



Ministerio de Educación Superior

Universidad de Moa
Dr. Antonio Núñez Jiménez

Facultad de Metalurgia – Electromecánica

Departamento de Metalurgia y Química

PREPARACIÓN DEL MINERAL DE DUNITAS DE CAYO GUAN COMO PINTURA REFRACTARIA

*Tesis presentada en opción al título de Ingeniero en Metalurgia y
Materiales*

Autor: Celso Alexandre Gideoo Pires Cuienga

Moa, 2019



Ministerio de Educación Superior

Universidad de Moa
Dr. Antonio Núñez Jiménez

Facultad de Metalurgia – Electromecánica

Departamento de Metalurgia y Química

PREPARACIÓN DEL MINERAL DE DUNITAS DE CAYO GUAN COMO PINTURA REFRACTARIA

Tesis presentada en opción al título

Autor: Celso Alexandre Gideao Pires Cuienga

Firma: _____

Tutor: Ms.C.: Orleid Loyola Breffe

Firma: _____

Moa, 2019

Dedicatoria

- ✓ Primeramente Dedico este trabajo a mi fallecida Madre.
- ✓ Quiero dedicar también este trabajo a mi hija, mi novia y familia por apoyarme.
- ✓ A todas mis amistades que de una y otra forma me apoyaron siempre.

Agradecimientos

Agradezco a Dios por cuidar de todo y todos.

RESUMEN

En la región Moa-Baracoa existen importantes reservas de Dunitas que pueden ser usadas como material refractario. Debido a lo cual, el propósito de este trabajo es caracterizar químico-granulométricamente los desechos de dunitas generados en la explotación de cromo en el yacimiento de Cayo Guan para su uso como materia prima refractaria para pintura. Para llevarlo a cabo se realizó una preparación mecánica que consistió en dos etapas de trituración, una de molienda y clasificación granulométrica con un juego de tamices determinado por la escala de Taylor. Se determinó la pérdida de peso en la estufa modelo P Selecta. La composición química de las muestras de cabeza y clases granulométricas se determinó por Fluorescencia de Rayos X. Se realizó la prueba de pintura refractaria en la fundición de Mangas de Desbaste. Como resultado se pudo obtener un material de Dunita preparado con una granulometría fina, con un 76,74 % de las partículas menores que 0,15 mm, aptas para la obtención de pinturas refractaria; la que experimenta una pérdida de peso de hasta un 13 %; y una composición química con contenidos de SiO₂ entre 34,79 % y 38,44 % y MgO entre 35,85 % y 41,14 %. En el trabajo se pudo concluir que las dunitas de Cayo Guan poseen una composición química adecuada para obtener refractarios de forsterita, pero no pueden ser usadas como pintura sin un tratamiento térmico previo porque permite la penetración del metal en el molde.

Palabras Clave: Dunita refractaria, Pérdida de peso, Pintura refractaria.

ABSTRACT

In the Moa-Baracoa region there are important reserves of Dunitas that can be used as refractory material. Due to which, the purpose of this work is to characterize chemically-granulometrically the waste of dunites generated in the exploitation of chromium in the deposit of Cayo Guan for its use as a refractory raw material for painting. To carry it out, a mechanical preparation was carried out consisting of two stages of grinding, one of grinding and granulometric classification with a set of sieves determined by the Taylor scale. The weight loss was determined in the model P Selecta stove. The chemical composition of the head samples and granulometric classes was determined by X-ray fluorescence. The refractory painting test was carried out in the casting of roughing sleeves. As a result, it was possible to obtain a Dunita material prepared with a fine granulometry, with 76.74% of the particles smaller than 0.15 mm, suitable for obtaining refractory paints; the one that experiences a weight loss of up to 13%; and a chemical composition with SiO₂ contents between 34.79% and 38.44% and MgO between 35.85% and 41.14%. In the work it was possible to conclude that the dunites of Cayo Guan possess a suitable chemical composition to obtain refractories of forsterite, but they can not be used as a paint without a previous thermal treatment because it allows the penetration of the metal into the mold

Key Words: Refractory Dunita, Weight loss, Refractory paint.

ÍNDICE

INTRODUCCION	1
CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL	5
1.1. Características generales.....	5
1.1.1 Dunita serpentizada y sus usos	7
1.1.2 Caracterización De Las Serpentinitas	9
1.2. Preparación de la materia prima como refractario	9
1.3. Análisis de los trabajos precedentes realizados con mineral de dunitas..	11
1.3.1. Geología de los yacimientos de dunitas	11
1.4. . Dunita, aplicación en refractarios	13
Conclusiones del capítulo 1.....	15
CAPÍTULO 2 MATERIALES Y MÉTODOS	16
2.1. Toma y preparación de la muestra de la materia prima	16
2.1.1. Características de la materia prima.....	21
2.2. Métodos usados para el desarrollo de la investigación	22
2.3. Metodología para determinar la pérdida de peso.....	22
2.4. Metodología para la obtención de la pintura refractaria	24
2.5. Método para determinar la composición química.....	25
Conclusiones del capítulo 2.....	25
CAPÍTULO 3 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	26
3.1. Resultados del análisis granulométrico	26
3.1.1. Análisis granulométrico del material triturado	26
3.1.2. Análisis granulométrico del material molido.....	27
3.2. Resultados del análisis químico	29
3.3. Análisis de la pérdida de peso	30

3.4. Resultados de las pruebas de la pintura	32
Conclusiones del capítulo 3.....	35
CONCLUSIONES GENERALES.....	36
RECOMENDACIONES	37
BIBLIOGRAFÍA	38

INTRODUCCION

En la naturaleza existen varios tipos de minerales de los cuales es posible extraer la dunita. Los yacimientos más importantes se encuentran en Noruega, Canadá, U.S.A., Nueva Zelanda, y España. Dentro de los minerales que se pueden encontrar la dunita tenemos el mineral de cromo, níquel y platina. Dentro de esta familia la dunita es de tipo mono mineral (más del 90% olivino), constituido por una mezcla isomorfa de forsterita y fayalita, Sin embargo, no es una roca olivínica en el sentido de estar formada por mineral puro, ya que va acompañándola un porcentaje menor del 10 por ciento de minerales blancos (roca melanocrata), como son: Cr, Ni, Pt.

Las dunitas aparecen generalmente formando capas aunque también se encuentran como lentes paralelos y conductos volcánicos transversales. Un ejemplo de estos últimos son los lopolitos estratificados de Bushveld (África del Sur). En cualquier caso se trata de una inclusión en estado sólido o semisólido, a temperaturas superiores a la de serpentización. Por lo tanto, antes del enfriamiento y a partir de aquellas temperaturas, la dunita ya formaba masas fuertemente entretejidas de cristales anhidros de olivino, que no permitían la entrada de agua en la formación. Las capas, formadas por acumulaciones de cristales de olivino, fueron sedimentadas por gravedad a partir de una masa magmática. Sin embargo, el material que forma los conos y conductos volcánicos debe haberse formado por desplazamiento de su propio volumen en las rocas que atraviesa. Texturalmente no hay nada en estas rocas que indique una formación distinta a la cristalización, con importantes propiedades refractarias que garantizan su utilización como arena y pintura refractaria en las industrias de fundición del país. Sin embargo no existen antecedentes del uso oficial de estos materiales en los talleres de fundición del país, solo se han realizado investigaciones en el Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. La mayoría de los talleres de fundición del país emplean arena sílice como materia prima principal en la elaboración de los moldes de arena.

Esta importante materia prima se comenzó a estudiar con profundidad, desde el punto de vista geólogo – tecnológico, a partir de los años 90 hasta la actualidad,

tiendo como una de las mejores reserva el monte de landoi (España) con más de 600 millones de tonelada.

En la teoría explica (Fernando Pla; 2010) director facultativo de la mina de Landoi que la dunita está presente en todo el mundo, pero aparece de manera muy rara, en pocos sitios.

