



**MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR**  
**INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO DE MOA**  
**“Dr. Antonio Núñez Jiménez”**  
**FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA**  
**DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA**

**TRABAJO DE DIPLOMA EN OPCIÓN AL TÍTULO DE INGENIERO GEÓLOGO**

# **Evaluación de Mezclas de Cieno Carbonatado y Cemento P-350 para su posible uso como material de construcción.**

**Diplomante: Sandy González Benítez**

**Tutor (es): Dr.C Jesús Blanco Moreno**

**Ing. Sergio R. Cabo de Villa Figueiral**

**Moa, julio, 2012.**

*Frase*

*No hay barrera que no se pueda pasar cuando uno se lo propone y da a demostrar, que uno si puede hacerlo con amor y empeño.*

*Sandy González Benítez.*

## *Agradecimientos:*

*La realización de este trabajo y mi formación profesional ha sido posible gracias a la ayuda y colaboración de personas, que siempre han mostrado preocupación constante por mí y me ha brindado su apoyo en los momentos más difíciles en los 5 años de carrera.*

- *A mis padres y hermana, mi abuela y cuñado, por la confianza depositada en mí en todo momento. Por sus consejos y comprensión.*
- *A mis padres Moense Oscar Arce y Ángela Ruiz, que me brindaron su apoyo acogiéndome en su casa en el tiempo que pasé en la universidad, brindándome sus consejos y su apoyo en cualquier momento difícil por los que pasé, estando lejos de mi casa, mi hermana Annia a mí cuñado Alexander al igual que Magalis y Reina, mis tías Moense.*
- *A Olga mi suegra y mi cuñada Adilén que trataron de que tuviera la mente despejada y tranquila cuando estaba en su casa, en especial a Dailén mi novia que la quiero mucho más de lo que ella imagina.*
- *A mis compañeros de aula, por los incontables momentos que vivimos juntos y por su ayuda en los momentos difíciles.*
- *A los profesores que me ayudaron a realizar esta investigación como Yamila Calderín, Ortelio Overas y en especial a Jesús Blanco y Sergio Cabo de Villa mis tutores.*
- *A mis amigos Juan Carlos Paz Carballo, Pedro Polanco Almaguer y en especial a Lisander por la prestación de tiempo para que fuese posible esta tesis con la ayuda de las tamizadoras eléctrica que estaban a su servicio.*
- *A quienes quizás no he nombrado, gracias por contribuir a mi formación profesional y personal, les estaré eternamente agradecidos. A todos, gracias.*

## ***Dedicatoria.***

*Dicen que el amor es la razón por la cual gira la vida, lo cual explica que todo lo que hagamos por mínimo que sea requiere de este sentimiento. Es por ello, que la realización de esta memoria la dedico a las personas que más quiero y aprecio en la vida y que por ellos soy lo que soy hoy en día.*

- *En especial a mis padres en primer lugar, que son la razón de mi existencia, por ayudarme a ser quien soy, de los cuales siempre estaré orgulloso y no tendré como pagar lo que han hecho por mí.*
- *A mi pequeña hermana Sandra y Abuelita Doris.*

**Resumen:**

En la presente investigación se evaluaron las mezclas de cemento con el rechazo de cieno carbonatado, extraído del yacimiento Cayo Moa y procesado en la planta de beneficio del Puerto Moa, que será utilizado como aditivo natural. La investigación fija sus objetivos en valorar desde el punto de vista físico – mecánico las propiedades de la mezcla con diferentes proporciones de adición de cieno carbonatado, para su utilización como aditivo natural en la sustitución de cemento en la construcción. Las propiedades evaluadas se inician con la caracterización granulométrica y llegan a la determinación de la resistencia a la flexión y a la compresión de morteros elaborados con adiciones de un 10 %, 20 % y 30 % de cieno carbonatado. Todo el conjunto metodológico de la investigación estuvo basado en los métodos indicados en las normas cubanas, utilizando sus especificaciones. Con la sustitución de 10 % de cemento por residuo sólido carbonatado, se obtienen morteros cuyas resistencias son suficientes para su utilización en aplicaciones de albañilería de baja prestación, donde no existan armaduras de aceros para su fortificación. La resistencia de los mismos se incrementa en un 52 %, desde 7 hasta 28 días.

**Abstract:**

Throughout the present investigation the cement mixtures with the rejection of mud carbonated, extracted from Cayo Moa deposits and processed at Puerto Moa's benefit plant were assessed, to be used as natural additive. The investigation determines its objectives in appraising from the physical-mechanic point of view, the properties of the mixture with different proportions of addition of mud carbonated, for its possible use as natural additive in the substitution by cement in construction. The evaluated properties initiate with the sizing characterization and come to the determination of resistance of the flexion and the compression of mortars elaborated with additions of a 10 %, 20 % and 30 % of carbonated mud. All the methodological set of investigation is based on methods indicated in the Cuban's standards, using its specifications. By substituting the 10 % of cement with solid carbonated material, mortars with sufficient resistances to be used in applications of low masonry benefit in construction are obtained, where steel frameworks for his fortification are no to be used. The resistance is increased at a 52%, from 7 to 28 days.

## ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>CAPITULO 1 MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>5</b>
1.1 Caracterización geográfica y geológica del área de estudio .....	5
1.2 Principales rasgos económicos de la región .....	6
1.3 Marco geológico regional .....	6
1.4 Geomorfología .....	7
1.5 Tectónica.....	8
1.6 Descripción general del entorno.....	9
1.6.1 Clima.....	11
1.6.3 Humedad relativa .....	11
1.6.4 Presión atmosférica .....	12
1.6.5 Precipitaciones.....	12
1.6.6 Propiedades físico-químicas de las aguas.....	12
1.6.7 Nivel del mar .....	13
1.6.8 Circulación de las aguas.....	14
1.6.9 Características habituales del oleaje en aguas profundas. ....	15
1.7 Geología del yacimiento.....	18
1.7.1 Relieve del yacimiento .....	18
1.7.2 Génesis del cieno carbonatado.....	19
1.8 Red hidrográfica .....	20
1.9 Antecedentes de la investigación .....	20
Conclusiones parciales .....	22
<b>CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	<b>24</b>
2.1 Características y propiedades generales del cieno carbonatado .....	24
2.1.1 Características .....	24
2.2 Características y propiedades del cemento Portland P-350.....	26
2.2.1 La finura .....	26
2.2.2 Calor de hidratación .....	27
2.2.3 Retracción.....	29

2.2.4 Expansión .....	29
2.3 Materiales a utilizar para la confección de las probetas .....	29
2.4 Métodos empleados en la investigación.....	29
2.4.1 Recopilación de informaciones bibliográficas .....	29
2.4.2 Trabajo de campo .....	30
2.4.3 Preparación de la muestra .....	30
2.5 Metodología para la elaboración de las probetas.....	30
2.5 Determinación de la composición granulométrica.....	32
2.6. Determinación de la resistencia mecánica a los morteros .....	33
2.6.1 Cálculo de la resistencia a la flexión .....	35
2.6.2 Cálculo resistencia a la compresión.....	36
2.7 Preparación de los materiales para la conformación de los morteros.....	37
Conclusiones parciales. ....	39
<b>CAPÍTULO 3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS. ....</b>	<b>41</b>
3.1 Resultados de la determinación de la resistencia a la flexión para 10 %, 20 % y 30 % de sustitución de material de rechazo de cieno carbonatado... 41	
3.2 Resultados de la determinación de la resistencia a la flexión para 10 %, 20 % y 30 % de sustitución de material de rechazo de cieno carbonatado. .... 43	
3.3 Análisis a los resultados de la determinación de la resistencia a la flexión y compresión para un 10 %, 20 % y 30 % de sustitución del material sólido de cieno..... 45	
3.5 Comparación de los resultados de resistencia mecánica de la mezcla de rechazo carbonatado con cemento P-350, con respecto a la norma cubana NC 175: 2002. .... 47	
Conclusiones parciales .....	47
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>48</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>49</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>50</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>54</b>

## **INTRODUCCIÓN**

En la provincia de Holguín podemos encontrar riquezas minerales, la más importante de ellas es la extracción del níquel más cobalto, elementos que están enriquecidos en la corteza laterítica del municipio de Moa y Mayarí superado por países desarrollados como Canadá, Nueva Zelanda y Estados Unidos. Los yacimientos lateríticos constituyen la materia prima para la obtención de níquel más cobalto, en nuestro país hay reservas importantes. En Cuba además del mineral laterítico, se utiliza el carbonato de calcio, contenidos en los cienos carbonatados del yacimiento de Cayo Moa, constituye una materia prima imprescindible para la producción, el cual es empleado en la Planta de Neutralización para lograr el pH óptimo del material lixiviado obtenido a partir de la lixiviación con vista a su posterior procesamiento en el área de precipitación de sulfuros. El cieno carbonatado es extraído de una de las minas más grandes del mundo, situada al oeste de Cayo Grande de Moa, la cual es sometida a un proceso de beneficio, en la planta de preparación de pulpa de coral en la zona portuaria, las partículas para su uso requiere de condiciones granulométricas específicas menores de 0,83 mm, las mayores forman parte del rechazo.

El material de rechazo está en proyecto de realizar su molienda para llevarlo a una granulometría adecuada para el proceso de lixiviación de la fábrica, ya que el mismo posee alto contenido de carbonato de calcio, con valores promedios de más de un 90 %, lo cual aumentaría la eficiencia del proceso de extracción y preparación del mineral empleado en la planta de lixiviación de la fábrica Pedro Soto Alba para la obtención del níquel más cobalto. Este proyecto futuro, requiere estudiar el material de alto contenido de calcio, que pueda ser útil también como materia prima para materiales de construcción con una granulometría adecuada, para disminuir el porcentaje del cemento en las mezclas que se realicen. Para ello se debe demostrar mediante ensayos físico – mecánicos, su posibilidad de uso, a partir de la comparación con las normas cubanas de materiales de construcción.

La situación de la vivienda, junto a la necesidad de desarrollar otras obras sociales es una problemática que crece cada día, por el deterioro constante de

las existentes y el paso de fenómenos naturales que han puesto en desventaja las posibilidades de una respuesta rápida a tal problema, debido a la notable escasez de materiales de construcción a partir de las fuentes identificadas. (Almenares, 2011).

Una forma de compensar este déficit, es mediante el aprovechamiento de potencialidades nacionales para la obtención de aditivos, que permitan incrementar los volúmenes y en la medida de lo posible la calidad del cemento para la fabricación de morteros, hormigones y otros. (Almenares, 2011).

Los trabajos de Lea (1938, 1940, 1954), así como de Soria (1967), Massazza (1974), Calleja (1966 y 1969), Turriziani (1974), Sousa (1959) y Malquori (1960), han confirmado la racionalidad de aprovechar en la práctica las propiedades que le confieren a las mezclas de cemento, aditivo de algunos materiales naturales.

Por otra parte, cuando los materiales son subproductos y desechos de la industria, su empleo constituye una salida de importancia económica y ambiental. Las fábricas de cementos tienen particularidades específicas para las características de las materias primas, pues de ellas depende el tipo y propiedades del cemento producido y la posibilidad de optimización del proceso de fabricación. El rechazo del cieno carbonatado lo estudiaremos hasta adquirir la adecuada información para su posible utilización en la práctica industrial.

Los aditivos naturales, ahorran grandes cantidades de cementos Portland ordinario y puzolánico, que contribuyen a la conservación del medio ambiente, al reducir la emisión de gases nocivos como CO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>. El estudio de las mezclas con el rechazo del cieno carbonatado, proveerá de la información básica para demostrar si cumple con las propiedades adecuadas para su utilización como extensor del cemento Portland P-350, en aplicaciones de albañilería, sustituyendo el cemento en 10, 20 y 30 % respectivamente. Por lo que se plantea como **situación problemática**: la necesidad de conocer las propiedades físico – mecánicas de la mezcla del cemento Portland P-350 con el rechazo del cieno carbonatado.

**Problema de la investigación:** La insuficiente caracterización físico-mecánica de la mezcla del cemento con el rechazo del cieno carbonatado que se extrae del yacimiento Cayo Moa, limita su posible utilización como aditivo natural como material de construcción.

**Objeto de estudio:** La mezcla del rechazo de cieno carbonatado del yacimiento Cayo Moa con cemento Portland P – 350.

**Campo de acción:** Propiedades físico - mecánica de las probetas elaboradas con mezclas de rechazo de cieno carbonatado con cemento Portland P – 350.

**Objetivo general:** Evaluar el rechazo de cieno carbonatado del yacimiento Cayo Moa para su posible utilización como aditivo natural en la mezcla con cemento

P-350, a partir de sus propiedades físico mecánicas.

**Hipótesis:** Si las características físico-mecánicas de la mezcla del cieno carbonatado del yacimiento Cayo Moa con el cemento Portland P-350, son compatibles con las recomendaciones de las normas Cubanas y adecuadas a las exigencias del cemento mezclado, se podrá valorar su posible utilización como aditivo natural para contribuir a la disminución del déficit de materiales de construcción en municipio Moa.

**Tareas de la investigación:**

- Recopilación y análisis de los trabajos relacionados con los materiales de construcción, así como la exploración de la problemática mundial, nacional y local de los materiales de construcción.
- Preparación de las muestras apoyado en el proceso de tamizado.
- Caracterización de la materia prima desde el punto de vista físico, granulométrico y mecánico.
- Fabricación de morteros con diferentes porcentajes: 10 %, 20 %, 30 % del rechazo de cieno carbonatado.

# CAPÍTULO I

## **CAPÍTULO 1 MARCO TEÓRICO**

En este capítulo damos a conocer las características geológicas del yacimiento de donde se extrae el rechazo del cieno carbonatado, producto que se le realizara un estudio preliminar en los capítulos siguientes para su posible utilización como materia prima para la construcción.

### **1.1 Caracterización geográfica y geológica del área de estudio**

El área de estudio se encuentra situada en la provincia de Holguín en la parte oriental de Cuba, en zonas del municipio de Moa al noreste. La zona objeto de estudio está ubicada en la Bahía de Cayo Moa Grande en el municipio de Moa. El área de la Concesión minera abarca una extensión de 8.07 km<sup>2</sup> y comprende la franja costera, desde la Punta Cabagán por el Oeste, hasta las proximidades del canal del puerto de Moa por el Este y desde la línea de la costa de la región emergida adyacente por el Sur; hasta las cercanías a cayo Moa por el Norte, localizándose entre los vértices de coordenadas Lambert y geográficas que se encuentran en la Tabla 1.1 y aparece ubicada en las Hojas Cartográficas 5977- IV Moa y 5278- III Cayo Moa Grande, a escala 1: 50 000.

