



REPUBLICA DE CUBA
MINISTERIO DE EDUCACION SUPERIOR
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALURGICO
“Dr. ANTONIO NUÑEZ JIMENEZ”
FACULTAD DE GEOLOGIA Y MINERIA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

Trabajo de Diploma

En opción al Título de Ingeniero Geólogo



Caracterización de las arcillas del Bloque 25 Oeste a partir del Módulo de Sílice, Módulo de Alúmina, MgO, SO₃, Na₂O, K₂O para la ampliación del yacimiento Río Bongo.

Diplomante: Adislet Cabrera Baño.

*Tutor: Dr. C. Leon Ortelio Vera Sardinias.
Ing. Fernando Julián Cruz Vargas.*

*Moa 2012
“Año 54 de la Revolución”*

Pensamiento



"Sueña y serás libre de espíritu, lucha y serás libre en la vida"

*"Si avanzo sígueme si me paro empujame si retrocedo
mátame"*

Ernesto Guevara. "Che"

Dedicatoria

Con todo el cariño de mi corazón dedico mi tesis a mis padres queridos.

A mi mamá, mi mejor amiga, por darme fuerzas, por confiar en mí conocimiento, por sentirse orgullosa de su niña antes sus amigos y compañeros. Por creer que soy lo mejor del mundo, por regañarme cuando me equivoco y felicitarme cuando salgo bien. Por hacerme saber que la vida no se acaba en un mal momento sino que continúa y para traernos cosas buenas y mejores personas.

A mi familia, abuelos, tíos, primos y hermano Por preocuparse en cada momento y darme fuerzas en los momentos difíciles de mi vida.

A Orama, Silvia y Carmen, mis eternos amigos, mis confidentes que siempre han sabido hacerme saber que voy por el buen camino, que están orgullosos del resultado de mi trabajo. Por darme fuerzas en los momentos difíciles de mi vida cuando pensé en algún momento que no podía continuar, siempre tenía un buen consejo que me animaba y motivaba a seguir adelante con más fuerzas

A todas esas personas que me quieren mucho y han velado cada día por que sea mejor persona y logre ser una profesional.

Reconocimiento

Los resultados del presente trabajo han sido fruto del trabajo conjunto entre el autor y el apoyo y la colaboración de varias personas e instituciones. 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 cinco años:

Especial agradecimiento a mi querido tutor Fernando Cruz por confiar en mí y darme el tema de tesis, por sacar tiempo y atenderme cuando lo necesitaba. A Ortelio Vera y a mi cotutor José Carmenate por dedicarme parte de su tiempo, por hacerme una profesional; del cual estoy muy orgullosa.

A la dirección del departamento de Geología. Al Ing. Yurisley Valdés Mariño, por su apoyo e interés en la culminación de la tesis. Al MSc José Carmenate por sus consejos en 5 años. A los demás profesores del departamento, Dr. Nicolás Muñoz, Dr. Carlos Leyva, Dr. Arturo Rojas, Dr. Gerardo Orozco, Dr. Jesús Blanco, Dr. Ortelio Vera, Dr. Constantino De Miguel, a la MSc Yumisleydis, a la DrC Alina Rodríguez Infante, al MSc. Andrés Salazar a todos por su constante interés en transmitir toda su enseñanza y sabiduría a los estudiantes.

A mis padres: Eladio Cabrera Viamonte y Laura Baño Mendoza por su apoyo incondicional durante tantos años de estudio. Gracias.



A Silvia, Orama y Pablito, que han sido mi familia, en todos los momentos que necesitaba cariño y afecto. Gracias por aceptarme como una hija y hermana.

A mis queridas amigas Liuska, Yaqueline, Daya, Yoa, Maipú, Lisbeth y Yanetsi por reír conmigo, por ser mi familia estos años; y a las demás chicas del cuarto; por estar siempre a mi lado.

A Danilo y Jimmy por su ayuda incondicional y demostrar ser unos verdaderos amigos.

A Bismark Ortiz Jimenez, por haber sido parte de mi vida y enseñarme mucho de ella, por los años de experiencias compartidas, deseos y sueños.

A mis compañeros de aula por estos cinco años compartiendo los momentos amargos y dulces: Lisandra, Yanela, Susana, Yudailin, Yake, Pedro, Andro, Moses y demás.

En fin; a todas esas personas que me han acompañado a lo largo de estos cinco largos años y han ayudado a ser de mi una mejor persona.

Resumen

El trabajo titulado *Caracterización de las arcillas del Bloque 25 Oeste a partir del módulo de Sílice, Módulo de Alúmina, MgO, SO₃, Na₂O, K₂O para la ampliación del yacimiento Río Bongo* se realizó con el objetivo de caracterizar las arcillas del Bloque 25 Oeste a partir del Módulo de Sílice, Módulo de Alúmina, MgO, SO₃, Na₂O, K₂O y establecer la relación geoquímica con las reservas para emplearlas como criterios de prospección en la ampliación del yacimiento. Fueron realizados itinerarios de reconocimiento geológico según perfiles coincidentes con las líneas de perforación SW – NE correspondientes al levantamiento topográfico realizado a escala 1: 2 000 de 18 hectáreas, se tomaron muestras básicas y complementarias, descritas macroscópicamente según los modelos de documentación y muestreo, posteriormente embaladas y enviadas al laboratorio de La Planta de Cemento del Mariel (Cementos Curazao S.A.) para los análisis químicos de los elementos: SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO, MgO, SO₃, K₂O, MS, MA, PPI y Na₂O. Fueron confeccionadas tablas sobre las relaciones geoquímicas de los elementos. Se confeccionó el plano topográfico a escala 1: 2 000 y los perfiles geológicos. Se realizó el cálculo de reservas y la evaluación de la calidad de la materia prima. Finalmente, los resultados de los análisis químicos de las muestras básicas y la composición química de los promedios ponderados por pozos en el área investigada demostraron que la arcilla del yacimiento Río Bongo puede ser utilizada como criterios de búsqueda litológicos y geoquímicos en la ampliación del yacimiento para la producción de cemento.

Abstract

The Research work entitled: “Characterization of clays of Block 25 the West from the Silica module, I modulate of Alúminates, MgO, SO₃, Na₂ Or, K₂ Or for the extension of the deposit Bongo River”, was executed having as an objective to characterize clay material from the Block - 25 West; starting on the aluminium oxide Silica Module of, MgO, SO₃, Na₂O, K₂O. In addition, to establish the geochemical reserves relationship to use it as prospection criteria in regards to the ore body extensions. The geological itineraries performance, was executed due to the coincidence profiles within the drilled lines SW – NE in correspondence to the topographical surveying executed at 1: 2 000 scale on 18 hectares, as well as basic and complementary sampling, logging it microscopically, based on the samples and documentation models, afterwards; those samples were shipped and sent to the laboratory: Planta de Cemento del Mariel (Cementos Curazao S.A.) for the chemical analysis of the useful and deleterious elements, such as SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO, MgO, SO₃, K₂O, MS, MA, PPI and Na₂O. Table’s information were conformed on top of the chemical interrelation of the elements, the description surveying map at 1: 2 000 scale; and the geological profiles were executed. The ore reserve calculation and the raw material evaluations have been applied, as well. Finally, Chemicals analysis results of the Basic samples and the Chemicals composition average from the drilled holes at the researched area, have demonstrated that the ore clay at Rio Bongo’s ore body, can be in use as a lithological and geochemical criteria in the ore body extensions to produce in a future short term the cement output.

Índice

Introducción	10
Marco Teórico Conceptual.....	13
Generalidades	13
Cemento Portland	15
Fabricación del cemento Portland:.....	15
Función del yeso	16
Módulos.....	16
Clinker:	17
Características del cemento:.....	18
Definición de las Arcillas.....	19
Características de las arcilla.	20
Mineragenia de los depósitos de arcillas en Cuba.	24
Trabajos relacionados con la Geología Regional.	25
Antecedentes de la Concesión Minera "Río Bongo".	27
Capítulo 1 Características de la Región de Estudio	29
1.1 Introducción.....	29
1.2 Características físicas - geográficas y económicas de la región.	30
1.2.1 Ubicación geográfica.....	30
1.2.2. Características Socioeconómicas.....	32
1.2.3 Geomorfología:	33
1.2.4 Clima:.....	35
2.2.4. Flora y Vegetación.	36
1.2.5. Fauna.....	37
1.3 Características geológicas regionales.	39
1.4. Características geológicas de la zona explorada.....	40
1.5. Tectónica.....	43
1.6 Condiciones Hidrogeológicas de la zona estudiada.	45

Capítulo 2 Metodología de los Trabajos Ejecutados	47
2.1 Introducción.....	47
2.2. Preliminar.....	49
2.3. Trabajo de Campo.....	49
2.4. Trabajo de Laboratorio.....	52
2.4.1. Muestreo, ensayos y análisis realizados.....	52
2.4.2. Volumen de muestras, análisis, ensayos y determinaciones.	52
2.5. Trabajo de Gabinete.....	53
Capítulo 3 Características Cualitativas y Tecnológicas de los Minerales Útiles	54
3.1 Introducción.....	54
3.2 - Resultados del estudio de la composición química.	55
3.3 - Estimación de los Recursos.....	63
3.4 - Parámetros del Cálculo de los Recursos.....	64
3.5- Variante del cálculo de los Recursos. Delimitación de los bloques.	64
3.6 - Resultados del Cálculo de los Recursos.....	65
Conclusiones	67
Recomendaciones.....	68
Bibliografía.....	69
Anexos	73
Anexo 1 : Catálogo de Coordenadas de los Pozos.....	73
Anexo 2 :Resultados de los Análisis Químicos de las Muestras Básicas.....	73
Anexo 3 : Composición Química de la Materia Prima del Bloque: 25W–M1	75
Anexo 4: Tabla de las Potencias para el Cálculo de los Recursos.....	75
Anexo 5 .Plano topográfico y de Datos Reales.....	76
Anexo 5: Perfiles Geológicos.....	77

Introducción

La Industria Cementera Cubana, ha sido de las industrias más afectadas durante la crisis económica que afectó al país durante la última década del Siglo XX, siendo el año 1993 el de más baja producción con 1.061 millones de toneladas producidas, contando con una capacidad de 5.518 millones t/año.

Los recursos minerales en los distintos yacimientos y depósitos minerales de: calizas, margas, arcillas, caolín, arenas, puzolanas, areniscas, yeso, corrector de hierro, etc., que sean capaces de cubrir las necesidades actuales y futuras de la industria del cemento. El consumo total de materias primas dada por la capacidad fabril disponible en las fábricas para producir diferentes tipos de cementos, tiene como resultado que no se produzcan los volúmenes de cementos necesarios.

Los principales factores de índole geólogo – mineras que inciden:

Estado de la categorización de los recursos minerales: Los volúmenes de minerales o rocas a consumir por las diferentes industrias deben estar debidamente categorizados según las leyes y regulaciones mineras vigentes. Esta categorización debe estar avalada por trabajos de prospección geológica y evaluaciones técnico – económicas.

Condiciones técnico – mineras: Los recursos minerales que han de consumir las industrias deben ser extraíbles, es decir, se ha de contar con un proyecto de explotación minera, equipos de extracción y beneficio en concordancia con los volúmenes a extraer y las características del mineral.

Regulaciones minero – ambientales: El monto total de los recursos calculados de un depósito mineral puede estar afectado por las disposiciones legales vigentes, ya que el otorgamiento de las concesiones mineras de explotación se rigen por ellas. Este factor tiene mucho que ver con el uso y ocupación del suelo.



Tecnologías de beneficio: Las características físicas, químicas y mineralógicas de los minerales y rocas prospectados, pueden no cumplir con los requerimientos de la industria a donde van destinados, por lo que generalmente se impone la implementación de beneficios previos. La no disponibilidad de estas tecnologías afecta el monto total de los recursos calculados.

La Empresa de Asistencia y Servicio ha realizado trabajos de exploración geológicas con el objetivo de ampliar las reservas del bloque 25 hacia el oeste, ubicado en el extremo occidental del yacimiento de arcilla Río Bongo, para asegurar como mínimo 1 000 000 t de materia prima arcillosa, lo que garantizaría la producción de cemento de la Planta Mariel (Cementos Curacao) por espacio de 3 años, a un ritmo anual de consumo de unas 300 000 t.

La caracterización de estos recursos naturales, como materia prima en la producción de cemento, no ha sido realizado, lo que en este trabajo, se declara como **problema de la investigación**: la necesidad de profundizar en el conocimiento geológico y características geoquímicas de las arcillas para realizar el cálculo de sus reservas y ampliar las áreas de explotación del yacimiento Río Bongo.

Objeto de Estudio

Las arcillas del Bloque 25 Oeste del yacimiento Río Bongo.

Objetivo principal

Caracterizar las arcillas del Bloque 25 Oeste a partir del Módulo de Sílice, Módulo de Alúmina, MgO, SO₃, Na₂O, K₂O y establecer la relación geoquímica con las reservas para emplearlas como criterios litológicos y geoquímicos de prospección en la ampliación del yacimiento Río Bongo.



Objetivos específicos

- Caracterizar las arcillas del Bloque 25 Oeste del yacimiento Rio Bongo, a partir de sus contenidos de Modulo de Sílice, Modulo de Alúmina, MgO, SO₃, Na₂O y K₂O.
- Establecer la correspondencia geoquímica entre el módulo de sílice y las exigencias solicitadas por la Planta de Cemento del Mariel (Cementos Curazao).
- Calcular las reservas como garantía de la producción de cemento en las áreas del Bloque 25 oeste del yacimiento Rio Bongo.

Hipótesis

Si se caracterizan geoquímicamente las arcillas del Bloque 25 Oeste del yacimiento Rio Bongo y se calculan las reservas entonces, es posible establecer criterios de búsqueda litológicos y geoquímicos que permitan la selección de nuevas áreas perspectivas para la extracción de arcillas de alta calidad.

Aportes científicos

- Caracterización de las arcillas del Bloque 25 Oeste del yacimiento Rio Bongo, a partir de sus contenidos de Módulo de Sílice, Módulo de Alúmina, MgO, SO₃, Na₂O y K₂O.
- Establecer la correspondencia geoquímica entre el módulo de sílice y las exigencias solicitadas por la Planta de Cemento del Mariel (Cementos Curazao).
- Calcular las reservas como garantía de la producción de cemento en las áreas del Bloque 25 Oeste del yacimiento Rio Bongo.



Marco Teórico Conceptual.

Generalidades

Para la confección de esta tesis, se realiza un análisis sobre los diferentes aspectos que se encuentran relacionados con los temas discutidos en la bibliografía consultada, acerca de las arcillas, con el objetivo de disponer de los elementos básicos. Se expone el estado del arte, la conceptualización y consideraciones teóricas sobre las arcillas, su importancia económica y tecnológica.

Se consultaron diferentes trabajos geológicos, del territorio del Mariel y en particular de la concesión minera Rio Bongo que se encuentra dentro de la Zona Estructuro-Facial Noroccidental, de los cuales algunos se han desarrollado en la línea de la evaluación geólogo-económica de las reservas minerales, constituyendo una valiosa información para la caracterización de los yacimientos de arcilla de la región, así como sus contenidos de minerales útiles.

Es importante definir algunos términos empleados en el ámbito de las reservas y recursos de los minerales, lo cual contribuye a una mejor comprensión de los conceptos que se reflejan a lo largo del trabajo.

Reservas probadas.

Aquellas reservas demostradas económicamente, viables mediante un estudio de viabilidad minera o una explotación efectiva realizada habitualmente en el marco de una exploración detallada.

Reservas probables

Reserva que se ha demostrado económicamente explotable por un estudio de pre-vialibilidad minera realizado habitualmente en el marco de la exploración detallada y de la exploración general.