Al desarrollarse diferentes trabajos investigativos, las dunitas fueron adquiriendo más interés en las industrias metalúrgicas y en otras donde es posible la utilización de estos yacimientos, que conllevaron a la defensa de varias tesis. En Cuba existen reservas de los minerales de Dunitas asociados a los yacimientos de cromo de las regiones de Camaguey y el noreste de la provincia de Holguín con extensión hasta Baracoa. En esta región Moa-Baracoa se encuentran tres minas de cromo que fueron explotadas en el siglo XX y cerraron en la primera década del presente. Tales yacimientos adquirieron el nombre de Merceditas, Cayo Guan y Amores, las que han sido estudiadas indistintamente, lográndose menores investigaciones en la ubicada en la región de Cayo Guan. Esta antigua mina de cromo situado en el Rio Cayo Guan, presenta un gran desarrollo de los complejos ultramáficos y máficos, con más de 100 depósitos de cromitas refractarias (Fonseca y Sladkevich, 1992), con los que se asocian rocas y minerales de gran utilidad en diferentes esferas económicas, como es el caso de las dunitas (Teague, 1983; Griffiths, 1989; Formoso et al., 1994). Las dunitas se asocian al complejo ultramáfico el cual se caracteriza, desde el punto de vista petrológico, por una composición heterogénea con predominio de las harzburgitas; en menor proporción se encuentran las dunitas, dunitas plagioclásicas, wherlitas, lherzolitas y piroxenitas serpentinizadas en mayor o menor grado (Guild, 1948; Thayer, 1966; Fonseca y Sladkevich, 1992; Torres, 1987; García y Fonseca, 1994). Las principales investigaciones geológicas realizadas hasta el momento en la región Moa-Baracoa han estado dirigidas hacia las cortezas ferro niquelíferas y las cromitas refractarias, fuentes de materias primas para las industrias tradicionales del territorio; sin embargo, el resto de las rocas y minerales industriales existentes en el macizo ofiolítico Moa-Baracoa no han sido suficientemente estudiados desde el punto de vista de sus aplicaciones en la

industria. Por ejemplo, las dunitas aunque en los últimos años se han empleado con éxito en los talleres metalúrgicos del país y se han logrado importantes resultados (Leyva y Pons, 1996; Pons y Leyva, 1997b; Pons, 2000), no han sido completamente caracterizadas desde la óptica físico-química. La valoración geológica y la factibilidad técnico-económica de las dunitas asociadas a las cromitas del yacimiento Merceditas para su aplicación como material refractario han sido objeto de estudio de algunos autores (Proenza, 1997; Pons y Leyva, 1997a; Pons et al., 1998 Muñoz, 1997; Pons, 1999). En la zona de Amores, ubicada hacia el noreste del macizo montañoso Moa-Baracoa, los trabajos desarrollados sobre los minerales de cromitas refractarias (Labrada 1988; Pelier et al., 1992; Fonseca y Sladkevich, 1992) han permitido conocer algunas características geológicas de las dunitas de esta zona; sin embargo, muchas de las propiedades que justifican la utilización de estas rocas como material refractario aún se desconocen. La zona de Miraflores constituye un área perspectiva donde se han desarrollado numerosas investigaciones geológicas (Picayo, 1988; Campos et al., 1989; Castellanos y Casas, 1994; Jerez et al., 1995; Muñoz, 1997), paralelamente a otros trabajos encaminados al estudio de las dunitas de esta región para su utilización como rocas ornamentales y como componente refractario para pinturas contra las costras de penetración y como arenas de fundición (Pons et al., 1997). El campo de aplicación de las dunitas en los procesos metalúrgicos puede ampliarse aún más si se logra una caracterización más amplia de sus propiedades físico-químicas.

Por tanto, como puede apreciarse en los trabajos de investigadores, se han realizado estudios a las dunitas asociadas a los yacimientos de cromo ubicados en las regiones de Merceditas y Amores; no así para las dunitas de Cayo Guan, donde están depositadas importantes reservas, constituyendo un foco de contaminación ambiental cerca del parque Monumento Nacional (Alejandro de Humbols). Además se considera que éste material posee propiedades químico-físicas y térmicas que pueden ser aprovechadas en la industria de la fundición como material refractario. Tales aseveraciones constituye la **situación problemática** de esta investigación.

Por lo que se puede plantear como **problema a investigar**: Insuficiente conocimiento de las propiedades de las dunitas del yacimiento de Cayo Guan que permiten valorarlas como pinturas refractarias.

Se plantea como **objeto de estudio**: los desechos de dunitas del yacimiento de cromo de Cayo Guan.

Y como **campo de acción**: las propiedades físico-químicas de las Dunitas de Cayo Guan para su uso como material refractario.

Por lo que se puede plantear como **objetivo general**: Caracterizar químico-granulométricamente los desechos de dunitas generados en la explotación de cromo en el yacimiento de Cayo Guan para su uso como materia prima refractaria para pintura.

Por lo que se sostiene la **hipótesis**: si se realizan estudios a los desechos de dunitas del yacimiento de Cayo Guan, entonces se podrá preparar como pintura refractaria.

Por tanto, los **objetivos específicos** para el desarrollo de la investigación son los siguientes:

1. Determinar la composición química del yacimiento de Cayo Guan de la muestra inicial y clases de tamaños.
2. Determinar la pérdida de peso experimentada en el calentamiento de material de dunita.
3. Preparar el material granulométricamente y probarlo como pintura refractaria.

CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

El presente capítulo se desarrollará todos los aspectos teóricos relacionados con el estudio de los minerales de Dunitas; donde se abordarán sus usos, propiedades y otras características que les confieren aplicaciones en las industrias metalúrgicas.

Las Dunitas pueden definirse como una roca ígnea, procedente del magma de los pertenecientes a la familia de las peridotitas constituida por olivino en un 90 %. Pudiendo además estar compuesta por otros minerales, que son anfíbol, brucita, clorita, cromita y flogopita.

Como dice en el principio de la introducción que las dunitas aparecen generalmente formando capas aunque también se encuentran como lentes paralelas y conductoras volcánicas transversales. Esas capas son formadas por acumulación de cristales de olivino, sedimentadas por gravedad a partir de una masa magnética.

El olivino usado industrialmente es un mineral de origen magnético con un alto contenido en magnesio. Principalmente consiste en una solución sólida de ortosilicatos de magnesio y hierro, aunque también tiene varias cantidades de minerales primarios y secundarios.

El orto silicato de magnesio se conoce como forsterita, y es bastante escaso.

1.1. Características generales

Las rocas de dunitas poseen las siguientes propiedades:

- Predominio mineralógico del olivino
- Frescura
- Textura protoclastica
- Carácter ultra básico (menor del 45 % de SiO₂)
- Su dureza es 6,5 a 7
- Índices de color superior a 70
- Escases o ausencia de feldespatos.

Orientadas hacia su uso en siderurgia, las propiedades de la dunita son las siguientes:

- Aporta magnesio al lecho de fusión, dando escoria fácilmente eliminable,
- No decrepita al choque térmico, lo que impide la aparición de finos,
- No sufre hinchamiento o contracción,
- Tiene intervalo muy corto de fusión plástica, ofreciendo mayor continuidad en la permeabilidad de las cargas,
- Mejora la inyección de Fuel,
- Alta resistencia mecánica (igual o mayor que los minerales de hierro),
- Por su bajo punto de fusión (1500 °C) facilita la formación de escorias primarias,
- Su carácter prácticamente neutro permite variar el volumen de escoria sin provocar desajustes en su índice de basicidad,
- Exentos de carbonatos, reduce el consumo de coque,
- Aumenta el volumen útil de horno, y por tanto, su productividad.

Propiedades de olivino

Las propiedades del olivino se expondrán en comparación con la arena de sílice, ya que ambas se utilizan como arenas de moldeo. Históricamente, el olivino es de uso más reciente.

Comparado con la sílice, la arena de olivino se caracteriza generalmente por un peso específico mayor, una expansión térmica lineal inferior y una reacción ligeramente básica. Algunas propiedades se indican a continuación:

- | | |
|----------------------------|------------------|
| - Peso específico | 3,25 – 3,40 |
| - Densidad aparente | 1,70 – 2,10 |
| - Dureza | 6,5 – 7,0 |
| - Punto de fusión (C.P.E.) | 1,700 – 1,750 °C |
| - Punto de sinterización | 1,400°C |
| - Expansión hasta 800°C | 0,8 por ciento |
| - Calor específico | 0,27 cal. /g°C |
| - Superficie de grano | Blanda |
| - Forma de grano | Angular |

La densidad aparente de las arenas de moldeo de olivino, en la práctica más importante que el peso específico, es sólo ligeramente mayor que en la sílice. La diferencia muy raras veces causa reforzamiento extras en otras operaciones de los moldes.

1.1.1 Dunita serpentizada y sus usos

Las Dunitas serpentizadas se localizan en la parte inferior de la asociación ofiolítica y están muy propagadas dentro de los límites del yacimiento, recubriendo los cuerpos minerales.

De forma general los cuerpos de Dunita se extienden a lo largo del contacto con los gabroides, separados de estos por una banda de rocas intensamente serpentizadas.

Las Dunitas serpentizadas se caracterizan por poseer una estructura reticular, con la siguiente composición promedio: Olivino, 95-97 %; Piroxeno 3-5 %; Espinelas cromíferas 0,5-1,0 %.