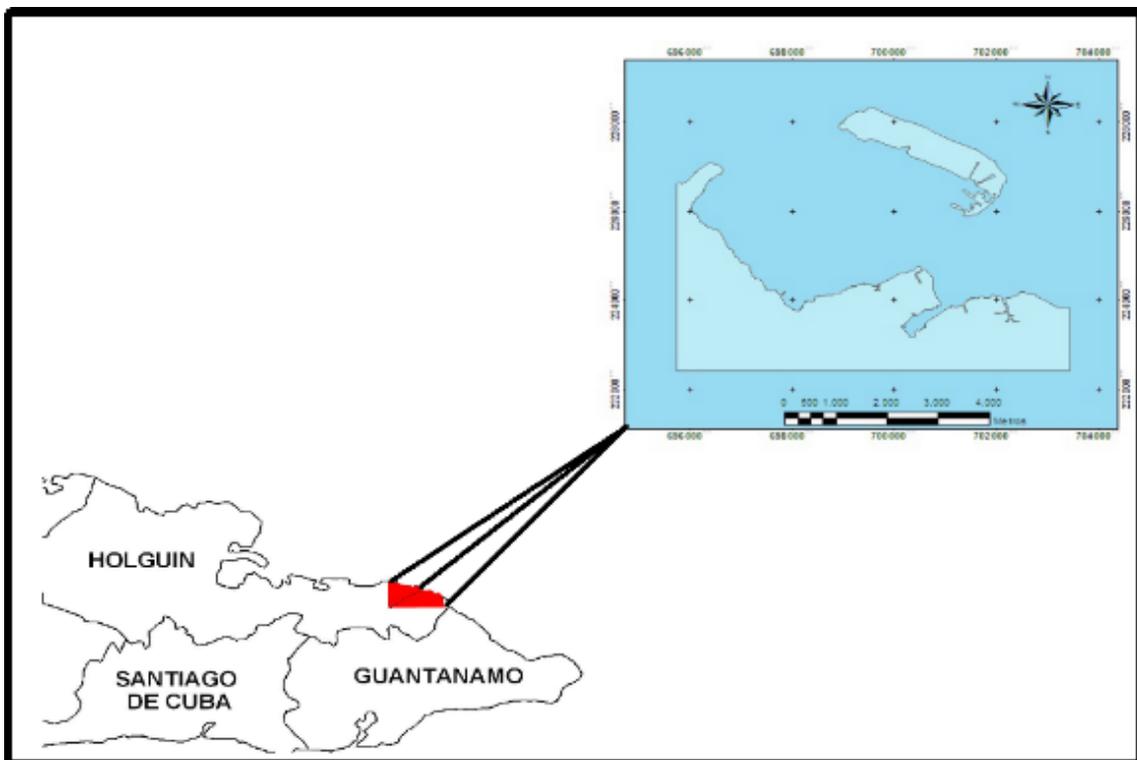


Figura1.1: Área de estudio

## **1.2 Principales rasgos económicos de la región**

La región de Moa está dentro de las más industrializadas del país; cuenta con dos plantas procesadoras de menas lateríticas actualmente en producción, la Comandante Ernesto “Che Guevara” y la Comandante “Pedro Soto Alba”, con capacidades de diseño original de 30 000 y 24 000 t de concentrado de Ni + Co al año respectivamente. Además de estas industrias existen otras instalaciones de apoyo a la metalurgia y de la minería, tales como la Empresa Mecánica del Níquel Comandante Gustavo Machín, centro de proyectos del Níquel (CEPRONIQUEL), la empresa constructora y reparadora del Níquel (ECRIN), así como otros centros industriales de menor tamaño, vinculados a la actividad económica del territorio. Existen otros sectores económicos como la explotación de recursos forestales, que son abundantes en la zona y la ganadería, aunque no está muy desarrollada.

En la zona se encuentran los yacimientos de cromo Merceditas, Amores y Los Naranjos; en Punta Gorda, a 8 km al este de la ciudad de Moa en Cayo Guam a 15 km se encuentran en plantas beneficiadoras de mineral cromífero de los yacimientos Merceditas y Amores. También existen otros organismos de los cuales depende la economía de la región tales como el establecimiento de la Empresa Geólogo Minera, la Presa Nueva Mundo, el Tejar, el combinado lácteo y otros.

## **1.3 Marco geológico regional**

La geología de la región se caracteriza por una marcada complejidad condicionada por un variado mosaico de litologías aflorantes y los distintos eventos tectónicos ocurridos en el transcurso del tiempo geológico, lo que justifica los diferentes estudios y clasificaciones realizadas, basadas en criterios o parámetros específicos según el objetivo de la investigación. En la región de Moa afloran fundamentalmente las secuencias básicas y ultrabásicas pertenecientes a las ofiolitas septentrionales y las rocas del arco volcánico del Cretácico. No es objetivo de este trabajo hacer un análisis profundo de la geología regional, por tanto se expondrán aquellos elementos de la geología que más afectan la zona de estudio como se muestra en la (Figura 1.2).

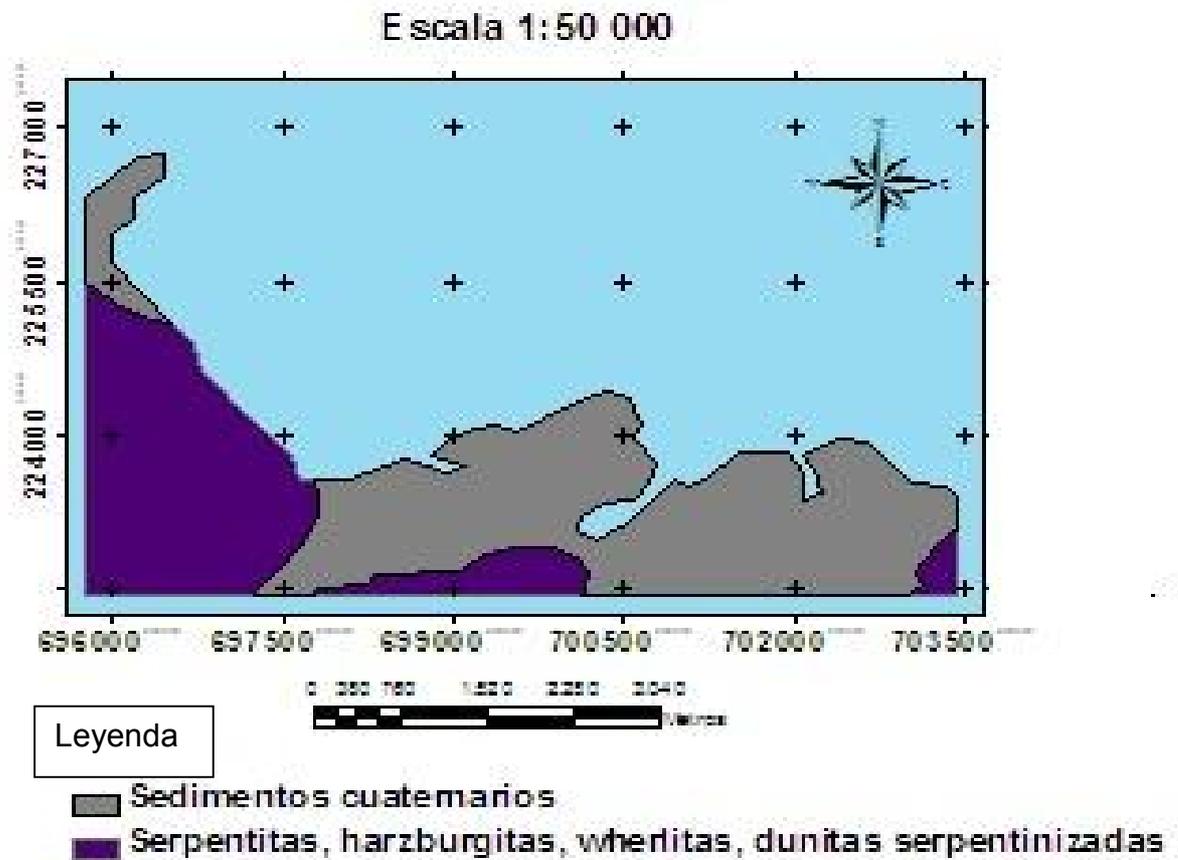


Figura1.2: Mapa geológico. Modificado por Batista (2002).

#### 1.4 Geomorfología

Genéticamente el relieve de Moa está clasificado dentro del tipo de Horst y bloques que corresponden a los cuerpos de rocas ultrabásicas elevadas en la etapa neotectónica a lo largo de dislocaciones antiguas y rupturas nuevas, poco o ligeramente diseccionados (Rodríguez, 1999) (Figura 1.3).

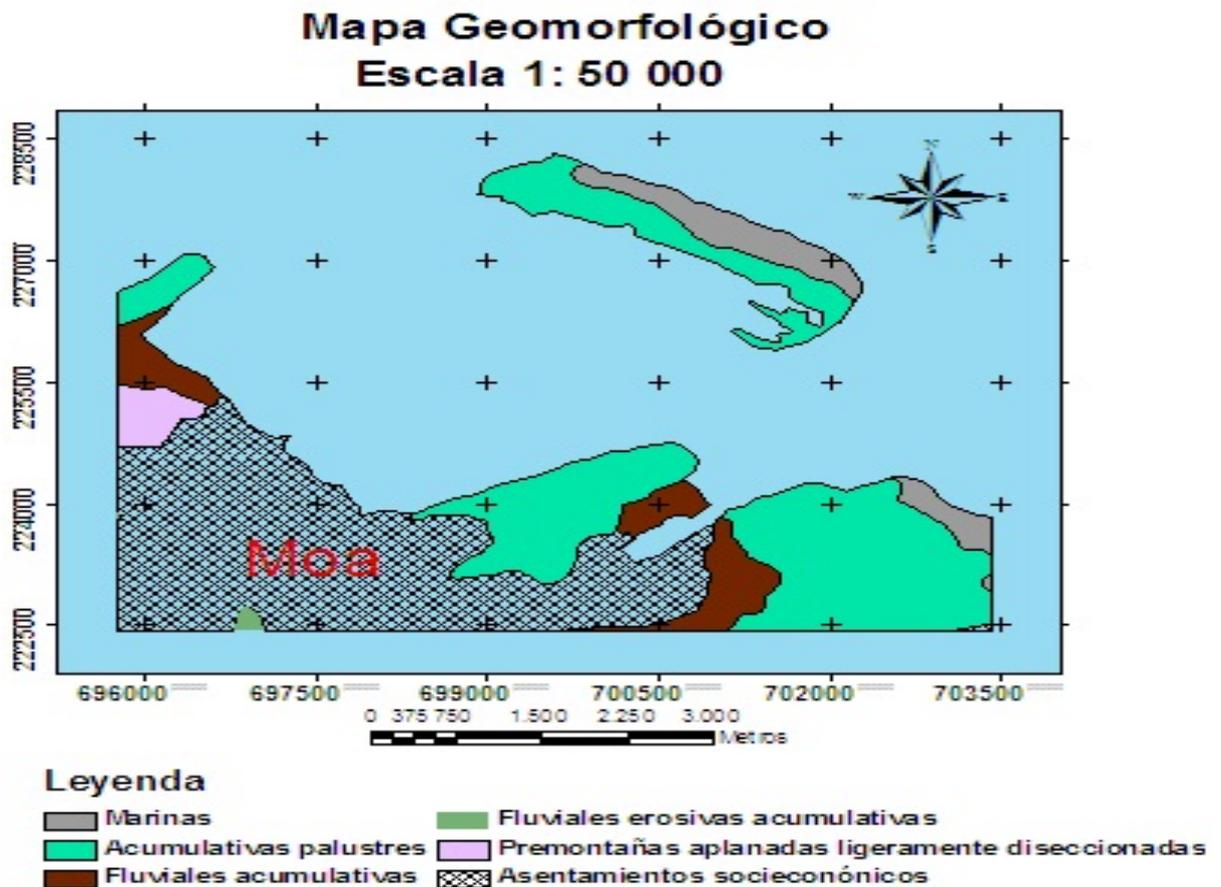


Figura1.3: Mapa Geomorfológico modificado por Rodríguez (1999).

### 1.5 Tectónica

El Bloque Oriental Cubano comprendido desde la falla Cauto-Nipe hasta el extremo oriental de la isla, presenta una tectónica caracterizada por su alta complejidad, dado por la ocurrencia de eventos de diferentes índoles que se han superpuesto en el tiempo y que han generado estructuras que se manifiestan con variada intensidad e indicios en la superficie).

Este bloque se caracteriza por el amplio desarrollo de la tectónica de cabalgamiento que afecta las secuencias más antiguas (Campos, 1983). Localmente esta complejidad en la región de estudio se pone de manifiesto a través de estructuras fundamentalmente de tipo disyuntivas con dirección noreste y noroeste, que se cortan y desplazan entre sí, formando un enrejado de bloques y microbloques con movimientos verticales diferenciales, que se desplazan también en la componente horizontal y en ocasiones llegan a rotar por acción de las fuerzas tangenciales que los afecta como resultado de la

compresión (Campos, 1983). También se observan dislocaciones de plegamientos complejos, sobre todo en la cercanía de los contactos tectónicos (Campos, 1983). En las secuencias más antiguas (rocas metamórficas y volcánicas), de edad mesozoica, existen tres direcciones fundamentales de plegamientos: noreste-suroeste; noroeste-sureste y norte-sur, esta última, característica para las vulcanitas de la parte central del área. Las deformaciones más complejas se observan en las rocas metamórficas, en la cual en algunas zonas aparecen fases superpuestas de plegamientos (Campos, 1983). A fines del Campaniano Superior - Maestrichtiano ocurre la extinción del arco volcánico cretácico cubano, iniciándose la compresión de sur a norte que origina, a través de un proceso de acreción, el emplazamiento del complejo ofiolítico según un sistema de escamas de sobrecorrimiento con mantos tectónicos altamente dislocados de espesor y composición variable. Los movimientos de compresión hacia el norte culminaron con la probable colisión y abducción de las paleounidades tectónicas del Bloque Oriental Cubano sobre el borde pasivo de la Plataforma de Bahamas.

En las rocas paleogénicas y eocénicas la dirección de plegamiento es este-oeste, mientras que las secuencias del Neógeno poseen yacencia monoclinal u horizontal (Campos, 1983).

Los movimientos verticales son los responsables de la formación del sistema de Horts y Grabens que caracterizan los movimientos tectónicos recientes, pero hay que tener en cuenta la influencia que tienen sobre Cuba Oriental los desplazamientos horizontales que ocurren a través de la falla Oriente (Bartlett-Caimán) desde el Eoceno Medio-Superior que limita la Placa Norteamericana con la Placa del Caribe, generándose un campo de esfuerzos de empuje con componentes fundamentales en las direcciones norte y noreste (Rodríguez, 1999), que a su vez provocan desplazamientos horizontales de reajuste en todo el Bloque Oriental Cubano. (Figura: 1.3).

