jaguaní; por el Sur limita con el municipio Guantanamero de Yateras; por el Oeste con los municipios de Frank País y Sagua de Tánamo y por el Norte con el estrecho de Bahamas en el Océano Atlántico. Próximos a sus costas se encuentran los cayos Moa Chico y Moa Grande situados frente a la Ciudad de Moa y Cayo del Medio en la Bahía de Yamanigüey.

1.2. Ubicación geográfica del área de estudio.

La Planta de Níquel “Ernesto Che Guevara” se encuentra ubicada al nordeste de Cuba, al este de la ciudad de Moa, en la provincia de Holguín.

El área objeto de la investigación se localiza al norte de la Planta y lo constituyen 8,92 km de diques con relieve irregular. Limita al norte con el Océano Atlántico, al sur con la carretera Moa- Baracoa, al este con el estuario del río Moa y al oeste con las instalaciones del Puerto de Moa.

Las lagunas ocupan una extensión aproximada de 250 ha, la mayor de ellas se ubica al oeste y contiene colas sólidas; en la parte este una laguna más pequeña se utiliza actualmente como depósito de agua, se muestra así en la siguiente figura.

Coordenadas de ubicación del área de estudio

Y = 222 400°

Y= 224 000°

X = 701 000°

X = 703 400°

Figura 1: Esquema de ubicación de la presa de colas.



1.3 Geomorfología

Desde el punto de vista geomorfológico es característico de la región el sistema montañoso de las Cuchillas de Moa que desciende escalonadamente de sur a norte. Las pendientes en general aumentan hacia los cursos de los ríos donde pueden ser abruptas y llegan a formar cañones y valles profundos en forma de V.

En el territorio se formaron cortezas de intemperismo ferroniquelíferas que pueden llegar a alcanzar una potencia considerable (hasta 50.00 m), las cuales en sentido general se desarrollan en las partes inferiores de las laderas.

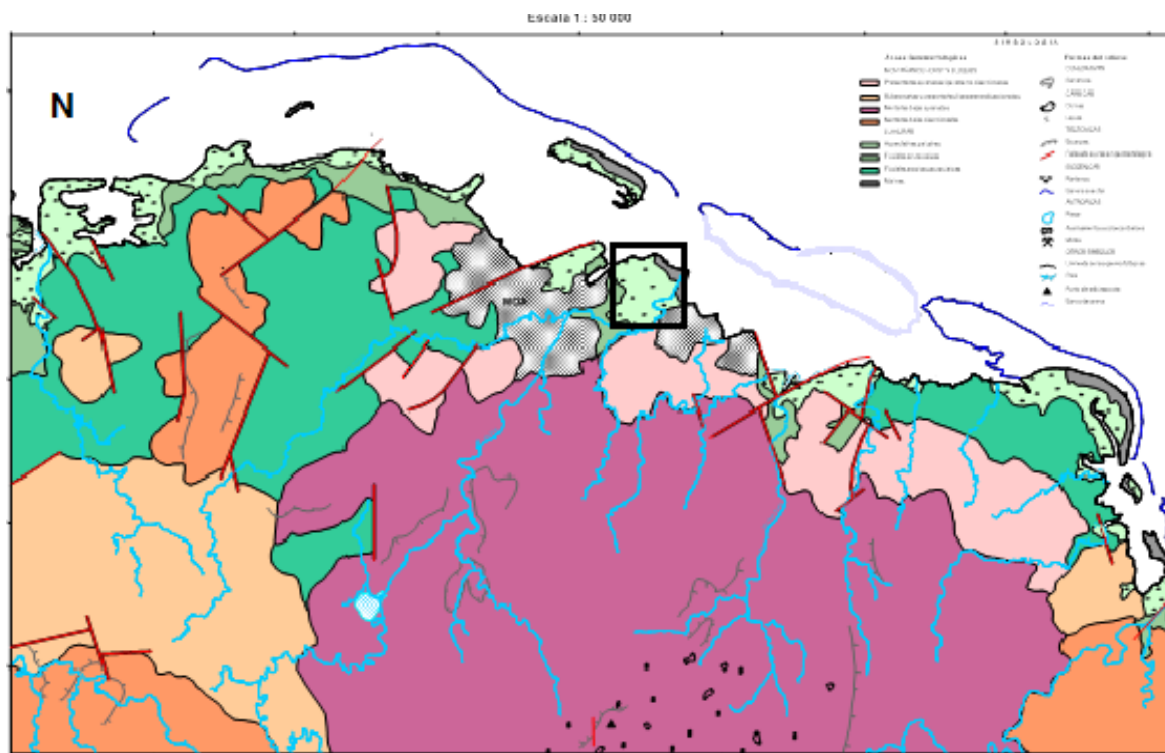
En la franja costera se extienden estrechas llanuras del tipo: abrasivo acumulativo, acumulativo fluvial y palustre. La costa es baja y festoneada de mangles.

En la desembocadura al mar de los ríos Quesigua, Cayo Guam, Punta Gorda, Yagrumaje y Moa se desarrollan extensos planos aluviales sobre depósitos deltaicos formados por el significativo acarreo de sedimentos.

El relieve del fondo marino es una continuación de la llanura abrasivo acumulativa, poco profunda, correspondiente a la plataforma insular, con pendientes suaves, limitada al norte por una barrera coralina que protege la zona litoral del efecto del oleaje.

El área de estudio se caracteriza por tener un relieve escarpado donde el 6 % de la superficie es de llanuras aluviales fundamentalmente y el 94 % montañas. La presa de colas actual se desarrolla en el valle aluvial del río Moa. Al Sur se desarrolla un relieve montañoso con macizos intemperizados y erosionados que está diseccionado por los causes del río Moa y Cabaña, conformando la red de drenaje principal que tributa hacia el área de estudio, desde los inicios de la construcción de la misma el relieve del área comienza a ser alterado en cada fase de construcción.

Figura 2: Versión digital del mapa geomorfológico Escala original 1:50000 (Modificado de Rodríguez A.1998).



1.4 Condiciones climáticas

El Municipio de Moa, situado al NE de la provincia de Holguín, se identifica, según la clasificación de Köppen como tropical húmedo con lluvia todo el año, a diferencia de la mayor parte del resto del país, que ha sido clasificado como tropical con verano muy húmedo (Aw) (Díaz, 1989). Este rasgo distintivo del territorio, está relacionado con la ocurrencia de las mayores precipitaciones durante el período invernal, con valores máximos entre Octubre y Febrero, comportamiento diferente al de la mayor parte del país y el cual está condicionado fundamentalmente por la orografía presente.

Temperatura del aire

El régimen de temperaturas del aire es el típico de zonas costeras de la región tropical, con un valor medio anual superior a 26 °C y temperaturas máximas y mínima absolutas anuales de 36 y 12 °C respectivamente. Las mayores diferencias entre las temperaturas máximas y mínimas horarias promedio en el día se producen para el mes de Marzo, seguido de Octubre.

Precipitaciones

El régimen de precipitaciones en Moa, posee rasgos diferenciales respecto al contexto del país, pues en su ritmo anual se observa como tendencia la ocurrencia de láminas máximas entre los meses de Octubre y Enero es decir, hacia finales del período lluvioso (Mayo - Octubre) y comienzos del menos lluvioso (Noviembre - Abril), de forma que resulta más regular.

Este comportamiento es modelado fundamentalmente por las características del relieve montañoso, que unido a la influencia de los vientos alisios cargados de humedad, predominantes en la zona, provocan la frecuente formación de lluvias por convección orográfica, las cuales descargan en el vertiente norte del macizo correspondiente al área de estudio, que constituye la región más lluviosa de Cuba. Existe además un máximo secundario de precipitaciones en Mayo y dos mínimos relativos, el principal de Febrero a Abril y el secundario de Junio a Septiembre.

La precipitación media anual en la región de Moa, evaluada para un período de 41 años (de 1931 a 1972) oscila entre 1 400 – 2 000 mm en la costa y de 2 000 a 3 800 mm en la zona montañosa, resultando Noviembre el mes de mayor cantidad de días con lluvia. La distribución anual de la lluvia es muy uniforme, con coeficientes de variación de 0.26 y 0.20 para los períodos menos húmedo y húmedo respectivamente, indicando la poca variabilidad estacional de éste parámetro, que caracteriza a la zona.

El gradiente de precipitaciones con la altura para la vertiente N del macizo Sagua - Baracoa, es el mayor del país. Este supera los 173 mm / 100 m para alturas de hasta 280 m y llega a 90 mm / 100 m para alturas hasta 500 m.

De mucho interés resulta el comportamiento de la lámina de lluvia máxima diaria anual (1% de probabilidad), con valores que superan los 350 mm. Lluvias de tal magnitud se asocian básicamente con organismos depresionarios tropicales cuya temporada de ocurrencia abarca desde Junio a Noviembre, siendo Octubre el mes más peligroso.

Humedad Relativa

En Moa la humedad relativa es alta, tanto a las 7.00 (90 - 95%) como a las 13.00 horas (75 - 80%). Son interesantes los intervalos en los cuales la humedad relativa disminuye por debajo del 75 % entre las 10.00 y las 17.00 horas para los meses de Enero a Abril además para Octubre y Noviembre, permaneciendo por encima del 75 % en esas horas de mayo a Septiembre y en Diciembre. Los valores máximos de la humedad relativa, alcanzados habitualmente durante la madrugada, se comportan por debajo del 85 % para los meses de Septiembre, Octubre y Diciembre. A Marzo le corresponden los menores valores absolutos de la humedad relativa horaria promedio mensual y a Octubre los máximos absolutos.

Insolación

La insolación acumulada anual es de 2900 horas luz para las zonas costeras, mientras en las montañas alcanza un valor de 2500 horas luz. Para territorios como el de Moa se ha determinado una insolación media diaria anual de 8.5 h/d con un valor medio para el mes de Diciembre de 7.5 h/d.

Radiación Solar

En las condiciones climáticas de Cuba influye notablemente la cantidad de radiación solar incidente sobre la superficie. El régimen de radiación en el país

presenta variaciones espaciales relacionada con factores orográficos, de manera que mientras en zonas costeras aparecen promedios diarios anuales superiores a 16.6 MJ/m^2 , en las alturas los registros son inferiores a 15.6 MJ / m^2 .

Presión Atmosférica

El campo bórico en la zona es estable a través del año, con valores típicos de 1017.0 y 1016.5 en Enero y Julio respectivamente describiendo las condiciones correspondientes a invierno y verano, las cuales resultan muy similares a las determinadas para otras zonas costeras del archipiélago (Díaz, 1994).

1.5 Vegetación

El municipio forma parte del sistema montañoso Moa – Baracoa, el mismo representa la zona de mayor biodiversidad del país con un 68% de especies autóctonas. El área sur del municipio queda englobada dentro de una reserva de la biosfera declarada por la UNESCO en el año 1998. La vegetación presente en el área es variada, encontrando formaciones vegetales tales como: pinares, bosque en galería, arbustivo xeromorfo subespinoso (charrascal) y vegetación secundaria, pino cubensis (pino de Moa) y plantas latifolias, muchas de ellas endémicas de esta región, formando bosques típicos sobre las laderas.

En el área, el único tipo de vegetación natural que se conservaba, junto con el manglar es el bosque de pinos con *Pinus Cubensis* antropizado, pero está fuertemente impactado por la actividad de derrame de colas, formando parches que están altamente fragmentados. Esta vegetación se clasificó en dos variantes, que corresponden a los dos extremos del estado de modificación de este ecosistema en el área, pero en el terreno se presentan gradaciones entre estos dos rangos.

La variante natural de este tipo de vegetación está conformada por bosques tropicales aciculifolios y perennifolios desarrollados sobre un suelo ferrítico

púrpura típico sobre rocas del complejo ofiolítico. Presenta un estrato arbóreo donde domina la especie *Pinus cubensis* y también abundan elementos de bosque pluvial (Vales et al., 1998).

1.6 Características geológicas del territorio

Geológicamente el territorio de Moa se caracteriza por su gran complejidad, debido a la superposición de eventos con edades y estilos diferentes, que directa e indirectamente intervienen en la génesis, desarrollo y conservación de los yacimientos ferroniquelíferos; dando origen al desarrollo estructural de un cinturón plegado, representado por la corteza oceánica del arco volcánico cretácico, las cuencas superpuestas de primera y segunda generación y los sedimentos neoplatafórmicos.

El siguiente esquema geológico describe según la información del área de estudio las formaciones presentes en la región a escala original 1:250 000, tomado del instituto de geología y paleontología (I.G.P.) 2001.

[illegible]

Las rocas típicas del complejo ofiolítico están representadas en la región de estudio como parte del macizo Sagua – Moa – Baracoa por las peridotitas (tectonitas) que presentan un gran desarrollo caracterizándose por un predominio de las harzburgitas, y los gabros los cuales forman grandes

cuerpos incluidos en el complejo ultramáfico y el contacto entre ellos es mayormente tectónico.

El complejo vulcano – sedimentario está compuesto por basaltos amigdaloides y porfíricos con intercalaciones de hialoclastitas, tobas y calizas.

El Neoautóctono está constituido por formaciones sedimentarias depositadas en régimen de plataforma continental que yacen discordantemente sobre las unidades del cinturón plegado, predominando en ellas las calizas (masivas, biogénicas, organodetríticas y arcillosas), margas, calcarenitas y areniscas.

Sobre estas formaciones antes descritas se encuentran los depósitos cuaternarios de génesis continental y pequeños espesores que constituyen una cobertura prácticamente continua, los mismos están constituidos por calizas con gran contenido de fauna (moluscos contemporáneos), aleurolitas, arenas margosas y arcillas.

En la región de estudio se distribuyen los sedimentos de la Formación Punta Gorda constituida por depósitos palustres y la Formación Río Macío representada por depósitos en valles aluviales de composición y granulometría heterogénea. Subyaciendo a estas formaciones geológicas se encuentra el complejo de ofiolitas, que se extienden como un cinturón que aflora en gran parte del norte de la provincia Holguín. En el área las ofiolitas están representadas por serpentinitas del tipo harzburgitas y peridotitas serpentinizadas en diferente grado.