La Dunita es una roca ultra básica de origen magmático formada en su mayor parte por silicatos magnésicos y en menor cuantía por silicatos, aluminatos o silico-aluminatos de hierro, calcio, magnesio o de sus combinaciones.

Entre los principales usos de las Dunita a nivel mundial se destacan los siguientes: Como fundente en los Altos Hornos, arena de fundición, industria de elaboración de acero, material de construcción, sand blasting.

Los principales yacimientos de Dunita a nivel mundial se localizan en Noruega (Aaheim), Estados Unidos (Twin Sisters, Webster), Nueva Caledonia (Noumea), Nueva Zelandia (Dun Mountain, Red Hills, Red Mountain), España (Galicia), Austria (Leoben), Suecia, Canadá, Italia, Grecia, Sudáfrica y Brasil.

La composición química de algunas de las Dunitas de los principales yacimientos existentes en el mundo, como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1 Composición química de yacimiento de Dunita

Compuesto	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO ₂	40,55	40,88	41,32	40,96	38,66	40,4	37,4	33.98
Al ₂ O ₃	0,05	0,11	0,01	0,21	1,96	1,14	1,21	0.11
Fe ₂ O ₃	0,10	0,20	0,30	0,18	0,87	0,95	2,65	8.82
FeO	7,99	8,28	7,49	7,86	5,96	9,0	4,68	6.11
TiO ₂	0,14	0,015	0,010	0,010	----	0,013	0,025	0.03
Cr ₂ O ₃	0,06	0,02	0,04	0,02	0,32	0,23	0,31	0.20
CaO	0,06	0,03	0,29	0,15	1,09	0,25	0,47	0.23
MgO	50,37	50,10	49,56	50,45	38,72	47,5	41,7	42.12
Na ₂ O	0,06	0,02	0,01	0,01	0,04	0,01	0,05	0.10
K ₂ O	0,04	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,05	0.10
MnO	0,12	0,15	0,15	0,13	0,10	0,15	0,09	0.15
CoO	----	0,013	0,011	0,010	----	0,012	0,010	-----
NiO	0,28	0,32	0,31	0,25	0,25	0,34	0,27	-----
H ₂ O	0,13	0,23	0,60	0,29	0,26	0,8	0,35	-----
P.P.I	10,20	9,86	9,75	10,45	11,12	10,25	12,50	12.6

1- Dunitas de Twin Sisters, Washington. E.E.U.U.

2- Webster, North Carolina. E.E.UU.

3- Noumea, Nueva Caledonia.

4- Dun Mountain, Nueva Zelandia.

5- Galicia, España.

6- Ste. Anne des Monts. Canadá.

7- Merceditas. Moa. Cuba.

8- Lolita. Camagüey. Cuba

Como se puede observar en la tabla, la composición química de las dunitas está compuestas fundamentalmente por SiO₂ y MgO.

1.1.2 Caracterización De Las Serpentinitas

Estas rocas se caracterizan por variaciones muy grandes en la composición sustancial. El mineral principal es la serpentina, encontrándose determinadas proporciones de relictos de olivino. Los minerales accesorios más comunes son: cromo picotita, magnetita, magnesita, branerita, calcita, talco y minerales del grupo de la clorita. Las impurezas más dañinas son: magnetita, branerita, calcita y clorita, las cuales aumentan la concentración del hierro, calcio, aluminio y contribuyen a incrementar las pérdidas por ignición. Por el contrario, la presencia de la magnesita mejora la calidad de la materia prima, ya que este mineral contribuye a la formación de la periclasa.

La producción de los materiales refractarios a partir de las serpentinitas incluye: molienda fina; adición del polvo de periclasa; prensado; tratamiento térmico preliminar a temperatura de 1500 °C; molienda hasta el diámetro de granos de 2-3 mm; segunda adición del polvo de periclasa; prensado y tratamiento térmico definitivo con temperatura de 1600 °C – 1700 °C.

La tecnología de preparación de los materiales refractarios forsteríticos a partir de las rocas talcosas es análoga a la usada para las serpentinitas. El consumo de periclasa en este caso también es mayor que en el caso de las dunitas.

1.2. Preparación de la materia prima como refractario

Los materiales refractarios se pueden definir como materiales estructurales capaces de soportar altas temperaturas. Siendo utilizados ampliamente por la industria del acero como recubrimiento de hornos y ollas, para el manejo y transporte de metal fundido y escoria. Debido a las condiciones de servicio a que está sometido un refractario en la producción de acero, este debe poseer características de resistencia al choque térmico, refractariedad, esfuerzos compresivos, abrasión, ataque de escoria, etc.

En nuestro territorio existen varias escombreras por la explotación a cielo abierto de las minas de cromita antes del triunfo de la Revolución.

En este trabajo se evalúa las dunitas serpentizadas del yacimiento de cromo como material refractario para la elaboración de pintura refractaria. El objetivo de las muestra de dunita presentan la granulometría requerida para la elaboración de pintura refractaria, se realizó un proceso mecánico que incluye la clasificación de clases y tamaño.

Tipos de enlace que forman los materiales refractarios son:

Enlace iónico, covalente o misto y tienen elevada fortaleza de enlace.

Además se puede decir que los materiales refractarios se clasifican en:

Refractarios ácidos estos contienen importantes cantidades de SiO_2 que reacciona con refractarios básicos a alta temperatura, estos mismos son basado en SiO_2 y en Al_2O_3 y en arcillas.

Refractarios básico que reacciona con los refractarios ácidos a alta temperatura de MgO dolomita (CaCO_3 , MgCO_3) y cromita.

Refractarios neutros que no reacciona con refractarios ácidos ni con básico a alta temperatura de carbón.

Refractarios especiales que incluyen de alto coste como ZrO_2 , SiC , y Si_3N_4 .

La dunita es una materia prima de bajo costo

La dunita es una prima de bajo costo, pero sin embargo el uso de la dunita serpentizadas en aplicaciones refractarias en funcionamiento han tenido muchos éxitos en mezcla básica de ciertos trabajos de artesanos, la cantidad de dunita serpentizadas en el mundo anualmente es considerable, porque la dunita es una materia prima eficiente para aplicaciones refractarias cuando se formula correctamente.

Por último, pero no menos importante, el uso de dunita serpentizadas en las mezclas básicas de revestimiento en artesas, proporciona un ahorro considerable que hace que sea muy interesante en las actuales condiciones del mercado y también una buena solución para compensar el precio del resto de materias primas para la mismo trabajo.

1.3. Análisis de los trabajos precedentes realizados con mineral de dunitas

En este acápite se realizará una valoración de los diversos trabajos que se han realizado en Cuba y el mundo con respecto a las dunitas serpentinizadas.

Las dunitas se asocian al complejo ultramáfico el cual se caracteriza, desde el punto de vista petrológico, por una composición heterogénea con predominio de las harzburgita; en menor proporción se encuentran las dunitas plagio clásicas, Wherlitas, Iherzolitas y piroxenitas serpentizadas en mayor o menor grado (Guild, 1948; Thayer, 1966; Fonseca Sladkevich, 1994; Torres, 1987; Garcia y Fonseca 1994).

Las principales investigaciones geológicas realizadas hasta el momento en la región Moa-Baracoa han estado dirigidas hacia las cortezas ferro-niquelíferas y las cromitas refractarias, fuentes de materias primas para las industrias tradicionales del territorio; sin embargo, el resto de las rocas y minerales industriales existentes en el macizo ofiolítico Moa-Baracoa no han sido suficientemente estudiados desde el punto de vista de sus aplicaciones en la industria. Por ejemplo, las dunitas aunque en los últimos años se han empleado con éxito en los talleres metalúrgicos del país y se han logrado importantes resultados (Leyva y Pons, 1996; Pons y Leyva, 1997b; Pons, 2000), no han sido completamente caracterizadas desde la óptica fisicoquímica. La valoración geológica y la factibilidad técnico-económica de las dunitas asociadas a las cromitas del yacimiento Merceditas para su aplicación como material refractario han sido objeto de estudio de algunos autores (Proenza, 1997; Pons y Leyva, 1997a; Pons et al., 1998; Muñoz, 1997; Pons, 1999).

1.3.1. Geología de los yacimientos de dunitas

La rosa (2011) plantea que las dunitas ultrabasitas son rocas de origen magmático ricas en olivino, se encuentran formando parte de la asociación oolítica, están asociadas a los cuerpos cromáticos como roca encajante, y constituyen parte del escombros en el proceso de extracción del cromo.

Las dunitas de Medellín en Colombia están conformada por un cuerpo de anfibolitas así como importante cuerpo de dunita, todos los cuales fueron instruidos

principalmente por plutones de edad cretácica. Aunque la dunita ha sido considerada por diversos autores (Jaramillo et al, 1971; Restrepo y Toussaint; 1974) como parte de una ofiolita desmembrada, de acuerdo con los demás componentes del cortejo oolítico.