## **1.6 Descripción general del entorno**

El yacimiento estudiado se localiza en el interior de la Bahía de Cayo Moa al Sur de Cayo Moa La cual se encuentra conformada por varias ensenadas,

siendo las más destacadas las de Cayo Moa (donde se localiza la zona de interés), Yaguasey, Coco y Yagrumaje. El acuatorio está limitado al Norte por una extensa barrera de arrecifes coralinos que en ocasiones velan dentro de los cuales emergen los Cayos Moa Grande y Moa Chico, únicos territorios insulares del litoral Norte de Cuba a una distancia de 3-4 km. de la línea de costa. Por el Sur, la bahía se encuentra rodeada por llanuras que se extienden tierra adentro hasta 100 m. Pasando bruscamente a las alturas. Toda esta zona se encuentra dentro del Distrito de las Montañas del Noreste de Oriente, el cual se encuentra conformado por alturas de origen tectónico erosivo. La bahía se encuentra limitado por la acción del oleaje y corrientes litorales por la barrera arrecifal, provocando que la bahía constituya una zona de sedimentación o trampa natural de la plataforma (Lagoon), donde descargan sus volúmenes de agua y sedimentos terrígenos las corrientes fluviales de la región, cuya red hidrográfica presenta un sistema fluvial denso y bien definido que ocupa un área de 288 km<sup>2</sup> y una longitud de 42 km desde su nacimiento a una altura de 1160 m hasta su desembocadura en el mar. La bahía presenta un canal de entrada de 400-500 m de ancho y 40 m de profundidad, la que va disminuyendo hacia el interior donde se aprecia un cañón natural con ancho variable entre 200-700 m y profundidades entre 10-20 m. A este canal de entrada le sigue un canal de acceso a la dársena, ambos artificiales construidos en la década del 50, donde se ubica el puerto de Moa. En ambos dragados se ha observado en el transcurso del tiempo una fuerte sedimentación que ha hecho necesario dragados de restitución en varias ocasiones. La costa de la región se caracteriza por su regularidad, sobresaliendo algunos promontorios que constituyen prolongaciones de la línea de costa, los que constituyen las Puntas Yaguasey, Coco, Fábrica y Río Moa. Predomina el tipo de costa baja pantanosa con vegetación de mangle, encontrando costa de playa arenosa solamente en el tramo litoral entre la desembocadura del Río Moa y Punta Gorda, las cuales se encuentran cubiertas por cortezas de intemperismo que han sido erosionadas por las lluvias y depositando las mediante las redes hidrográficas como los ríos y arroyos que desembocan en el acuatorio y también por el grado de pendientes.

### **1.6.1 Clima**

El clima de la región se clasifica como tropical húmedo con abundantes lluvias todo el año (selvas tropicales), diferenciándose del resto del país que resulta tropical marítimo con dos períodos bien diferenciados en cuanto a precipitaciones. Esta diferencia está dada por su posición geográfica con respecto al anticiclón subtropical del Atlántico norte (Azores-Bermudas) y a la presencia y orientación de las elevaciones del macizo Sagua-Baracoa; lo cual motiva que las nubes por lo general sobresaturadas provenientes del océano y transportadas por los vientos de componentes del Este precipiten por el efecto orográfico. En general el clima, junto con el comportamiento de las variables meteorológicas que determinan el estado del tiempo que lo caracterizan, se encuentra regido principalmente por la circulación atmosférica que su vez responde a los tipos de procesos sinópticos dominantes en el área.

En nuestra región las situaciones sinópticas que más se repiten y en definitiva determinan el estado del tiempo cada día son:

- Posición del anticiclón del atlántico norte (Azores-Bermudas).
- Zonas de convergencias en el flujo (Ondas del Este y hondonadas).
- Anticiclones continentales migratorios.
- Débil gradiente barométrico.
- Zonas frontales.
- Ciclones Tropicales.
- Bajas extratropicales.

### **1.6.3 Humedad relativa.**

La combinación de los comportamientos de la humedad del aire junto a la temperatura del mismo y el viento es la causante de las diferencias en las sensaciones de bienestar o de calor sofocante que experimenta los hombres. El comportamiento anual de la humedad relativa en la región se muestra en la tabla 1.1, donde se observa el predominio de valores elevados durante todo el año en correspondencia al régimen de precipitaciones y a la marcada influencia marítima.

Tabla 1.1 Comportamiento anual de la humedad relativa del aire.

Humedad relativa, (%)	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MED
PROMEDIO	77	75	74	74	72	71	71	72	73	74	75	80	75

#### 1.6.4 Presión atmosférica

Esta variable permanece estable, al igual que en todo el país, durante todo el año, solo alterándose con la presencia de algún organismo sinóptico.

#### 1.6.5 Precipitaciones

El comportamiento de las lluvias es importante para el estudio climático de cualquier zona, ya que en comparación con otras variables, estas son las que experimentan los mayores cambios en el tiempo y el espacio al comportarse de forma no conservativa. Como se ha explicado esta región presenta un patrón pluviométrico diferente al resto del país, lloviendo durante todo el año, como apreciamos en la (Tabla 1.2).

Tabla 1.2 Comportamiento anual de las precipitaciones.

Lluvia (mm)	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MED
PROMEDIO	180	135	96	169	187	103	95	138	177	265	611	179	2335

#### 1.6.6 Propiedades físico-químicas de las aguas

##### 1.6.6.1 Temperatura

Tabla 1.3 Ciclo Térmico Anual de las Aguas Superficiales del Mar Abierto Adyacente.

Temp. (°C)	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MED
PROMEDIO	25. 0	25. 0	25. 4	26. 2	26. 4	27. 5	28. 2	28. 0	28. 0	28. 0	27. 8	26. 3	26.8

Tabla 1.4 Ciclo Térmico Anual de las Aguas Superficiales en la Bahía de Cayo Moa.

Temp. (°C)	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MED
PROMEDIO	25. 7	25. 4	25. 6	27. 7	28. 4	28. 3	29. 0	30. 1	30. 2	29. 7	27. 9	26. 5	27.8

### **1.6.6.2 Salinidad**

Las variaciones temporales y espaciales de la salinidad dependen inversamente de las precipitaciones y del escurrimiento terrestre. En general, es de esperar, que para el área de la Bahía de Cayo Moa, la salinidad presente poca variación estacional en su ciclo anual, siendo mayor en épocas de seca, y menor en periodos de lluvias, con mínimas en las zonas de desembocadura de los ríos del área. De esta forma, en los meses de escasas precipitaciones (usualmente, de febrero a abril y de junio a septiembre), tienen lugar salinidades del orden de las 36,0 – 37,0 %, que podrían ser superiores. Durante el periodo de precipitaciones intensas (mayo, octubre, noviembre y diciembre).

### **1.6.7 Nivel del mar**

El carácter de la marea en la localidad, está presentando diariamente dos pleamares y dos bajamares con desfases en amplitud y tiempo entre dos mareas consecutivas. Estas mareas responden fundamentalmente a las fases de la Luna, variando en amplitud a lo largo del mes en concordancia con las mismas. Las mayores mareas ocurren cuando la Luna se encuentra en las fases de Luna Llena o Nueva; y cuando esto sucede, y a la vez el astro esta en máxima declinación o próximo a ella, o en perigeo, o en ambos casos simultáneamente, las mareas resultan aún mayores. Las menores mareas suceden durante las fases de cuadratura, y son un poco más pequeñas cuando la Luna está en el plano del ecuador.

Los valores más significativos de la marea referidos al Nivel Medio del Mar (Siboney) son los siguientes:

- Nivel promedio anual.....8.3 cm.
- Nivel promedio anual de los máximos.....45.8 cm.
- Nivel promedio anual de los mínimos.....24.5 cm.
- Nivel máximo registrado.....74.0 cm.
- Nivel mínimo registrado.....-50.0 cm.
- Amplitud máxima de una onda de marea.....109.0 cm.
- Amplitud media.....69.8 cm.
- Amplitud mínima de una onda de marea.....46.0 cm.
- Nivel medio de pleamares.....34.3 cm.
- Nivel medio de bajamares.....-18.1 cm.

#### **1.6.8 Circulación de las aguas**

Las corrientes marinas en las aguas próximas a la costa se generan fundamentalmente por la acción combinada del viento, la marea y las corrientes del mar abierto adyacente, siendo afectadas por la topografía del fondo, la configuración de la línea costera y por el escurrimiento de agua dulce y las correspondientes anomalías pícnicas espaciales que pueden aparecer en determinadas épocas del año. En general en toda la Bahía de Cayo Moa y de manera particular en la zona de estudio se observa una circulación de las aguas regida por la marea con marcada influencia del viento, presentándose a lo largo del día corrientes en sentidos contrarios durante el llenante se produce una entrada de agua por el Oeste de la bahía creando corrientes con componentes del Este y durante el vaciante las aguas se mueven hacia el NW. Las velocidades se presentan débiles en el interior de la bahía fluctuando entre los 5-15 cm/s, produciéndose las mayores intensidades a media marea y las mínimas durante los paros de marea. En respuesta al viento predominante del Este, las intensidades de las corrientes durante las vaciantes son mayores que durante el llenante, produciéndose en ocasiones de persistentes vientos la ausencia del cambio de sentido de la corriente superficial. Todo lo planteado,

unido a la configuración del litoral y la morfología de los fondos, provoca que el movimiento neto de las aguas en la región sea hacia el W con velocidades entre 3-5 cm/seg. (Ver plano del movimiento neto de las aguas en el bloque estudiado).

### **1.6.9 Características habituales del oleaje en aguas profundas.**

El régimen habitual de cualquier magnitud relaciona los diversos niveles de la misma con la probabilidad de que dichos niveles no sean superados en un período de tiempo igual a un año climático medio.

En el caso del oleaje se denomina régimen escalar de la altura del oleaje o simplemente régimen medio o régimen habitual, a la distribución estadística que define el porcentaje de tiempo en que, para el año climático medio, la altura del oleaje no excede determinado valor.

Para la determinación del régimen habitual del oleaje en la zona de estudio se utilizó, como información de partida, el PC Global Wave Statistics (1988) (Cuadrícula 32), de donde se confeccionó la tabla frecuencial del oleaje por rangos de dirección y altura del oleaje tabla. Se calcularon, además, las alturas del oleaje medias ponderadas para cada dirección (Ver Tabla 1.6).

Tabla 1.6. Altura media ponderada del oleaje.

	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	
Altura oleaje	1.72	1.50	1.46	1.39	1.32	1.10	1.31	1.73	1.44

Las direcciones del oleaje incidente en la zona de estudio, y por tanto, las que se deben tener en cuenta son: NW, N, NE y E. Se ha considerado que el resto de las direcciones no influyen en la zona de estudio, por lo que su tiempo de acción puede ser considerado como tiempo de calmas. Para las direcciones mencionadas se han determinado los días de excedencia y los días de ocurrencia, utilizando el método de las excedencias y la función de distribución exponencial (Tabla 1.7).

Tabla 1.7 Días de excedencias para las direcciones consideradas.

Altura oleaje	Direcciones del oleaje					
	(m)	NW	N	NE	E	Total
0		17.99	35.84	66.39	106.87	227.09
1		11.28	21.77	36.77	62.28	132.10
2		5.01	9.79	13.29	17.70	45.79
3		2.23	4.41	4.80	5.03	16.47
4		0.99	1.98	1.74	1.43	6.14
5		0.44	0.89	0.63	0.41	2.37
6		0.20	0.40	0.23	0.12	0.95
7		0.09	0.18	0.08	-	0.35
8		0.04	0.08	-	-	0.12
9		0.02	0.04	-	-	0.06

Tabla 1.8 Días de ocurrencia. (PC Global Wave Statistics).

Altura oleaje	Direcciones del oleaje					
	(m)	NW	N	NE	E	Total
0 – 1		6.72	14.07	29.62	44.59	95.00
1 – 2		6.27	11.98	23.48	44.58	86.31
2 – 3		2.78	5.39	8.49	12.67	29.33
3 – 4		1.24	2.42	3.07	3.60	10.33
4 – 5		0.55	1.09	1.11	1.02	3.77
5 – 6		0.24	0.49	0.40	0.29	1.42

6 – 7	0.11	0.22	0.14	0.12	0.59
7 – 8	0.05	0.10	0.08	-	0.23
8 – 9	0.02	0.04	-	-	0.06
9 – 10	0.02	0.04	-	-	0.06
Total	17.99	35.84	66.39	106.87	227.09
Calmas					6.57
Otras direcciones = 131.34			Total calmas		137.91

Según muestra la tabla 1.8, las frecuencias de ocurrencia de las direcciones del oleaje consideradas aumentan de NW a E; esto es 4.93, 9.82, 18.19 y 29.28 % para las direcciones NW, N, NE y E respectivamente. Dicho de otro modo, predomina el oleaje del Primer Cuadrante, lo que está determinado, como ya se planteó anteriormente, por la influencia del Anticiclón de las Azores-Bermudas que ejerce permanentemente su influencia sobre nuestra zona geográfica provocando los vientos alisios de esas direcciones que, a su vez generan el oleaje predominante.

Por otro lado, según la tabla 1.8, las mayores alturas medias corresponden a las direcciones NW y N: 1.73 y 1.72 m, respectivamente lo que está relacionado con la ocurrencia de los frentes fríos invernales, que generalmente están acompañados de vientos fuertes de esas direcciones, o sea, predomina el oleaje del Primer Cuadrante, pero es más peligroso el proveniente del Cuarto durante la época invernal, siendo la altura significativa media general para el año de 1.44 m.

En lo que respecta a los rangos de la altura del oleaje, las más frecuentes son las olas menores de 2 metros para las direcciones consideradas (181.31 días al año). Esta altura será superada 45.79 días al año.

Como resultado del análisis de la tabla 12, se concluye que habrá oleaje de las direcciones NW, N, NE, y E durante 227.09 días, el resto 137.91 días corresponde a tiempo de calmas incluyendo las olas de dirección SE, S, SW y

W que a los efectos del presente estudio y teniendo en cuenta la orientación de la costa, pueden considerarse como tales. Es bueno aclarar que cuando estamos hablando del régimen habitual y decimos, por ejemplo, que la altura del oleaje no superará los 2 m, 181 días al año, no queremos decir que esto ocurrirá 181 veces durante 24 horas. Estamos queriendo decir que la altura del oleaje no superará los 2 m, 181 días en total durante el transcurso del año, o sea 4344 horas (181 x 24 horas.), tiempo que puede estar distribuido irregularmente durante todo el año. Todo hasta aquí expuesto se refiere al año climático medio. Habrá años en que los valores aquí expuestos serán superados y otros en que quedarán por debajo.