Río Macío (Holoceno):

Está integrada por los materiales aluviales de las terrazas de los ríos Moa, Cabañas y Cayo Guam (CGCO, 1980). La estratigrafía es bastante compleja, encontrándose hasta 8 capas donde es muy difícil poder definir la continuidad de las diferentes capas. En la zona de estudio, terrazas del río Moa, el área es de unos 10 Km² de extensión y su espesor de 25-35 m, está formado por los

sedimentos aluviales depositados por el río Moa y el Cabañas. La granulometría está compuesta por gravas, arenas, limos y arcillas (INRH, 1986). Se encuentran pellets de hierro de diferentes tamaños y fragmentos de rocas ultramáficas serpentinizadas (peridotitas harzburgitas). La mineralogía se caracteriza por la presencia de óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio. Los minerales de hierro son hematita, goethita, magnetita, y de aluminio principalmente gibsita. Además hay pequeñas cantidades de montmorillonita que no sobrepasan el 1%. El contenido de materia orgánica en la parte superior del corte (primeros 2 m) puede llegar al 1% del peso total (INRH, 1986) (Rodríguez Pacheco 2002).

Formación Punta Gorda:(Mioceno)

Está constituida por suelo lateríticos redepositados y pequeñas capas de material terrígeno carbonatado de granulometría variada, presentando lentes de material arenoso y capas de material limo-arcilloso. En ella es posible diferenciar una capa de margas masivas de unos 40 cm de espesor. Están presentes diferentes capas de material areno-arcilloso y pellets de hierro de diferentes tamaños (entre 1-15 mm). En los minerales predominan los óxidos e hidróxidos de hierro (goethita, espinelas de cromo, hematitas), carbonatos, así como gibsita y montmorillonita (anexo1b). En esta formación se ha reportado la presencia de piritita (Formell y Oro, 1980). (Rodríguez Pacheco 2002).

Ofiolitas

Estas rocas afloran como una serie de cuerpos alargados en la mitad septentrional de la isla de Cuba lo largo de una franja discontinua de más de 1000 km de largo y hasta 30 km de ancho, entre la localidad de Cajalbana al oeste y Baracoa al este, ocupando una extensión superior a los 6500km². Desde el piso hasta el techo estos complejos rocosos se encuentran divididos estratigráficamente en las siguientes zonas fundamentales: a) una zona de harzburgitas con textura de tectónicas; b) una zona de harzburgitas que

contiene principalmente cuerpos de dunitas, peridotitas “impregnadas” (con plagioclasas y clinopiroxeno), sills y diques de gabros y pegmatoides gabróricos, así como cuerpos de cromititas) una zona de gabros, y d) el complejo vulcano-sedimentario. (Iturralde, 1998).

1.6.1 Características geológicas del área de estudio

De acuerdo a los informes ingenieros geológicos el área investigada presenta un corte poco complejo que en orden descendente está constituido litológicamente por capas: relleno formado por laterita y colas, cieno, arcilla muy plástica, sedimentos marinos, arcilla plástica, eluvio de serpentinita y serpentinita muy alterada.

Relleno de laterita

El relleno de laterita sobreviene dentro de los diques pueden describirse como rojo oscuro a marrón rojizo, suelo laterítico húmedo a mojado derivado de la roca dura extremadamente alterada. Está compuesto generalmente de cieno arcilloso inorgánico a cieno arenoso con algunas gravas y tiene plasticidad mediana. La laterita, la cual se trajo de la cantera de préstamo del área de minería de ECG, se situó en los diques.

Colas

Las colas pueden describirse como de húmedas a mojadas, oscuras, de cieno inorgánico a arena fina que exhiben baja plasticidad. La consistencia de las colas varía de suelta a muy suelta.

Aluvión fino

Los depósitos de aluvión fino incluyen cieno, arena de granulometría fina y alguna arcilla típica de fluido plano o sedimentos del delta del río Este material probablemente se depositó del río Moa y generalmente tiene un alto contenido de materia orgánica más cercana a la superficie. El material se describe mejor

como de negro a verde a verde rojizo, cieno arcilloso arenoso inorgánico mojado que exhibe una plasticidad de mediana a alta. Ocurren algunas capas de arenas más limpias en algunas áreas en formas de lentes. El estrato se encuentra generalmente en un estado blando con capas firmes en profundidad. El aluvión fino se considera que sea altamente susceptible a la licuefacción.

Aluvión mediano

Subyacente al aluvión fino, se encuentra generalmente un depósito de granulometría mediana de aluvión, sin embargo se mezcla también con el aluvión fino alrededor del sitio. El estrato se depositó probablemente por flujos moderadamente veloces de los canales que pasan del río Moa. El material en este estrato se describe mejor de un marrón a un gris oscuro verdoso, cienoso, arena mojada con huellas de algunas arcillas y grava variante y contenido de adoquines.

Aluvión grueso

El material en este estrato se describe mejor como gris, arenoso, grava mojada con adoquines y algunas rocas. Es típico del material depositado por los flujos de mayor velocidad, probablemente de los canales que pasaron del río Moa. El aluvión grueso está de un estado compactado a muy denso basado en los valores El material se describe como grava con indicios de arena y cieno.

Cieno orgánico

La capa de cieno orgánico contiene bolsas de materia orgánica y se depositó en un ambiente litoral o costero de los pantanos del manglar. De forma general, el estrato se describe mejor como de marrón a un gris verdoso, de mojado a muy mojado, cieno orgánico con arena fina y arcilla, que contiene bolsas de materia orgánica fina a gruesa. El cieno orgánico tiene consistencias de muy blandas a firmes de arcilla de variación, cieno, arena y grava y contiene materia orgánica y pedazos de madera.

Sedimentos marinos

Sedimentos marinos y generalmente subyace la capa de cieno orgánico o, en algunos casos se encuentra dentro del aluvión fino. Este material es típico de los sedimentos de granulometría fina depositados en un ambiente marino y que contiene evidencia de organismos marinos y fragmentos de conchas. De forma general, este estrato se describe mejor como de gris oscuro a verde, muy mojado, cieno arcilloso con arena fina. El material es de muy blando a duro en consistencia basado en los valores registrados de resistencia. Los sedimentos marinos se consideran como altamente susceptibles a la licuefacción basada en los resultados de pruebas de índice in situ.

Serpentina alterada

La serpentina alterada es típica de una roca altamente alterada o suelo residual (saprolita), y se describe mejor como un rojo marrón amarilloso, de húmeda a mojada, cieno arenoso altamente plástico con alguna arcilla y huella de grava. El estrato generalmente exhibe una consistencia de resistente a dura.

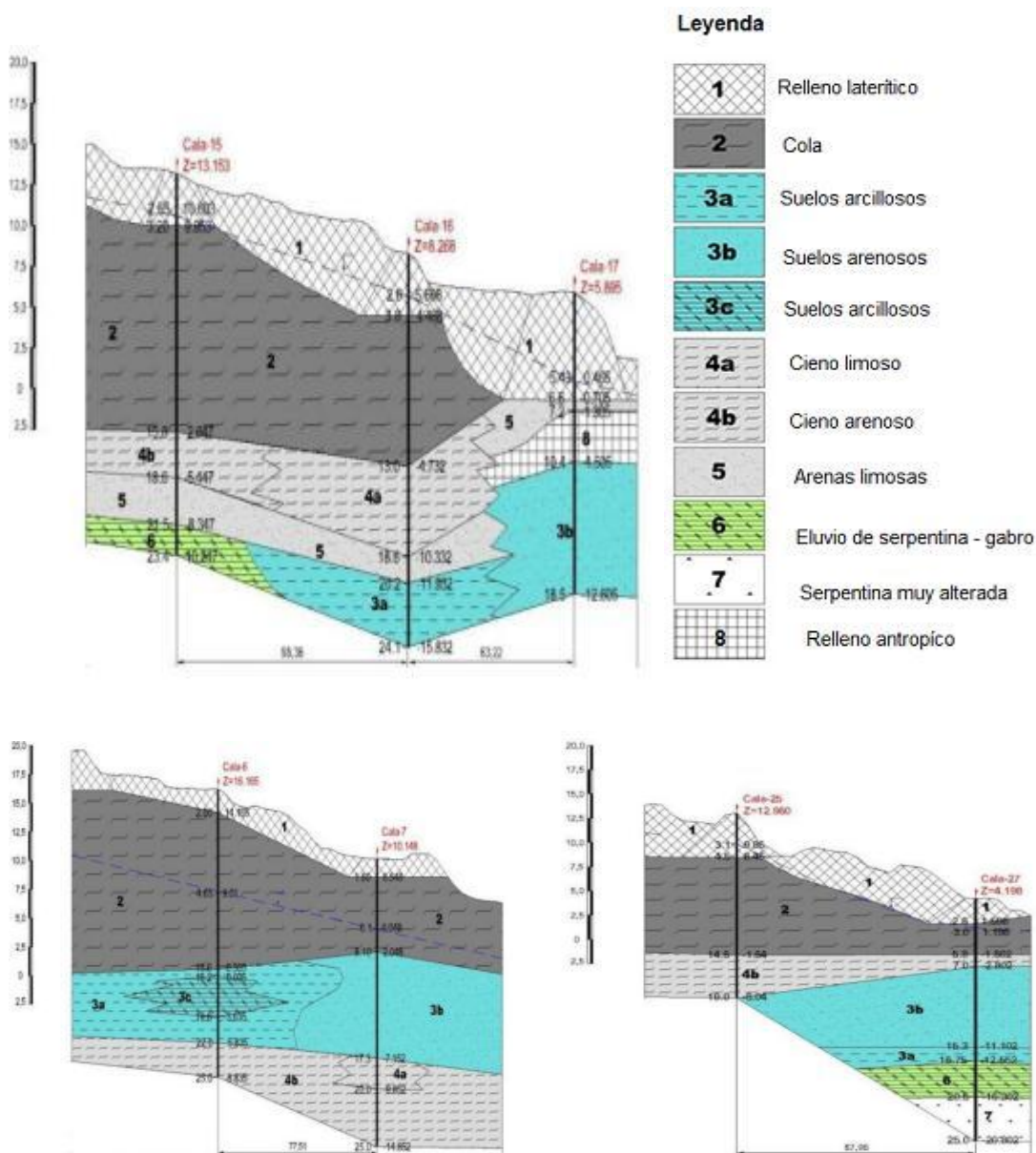
Laterita residual y coluvial

La laterita natural o residual se encuentra generalmente en la superficie. La laterita es típica de una roca dura extremadamente alterada o suelo residual y se describe mejor como de roja oscura, a rojiza marrón, mojada, cieno inorgánico, arcilla, arena y grava ferruginosa cuando se rompe de su estado naturalmente cementado. La laterita residual se encontró directamente recubriendo la serpentina alterada.

En la siguiente figura se representan una serie de perfiles que se confeccionaron a partir de la realización de calas que se desarrollaron en la presa de residuos mineros metalúrgicos de la empresa Cmte. Ernesto Che Guevara. Estas investigaciones ingeniero geológicas permitieron conocer las

capas por la que están constituidos los diques de la presa de colas como se muestra en la siguiente tabla.

Figura 4: Perfiles ingeniero geológico de la presa de colas Comandante Ernesto Che Guevara.



1.7 Tectónica.

La tectónica es compleja, en ella se manifiesta la superposición de fenómenos tectónicos como el intenso plegamiento de las secuencias más antiguas (gabros y serpentinitas), las cuales se desarrollan en un ambiente de compresión máxima, mientras que las más jóvenes (sedimentos cuaternarios palustres y fluviales) se han desarrollado bajo esfuerzos de tracción; estos esfuerzos han originado sistemas de fallas que dividieron la zona en una serie de bloques, que enmascaran las estructuras más antiguas las cuales se pliegan en dirección noreste – sureste, noroeste – suroeste y norte – sur.

El principal sistema de falla del territorio es el del eoceno medio, constituido por fallas de dos direcciones: noreste y norte – noroeste que se cortan y desplazan mutuamente siendo las más abundantes, de mayor extensión y límites principales de los bloques morfotectónicos; su génesis se asocia al proceso de colisión del arco volcánico cretácico sobre el paleomargen de Bahamas y están representadas en la región por las fallas: Los Indios, Moa, Miraflores, Cabaña, Maguey, Cayo Guam y Quesigua.

Falla Los Indios: Se extiende desde la parte centro meridional del área al oeste de Cayo Chiquito, atravesando hacia el norte la Bahía de Cananova y reflejándose dentro de la zona nerítica marina a través del desplazamiento de la barrera arrecifal y los depósitos litorales. En varios puntos esta estructura aparece cortada y desplazada por fallas de dirección norte-noreste. Su trazado es en forma de una línea curva cóncava hacia el oeste-sudoeste con un rumbo que oscila entre los 10° y 30° oeste en los diferentes tramos que la conforman.

Falla Moa: Dentro del territorio es la estructura de mayor extensión y su trazo corresponde con una línea cóncava hacia el este con el arco mayor en la zona de Calentura, haciéndose más recta hacia el norte con una dirección de N48°E, mientras que en su parte meridional tiene un rumbo N25°W.

En la parte norte esta estructura se bifurca en dos tramos, uno de rumbo N35°E denominado La Vigía y el otro de rumbo N74°E nombrado La Veguita, el que atraviesa la zona marina perilitoral, hasta cortar la barrera arrecifal a la cual limita y afecta, pues en el bloque oriental de la falla la barrera como tal desaparece, quedando reflejada sólo como un banco de arenas, lo que constituye un indicador del sentido de los desplazamientos.

Falla Miraflores: Se extiende en forma de arco cóncavo hacia el este-noreste con un trazo casi paralelo a la falla Moa, con un rumbo N25°W desde el límite sur del área hasta Cayo Chiquito y desde aquí hasta Punta Majá con una orientación N35°E. Su límite meridional al parecer lo constituye la falla Moa al sur del área de trabajo.

Falla Cabaña: Se extiende desde el extremo centro occidental del área, al noroeste del poblado de Peña y Ramírez hasta el norte de la ciudad de Moa, cortando la barrera arrecifal y limitando el extremo oriental de Cayo Moa Grande.

En su parte meridional presenta una orientación N70°E hasta la zona de Zambumbia donde es truncada por un sistema de fallas submeridionales, aflorando nuevamente con nitidez al nordeste del poblado de Conrado donde inicia su control estructural sobre el río Cabaña. En las cercanías de Centeno esta estructura es cortada y desplazada por la falla Cananova tomando una orientación N56°E la que mantiene hasta penetrar en el océano Atlántico.