En general se ha considerado que la dunita fue emplazada después del metamorfismo regional paleozoico y antes de la intrusión cretácica del Batolito Antioqueño (Botero, 1963, Restrepo y toussaint, 1974, 1984; Álvarez, 1987), recientemente se ha sugerido que la dunita puede ser contemporánea de las rocas metamórficas del terreno Tahami, probablemente pérmica o anterior (Restrepo, 2003, 2005, et al, 2006)

Dijo (Etayo et al, 1986 y Toussaint, 1988) que la cordilla central geográfica está conformada mayormente por rocas metamórficas que van desde esquistos micáceos hasta migmatitas y granulitas instruidas por plutones intermedios de edades triásicas a paleocenas. Un importante rasgo tectónico, la falla de de Otú divide a las rocas metamórficas en dos bloques de geologías muy diferentes.

Los rasgos fundamentales de las características geográficas de las misma, económicas y geográficas de la región de Moa-Baracoa. Se hace énfasis en las características geológicas de la asociación ofiolítica y de los yacimientos cromíferos de Cayo Guana si como los criterios y principios sobre la prospección de la mineralización cromífera, (Muñoz Gómez, J.N., 1994). Al exponer los rasgos esenciales de las características geológicas se incluyen los conocimientos más actuales de la literatura especializadas sobre el tema, la cual ha sido referida en el texto y aparece en la bibliografía consulta.

Los macizos de Cerro Cabrera y Sierra de Cabeza Gorda están constituidos por rocas intensamente serpentizadas. No obstante, los minerales relictos permiten identificar los protolitos como como componente principal. Cuando la cromita puede aparecer diseminada en la matriz silicatada en proporciones en torno al 4% en la roca, se clasifica como cromita accesorio. Cuando la cromita aparece como componente principal en una proporción mayor a 20% en la roca, esta roca se denomina cromitita

y su contenido en cromita se denomina masiva, si tiene mayor de 80% de cromita, semi masiva si el contenido en cromita es de 70% al 80%, y diseminada cuando este es menor del 70%.

En calzadilla de los Barros, las cromitas aparecen formando acumulados bandeados o bolsadas variables, siempre rodeadas de una envuelta dunitica encajada en una serie de harzburgtica (Rubén Martos y Lorena Ortega; 2010).

En los diferentes trabajos geológicos realizados (Adamovich, 1986; Knipper, 1974) se ha demostrado que las rocas ultrabásicas constituyen gran parte del macizo serpentínico que cubre el extremo oriental de Cuba; con las rocas ultrabásicas se relacionan las zonas de contacto entre los gabros y las periodísticas en las grandes intrusiones estratificadas.

Las dunitas son rocas encajonantes dentro de los yacimientos cromíticos de Camagüey (Cuba) y en las grandes extensiones situadas en el macizo montañoso Moa – Baracoa.

Todo este conjunto de rocas constituye un enorme manto tectónico (Leyva y Pons, 1996). Las dunitas son rocas de origen magmático y se encuentran en la llamada asociación oolítica, consideradas como escombros o rechazos de la industria del cromo.

1.4. . Dunita, aplicación en refractarios

Las pinturas antiadherentes protegen las superficies de las piezas contra las costras de fundición, aumentan la resistencia superficial, disminuyen el desmoronamiento de los moldes y machos, y aseguran la obtención de piezas con un buen acabado superficial (Enríquez, 1990). Para disminuir las costras de fundición se utilizan pinturas compuestas por sustancias aglutinantes y materiales refractarios. Las pinturas aplicadas a las superficies del molde o macho crean una capa resistente de material refractario que impide la penetración del metal entre los granos de la mezcla.

En la preparación de un material con tales características se emplean cuatro ingredientes fundamentales: el material refractario o relleno, caracterizado por un alto grado de dispersión, un aglutinante, un estabilizador y el medio disolvente.

Las características, propiedades y proporciones de estos ingredientes en las pinturas estarán en dependencia del tipo de metal, del espesor y peso de la pieza fundida, así como del tipo de mezcla de moldeo empleada (Titov y Stepanov, 1981, Salcines, 1985). Para piezas de hierro se utiliza generalmente, en calidad de componente refractario, grafito, carbón mineral. Coque molido o polvo de cuarzo, en dependencia de las dimensiones de la pieza, mientras que en las piezas de acero la base de la pintura la constituye principalmente el polvo de cuarzo, de chamota, de zirconita o de magnesita.

El uso de la dunita calcinada en aplicaciones refractarias no es nuevo en el mercado Cubano. Desde que otros proveedores de materiales refractarios han formulado con éxitos mezclas básicas para ertesa con porcentajes de dunita calcinada de entre 20 y un 30 % disponemos también de otros productos más avanzados, con más altos de dunita calcinada, que actualmente se están probando con éxito.

En Camagüey existen abundantes reservas de rocas duníticas, portadoras de mineral de olivino, con importantes propiedades refractarias que garantizan su utilización como arena de fundición y en la preparación de pinturas contra la penetración metálica. Sin embargo no existen antecedentes del uso oficial de estos materiales en los talleres de fundición y demás empresas del país, solo se han realizado investigaciones en el Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.

La mayoría de los talleres de fundición del país emplean arena sílice como materia prima principal en la elaboración de los moldes de arena. Este material debe traerse desde las provincias occidentales por lo que es muy costosa, además su uso provoca afectaciones a la salud de los trabajadores y desgaste acelerado al equipamiento (González, P. Richter, J. Berger; 1987).

Conclusiones del capítulo 1

Después de haber revisado una correcta revisión bibliográfica se pudo llegar a la siguiente conclusión.

1. Que las dunitas, según su composición química (alto SiO₂ y MgO) han sido estudiadas como material refractario, tanto para arena de fundición, ladrillo y pintura contra la penetración.
2. Las dunitas del yacimiento de Cayo Guan no han sido estudiada como material refractaria.

CAPÍTULO 2 MATERIALES Y MÉTODOS

El objetivo de este capítulo es mostrar la metodología llevada a cabo en el desarrollo de la investigación, así como la descripción los materiales y equipos que fueron utilizados en la preparación de las muestras y productos. De manera tal que se pueda visualizar las principales características que tiene que presentar los materiales de dunita en cuanto a la granulometría requerida para la elaboración de las pinturas refractarias, para lo que se realizó un proceso de preparación mecánica que incluyó con la clasificación por tamaño.

2.1. Toma y preparación de la muestra de la materia prima

Las muestras fueron tomadas en las escombreras del yacimiento de cromo de Cayo Guan (figura 1); la que fue tomada por el método de redes y puntos.



Figura 1: toma de la muestra.

El proceso de preparación de las muestras fue realizado en el laboratorio de Beneficio y Preparación Mecánica del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, a través de dos etapas.

Las rocas sometidas al proceso de preparación son de varias dimensiones y propiedades mecánicas diferentes; para su utilización como material refractario necesitan ser procesadas y reducir su tamaño hasta la fracción necesaria. Para lograr este objetivo se diseñó un esquema de preparación mecánica, como se muestra en la figura 2.

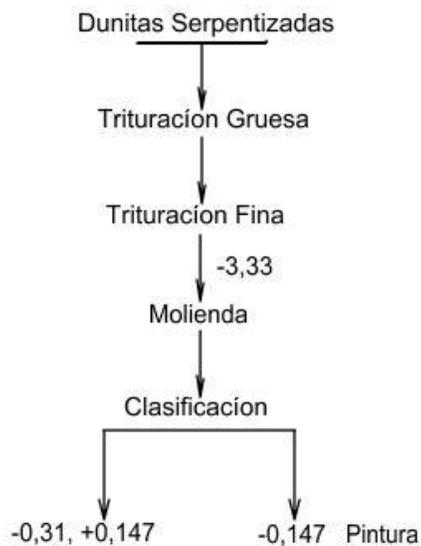


Figura 3: esquema de preparación mecánica utilizada

Como se sabe que las trituradoras de mandíbula realizan un movimiento oscilatorio en la placa de trituración. Con el objetivo de reducir el tamaño de las rocas. El mineral es introducido por la parte superior de la trituradora, que tiene una cavidad amplia que se va reduciendo a medida que el mineral entra en trituradora. El movimiento y la presión que la placa de triturar ejerce sobre los minerales al hacerlo chocar con la pared interna de la trituradora es lo que provoca que la roca se fragmenten y se complete la trituración.