Recurso puesto en evidencia por un estudio de viabilidad minera.

El demostrado potencialmente económico por un estudio de viabilidad minera o una explotación previa realizada habitualmente en el marco de una exploración detallada.

Recurso puesto en evidencia por un estudio de previabilidad minera.

El demostrado potencialmente económico por un estudio de previabilidad minera realizado habitualmente en el marco de la exploración detallada y la general.

Recurso medido:

Aquél que presenta un interés económico intrínseco sobre la base de una exploración detallada estableciendo con un alto grado de exactitud todas las características del yacimiento.

Recurso indicado.

El que se estima que presenta un interés económico intrínseco sobre la base de una exploración general que confirme las principales características geológicas de un yacimiento y que suministre una estimación inicial de sus dimensiones, forma, estructura y contenido.

Recurso inferido.

El que se estima que presenta un interés económico intrínseco sobre la base de una prospección para identificar un yacimiento. Para estimar cantidades se utiliza la identificación de afloramientos, la cartografía geológica, métodos indirectos y un muestreo limitado.

Recurso puesto en evidencia por un estudio de reconocimiento.

Basado sobre un estudio de reconocimiento que tenga por objeto identificar zonas de fuerte potencial minero. Las estimaciones cuantitativas sólo deberían hacerse si se dispone de datos suficientes y es posible establecer una analogía con yacimientos conocidos que presenten características geológicas comparables, y esto dentro de límites que no rebasen un orden de magnitud.



Para caracterizar las reservas en las antiguas categorías, según el grado de reconocimiento, se dividen en las siguientes:

A, B y C₁ – Se denominan reservas exploradas.

C₂ – Se denomina reservas evaluadas previamente.

Cemento Portland

El cemento Portland es un conglomerante o cemento hidráulico que cuando se mezcla con áridos, agua y fibras de acero discontinuas y discretas tiene la propiedad de conformar una masa pétreas resistente y duradera denominada hormigón. Es el más usual en la construcción, utilizado como aglomerante para la preparación del hormigón o concreto. Como cemento hidráulico tiene la propiedad de fraguar y endurecer en presencia de agua, al reaccionar químicamente con ella para formar un material de buenas propiedades aglutinantes.

Fue inventado en 1824 en Inglaterra por el constructor Joseph Aspdin. El nombre se debe a la semejanza en aspecto con las rocas que se encuentran en la isla de Portland, en el condado de Dorset. A diferencia de lo que muchos creen, su origen no está relacionado con Portland, Oregón, EE. UU.

Fabricación del cemento Portland:

La fabricación del cemento Portland se da en tres fases:

- preparación de la mezcla de las materias primas,
- producción del clinker
- preparación del cemento.

Las materias primas para la producción del portland son minerales como la caolinita, Illita e Illita-esmectita utilizadas conjuntamente con las calizas que contienen:

- óxido de calcio (44%),

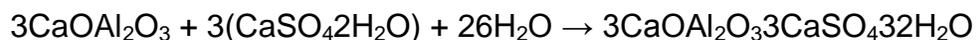


- óxido de silicio (14,5%),
- óxido de aluminio (3,5%),
- óxido de hierro (3%)
- óxido de manganeso (1,6%).

La extracción de estos minerales se hace en canteras, que preferiblemente deben estar próximas a la fábrica, con frecuencia los minerales ya tienen la composición deseada, sin embargo en algunos casos es necesario agregar arcilla, o calcáreo, o bien minerales de hierro, bauxita, u otros minerales residuales de fundiciones.

Función del yeso

El yeso, o aljez, es generalmente agregado al clinker para regular el fraguado. Su presencia hace que el fraguado se concluya aproximadamente en 45 minutos. El yeso reacciona con el Aluminato tricálcico para formar una sal expansiva llamada "ettringita".



Módulos

Los módulos son valores característicos de cada cemento o cal, que permiten conocer en qué relación se encuentran, porcentualmente, los diversos componentes en el producto final. Para el cemento Pórtland se tiene:

Módulo hidráulico

$$M_i = \frac{\% \text{CaO}}{\% \text{Al}_2\text{O}_3 + \% \text{Fe}_2\text{O}_3 + \% \text{SiO}_2} = 1.7 - 2.3$$

Módulo de silicatos

$$M_s = \frac{\% \text{SiO}_2}{\% \text{Al}_2\text{O}_3 + \% \text{Fe}_2\text{O}_3} = 1.9 - 3.2$$



Módulo silícico

$$M_c = \frac{\%SiO_2}{\%Al_2O_3} = 2.5 - 3.5$$

Módulo de alúmina

$$M_f = \frac{\%Al_2O_3}{\%Fe_2O_3} = 1.5 - 2.5$$

Los cementos Portland especiales son los que se obtienen de la mismo modo que el cemento portland normal, pero tienen características diferentes a causa de variaciones en el porcentaje de los componentes que lo conforman.

Clinker:

El producto resultante, llamado clinker, se muele conjuntamente con una cantidad adecuada de regulador de fraguado, que suele ser piedra de yeso natural. La composición química media de un cemento Portland, según Calleja (1974), está formada por un 62,5 % de CaO (cal combinada), un 21 % de SiO₂ (sílice), un 6,5 % de Al₂O₃ (alúmina), un 2,5 % de Fe₂O₃ (hierro) y otros minoritarios. Estos son los cuatro componentes principales del cemento, de carácter básico la cal y de carácter ácido los otros tres. Estos componentes no se encuentran libres en el cemento, sino en forma de silicatos, Aluminatos y ferritos cálcicos, que son los componentes hidráulicos del mismo o componentes potenciales. Un clinker de cemento Portland de tipo medio contiene:

- 1 Silicato tricálcico (3CaO·SiO₂)40% a 50%
- 2 Silicato bicálcico (2CaO·SiO₂)20% a 30%
- 3 Aluminato tricálcico (3CaO·Al₂O₃)10% a 15%
- 4 Aluminato ferrito tetracálcico (4CaO·Al₂O₃·Fe₂O₃) 5% a 10%



Las dos principales reacciones de hidratación, que originan el proceso de fraguado y endurecimiento son (Jiménez et al. 1982):



El silicato tricálcico (C_3S) es el compuesto activo por excelencia del cemento pues desarrolla una resistencia inicial elevada y un calor de hidratación también elevado. Fragua lentamente y tiene un endurecimiento bastante rápido. En los cementos de endurecimiento rápido y en los de alta resistencia aparece en una proporción superior a la habitual. El silicato bicálcico (C_2S) es el que desarrolla en el cemento la resistencia a largo plazo, es lento en su fraguado y en su endurecimiento. Su estabilidad química es mayor que la del silicato tricálcico, por ello los cementos resistentes a los sulfatos llevan un alto contenido de silicato bicálcico. El Aluminato tricálcico (C_3A) es el compuesto que gobierna el fraguado y las resistencias a corto plazo. Su estabilidad química es buena frente al agua de mar pero muy débil a los sulfatos. Para retardar la rápida reacción del Aluminato tricálcico con el agua y regular el tiempo de fraguado del cemento se añade al clinker piedra de yeso. El Aluminato ferrito tetracálcico (C_3AF) no participa en la resistencia mecánica, su presencia es necesaria por el aporte de fundentes de hierro en la fabricación del clinker.

Características del cemento:

Resistencia: la resistencia a la compresión, es afectada fuertemente por la relación agua/cemento y la edad o la magnitud de la hidratación. -Durabilidad y flexibilidad: ya que es un material que no sufre deformación alguna. -El cemento es hidráulico porque al mezclarse con agua, reacciona químicamente hasta endurecer. El cemento es capaz de endurecer en condiciones secas y húmedas e incluso, bajo el agua. El cemento es notablemente moldeable: al entrar en contacto con el agua y los agregados, como la arena y la grava, el cemento es capaz de asumir cualquier forma tridimensional. El cemento (y el concreto hecho



con él) es tan durable como la piedra. A pesar de las condiciones climáticas, el cemento conserva la forma y el volumen, y su durabilidad se incrementa con el paso del tiempo. El cemento es un adhesivo tan efectivo que una vez que fragua, es casi imposible romper su enlace con los materiales tales como el ladrillo, el acero, la grava y la roca. Los edificios hechos con productos de cemento son más impermeables cuando la proporción de cemento es mayor a la de los materiales agregados. El cemento ofrece un excelente aislante contra los ruidos cuando se calculan correctamente los espesores de pisos, paredes y techos de concreto.

Definición de las Arcillas

El término arcilla se usa habitualmente con diferentes significados:

- Desde el punto de vista mineralógico, engloba a un grupo de minerales (minerales de la arcilla), filosilicatos en su mayor parte, cuyas propiedades físico-químicas dependen de su estructura y de su tamaño de grano, muy fino (inferior a $2 \mu\text{m}$).
- Desde el punto de vista petrológico la arcilla es una roca sedimentaria, en la mayor parte de los casos de origen detrítico, con características bien definidas.
- Para un ceramista una arcilla es un material natural que cuando se mezcla con agua en la cantidad adecuada se convierte en una pasta plástica. Desde el punto de vista económico las arcillas son un grupo de minerales industriales con diferentes características mineralógicas y genéticas y con distintas propiedades tecnológicas y aplicaciones.

Por tanto, el término arcilla no sólo tiene connotaciones mineralógicas, sino también de tamaño de partícula, en este sentido se consideran arcillas todas las fracciones con un tamaño de grano inferior a $2 \mu\text{m}$. Según esto todos los filosilicatos pueden considerarse verdaderas arcillas si se encuentran dentro de dicho rango de tamaños, incluso minerales no pertenecientes al grupo de los filosilicatos (cuarzo, feldespatos, etc.)



Características de las arcilla.

En siglos pasados las arcillas se utilizaron en la producción de materiales para la construcción y cerámicos y actualmente se siguen utilizando en estas industrias, pero, además, en este siglo las arcillas han llegado a ser una parte importante de la tecnología industrial, jugando diversos papeles en los procesos de fabricación y siendo constituyentes principales de productos tales como los plásticos y algunas sustancias alimenticias, así como interviniendo en áreas tan sofisticadas como la de la catálisis heterogénea, lo que ilustra el alcance de la utilidad de estos minerales.

Las arcillas son constituyentes esenciales de gran parte de los suelos y sedimentos debido a que son, mayoritariamente, productos finales de la meteorización de los silicatos que, formados a mayores presiones y temperaturas, se hidrolizan en el medio exógeno. Las importantes aplicaciones industriales de las arcillas radican en sus propiedades físico-químicas. Dichas propiedades derivan, principalmente:

- Tamaño de partícula (inferior a 2 μm).
- Morfología laminar (filosilicatos).
- Las sustituciones isomórficas, que dan lugar a la aparición de carga en las láminas y a la presencia de cationes débilmente ligados en el espacio interlaminar.

Las principales propiedades son:

Superficie específica:

La superficie específica o área superficial de una arcilla se define como el área de la superficie externa más el área de la superficie interna (en el caso de que esta exista) de las partículas constituyentes, por unidad de masa, expresada en m^2/g .



Las arcillas poseen una elevada superficie específica, parámetro muy importante para ciertos usos industriales en los que la interacción sólido-fluido depende directamente de esta propiedad.

Los valores de superficie específica de diferentes arcillas son:

Caolinita de elevada cristalinidad: hasta 15 m²/g

Caolinita de baja cristalinidad: hasta 50 m²/g

Halloisita: hasta 60 m²/g

Illita: hasta 50 m²/g

Montmorillonita: 80 a 300 m²/g

Sepiolita: 100 a 240 m²/g

Paligorskita: 100 a 200 m²/g

Plasticidad:

Las arcillas son eminentemente plásticas. Esta propiedad se debe a que el agua forma una “envoltura” sobre las partículas laminares, produciendo un efecto lubricante que facilita el deslizamiento de unas partículas sobre otras cuando se ejerce un esfuerzo sobre ellas.

La elevada plasticidad de las arcillas es consecuencia de su morfología laminar, tamaño de partícula extremadamente pequeño (elevada área superficial) y alta capacidad de hinchamiento.

Generalmente, esta plasticidad puede ser cuantificada mediante la determinación de los índices de Atterberg (Límite Líquido, Límite Plástico y Límite de Retracción). Estos límites marcan una separación arbitraria entre los cuatro estados o modos de comportamiento de un suelo sólido, semisólido, plástico y semilíquido o viscoso.

La relación existente entre el límite líquido y el índice de plasticidad ofrece una gran información sobre la composición granulométrica, comportamiento,



naturaleza y calidad de la arcilla. Existe una gran variación entre los límites de Atterberg de diferentes minerales de la arcilla, e incluso para un mismo mineral arcilloso, en función del catión de cambio. En gran parte, esta variación se debe a la diferencia en el tamaño de partícula y al grado de perfección del cristal. En general, cuanto más pequeñas son las partículas y más imperfecta su estructura, más plástico es el material.

Tixotropía:

La tixotropía se define como el fenómeno consistente en la pérdida de resistencia de un coloide, al amasarlo, y su posterior recuperación con el tiempo. Las arcillas tixotrópicas, cuando son amasadas, se convierten en un verdadero líquido. Si, a continuación, se las deja en reposo, recuperan la cohesión y el comportamiento sólido. Para que una arcilla tixotrópica muestre este comportamiento deberá poseer un contenido en agua próximo a su límite líquido. Por el contrario, en torno a su límite plástico no existe posibilidad de comportamiento tixotrópico.

Capacidad de intercambio catiónico:

Es una propiedad fundamental de las esmectitas. Son capaces de cambiar, fácilmente, los iones fijados en la superficie exterior de sus cristales, en los espacios interlaminares, o en otros espacios interiores de las estructuras, por otros existentes en las soluciones acuosas envolventes. Esto significa que pueden captar ciertos cationes (Na^+ , K^+ , NH_4^+ , H^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , etc) y aniones (SO_4^{2-} , Cl^- , PO_4^{3-} , NO_3^- , etc) y retenerlos en un estado intercambiable, es decir que esos iones pueden intercambiarse por otros cationes o aniones si los minerales de arcillas son tratados con una solución acuosa de dichos iones.

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) se puede definir como la suma de todos los cationes de cambio que un mineral puede adsorber a un determinado pH. Es equivalente a la medida del total de cargas negativas del mineral.



Los valores de capacidad de intercambio catiónico (en meq/100 g) de algunas arcillas son:

Caolinita: 3-5

Halloisita: 10-40

Illita: 10-50

Clorita: 10-50

Vermiculita: 100-200

Montmorillonita: 80-200

Sepiolita-paligorskita: 20-35

Capacidad de absorción:

Algunas arcillas encuentran su principal campo de aplicación en el sector de los absorbentes ya que pueden absorber agua u otras moléculas en el espacio interlaminar (esmeclitas) o en los canales estructurales (sepiolita y paligorskita).

La capacidad de absorción está directamente relacionada con las características texturales (superficie específica y porosidad) y existen dos tipos de procesos que difícilmente se dan de forma aislada: absorción (cuando se trata fundamentalmente de procesos físicos como la retención por capilaridad) y adsorción (cuando existe una interacción de tipo químico entre el adsorbente, en este caso la arcilla, y el líquido o gas adsorbido, denominado adsorbato).

La capacidad de adsorción se expresa en porcentaje de adsorbato con respecto a la masa y depende, para una misma arcilla, de la sustancia de que se trate. La absorción de agua de arcillas absorbentes es mayor del 100% con respecto al peso.

Hidratación e hinchamiento:

La hidratación y deshidratación del espacio interlaminar son propiedades características de las esmeclitas, y su importancia es crucial en los diferentes



usos industriales. Aunque hidratación y deshidratación ocurren con independencia del tipo de catión de cambio presente, el grado de hidratación sí está ligado a la naturaleza del catión interlaminar y a la carga de la lámina.