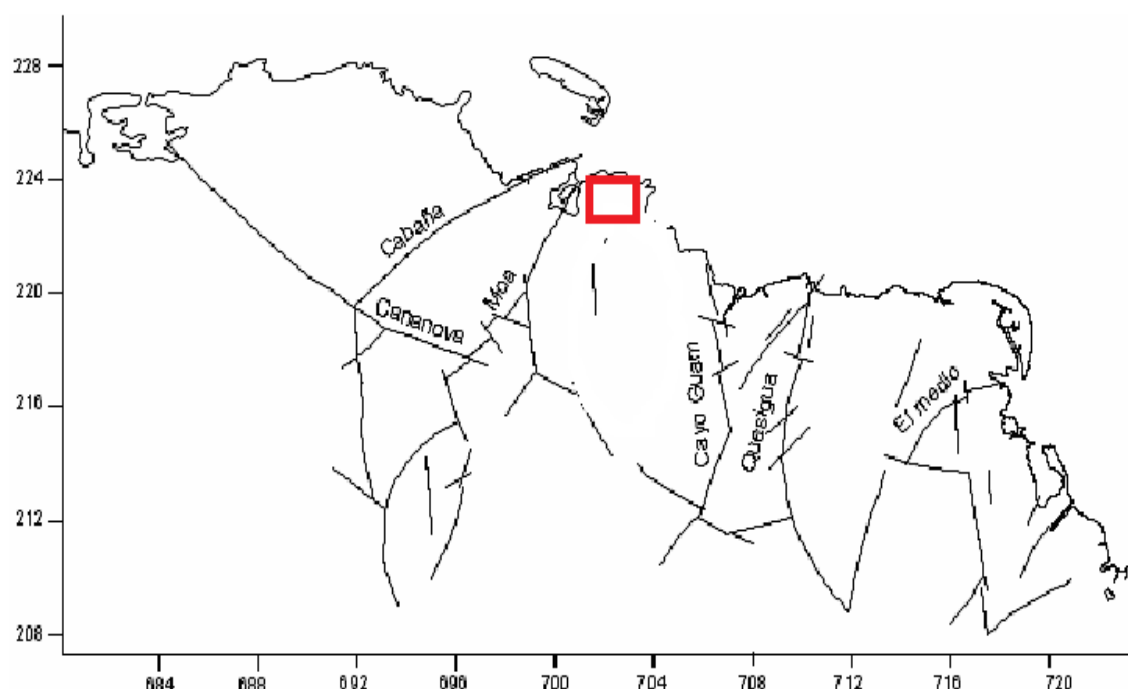
Falla Maquey: Limita y contornea las estribaciones septentrionales de la Sierra del Maquey. Aflora desde la zona de Hato Viejo hacia el sur de La Colorada, asumiendo un rumbo N65°E por más de siete kilómetros hasta Calentura abajo donde se cruza con las fallas Moa y Caimanes. En su parte más occidental mantiene una orientación N78°E siendo cortada y desplazada por estructuras de orientación noroeste.

Falla Cayo Guam: Con una dirección N15°W, se extiende desde la parte alta del río de igual nombre, siguiéndose con nitidez hasta Punta Yagrumaje. Al igual que la falla Los Indios, esta estructura aparece cortada y desplazada en varios tramos por fallas de dirección noreste y sublatitudinales.

Falla Quesigua: Se expresa a través de un arco con su parte cóncava hacia el este nordeste, manteniendo en su parte septentrional, donde su trazo es más recto un rumbo N10°E y en la meridional, N40°W. Se extiende desde la barrera arrecifal hasta interceptar el río Jiguaní al sudeste del área de trabajo.

En las estructuras disyuntivas son características los ángulos de buzamientos abruptos, la presencia de espejos de fricción y asociados a estos una serie de estructuras secundarias como grietas y plegamientos.

Figura 5. Ubicación en el marco tectónico regional del área de Yagrumaje en rojo. Tomado del esquema representativo de las principales fallas según Rodríguez (1998).



Los principales bloques presentes en el area de estudio son:

Bloque Moa:

Se encuentra ubicado en la parte centro occidental de Moa, al este del bloque Cabaña con el cual contacta a través de la falla de igual nombre y al este con el bloque El Toldo según la falla Moa, extendiéndose de norte a sur en forma de una franja cóncava hacia el este. En este bloque afloran las rocas del complejo ofiolítico en el mayor por ciento de su superficie. Hacia el sur, en la zona de Calentura afloran las rocas cretáceas de la formación Santo Domingo, mientras que hacia el norte existe una extensa área de desarrollo de sedimentos fluviales y palustres del Cuaternario. Geomorfológicamente para el bloque es predominante el relieve de montañas bajas de cimas aplanadas ligeramente diseccionadas lo que junto a las condiciones litológica permite, que en el sector exista un intenso desarrollo y conservación de las cortezas de meteorización lateríticas, que a su vez condicionan las densidad del drenaje que sólo aumenta en las laderas abruptas, coincidiendo con las alineaciones tectónicas. Los cursos de agua permanentes van a presentar cauces en forma de barrancos profundos y estrechos. Hacia el norte el relieve transiciona a premontañas bajas y aplanadas y de ahí a llanuras fluviales y palustres las cuales se encuentran cubiertas por las construcciones socioeconómicas de Moa. Morfométricamente el bloque va a presentar características intermedias y contrastantes con las elevaciones máximas del este y la llanura fluvial del río Cabaña lo que conjuntamente con los valores hipsométricos hace considerar al mismo un peldaño intermedio de transición en la estructura escalonada regional. Microtectónicamente las mediciones realizadas al norte de Nuevo Mundo y de Calentura dan para este bloque una dirección predominante de los planos de fractura de N20°E. Inicialmente el límite noreste del bloque fue considerado como la prolongación de la falla Moa en la estructura La Vigía que atraviesa la Bahía Yaguasey, pero estudios más detallados nos permitieron determinar su

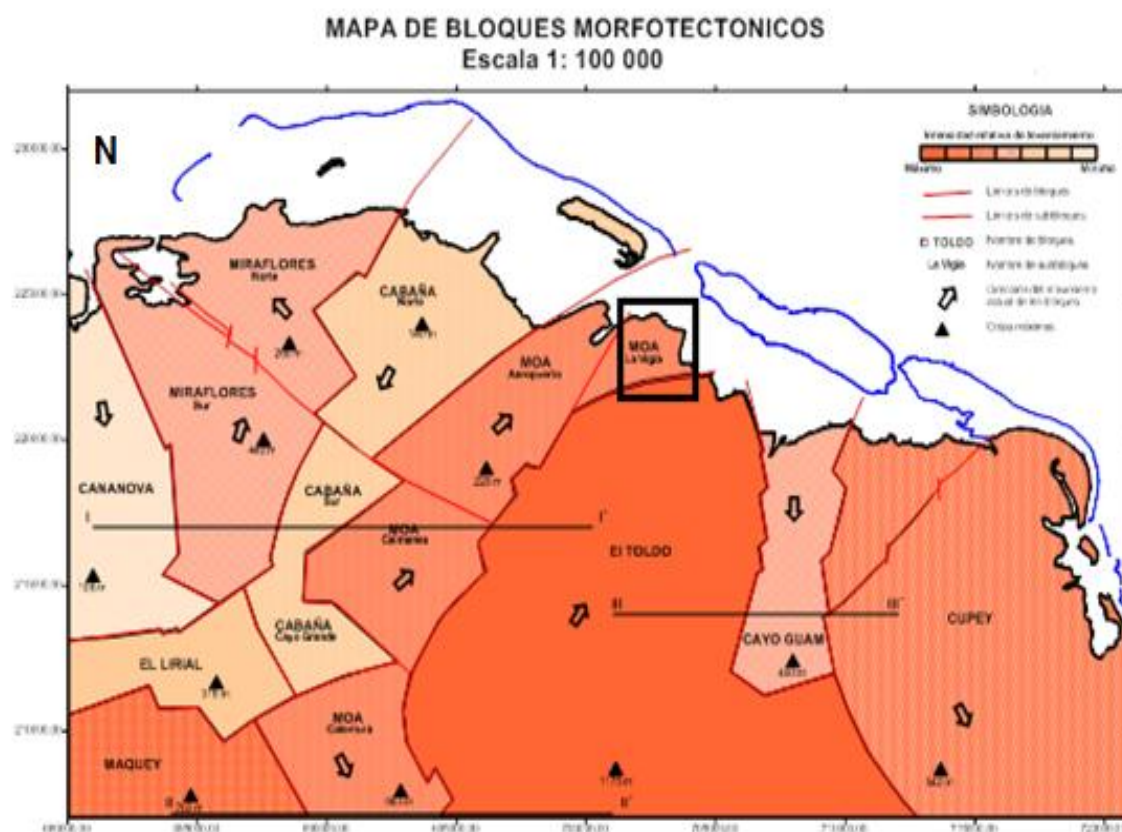
límite exacto que se desplaza hacia el este al norte de La Veguita extendiéndose hasta Punta Yagrumaje (A. Rodríguez1998)

Bloque El Toldo:

Ocupa la posición central de Moa y es el de máxima extensión, correspondiéndole también los máximos valores del levantamiento relativo de la región. Litológicamente está conformado en superficie por las rocas del complejo máfico y ultramáfico de la secuencia ofiolítica, sobre las cuales se ha desarrollado un relieve de montañas bajas de cimas aplanadas ligeramente disecionadas. Hacia la parte norte se desarrollan en un pequeño sector premontañas aplanadas. El drenaje es de densidad media a baja, lo que está condicionado por las potentes cortezas de intemperismo que cubren al área y favorecen la permeabilidad del suelo y al intenso control estructural del drenaje que condiciona la formación de barrancos. En este bloque aparecen desarrolladas formas del relieve cársico en peridotitas ubicadas alrededor de las elevaciones máximas, siendo el punto de mayor cota El Toldo con 1174 m sobre el nivel del mar. Los parámetros morfométricos para este bloque son los más relevantes al tomar valores que indican la máxima intensidad de levantamiento con isobasitas que cierran en 900 m y 800 m para el 2^{do} y 3^{er} orden respectivamente y valores de la disección vertical de 550 m/km². Hacia la parte norte, en su prolongación dentro de la zona marina puede notarse la pérdida de la barrera arrecifal desde la intersección de la falla La Veguita hasta la falla Quesigua, donde sólo queda como testigo de su existencia un banco de arena de morfología similar, lo que se considera constituye un índice de los movimientos diferenciales entre los bloques. Los análisis microtectónicos realizados para el bloque indican la existencia de una dirección máxima de agrietamiento de rumbo N85°W, apareciendo otras dos direcciones importantes, una sublongitudinal y una de dirección noreste. En este bloque y sólo de forma similar ocurre en los bloques Maguey y Cupey, aparece el sistema de fracturas norte-sur en el cual no se manifiestan desplazamientos horizontales y verticales

intensos, lo que consideramos se debe a un proceso de descompresión, al ser el bloque de máxima intensidad de levantamiento reciente. El límite nororiental de este bloque está dado por la falla Cayo Guam, mientras que al sur limita con el bloque Cupey a través de la falla Quesigua. (A. Rodríguez 1998)

Figura 6: Versión digital del mapa de Bloques Morfotectónicos del área (Escala original 1:100000). (Modificado de Rodríguez A.1998).



1.8 Características hidrográficas e hidrogeológicas.

La región se caracteriza por una red hidrográfica de tipo dendrítica que corre de sur a norte, dentro de la cual las principales corrientes son los ríos: Cabaña, Moa, Yagrumaje, Punta Gorda, Cayo Guam y Quesigua, los cuales desembocan en la costa Atlántica siendo las lluvias su principal fuente de alimentación.

Desde el punto de vista hidrogeológico han sido identificados cuatro sistemas acuíferos, de los cuales los más extendidos son los correspondientes al complejo ofiolítico y a las cortezas de intemperismo lateríticas. Los otros dos sistemas se desarrollan en sedimentos aluviales de terrazas fluviales y en sedimentos costeros que aunque no ocupan una extensión significativa resulta imprescindible conocer sus peculiaridades hidráulicas e hidroquímicas, pues son los sedimentos sobre los cuales se asientan los diques de la presa de colas.

1.9 Procesos Geodinámicas y Antrópicos.

Los fenómenos físico-geológicos presentes en el área estudiada son:

Meteorización: Está vinculado con la formación de potentes cortezas lateríticas sobre rocas ultrabásicas y básicas. Las condiciones climáticas, geomorfológicas, tectónicas y características mineralógicas de las rocas existentes favorecieron los procesos de meteorización química del medio y ha dado lugar a una corteza de intemperismo compuesta por suelos lateríticos muy ricos en óxidos de Hierro y Aluminio, con espesores variables.

Erosión: Se debe a la acción de corrientes temporales, dando lugar a la formación de surcos y grandes cárcavas en los suelos, ocasionadas por el escurrimiento de las precipitaciones atmosféricas.

En el área de estudio, en gran parte de los diques que conforman la presa de colas se manifiesta en diferentes grados la acción de los procesos erosivos, es en el dique sur donde se observan con mayor intensidad.

La erosión en el área de estudio ha provocado cárcavas de importancia, donde se ha socavado el espesor de la laterita descubriéndose las colas, este proceso va acompañado de arrastre de los distintos tipos de materiales presentes en el cuerpo del dique.

1.10 Sismicidad.

La región de Moa se encuentra localizada al noreste de la provincia Holguín y norte y noreste de la provincia Guantánamo, en lo que podría llamarse una zona de transición entre el límite sur de la placa Norteamericana y los territorios de Cuba pertenecientes al interior de la misma. Esto conlleva a que se presente una sismicidad moderada (Cotilla et al., inédito), debido a la influencia de la principal zona sismogeneradora de Cuba (falla Bartlett - Caimán) y de estructuras de menor orden como la Cauto - Nipe, la Cauto - Norte y la parte oriental de la Norte - Cubana.

Para la zona que incide sobre Moa se valora el comportamiento de la actividad sísmica en el período de 1964 al 2010 para eventos con magnitudes mayor o igual a 2.5 en la escala de Richter en toda la región Oriental, tomada de esta forma por la incidencia que pueden tener los sismos con estas magnitudes o mayores en nuestra zona de estudio.

La sismicidad vinculada con magnitudes menores de 1.5 en la escala de Richter, generalmente es considerada como “sismicidad de fondo”, formando parte de la sismicidad de interior de placas, la cual no produce ningún efecto en edificaciones presentes en el área de estudio.