En la **primera etapa** utilizando la trituradora de mandíbulas (figura 3) las rocas son reducida hasta un tamaño máximo de 10 mm y luego el material se redujo hasta 3,15 mm en un triturador de mandíbula mostrado en la figura 4.



Figura 4



Figura 4: triturador de mandíbula de marca Benver fire olay.

Características: en la figura 4 las rocas son reducidas hasta la dimensión mínima de 3,15 mm

Luego se realizó una caracterización granulométrica con la aplicación de la escala de Taylor, para lo que se usó el juego de tamices mostrado en la tabla 2.

Tabla 2: juego de tamices usado en la caracterización granulométrica después de la 2da etapa de trituración.

Numero	Abertura, mm
1.	3,33
2.	2,50
3.	1,90
4.	1,40
5.	0,83
6.	0,59

7.	0,40
8.	0,35
9.	0,20
10.	0,15



Figura 5: tamices utilizados.

En la **segunda etapa** se utilizó un molino de bola (mostrado en la figura 6) para reducirlo hasta la granulometría necesaria y que puedan ser usadas como materiales refractarios en los talleres de fundición.

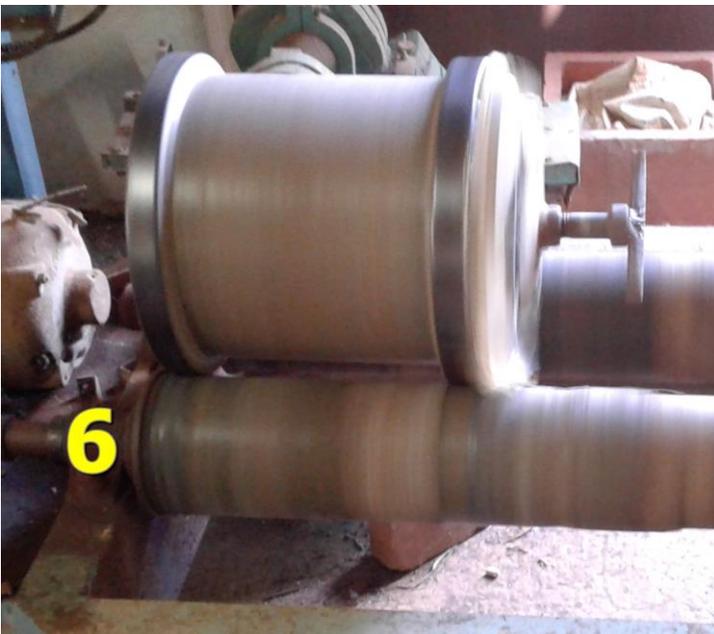


Figura 6: molino de bolas a escala de laboratorio

Este mismo molino consiste en un recipiente cilíndrico vacío que gira sobre su eje. El eje del cilindro puede tanto horizontal como tener un ángulo pequeño con la horizontal, es parcialmente llenado con bolas que pueden ser hechas de acero, o de acero cromado inoxidable, cerámico, o goma. Se molió el mineral con en la primera etapa con 1 hora, y en segunda se le acrecentó más 30 minutos.

En la tercera y última etapa se utilizó los tamices de varios diámetros para reducirlo hasta la granulometría necesaria.

Luego de la molienda se realizó una caracterización granulométrica con la escala de tamices mostrada en la tabla 3, aplicando también la serie de Taylor.

Tabla 3: juego de tamices usados en la caracterización después de la molienda

Numero	Abertura, mm
1.	0,310
2.	0,200
3.	0,147
4.	0,100

2.1.1. Características de la materia prima

Los principales resultados de la caracterización físico-química y mineralógica de las dunitas serpentinizadas de la zona de Cayo Guan la región de Moa-Baracoa, se demuestra la presencia de minerales del grupo de la serpentina, principalmente una variedad de minerales, debido al proceso de serpentización que ha afectado a estas rocas, y su transformación en fase de olivino luego de su calentamiento.

En esta tabla se caracterizó el mineral con su granulometría final, con el objetivo de la preparación de la mezcla con los materiales necesario para componer la mezcla de la pintura.

2.2. Métodos usados para el desarrollo de la investigación

Homogeneización del material:

La homogeneización de los minerales se realiza después de tener el mineral completo triturado, esto con la parte plana arriba se mezcla varias veces el mineral hasta obtener una mezcla homogénea completa. Luego se divide el mineral con una paleta en cuatro partes, hasta obtener espesores de dimensiones más pequeñas y sin granos. El mismo proceso se hace entre 3 o 4 veces hasta llegar al tamaño mínimo de la muestra para su análisis, de manera que pueda ser representativa respecto a la masa inicial y del yacimiento.

Cálculo de la masa mínima de la muestra a utilizar:

Para el cálculo de la masa mínima se utilizó la ecuación (1):

$$Q_{mín.} = 0,02 \cdot d^2 + 0,5 \cdot d$$

donde:

$Q_{mín.}$: masa mínima; kg,

d: diámetro máximo de las partículas; mm.

2.3. Metodología para determinar la pérdida de peso

Para determinar la pérdida de peso del mineral de dunitas, se tomaron tres muestras de 30 gramos cada una, como se muestra en la figura (7), y se sometió a un proceso de calentamiento gradual a 110 °C, 235 °C, 570 °C, 760 °C y 900 °C, por un período de una hora a cada temperatura.



Figura 7: muestras para pérdida de peso. El calentamiento se realizó en una estufa (figura 8), ubicada en el laboratorio de ciencia de los material del Departamento de Metalurgia química. La que posee las siguientes características:

Características:

La que se efectúa en la estufa se denomina de calor seco y se realiza a 1200°C durante 2 horas; la cristalería, al ser calentada por aire a alta temperatura, absorbe humedad y elimina la posibilidad de que se mantenga cualquier actividad biológica debido a las elevadas temperaturas y a los tiempos utilizados.



Figura 8: estufa usada en el calentamiento de la muestra.

2.4. Metodología para la obtención de la pintura refractaria

Para la obtención de la pintura refractaria se utilizaron los materiales que se muestran en la tabla 4, en la misma proporción que normalmente se usa para otros materiales de relleno en el taller de fundición.

Tabla 4: mezcla usada en la elaboración de la pintura refractaria.

Materiales	%
Dunita	50
Pez Rubia	3,5
Alcohol	46,5

Seguidamente se cumple un parámetro de orden y tiempo de mezclado: Mezclar el alcohol y la Pez Rubia hasta lograr homogeneidad, luego adicionar la dunita paulatinamente y mezclar hasta obtener una pintura homogénea, la cual debe mezclarse cada 10 min. La pintura debe tener una densidad entre 1,3 y 1,5 g/cm³.

Después de obtener la pintura, puede aplicarse con una brocha o atomizador (Pistola) una capa de 0,6 a 1,0 mm, el pez rubia a utilizar debe ser en polvo.

Después de obtener el compuesto, se pintan los moldes y se hace el proceso de secado de la pintura que es con candela, después de seco se añade el material fundido para obtener la pieza. Se requiere un tiempo determinado de enfriamiento hasta que el material fundido tenga la forma desea para saber si el compuesto sirve o no como pintura.

2.5. Método para determinar la composición química.

Se determinó la composición química de las muestras de dunitas iniciales y de las clases granulométricas obtenidas después del proceso de molienda. La que se realizó en el equipo de fluorescencia de rayos X (FRX), el que está ubicado en el laboratorio de la empresa Comandante Pedro Soto Alba marca Phillips PW.

Fundamentos del método de Fluorescencia de rayos X

Consiste en hacer incidir un haz de rayos X con energía suficiente para excitar los diferentes elementos que componen la muestra. Los átomos excitados al pasar al estado normal emiten radiaciones X cuya longitud de onda va a ser característica de cada elemento y la intensidad de la fluorescencia es proporcional al contenido de dicho elemento de la muestra. El espectrómetro es capaz de separar las diferentes longitudes de onda y determinar su intensidad, y mediante la resolución de un sistema de ecuaciones se calculan las concentraciones de los diferentes elementos en relación a una serie de muestras patrones con las cuales inicialmente se calibró el equipo.

Conclusiones del capítulo 2

- ✓ La muestra de dunitas del yacimiento de Cayo Guan seleccionada para el estudio se considera representativa con respecto a su volumen total.
- ✓ Las técnicas y métodos empleados fueron realizadas en instalaciones y equipos que garantizan la confiabilidad de los resultados.

CAPÍTULO 3 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

En este capítulo se redacta los análisis de los elementos realizados en el trabajo. En este proceso consiste en divulgar los resultados de las muestras si son o no benéfico como refractario. Se realizará primeramente la caracterización granulométrica, tanto en el material triturado en la segunda etapa, como después de la molienda. Así mismo se analizará la composición química de la muestra inicial y de la clasificación granulométrica fina. Por tanto, el propósito de este capítulo es mostrar y discutir los resultados obtenidos en el procedimiento de preparación de la muestra con vista a valora su posible uso como pintura refractaria.