## **1.7 Geología del yacimiento**

### **1.7.1 Relieve del yacimiento**

El relieve submarino del Quebrado de Moa y del canal de entrada es irregular, con pendientes bruscas y sinuosas; este relieve, al llegar a la bahía, asciende bruscamente desde profundidades de 40 m hasta las de 2 m, que presenta el Bajo Grande.

En la zona W, de la parte central de la Bahía Cayo Moa, el fondo tiende a depositarse hacia el E presenta en su parte media numerosos bajos con caídas bruscas; la costa y sus ensenadas son ocupadas en su mayoría por un bajo en menos de 2 m de profundidad.

La naturaleza del fondo en el Quebrado de Moa es de arena gris y coral; en el brazo W del canal y parte N de la bahía es de arena gris y fango, con coral y conchuela en la margen N; en el canal dragado y la dársena el fondo es de fango arenoso; en Bajo Grande y Bajo Punta de Cañete (20° 38,9' N; 74° 51,5' W), el fondo es de arena gris y coral.

El estero que desagua 3,5 cb al WSW de Punta de la Fábrica (20° 39,7' N; 74° 53,2' W), produce una continua deposición de sedimentos que reducen de forma notable las profundidades en los accesos del puerto.

En algunas zonas predominan relieves homogéneamente ondulados, que conservan su estado natural. Las profundidades medias son de 2.4 m a 2.8 m,

con valores máximos superiores a los 4 m, hacia la porción NE. También existe un área de 2.7 Ha, que forma banco con valores promedios de 1.8 m.

### **1.7.2 Génesis del cieno carbonatado**

El yacimiento de cienos carbonatados de la bahía de Cayo Moa es un depósito compuesto por sedimentos de carácter biotrófico y terrígeno que se caracterizan en su conjunto por un elevado contenido de carbonato de calcio y una granulometría muy fina. El basamento de la cuenca en que se depositaron; al transportarse fueron sedimentándose en una zona de aguas tranquilas y de poca circulación en un ambiente de laguna retroarrecifal. En las proximidades de la ciudad de Moa, los restantes elementos que conforman el substrato plegado no afloran y en la zona costera y la plataforma marina, Son materia mineral que se erosiona en la corteza laterítica y se acumulan mediante el transporte de las aguas en el acuatorio, sobre los que yacen en el área de la bahía de Cayo – Moa, yacimiento de cieno carbonatado. Según el ingeniero Marlon Menéndez Jungt por los estudios realizados para el desarrollo de su tesis de maestría plantea que en este yacimiento está compuesto por los componentes biogénicos que son restos de esqueletos de moluscos entre ellos se encuentran los bivalvos de valvas lisa y costilladas y escafopodos lisos y costillados tanto longitudinalmente como transversal, Algas (fragmentos calcificados de Halimeda), Foraminíferos bentónicos, crustáceos. En el yacimiento los componentes biogénicos, se dividen en dos grupos, uno constituido por fragmentos de diversos tamaños que se distribuye en todo el corte del yacimiento aumentando con la profundidad y el otro formado por restos de conchas de moluscos que tienen un buen estado de conservación que no están ni desgastados ni rotos por una transportación poco intensas al llegar y depositarse en ese Lagoon. En el yacimiento están presentes biotritos que fueron arrancados y transportado desde zonas, donde el medio marino, poseía alta energía hacia una laguna de aguas tranquilas en la cual transcurrió su deposición en épocas más tardías en el fondo de la cuenca de sedimentación, por lo que estamos en presencia de sedimentos depositados en aguas marinas de salinidad normal, calientes y con poco movimiento lo que posibilita la formación de una rica fauna bentónica. La existencia de los de los

fenómenos de reemplazo por la pirita de muchos restos esqueléticos, indica la presencia de un medio pobre en oxígeno que se desarrolla a cierta profundidad en el fondo marino. Por esta razón que la zona estudiada aunque se comunique con el mar abierto, presenta características de lagunas costera o Lagoon con la presencia de barrera coralina que limita la cuenca de depositación.

### **1.8 Red hidrográfica**

En las regiones de estudio se desarrolla una red fluvial densa y dendrítica, representada por numerosos ríos y arroyos, entre los que se encuentran los ríos Moa, Cabañas, Yagrumaje, Cayo Guam, Quesigua, Cupey, entre otros; todos ellos mantienen un buen caudal todo el año, ya que su principal fuente de alimentación son las precipitaciones atmosféricas. Los mismos desembocan en el océano Atlántico, formando deltas cubiertos de mangles.

### **1.9 Antecedentes de la investigación**

El antecedente más lejano acerca de los cienos carbonatados en Moa se remonta a la década del 50, con el proceso de dragado por parte de los norteamericanos; la información al respecto debió atesorarse en los archivos del entonces Servicio Geológico Norteamericano, donde es obvio que se debió haber realizado una valoración geólogo – económica que permitiera tomar la decisión de crear y emplazar una tecnología de tal magnitud y complejidad, (hasta décadas recientes única en su tipo en el mundo) y que hasta la actualidad se haya sostenido una explotación continuada del yacimiento de cienos carbonatados.

En 1964 el Centro Coordinador para el Desarrollo del Norte de Oriente, solicitó al I.C.R.M. (Instituto Cubano de Recursos Minerales) la realización de estudios de localización y ubicación de las reservas del mal llamado “coral”, para después tomar decisiones respecto a la tecnología a adoptar en el proceso de refinación del níquel.

En la investigación de Castillo (1988), debido a los problemas con la extracción y utilización del Cieno Carbonatado, se recomienda el empleo de la fracción gruesa (fracción retenida en la malla de 20 mesh) constituidos por conchas de

moluscos, algas calcáreas y restos de corales teniendo en cuenta su perspectivas por contenidos de carbonato de calcio.

Se determina por Campos (2001), el carácter terrígeno de los sedimentos que conforman el depósito, además de la composición química y mineralógica y se establece la exclusión de los sedimentos terrígenos los cuales proceden de la formación de las rocas de la asociación ofiolítica y de la corteza de interperismos laterítico vinculados a la misma.

El Cieno Carbonatado es minado en la bahía y transportado hasta los depósitos de rechazo de la planta de preparación mecánica de Cienos Carbonatados de la Empresa “Comandante Pedro Sotto Alba”.

Se han realizado otras investigaciones en los cuales el Cieno Carbonatado constituye el objeto de estudio y se ha obtenido un modelo matemático que describe las características granulométricas de suspensiones lateríticas y Cieno Carbonatado y se definen los efectos de la característica granulométricas y coloides químicas sobre la reología de dichas suspensiones, Romero (2004).

Se realiza un estudio sobre la caracterización de las pulpas de Cieno Carbonatado para su perfeccionamiento en el hidrotransporte (Caballero 2008), con el objetivo de describir el comportamiento reológico de las muestras tomadas y el modelo matemático que lo describe. En el análisis de granulometría de las pulpas se obtiene un predominio mayoritario de partículas finas inferiores a 0,046 mm que componen el 70 % en peso de las muestras y un comportamiento reológico de flujo plástico Bingham.

Se realiza una caracterización de las pulpas de Cieno Carbonatados por Martínez (2009), y obtiene un modelo matemático para describir el comportamiento de dicho material durante su movimiento por tuberías y la ecuación de la caída de presión para los plásticos Bingham a partir del modelo de Buckingham-Reiner.

La cinética de molienda realizada por Suárez (2010), permite obtener un tamaño de las partículas de 0,83 mm que componen un 80 % a fracción

mayoritaria de las partículas, para ser utilizado en el proceso de Neutralización del licor de la Empresa "Comandante Pedro Sotto Alba".

En la actualidad todas las investigaciones realizadas sobre el cieno carbonatado, se basan principalmente en las características del material existente en la bahía de Moa para su utilización en la industria del níquel, y la caracterización de la pulpa del cieno carbonatado para su transportación por tuberías, y no se hace mención del posible uso del rechazo del cieno carbonatado con otro propósito.

Los únicos indicios de utilización de este material con fines constructivos se remontan a los inicios de las obras de construcción de lo hoy se considera la ciudad de Moa. En dichas obras se empleó cieno carbonatado como relleno de interior de las edificaciones. Esta información fue obtenida a partir de las comunicaciones con personas que trabajaron en estas actividades. Además fue corroborado, en las edificaciones que han sido remodeladas.

### **Conclusiones parciales**

- En este capítulo se conoció las características geológicas relacionadas con el objeto de estudio.
- Por sus características y composición, además de la abundancia de los residuos en los depósitos posee perspectivas de utilización en la industria de materiales de construcción.

# CAPÍTULO II

## **CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS**

En este capítulo se verá la fundamentación científica que justifica la necesidad del conocimiento como una causa, que se tome una buena solución con la aplicación de métodos y equipos adecuados para obtener un resultado. Damos a conocer algunas características del material de estudio, muestreo, ensayos y equipamiento que se utilizaron.

### **2.1 Características y propiedades generales del cieno carbonatado**

#### **2.1.1 Características**

##### **Composición química y mineralógica de los cienos carbonatados**

El yacimiento de cienos carbonatados por su quimismo es un depósito que se caracteriza por un alto contenido medio de  $\text{CaCO}_3$  el cual supera un el 80% en condiciones naturales y alcanza entre el 88 y el 90 %, luego de ser beneficiado el mineral en la planta de procesamiento.

Una caracterización más precisa de la composición química del yacimiento, fue obtenida durante los trabajos que explotación geológica mediante la realización de análisis químicos y espectrales en un número limitado de muestras obtenidas en pozos ubicados en diferentes áreas geográficas del sector estudiado. Los análisis de los contenidos en porcentaje de los diferentes óxidos, relevan algunas peculiaridades en cuanto a la composición química del yacimiento en profundidad y las modificaciones que este ha sufrido por el aporte de sustancias no carbonatadas procedentes de otras fuentes de suministro.

El óxido de calcio ( $\text{CaO}$ ) tiende a crecer en profundidad; alcanzando sus valores máximos entre 3 y 5 metros por debajo del nivel batimétrico de los pozos, luego decrece debido al incremento de material arcilloso. Con relación a otros óxidos metálicos  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  los valores obtenidos resultan variables, en lo cual influye su posición meridional y cercana a la costa manifestándose una influencia directa del quimismo de las lateritas. Los óxidos de los metales alcalinos  $\text{K}_2\text{O}$  y  $\text{Na}_2\text{O}$  presentan una tendencia decreciente de sus contenidos con la profundidad. El  $\text{MgO}$ , representa una tendencia a disminuir con la profundidad, indicando una migración vertical desde la capa de

cieno terrígeno, que por su composición aporta este óxido metálico de relativa abundancia en las lateritas y las ofiolitas. Los valores más bajos de los contenidos de MgO, se observan donde predominan las arenas calcáreas.

Los valores de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y el SiO<sub>2</sub>, constituyen junto al Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, los óxidos metálicos más abundantes en los cienos carbonatados con sus valores más notables en las zonas más superficiales cercanas al contacto con el horizonte de cienos terrígeno. Igualmente resulta de interés la valoración del contenido SO<sub>3</sub>, su valor es máximo en los horizontes más superficiales, donde tiene lugar los procesos de transformación de la materia orgánica a partir de donde se libera el azufre, para formar el SO<sub>3</sub> y el H<sub>2</sub>S, en las partes basales de la zona superficial, donde la cantidad de oxígeno es menor e imperan condiciones reductoras. El azufre liberado en condiciones reductoras prevalecientes se combina con el hierro para formar F<sub>2</sub>S (pirita o marcasita) el cual recubre en ocasiones los fragmentos de conchas o esqueletos de algunos organismos. Durante la explotación del yacimiento la remoción de los sedimentos deja percibir un característico olor a H<sub>2</sub>S en muchas zonas del depósito. El contenido de SO<sub>3</sub> por lo general disminuye con la profundidad.

El calcio (Ca) es elemento más abundante en los cienos carbonatados, y su contenido es uniforme en la profundidad. Los restantes metales que por lo general se derivan de los sedimentos terrígenos Ni, Co, Fe, Mg, Al, Cr, K presenta una distribución uniforme en profundidad, observándose mayores contenidos en las partes más profundas de los pozos, donde se asocian sedimentos arcillosos derivados de la corteza de intemperismo laterítica. Los metales como el Cu, el Zn y el Mn presentan un comportamiento diferente y más complejo con valores relativamente más elevados en las partes medias y profundas en los pozos situados en la zona sur y central del yacimiento.

El depósito de cienos carbonatados está compuesto por sedimentos clásticos friables cuaternarios, de carácter biodetrítico y terrígeno, de color gris y se caracteriza por un elevado contenido de carbonato de calcio, el cual por lo general es superior al 80 %. Esta área tiene cerca de 300 m de largo por 90 m de ancho y 2,5 m aproximadamente de alto lo que equivale a un volumen igual a 67500 m<sup>3</sup>. El volumen tomado en cada punto es de aproximadamente 2 kg,

hasta obtener un volumen lo suficientemente representativo de todo el área del depósito. Los estudios mineralógicos presentados en la tabla 2.1, permiten establecer minerales vinculados con los carbonatos como minerales arcillosos, los óxidos de hierro y presencia de magnetita, limonita, cromita, serpentina. Además, calcita, aragonito y glauconita, que son minerales autógenos y clorita, granate y cuarzo.

**Tabla 2.1. Composición mineralógica**

Minerales que contienen hierro			
Magnetita	$Fe_3O_4$	Ilmenita	$FeTiO_3$
Limonita	$FeO \cdot OH \cdot nH_2O$	Cromita	$Cr_2O_4Fe$
Otros Óxidos e hidróxidos de Fe			
Mica	$H_2(Mg,Fe)Al_2SiO_7-$ $KAl_2(OH,Fe)AlSiO_{10}$		
Carbonatos			
Calcita-Aragonito	$CaCO_3$	Fragmentos de conchas calcáreas	
Fragmentos de rocas carbonatadas		Fósiles -Micro fauna	
Otros descritos en menores proporciones			
Hornblenda	Pirita limonitizada	Clorita	Plagioclasa
Feldespato	Anfibol	Grafito	

## 2.2 Características y propiedades del cemento Portland P-350

Las normas cubanas establecen tres tipos de cemento Portland: P-250, P-350 y P-450. El Cemento Portland seguirá siendo el material cementiceo por excelencia. Es el ligante más utilizado en la construcción tanto en Cuba como a escala mundial. Puede definirse como una mezcla sometida a molturación hasta darle una finura conveniente, de Clinker y una pequeña cantidad de yeso, el que se agrega para regular su tiempo de fraguado durante el proceso de hidratación de éste al mezclarse con el agua.