El 2004 fue un año en el cual ocurrieron varias series de terremotos en la región Oriental con un número elevado de sismos con magnitudes mayores de 2.5. El brusco aumento a finales de 1998 y principios del año 1999, se debe a la ocurrencia de dos terremotos perceptibles de gran energía registrados al Norte de Moa, cuyos efectos se sintieron fundamentalmente en la zona de referencia, uno el 28 diciembre de 1998 y otro el 5 de julio de 1999, que tuvieron réplicas del orden de los 1000 eventos (SSSN, 2010).

La sismicidad como factor primario de los efectos de los terremotos en el área ha sido discutida en diversos trabajos, así como la potencialidad de las zonas sismogeneradoras que afectan al área de estudio. Importante es destacar

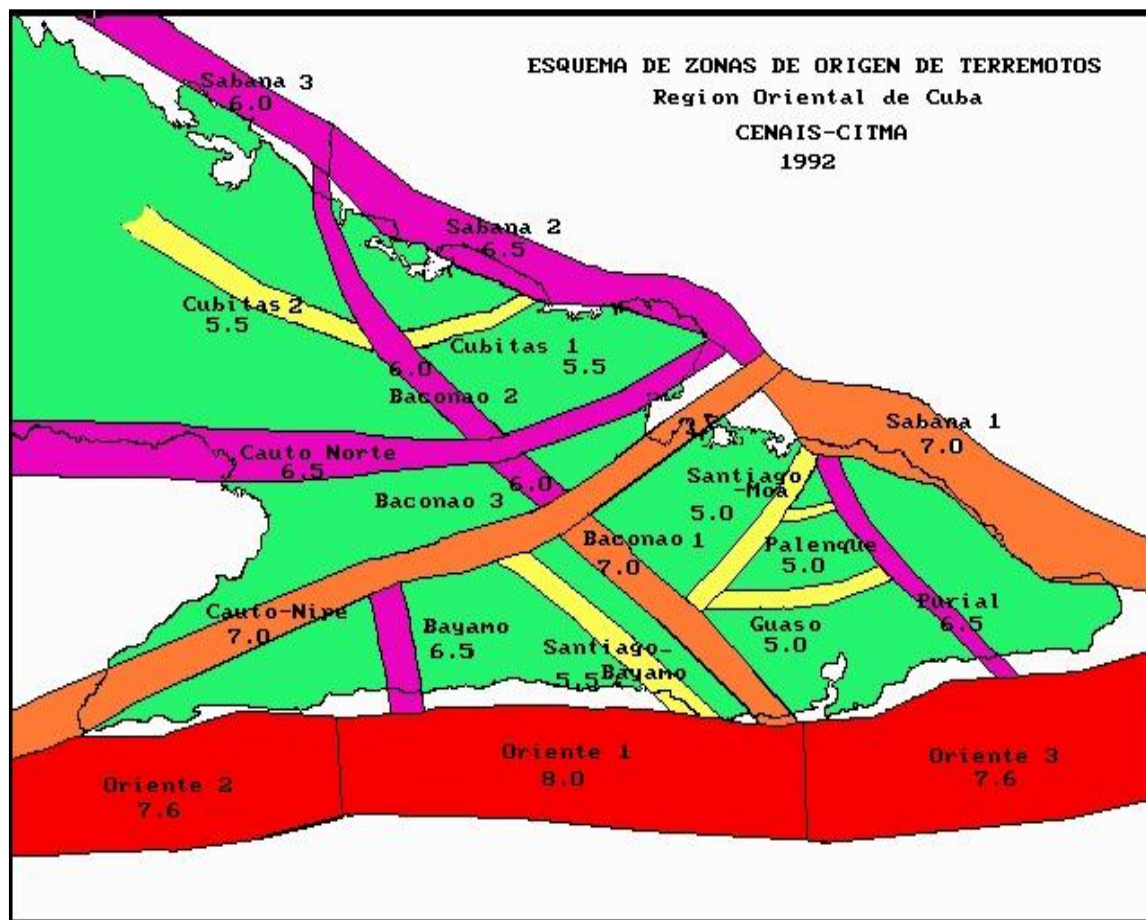
terremotos con niveles de perceptibilidad en Moa en marzo/1992, el 28 de diciembre/1998 y el 5 de julio/1999; en el campo cercano han ocurrido en Santiago de Cuba el 12 de junio/1766, el 20 de agosto/1852, el 26 de noviembre/1852, el 3 de febrero/1932 y el 7 de agosto/1947, así como terremotos importantes al norte de La Española, que por el campo de isosistas pudieron sentirse con fuerza en el sitio (ver Tabla 1).

El segundo factor, efecto de los terremotos a diferentes distancias, ha sido ampliamente estudiado en Cuba para el caso de las intensidades sísmicas. En Álvarez y Chuy (1985), puede encontrarse la descripción del modelo propuesto por estos autores en el cual se caracteriza el campo macrosísmico en forma de Isosistas elípticas. Con este modelo se ha podido caracterizar una buena parte de las Zonas Sismogeneradoras del país, incluyendo las que inciden en el área de estudio.

Tabla 1. Intensidades estimadas en la ciudad de Moa por terremotos con epicentro en diferentes zonas sismogénicas. Magnitud (Ms) e Intensidad (MSK - EMS).

Año Mes/Día	Ms	Zona del epicentro	Intensidad
1551	5.8	Bayamo	4.0
1624 oct	5.2	Bayamo	3.0
1766 jun/12	7.6	Santiago de Cuba	6.5
1842 may/7	8.2	La Española	7.0
1852 ago/20	7.3	Santiago de Cuba	6.5
1887 sep/23	7.9	La Española	7.0
1932 feb/3	6.8	Santiago de Cuba	5.5
1946 ago/4	8.1	La Española	5.0
1947 ago/7	6.8	Santiago de Cuba	5.5
1992 mar/20	4.5	Moa	6.0
1998 dic/28	5.5	La Española	6.0
1999 jul/5	4.0	Moa	5.0

Figura 7: Zonas sismo generadoras principales que afectan al territorio oriental de Cuba, dentro de ellas se observan subzonas que afectan a Moa de manera directa. Tomado de Chuy (1997).



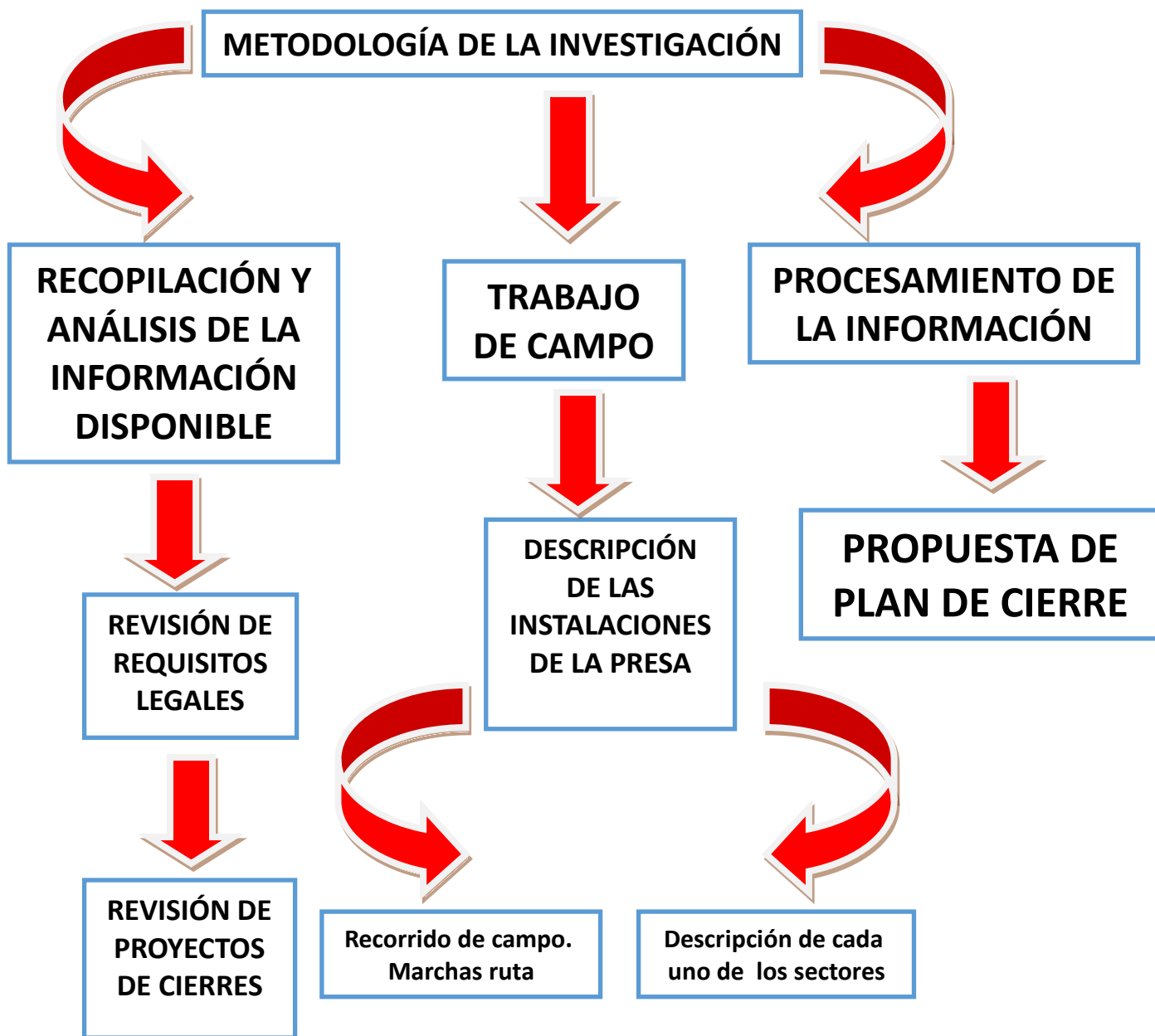
CAPITULO II. Metodología de la Investigación:

Introducción

El presente capítulo muestra la metodología empleada para proponer el Plan de cierre definitivo de la presa de residuos mineros de la Empresa Cmte. Ernesto Che Guevara, a partir de las tres etapas preestablecidas, iniciando desde la revisión de los trabajos precedentes, de información obtenida de Internet sobre cierre de minas y manejo de presas de depósitos de colas y otros trabajos de cierre de minas ejecutados en CEPRONIQUEL, esta parte ocupó el mayor volumen de tiempo de trabajo. Luego se realizó la etapa de recorrido por la instalación corroborando los resultados de la investigación de Jadier Góngora Blet y finalmente se procesó toda la información obtenida lo que nos permitió hacer la propuesta de un Plan de cierre definitivo para la presa de residuos mineros de la Empresa Cmdt. Ernesto Che Guevara.

2.1 Etapas de la investigación.

En el siguiente diagrama de flujo se describe la estructura de la Metodología de la Investigación a seguir para dar cumplimiento a los aspectos planteados.



2.1.2 Recopilación y análisis de la información disponible

Esta se define como la etapa preliminar del capítulo, en ella se define en gran medida todo los trabajos precedentes que se ha hecho relacionado con el objeto de estudio. La revisión de estos trabajos es de gran importancia ya que sirve como punto de partida para la presente investigación.

Para el desarrollo de esta etapa se consultaron varios trabajos, también la base de datos con que cuenta el Centro de Información del ISMM y el empleo de su biblioteca virtual insertada en su página web <http://www.ismm.edu.cu>.

Se consultaron artículos, revistas técnicas, materiales actualizados, nacionales e internacionales, relacionados con el tema de cierre de faenas mineras, haciendo énfasis en los cierres de presas de colas.

Se revisaron La Ley 81 de Medio Ambiente y La Ley 76 de Minas de 1995 , esta última en el Artículo 85 donde plantea que el concesionario estará obligado a crear una reserva financiera en una cuantía suficiente para cubrir los gastos que se deriven de:

- Las labores de restauración del área de la concesión y de las áreas devueltas. El plan de control de los indicadores ambientales.
- Los trabajos de mitigación de los impactos directos e indirectos ocasionados por la actividad minera.

En el capítulo XV que se refiere al cierre de minas y la paralización o suspensión de la actividad minera y el Artículo 96 que dice que el titular de una concesión de explotación, de procesamiento o ambas podrá cerrar temporalmente la mina y demás instalaciones, con la aprobación previa del Ministro de Energía de Minas, por las causas establecidas en el Artículo 62 de la Ley de Minas.

Se revisaron materiales técnicos nacionales e internacionales:

1. Guía Metodológica para el Cierre de Faenas Mineras, buenas prácticas y gestión ambiental CHILE .Noviembre 2002.
2. Guía para la elaboración y revisión de planes de cierre de minas Ministerio de Energía y Minas del PERU. 2002.
3. Guía Ambiental Para el Cierre y Abandono de Minas.
4. Guía Ambiental Para el Manejo de Relaves Mineros.
5. Guía para la elaboración de planes de cierre de pasivos ambientales mineros República del Perú ministerio de energía y minas.
6. Guía ambiental para la estabilidad de taludes de depósitos de desechos sólidos de minas Elaborada para: Ministerio de Energía y Minas Dirección General de Asuntos Ambientales Lima 41, Perú Elaborada por Erik A. Rennes, Shepherd Miller, Inc.3801 Automation Way, Suite 100 Fort Collins, CO 80525 - EE.UU.(1) 970 223-9600 Agosto de 1997.
7. Estudios ambientales como instrumentos para garantizar la seguridad de los depósitos de residuos mineros Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécnica, A.C.XXVI Reunión Nacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería Geotécnica Noviembre 14 a 16, 2012 – Cancún, Quintana Roo
8. Taller Panamericano sobre Cierre de Faenas Mineras Junio 19 - 20 de 2001 Santiago, Chile.
9. Cierre de tranques de relaves en la mediana minería. Rene Rojas SM. Depto. de Ingeniería y gestión ambiental. Sernageomin Santiago.
10. Guía ambiental de presas de colas, ministerio de desarrollo económico La Paz Bolivia .2011.
11. Consideraciones y propuesta de formato para la elaboración de planes de cierre de minas. Ing. Rafael A. Falero Salgado MSc. Geomecánica ONRM.

2.1.2 Trabajo de campo

Con el objetivo de obtener la información necesaria para proponer el Plan de cierre de la presa de colas se realizó un levantamiento ambiental por la obra con el objetivo de conocer la infraestructura e instalaciones auxiliares con que cuenta la presa así como su funcionamiento, dimensiones, los impactos ambientales generales que esta actividad genera sobre el medio ambiente, para ello se realizaron 2 salidas al campo abarcando los taludes ubicados en la zona norte, sur, este y oeste y la plataforma central.