La absorción de agua en el espacio interlaminar tiene como consecuencia la separación de las láminas dando lugar al hinchamiento. Este proceso depende del balance entre la atracción electrostática catión-lámina y la energía de hidratación del catión. A medida que se intercalan capas de agua y la separación entre las láminas aumenta, las fuerzas que predominan son de repulsión electrostática entre láminas, lo que contribuye a que el proceso de hinchamiento pueda llegar a disociar completamente unas láminas de otras. Cuando el catión interlaminar es sodio, las esmectitas tienen una gran capacidad de hinchamiento, pudiendo llegar a producirse la completa disociación de cristales individuales de esmectita, teniendo como resultado un alto grado de dispersión y un máximo desarrollo de propiedades coloidales. Si por el contrario, tienen Ca o Mg como cationes de cambio su capacidad de hinchamiento será mucho más reducida.

Mineragenia de los depósitos de arcillas en Cuba.

En Cuba los depósitos de arcillas se presentan los siguientes tipos genéticos **sedimentario**, **residual** e **hidrotermal**, con edades del Pre-Cuaternario hasta Plioceno-Cuaternario.

Sedimentario, forman parte de los depósitos aluviales indiferenciados, aluvio-deluviales y aluvio-marinos, asociándose a distintas terrazas del cauce inferior de los ríos. De composición montmorillonítica e illítica forman desde capas extensas hasta lentes pequeños interdigitados con arenas y gravas. Espesor útil no mayor de la decena de metros. También forman parte de las formaciones pre-Cuaternarias, con una composición predominante montmorillonítica con variable contenido calcáreo, formando capas de espesor y extensión estables en las formaciones con predominio pelítico, pero en otras su distribución en el corte es pobre y con poco espesor.



Residuales (lixiviación), se asocian a las cortezas de intemperismo desarrolladas sobre las formaciones carbonatadas, metamórficas, vulcanitas, granitoides, serpentinitas y gabroides, su composición es montmorillonítico-illítica con contenidos variables de caolín, en algunas regiones forman capas y lentes irregulares en espesor y distribución, en dependencia de la intensidad de los procesos hipergénicos, con perdigones y contenido variable de fragmentos de roca madre. El espesor útil oscila en unos pocos metros.

Hidrotermales, se asocian a las lavas y tobas andesíticas alteradas hidrotermal e hipergénicamente, su composición es montmorillonítico-caolinítica con plasticidad de media hasta alta, forman capas irregulares y bolsones con fragmentos de roca madre y nódulos de CaCO_3 y Fe, su espesor útil es variable y no excede los 10 m.

Desde el punto de vista de su mineragenia los depósitos de arcillas se vinculan principalmente con la *Cobertura Plio – Cuaternaria*. La potencialidad de las arcillas es muy amplia, localizándose depósitos por todo el territorio nacional. Los principales yacimientos que explota la industria del cemento son: “Mariel Sector Sur”, “**Río Bongo**” y “Castaño”, teniendo otros evaluados y no explotados como “Las Mangas”, “Pijirigua”, “Coloradas I y II”, “Rodas – Abreu”, “Jaruco” y “La Naza”. (Coutin Correa, et al, 1975, 1985, 1992, Batista González et al, 2005).

Trabajos relacionados con la Geología Regional.

En la región del Mariel los trabajos geológicos a pequeña escala se realizaron a principios del siglo pasado, donde se reportó la existencia de yacimientos petrogasíferos, materiales de construcción y materias primas para la producción de cemento.

En el territorio del Mariel se encuentran estudiados desde el punto de vista geológico y registrado en el Balance Nacional de Reservas Minerales de la Oficina Nacional de Recursos Minerales del Ministerio de la Industria Básica, los siguientes yacimientos:



Componente Carbonatado para cemento.

En la zona de Mojica - Mariel se encuentran las canteras que históricamente han constituido la base de materia prima de la planta de cemento. Las actualizaciones de reservas y los trabajos de ampliación de estudios hacia el Este realizados en la década del 80, permiten contar en el territorio con el aseguramiento de este tipo de materia prima.

Componente silicatado para cemento.

En la zona de Río Hondo, al Oeste - Noroeste del C.A.I. "Orlando Nodarse" se encuentra el yacimiento Río Bongo, empleado por la fábrica de cemento del Mariel.

Tobas.

Se explota el yacimiento de Los Congos, ubicados en las cercanías del C.A.I. "Orlando Nodarse", se utiliza en la producción de cemento como aditivo y sus reservas se clasifican como **posibles** y alcanzan el orden de **5 031.80 x 10³ t.**

Existen otros recursos minerales, que no han sido estudiados en detalle. Por ejemplo, en la zona de Constante, en el extremo Noroccidental del municipio existen depósitos pequeños arena arcillosa roja, utilizada en el acondicionamiento de terrenos deportivos, y en particular los de beisbol. La zona entre Dos Hermanos y La Tinaja aparecen pequeñas elevaciones, de las cuales artesanalmente la población local extrae arena para la construcción. Hacia el Sudeste del territorio, al Norte de la Autopista Nacional, se encuentran depósitos de material sílico aluminoso, factibles de emplearse como material corrector en la producción de cemento.

En el territorio de Zayas - Sabana, se localizan los depósitos petrogasíferos conocidos como Martín Mesa y explotados por la EPEP de Occidente. En esta misma zona brotan los manantiales de aguas sulfurosas también conocidos como



Martín Mesa y que fueron acondicionados para su explotación en los años 30, encontrándose en la actualidad contaminados, pero según parece, factibles de ser recuperados.

Además se han efectuado trabajos de levantamiento regional que han incluido el área de los yacimientos, de estos los más importantes son:

Kleolrer J.B. – Geología Report in the Cayajabos, Areas – 1943.

Carbin J. Informe del levantamiento geológico Mariel - Cojimar – 1972.

Ambos son trabajos de levantamiento regional para la búsqueda de estructuras petrogacíferas. Por el grado de estudio corresponden al levantamiento 1:50 000 sin cumplir todos los requisitos de este, aunque están el primero como base topográfica 1:10 000 y el segundo 1:20 000.

Iturralde Vinent M. y Albear J. F. Memorias sobre el Levantamiento 1:250 000 de las provincias de La Habana – 1978.

Este es un trabajo de levantamiento regional que ha sintetizado los materiales de los trabajos anteriores efectuados en las provincias de La Habana (actualmente Artemisa) y ciudad Habana.

Antecedentes de la Concesión Minera "Río Bongo".

El yacimiento Río Bongo presentó interés geólogo- minero en el año 1940, por la compañía de cemento Portland "El Morro" y los trabajos geológicos realizados podemos considerarlo como reconocimiento geológico. En la década del 50 se hacen los primeros trabajos de campo, pozos de perforación con evaluación para cemento por la compañía Díaz de Villegas. Considerándose estos trabajos como la fase de prospección.

En la década del 70, específicamente entre los años 1972 y 1976 se efectúa la exploración del yacimiento que nos ocupa por la Dirección General de Geología y



Geofísica, estando dichos trabajos asentados en el Informe Geológico “Calizas y Arcillas Mariel” y “Arcilla – Río Bongo”, en el caso de Río Bongo, que fue estudiado fundamentalmente como corrector silicio – Aluminoso, se calcularon 26 bloques en las antiguas categorías B, C₁ y C₂.

El informe geólogo - minero del año 1976 es el más completo y es el que incluye los bloques 8-B y 14-C₁ agotados por extracción minera en el año 2009 y en la actualidad se explota el bloque 25 C₂. Cuyo Informe geológico fue aprobado en la Oficina Nacional de Recursos Minerales (ONRM) en año 2008.

Desde el punto de vista técnico se cuenta con el Informe Geológico Final del yacimiento, con el Proyecto de Explotación Minero por cantera (1988) y con la actualización del proyecto para la explotación del bloque 25 C₂. (Año 2009), así como con el plan de minería desde el 2005 hasta el 2011, Informe Técnico Estadístico del año 2005 - 2010 y el BARR (Balance Anual de Recursos y Reservas) del año 2005 -2011.



Capítulo I

Características de la Región de Estudio.

1.1 Introducción.

En este capítulo se presentan las principales características físico - geográficas y económicas de la región que constituye el yacimiento Río Bongo. También se presenta una descripción de los rasgos geológicos y litológicos del área de estudio donde se incluye un estudio del paleoambiente o energía de deposición de los sedimentos de la concesión minera. La descripción se basa en el análisis de las muestras de los testigos de los pozos perforados, y la búsqueda bibliográfica.



1.2 Características físicas - geográficas y económicas de la región.

1.2.1 Ubicación geográfica.

Desde el punto de vista administrativo, el yacimiento de arcillas Río Bongo se encuentra situado en el municipio de Mariel, provincia de La Habana, a unos 10 Km aproximadamente al Suroeste del poblado del Mariel y a 2 km al Sureste de Quebra Hacha, en una zona conocida como Pinillos. Ver Figura No. 1

Se localiza en la hoja topográfica 3684 IV a escala 1: 50 000.

El área explorada posee una superficie de 28,45 ha y las coordenadas Lambert (Tabla No 1) de sus vértices son las siguientes:

Número. Vértice	Coordenada X	Coordenada Y
1	314 886	349 090
2	314 816	348 990
3	314 782	348 942
4	314 778	348 780
5	314 080	348 780
6	313 880	348 690
7	313 875	349 090

Tabla No 1 Coordenadas Lambert del área explorada.



Figura 1. Mapa de ubicación geográfica. Google – Imágenes 2012 TerraMetrics, Datos de mapa c 2012 Google – Término de uso – Editar Google Map Maker



1.2.2. Características Socioeconómicas.

La red de comunicaciones está bien desarrollada en la zona, presentándose como vía principal la carretera asfaltada Mariel Quebra Hacha – Cabañas que cruza muy próxima al Norte del yacimiento, a partir de la cual parten numerosos terraplenes en buen estado, que permite acceder a todo el yacimiento. Aproximadamente a unos 6 km al Este – Sureste del yacimiento cruza la Autopista Nacional (Habana – Pinar del Río) y a 10 km comienza la autopista Norte Mariel – Habana, ambas brindan facilidades de acceso hasta el yacimiento.

El potencial económico del territorio, permite considerar al municipio del Mariel, entre los más importantes de la provincia Artemisa, adquiriendo trascendencia a nivel nacional el sector industrial, dominado por la producción de cemento, al contar con la Planta de Cemento Mariel (Cementos Curazao) ubicada entre las dos mayores productoras del país, la generación de electricidad por la termoeléctrica “Máximo Gómez”, el servicio portuario y en menor escala la agroindustria azucarera.

Se destaca también en el municipio la actividad productiva del puerto de embarque de productos (cereales) a granel “Antonio Maceo” y la actividad de la Zona de Desarrollo Industrial Mariel (ZDIM), enclavada en la Península de Angosta. En la actualidad se ejecuta el proyecto por la Asociación Económica Internacional Quality. Mariel (AEI) en la fase de ejecución de los viales de acceso en Empresa Mixta Cuba - Brasil.

En las alturas de Martín Mesa, hacia el Sur del territorio, se realiza la extracción de petróleo por la Empresa de Perforación y Extracción de Petróleo de Occidente.

El desarrollo minero está representado por la extracción de materias primas para cemento, que se realiza actualmente en dos canteras, situadas en los límites del municipio (arcilla en el Yacimiento Río Bongo y caliza en el Yacimiento de rocas



carbonatadas Mariel). El coto minero de Mariel, conformado por depósitos de asfaltitas y rocas asfálticas, han sido explotados también en diferentes períodos.

Desde el punto de vista poblacional, el poblado de Mariel ocupa el lugar cimero siendo la cabecera municipal, al contar con unos 42 000 habitantes aproximadamente.

1.2.3 Geomorfología:

El área donde se ubica el yacimiento arcillas Río Bongo, la morfología se caracteriza por elevaciones pequeñas y abundantes corrientes fluviales, predominando los sedimentos del cuaternario, la zona es surcada por los ríos San Juan y San Felipe, que al unirse forman el río Bongo que desemboca en la bahía de Mariel.

El relieve del territorio está representado por los complejos morfogenéticos siguientes:

- Llanuras marinas abrasivas - acumulativas, planas, parcialmente cenagosas del pleistoceno.
- Llanuras marinas abrasivas - abrasivo - acumulativas, ligeramente onduladas y planas, del cretácico inferior y superior (K^2_1).
- Llanuras fluviales acumulativas, bajas y planas, del cretácico inferior y superior (K^2_1).
- Alturas tectónico - estructurales de horst y bloques, monoclinales, aplanadas, diseccionadas del mioceno (N_1)
- Alturas tectónico - erosivas de horst y bloques, diseccionadas, eoceno - oligoceno ($P_2 - P_3$)

Estos complejos se distribuyen dentro del municipio en forma de franjas.



Descripción de los diferentes complejos:

1. Llanuras marinas abrasivas - acumulativas, planas, parcialmente cenagosas del pleistoceno.

Se ubica al Norte, a todo lo largo del municipio y bordeando las bahías de Mariel y Cabañas. Está caracterizada por sedimentos aluviales de composición variada, depósitos fangosos - arenosos de las zonas bajas costeras, pantanos y manglares; además de calcarenitas y areniscas con diferentes grados de consolidación. Sus pendientes no sobrepasan los 3 grados.

Esta llanura presenta pequeñas depresiones formando lagunas, las cuales al parecer se asocian a procesos cárnicos, las alturas no sobrepasan los 10 m.

2. Llanuras marinas abrasivas - abrasivo - acumulativas, ligeramente onduladas y planas, del cretácico inferior y superior (K²₁).

Estas llanuras están caracterizadas por diferentes materiales pertenecientes al neocomiano y cenoniano. Sus pendientes oscilan entre 5 y 10 grados. En la misma se observa una serie de ríos que drenan hacia la costa Norte con un amplio desarrollo del escurrimiento a través de cañadas y valles.

3. Llanuras fluviales acumulativas, bajas y planas, del cretácico inferior y superior (K₂₁).

Estas llanuras se ubican a la orilla de los ríos, producto de la acumulación de los arrastres de los ríos. Están caracterizadas por materiales de diferentes composiciones como las calcarenitas, grabelitas, arcillas, margas, etc. Sus pendientes no sobrepasan los 10 grados.



4. Alturas tectónico - estructurales de horst y bloque, monoclinales, aplanadas, diseccionadas del mioceno (N₁).

Se ubican al Noreste y Noroeste del municipio, ocupando su mayor porción al Noreste. Se caracterizan por elevaciones que pueden tener hasta 60 m y llegar a ser mayores, compuestas por calizas organógenas de diferentes composiciones. Las pendientes son superiores a los 10 grados, existe actividad erosiva de las aguas superficiales, concentradas, formando bloques escalonados y diseccionados, con un predominio del drenaje subterráneo.

5. Alturas tectónico - erosivas de horst y bloques diseccionadas, eoceno - oligoceno (P2 - P3).

Se ubican en el límite Sur del municipio con alturas que oscilan entre 100 y 150 m y pueden llegar a ser superiores, formadas por colinas diseccionadas y cadenas alineadas que forman parteaguas locales. El drenaje superficial está integrado por cañadas que son más abundantes en las colinas, las pendientes oscilan entre 10 y 15 grados.

1.2.4 Clima:

El clima es semi-continental húmedo de sabanas. El promedio de temperatura, según las estadísticas anuales oscila entre 22° y 26° C. La humedad relativa del aire esta entre 77 y 82%, y el promedio anual es de 77%, y la mínima absoluta es 90% y máxima de 96%.