### 2.2.1 La finura

Molido dependerá la resistencia mecánica (a mayor finura mayores resistencias), la velocidad y el calor de hidratación (aumentan con el aumento de la finura del cemento). Esta propiedad se determina mediante los ensayos de retenido en el tamiz de 4900 mallas/cm<sup>2</sup> y por la superficie específica (expresada en cm<sup>2</sup>/g), determinada en el Permeabilímetro de Blaine.

### 2.2.2 Calor de hidratación

La reacción del cemento con el agua se caracteriza por ser exotérmica; el calor de hidratación, como se ha dicho, crece con la finura de molido del cemento y también depende de la composición mineralógica de éste. Resistencias mecánicas. Las resistencias que es capaz de desarrollar un cemento en su función de aglomerar áridos, una vez fraguado y endurecido, es el parámetro que fundamentalmente se utiliza para determinar la calidad de ese aglomerante. Las normas cubanas exigen determinadas resistencias mínimas a flexotracción y a compresión. En general se determinan sobre morteros confeccionados con el cemento analizado, arena normalizada, que contenga más de 97 % de sílice y con granulometría específica, en una proporción (en peso) de una parte de cemento, tres partes de arena y media parte de agua, con cuya mezcla se confeccionan probetas de 40 x 40 x 160 mm. Los índices que caracterizan las propiedades físicas y mecánicas del cemento Portland se dan en la (Tabla 2.2).

Tabla 2.2. Tipo de cemento establecido por ASTM C – 150.

TIPO	(SC3) silicato tricálcico	(SC2) silicato bicálcico	(AC3) aluminato tricálcico	(FAC4) ferroaluminato tetracálcico
USO GENERAL	50	24	11	8
MODERADO AL CALOR DE HIFRATAACION	42	33	5	13
ENDURECIMIENTO RAPIDO	60	13	9	8
PEQUEÑO CALOR DE HIDRATAACION	26	50	5	12
RESISTENCIA A LOS SULFATOS	40	40	4	9

Tabla 2.3. Clasificación de los cementos Portland.

Denominación P-250	P-350
1. Finura, % máximo-	10.0
2. Superficie específica, cm /g, mínimo <ul style="list-style-type: none"><li>➤ una muestra</li><li>➤ promedio</li></ul>	2 600 2 800
Fraguado Inicial: después de: Final: antes de:	45 minutos 10 h
4. Estabilidad de volumen, mm, máx.y mo	10
5. Resistencia a la flexotracción, kgf/cm <sup>2</sup> , mínima <ul style="list-style-type: none"><li>➤ 3 días</li><li>➤ 7 días</li><li>➤ 28 días</li></ul>	30 40 60
6. Resistencia a la compresión, kgf/cm <sup>2</sup> ,(mín) <ul style="list-style-type: none"><li>➤ 3 días</li><li>➤ 7 días</li><li>➤ 28 días</li></ul>	170 250 350

Las pastas de cemento pueden sufrir deformación de su volumen durante el proceso de fraguado y endurecimiento, las que pueden ser de: retracción y expansión.

### **2.2.3 Retracción**

Consiste en una contracción que experimenta la pasta y que influye sobre la contracción total de los morteros y hormigones. Se puede deber a: una pérdida de agua de amasado y también a la influencia del cemento (la contracción será más elevada cuanto más fino sea el cemento).

### **2.2.4 Expansión**

Las pastas puras, morteros u hormigón experimentan aumento de volumen en presencia de humedad debido a una lenta hidratación de algunos de sus componentes como pueden ser el yeso, la cal libre o la magnesia libre. (Materiales de la construcción) Doctor: Cecilio Acosta Valle.

## **2.3 Materiales a utilizar para la confección de las probetas**

- Residuo sólido carbonatado.
- Arena del jobo de Sagua de Tánamo.
- Cemento Portland P-350.

## **2.4 Métodos empleados en la investigación**

- Recopilación de informaciones.
- Trabajo de campo.
- Preparación de las muestras.

### **2.4.1 Recopilación de informaciones bibliográficas**

Se utilizó para esta investigación apoyarse en las investigaciones de tesis con otros materiales de documentos que fueron obtenidos por la empresa del Puerto Moa que es el encargado del estudio y preparación del yacimiento Cieno Carbonatado y responsable del depósito de rechazo del mismo, en áreas aledañas al lugar de descarga del material cuando es extraída de la bahía. También nos apoyamos en el internet.

### **2.4.2 Trabajo de campo**

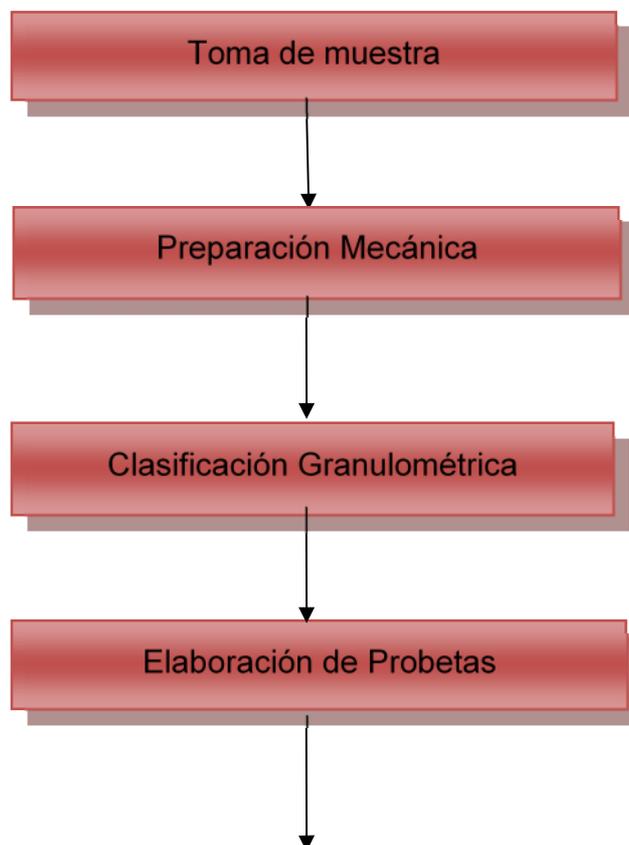
En el trabajo de campo se realizaron varias salidas al depósito del rechazo para ver el volumen del material, la toma de muestra se empleó el método por punto a 10 m de distancia unas de otras, se tomo muestra adquiriendo un pequeño volumen del material para analizar y realizar el estudio del mismo de sus propiedades físico mecánicas de flexión y compresión, para sus utilización como aditivo al cemento Portland P-350.

### **2.4.3 Preparación de la muestra**

Para la realización de la investigación las muestras fueron tomadas en los depósitos del Puerto de Moa, donde podemos encontrar el rechazo de cieno carbonatado cerca de la planta donde se procesa el mismo para su utilización como producto de neutralización. Para determinar la cantidad de material utilizado en cada caso se tuvo en cuenta las normas cubanas correspondientes NC 178 2002.

### **2.5 Metodología para la elaboración de las probetas.**

Para la confección de las probetas nos regimos por un esquema tecnológico de elaboración (Figura2.1)



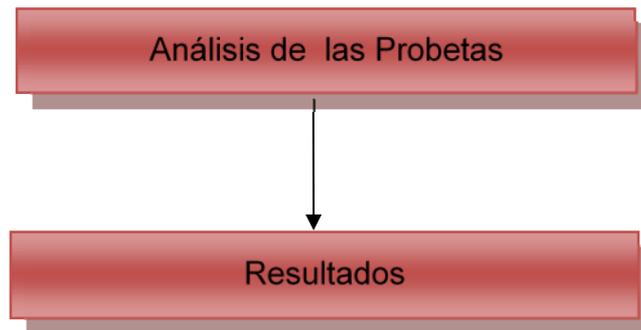


Figura 2.1. Esquema tecnológico de elaboración de las probetas

Las muestras tomadas fueron sometidas a un proceso de preparación mecánica (reducción de tamaño) mediante dos etapas, una fue la molienda del material y luego la clasificación granulométrica (Mediante tamices), cada una por separado, en la primera etapa se utilizó el equipo de molienda que se encuentra en el laboratorio de preparación mecánica del ISMM. (Figura 2.2).



Figura 2.2. Molino de bolas

Debido a que no se obtuvo el diámetro de la muestra que se deseaba, se realizó una segunda etapa, se llevó el producto molido en la facultad de minas, donde se encontraban las tamizadoras, se le realizaron el tamizaje por vías ceca que se obtuvieron una granulometría menor de 0.075 mm (Figura 2.3).

Cuando se obtuvo la granulometría que se deseaba, se realizaron los morteros que luego se les realizarían ensayos para la determinación de la resistencia mecánica (Flexión y Compresión) a los 7, 14 y 28 días. (Figura 2 en el anexo 2)

### **2.5 Determinación de la composición granulométrica**

Se determinó la composición granulométrica para el análisis que se empleó para la arena y del material de cieno carbonatado utilizado en la elaboración de los morteros. El procedimiento se basa en la determinación de las fracciones granulométricas de los materiales, por medio de un movimiento lateral y vertical del tamiz, acompañado de una acción de sacudida de manera que la muestra se mueva continuamente sobre la superficie de los tamices, mediante la utilización de la tamizadora eléctrica mostrada en la (Figura 2.3), hasta lograr cernir todo el material posible en cada criba para la obtención de las dosificaciones de las muestras. La muestra de arena, y material de rechazo sólido carbonatado, se separó utilizando las clases de tamaño que se muestran en la (Tabla 2.3), de acuerdo con las especificaciones para el uso del material que se ensaya. Las características granulométricas de la arena normalizada se muestran en la (Figura 2.4.).

Tabla 2.3. Clases de tamaño para la caracterización de la arena y el cieno.

Arena. Clase Tamaño (mm)	Cieno. Clase Tamaño (mm)
-2.00 +1,7	0.075
+1	
+ 0,5	
+ 0,15	
+ 0,8	



Figura 2.3. Tamizadora eléctrica y sus tamices que se utilizaron durante la investigación.

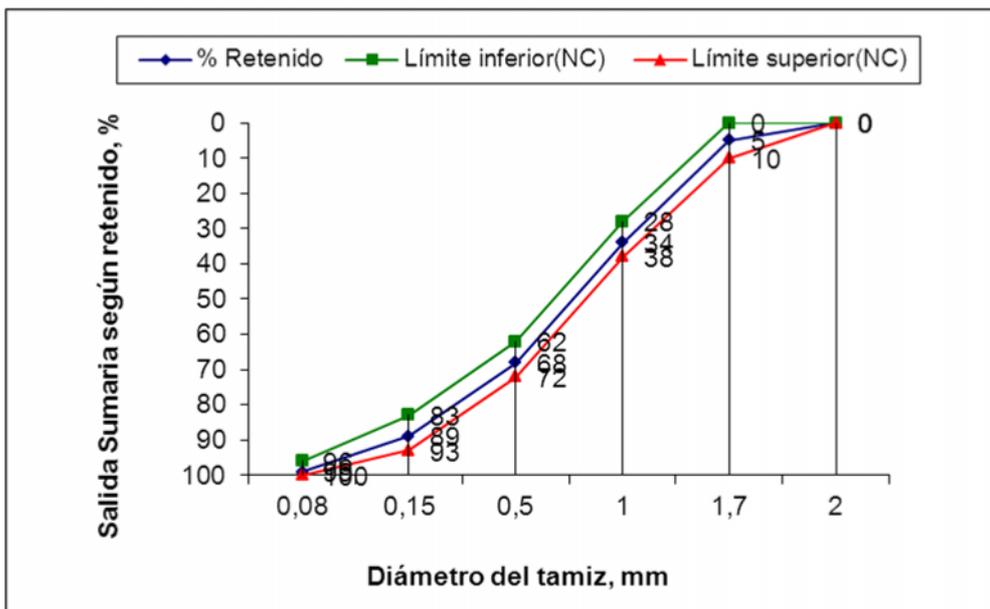


Figura 2.4. Arena normalizada NC TS54-207.

## 2.6. Determinación de la resistencia mecánica a los morteros

Los ensayos mecánicos son aquellos que determinan la resistencia del material obtenidos con ellas, tanto en unidades fundamentales MN/m<sup>2</sup> o mediante otras unidades arbitrarias por ejemplo en MPa y kgf/cm<sup>2</sup>. Estos pueden dividirse en:

- Los que se realizan en ensayos con muestras del material conformados, que conducen a la expresión de los resultados en unidades fundamentales, tales como la resistencias a la rotura en compresión, tracción indirecta y flexión.

En el presente trabajo se emplea para la determinación de la resistencia a la compresión y flexión de la mezcla del rechazo de cieno carbonatado para su utilización como aditivo natural para el cemento, que se realizaron mediante pruebas de morteros con diferentes dosificaciones mostrados (Ver anexo 2 figura 2), según la norma cubana NC 175-2002.

En el ensayo de la resistencia a la flexión, se realizó con la ayuda de una prensa de 10 t que se encuentra en los Laboratorios de la ECRIM; se apoya el mortero, situado en el plano paralelo de la prensa, en una de las herramientas que tiene la prensa que se coloca el mortero encima de dos muelas que tiene una altura de 3 cm, se apoya sobre una de las caras de la probeta apoyándola en las muelas quedando un vacío en el medio y arriba en el medio queda una muela que en este caso es una sola presionando por el medio la probeta con una determinada fuerza hasta el punto que se parta, midiéndole así la flexión en (kN). (Figura 2.5).

Para medir la compresión se realizó con la misma prensa de 10 t en este caso se utilizó una herramienta distinta a la de la flexión esta tiene dos planos horizontales donde se pone el mortero por una de sus caras y se le realizan las fuerzas horizontalmente, se comprime hasta que el material resiste donde el equipo mide y deja de seguir comprimiendo cuando el mortero se parte.



Figura 2.5. Prensa hidráulica de 10 t.