2.1.3 Procesamiento de la información obtenida sobre la temática

Una vez seleccionada y revisada toda la información relativa a la temática se realizó el reconocimiento por el área donde se localiza la presa de colas se procedió a procesar toda la información obtenida con el objetivo de conocer el estado ambiental de la misma, esta parte de la investigación se compartió con el diplomante Jadier Góngora Blet.

Con el objetivo de lograr obtener todos los elementos para realizar la propuesta se revisaron todos los resultados obtenidos de la búsqueda bibliográfica, así como los requisitos legales vigentes en Cuba y se procedió a describir la propuesta del Plan de cierre de la presa de colas de la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara el cual contiene el Marco legal, normas cubanas, la descripción de la historia de la presa desde sus inicios, la evaluación de los impactos que genera la presa de colas, los objetivos del plan de cierre, las consideraciones especiales a considerar durante el cierre definitivo. Se definieron las actividades del cierre y las actividades de Postcierre con el mantenimiento y el monitoreo.

Se confeccionó además un cronograma en Microsoft Project que describe cada una de las actividades a ejecutar durante el cierre.

Con toda esta información se propuso un Plan de cierre para exponer al grupo Técnico de la Mina de la Empresa Ernesto Che Guevara con el objetivo de su ejecución.

Capítulo III. Propuesta para cierre definitivo de la presa de colas

Introducción

En el presente capítulo se describe la propuesta del Plan de cierre definitivo de la presa de colas de la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara. El mismo fue conformado a partir del diagnóstico ambiental realizado en las áreas que colindan la misma y la información recopilada de otros estudios realizados sobre la temática a nivel nacional e internacional y la normativa cubana ambiental legal vigente.

A continuación se describen las actividades que deben formar parte del cierre definitivo y posteriormente se detallará en qué consiste cada una de ellas, incluidas las actividades propias del proyecto de ejecución.

El Plan de cierre de la presa de colas de la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara consta de las siguientes partes:

1. Objetivos del Plan de cierre.
2. Ubicación del área donde se ejecutará el cierre.
3. Descripción de la Historia del depósito de colas.
4. Diagnóstico ambiental de la presa de colas.
5. Descripción de los impactos provocados por la presa de colas.
6. Marco Legal a considerar en el cierre de la presa de colas.
7. Consideraciones especiales considerar durante el Cierre definitivo.
 - Control Hidrológico.
 - Control de filtración.
 - Control de Polvo.
8. Actividades de cierre.
 - Desmantelamiento.
 - Demolición, Recuperación y Disposición.
 - Rehabilitación técnica y biológica.

- Soluciones hidráulicas
- Monitoreo de postcierre.
- Actividades de Mantenimiento Post-Cierre.
- Solicitud de los permisos a los organismos de consulta.
- Cronograma de ejecución.

3.1. Objetivos del Plan de cierre

La presente propuesta de Plan de Cierre definitivo tiene como principal objetivo el cumplimiento de las normas técnicas y ambientales de minería, aplicables y vigentes, así como la política establecida según los requisitos legales cubanos vigentes.

El Plan de Cierre consiste en la preparación de las condiciones para la prevención, minimización y control de impactos ambientales, sociales, de salud y seguridad durante la etapa del cierre definitivo de las operaciones. El Plan de Cierre se enmarca en los siguientes objetivos.

Los objetivos principales del planeamiento e implementación de las actividades del cierre son los siguientes:

1. Cumplir con los requisitos legales, regulaciones ambientales, consideraciones de la comunidad a largo plazo.
2. Estabilización física, geoquímica e hidrológica de los componentes, minimizando el impacto ambiental.
3. Determinación de las condiciones del posible uso futuro de dichas áreas o instalaciones.
4. Proteger la salud y seguridad pública.
5. Elaboración de programas sociales del cierre, los cuales guardarán correspondencia con las políticas de responsabilidad social.

3.2 Ubicación del área donde se ejecutará el cierre

El área objeto de la investigación se localiza al norte de la Planta y lo constituyen 8,92 km de diques con relieve irregular. Limita al norte con el Océano Atlántico, al sur con la carretera Moa- Baracoa, al este con el estuario del río Moa y al oeste con las instalaciones del Puerto de Moa.

3.3 Descripción de la Historia del proyecto

El 9 de marzo de 2004, la Empresa “Comandante Ernesto Che Guevara” solicitó a KPL que llevara a cabo la supervisión y las actividades de construcción del 2004. La construcción del 2004 se programó para incluir la continuidad del Plan de operación revisado a corto plazo. El trabajo se completó a través de Knight Piésold CCN Engineering. El 17 de Marzo 2004 Knight Piésold CC Engineering movilizó el personal para comenzar la supervisión de la construcción del 2004. Knight Piésold CCN Engineering (KPCCN) acordó ofrecer supervisión por el período completo de construcción, concebido para 9 meses (hasta finales de Noviembre). Knight Piésold CCN Engineering emitió 9 reportes mensuales de progreso de construcción que resumieron las actividades de construcción durante este período. La Empresa “Comandante Ernesto Che Guevara” continuó construyendo el dique hasta el 31 de Diciembre de 2004. El trabajo que se completó en Diciembre no se supervisó por Knight Piésold CC Engineering. El reporte “Resumen de construcción 2004 se emitió el 7 de Febrero de 2005.

Foto.1. Actividades de construcción, año 2004.



No se completaron los siguientes trabajos programados durante la Expansión de la Fase 1:

- Construcción del Dique Principal de la Fase 1 de las Estaciones 175+00 a 186+00.
- Reinstalación de la Línea 1 de Distribución de Colas (Sur).
- Instalación de la Línea de Entrega De Colas.
- Construcción del Aliviadero de la Cuenca de Agua.
- Construcción del Embalse de la Cuenca de Agua.
- Construcción de la Berma (contrafuerte) de la Cortina Suroeste.
- Construcción del Área de Reciclaje Noroeste.
- Construcción del Aliviadero del Área de Reciclaje Noroeste.

Se colocaron aproximadamente 120 000 metros cúbicos de relleno de laterita en el dique durante esta etapa. El volumen de diseño de la Fase 1 fue de 190 000 metros cúbicos. La Empresa “Comandante Ernesto Che Guevara” no completó la construcción de la Fase 1 y continuó las descargas no controladas al ambiente.

Se reconstruyó el aliviadero de reboso temporal. Contiene dos tubos de decantación para pasar flujos normales y un valle para pasar lluvias superiores durante la construcción y ofrecer acceso a los carros de acarreo durante la

colocación del relleno. Se instalaron dos tubos adicionales de decantación de 200 mm en la Estación 230 + 00 para disminuir el nivel del agua en esta área.

Existieron flujos turbios en la ubicación del aliviadero temporal durante los siguientes períodos:

- Durante períodos de altos vientos.
- Durante períodos cuando las descargas de colas de los simples puntos descargaron colas en la porción norte del embalse de agua.
- Durante períodos de lluvias moderadas cuando el nivel del agua desbordaba el valle.

El embalse de agua estuvo repleto y no hubo tiempo de clarificación suficiente antes de la descarga a través de los tubos de decantación. Una de las variantes para mejorar el tiempo de clarificación fue la construcción del dique en esta área con una elevación de 7 m. Además, no se inició la reconstrucción del embalse de la cuenca de agua permanente en la Estación 236 + 00 en el 2004.

En el 2005 Knight Piésold CC Engineering movilizó al personal el 6 de Abril para comenzar la supervisión de la construcción de 2005. Knight Piésold CC Engineering concebido para 9 meses la supervisión (hasta finales de Diciembre). Knight Piésold CC Engineering emitió 9 reportes mensuales de progreso de construcción que resumieron las actividades de construcción durante este período. La Empresa “Comandante Ernesto Che Guevara” desarrolló el trabajo de movimiento de tierra desde Enero hasta el 6 de Abril de 2005 sin la supervisión de Knight Piésold CC Engineering.

La construcción del 2005 se llevó a cabo durante el año en un intento de cubrir el atraso de construcción de 2004. Sin embargo, las capacidades de colocación de relleno continuaron siendo inferiores y no se completó el siguiente cronograma durante el año:

- Construcción del plan de operación revisado a corto plazo del dique principal de las estaciones 228 + 00 hasta 242 + 00 a una elevación de 7.0 m.

- Construcción del aliviadero del embalse de agua de la Fase 1.
- Construcción de la berma (contrafuerte) de la cortina suroeste de la Fase 1.
- Construcción del área de rehabilitación suroeste de la Fase 1.
- Construcción del aliviadero del área de rehabilitación suroeste de la Fase 1.
- Construcción del dique central de la Fase 2 de la estación 175 + 00 hasta 186 + 00.
- Construcción del dique principal de la Fase 2 de la Estación 211 + 00 hasta 235 + 30.
- Extensión de la berma (contrafuerte) de la cortina Suroeste de la Fase 2.
- Construcción del dique principal de la Fase 2 de la Estación 198 + 50 hasta 211 + 00.
- Construcción de la berma de la cortina sur de la Fase 2.
- Construcción de la berma de la cortina este de la Fase 2.
- Construcción del dique del embalse de agua revisado y aliviadero de reboso de la Fase 2.
- Construcción del dique del embalse de reciclaje de agua de la Fase 2.

Se depositaron aproximadamente 100 000 m³ de relleno de laterita en el dique durante 2005 de acuerdo a la contabilidad de los viajes de los camiones y estimados de factores de carga. El volumen de diseño de la Fase 2 era de 282 000 m³. La Empresa “Comandante Ernesto Che Guevara” no completó la construcción de la Fase 2 y continuaron las descargas incontrolables de colas y aguas residuales al medio ambiente.

Se colocaron aproximadamente 100 300 m³ de laterita en la FMCAR durante 2006 - 2007 de acuerdo a los estimados de conteos de camiones y factores de carga. De ellos se colocaron solamente 45 000 m³ en la línea de diseño. Los volúmenes programados fueron de 318 000 m³; por tanto, solo se colocó en el dique el 14 % del relleno requerido. La Empresa Che Guevara no completó la construcción requerida y continuaron ocurriendo descargas no controladas de

aguas residuales y colas al ambiente.

El nuevo equipamiento (leasing) dedicado a la FMCAR comenzó a operar en Agosto de 2008 y los resultados mostraron que la mayor parte del relleno del dique Fase 3 se ha ubicado y que hay alrededor de 9 meses de capacidad disponible de almacenaje en la FMCAR (hasta el 31 de Marzo de 2009). Se ubicaron aproximadamente 114 000 m³ durante los 9 meses del período que se reporta, lo cual promedia aproximadamente 415 m³/día y representa 47 % del relleno a ubicar de 880 m³/día. Debido al incumplimiento en la construcción, el aliviadero de reboso, la presa de agua, las bermas de refuerzo y los elementos de recuperación progresiva siguieron pendientes.

CCN inició los servicios de supervisión del sitio para la construcción del 2011 el 18 abril de 2011. El programa fue presupuestado para siete meses (hasta noviembre 18 del 2011) e incluía inspecciones diarias por Ceproníquel y seis inspecciones al sitio programadas regularmente por Knight Piésold. Ceproníquel suministraría reportes de la construcción semanalmente y Knight Piésold aprovisionaría el reporte resumiendo todas las actividades durante la construcción. El último reporte de KPL se emitió el 20 agosto 20, 2011.

Después del 29 de Septiembre de 2011 la Empresa “Comandante Ernesto Che Guevara” ha desarrollado el trabajo de movimiento de tierra sin la supervisión de Knight Piésold, ni de Ceproníquel, tampoco ha contado con proyectos de ingeniería para una nueva etapa (Fase 6) de recrecimiento de los diques (a conocimiento de Ceproníquel). Tampoco ha ejecutado estudios geotécnicos en el sitio.

3.4 Diagnóstico ambiental de la presa de colas

El diagnóstico ambiental de la presa de colas fue ejecutado en conjunto con el diplomante Jadier Góngora Blet, en su trabajo se describen los detalles de los resultados obtenidos, los cuales fueron tomados como base para la propuesta.

3.5 Descripción de los impactos ambientales provocados por la presa de colas

Todo impacto se evalúa por su capacidad de afectación que tenga sobre el medio que lo recibe, y esta valoración se determina por los atributos que posee el impacto, puede ser cuantitativa, cualitativa o ambas en caso de que la importancia de los mismos no se torne evidente y no se pueda estimar de forma sencilla.

En el caso que nos ocupa se hace solamente una evaluación cualitativa, pues los efectos de las acciones impactantes sobre el entorno son indiscutibles.

Los atributos asignados a estos impactos ambientales se exponen en los anexos y estos muestran claramente que la mayoría de los impactos tienen efectos negativos, son intensos, de gran extensión, se manifiestan de forma permanente con poca o ninguna mitigación (impactos residuales) y alta magnitud, lo que unido a todo lo expuesto en el diagnóstico ambiental, se puede resumir un estado ambiental de calidad insatisfactoria como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla.3.1. Descripción de los impactos ambientales provocados por la presa de colas.

ELEMENTOS IMPACTADOS	IMPACTOS IDENTIFICADOS	DESCRIPCIÓN DE LOS IMPACTOS IDENTIFICADOS
Geología y geomorfología.	Creación de un yacimiento artificial de minerales.	Como yacimiento la masa de colas creada tiene un gran valor de uso potencial, posee contenido industrial (ley del mineral), cantidad o volumen (reservas) suficientes para ser explotada y rentable su extracción.