Por el carácter e intensidad de las precipitaciones se observan dos temporadas, una de sequía y una de lluvia. La estación seca comprende desde Noviembre hasta Abril, la estación lluviosa continúa desde el mes de Mayo hasta el mes de Octubre, siendo el mes de Agosto el más lluvioso.

Las precipitaciones anuales oscilan entre 946,6 mm y 1231,5 mm, y el promedio de días de lluvias anual es 88 y la velocidad del viento varia de 10 a 40 Km /h.



2.2.4. Flora y Vegetación.

Hacia el Nordeste del municipio se presenta un tipo de vegetación antropizada, donde predominan pastos y áreas sembradas de henequén con una vegetación secundaria. El extremo noroccidental conserva una vegetación natural, la cual posee las características de los bosques tropicales latifolios perennifolios, del tipo siempre verde; predominan los manglares, los cuales bordean el litoral de la Bahía de Cabañas.

Hacia el centro y Sur del municipio también el tipo de vegetación actual clasifica como antropizada. El cultivo fundamental es la caña de azúcar y en menor cantidad se cultivan otros cultivos heliófilos; abundan focos de vegetación secundaria y en las zonas de cultivos abandonados predominan el marabú y la aroma.

En los embalses construidos y sus inmediaciones, habitan comunidades herbáceas con exponentes de vegetación acuática.

Todo el territorio corresponde a un tipo bioclimático subhúmedo en sentido general y más seco en el tramo costero del Este de la Bahía de Mariel. Esto condiciona que su vegetación original haya sido el bosque tropical latifolio, perennifolio, siempre verde en la zona de la Bahía de Cabañas, con preponderancia de los manglares; y de tipo subperennifolio, semidecidero, de tipo mesófilo en el resto del municipio. Por su parte, el tramo costero Boca de Mariel - Guajaibón albergó matorrales tropicales latifolios (manigua costera) de tipo xeromorfo costero y subcostero. Estas asociaciones constituyen la vegetación potencial del municipio.

En la zona no se presentan las causantes básicas, que propicien un alto endemismo. No existen, por tanto, especies de especial interés botánico; aunque sí se identifican áreas de interés conservacionista. Tales áreas aparecen dispersas, ya que el territorio del municipio desde la etapa colonial fue asimilado



para la actividad agropecuaria y en la actualidad esta asimilación adquirió un carácter agrario - industrial.

Áreas forestales naturales.

Se ubican en las zonas colinosas del Sur del municipio, tales como las Lomas de Jabaco, las áreas de colinas de San Juan Bautista y la Loma de la Gobernadora. En las mismas son comunes la yagruma (*Curopia peltata*), la guásima, el cedro (*Cedrela odorata*), el almácigo (*Bursera simaruba*), la caoba hondureña (*Swietenia macrophylla*), almendro (*Terminalia catarpa*), palma real (*Roystonea regia*), la varía (*Cordia gerascantus*), pino macho (*Pinus caribaea*), ocuje (*Calophyllum antillanum*), jagüey (*Ficus sp.*), majagua (*Hibiscus elatus*), ébano carbonero (*Maba crassinervis*), algarrobo (*Samanea saman*), jabonillo (*Sapindus saponaria*), mamoncillo, casuarina, etc. Entre el poblado de Mariel y la Fábrica de cemento se encuentra una pequeña franja boscosa conocida como Monte Verde, la cual aceleradamente se está degradando y que reviste gran importancia puesto que representa el único núcleo forestal del Este de la Bahía. También en la falda de la Loma de la Vigía, en los alrededores del poblado de Mariel, se encuentran abundantes palmares acompañados de otras especies vegetales.

El grado de deforestación del territorio es alto en general y se caracteriza por su decrecimiento. No existen áreas como tal de bosques energéticos y es habitual la tala ilícita en las zonas boscosas y de mangle, con el fin de obtención de leña.

1.2.5. Fauna.

Las comunidades faunísticas terrestres del municipio son de tipo antropógenas. Los exponentes de la fauna no doméstica se asocian directamente en su hábitat con los núcleos forestales que se reseñaron en el epígrafe anterior.



Punta de Mangle - Constante - La Habanita.

Es zona de recepción de aves migratorias, en especial patos (*Anas platyrhynchos*). También abundan crustáceos como los cangrejos (*Grapsus grapsus*) y reptiles como el majá (*Tropidophis melanurus*); con una escasa población se presentan también las jutías (*Capromys Prensilis* y *Caproys piloides*)

La Herradura.

En los manglares viven caimanes y cangrejos y la zona también es visitada por aves migratorias.

Cabañas - Mala Habitación.

Viven cangrejos y recibe aves migratorias.

Playa Herradura - Varela, Palo Quemado - Granma y Punta Sotavento - Ensenada de Lazo.

Existen pocas condiciones para la presencia abundante de fauna, por lo ralo de la vegetación existente y bajo grado de conservación. Solo son frecuentes los crustáceos y es un reservorio de ostiones (*Crassostrea rizophorae*).

Desembocadura del Río Bongo.

La fauna ha emigrado totalmente por el grado de contaminación existente.

Río Mosquito y Río Guajaibón.

En el estuario abunda el ostión hacia la zona de los manglares, así como caimanes. Es un sistema íntegro, con aves migratorias y es común la presencia de la peorrea.

Los restantes núcleos forestales son muy pobres faunísticamente. Son comunes para la mitad oriental del territorio la presencia de murciélagos mariposas



(*Macrotus waterhousei*), lagartijas (*Anolis equestris*) y ranas (*Hily septentrionalis*) y moluscos hacia la mitad occidental; también aparecen otros individuos autóctonos de la fauna cubana tales como el cien pies, mancaperros, cochinillas, escorpiones, etc.

La fauna marina no ha sido suficientemente estudiada y carecemos de datos. La zona se ubica en un área muy estrecha de la plataforma insular, donde se destaca la presencia de moluscos en la Bahía de Cabañas, la cual puede constituir una de las principales zonas ostrícolas del país. Mar adentro, en el complejo seibadal-arrecifal, abunda el tiburón (*Squalus cubensis*), la aguja y el emperador; en cantidades relativamente no muy grandes se capturan la langosta (*Panulirus argus*), biajaiba (*Lutianus synagris*), pargo (*Lutianus analis*), caballero (*Lutianus griseus*), rabirubia (*Ocirus chysurus*), ronco (*Pomadasydae*), sardinas (*Harengula*), jureles, la sierra (*Pristis pectinatus*) y la cherna (*Epinephelus stratus*).

1.3 Características geológicas regionales.

Según la Memoria Explicativa del Levantamiento Geológico 1:250 000 de las provincias de La Habana y Ciudad de la Habana, Iturralde-Vinent, 1977, en la región donde se han ejecutado los trabajos de exploración, están presentes secuencias litológicas correspondientes a la Zona Estructuro - Facial Zaza (Formación Vía Blanca, K_2^{cp-m}) y la Zona Estructuro-Facial Noroccidental o Zona de Mariel (Formación Capdevila, P_1^2 - P_2^1). Ver Figura No 2. (Mapa de Geología Regional.)

La primera secuencia es de carácter terrígeno y de edad cretácica Formación Vía Blanca, K_2^{cp-m} (Campaniano- Maestrichtiano), constituida por argilitas, aleurolitas y areniscas grauvascas, con intercalaciones de margas blandas y conglomerados. La segunda sedimentación es de tipo flysch y olistostrómica. La segunda secuencia está representada por el flysch terrígeno de la Fm Capdevila, P_1^2 - P_2^1 constituida por areniscas y aleurolitas grauvascas, argilitas, conglomerados e intercalaciones de margas. Presenta un alto grado de dislocación de las rocas, no siendo



homogénea en todas las zonas donde aparece, presenta pliegues apretados y secuencias invertidas en algunos casos, contrastando con otras zonas donde aparece con una estructura simple monoclinal.

La materia prima del yacimiento Río Bongo está constituida por rocas de ambas secuencias. Las rocas cretácicas afloran hacia la parte Norte del yacimiento, en la zona de la cantera en explotación actualmente, en el resto del área del yacimiento están presentes las rocas del Paleoceno.

1.4. Características geológicas de la zona explorada.

Según los datos tomados del Informe de la Exploración del yacimiento de arcilla Río Bongo, realizado en los años 1972- 1976 por Zoltan Barkac y Jan Hasch, el yacimiento está constituido por sedimentos del Cretácico superior, Paleoceno y Cuaternario.

Los sedimentos del Cretácico superior afloran en la parte Norte del yacimiento, mientras que los del Paleoceno aparecen como subyacentes de los depósitos eluviales y hacia la parte Sureste del mismo. El yacimiento está constituido fundamentalmente por argilitas y lutitas. Las argilitas son arenosas y a veces bituminosas, en algunas partes calcáreas y contienen muchas intercalaciones de areniscas de grano fino. En las capas superiores predominan las areniscas y los conglomerados de grano fino a grueso.

En la base de los sedimentos arcillosos yace, en algunas partes del yacimiento, una capa de gravas de grano medio a grueso, con potencia entre 5-10 cm. Sobre estas gravas aparecen arcillas, arcillas calcáreas con capas de arenas, arenas muy arcillosas de color gris - carmelita y a veces residuos orgánicos. La cubierta del yacimiento está formada únicamente por una capa vegetal que como promedio alcanza 0.30m.



En el área explorada al Oeste del bloque 25 - C₂ Ampliación y según los datos aportados por las perforaciones realizadas, se presenta un corte constituido por arcillas, arcillas argilítico-arenosas, argilitas, arcillas areno-argilíticas, arcillas argilíticas, arcillas arenosas y areniscas.

Las arcillas generalmente presentan un color pardo claro a carmelita claro, son algo plásticas y a veces tienen un aspecto abigarrado, donde predomina la coloración amarillenta. En algunas ocasiones son algo arenosas y presentan carbonato disperso e inclusiones de gravas calcáreas pequeñas. Las arcillas argilítico-arenosas comúnmente presentan una coloración grisáceo-verdoso claro con tonalidades amarillento claro, también presentan carbonato disperso en forma de nidos y con frecuencia se observan fragmentos de argilita algo más consolidados, aunque blandos. Los intervalos de argilita como tal, se observan con poca frecuencia en el corte litológico de la zona y estas presentan un color gris claro- gris plomo, con manchas amarillentas, blandas y con intercalaciones de areniscas de grano fino, a veces presentan un aspecto esquistoso y se observan espejos de fricción en los fragmentos.

Las arcillas areno-argilíticas también aparecen con poca frecuencia y se presentan con una coloración amarillenta- amarillenta clara, a veces con tonos grisáceos claro. Presentan carbonato disperso en forma de nidos e intercalaciones de fragmentos de arenisca silíceas, dura, de grano fino y fragmentos calcáreos pequeños y duros.

Las arcillas argilíticas son las predominantes en el corte y presentan un color grisáceo verdoso claro, con tonalidades a veces amarillento claro, se observa carbonato de forma dispersa y fragmentos de argilita intercalados. Las arcillas arenosas se presentan en el corte con poca frecuencia y presentan una coloración pardo-amarillento a grisáceo verdoso claro, la fracción arenosa es de grano fino, presentan carbonato de forma puntual y fragmentos intercalados de arenisca duros, silíceas, con tamaños que alcanzan entre 4-5cm. Ver Figura No. 2 Columna Geológica Esquemática perteneciente al pozo PB 30.



Las areniscas se presentan solamente en los pozos 12 y 20 H, presentando las mismas un color gris claro con manchas amarillentas claro, son duras, de granos finos y compactos. En la zona explorada, todas las rocas descritas anteriormente, aparecen cubiertas por una capa vegetal de poco espesor, que como promedio es de 0.39 m, constituida por una arcilla de color carmelita oscuro, plástica. Todos los tipos litológicos descritos en el área, pertenecen a los depósitos con carácter de flysch de la Formación Capdevila, del Paleoceno, cuyo corte intemperizado en la zona alcanza entre 10-15m de espesor. Ver figura No. 2 Columna Geológica.

Prof m	Descripción geológica	Columna Geológica
0,60	0,0 a 0,20 Capa vegetal	/// ///
1,20	0,20 a 2,40 Arcilla de color pardo amarillento con fragmentos de carbonatos de color blanco y fragmentos de	
1,80		
2,40		
3,70	2,40 a 9,8 Secuencia flischoide compuesta por arenisca de grano fino a medio de color pardo amarillento con patinas de manganeso y oxidos de Fe e intercalaciones de argilitas y limolitas	Mn Fe
4,40		
5,30		
7,00		
8,50		
9,80		
11,00	9,80 a 14,00 Secuencia flischoide con predominio de argilitas de color gris verdoso oscuro y abundantes espejos de fricción, está cloritizada.	
12,70		
14,00		

Figura No. 2 Columna Geológica Esquemática. Perteneciente al Pozo PB 30



1.5. Tectónica.

Según datos tomados del informe de los trabajos ejecutados en el período 1972-1997 en el yacimiento Río Bongo, la estructura general del yacimiento corresponde a un sinclorium de las rocas del Cretácico Superior y Paleoceno, formado por varios pliegues con dirección generalmente NE- SW (E-W). Los buzamientos de los estratos varían entre 10-60 grados, predominando los buzamientos entre 15-20 grados.

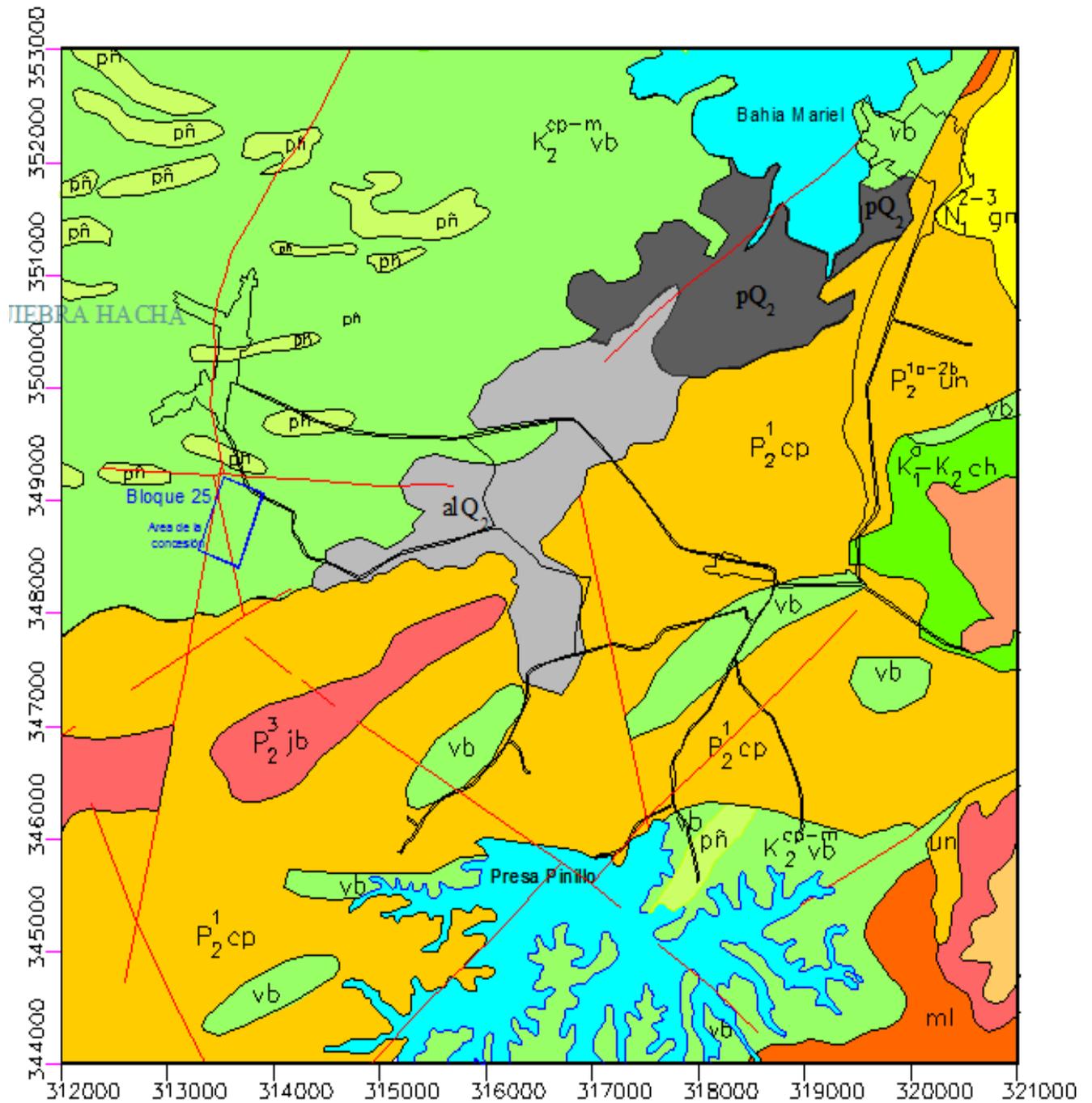
Se destacan en el yacimiento dos grupos principales de fallas:

- Fallas longitudinales con dirección E-W hasta NE-SW.
- Fallas transversales con dirección N-S hasta NW-SE.