### 2.6.1 Cálculo de la resistencia a la flexión

La carga  $P$  será aplicada verticalmente por el cilindro de carga sobre la cara lateral puesta de la probeta y deberá crecer progresivamente a razón de  $(5 \pm 1 \text{ kgf/s } [(49 \pm 10)] \text{ N/S})$ . El módulo de rotura  $R$ , está dado por la ecuación 1 (e.1):

$$R = \frac{b \cdot M}{b^3} = \frac{1,5 \cdot P \cdot l}{b^3} \quad \text{e.1}$$

donde:

$b$  : Lado de la sección cuadrada de la probeta

$M$  : Momento flector que es hallado por la fórmula siguiente:

$$M = \frac{P \cdot l}{4}$$

donde:

$P$  : Carga de rotura aplicada en el medio del mortero

$l$  : Distancia entre los cilindros de soporte

Expresando  $l$  y  $b$  en cm, la formula se transforma en:

$$R = 0,234 \cdot P \quad \text{para } l = 10,00 \text{ cm}$$

$$R = 0,250 \cdot P \text{ para } l = 10,67 \text{ cm}$$

$R$  se expresa en  $\text{kgf/cm}^2$ , cuando  $P$  está en  $\text{kgf}$  o  $\text{kN/cm}^2$  cuando  $P$  está en  $\text{kN}$ .

### **2.6.2 Cálculo resistencia a la compresión**

En el ensayo de resistencia a la compresión cada uno de los trazos del prisma roto por flexión se ensayó después a compresión ejerciendo el esfuerzo en una sección de  $(40 \times 40)$  mm sobre las dos caras laterales de la probeta. Para ello se utilizaron dos placas de acero de dureza no inferior a HRC 60, de  $(40 \pm 0,1)$  mm de ancho y largo y de espesor mínimo de 10 mm, las cuales son planas con un error menor de 0.02 mm. El conjunto se colocó entre los platos de  $(10 \times 10)$  cm, de la prensa, cuya rótula está centrada sobre el eje de las secciones sometidas a compresión. Los platos se guiaron sin fricción apreciable durante el ensayo para poder mantener siempre la misma proyección horizontal. Uno de los platos se mantuvo ligeramente inclinado con el objetivo de obtener un perfecto contacto con la probeta. Estas condiciones se obtuvieron con un aditamento especial para el ensayo de compresión colocado entre los platos de la prensa, ya que los platos de la prensa son mayores que los tamaño estableciendo por lo que es recomendable usar el mismo aditamento que permita transmitir la carga de la máquina sobre las superficies de las probetas sometidas al esfuerzo de compresión. En este aditamento la placa inferior fue introducida en la platina inferior. La placa superior con rótula recibe la carga transmitida por el plato superior de la prensa a través del conjunto de deslizamiento el cual debe ser capaz de oscilar verticalmente, sin apreciable fricción en el aditamento que guía.

Después de triturada la probeta el conjunto retorna automáticamente a la posición inicial. La velocidad de carga estará comprendida entre 10 y 20  $\text{Kgf/cm}^2/\text{s}$  (0,10 a 0,20  $\text{Kgf/cm}^2/\text{s}$ ), pero se reducirá en caso necesario para que el ensayo no dure más de 10 segundos.

La resistencia a la compresión R se calculó mediante la ecuación 2 (e.2):

$$R = \frac{P}{S} = \frac{P}{l \cdot b} \quad \text{e. 2}$$

donde

**P:** Carga aplicada a la probeta.

**S:** Superficie de la sección transversal de la probeta ( $cm^2$ )

**R:** Se expresará en  $kgf/cm^2$  cuando **P** esté en  $kgf$  o en  $kN/cm^2$ , cuando **P** esté en  $kN$ .

Los ensayos de resistencia a la flexión y compresión se realizaron a diferentes tiempo de rotura de 7, 14 y 28 días.

Para cada material ensayado a las diferentes edades, se rompieron 26 morteros y tres morteros patrones, se consideró que la resistencia del mortero, tanto a la flexión como a la compresión, viene expresada por el valor medio de los resultados obtenidos.

También se determinó la resistencia a la compresión y flexión mediante la norma cubana NC 359-2005 alcanzando valores de categoría de nivel 5 planteadas en la norma NC 175- 2007.

### **2.7 Preparación de los materiales para la conformación de los morteros**

La mezcla se preparó manualmente, se hicieron 9 morteros de 10 %, 9 a un 20 %, 9 a un 30 % de aditivos de rechazo del cieno carbonatado del depósito del Puerto Moa, al cemento Portland P-350. Para estos casos se confeccionaron 9 morteros patrones con un 100 % de cemento Portland (P-350) según la norma cubana 54 – 207: 1980, es decir sin adición del rechazo de cieno. La dosificación para cada uno de los casos se puede observar en la (Tabla 2.4).

Primeramente se tomó la arena y se sometió a un proceso de tamizado por el tamiz -2,00 mm, según la norma cubana NC 54 -207:1980 para la elaboración de morteros. Esta arena se puso en la estufa para eliminar su humedad.

Estando lista la arena se procedió a la dosificación para la elaboración de los morteros, con el auxilio de una balanza mecánica, para el pesaje de la misma.

Se tomó una probeta graduada y se midió el agua a utilizar en cada una de las adiciones de material (10 %, 20 % y 30 %), esta agua se vertió en el recipiente donde se mezcló, luego se tomó el cemento teniendo en cuenta la dosificación de 10 %, 20 % y 30 % del aditivo de cieno carbonatado, con el 90 %, 80 % y 70 % de cemento para la elaboración de los morteros. Listos los materiales, se mezclaron hasta lograr una buena homogeneidad de las partículas de cemento con la arena y el aditivo, se le agregó una cantidad de agua mediante un bíquero de 400 ml que se utilizó para la medición agregándole hasta que se lograra una buena mezcla, utilizándose en cada caso 350 mL de agua.

Una vez listo el material mezclado se procedió a verter en dos capas, mediante el método manual en el molde colocado en la compactadora (Figura 2.5). La primera capa permite que a los 25 segundos se expulse el aire atrapado en el material y la humedad suba a la superficie.

La segunda capa permite emparejar los moldes y enrasar el molde. Por último se tomó el molde y se colocó en un local con las condiciones necesarias para mantener en buen estado los moldes, y pasadas 24 horas se extrajeron los morteros y se colocaron en el área de curado hasta las edades correspondientes a los ensayos de resistencia aplicados (7, 14 y 28 días).



Figura 2.5 .Compactadora

Para la dosificación del material del residuo de cieno carbonatado como aditivo al cemento en diferentes dosificaciones.

Tabla 2.4. Dosificación para la conformación de los morteros. Norma cubana NC 54 - 207:1980.

Material	Adición	Dosificación				Relación Agua-Cemento-Cieno
		Cemento (g)	Arena (g)	Cieno (g)	Agua (mL)	
Patrón  Cieno carbonatado	0	450	1350	0	240	0,53
	10%	405	1350	45	350	0,64
	20%	360,5	1350	90	350	0,58
	30%	315	1350	135	350	0,62

Según se observa en la (Tabla 2.4) en todos los casos se utilizó una relación arena cemento 3-1, variándose la relación agua-cemento-cieno carbonatado según los ensayos de consistencia normal para cada material.

#### **Conclusiones parciales.**

- Las técnicas analíticas y experimentales utilizadas son adecuadas para el desarrollo de la investigación, reúnen los requisitos según las normas cubanas.
- La aplicación de los cálculos para la realización de los ensayos, fueron realizados estrictamente según las normas, al igual que su caracterización granulométrica.
- La preparación de los materiales se realizó de acuerdo a las condiciones establecidas para ser ensayados.

# CAPÍTULO

## III

## **CAPÍTULO 3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.**

En el presente capítulo se presentan los resultados y se describe el análisis que se utilizó con el rechazo de cieno carbonatado como aditivo natural en la construcción.

### **3.1 Resultados de la determinación de la resistencia a la flexión para 10 %, 20 % y 30 % de sustitución de material de rechazo de cieno carbonatado.**

En la Tabla 2 que se puede observar en el anexo 1, que a los 7, 14 y 28 días el comportamiento de los valores de resistencia a la flexión para el aditivo de cieno empleado en la evaluación, están por encima de los patrones, alcanzando valores mayores de 1,0 MPa, mostrando un aumento de la resistencia de los 7 a los 28 días. En el siguiente diagrama 3.1.1, se refleja el crecimiento de la resistencia a los 7, 14 y 28 días respectivamente para un porcentaje de un 10 %

Se puede observar que para las muestras con adición de 10 % el crecimiento es bastante semejante a los 7, 14 y 28 días. Al observar los resultados obtenidos a los 7, 14 y 28 días, como se pueden observar en la tabla 2, que se encuentran en el anexo 1. Se refleja la tendencia al sobrepasar los valores de resistencia a la flexión del patrón, mostrándose también en el (Figura 3.1).

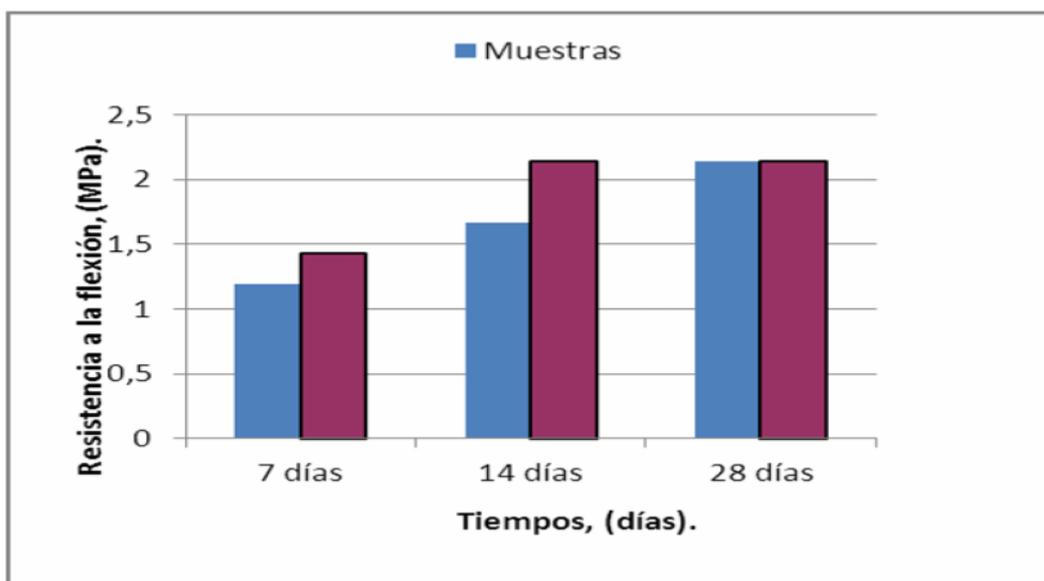


Figura 3.1 Flexión en función del tiempo, para un 10 %.

Aquí se puede observar que tanto para las muestras con adición de 20 % el crecimiento es bastante semejante a los 7, 14 y 28 días. Al observar los resultados obtenidos a los 7, 14 y 28 días, donde se puede observar en la tabla 3, que se encuentran en el anexo 1. Se reflejan la tendencia al aumento hasta sobrepasar los valores de resistencia a la flexión del patrón. (Ver Figura 3.2).

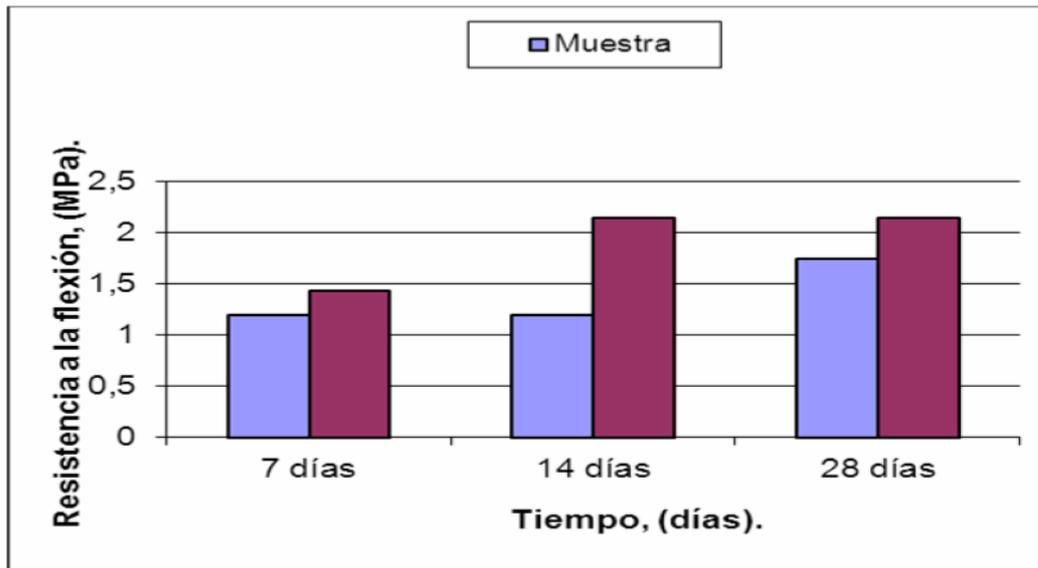
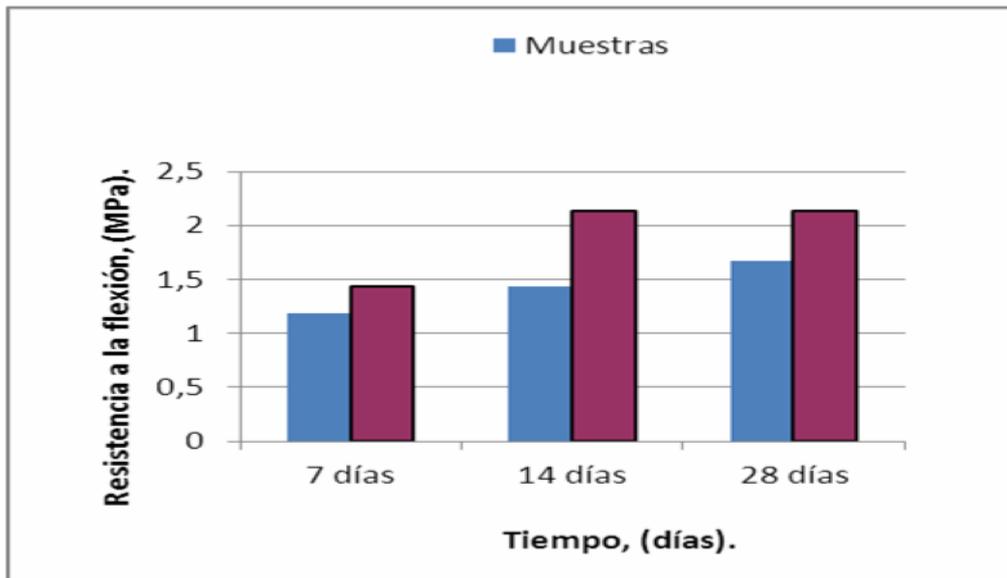


Figura 3.2. Flexión contra tiempo, para un 20 %.