	Incremento del peso sobre las capas geológicas inferiores.	<p>Se ha acumulado una densa y espesa capa de materiales pesados como la magnetita, que es predominante, y rompe el equilibrio creado por la evolución natural, esto trae consigo que se pronuncien los procesos de compactación y asentamiento de los suelos.</p> <p>El peso creado actúa directamente sobre las fallas existentes, lo que crea agrietamiento y aumenta los efectos de cualquier movimiento telúrico.</p>
	Formación de una capa nueva del suelo.	<p>Inicialmente se forma una corteza árida y adversa que, según las características del clima, sufre en cierto grado las consecuencias de la meteorización y cambia sus propiedades. El viento, el agua, los animales y las acciones antrópicas arrastran partículas de materia orgánica y de otros suelos que al ser depositados sobre las colas se mezclan y reaccionan con estas, pueden dar lugar a sustratos donde se condiciona (por adaptación o adicción) el crecimiento vegetal y con el tiempo mejoran las propiedades de la capa del nuevo suelo.</p>

	Inestabilidad de taludes.	El aumento del volumen de colas dado por la presencia de agua contribuye a la disminución del rozamiento interno o de cohesión de las partículas del material de los diques. En estos procesos influyen la morfología actual de los taludes, las características mecánicas del material de relleno, elementos climáticos y la vegetación.
	Modificación del relieve litoral.	El depósito de colas en la costa, desde sus inicios fue incidiendo negativamente en el relieve del litoral y originando morfoesculturas acumulativas (playas, colinas y llanuras de colas), y erosivas (cárcavas y surcos) relacionadas con el depósito final del material residual industrial.
II. Suelos.	Pérdida de la calidad físico-químicas.	Es consecuencia del recubrimiento de la capa superficial por las colas depositadas en el área de la presa nueva y las derramadas en lugares adyacentes, debido a rupturas del dique. Se provoca contaminación y compactación de la capa vegetal y da lugar a variación en las características del suelo.
III. Aguas terrestres.	Alteración de las características físico-químicas de las aguas subterráneas.	La percolación del líquido que acompaña a las colas, alteran la composición natural del manto con los elementos que lleva disueltos. Igualmente sucede con la infiltración después de las lluvias que lavan el polvo.

	Alteración del escurrimiento superficial y el curso de los ríos.	Para la construcción de la presa de colas fue alterado el curso del río Moa.
IV. Aguas marinas.	Alta contaminación de las aguas marinas.	El derrame de las colas y otros residuos al mar incorpora elementos que alteran considerablemente las concentraciones naturales de las aguas, entre ellos están el amoníaco, hidrocarburos, sólidos, metales pesados, etc. Además existe la posibilidad de la descarga de las colas a través de las fallas sobre las cuales se asienta la presa.
	Contaminación del aire por polvo.	Las colas, provocan emanaciones de polvo que recorren grandes distancias con su correspondiente afectación al medio ambiente, incluso fuera de los límites del municipio.
V. Atmósfera.	Incremento de la agresividad corrosiva de la atmósfera.	Los polvos contienen partículas de sustancias corrosivas que no sólo caen directamente a la superficie de los objetos, sino que quedan suspendidas en el aire. Esto alarga la acción de agresividad de la atmósfera. Además se hace contaminante en su inevitable escorrentía por la superficie de las cuencas fluviales.

	Alteraciones climáticas.	Aparece un micro y topoclima condicionado por el cambio de un humedal a un medio árido con suelo de color negro que recibe, absorbe e irradia rápidamente el calor natural (sol). Con el cambio de la temperatura suceden alteraciones de la circulación atmosférica y de otras variables meteorológicas.
	Destrucción de la vegetación terrestre y reducción del patrimonio forestal.	El exceso de polvo procedente de la presa que se deposita sobre las superficies foliares, reduce la actividad fotosintética, lo cual provoca el deterioro y muerte de las especies utilizadas en las parcelas experimentales y otras que existían en el área que no eran resistentes a dicha alteración.
VI. Flora y Vegetación.	Destrucción de la vegetación acuática.	El contenido de elementos contaminantes en las aguas marinas ha ido destruyendo el hábitat de micro y macro algas que se desarrollaban en el acuatorio. Así mismo el polvo en suspensión limita el paso de la luz solar generando el poco desarrollo de vegetación acuática, la cual aparece en dispersos parches ralos.
	Pérdida de la biodiversidad.	La biodiversidad biológica se ha reducido a niveles muy bajos a partir de que en su concepto comprende todos los niveles de organización de la materia viva, desde el celular hasta los ecosistemas y comunidades, afectados por impactos de un alto sinergismo en el medio abiótico.

VII. Fauna.	Destrucción y fragmentación del hábitat de la fauna.	Como consecuencia de la deposición y dispersión de las colas (polvo) se afecta la vegetación terrestre y marina, contribuyendo a la extinción o al desplazamiento de especies, y con ello, la fauna asociada. En el medio marino esto tiene relevante importancia, su efecto ha hecho del río Moa una ensenada, desde el punto de vista biológico, mayormente muerta. Los impactos en la vida acuática pueden ir desde la muerte inmediata de peces hasta efectos sub-letales, que afectan su crecimiento, comportamiento o la capacidad reproductiva.
	Efecto de barrera.	La presa limita los movimientos locales y migratorios de especies animales que no resisten el medio adverso generado por las colas.

VIII. Paisaje.	Formación de un paisaje adverso.	<p>En el área de estudio se observa deterioro en el paisaje, como consecuencias del proceso industrial del níquel. El material residual (colas) se acumula de forma indiscriminada tanto en la vieja como en la nueva presa; estas rebasan los límites de los diques y se originan diversas formas antrópicas de relieve, las cuales contrastan por su color oscuro y estructura con el entorno natural. Se observa gran cantidad de polvo en el aire, lo cual incide negativamente en el mundo biótico. Los paisajes naturales marinos han sido severamente modificados por la acción antrópica, lo que se manifiesta en una reducción de la superficie de los hábitats naturales, una disminución de la conectividad entre ecosistemas marinos y costeros, lo que ha provocado una pérdida de su singularidad y naturalidad.</p>
----------------	----------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

IX. Población.	Efectos nocivos sobre la salud.	<p>Dado que la salud no es solo la ausencia de enfermedad, sino un estado de completo bienestar físico, mental y social, cuya realización exige la intervención de muchos otros sectores sociales y económicos, además del de salud, aseveramos que en esta población existen condiciones objetivas que violentan este bienestar.</p> <p>Es una población expuesta a riesgos que atentan contra la salud y son percibidos por ellos con cierto criterio de amenaza. El consumo de especies marinas o de agua dulce que se desarrollan en la zona contaminada puede provocar, a largo plazo, efectos nocivos sobre la salud de la población producto a que determinadas sustancias como los metales pesados constituyen contaminantes acumulativos no biodegradables. El consumo de la hierba contaminada con polvo de las colas puede provocar enfermedades en los animales y personas, como es la diarrea, catarros y otras; además de acumular sustancias no biodegradables en sus tejidos que son ingeridos por el hombre, el cual cría para su sustento.</p>
----------------	---------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

X. Economía.	Reservas de hierro y otros minerales semi-procesados.	Las presas de colas constituyen una inmensa reserva de minerales creada por el hombre como resultado final del proceso minero-metalúrgico.
	Posible introducción de tecnologías de avanzada.	Para la obtención de los minerales contenidos en las colas se necesitan tecnologías que hasta el momento no se tienen en el país. Al introducirse éstas daría lugar a impactos positivos como la creación de infraestructuras, empleos y mejoras económicas individuales y colectivas.

3.6 Marco Legal a considerar en el cierre de la presa de colas

La Constitución de la República de Cuba sobre la Protección del Medio Ambiente comienza a partir de 1940 y 1976, siendo modificada en agosto de 1992 después de la Cumbre de Río con su artículo N°. 27, la cual 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.

La Asamblea Nacional del Poder Popular acuerda en Julio de 1997 establecer la Ley N°. 81 del Medio Ambiente:

- El derecho de los ciudadanos a la información ambiental. El derecho de la población a la participación en la toma de decisiones ambientales. El otorgamiento de facultades a los órganos locales del Poder Popular para

adaptar las normas generales a las características locales de cada municipio por lo que se descentraliza la toma de decisiones.

Representan interés para la Gestión Minera Ambiental varios artículos de esta Ley que establecen lo siguiente:

- La actividad minera deberá causar la menor alteración posible, directa o indirecta, al Sistema Nacional de Áreas Protegidas, las aguas terrestres y marítimas, la capa vegetal, la flora y la fauna silvestre, el paisaje y el Medio Ambiente en general.
- Corresponde al Ministerio de Energía y Minas reglamentar y controlar la actividad minera y lo relacionado con las áreas mineras reservadas, sin perjuicio de la competencia que la legislación le confiere a otros órganos y organismos estatales.

Las personas naturales o jurídicas que desarrollan actividades de aprovechamiento de recursos minerales estarán en la obligación de rehabilitar las áreas degradadas por su actividad así como las áreas y ecosistemas vinculadas a estas que puedan resultar dañadas de conformidad con lo dispuesto en La Ley de Minas y en la presente Ley de Medio Ambiente, o en su defecto, a realizar otras actividades destinadas a la Protección del Medio Ambiente en los términos y condiciones que establezcan el Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA), el Ministerio de la Agricultura y el de la Industria Básica, actualmente Ministerio de Energía y Minas. En la tabla siguiente se muestra un resumen de la normativa cubana a considerar durante el cierre.

Tabla.3.2: Tabla resumen de la normativa cubana a considerar durante el cierre.

<p>LA LEY 76 DE MINAS DE 1995.</p>	<p>Artículo 85: El concesionario estará obligado a crear una reserva financiera en una cuantía suficiente para cubrir los gastos que se deriven de:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Las labores de restauración del área de la concesión y de las áreas devueltas. El plan de control de los indicadores ambientales. Los trabajos de mitigación de los impactos directos e indirectos ocasionados por la actividad minera. • En el capítulo XV que se refiere al cierre de minas y la paralización o suspensión de la actividad minera: • Artículo 96: El titular de una concesión de explotación, de procesamiento o ambas podrá cerrar temporalmente la mina y demás instalaciones, con la aprobación previa del Ministro de Energía de Minas, por las causas establecidas en el Artículo 62 de la Ley de Minas. • Artículo 97: La disposición del Ministro de Energía de Minas que autorice el cierre temporal de una mina incluirá la obligación de cumplir el programa de trabajo con las medidas a ejecutar por el concesionario durante el período de cierre. • Artículo 98: El programa de cierre definitivo de una mina contendrá, además de lo establecido en el Artículo 66 de la Ley de Minas, la
-------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

	<p>actualización topográfica, geológica y minera del yacimiento, incluyendo los recursos (minerales) geológicos actualizados y la presentación de todos los documentos, planos y materiales geológicos a la Autoridad Minera para su conservación.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Artículo 99: Una vez cumplido el programa de cierre establecido en la disposición jurídica que lo autorizó, se firmará un acta de cierre definitivo entre el concesionario y la Autoridad Minera donde se evaluará el cumplimiento del programa aprobado y se reflejarán las medidas de post-cierre que correspondan. La concesión quedará extinguida y el área se declarará franca y concesible. • Artículo 100: Los depósitos de colas, escombreras, subproductos, rechazos del proceso industrial minero y otros que queden en el terreno después del cierre de la mina serán inventariados y registrados por la Autoridad Minera. • La Ley señala además en su Sección II Artículo 41 que todo concesionario está obligado a preservar el Medio Ambiente y las condiciones ecológicas del área objeto de concesión, elaborando estudios de Impacto Ambiental y planes para prevenir, mitigar, controlar, rehabilitar y compensar dicho impacto derivado de sus actividades, tanto en dicha área como
--	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

	<p>en las áreas y ecosistemas vinculados a aquellos que puedan ser afectados.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Se establece en el Artículo 65 que una vez autorizado el cierre total o parcial con carácter temporal, el concesionario garantiza durante todo el período de cierre y hasta la extinción de la concesión las medidas de restauración y rehabilitación del entorno. • Además cuenta con el decreto 222 Reglamento de la Ley de Minas en los capítulos X, XIV y XV así como en el capítulo IV lo relativo a los materiales primarios. El Manual de Procedimientos regula los modelos para las solicitudes del cierre y devolución de áreas. • Esta ley establece en su Sección Segunda, Artículo 34, que la forestación y reforestación en todo el territorio nacional son de interés social por lo que el Ministerio de la Agricultura coordinará estas actividades con los organismos y entidades competentes a cuyos efectos dictará las normas técnicas que procedan. Señala a su vez que la forestación o reforestación serán de carácter obligatorio en los terrenos donde se haya realizado extracción de minerales a cielo abierto.
--	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

<p>DECRETO-LEY 136 DEL PATRIMONIO FORESTAL Y FAUNA SILVESTRE Y SUS CONTRAVENCIONES</p>	<ul style="list-style-type: none"> • El Decreto-Ley 136 Del Patrimonio Forestal y Fauna Silvestre y sus Contravenciones cuya concepción del Decreto - Ley para la protección del patrimonio forestal y la fauna silvestre, aprobado el 3 de marzo de 1993 por el Consejo de Estado de la República de Cuba, plantea “que los bosques y la fauna silvestre constituyen recursos naturales renovables, patrimonio de todo el pueblo, susceptibles de ser aprovechados racionalmente sin detrimento de su integridad ni de sus cualidades reguladoras y protectoras del medio ambiente”. • En este sentido, establece las regulaciones generales para la protección, la conservación, el desarrollo sostenible, el incremento y el uso racional de los bosques y la fauna silvestre, así como, de las especies forestales, y controla sus recursos faunísticos y valores florísticos, mediante sus regulaciones. • Con tales fines, el Artículo 27 refiere, que en los trabajos de reforestación, se utilizarán especies que mejoren la calidad y las condiciones del lugar, las que estén en peligro de extinción, incluidas las de reconocido valor económico, así como, las que sean útiles para la fauna silvestre.
<p>OTRAS REGULACIONES</p>	<p>Ley N°. 41/83 de la Salud Pública.</p>
	<p>Ley N°. 85/99 Forestal.</p>
	<p>Decreto-Ley N°. 200/99, de las Contravenciones en</p>

	Materia de Medio Ambiente.
	Decreto-Ley Nº. 170/97 del Sistema de medidas de Defensa Civil.
	Decreto-Ley. 138 de las aguas terrestres.
	Decreto 180. Regulaciones sobre el Patrimonio Forestal y la Fauna Silvestre.
	<p>Resolución Nº. 111/2002 CITMA Sistema Nacional de Monitoreo Ambiental.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Artículo 1: El Sistema Nacional de Monitoreo Ambiental tiene como objeto valorar el estado del medio ambiente para contribuir a la toma de decisiones sobre la protección ambiental, el uso sostenible de los recursos naturales y el incremento de la calidad de vida de la población. • Artículo 2: Monitoreo Ambiental a los efectos de esta Resolución, es la recolección sistemática de datos mediante mediciones u observaciones en series de espacio y tiempo de variables previamente identificadas (indicadores), las cuales proporcionaran un cuadro sinóptico o muestra representativa del estado del medio ambiente nacional o territorial. La información brindada por estos indicadores será utilizada para evaluar el estado del medio ambiente en un momento dado y predecir sus tendencias futuras. • Artículo 3: El Sistema Nacional de Monitoreo Ambiental permite evaluar un conjunto de

	variables ambientales seleccionadas, entendiendo como tal, determinados elementos cualitativos del medio ambiente susceptibles de ser medidos u observados, captados, almacenados, procesados y evaluados, en función de ofrecer una visión comparativa del estado del medio ambiente nacional o territorial en un período de tiempo determinado, evaluando, también, las principales tendencias cualitativas y cuantitativas de su comportamiento.
--	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Normas cubanas

La Oficina Nacional de Normalización (NC), es el Organismo rector de las Normas Cubanas y representa al país ante las Organizaciones Internacionales y Regionales de Normalización.