En la zona de inundación de los ríos, los sedimentos cuaternarios (aluviales, eluviales y deluviales) yacen en posición horizontal sobre los sedimentos del Paleoceno.

Para el área explorada, según los datos de yacencia tomados del Mapa Geológico 1:250 000 de las provincias habaneras (Iturralde-Vinent, 1977), se denota un plegamiento de las capas de la Formación Capdevila, cuyo eje tiene una dirección NW-SE. En dirección Norte y Oeste se ubican los flancos de este plegamiento que se complican con numerosas fallas. Los buzamientos de las rocas oscilan entre 30 y 45 grados. Las fallas representadas tienen diferentes direcciones (ver anexo gráfico No 4).

- Fallas con dirección NW-SE.
- Fallas con dirección NE-SW.
- Fallas con dirección E-W.



Escala:

1 cm=1000 metros

Figura No. 3 Mapa Geológico Regional Esquemático. Realizado por el grupo de especialistas de la EAS (2009) y modificado por el autor.



1.6 Condiciones Hidrogeológicas de la zona estudiada.

Este epígrafe ha sido confeccionado teniendo en cuenta la analogía con el bloque 25 C₂, que presenta un estudio hidrogeológico detallado y la parte explorada en esta ocasión corresponde con el Oeste de este bloque, es una continuidad de la formación geológica y presenta condicionales muy similares.

Dentro del área de estudio se desarrolla un horizonte acuífero libre el cual circula por los sistemas de grietas existentes dentro de las rocas terrígenas de la formación Capdevila. El horizonte acuífero se considera sin presión, presentando las aguas subterráneas una superficie irregular, ya que yacen a una profundidad entre las cotas 2.0 m y 6.70 m. Estas aguas subterráneas las podemos catalogar como aguas de estratos – fisurales.

La potencia del acuífero es indeterminada por la presencia de pozos incompletos y el objetivo del pozo hidrogeológico fue estudiar el nivel estático de las aguas hasta la cota + 10.0 m y con estos datos determinar la potencia útil para calcular reservas secas.

La zona de alimentación está dada por la infiltración de las aguas del río Bongo, las cuales tienen su drenaje hacia el Norte, lo cual no dificulta la explotación del yacimiento, debido a que en períodos de lluvia existe una amplia red de escurrimiento. El yacimiento de arcilla Río Bongo posee cotas muy cercanas a la cota del río y estas están surcadas por cañadas que facilitan el drenaje superficial

Para realizar la caracterización hidrogeológica del yacimiento se perforó un pozo hidrogeológico P- 20 H de 15,50 m de profundidad que dista a 153 m del límite del área investigada, en el mismo se ejecutó el bombeo de prueba por el método de cubeteo. A partir de los resultados obtenidos no se pudieron calcular los parámetros hidrogeológicos, dado que el pozo se recuperó casi instantáneamente.

Se realizó una medición simultánea posterior a los trabajos de perforación. Los resultados de las mediciones fueron considerados positivos en cuanto a la



transmisibilidad y permeabilidad de las rocas. Se tuvieron en cuenta los estudios realizados anteriormente en el bloque 25 C₂, del año 1972 – 1976, así como la información de los años 2006 – 2007, donde los resultados obtenidos permiten afirmar que existe una alta permeabilidad en el corte, por lo tanto la afluencia esperada es alta por lo que podemos plantear que las características hidrogeológicas son complejas, las rocas que conforman el yacimiento y sus alrededores son de alta acuosidad.

Teniendo en cuenta que el nivel freático se encuentra por debajo de la cota **H + 10m**, proponemos que la explotación se realice hasta la cota **H + 13.0m**, para lograr un margen de confiabilidad y evitar una penetración del agua en la cantera. Por lo que hasta esta cota consideramos una potencia útil seca.

En la actualidad el bloque 25 C₂ Ampliación, se encuentra en explotación en el nivel H + 14.25m en la parte Sur y en una zona de drenaje está en la cota H + 12.64m y no ha existido dificultad alguna para el desarrollo de los trabajos mineros.

Por todo lo antes expuesto consideramos que en la zona explorada bloque 25 C₂ Oeste, de la ampliación Norte del bloque 25 C₂, no tenga complejidad hidrogeológica para su explotación minera. Por ende el cálculo de los recursos es considerado hasta la cota **H+13.00m** y son recursos secos. De esta manera, fueron calculados los recursos del bloque continuo para tres años de explotación sin dificultad hidrogeológica.



Capítulo II

Metodología de los Trabajos Ejecutados.

2.1 Introducción.

La metodología aplicada en la investigación (Figura No 4) para la exploración geológica, la caracterización geoquímica de las rocas y el cálculo de las reservas parte de la búsqueda y la recopilación bibliográfica de materiales y datos de trabajos ejecutados en la región y el área de estudio. Se describe el procedimiento utilizado para el procesamiento de la caracterización de las arcillas a partir del Módulo de Sílice, Módulo de Alúmina, MgO, SO₃, Na₂O, K₂O, así como para las descripciones generales de las rocas que componen el yacimiento de arcilla. Se dividió el trabajo en cuatro etapas fundamentales. Figura No 4

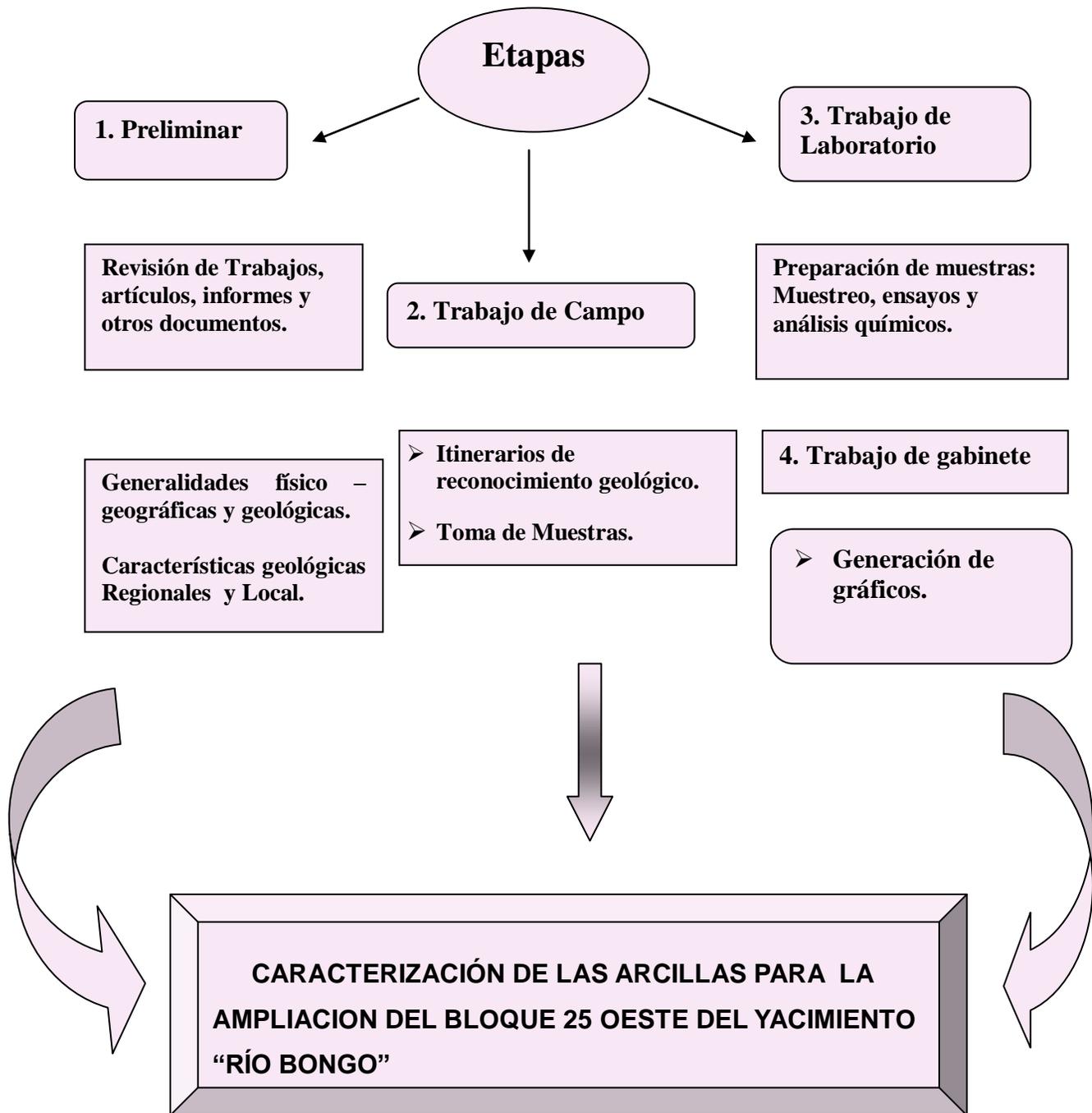
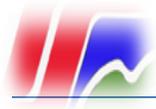


Figura No 4. Organigrama que resume la metodología de la investigación.



Para la ejecución del trabajo de diploma se confeccionó una metodología con varias etapas que contribuyeron a la adecuada realización de forma exitosa, entre las etapas se encuentran las siguientes:

- **Etapas I: Preliminar**
- **Etapas II: Trabajo de campo**
- **Etapas III: Trabajo de Laboratorio**
- **Etapas IV: Trabajo de gabinete**

Para dar cumplimiento a los objetivos propuestos se trazaron las tareas siguientes:

2.2. Preliminar

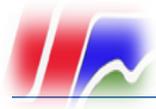
Para la recopilación de la información se consultaron diferentes documentos (informes técnicos) en formato digital e impresos relacionados con el tema, se utilizó además, toda la información primaria obtenida hasta el momento por el grupo de especialistas que han trabajado en el proyecto de exploración geológica en el yacimiento de arcilla Rio Bongo.

2.3. Trabajo de Campo.

El trabajo de campo se desarrolló en varias campañas de corta duración.

Inicialmente se realizó el replanteo con el equipo delta 010 B de precisión $\pm 1'$ donde las distancias fueron replanteadas taquimétricamente, se replantearon a partir del chucho de caña (6 pozos). Los parámetros del replanteo de las labores se calcularon a partir de las coordenadas del chucho de caña y de las coordenadas geográficas de los pozos. Todos fueron estabilizados con cabillas e identificados convenientemente para su rápida localización.

Se realizó una poligonal de precisión 1: 500 a partir del chucho de caña (cerrada) con una longitud de 537,19 m y un punto por doble brazo (PC – 6).



Los ángulos horizontales y verticales fueron medidos con el teodolito 010-B de precisión de $\pm 1'$ donde los ángulos verticales fueron medidos en las 2 posiciones del anteojo, esta poligonal se realizó con el objetivo de amarrar altimétricamente y planimétricamente las labores realizadas (6 pozos perforados) y realizar el levantamiento topográfico a escala 1: 2 000 de 18 hectáreas, midiéndose todos los accidentes del terreno como cañadas, cimas, caminos, cortes, etc.

a) Monumentación 50x20x20.

Se realizó con el objetivo de lograr la estabilización en el terreno de los puntos de partida del levantamiento 1: 2 000, mediante un mortero de arena, cemento P-250 y gravilla, logrando que una de las caras estuviera orientada Norte – Sur.

b) Amarre de labores.

Se realizó mediante el método de doble brazo, para caracterizar tanto el amarre altimétrico como planimétrico de los 6 pozos ejecutados. (Ver anexo No.2. Coordenadas de los pozos).

c) Levantamiento topográfico.

Como actividad final se realizó el levantamiento topográfico a escala 1: 2 000 del área de estudio (8.2 ha), midiéndose todos los detalles morfológicos del terreno como son líneas de máxima pendiente, vaguadas, cimas, sillars, cañadas, etc., con el objetivo de garantizar una base topográfica a escala 1: 2000 que sirviera para el posterior cálculo de reservas.

Trabajos de perforación.

De acuerdo con los resultados de los trabajos ejecutados en los años 1972 – 1976 en el yacimiento de arcilla Río Bongo, la materia prima presenta un comportamiento químico y tecnológico homogéneo, a pesar de estar constituida petrográficamente por varios tipos litológicos. Teniendo en cuenta que este



trabajo constituye una ampliación del yacimiento hacia el oeste y que en estos momentos el yacimiento está en explotación, se decidió utilizar una red irregular teniendo en cuenta la morfología del área la cual garantiza el grado de estudio necesario para elevar las reservas a la categoría más alta.

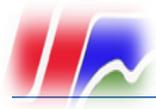
En total fueron perforados 6 pozos de exploración, lo que representa un metraje de 136.00 m. La profundidad promedio de los pozos fue de 22.6 m. Tabla No 2

En la siguiente tabla No 2 se relacionan los datos relativos a los pozos perforados

Número.	Número. de pozo	Profundidad real, (m)	Recuperado, (m)	Recuperación (%)
1	PB-30	14.00	13,4	95,3
2	PB-31	20.00	19,8	99,3
3	PB-32	15.00	14,75	99,44
4	PB-33	27.00	25,3	95,4
5	PB-34	30.00	26,3	92,2
6	PB-35	30.00	28,2	96,5
Total		136.00	127,80	96,36

Tabla No 2: Datos de los pozos perforados.

Los pozos fueron perforados empleando una máquina autotransportada UKB – 500 de fabricación soviética, utilizando agua como líquido de lavado principalmente para la extracción de la muestra del tubo portatestigo. Todos los pozos fueron verticales y la perforación se realizó a columna con recuperación general del testigo. Se emplearon coronas de tungsteno del tipo CA – 6 y CA – 5. El diámetro inicial de los pozos fue de 112 mm y final de 93 mm.



La calidad técnica de los trabajos de perforación se considera muy buena ya que la recuperación general del testigo fue de 96,36%.

d) Toma de muestras.

Las muestras de rocas fueron descritas macroscópicamente según los modelos de documentación y muestreo y embaladas adecuadamente para ser enviadas al laboratorio de La Planta de Cemento del Mariel (Cementos Curazao) para los correspondientes análisis químicos.

2.4. Trabajo de Laboratorio.

2.4.1. Muestreo, ensayos y análisis realizados.

Después de efectuada la documentación geológica del testigo, se tomaron muestras básicas y complementarias.