Con el aditivo del sólido carbonatado, se logra observar que para las muestras con adición de 30 % el crecimiento es bastante semejante a los 7, 14 y 28 días. Al observar los resultados obtenidos en los análisis realizados que se muestran en los anexos en la tabla 3, se logra ver la tendencia a sobrepasar el valor a la de resistencia de la flexión del patrón positivamente que se muestra en el (Figura 3.3).



(Figura 3.3) Flexión contra tiempo, para un 30%.

### **3.2 Resultados de la determinación de la resistencia a la flexión para 10 %, 20 % y 30 % de sustitución de material de rechazo de cieno carbonatado.**

En la Tabla 2 que se puede observar en el anexo 1, que a los 7, 14 y 28 días el comportamiento de los valores de resistencia a la compresión para el aditivo de cieno empleado en esta evaluación a diferentes %. Están por encima de 5 (MPa), aumentando su valor de 7 hasta 28 días los morteros con un 10% de aditivo, sin embargo los aditivos de 20 % y 30 %, a los 7 días los valores obtenidos en el análisis realizado en el laboratorio del (ECRIM) alcanzado valores menores 5 (MPa), aunque a los 14 y 28 días hay aumento a la resistencia, lo cual de ellos el mejor es el del aditivo al 10% comparados con los de 20% y 30%, con valores mayores de 13 (MPa) y mínimo de mayor de 5 (MPa) a los 7 días. En los siguientes diagramas, se puede ver el crecimiento de la resistencia a los 7, 14 y 28 días respectivamente para los porcentajes de un 10 %, 20 % y 30 %.

Se puede observar que tanto para las muestras con adición de 10 % el crecimiento es bastante semejante a los 7, 14 y 28 días. Al observar los resultados obtenidos en el análisis realizado en la evaluación realizada, reflejan el aumento a la resistencia a la compresión 7, 14 y 28 días en los anexo 1 tabla 2 y en la (Figura 3.4).

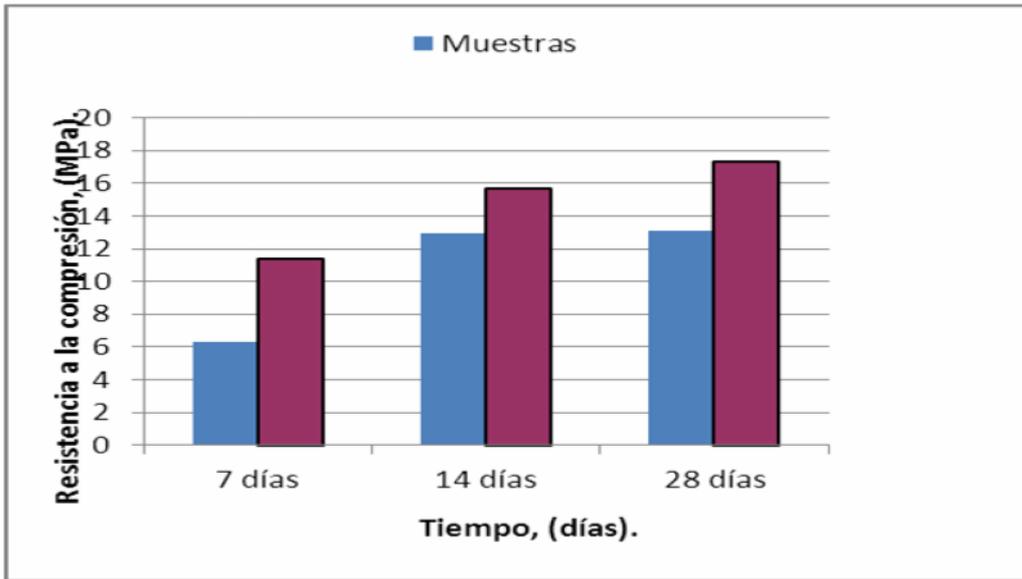


Figura 3.4. Compresión contra tiempo, para un 10 %.

Se puede ver que para las muestras con adición de 20 % el crecimiento gradual a los 7, 14 y 28 días. Al observar los resultados obtenidos a los 7 días, son menores de 5 (MPa), se reflejan un aumento a los 14 y 28 días con valores no mayores de 12 (MPa) con respecto a los valores del patrón hay un acercamiento a los 28 días.(Figura 3.5).

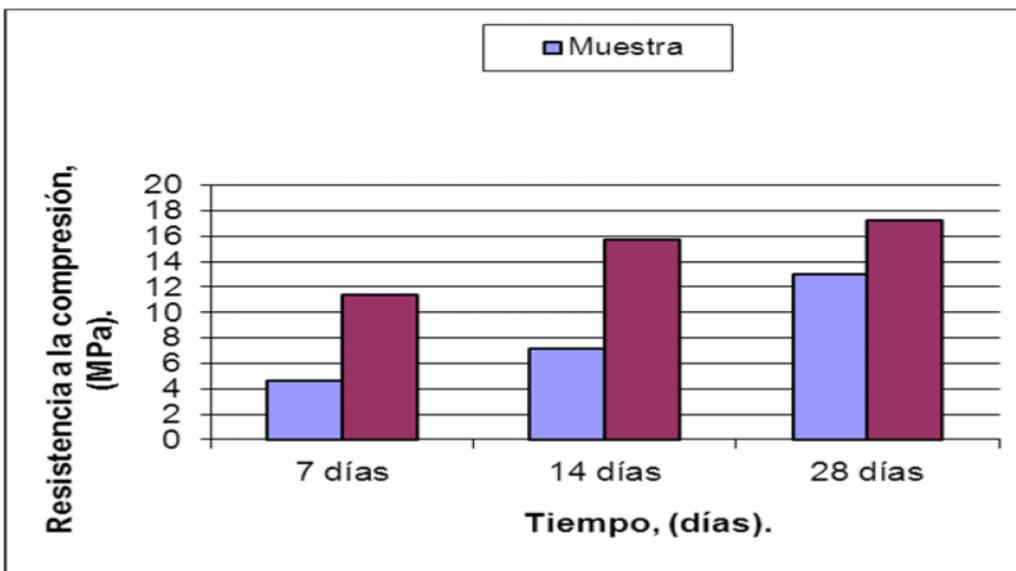


Figura 3.5 Compresión contra tiempo, para un 20 %.

En esta figura, se puede observar que tanto para las muestras con adición de 30 % el crecimiento es bastante bajo a los 7 con menos de 5 (MPa) y a los 14 y 28 días, son menores de 9(MPa), aunque no se compara con los de un 10 %. Con las diferentes dosificaciones del sólido del rechazo carbonatado. Se

confirma que los morteros con adición de un 10 % de Cieno ofrecen mejor resistencia a la flexión y compresión que los elaborados con 20 % y 30 %. (Figura 3.6).

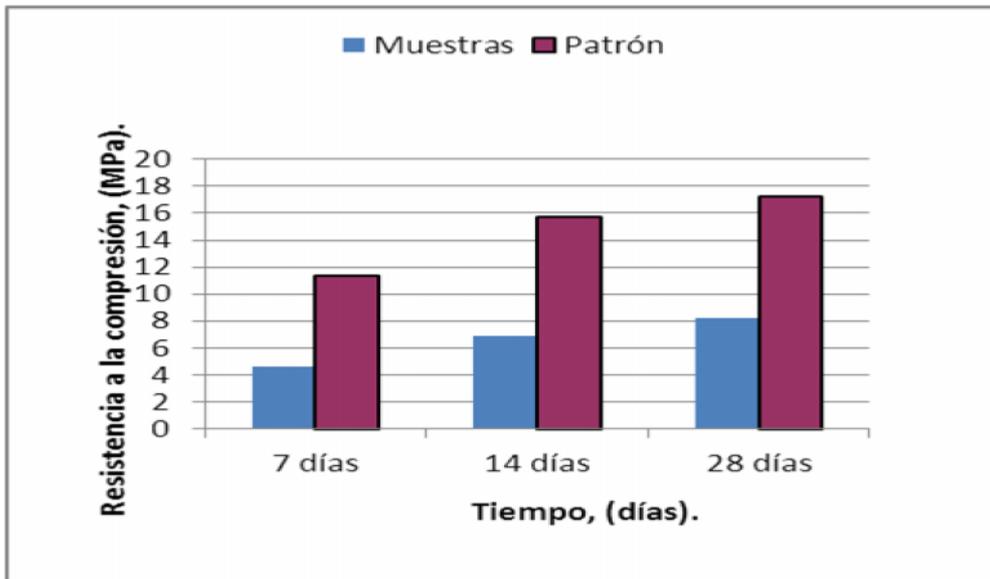


Figura 3.6. Compresión contra tiempo, para un 30 %.

### **3.3 Análisis a los resultados de la determinación de la resistencia a la flexión y compresión para un 10 %, 20 % y 30 % de sustitución del material sólido de cieno.**

En la figura 3.4 se observa que a los 7 y 28 días el comportamiento de la resistencia a la flexión para el sólido carbonatado, están por debajo de los patrones, mostrando un aumento de la resistencia a los 28 días, esto se refleja en el porcentaje de crecimiento de la resistencia de 7 a 28 días, aunque a los 28 días la muestra de un 10 % alcanza el valor del patrón. Se puede observar que tanto para el aditivo carbonatado de 10 %, 20 % como para las de 30 % de adición tienen un crecimiento bastante semejante a los 7 y 14 días. Al observar los resultados obtenidos a los 28 días reflejan la tendencia al acercamiento de resistencia a la flexión con las diferentes dosificaciones del aditivo a la del patrón. Se confirma que los morteros con adición de un 10 % de rechazo ofrecen mejor resistencia a la flexión que los elaborados con 20 %, 30 % del aditivo del sólido carbonatado alcanzando los valores del patrón positivamente. (Figura 3.7).

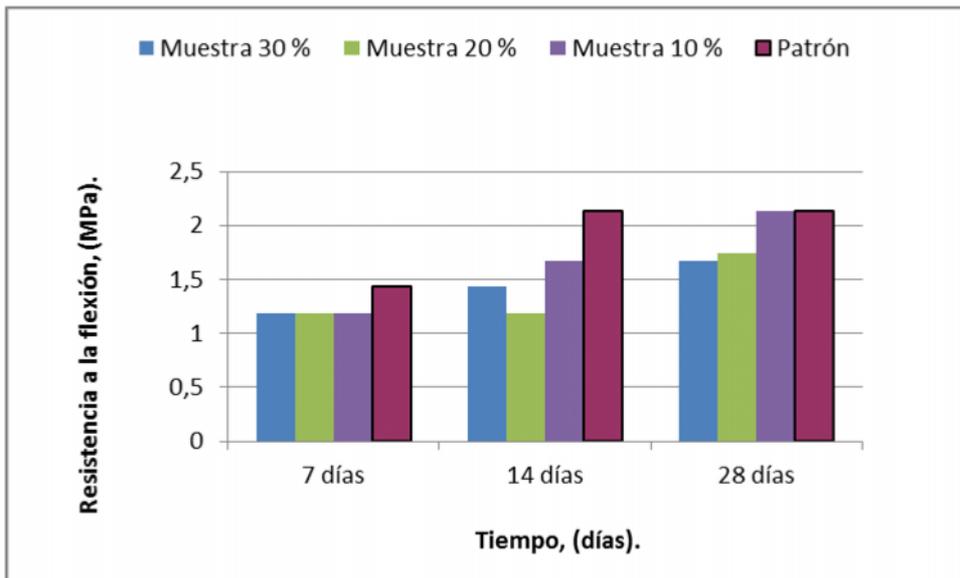


Figura 3.7. Resistencia a la flexión de los morteros con 10 %,20 % y 30 % del aditivo carbonatado.

Se puede observar que tanto para el aditivo carbonatado de 10 %,20 % como para las de 30 % de adición tienen un crecimiento bastante semejante a los 7,14 y 28 días. Al observar los resultados obtenidos a los 28 días se reflejan la tendencia al acercamiento de resistencia a la compresión con las diferentes dosificaciones del aditivo a la del patrón. Se confirma que los morteros con adición de un 10 % de rechazo ofrecen mejor resistencia a la compresión que los elaborados con 20 %, 30 % del aditivo del sólido carbonatado como también en los resultados de la flexión. (Ver Figura 3.8).

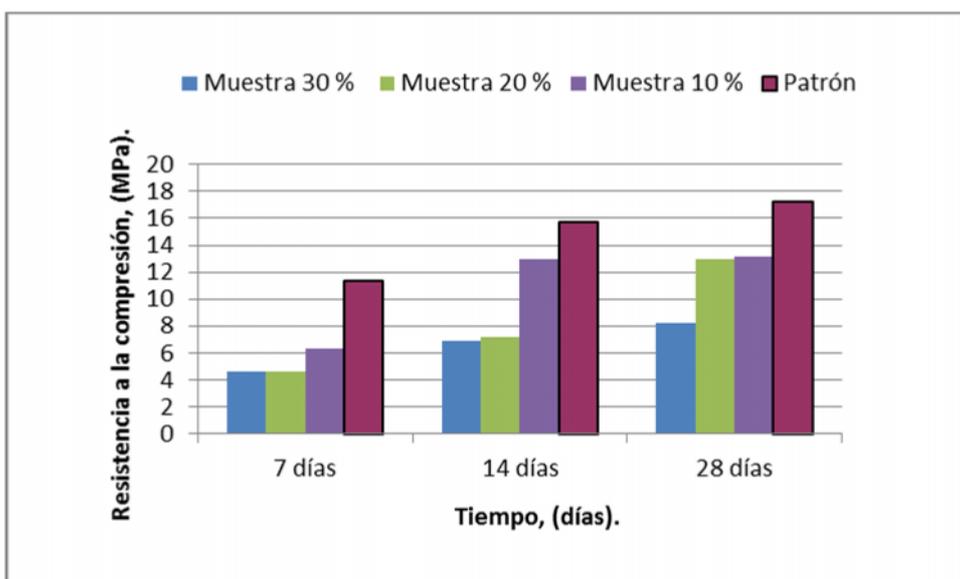


Figura 3.11. Resistencia a la compresión de los morteros con 10 %,20 % y 30 % del aditivo carbonatado.

### **3.5 Comparación de los resultados de resistencia mecánica de la mezcla de rechazo carbonatado con cemento P-350, con respecto a la norma cubana NC 175: 2002.**

La resistencia a la compresión a los 28 días es generalmente usada como criterio principal para seleccionar el tipo de mortero, ya que es relativamente fácil de medir y comúnmente se relaciona con otras propiedades, como la adherencia y absorción del mortero. De acuerdo a los resultados obtenidos en los diagramas de resistencia a la compresión , y al compararlos con los tipos de morteros que utilizan en la albañilería (Mezcla de uno o varios conglomerantes minerales, áridos, agua y adiciones o aditivos), los cuales para una relación arena – cemento– 3 – 1(relación utilizada en esta evaluación)muestra una resistencia a la compresión a los 28 días de 13,12(MPa), los morteros con aditivos de 10%de rechazo de cieno carbonatado de acuerdo a lo establecido a la norma cubana(NC 175:2002),alcanza el nivel 5 que se muestra en esta norma, tabla 1. (Dosificaciones generales y propiedades de los morteros de albañilería).