Las principales normas cubanas del medio ambiente a tener en cuenta durante el desarrollo del cierre, sin detrimento de otras, son las siguientes:

NC. 23: 1999. Franja forestal de las Zonas de Protección a Embalses y Cauces Fluviales. (Obligatoria). Esta norma establece las dimensiones y características de las fajas forestales en las zonas de protección a embalses y cauces fluviales, así como las actividades que se autorizan en las mismas.

NC.27: 2012. Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestre y alcantarillado. Especificaciones. Esta norma se aplica a todas las aguas residuales generadas por las actividades sociales y económicas como son las domésticas, municipales, industriales, agropecuarias y de cualquier otro tipo.

NC.31: 1999. Calidad del Suelo. Requisitos para la protección de la capa fértil del suelo al realizar trabajos de movimiento de Tierra. Esta Norma Cubana

establece los requisitos para el tratamiento que recibirá la capa fértil del suelo retirada al efectuar trabajos de movimiento de tierra, la cual será utilizada posteriormente para el mejoramiento de los suelos poco productivos y para el restablecimiento de la fertilidad de las tierras a rehabilitar.

NC 39: 1999 Calidad del aire. Requisitos higiénicos sanitarios. Enmienda. Esta norma establece los requisitos higiénicos sanitarios en cuanto a concentraciones máximas admisibles de sustancias químicas contaminantes del aire y los radios mínimos admisibles de las zonas de protección en torno a las empresas industriales y otras fuentes de contaminantes del aire.

NC 521: 2007. Vertimiento de aguas residuales a la zona costera y aguas residuales generadas por la actividad socioeconómica a la zona costera y las aguas marinas y tiene como objetivo prevenir la contaminación de los sistemas marinos y marino costeros.

3.7 Consideraciones especiales a tener en cuenta durante el Cierre definitivo

Generalmente, los planes de cierre reflejan las condiciones climáticas, topográficas y geológicas locales, así como la configuración y el estado actual de una presa de colas específica. El nivel de sismicidad local también debe considerarse al momento de evaluar la estabilidad dinámica de la instalación en el largo plazo.

- **Control Hidrológico**

Durante el cierre de la presa de colas deben considerarse los siguientes aspectos:

- ✓ La construcción de canaletas de desagüe para dirigir los flujos superficiales lejos de la instalación, tan pronto como sea posible.
- ✓ Debe tenerse especial cuidado en prevenir la acumulación de agua de tormenta detrás del dique.

- ✓ La construcción de canales de derivación también limita el contacto entre el agua del ambiente y las colas, previendo, de esta manera, la contaminación del agua, estas podrían aumentar el nivel freático, afectando la estabilidad de la estructura, así mismo, la saturación de las colas podría conducir a incrementar el riesgo de licuefacción de la presa de colas . La acumulación de grandes volúmenes de agua podría provocar el rebalse de agua por el dique, causando su erosión subsecuente y en el peor de los casos, una falla por flujo.

- **Control de filtración**

La fuente más probable de degradación ambiental por parte de la presa de colas es debida a la contaminación de agua; esto ocurre debido al contacto no regulado entre el lixiviado de colas y el agua superficial o subterránea. Los procedimientos para eliminar o minimizar tal contacto son específicos de cada lugar y deben basarse en las características específicas de cada instalación.

Dentro de las medidas de control de filtración de la presa deben considerarse las siguientes medidas:

1. Será necesario operar una instalación de control de filtración hasta que la calidad de la filtración sea aceptable para su descarga, sin tratamiento, o hasta que se elimine la filtración completamente.
2. Otras opciones disponibles para el control de filtración, son los sistemas de tratamiento pasivo y de tratamiento activo, siendo la calidad y la cantidad de filtración los factores que determinan el tamaño y el tipo de sistema de tratamiento que se utilizará.

Frecuentemente, un sistema de tratamiento pasivo se puede diseñar para que trabaje de manera conjunta con un sistema de tratamiento activo, hasta que la calidad de la filtración sea aceptable para descargarla sin tratamiento o hasta que la filtración pueda controlarse únicamente con el sistema de tratamiento pasivo.

- **Control de Polvo**

El control de polvo también resulta ser un problema importante durante el período de cierre de la instalación. Por lo general, las colas son muy finas y por lo tanto susceptibles a la erosión por viento.

Dentro de las medidas de control de polvo de la presa deben considerarse las siguientes medidas:

1. Realizar la rehabilitación biológica.

3.8 Actividades de cierre:

Generalmente, las actividades de cierre incluyen el control de efluentes provenientes de la instalación y el aseguramiento de que la estructura sea física y ambientalmente estable. Con frecuencia, las actividades de control de efluentes se terminan antes de implementar las medidas de rehabilitación. Las actividades de rehabilitación consisten en el retorno de la instalación a un uso de tierra estable post-operacional, como tierra para pastoreo o hábitat de vida silvestre. Las actividades de post-cierre por lo general están compuestas por actividades de monitoreo y mantenimiento.

Los planes de cierre de una presa de colas deben incluir procedimientos que mitiguen los problemas ambientales asociados con la contaminación del agua, aire y suelo. Además, es necesario tomar las medidas adecuadas para asegurar que a la finalización de las operaciones, la instalación mantendrá su integridad física.

3.8.1 Desmantelamiento

El desmantelamiento debe considerar lo siguiente; retiro de la infraestructura de la presa de colas, tales como ductos de colas y agua, Pipe rack, válvulas, bombas.

3.8.2 Demolición, Recuperación y Disposición

Se evaluará su estado técnico de los ductos de colas y agua, Pipe rack, válvulas, bombas con el objetivo de darle un destino final. Esta actividad se describe dentro del cronograma propuesto en la especialidad de Mecánica.

Entre los detalles de las operaciones de demolición y recuperación de las instalaciones se debe considerar lo siguiente: inspección e inventario de equipos; preparación y retiro de equipos; inspección e inventario de materiales reciclables; y demolición de estructuras para la utilización máxima de los materiales reciclables. Se debe describir los volúmenes, métodos y lugares de disposición de los residuos de demolición, y especificar el tipo de residuos (peligrosos y/o no peligrosos).

3.8.3 Rehabilitación técnica y biológica

Se realizará la propuesta de las soluciones de cada sector, incluidos la rehabilitación técnica y biológica. Se evaluará el estado de los caminos y el plan de medidas a considerar durante el cierre y postcierre. Se evaluarán los caminos existentes, su estado y uso futuro, con las medidas a considerar para su mantenimiento. Se realizará el plan de rehabilitación técnico minero y biológico para cada uno de los sectores definidos.

A partir del diagnóstico geólogo ambiental detectado en cada uno de los sectores evaluados se proponen medidas específicas que deben ser consideradas en el Plan de cierre, a continuación se describen cada una de ellas por sectores:

Sector 1:

- Reconstruir el sistema de drenaje óptimo en la cuneta y en las plataformas de los niveles.
- Es preciso sanear todo el talud. Retirar las rocas que se encuentran dispersas por todo el talud.

- Proteger el talud con geomantas o con materia orgánica y terreno vegetal.

Sector 2:

- Al final del contrafuerte es necesario realizar el movimiento de tierra y reconstruir el sistema de drenaje.
- Limitar la velocidad de los camiones que descargan desechos en el dique durante el transporte por los accesos.
- Riego de agua periódico y permanente para el control de las partículas en suspensión.
- Esparcir y compactar el material de desecho de los tanques de petróleo de la Empresa Puerto Moa y crear un sistema de drenaje en la plataforma inferior del contrafuerte.
- En la plataforma de la fase 2 es preciso sanear y propiciar el desarrollo de las plantas existentes con el depósito de materia orgánica.
- Realizar perforaciones y calas hidrogeológicas para determinar las causas del alto grado de humedad en el oeste de la zona.

Sector 3:

- Reconstruir el talud en varios sectores de la fase 1 por las socavaciones existentes.
- Utilizar mallas y biorretenedores para detener la erosión.
- Darle el destino correcto a las tuberías en desuso.

Sector 4:

- Conformar los taludes de cada una de las fases y los mantenimientos de los caminos.
- Retirar las tuberías inutilizables que provoquen la socavación en los taludes.
- Proteger los taludes con mallas y biorretenedores.

Sector 5:

A continuación se relacionan las medidas específicas a considerar en el talud.

- Ejecutar mantenimiento a las tuberías de desagüe deterioradas.
- Colocar mallas de retención en la fase 4 por la pendiente presente en este talud.

Sector 6:

- Cambiar de material constituyente en el sector donde ocurrieron los deslizamientos en masa.
- Proteger los taludes con mallas y biorretenedores.

Talud 7:

- Corrección de cárcavas y surcos.
- Recoger las tuberías en desuso.
- Aumentar la altura del talud donde hay derrames.

Plataforma central

- Mantener el espejo de agua para que no se produzcan emanaciones de polvo.

Determinación de la cantidad de geomantas a utilizar en la protección de los taludes

La obtención de la cantidad de geomantas necesarias para proteger los taludes parte inicialmente de las dimensiones de los mismos (por el borde y por el pie), y de los paramentos.

Para la rehabilitación de la presa, se determinaron tres variantes, descritas a continuación:

Variante 1:

Implica la protección de todos los taludes utilizando geomantas y biorretenedores. La cantidad de rollos que necesita cada talud para proteger toda su superficie, la cantidad de biorretenedores, estacas y volumen de materia orgánica.

Variante 2:

En la que se protegerá con geomantas y biorretenedores únicamente los taludes 2, 3 y 4 por ser los más erosionados. Los demás taludes se rehabilitarán con la disposición directa de materia orgánica y la revegetación.

Variante 3:

Esta variante tiene en cuenta la cantidad de hectáreas afectadas aproximadamente de los taludes 2, 3 y 4 con el uso de geomantas y biorretenedores para disminuir los costos.

Para determinar los costos por hectáreas se utilizaron las fichas técnicas confeccionadas por REMIN(Empresa de Rehabilitación Minera) en Agosto del 2014.

La corrección de las cárcavas en los taludes 2, 3 y 4 ya sea en una variante u otra, se recomienda sea mediante la construcción de estructuras no muy profundas (colectoras y/o disipadoras) para facilitar su recubrimiento y controlar la pendiente. En la entrega de las corrientes para la disminución de la velocidad del agua estas deben poseer elementos disipadores vivos o muertos.

Las socavaciones existentes en el Talud 3 y 4 pueden ser tratadas con trabajo mecanizado, rellenando y compactando en forma ascendente con material de préstamo o el mismo desprendido hasta alcanzar el estado técnico requerido para la protección biológica.

3.8.4 Soluciones hidráulicas

Teniendo en cuenta la necesidad de ejecutar un correcto drenaje en el dique, y partiendo de la pendiente hacia donde fluyen las corrientes de agua, se considera que cada 300 m aproximadamente se construya un canal de desagüe para evacuar las mismas (Se estiman que sean 9 canales).

Para ello se realizarán cálculos y el diseño del sistema de drenaje por plataforma. Se preverá la separación de las aguas agresivas y destino final.

3.8.5 Monitoreo de post - cierre.

El post-cierre es la fase final antes de la liberación de la responsabilidad de la presa de colas y consiste de acciones comprendidas en el Plan de Cierre y Rehabilitación de Área; monitoreo de agua y estabilidad física.

Las actividades de mantenimiento y monitoreo post-cierre se realizarán luego de concluidas todas las actividades de cierre previstas y durante un período de 5 años como mínimo, a fin de verificar el cumplimiento de los objetivos de cierre planteados.

Durante esta fase, es recomendable monitorear también el avance del programa de revegetación, por muchas razones, siendo las más importantes las siguientes:

- Proveer la documentación confiable que demuestre que el programa se está implementando según lo planeado.
- Se demuestra el éxito del programa de cierre y rehabilitación.
- Se identifiquen los problemas que necesitan remediación.
- Se identifiquen los factores de estabilidad antes que pueda desarrollarse algún problema.

El período de post-cierre puede durar algunos años, hasta que se pruebe que los procedimientos de cierre y rehabilitación son efectivos y que la instalación puede ser liberada de su obligación legal. Se establece que deberá transcurrir

un período de tres (3) años de post-cierre en el que las emisiones y descargas se mantendrán dentro de los límites permisibles y no se presentarán señales de inestabilidad en las acumulaciones de residuos, verificado por el control de las estructuras y el monitoreo de los flujos; para dar por concluidas las actividades mineras, según procedimiento.

3.8.6 Monitoreo de aguas

Una parte importante de la fase de post-cierre es el monitoreo de la calidad del agua tanto dentro, como aguas abajo de la instalación; por lo que se monitoreará las aguas superficiales y las aguas subterráneas.

Los puntos de monitoreo se ubicarán de forma estratégica de modo que permitan determinar la influencia de la instalación en el agua recuperada.

El monitoreo del agua incluye la ejecución de análisis físico químicos de agua para determinar su calidad, cuyos resultados después se comparan con los estándares aprobados para la descarga. Si se encuentra que las muestras están degradadas en comparación con la calidad de agua de línea base o simplemente no cumplen con los estándares de descarga, se deberá desarrollar un programa de mitigación e implementarse a buen tiempo, a fin de asegurar una adecuada protección ambiental.

3.8.7 Monitoreo biológico

Los requerimientos de información para la descripción detallada de un programa de monitoreo biológico (terrestre y acuático) deberán incluir:

- Descripción de los estudios periódicos que se realizarán en cada tipo de relieve con relación al crecimiento de la vegetación.
- Descripción de los estudios periódicos que se realizarán en cada tipo de relieve sobre la recolonización de fauna silvestre (incluir una descripción de la fauna silvestre y su hábitat).