Las muestras básicas fueron tomadas del testigo de perforación, atendiendo a los tipos litológicos documentados. Cada muestra fue conformada tomando la mitad del testigo en el intervalo a muestrear, la que posteriormente era envasada en un saco de polipropileno. Estas muestras fueron trituradas y homogenizadas manualmente, hasta obtener una muestra con un peso aproximado de 6 – 8 kg destinada al análisis.

El intervalo máximo de este tipo de muestreo fue de 3.60 m y el mínimo fue de 1.20 m, como intervalo promedio fue de 2.73 m.

2.4.2. Volumen de muestras, análisis, ensayos y determinaciones.

Se tomaron un total de 49 muestras básicas, a las cuales se les realizó el análisis químico. El análisis químico realizado contempló la determinación de los siguientes elementos: SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO, MgO, SO₃, K₂O, MS, MA, PPI y Na₂O. Las muestras fueron analizadas en el laboratorio de la Planta de Cemento del Mariel (Cementos Curazao) por el método de Fluorescencia de Rayos X.



En la siguiente tabla No 3 se resumen los volúmenes de muestras y análisis realizados durante los trabajos.

Número de orden	Tipo de muestreo	Tipo de muestras	Volumen	Análisis realizado
1	Testigo de perforación	Básicas	49	Químico: SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃ , CaO, MgO, SO ₃ , K ₂ O, MS, MA, PPI, Na ₂ O, Hn.

Tabla 3: Volumen de muestras tomadas y análisis realizados.

2.5. Trabajo de Gabinete.

En esta etapa se llevó a cabo el procesamiento de toda la información primaria obtenida en el campo y brindada por la Empresa de Asistencia y Servicio (EAS). Sobre la base de estos datos fueron confeccionados el plano topográfico a escala 1: 2 000 (Anexo gráfico No.5. Plano topográfico y de datos reales.) y los perfiles geológicos (Anexo gráfico No.6), del área de los trabajos para asegurar la precisión requerida de la tarea técnica de la (EAS) en la exploración del Bloque 25 Oeste.

La evaluación de la calidad de la materia prima estudiada aparecen reflejados en los resultados de los análisis químicos efectuados a las muestras básicas y el resultado de la composición química de los promedios ponderados por pozos en la zona investigada, lo que pudo determinar que el área investigada es positiva para ser utilizada en la producción de cemento.



Capítulo III

Características Cualitativas y Tecnológicas de los Minerales Útiles.

3.1 Introducción.

En la evaluación de la calidad de la materia prima estudiada, se han tenido en cuenta las normas, requisitos, especificaciones, parámetros y criterios ofrecidos por la Empresa Mixta Cementos Curazaos. SA, cuyas exigencias, desde el punto de vista del quimismo se reflejan a continuación:

- Módulo de Sílice: mayor de 2.2%
- Módulo de Alúmina: menor de 2.1%
- MgO: 3.0% (Máximo)
- SO₃: 3.0% (Máximo)
- Na₂O: 2.0% (Máximo)
- K₂O: 2.0% (Máximo)
- PPI: 22.0% (Máximo)



Estos parámetros, aparecen reflejados en la Tarea técnica del Proyecto que ha dado origen a los trabajos realizados para la exploración de la zona colindante al Norte del Bloque 25 - C₂ y constituyen las exigencias actuales de la Planta de Cemento del Mariel, de Cementos Curazao. La caracterización química de las muestras ha sido realizada por el laboratorio de la propia Planta de Cemento. El cálculo de la composición química promedio se ha realizado utilizando el método de la ponderación de los resultados, en este caso por el espesor de las muestras.

El único parámetro inválidante es el incumplimiento del módulo de sílice (M.S).

3.2 - Resultados del estudio de la composición química.

En el anexo No. 3. Aparecen reflejados los resultados de los análisis químicos efectuados a las muestras básicas y el resultado de la composición química de los promedios ponderados por pozos en la zona investigada. Ver la tabla No 8.

Al evaluar los resultados antes mencionados se puede determinar que el área investigada es positiva para ser utilizada en la producción de cemento. En el anexo No.3 aparecen los resultados muestra por muestra, teniendo en cuenta las exigencias de los parámetros del quimismo, se puede observar que las 40 muestras cumplen con el módulo de sílice (Tabla No 4) de un total 49 muestras básicas, siendo el valor del módulo de sílice exigido para la evaluación (mayor de 2.2) y el promedio del área investigada es de 2.34 a continuación las fórmulas para:

Módulo de Sílice (MS): $\frac{\text{SiO}_2}{(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)}$

Módulo de Alúmina (MA): $\frac{\text{Al}_2\text{O}_3}{\text{Fe}_2\text{O}_3}$



Tabla No 4. Muestras que cumplen con el Módulo de Sílice (M.S).

Número	POZO	Número de / muestra	M.S.
1	PB - 30	3002	2.22
2	PB - 30	3003	2.27
3	PB - 30	3004	2.45
4	PB - 30	3005	2.45
5	PB - 31	3101	2.22
6	PB - 31	3102	2.36
7	PB - 31	3103	2.24
8	PB - 31	3104	2.39
9	PB - 31	3105	2.32
10	PB - 31	3106	2.28
11	PB - 32	3201	2.32
12	PB - 32	3202	2.27
13	PB - 32	3203	2.20
14	PB - 32	3204	2.44
15	PB - 32	3205	2.21
16	PB - 32	3206	2.32
17	PB - 33	3302	2.41
18	PB - 33	3304	2.30
19	PB - 33	3306	2.43
20	PB - 33	3307	2.25
21	PB - 33	3309	2.32
22	PB - 34	3401	2.38
23	PB - 34	3402	2.36
24	PB - 34	3403	2.30
25	PB - 34	3404	2.25
26	PB - 34	3405	2.24
27	PB - 34	3406	2.71



Número	POZO	Número de / muestra	M.S.
28	PB - 34	3407	2.41
29	PB - 34	3408	2.22
30	PB - 34	3409	2.51
31	PB - 34	3410	2.93
32	PB - 35	3501	2.23
33	PB - 35	3502	2.23
34	PB - 35	3503	2.40
35	PB - 35	3504	2.38
36	PB - 35	3505	2.24
37	PB - 35	3506	2.28
38	PB - 35	3507	2.36
39	PB - 35	3508	2.32
40	PB - 35	3509	2.37
41	PB - 35	3510	2.27
42	P-3	1	2.21
43	P-3	2	2.22
44	P-3	3	2.22
45	P-4	4	2.19
46	P-4	5	2.14
47	P-4	6	2.13
48	P-4	7	2.21

El 85.71 % de las muestras básicas cumple las exigencias fundamental de la evaluación de la materia prima que es el cumplimiento del Módulo de Sílice (M.S), como se puede apreciar en la tabla No 4.

Para el módulo de alúmina se establece como máximo 2.1. La evaluación realizada de las muestras básicas permite plantear que los valores



correspondientes a este módulo, oscilan entre 1.60 – 2.06. Siendo el promedio del área 1.83, a continuación la relación de muestras por pozos que cumplen el M.A.

Tabla No 5. Muestras que cumplen con el MA

#	POZO	# MUESTRA	M.A.
1	PB - 30	3001	1.72
2	PB - 30	3002	1.88
3	PB - 30	3003	2.00
4	PB - 30	3006	1.69
5	PB - 31	3101	1.93
6	PB - 31	3103	1.84
7	PB - 31	3104	2.06
8	PB - 31	3105	1.94
9	PB - 31	3106	1.91
10	PB - 31	3107	1.80
11	PB - 32	3201	1.71
12	PB - 32	3202	1.76
13	PB - 32	3203	1.74
14	PB - 32	3204	1.88
15	PB - 32	3205	1.66
16	PB - 32	3206	1.73
17	PB - 33	3301	1.94
18	PB - 33	3303	1.60
19	PB - 33	3305	2.03
20	PB - 33	3307	2.03
21	PB - 33	3308	1.83
22	PB - 33	3309	1.99
23	PB - 33	3310	1.73
24	PB - 34	3401	1.78
25	PB - 34	3402	2.01



#	POZO	# MUESTRA	M.A.
26	PB - 34	3403	2.03
27	PB - 34	3404	1.83
28	PB - 34	3405	1.78
29	PB - 34	3408	1.69
30	PB - 35	3501	1.82
31	PB - 35	3502	1.68
32	PB - 35	3504	1.99
33	PB - 35	3505	1.78
34	PB - 35	3506	1.93
35	PB - 35	3507	1.98
36	PB - 35	3508	1.71
37	PB - 35	3509	2.06
38	PB - 35	3510	1.76
39	P-3	1	1.88
40	P-3	2	1.74
41	P-3	3	1.78
42	P-4	4	1.71
43	P-4	5	1.78
44	P-4	6	1.81
45	P-4	7	1.77

Tabla No 6. Valores superiores a 2.1 en el M.A. se observan en los siguientes casos.

No. de pozo	No. de muestra	Módulo de alúmina
PB 30	3004	2,15
PB 30	3005	2,3
PB 31	3102	2,32



No. de pozo	No. de muestra	Módulo de alúmina
PB 33	3302	2,28
PB 33	3304	2,14
PB 33	3306	2,38
PB 34	3406	2,2
PB 34	3409	2,15
PB 34	3410	3,10
PB 35	3503	2,20

Al realizar una comparación entre los módulos de alúmina y sílice en las tablas del anexo No 2, se observa que las muestras 3005 (PB 30), 3102 (PB 31), 3302, 3304, 3306 (PB 33), 3406, 3407, 3409, 3410 (PB 34), 3503 (PB 35) que cumplen con la condición de un módulo de sílice mayor de 2.2, incumplen con la exigencia para el módulo de alúmina (menor de 2.1) al presentar valores superiores a este.

Por su parte, el contenido de MgO presenta valores que varían entre 1.19 - 5.92 %. El 95.91 % del total de muestras tomadas (49) presentan valores por encima del 3.0 %, que se establece como límite máximo permisible. Esta exigencia no es invalidante para la evaluación positiva de la materia prima y su posterior uso en la fabricación de cemento.

El contenido de K₂O presenta valores que oscilan entre 0.83 – 2.53 %, siendo su valor medio ponderado para toda la zona explorada de 1.80 %.

El contenido de SO₃ presenta un comportamiento satisfactorio en todas las muestras analizadas, al presentar valores inferiores al 3.0% que se plantea como máximo permisible. Sus valores varían entre 0.37-0.86 %, siendo su valor medio ponderado para el sector de 0.50 %.

El PPI (pérdidas por ignición) aparece en todas las muestras con valores inferiores al 22.0%. El valor medio ponderado del PPI en el sector es de 11.07 %, mientras que el valor máximo permisible es de 22.0%.



El cálculo de los contenidos medios ponderados por pozo (tabla No 7), arrojó los siguientes resultados:

Número de pozo	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	PPI	MS	MA	Evaluación
PB30	49,26	14,82	7,34	8,65	4,02	1,69	1,63	0,45	11,18	2,28	1,95	Positivo
PB31	47,33	13,74	7,02	9,74	3,53	1,67	1,65	0,43	11,45	2,28	1,96	Positivo
PB32	50,20	13,95	8,01	7,49	4,15	1,78	1,90	0,63	10,41	2,29	1,74	Positivo
PB33	49,04	14,50	7,31	8,65	3,78	1,82	1,84	0,50	10,92	2,25	1,98	Positivo
PB34	50,09	13,87	6,94	8,51	4,17	1,69	2,01	0,49	11,60	2,41	2,00	Positivo
PB35	50,36	14,27	7,58	7,51	4,45	1,69	1,70	0,50	10,75	2,31	1,88	Positivo

Tabla No 7. Resultados de la composición química de los contenidos medios ponderados por pozos (%).

Los valores de los módulos de sílice y alúmina fueron ponderados, y se calcularon sobre la base de los contenidos medios ponderados obtenidos para cada óxido, en cada pozo.

Como se puede apreciar en los resultados, Tabla No 7 todos los pozos cumplen con las exigencias planteadas para el módulo de sílice (mayor de 2.2), para un 100%, mientras que el módulo de alúmina por pozos tiene un comportamiento similar.

El cálculo de la composición química por elemento con el promedio ponderado para la zona explorada, arrojó los siguientes resultados en (%) teniendo en cuenta los pozos positivos. Tabla No 8



SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	PPI	MS	MA
49,45	14,12	7,34	8,4	4,04	1,72	1,8	0,5	11,07	2,31	1,95

Tabla No 8. Resultados del cálculo de la composición química por elemento bloque 25 – C₂ (Ampliación al Oeste) (%).

Según los trabajos realizados durante los años 1972-1976 en el yacimiento Río Bongo, la composición química promedio del Bloque 25C₂b-II (25 – C₂) es la siguiente: (%).Tabla No 9

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O + K ₂ O	MS	MA
55.41	14.42	7.31	6.36	3.18	2.55	1.97

Tabla No 9. Composición química promedio del Bloque 25C₂b-II (25 – C₂) (%).

Al comparar ambos resultados, se observa una diferencia significativa entre el contenido de SiO₂ del bloque 25 - C₂ calculado en los trabajos anteriores (55.41%) y el obtenido con los trabajos de exploración recientes (48.45 %) con el bloque 25 – C₂ Ampliado al Oeste. El valor calculado recientemente es inferior al anterior, en este valor bajo del módulo de sílice obtenido con los trabajos de exploración, provocó que la planta opere con un módulo de sílice (M.S) superior o igual a 2.20, valor el cual no se había trabajado hasta el momento, ya que siempre se produjo con un M.S. entre 2.3 a 2.4 el resto de los elementos presentan un comportamiento muy parecido en ambos casos. En el bloque 25 C₂ Oeste el promedio ponderado es de: 48.27 % de SiO₂ y M.S es de: 2.30. (Como se puede apreciar en el bloque de cálculo de los recursos).



Número de Bloque	Elemento químico en % ponderado										
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	PPI	MS	MA
25W – M - I	48.87	13.94	7.29	9.24	3.51	1.72	1.64	0.46	11.83	2.31	1.89

Tabla No 10. Composición química de la materia prima por elemento en el bloque de Cálculo de Recursos (promedio ponderado) del bloque 25W- M-I.

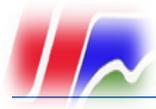
3.3 - Estimación de los Recursos.

El yacimiento de arcilla – “Río Bongo fue estudiado en los años 1972 – 1976 y para su cálculo de recursos se empleó el método de bloques geológicos, empleando la media aritmética ponderada para la determinación de los diferentes parámetros. Se determinaron 26 bloques en las antiguas categorías (B, C₁ y C₂) con un volumen total de 23, 5 millones de m³ para un tonelaje aproximado de 43, 8 millones de arcilla para ser empleado como corrector de sílice en la producción de cemento de la Fábrica de Cemento Mariel.

En el caso que nos ocupa el **bloque 25W – M - 1** de este yacimiento, que se ubica al Oeste del bloque de la ampliación (25-C₂); se origina esta investigación para aumentar el grado de estudio geológico en esta parte, que es la más elevada del yacimiento, debido a que los bloques estudiados con recursos medidos se encuentran en una zona más baja, y en periodos lluviosos pueden ocurrir inundaciones por los ríos que rodean el área.

Por todo lo antes expuesto para el cálculo de los recursos de esta exploración geológica, emplearemos el método de **Bloques Geológicos** y la determinación de los parámetros utilizando la media ponderada. Tomamos esta variante para continuar con los mismos criterios de estudio ya empleado en el yacimiento.

Además esta forma sencilla permite realizar los cálculos de extracción minera y controlar la calidad de la materia prima como lo corroboran los cortes



geotecnológicos y el minado que es masivo de todo el paquete de roca, como un sólo tipo tecnológico.

3.4 - Parámetros del Cálculo de los Recursos.

Área: Determinada por **Auto CAD-2007**.