3.1. Resultados del análisis granulométrico

En este acápite se realiza el análisis granulométrico obtenido en la preparación del material, tanto en la trituración como en la molienda, donde se obtiene como productos arena y material fino para pinturas. La arena es el material básico utilizado en la conformación de las mezclas de moldeo empleadas en la confección de moldes y machos para los diversos tipos de aleaciones que usualmente se producen en los talleres de fundición. Las arenas más empleadas en los talleres de fundición del país son las de cuarzo y las de cromita, debido principalmente a sus buenas propiedades técnicas y a que constituyen materiales abundantes y baratos, sobre todo las primeras. Sin embargo, son conocidas las características de las arenas de olivino (dunitas) y su uso en las mezclas de moldeo y para machos. La existencia de importantes reservas de este material en la zona de Moa, brinda la posibilidad de utilizarlas en los talleres de fundición de la región oriental (Pons-Herrera *et. al.* 1997)

3.1.1. Análisis granulométrico del material triturado

En este acápite se muestra el análisis granulométrico del material triturado en la segunda etapa. Como se puede ver en la figura 9 el 74,43 % del material posee una granulometría por debajo de 3,33 mm, lo que significa que el material está apto para someter a un proceso de molienda, necesaria para obtener los productos que se usan como material refractario. Puede decirse además que si se desea obtener

arena para moldes de fundición, el 10,5 % puede ser separado con un tamiz de 0,59 mm, que está en el rango de la granulometría que se usa con este fin.

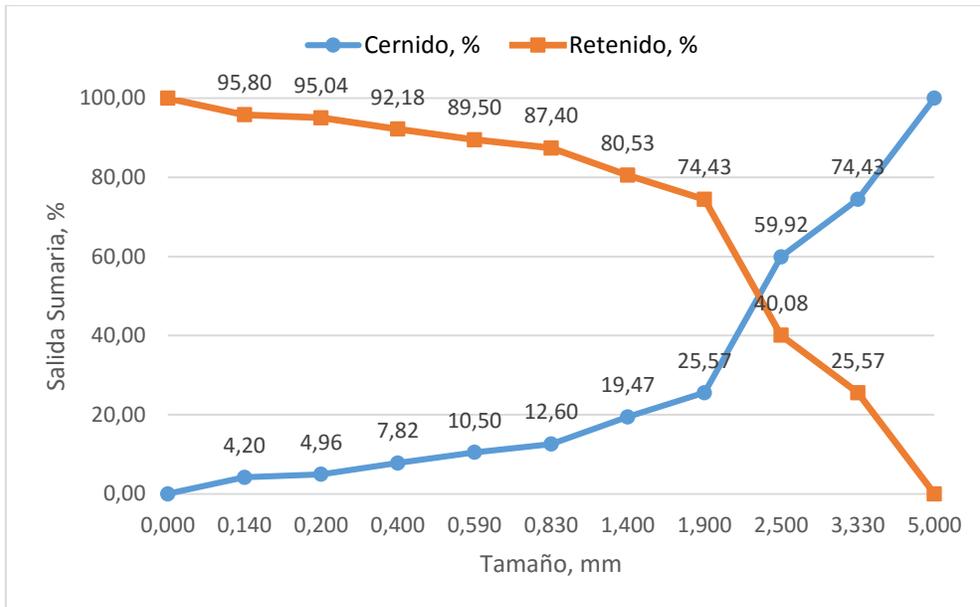


Figura 9: Resultado de la análisis granulométrico de la segunda etapa de trituración.

3.1.2. Análisis granulométrico del material molido

En la preparación del material para su obtención como materiales refractarios, a las dunitas hubo que someterlas a un proceso de molienda. Para lo que se usó una masa de 3 kg, valor mayor que 1,77 kg, que es el resultado del cálculo de la masa mínima a partir de la ecuación 1, mostrada en el capítulo 2.

La caracterización granulométrica se realizó en el juego de tamices que se mostró en la tabla 3. Como resultado se puede observar en la tabla 5 y en la figura 10, que la mayor cantidad de partículas (el 76,74 %) poseen un tamaño menor que 0,15 mm, lo que significa, según Pons-Herrera *et. al.* 1997, que esta cantidad puede ser usada como material de relleno para las pinturas refractarias en los talleres de fundición, ya que cumple con las características granulométricas necesarias. Por encima de 0,15 mm y menor que 0,5 mm se encuentra el 23,26 % del material, ideal para su uso como arena refractaria (Pons-Herrera *et. al.* 1997 y Pons-Herrera *et. al.* 2011).

Tabla 5: Resultados del análisis granulométrico de la molienda.

Abertura del tamiz, mm	Cernido, %	Retenido, %
0,44	100,00	0,00
0,31	98,98	1,02
0,20	87,50	12,50
0,147	76,74	23,26
0,10	63,83	36,17
0,00	0,00	100,00

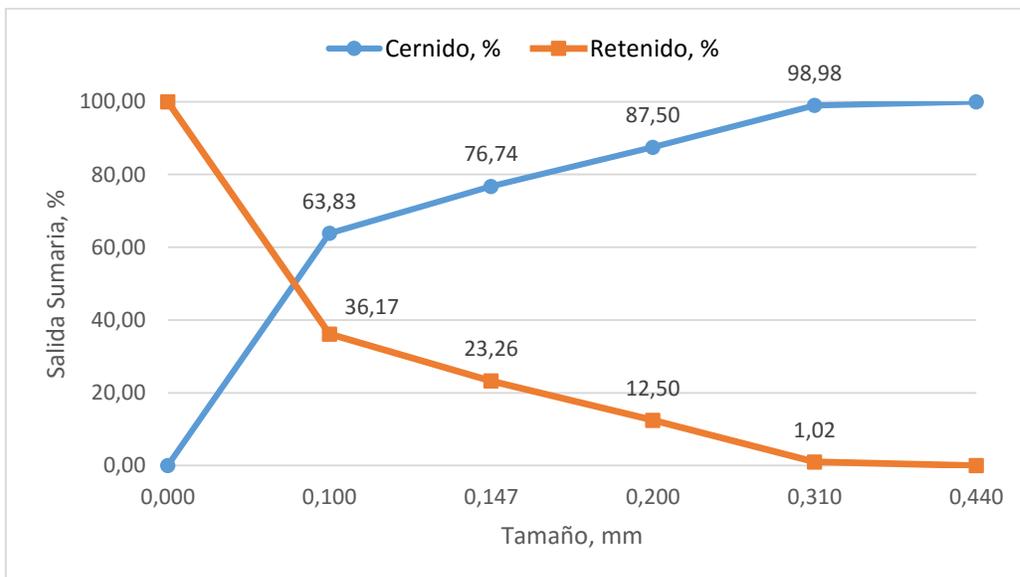


Figura 10: resultados del análisis granulométrico

Al comparar estos resultados con los obtenidos en el trabajo de Pons *et. al* (1997). En la aplicación de las dunitas en los talleres de fundición del Níquel se destaca la similitud de los por cientos logrados por su granulometría, en ambos casos se utilizó un molino de bola en el que se obtiene un elevado número de material en polvo en

un tiempo de molienda de 60 min, determinado por este investigador en el estudio de las dunitas de Merceditas y Amores.

3.2. Resultados del análisis químico

Desde el punto de vista de la química se puede decir que se determinó su composición, tanto a las dunitas de cabeza, como a las clases granulométricas del material después de molido.

En la tabla 6 se muestra la composición química de las dunitas de Cayo Guan, determinada por Fluorescencia de Rayos X.

Tabla 6: composición química de las dunitas de Cayo Guan, %.

Ni	Fe	SiO ₂	MgO	Al	Cr	Mn
0,210	8,700	38,320	40,730	0,780	1,360	0,086

Como se puede observar las dunitas de Cayo Guan poseen un contenido de 38,32 % de SiO₂ y 40,73 % de MgO, fases minerales más importantes a tener en cuenta en la fabricación de materiales refractarios de Forsterita, reportado por los investigadores Elmaghraby, M. S. *et. al.* (2015) y Aleixandre-Ferrandis y González-Peña (1967). Resultados que concuerdan con la composición química obtenida por Pons-Herrera *et. al.* (2000) para las dunitas de Merceditas y Amores. Lo que significa que existe cierta similitud entre todos los desechos de la industria del cromo en la región Moa-Baracoa.