- Descripción de los estudios periódicos que se realizarán en cada cuerpo de agua sobre los recursos acuáticos. Incluir peces y su hábitat, plantas acuáticas, invertebrados, bénticos y parámetros de calidad de agua.
- Los estudios podrán incluir el muestreo de contaminantes en suelos, vegetación, peces y fauna silvestre.

3.8.8 Actividades de Mantenimiento Post-Cierre

Aun cuando la estabilidad física de la instalación una vez realizado el cierre sea aceptable, los materiales peligrosos que se almacenan dentro de la instalación pueden liberarse al ambiente.

- **Mantenimiento Físico y Geoquímico**

El concepto de estabilidad química se refiere al comportamiento estable en el corto, mediano y largo plazo de los componentes o residuos mineros, que en su interacción con los factores ambientales, no generan emisiones o efluentes que restrinjan las exigencias de calidad ambiental. Por ejemplo, la no emisión de efluentes contaminantes.

La migración de contaminantes desde las presa de colas por medio del aire, agua superficial o agua subterránea debe minimizarse en la mayor medida posible y mantenerla en los niveles aceptables. La evaluación de la seguridad ambiental de una presa de colas requiere el conocimiento de las propiedades fisicoquímicas y químicas, y de las reacciones de sus componentes, así como el conocimiento de los flujos de filtración, movimiento del agua subterránea y potencial de generación de polvo. Para lograr los objetivos de manejo de seguridad y protección ambiental, debe haber una coordinación de esfuerzos entre todos los factores responsables.

El post cierre incluye las actividades de tratamiento de efluentes y emisiones, monitoreo social y mantenimiento que debe realizarse luego de concluidas las acciones de rehabilitación. Esta actividad se amplía hasta que se demuestre la

estabilidad física y química de los componentes mineros y que se ha logrado la sustentabilidad social de las comunidades. El monitoreo suele durar, como mínimo, 5 años.

- **Mantenimiento Hidrológico**

La importancia de llevar un sistemático mantenimiento de las aguas como parte del proceso general del cierre de la presa de colas ha sido subrayada por el hecho de que la mayoría de las fallas de las presa de colas ocurren debido a un pobre control de agua. En algunos casos, la falta de un subdrenaje adecuado o una operación pobre de la presa de colas ha traído como consecuencia la elevación excesiva del nivel del agua dentro de la instalación, causando un efecto negativo en su estabilidad. En otros casos, el pobre control del agua superficial ha hecho que el espejo de agua o poza de la presa de colas se eleve y rebalse la estructura, produciendo brechas en el dique o fallas por flujo.

Se debe presentar la información para la descripción detallada de las actividades de mantenimiento activo relacionadas con las instalaciones de manejo de agua, incluyendo: Mantenimiento de canales de derivación, barreras ribereñas, estructuras de control de erosión y otras instalaciones de manejo de agua requeridas para garantizar la estabilidad física de post cierre.

Completadas las actividades del Plan de cierre, se emitirá un informe final y se presentará a las entidades regulatorias. El informe resumirá todas las actividades de cierre y presentará los resultados del monitoreo posterior al cierre, por un periodo mínimo de 2 años.

3.8.9 Solicitud de los permisos a los organismos de consulta

Una vez terminado el proyecto de cierre el mismo se presenta a los organismos de consulta establecidos en Cuba y así obtener los permisos necesarios para iniciar las actividades de cierre.

Deben ser consultados:

- El CITMA.
- Instituto Nacional de Planificación Física.
- Región Militar para la compatibilización con la defensa.
- Instituto de Higiene y Epidemiología.
- Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos.

3.8.10 Cronograma de ejecución

Se estima que la duración total del cierre será de 6 años. La etapa de cierre final durará un año, seguido de 2 años de mantenimiento activo para asegurar la estabilidad física y química del sitio del proyecto. Al terminar el periodo de mantenimiento activo, se entrará en una etapa de mantenimiento pasivo que durará 3 años.

Conclusiones

1. Se propuso un plan de cierre de la presa de colas que incluye una metodología lograda de la revisión de estudios similares ejecutados en el mundo y apoyado en la legislación cubana vigente para estas actividades.
2. Se establecieron medidas específicas que deben ser consideradas en este plan que solucionarán los problemas detectados en los taludes y plataforma.
3. A partir de la descripción de los impactos derivados del diagnóstico geólogo ambiental realizado se concluye que la mayoría de los impactos tienen efectos negativos, son intensos, de gran extensión, se manifiestan de forma permanente con poca o ninguna mitigación (impactos residuales) y alta magnitud, lo que unido a todo lo expuesto en el diagnóstico ambiental, se puede resumir un estado ambiental de calidad insatisfactoria.

Recomendaciones

- Se recomienda el estudio y análisis del documento referido a “Propuesta de Plan de cierre definitivo de la presa de colas de la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara” de esta primera versión, para su modificación y complementación necesaria.
- Se sugiere continuar trabajando en los documentos elaborados en conjunto con otros especialistas, incorporando nuevos criterios, experiencias y conocimientos y simultáneamente abrir nuevas investigaciones realizadas.
- Se recomienda que concluido el proceso de complementación se someta a evaluación la propuesta, para su posible introducción parcial o total, en el sistema legal establecido, para la realización y ejecución de la actividad geólogo minera de Cierre de Minas.

Bibliografía:

1. Álvarez, J. L. y Chui, T. (1985): Isoleismal Model for Greater Antilles. Proceedings of the 3rd Internacional Symposium on the Análisis of Seismicity and Seismic Risk. Lible Castle, Czechoslovakia, pp 134 – 141.
2. Arango, E. (1996): Geodinámica de la región de Santiago de Cuba en el límite de las Placas de Norteamérica y el Caribe. Tesis en opción al Grado de Máster en Ciencias en el Instituto Politécnico Nacional, México, D. F, 111 pp.
3. Barrera Lara J. (1998). Geotechnical Characterization of Cycloned Sands for the Seismic Design of Tailings Deposits. 3rd International Congress on Environmental Geotechnics. Lisboa.
4. Barrera S; Riveros C. (2000). Sand Transport and Placement. Tailings and Mine Waste Fort Collins. Colorado. USA.
5. Berger, Antony R. 1998. Environmental Change, Geoindicators, and the Autonomy of Nature. GSA TODAY. A Publication of the Geological Society of America. Vol. 8, N 1. p 3-8.
6. Campos, Y, 2010. Comportamiento de las propiedades físicas .y la compactación de los materiales que constituyen los diques de la presa de colas de la Empresa Comandante Pedro Soto. Tesis de diploma. Departamento de geología, ISMM, 2010.
7. Cierre de tranques de relaves en la mediana minería. Rene Rojas SM. Depto. de Ingeniería y gestión ambiental. Sernageomin Santiago.
8. Consideraciones y propuesta de formato para la elaboración de planes de cierre de minas. Ing. Rafael A. Falero Salgado Ms.C. Geomecánica ONRM
9. Formell, F.; Oro, J.R 1980. Sobre los procesos de redeposición del Yacimiento Punta Gorda. Ciencia de la Tierra y el Espacio.

10. Guevara, I. 2000. Informe de estudio ingeniero geológico del dique de colas de la planta Ernesto Che Guevara. INEL (Empresa ingeniería de proyectos para electricidad de Holguín).
11. Guía Metodológica para el Cierre de Faenas Mineras, buenas prácticas y gestión ambiental CHILE .Noviembre 2002.
12. Guía para la elaboración y revisión de planes de cierre de minas. Ministerio de Energía y Minas del PERU. 2002
13. Guía Ambiental Para el Cierre y Abandono de Minas.
14. Guía para la elaboración de planes de cierre de pasivos ambientales mineros República del Perú ministerio de energía y minas.
15. Guía ambiental para la estabilidad de taludes de depósitos de desechos sólidos de minas Elaborada para: Ministerio de Energía y Minas Dirección General de Asuntos Ambientales Lima 41, Perú Elaborada por Erik A. Rennes, Shepherd Miller, Inc. 3801 Automation Way, Suite 100 Fort Collins, CO 80525 - EE.UU. (1) 970 223-9600 Agosto de 1997.
16. Hernández Columbié T, Guardado Lacaba R (2009). Presas de Relaves Mineros en la Empresa Comandante Pedro Soto Alba, V Conferencia Internacional de Aprovechamiento de los Recursos Minerales y el Desarrollo Sostenible , CINAREM 2009, Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa Holguín Cuba Libro de resúmenes.
17. Norma Cubana. 23: 1999. Franja forestal de las Zonas de Protección a Embalses y Cauces Fluviales. (Obligatoria).
18. Norma Cubana. 27: 2012. Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestre y alcantarillado. Especificaciones.
19. Norma Cubana. 31: 1999. Calidad del Suelo. Requisitos para la protección de la capa fértil del suelo al realizar trabajos de movimiento de Tierra.
20. Norma Cubana 39: 1999 Calidad del aire. Requisitos higiénicos sanitarios. Enmienda.

21. Norma Cubana 521: 2007. Vertimiento de aguas residuales a la zona costera y aguas marinas. Especificaciones.
22. Norma Cubana 1020:2014. Calidad del aire — contaminantes — Concentraciones máximas admisibles y valores guías en zonas habitables (Obligatoria).
23. Hernández C .T, Ulloa C. M, “Impacto ambiental de la ampliación de una presa de colas de la industria cubana del níquel”. Revista Minería y Geología, 2014.
24. Iturralde Vinent, M.A. (1996). Geología de las ofiolitas de Cuba. En: Iturralde d Vinent, M.
25. INRH (Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos) (1986a). Informe sobre la contaminación por sulfatos de la terraza del río Moa.
26. INRH (Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos) (1986b). Informe hidrogeológico sobre las terrazas del río Moa.
27. Informe de plan de medidas para la actualización del plan de reducción de desastres (FMCY) desarrollado por (GEOCUBA Oriente Sur). 2010.
28. Informe de cartografía de peligrosidad, vulnerabilidad y riesgos por deslizamientos en el Municipio Moa. Colectivo profesores y estudiantes; Grupo de Gestión y Reducción de Riesgos Geológicos Tecnológicos; ISMMM; 2013.
29. Lomtadze, V. D. 1977. "Geología aplicada a la ingeniería. Geodinámica aplicada a la ingeniería". Ed. Pueblo y Educación, 560 p..
30. Miller, S; Rennat, E. A; Guía ambiental para la estabilidad de taludes de depósitos de desechos sólidos de minas. Lima 41, Perú. 1997.
31. Oldecop.L, Rodríguez, R (Estabilidad y seguridad de depósitos de residuos mineros) Instituto de Investigaciones Antisísmicas “Ing. Aldo Bruschi” Universidad Nacional de San Juan Facultad de Ingeniería Av. Libertador (Oeste) 1290 Provincia de San Juan (Argentina). Departamento de Química

- Facultad de Ciencias Universidad de Girona Campus de Montilivi 17071 Girona (España).
32. Quintana, H. (1998). Diques de estériles. *Industria y Minería*, 33, 52-56.
33. Rodríguez, A. 1998b: Estudios morfotectónicos de Moa y áreas adyacentes para la evaluación de riesgo de génesis tectónica. Tesis Doctoral. Centro de Información. ISMMM.
34. Rodríguez, R. (2002). Estudio experimental de flujo y transporte de cromo, níquel y manganeso en residuos de la zona minera de Moa (Cuba): influencia del comportamiento hidromecánico. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona, p 17-19.
35. SSNC (2010): Datos instrumentales (1964 al 2010) e históricos (1528 - 2010) del Servicio Sismológico Nacional de Cuba (CENAIIS), Fondos del CENAIIS – CITMA, Santiago de Cuba.
36. Taller Panamericano sobre Cierre de Faenas Mineras Junio 19 - 20 de 2001 Santiago, Chile.
37. Zapata B. J.A; Rosalba D. Sandra; Y. Estudios sismológicos para proyecto de factibilidad de la presa de en el rio Yagrumaje (Empresa Ernesto Che Guevara), Moa, reporte de investigación, CENAIIS, 2010.
38. http://es.wikipedia.org/wiki/Geolog%C3%AD_a_ambiental.
39. <http://www.ismm.edu.cu>

Anexos

Anexo Nº.1 Atributos asignados a los impactos identificados.

<i>N</i>	<i>Naturaleza</i>	<i>II</i>	<i>Intensidad</i>	<i>III</i>	<i>Extensión</i>
	<i>Positivo</i>		<i>Baja</i>		<i>Puntual</i>
	<i>Negativo</i>		<i>Media</i>		<i>Baja</i>
			<i>Alta</i>		<i>Extensa</i>

<i>II</i>	<i>Persistencia</i>	<i>M</i>	<i>Magnitud</i>	<i>II</i>	<i>Calidad</i>
	<i>Temporal</i>		<i>Baja</i>		<i>Altamente satisfactoria</i>
	<i>Permanente</i>		<i>Media</i>		<i>Muy satisfactoria</i>
			<i>Alta</i>		<i>Satisfactoria</i>
			<i>Muy Alta</i>		<i>Poco satisfactoria</i>

Anexo Nº.2. Evaluación de impactos

ELEMENTOS IMPACTADOS	IMPACTOS IDENTIFICADOS	N	I	E	P	M	C
I. Geología y geomorfología.	Creación de un yacimiento artificial de minerales.						
	Incremento del peso sobre las capas geológicas inferiores.						
	Formación de una capa nueva del suelo.						
	Inestabilidad de taludes.						
	Modificación del relieve litoral.						
II. Suelos.	Pérdida de las cualidades físico-químicas.						
III. Aguas terrestres.	Alteración de las características físico-químicas de las aguas subterráneas.						
	Alteración del escurrimiento superficial y el curso de los ríos.						
IV. Aguas marinas.	Alta contaminación de las aguas en la rio Moa						

V. Atmósfera.	Incremento de la agresividad corrosiva de la atmósfera.						
	Alteraciones climáticas.						
VI. Flora y vegetación	Destrucción de la vegetación terrestre y reducción del patrimonio forestal.						
	Destrucción de la vegetación acuática.						
	Pérdida de la biodiversidad						
VII. Fauna.	Destrucción y fragmentación del hábitat de la fauna.						
	Efecto de barrera						
VIII. Paisaje.	Formación de un paisaje adverso.						
IX. Población.	Efectos nocivos sobre la salud.						
X. Economía.	Reserva de hierro y otros minerales semi-procesados.						

Anexo N°.3 Plataforma central de la presa de colas de la empresa