Potencia: Se calculó por la media aritmética para determinar la potencia media del bloque, dada por la potencia útil de cada pozo, previamente se descontó del espesor (potencia estéril) que este caso es solo la cubierta o destape. Luego entonces la potencia media útil se determinó por la siguiente formula.

$$PM = \frac{\sum^n P \text{ útil}}{\eta}$$

η

Donde: **PM** – Potencia media útil del bloque

Pu – Espesor útil en cada pozo

η – Número de pozos útiles.

Peso Volumétrico: Tomamos 1.6 tn/m³ por analogía. Determinado in situ en el Informe de Exploración de Explotación de los bloques 8 – B y 14 – C₁ del propio yacimiento (Arcilla - “Río Bongo”). Donde las características geológico – Tecnológicas son similares.

Volumen: Partiendo de la fórmula general:

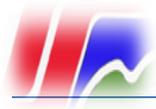
$$V = A \text{ (m}^2\text{)} \times \text{Potencia (m)}$$

$$V = m^3$$

Recursos: Fórmula General empleada

$$R = \text{Volumen (m}^3\text{)} \times P.V \text{ (tn/m}^3\text{)}$$

3.5- Variante del cálculo de los Recursos. Delimitación de los bloques.



Como hemos explicado en epígrafes anteriores, emplearemos el método de **Bloques Geológicos**, teniendo en cuenta las características geólogo – tecnológicas de la materia prima, así como las condiciones técnicas – mineras de explotación que se desarrollarán en la cantera de actual explotación.

En la exploración se determinó un **(1)** solo bloque geológico para el cálculo de los recursos y su denominación es la siguiente:

Bloque: 25W – M – 1 (Medidos – 1).

A continuación desarrollamos la delimitación de este bloque:

Delimitación del Bloque: 25W – M – 1. (Recursos Medidos)

El bloque 25W – M – 1 ocupa un área de: **28 967.57 m²** y está conformado por los pozos: PB-30, PB-31, PB-32, PB-33, PB-34, PB-35 y los pozos: P -1, P -2, P-3 y P-4 del bloque 25 M-1

El límite espacial en el plano horizontal de este bloque está dado de la forma siguiente:

- **Norte:** Limitado por línea que une los pozos: PB-33, PB-30 y P-4.
- **Este:** Esta dado por la línea que une los pozos: P -1, P -2, P-3 y P4.
- **Sur:** Este límite esta determinado por la línea que une los pozos: PB-35, PB-32, PB-31 y P- 1.
- **Oeste:** Límite dado por la línea que une los pozos: PB-35, PB34 y PB-33.

En el plano vertical el bloque esta limitado por la cota **H + 13.0** m, Es decir de la cota **H +13**, hacia a la superficie, recursos es secos y de la cota **H+13** hacia abajo los recursos son húmedos.

3.6 - Resultados del Cálculo de los Recursos.



Bloque	U/M	25W- M- 1
Área	m ²	28967.57
Potencia	m	13.66
Volumen	m ³	395 697.01
Masa Volumétrica	tn/m ³	1.6
Recursos	tn	633 115.22
Total	633 115.22	

Tabla 11. Cálculo de recursos con el grado de estudio geólogo - tecnológico uniforme en la exploración. Nivel: H + 13.0m.

Después de analizar todas las variantes de cálculo de los recursos, consideramos que para esta exploración es válida para la cota H + 13 m. porque estimamos que ese volumen es minable, además por analogía y experiencia en la explotación de este yacimiento hacia las profundidades del corte geológico aumenta la calidad de la materia prima y será investigado con exploración de explotación.



Conclusiones

- 1 - La materia prima estudiada presenta valores del módulo de sílice entre 2.08 – 2.93, siendo su promedio de: 2.31.
- 2 - Los valores del módulo de sílice mayor a 2.2 satisfacen las exigencias solicitadas por la Planta de Cemento del Mariel (Cementos Curazao), siendo 85.71 % de las muestras básicas cumplidoras en su utilización como componente sílico-aluminoso en dicha Planta y a la vez como corrector silicio.
- 3 - El cálculo de las reservas realizado mediante el método de Bloque Geológico garantiza como mínimo 1 000 000 t de materia prima arcillosa. Comportándose los recursos calculados en Medidos: **633 115.22tn**, lo que garantizaría la producción de cemento de la Planta Mariel (Cementos Curazao) por espacio promedio de 3 años, a un ritmo anual de consumo de unas 300 000 t.



Recomendaciones

- Utilizar la arcilla del Bloque 25 Oeste del yacimiento Río Bongo como material corrector y complemento de la caliza del yacimiento Mariel para la fabricación de cemento.
- Aumentar el grado del estudio geológico en las zonas circundantes del yacimiento de Arcillas Río Bongo con el método de Exploración de Explotación.

Bibliografía

Citada y Consultada

Acevedo Cata, J., Martínez Lobeck, E., Díaz Rodríguez E., Amat Baldosa, E., 1985. Materiales de Construcción. Ed. Dept. Geotecnia y Materiales de Construcción. Facultad de Ingeniería Civil. ISPJAE. La Habana.

Barkac Z. y Hash J. 1972-1976. Informe de Exploración del yacimiento de arcilla para cemento Río Bongo.

Batista González, R., Sosa Sayas, D., García Saborit, M. A., González, E. M., et al., 2000. INFOYAC. Sistema Informativo para Los Recursos Minerales de Cuba. IGP. La Habana. *Actualizado hasta el 2007, para los yacimientos tratados en esta investigación.*

Batista González, R., Sosa Sayas, D., García Saborit, M. A., González, E.M., et al., 2002. Mapa de Rocas y Minerales Industriales de Cuba. Escala 1:100 000. CD Rom. IGP. La Habana. 2002.

Batista González, R., Martínez Salcedo, J., González, E.M., García Saborit, M.A. et al., 2005. Depósitos de Rocas y Minerales Industriales en Cuba. Sus Principales Regularidades Estructuro – Formacionales y Perspectivas. Memorias. 1ra Convención Cubana de Ciencias de la Tierra. CD Rom. La Habana.

Coutin Correa, D.P., Martínez Salcedo, J., et al., 1985. Mapa de Yacimientos y Manifestaciones de Minerales No – Metálicos y Combustibles de la República de Cuba. Escala 1: 500 000. inv. 3473. ONRM. La Habana.



Coutin Correa, D.P., Martínez Salcedo, J., Batista González, R., García Saborit, M.A., et al. 1992. Mapa Mineragénico - Pronostico de Cuba. Escala 1:500 000. IGP. La Habana. Inédito.

Colectivo de autores; 1980. Atlas de Cuba. Academia de Ciencias de Cuba.

Cruz Vargas, Fernando J., Cruz Rodríguez, Víctor F., Martín Rosello, Ariel., Treserra Tabeada Ileana; 2007: Informe de la Exploración Geológica del Bloque 25 C2 del Yacimiento de Arcilla "Río Bongo". Inv. ONRM. 5596. La Habana.

Cruz Vargas, Fernando J., Martín Rosello, Ariel., Treserra Tabeada Ileana; 2006. Informe Geológico de la Exploración de Explotación de Explotación en el Yacimiento de Arcilla "Río Bongo". Inv. ONRM. 5546. La Habana.

De las Cuevas Toraya, J. 1993. La Industria Cubana de Materiales de Construcción. La Habana.

Díaz Sotolongo, Alberto., González, Jaime. 1980: Informe final sobre los resultados de los trabajos de Exploración Adicional en el yacimiento de rocas arcillosas como corrector para cemento Mariel. Inv. 3001. ONRM. La Habana.

Gallo, Rolando., Cruz, Fernando., González, Virginia, Batista, Rolando., 2006. Dictamen Técnico. Situación de la Geología y la Minería en la Industria del Cemento en Cuba. Elaborada por especialistas del Instituto de Geología y Paleontología y la Unión del Cemento y el Vidrió. Información al Ministerio de la Industria Básica. La Habana.

INSPECCIÓN ESTATAL ENERGÉTICA. 2000: Diagnóstico Energético. Rama Cemento. Ministerio de Economía y Planificación. Dirección de Energética, Departamento de la Inspección Estatal Energética. Ciudad de la Habana, 30 de enero del 2000. 83 p.



Iturralde-Vinent, M. , 1994. Cuban geology: A new plate tectonic synthesis. Journal of petroleumgeology, 17, 39-70.

Iturralde-Vinent; 1977. Memoria Explicativa del Levantamiento Geológico 1:250 000 de las provincias La Habana y Ciudad de la Habana. Academia de Ciencias e Instituto de Geología y Paleontología.

Iturralde – Vinent. M.A., 1998. Sinopsis de la constitución Geológica de Cuba. Eds. Melgarejo, J.C. y Proenza, J.A. Acta Geológica Hispánica. V.33 nº 1-4 p 9-56. España.

Martínez Salcedo, J., Pantaleón, G., Coutin Correa, D.P., Batista, González, R., et al., 1998. Reevaluación de las materias primas no – metálicas para la diversificación de la producción nacional. IGP. La Habana. Inédito.

Martínez Salcedo, J., Pérez Nevot, N., Ponce Seoane, N.G., Batista, González, R., et al., 1994. Pronostico de Materias Primas No- Tradicionales de la República de Cuba. IGP. La Habana. Inédito.

ONRM. 1999. Clasificación de los Recursos y Reservas de Minerales Útiles Sólidos. La Habana.

ONRM. 2006. Base de Datos Referativos. MINBAS. La Habana. 2006.

ONRM. 2007. Balance de Reservas. MINBAS. La Habana. 2007.

Sevilla J. 1999. Proyecto de actualización del yacimiento de arcilla Río Bongo. Empresa Geólogo-Minera.

Taylor, H.F.W., 1966. La Química de los Cementos. 1^{ra} Parte. Química de los componentes del cemento anhidro y de la producción del cemento Pórtland.

Urra Abraira, Jorge., Cubillas Expósito, Nelson., Martínez Vargas, Adrián., Torres Rodríguez, Enrique. 2006: Reporte Técnico Sobre Recálculo de los



Recursos de Calizas y Arcillas. Yacimiento “Mariel”. Inv. ONRM. 5587. La Habana.

Valdés J. Fernández J. 1988. Proyecto de Explotación del yacimiento de materia prima para cemento Río Bongo. Empresa Geólogo-Minera.

Anexos

Anexo 1 : Catálogo de Coordenadas de los Pozos.

POZO	X	Y	Z
PB — 30	313 763,00	349 009,00	31,62
PB — 31	313 757,00	348 916,00	24,85
PB — 32	313 641,00	348 853,00	25,51
PB — 33	313 590,00	348 929,00	28,25
PB — 34	313 564,00	348 817,00	32,00
PB — 35	313 535,00	348 700,00	33,52
P-- 3	313 856.71	348 884.17	26.08
P-- 4	313 853.75	348 983.99	29.28
P -- 2	313 854.19	348 784.88	22.28
P -- 1	313 869.52	348 690.51	19.21

Anexo 2 : Resultados de los Análisis Químicos de las Muestras Básicas.

No. de pozo	No Muestra	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	PPI	MS	MA	EVALUACIÓN
PB-30	3001	41,46	12,01	6,99	13,86	3,95	1,40	1,22	0,48	15,20	2,18	1,72	NEGATIVA
	3002	47,17	13,85	7,38	8,96	4,22	1,56	1,77	0,39	11,64	2,22	1,88	POSITIVA
	3003	50,66	14,91	7,44	6,80	4,60	1,70	1,75	0,37	10,36	2,27	2,00	POSITIVA
	3004	53,40	14,89	6,94	8,69	3,17	1,92	1,54	0,63	10,28	2,45	2,15	POSITIVA
	3005	56,42	16,07	6,99	5,62	3,14	2,01	1,58	0,37	7,84	2,45	2,30	POSITIVA
	3006	46,42	14,03	8,30	7,95	5,06	1,57	1,91	0,45	11,76	2,08	1,69	NEGATIVA
PB-31	3101	42,75	12,67	6,58	12,74	3,5	1,49	1,52	0,57	13,8	2,22	1,93	POSITIVA
	3102	47,08	13,95	6,02	11,03	3,32	1,8	1,61	0,4	12,29	2,36	2,32	POSITIVA
	3103	48,53	14,07	7,63	8,34	3,86	1,62	1,68	0,41	10,76	2,24	1,84	POSITIVA
	3104	48,78	13,73	6,68	9,47	3,47	1,77	1,75	0,41	10,90	2,39	2,06	POSITIVA
	3105	48,17	13,71	7,08	9,02	3,5	1,69	1,71	0,42	10,90	2,32	1,94	POSITIVA
	3106	48,82	14,03	7,36	8,45	3,74	1,67	1,71	0,4	10,72	2,28	1,91	POSITIVA
	3107	47,17	14,04	7,81	9,16	3,31	1,64	1,56	0,39	10,80	2,16	1,80	NEGATIVA
PB-32	3201	49,32	13,58	7,94	7,97	3,8	1,82	1,94	0,53	10,41	2,29	1,71	POSITIVA
	3202	49,68	13,97	7,92	7,83	5,59	1,72	1,6	0,74	12,26	2,27	1,76	POSITIVA
	3203	50,56	14,57	8,38	5,99	3,77	1,67	2,04	0,69	8,82	2,20	1,74	POSITIVA
	3204	50,02	13,37	7,12	9,5	3,07	1,9	1,7	0,45	10,81	2,44	1,88	POSITIVA
	3205	51,32	14,5	8,73	5,63	4,76	1,72	2,14	0,86	9,61	2,21	1,66	POSITIVA