Puede decirse que no hay gran variación en la composición química de las dunitas de Cayo Guan cuando se realiza una clasificación granulométrica. En la tabla 6 se puede observar que en todo el espectro granulométrico se mantiene la cantidad de SiO₂ y MgO en un rango estrecho. Solo para la clase más fina (-0,10 mm existe la mayor concentración de estos compuestos, ver figura 11. Por cuanto es la clase de tamaño que se usará para las pruebas de pintura anti-penetrante, tales resultados son beneficiosos desde el punto de vista de su refractariedad.

Tabla 7: composición química según las clases de tamaño, %.

Clases granulométricas	Ni	Fe	SiO ₂	MgO	Al	Cr	Mn
+0,31	0,19	8,20	34,79	35,85	0,96	0,64	0,07
-0,31 +0,20	0,20	8,40	35,13	37,11	0,92	0,87	0,07
-0,20 +0,15	0,20	8,50	35,04	37,70	0,88	0,97	0,07
-0,15 +0,10	0,21	8,60	34,62	37,67	0,89	1,07	0,08
-0,10	0,21	8,50	38,44	41,14	0,77	1,45	0,08

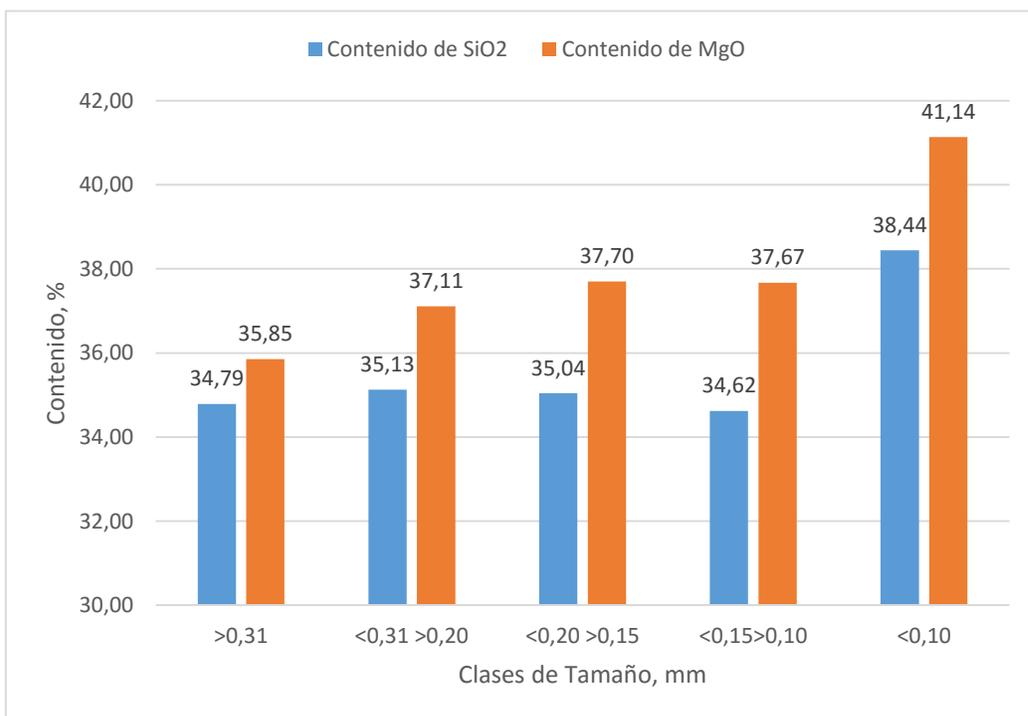


Figura 11: Comportamiento de los contenidos de SiO₂ y MgO por clases granulométricas.

3.3. Análisis de la pérdida de peso

Para determinar la pérdida de peso se tomaron tres muestras patrones de 30 g cada una. Tales muestras se sometieron a un calentamiento gradual y manteniéndola por una hora a 110 °C, 235 °C, 570 °C, 760 °C y 900 °C respectivamente. Cuyas

temperaturas fueron seleccionadas sobre la base de la experiencia para otros yacimiento de este tipo (Pons-Herrera *et. al*, 2000 y Pons-Herrera *et. al*. 2011). Tales resultados fueron graficados y se muestran en la figura 12. Como se puede apreciar, las tres muestras poseen un comportamiento similar, en la que se pierde aproximadamente entre el 11 % y el 13 % del peso inicial. Tal comportamiento es similar a los resultados que obtuvieron Pons-Herrera *et. al*. (2011) y Pons-Herrera *et. al*. (2000) para las dunitas de Amores y Merceditas.

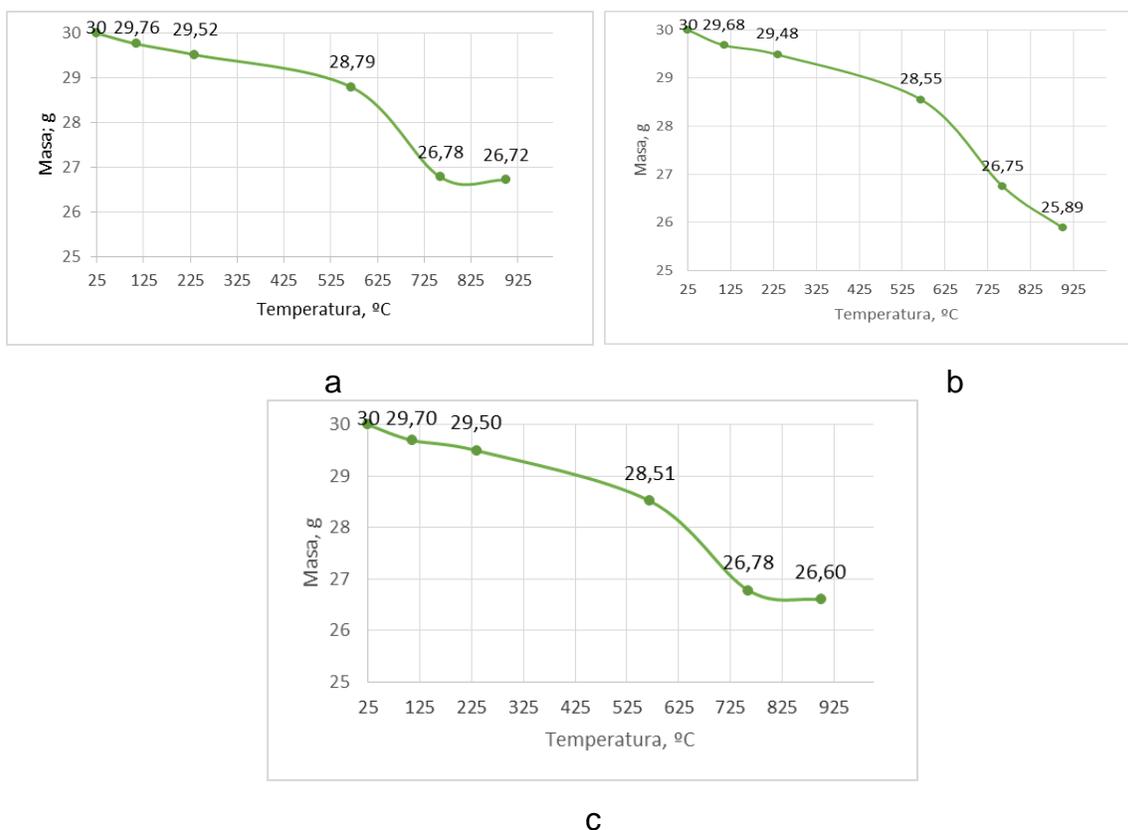


Figura 12. Curvas de pérdida de peso de las muestras de dunitas.

a) Muestra patrón 1 b) Muestra patrón 2 c) Muestra patrón 3

Se observa en la tabla 12 que por debajo de 235 °C solo se pierde aproximadamente el 1 % de la masa inicial, la que debe corresponder a la humedad libre que posee el material. Cuando la temperatura se incrementa por encima de 600 °C se debe descomponer las dunitas serpentinizadas (Brindley, G. W. y Ryozo Hayami. s.a.) y liberar el agua de constitución; además ocurre la transformación de la fase antigorita

(principal fase mineral de la dunita) en forsterita según los datos reportados por Pons-Herrera *et. al.* (2000) y Pons-Herrera *et. al.* (2011).

Tabla 8. Comportamiento de la pérdida de peso de las muestras patrón.

Temperatura, °C	Patrón 1		Patrón 2		Patrón 3	
	Masa; g	%	Masa; g	%	Masa; g	%
25	30,00	100,00	30,00	100,00	30,00	100,00
110	29,76	99,20	29,68	98,93	29,70	98,99
235	29,52	98,39	29,48	98,28	29,50	98,32
570	28,79	95,98	28,55	95,16	28,51	95,04
760	26,78	89,28	26,75	89,16	26,78	89,25
900	26,72	89,07	25,89	86,29	26,60	88,65

La Forsterita es un material que soporta altas temperaturas, por lo que se usa en la industria de la producción de materiales refractarios. Por tanto, se considera el posible uso de las dunitas de Cayo Guan como material refractario en los talleres de fundición.