#### **Conclusiones parciales**

- La resistencia a la compresión y la flexión con adición de 10 % es mayor que la adición de un 20 y 30 % según los resultados de los ensayo analizados.
- Los morteros elaborados con adiciones de 10 % de rechazo de cieno carbonatado, se acercan a los valores de resistencia a la compresión de los morteros patrones, y superan los valores mínimos exigidos por la norma cubana NC 175: 2002, para su utilización en albañilería.
- Debido a que se desconoce las reacciones químicas del aditivo con el cemento P-350, y que la fuente de estos materiales está contaminada con agua de mar, no se debe emplear en construcciones donde emplee acero u otro reforzamiento metálico.

## **CONCLUSIONES**

A partir de la evaluación se especifica que:

Al sustituir el 10 % de cemento por material sólido carbonatado, se obtienen morteros cuyas resistencias son suficientes para ser utilizada en aplicaciones de albañilería de baja prestación, donde no se emplee armaduras de aceros para su fortificación, lo que se fundamenta en que la resistencia a la compresión mostrada por esta mezcla es 13,12 MPa a los 28 días.

## **RECOMENDACIONES**

- No emplear este aditivo en construcciones de albañilería donde se tenga que emplear armaduras de acero hasta tanto no se realice un estudio de las reacciones químicas entre el cemento Portland P-350 con el aditivo del rechazo del sólido ceno carbonatado, por la presencia de Cloruro de Sodio.
- Completar el estudio sobre la posibilidad de sustituir el 10 % de cemento para la obtención de morteros que puedan ser utilizados en trabajos de albañilería.
- Estudiar la posibilidad de aprovechar integralmente el rechazo de ceno carbonatado.

## **BIBLIOGRAFÍA**

**ALBEAR, J.; I. BOYANOV; K. BREZSNYANSZKY; R. CABRERA; V. CHEJOVICH; B. ECHEVARRÍA; R. FLORES; F. FORMELL; G. FRANCO; I. HAYDUTOV; M. ITURRALDE-VINENT; I. KANTCHEV; I. KARTASHOV; V. KOSTADINOV; G. MILL·N; R. MYCZYNSKI; E. NAGY; J. ORO; L. PEÒALVER; K. PIOTROWSKA; A. PSZCZOLKOWSKI; J. RADOZJ; RUDNICKI; M.L. SOMIN.** Mapa geológico de Cuba. Escala 1:250 000, (1988).

**ANDÓ J., MIKLOS K., RÍOS Y.** Caracterización general de la asociación ofiolítica de la zona Holguín - Moa y el papel de las Ofiolitas en el desarrollo estructural de Cuba. Revista Minería y Geología, Vol. 7, No.1, (1989).

**CABALLERO, Y.** Caracterización de las pulpas de Cieno Carbonatado para su perfeccionamiento en el hidrotransporte. Trabajo de Diploma 2008.

**CAMPOS M.** Rasgos principales de la tectónica de la porción oriental de las provincias de Holguín y Guantánamo. Revista Minería y Geología No.2, (1983).

**CECILIO ACOSTA VALLE:** Materiales de la construcción. (2001).

**CAMPOS, G. M.** Nuevos datos acerca de la naturaleza y génesis de los sedimentos del yacimiento de cieno carbonatado en la bahía de Cayo Moa Grande. Holguín. 2001.

**CAMPOS, M.** Tectónica y minerales de la asociación ofiolítico.

**CASTILLO, D.** Informe sobre problemas de extracción y utilización de la materia prima de cieno carbonatado. 1988.

**CEPRONIQUEL.** Proyecto de extracción del fango coralino al sur de Cayo Moa Grande. 2000.

**DRAPER, G., BARROS, J.A., 1994.** Cuba. In: Donovan, S.K., Jackson, T.A. (eds.). Caribbean Geology: An Introduction. Kingston, University of West Indies Publishers Association, 65-86.

Draper, G., Barros, J.A., 1994. Cuba. In: Donovan, S.K., Jackson, T.A. (eds.). Caribbean Geology: An Introduction. Kingston, University of West Indies Publishers Association, 65-86.

**ERDOGAN, T.Y. 1997:** Admixture for Concrete. Middle East Technical University. Press. Ankara.

**ERDOGAN, T.Y. 2003:** Beton. Middle East Technical University Press, Ankara.

**FONSECA, E., SALDKIVICH, V., SANTA, CRUZ, M., GARCÍA, I., 1992.** Geología de los yacimientos cromáticos con evaluación pronóstico. Informe final tema 401-12. Unidad minera Punta Gorda, Moa. Cuba

**FONSECA, E., ZELEPUYIN, V.N, HEREDIA, M., 1985.** Estructure of the ofiolite association of Cuba. *Geotectonics*, 19, 321-329.

**G. OROZCO Y R. RIZO.,** *Acta Geológica Hispánica*, v. 33 (1998), nº 1-4, p. 335-349

**GARCÍA, I., FONSECA, E., 1994.** La mineralización cromática y su relación con las cloritas en el Yacimiento Amores. *Minería y Geología*, 11,50-54.

**GENER R. M. y CABRERA, J. 2002:** Influencia de la relación agua/cemento en la elaboración del mortero normalizado de los cementos con puzolana. *Materiales de Construcción*, 51 (265): 77-84.

**GONZÁLEZ, M. 1991:** Ataque químico al concreto. Exposición en el ciclo organizado por el ACI. Capítulo peruano sobre corrosión en estructuras de concreto. 17 p.

**GYARMATI, P. Y J. LEYÈ OÍCONOR.** Informe final sobre los trabajos de levantamiento geológico en escala 1:50 000 y búsqueda acompañante en el polígono CAME V, Guantánamo. O.N.R.M., (1990).

**GYARMATI, P.; I. MÉNDEZ; M. LAY.** Caracterización de las rocas del arco de islas Cretácico en la Zona Estructuro-Facial Nipe-Cristal-Baracoa. En: G. F. Furrázola, K. E. Nuñez-Cambra (eds.). *Estudios sobre Geología de Cuba*, Ciudad de la Habana, Instituto de Geología y Paleontología, (1997), p. 357-364.

**HERNÁNDEZ, L. R. 2003.** Cálculo verificativo y propuesta de modificación para la ampliación de la instalación de bombeo de cieno carbonatado. Trabajo de Diploma. ISMM. Moa.

**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 tectonica síntesis. *Journal of petroleumgeology*, 17, 39-70.

**ITURRALDE-VINENT, M., 1996A.** Introduction of the Cuban geology and tectonics. In M. Iturralde-Vinent (ed). *Ofiolitas y arcos volcánicos de cuba*, IGCP Proyect 364, Miami, USA,3-35.

**ITURRALDE-VINENT, M., 1996C.** Magmatismo de arco continental en cuba. In M. Iturralde-Vinent (ed). Ofiolitas y arcos volcánicos de Cuba, IGCP Project 364, Miami, USA, 121-130.

**ITURRALDE-VINENT, M., 1995.** Cuencas sedimentarias del paleoceno – eoceno de cuba. Bol. Soc. Venezolana de geología., 20(1-2), 75-80.

**ITURRALDE-VINENT, M., 1998.** El segmento de arco volcánico del paleoceno-eoceno medio del caribe. In Ay P: V. young on (eds), transactions of the 3rd geological conference of the of the geological ociety of Tand the 14th caribbean geological conference, TyT, 1995, vol.1, 343-362.

**JIMÉNEZ, M. P.; GARCÍA, M. A. y MORÁN, C. F. 1982:** Hormigón armado. Tomo I. Barcelona, España. Editorial Gustavo Gili S.A. ISBN 84 - 252 – 0758 – 4: 13–18.

**JIMÉNEZ. D.Y.** Cálculo verificativo y propuesta de modificación de la instalación de bombeo de Cieno Carbonatado desde el puerto hasta la planta de neutralización de la Empresa “Pedro Soto Alba”. Tesis de Diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico. 2005.

**KERR, A.C., ITURRALDE VINENT, M.A., SAUNDERS, A.D., BABBS, T.L., TARNEY, J., 1999.** A new plate tectonic model of the Caribbean: Implications from a geochemical reconnaissance of Cuban Mesozoic volcanic rocks. Geological Society of America Bulletin, 111, 1581-1599.

**KERR, A.C., ITURRALDE VINENT, M.A., SAUNDERS, A.D., BABBS, T.L., TARNEY, J., 1999.** A new plate tectonic model of the Caribbean: Implications from a geochemical reconnaissance of Cuban Mesozoic volcanic rocks. Geological Society of America Bulletin, 111, 1581-1599.

**LEBRON, M. C., PERIT, M. R., 1994.** Petrochemistry and tectonic significance of cretaceous island-arc rock, cocillera oriental, Dominican República tectonophysics, 229, 69-100.

**LEYVA, R. C; CARMENATE F. J.; ÁLVAREZ, D. R. y CASTELLANOS, P. E. 2008:** Valoración de los recursos minerales territoriales en Cuba y sus perspectivas para potenciar la pequeña minería a nivel local. Taller Iberoamericano de Recursos Minerales y apoyo a la pequeña minería. [en línea], junio 2008 Consulta: 21 marzo 2010. Disponible en: <http://petitamineria.com/comunicaciones/valoraciondelosrecursosmineralesterritorialesencuba/leyvarodriguezetal.pdf>

**LÓPEZ P., L. M. 2006:** Caracterización geológica de las materias primas mineras de los municipios Moa – Sagua de Tánamo para su empleo como

material de construcción. Carlos Leyva Rodríguez (Tutor). Trabajo de Diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico. 87 p.

**MARTÍNEZ, R.R.** Caracterización de las propiedades físico mecánicas del Cieno Carbonatado para el perfeccionamiento de su hidrotransporte por tuberías. Tesis de Maestría. ISMM 2009.

**MATHER, K., 1982:** Current Research in Sulfate Resistance at the Waterways Experiment Station, George Verbeck. En: Symposium on Sulfate Resistance of Concrete, SP-77, American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich: 63-74.

**MENÉNDEZ, H. M.** Conferencia sobre la naturaleza de los Cienos Carbonatados y los factores minero – ambientales que se tienen en cuenta durante el minado en la bahía de cayo Moa. Empresa Comandante Pedro Soto Alba, Moa Níkel S.A. Moa 2001.

**MENÉNDEZ, H. M.** Explotación racional del yacimiento de Cienos Carbonatados en la bahía de Moa. Tesis de maestría. Instituto Superior Minero Metalúrgico. 2001

**NAGY, E. BRESZNYÁNZSKY, K., BRITO, A., COUTIN, D., FORMELL, F., FRANCO, G., GYARMATI, P., RADO CZ, G Y JAKUS, P., 1983.** Contribución a la geología de cuba oriental. Editorial Científico-técnica, 273pp.

**NC 173 - 2002:** Mortero endurecido. Determinación de la resistencia a flexión y compresión.

**NC 175, 2002:** Mortero de albañilería. Especificaciones.

**NC 178 - 2002:** Áridos. Análisis granulométrico.

**NC 251 - 2005:** Áridos para hormigones hidráulicos—requisitos.

**NC 54 – 207, 1980:** Cemento. Ensayo físico – mecánicos.

**NC 359-2005:** Dosificaciones generales y propiedades de los morteros de albañilería.

# ANEXOS

## Anexo 1.

Tabla 1. Resultado obtenidos de flexión y compresión del análisis realizado al mortero del patrón.

Muestra del Patrón.	Flexión	Compresión	Tiempo (días).	Promedio	Conversión (MPa).
1	0,5	16,1			
2	0,6	18,2	7		Compresión
3	0,6	19,1		17,8	11,34
					Flexión
				0,6	1,43
1	0,9	25,4			
2	0,9	23,3	14		Compresión
3	1	25		24,6	15,67
					Flexión
				0,9	2,14
1	0,8	26,4			
2	0,9	26,4	28		Compresión
3	0,9	28,4		27,1	17,27
					Flexión
				0,9	2,14

Tabla 2. Resultado obtenidos de flexión y compresión del análisis realizado las probetas de un 10% de aditivo.

Muestras	Flexión	Compresión	Tiempo	% de aditivo	Promedio	Conversión (kN) a(Mpa)
1	0,5	10	7			Compresión
2	0,5	9,9	7	10	9,9	6,3
3	0,5	9,8	7			Flexión
					0,5	1,19
1	0,7	20,3	14			Compresión
2	0,7	20,1	14	10	20,3	12,93
3	0,7	21,4	14			Flexión
					0,7	1,67
1	2	20	28			Compresión
2	1,9	18,1	28	10	20,6	13,12
3	1,9	22,8	28			Flexión
					0,9	2,14

Tabla 3. Resultado obtenidos de flexión y compresión del análisis realizado las probetas de un 20% de aditivo.

Muestras	Compresión	Flexión	Tiempo(días)	% de aditivo	Promedio	Conversión (kN)a(Mpa)
1	7,40	0,50	7			Compresión
2	7,30	0,50	7	20	7,30	4,6
3	7,20	0,50	7			Flexión
					0,50	1,19
1	11,40	0,50	14			Compresión
2	11,30	0,50	14	20	11,30	7,2
3	11,20	0,50	14			Flexión
					0,50	1,19
1	19,90	0,80	28			Compresión
2	20,30	0,70	28	20	20,40	13
3	21,00	0,70	28			Flexión
					0,73	1,73

**Tabla 4.** Resultado obtenidos de flexión y compresión del análisis realizado las probetas de un 30% de aditivo.

Muestras	Flexión	Compresión	Tiempo	% de aditivo	Promedio	Conversión (kN)a(Mpa)
1	0,5	7,4	7	30		Compresión
2	0,5	7,2	7		7,3	4,66
3	0,5	7,3	7			Flexión
					0,5	1,43
1	0,6	10	14	30		Compresión
2	0,6	12,2	14		10,8	6,88
3	0,7	10,1	14			Flexión
					0,6	1,43
1	0,7	13,2	28	30		Compresión
2	0,6	14,2	28		12,9	8,22
3	0,7	11,3	28			Flexión
					0,7	1,67

Anexo 2.



Figura 1. Moldes de los morteros.



Figura 2. Morteros realizados a diferentes dosificaciones para sus análisis de compresión y flexión.