No. de pozo	No Muestra	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	PPI	MS	MA	EVALUACIÓN
	3206	50,3	13,72	7,94	8,03	3,91	1,83	1,96	0,53	10,57	2,32	1,73	POSITIVA
PB-33	3301	52,12	15,87	8,17	5,91	4,16	1,63	1,59	0,46	9,19	2,17	1,94	NEGATIVA
	3302	53,86	15,55	6,83	7,28	3,03	2,01	1,97	0,37	9,02	2,41	2,28	POSITIVA
	3303	40,57	11,90	7,43	14,22	2,97	1,62	1,78	0,45	14,40	2,10	1,60	NEGATIVA
	3304	49,7	14,73	6,88	8,87	3,58	1,86	2,03	0,47	10,87	2,30	2,14	POSITIVA
	3305	48,90	14,92	7,36	8,42	3,56	1,84	1,92	0,39	10,49	2,19	2,03	NEGATIVA
	3306	51,99	15,07	6,32	8,69	3,17	1,97	1,83	0,39	10,28	2,43	2,38	NEGATIVA
	3307	50,85	15,16	7,45	6,95	4,03	1,86	1,77	0,47	9,86	2,25	2,03	POSITIVA
	3308	46,79	13,81	7,54	9,24	4,63	1,74	1,94	0,86	12,30	2,19	1,83	NEGATIVA
	3309	47,32	13,60	6,82	9,62	3,78	1,86	1,66	0,51	11,68	2,32	1,99	POSITIVA
	3310	48,27	14,37	8,29	7,27	4,93	1,84	1,87	0,60	11,09	2,13	1,73	NEGATIVA
PB-34	3401	49,01	13,22	7,41	9,55	4,11	1,56	2,53	0,82	11,77	2,38	1,78	POSITIVA
	3402	48,98	13,85	6,90	8,74	4,06	1,59	2,29	0,40	11,29	2,36	2,01	POSITIVA
	3403	50,69	14,73	7,27	6,59	4,38	1,62	2,32	0,53	8,44	2,30	2,03	POSITIVA
	3404	53,65	15,46	8,43	3,54	5,18	1,59	2,29	0,40	9,64	2,25	1,83	POSITIVA
	3405	51,33	14,65	8,23	5,75	5,54	1,7	2,00	0,37	10,56	2,24	1,78	POSITIVA
	3406	45,81	11,61	5,27	13,36	3,53	1,68	1,74	0,43	14,33	2,71	2,20	POSITIVA
	3407	49,02	13,78	6,52	9,57	3,90	1,73	1,61	0,45	11,23	2,41	2,11	POSITIVA
	3408	53,21	15,07	8,91	4,05	5,92	1,72	2,11	0,53	14,33	2,22	1,69	POSITIVA
	3409	52,05	14,15	6,57	7,72	3,91	1,84	1,56	0,49	10,33	2,51	2,15	POSITIVA
	3410	47,15	12,16	3,92	16,27	1,19	1,85	1,60	0,47	14,07	2,93	3,10	POSITIVA
PB-35	3501	48,44	13,98	7,70	8,91	4,26	1,51	0,83	0,54	11,64	2,23	1,82	POSITIVA
	3502	46,53	13,08	7,76	10	4,09	1,57	1,76	0,63	12,31	2,23	1,69	POSITIVA
	3503	50,5	14,48	6,57	8,34	3,74	1,69	1,97	0,42	10,63	2,40	2,20	POSITIVA
	3504	45,52	12,72	6,40	11,7	3,39	1,67	1,41	0,4	12,89	2,38	1,99	POSITIVA
	3505	51,33	14,65	8,23	5,75	5,54	1,7	2,00	0,37	10,56	2,24	1,78	POSITIVA
	3506	52,08	15,23	7,89	4,57	4,73	1,68	1,86	0,39	8,76	2,25	1,93	POSITIVA
	3507	55,65	15,66	7,9	4,44	5,02	1,78	1,88	0,42	8,97	2,36	1,98	POSITIVA
	3508	49,84	13,58	7,94	7,97	3,8	1,82	1,94	0,53	10,41	2,32	1,71	POSITIVA
	3509	54,07	15,36	7,44	5,56	4,33	1,73	1,78	0,6	9,09	2,37	2,06	POSITIVA
	3510	49,68	13,97	7,92	7,83	5,59	1,72	1,6	0,74	12,26	2,27	1,76	POSITIVA
P-3	6	44,38	13,11	6,96	13,53	2,47		0,75	0,33		2,21	1,88	POSITIVA
	7	43,92	12,56	7,22	13,58	2,63		0,9	0,39		2,22	1,74	POSITIVA
	8	43,62	12,57	7,05	13,64	2,68		0,91	0,89		2,22	1,78	POSITIVA
P-4	9	41,93	12,11	7,08	14,89	2,79		1,19	0,36		2,19	1,71	NEGATIVA
	10	47,92	14,37	8,06	7,81	3,29		1,53	0,39		2,14	1,78	NEGATIVA
	11	48,25	14,62	8,07	6,77	3,22		1,65	0,39		2,13	1,81	NEGATIVA
	12	42,74	12,37	6,98	13,13	2,85		1,36	0,39		2,21	1,77	POSITIVA
P-2	1	53,06	14,27	7,98	6,80	3,13		1,58	0,32		2,38	1,79	POSITIVA
	2	53,88	14,19	6,74	9,23	2,42		1,32	0,34		2,58	2,11	POSITIVA
P-1	3	52,11	14,24	6,39	11,67	1,52		1,65	0,34		2,53	2,23	POSITIVA
	4	52,33	14,28	7,39	6,63	2,26		1,93	0,20		2,35	2,01	POSITIVA

**Anexo 3 : Composición Química de la Materia Prima del Bloque: 25W-M1**

No. de pozo	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	PPI	MS	MA	Evaluación
PB - 30	49,26	14,82	7,34	8,65	4,02	1,69	1,63	0,45	11,18	2,28	1,95	P
PB - 31	47,33	13,74	7,02	9,74	3,53	1,67	1,65	0,43	11,45	2,28	1,96	P
PB - 32	50,20	13,95	8,01	7,49	4,15	1,78	1,90	0,63	10,41	2,29	1,74	P
PB - 33	49,04	14,50	7,31	8,65	3,78	1,82	1,84	0,50	10,92	2,25	1,98	P
PB - 34	50,09	13,87	6,94	8,51	4,17	1,69	2,01	0,49	11,60	2,41	2,00	P
PB - 35	50,36	14,27	7,58	7,51	4,45	1,69	1,70	0,50	10,75	2,31	1,88	P
P- 3	43.90	12.70	7.09	13.59	2.60		0.86	0.55		2.21	1.70	P
P- 4	45.90	13.20	7.50	11.06	3.01		1.41	0.38		2.21	1.76	P
P- 2	49.20	14.20	6.80	9.18	2.53		2.00	0.34	14.40	2.34	2.08	P
P - 1	53.50	14.20	7.36	8.02	2.78		1.45	0.33	13.31	2.48	1.93	P
Promedio/ bloque	48.87	13.94	7.29	9.24	3.51	1.72	1.64	0.46	11.83	2.31	1.89	P

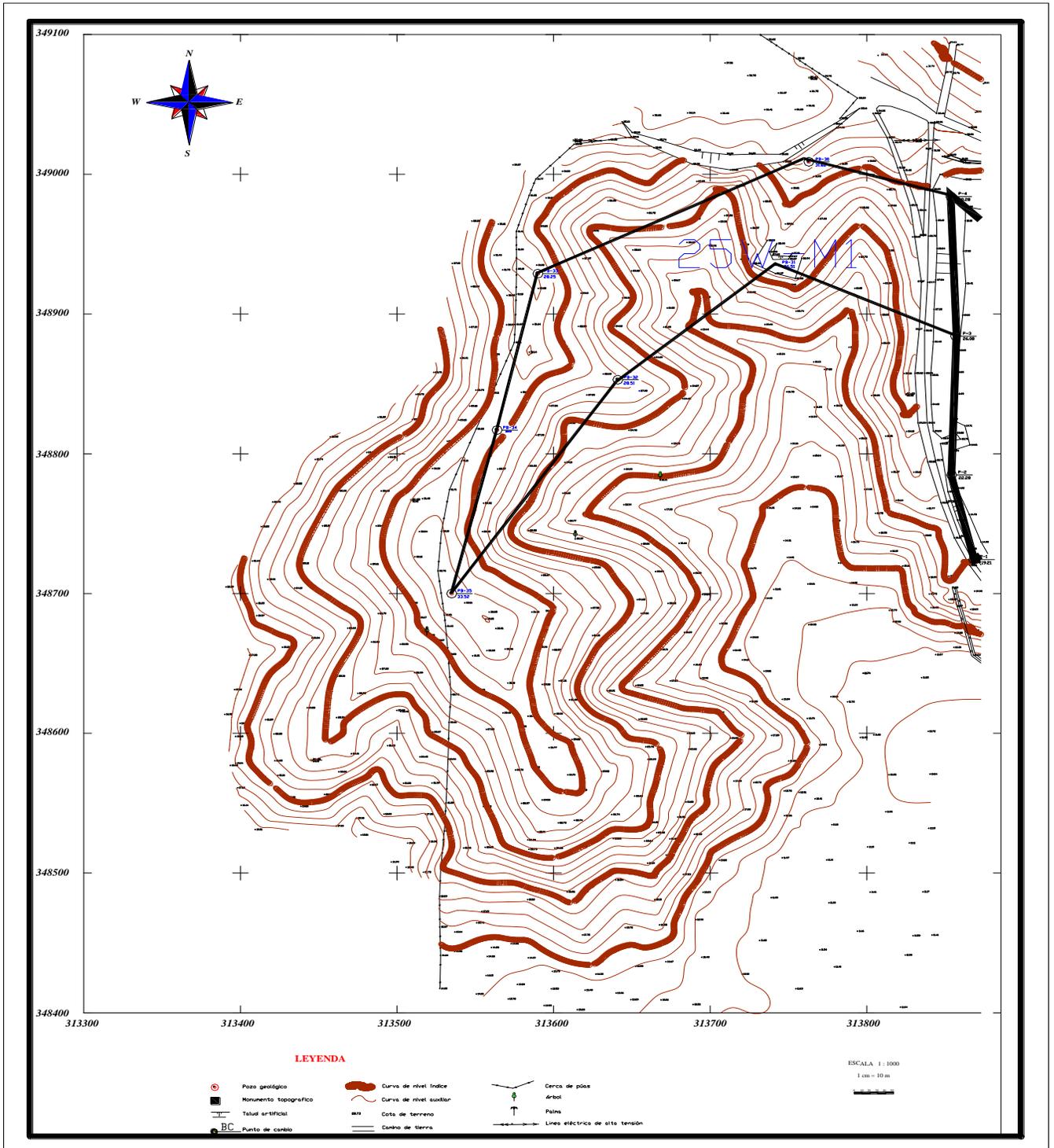
Anexo 4: Tabla de las Potencias para el Cálculo de los Recursos

Tabla de las potencias de los pozos positivos para el Cálculo de los Recursos.

N/O	Nº de Pozo	Cota de la boca del pozo	Profundidad DEL POZO (m)	Cota de exploración por pozos	Cubierta vegetal por pozos (m)	Potencia útil - real por pozo (m)	Potencia útil para el cálculo de recursos. Hasta la cota H+13	Evaluación
1	PB-30	31.62	14.00	17.62	0.20	13.80	13.80	Positivo
2	PB-31	26.51	20.00	6.51	0.10	19.90	13.41	Positivo
3	PB-32	28.51	15.00	13.51	0	15.00	15.00	Positivo
4	PB-33	28.25	27.00	1.25	0.20	26.80	15.05	Positivo
5	PB-34	30.19	30.00	0.19	0.20	29.80	16.99	Positivo
6	PB-35	33.52	30.00	3.52	0.30	29.70	20.22	Positivo
7	P - 3	26.08	13.10	12.98	0.80	12.18	12.28	Positivo
8	P - 4	29.28	16.00	13.28	0.70	15.30	15.58	Positivo
9	P - 2	22.28	10.00	12.28	1.00	9.00	8.28	Positivo
10	P - 1	19.21	9.00	10.21	0.20	8.80	6.01	Positivo
Total			184.10		3.70	180.28	136.62	
Promedio			18.41		0.37	18.03	13.66	



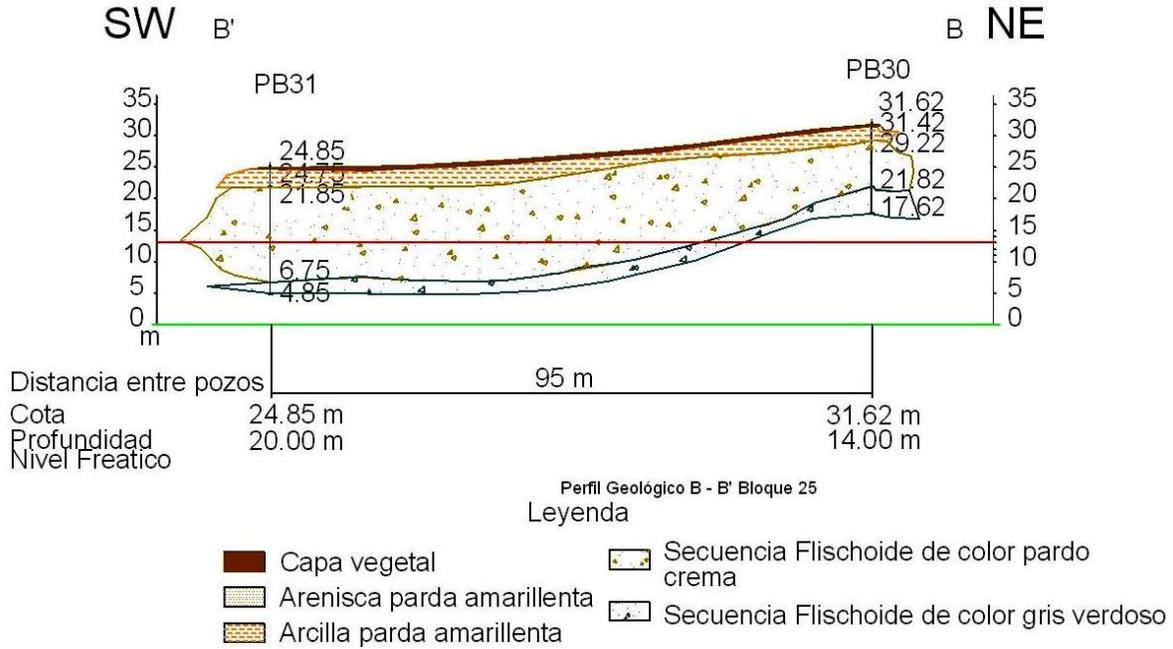
Anexo 5 .Plano topográfico y de Datos Reales.



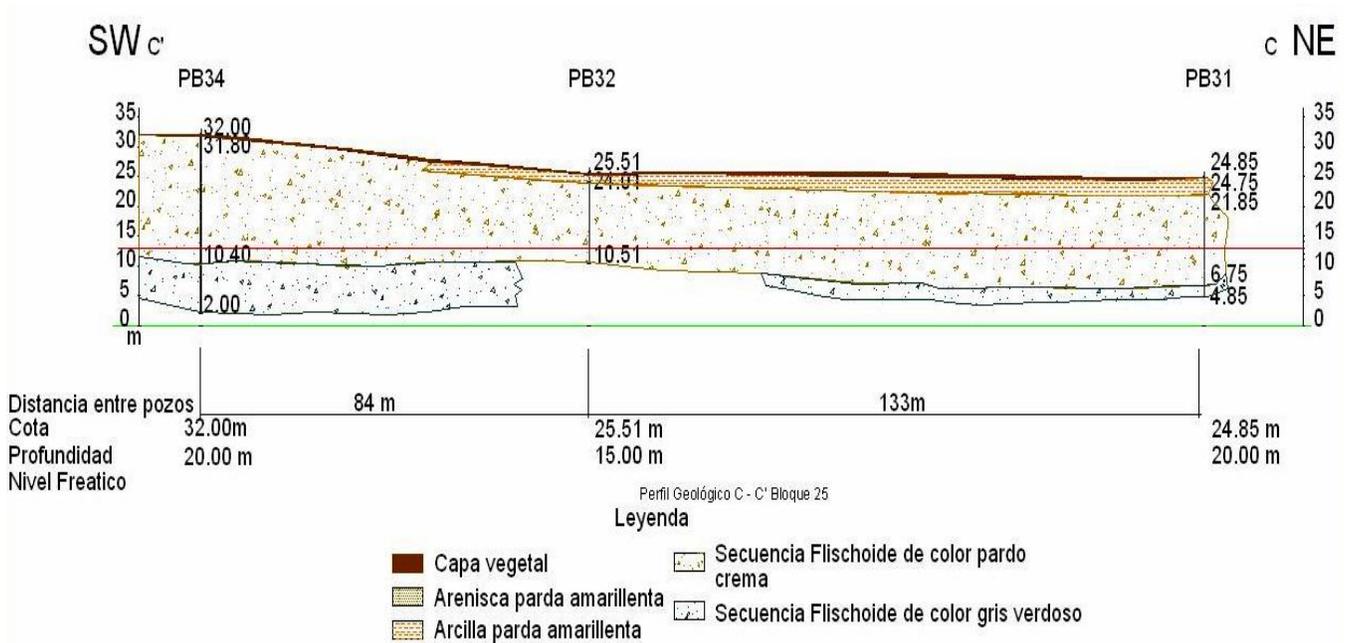


Anexo 5: Perfiles Geológicos

Perfil Geológico No1. Bloque 25 C₂ Ampliación. Pozos (30-31)



Perfil Geológico No2. Bloque 25 C₂ Ampliación. Pozos (31-32-34)





Perfil Geológico No3. Bloque 25 C₂ Ampliación. Pozos (33-34-35)