3.4. Resultados de las pruebas de la pintura

Antes de hablar de los resultados de la pintura tenemos que decir que se usó la pintura en los moldes y machos medianos que están sujetos a régimen térmico intenso, donde requiere superficies lisas y resistentes a la erosión del metal.

Como ya ha sido explicado en el capítulo 2, se obtuvo la pintura con la misma proporción de los materiales que se usan en la obtención de pintura con otros materiales de relleno. Las dunitas fueron usadas solo con una preparación mecánica y no se sometieron a ningún calentamiento o tratamiento térmico. Por tanto se obtuvo la pintura que se muestra en la figura 13, la que posee un color grisáceo dado por la influencia del color de la dunita.



Figura 13: muestra de la pintura obtenida con material de dunita.

En la figura 14 se puede visualizar la calidad del molde y el macho (para la fundición de mangas de desbaste) pintado con la pintura de dunitas. Según la experiencia de los técnicos del taller de fundición de la empresa Mecánica del Níquel, se forma una capa lisa y con un buen espesor, igual que cuando se usa otra pintura refractaria, con lo que debe dar una buena calidad superficial de la pieza fundida. Además el proceso de secado fue similar y con la misma velocidad a como se realiza normalmente a los moldes pintados.



Figura 14: molde y macho pintado.

Se comprobó en otros trabajos que la dunita sirve para ser empleada como pintura refractaria, así como arena refractaria y ladrillos refractarios. Sin embargo, en las pruebas realizadas con las dunitas de Cayo Guan no hubo éxito como pintura. Lo anterior significa que con la dunita utilizada no se puede realizar pintura refractaria, por falta de algunas propiedades, como refractariedad, que son indispensables; se puede inferir que no ocurrió la transformación de fases necesarias para la formación de la forsterita. Como muestra la figura 15a, las fotos sacadas después de los resultados de la pieza fundida, presenta deformaciones y una camada porosa en la parte externa e interna de la misma. Es decir, no se obtuvo una buena calidad superficial de las piezas debido a la penetración del metal en la superficie del molde. Tal resultado se puede comparar con una pieza obtenida con otro tipo de pintura refractaria, en la que la calidad superficial de la pieza es mucho mejor (figura 15b).



Figura 15: mangas de desbaste obtenida por fundición

a) con pintura de dunita b) con pintura de sílice

Conclusiones del capítulo 3

Las muestras de dunitas molidas poseen una granulometría y composición química adecuadas para su uso como material refractario, tanto pinturas como arenas.

CONCLUSIONES GENERALES

Después de haber analizado los resultados obtenidos, se llegó a la siguiente conclusión:

- ✓ La composición química de las dunitas de Cayo Guan iniciales, así como las clases de tamaño de su molienda son adecuadas para usarlas como material refractario; con contenidos que oscilan entre 34,79 % y 38,44 % para el SiO₂ y 35,85 % y 41,14 % para el MgO.
- ✓ El material de dunitas sometido a un calentamiento hasta 900 °C, verifica una pérdida de peso de hasta un 13 %. Lo que debe corresponderse con la eliminación del agua de hidratación, del agua de constitución y de la transformación de fases hasta forsterita, apoyado en los resultados de Pons-Herrera *et. al.* (2000).
- ✓ Las pruebas de pinturas refractarias obtenidas con las dunitas de Cayo Guan, no cumplen con los requisitos exigidos de calidad superficial de las piezas, ya que permiten la penetración del metal fundido en la superficie del molde.

RECOMENDACIONES

- ✓ Se recomienda calcinar la dunita antes de utilizarla como pintura refractaria.
- ✓ Realizar los análisis termo-gravimétricos y termo-diferencial para determinar la transformación térmica de las dunitas de Cayo Guan.

BIBLIOGRAFÍA

1. Álvarez, M.A., 1975. Origen de las anfibolitas presentes en los alrededores de Medellín. Tesis de grado. Univ. Nacional, Fac. Minas, Medellín. pp. 1-106 .
2. Álvarez, J., 1987. Tectonitas dunitas de Medellín, departamento de Antioquia, Colombia. Bol. Geol., Ingeominas, Bogotá, 28(3), pp 9-44
3. Aleixandre-Ferrandis, V. y González-Peña J. M. 1967: Obtención de forsterita a partir de varias serpentinas españolas. Acción de diversos mineralizadores sobre la serpentina del Barranco de San Juan (Granada). Boletín de la Sociedad Española de Cerámica, Vol. 6 – Nº 1
4. Brindley, G. W. y Ryozo Hayami. s.a. Kinetics and mechanisms of dehydration and recrystallization of serpentine. Twelfth National Conference on Clays and Clay Minerals. The Pennsylvania State University.
5. Botero, G., 1963. Contribución al conocimiento de la geología de la zona central de Antioquia. Anales Fac. Minas, Univ. Nacional, Medellín, N. 57, pp 1-101
6. Castellanos, p. y m. casas: 1994 “Caracterización preliminar de las rocas ornamentales del Cerro Miraflores en el municipio de Moa”, Informe Técnico, ISMM-Moa
7. Elmaghraby, M. S.; A. I. M. Ismail, y N. I. Abd El Ghaffar. 2015: Atalla Egyptian Serpentine for Producing Forsterite and its Thermo-Mechanical Behavior. International Journal of Research Studies in Science, Engineering and Technology [IJRSSET]. Volume 2, Issue 7, PP 137-146. ISSN 2349-476X (Online).
8. Fonseca, e. y v. Sladkevich: 1992 La Habana “Geología de los yacimientos cromíticos Con evaluación y pronóstico”, Informe Técnico, IGP.
9. Formoso, A., M. Sirgado y L. García: 1994 “La dunita como agente de eliminación de alcalinos en el horno alto”, Revista de Metalurgia (Madrid)
10. Guild, P. W.: 1948 “Petrology and structure of the Moa chromite district Oriente. Cuba”, U.S. Geological Survey Bulletin, 3 (2): 37-55.

11. Griffiths, J. 1989 "Olivine. Volumen the key to success", Industrial Mineral (1) 25-35,
12. García, I. y E. Fonseca:1994 "La mineralización cromítica y su relación con las cloritas en el yacimiento Amores", Minería y Geología 11 (1) :50-54.
13. Jerez, G., C. Leyva y J. Pons:1995 "Estudio geólogo-tecnológico de las Dunitas serpentinizadas y cortezas caoliníticas de la región de Moa para su empleo como materiales refractarios", Informe Técnico, ISMM, Moa.
14. Jaramillo, J. M., Posada, J. H. y Serna R., 1971. Serpentinitas que afloran en la Parte Oriental del Valle de Medellín y sus Minerales Asociados, Tesis de grado, Univ. Nacional, Facult Minas, Medellín, pp 1-71
15. Leyva, C. Y J. Pons: 1996 "Posibilidades de utilización de materias primas de la región de Moa como materiales refractarios y aislantes térmicos en las industrias del níquel", Minería y Geología, 13 (1) :27-30.
16. Muñoz, J. N.:1997 "Geoquímica y mineralogía de la mineralización cromífera asociada al complejo ofiolítico en la región de Moa-Baracoa", Tesis doctoral, Departamento de Geología, ISMM, Moa.
17. Pons, J. Y C. Leyva: 1997 "Aplicación de las dunitas en los talleres de fundición", Minería y Geología 14 (1):25-29.
18. Pons, J.: 1999, 2000 "Caracterización de las dunitas serpentinizadas de la región de Moa, zonas Merceditas y Amores", Tesis de Maestría, Departamento de Metalurgia ISMM, Moa, "Obtención de productos refractarios para la fundición, a partir de las dunitas serpentinizadas de la región de Moa, zonas Merceditas y Amores", Tesis doctoral, Departamento de Metalurgia, ISMM, Moa.
19. Proenza, J. 1997: "Mineralizaciones de cromita en la faja Mayarí-Baracoa (Cuba). Ejemplo del yacimiento Merceditas", Tesis doctoral, Departamento de Geología, ISMM, Moa.
21. Pons, J., O. ESPINOSA Y N. LABORÍ: 1997 "Obtención y evaluación de productos refractarios, a partir de las dunitas serpentinizadas de las zonas Amores y Miraflores", Informe Técnico, ISMM, Moa.

22. Pons, J., C. Leyva y A. Fiol: 1998 "Características generales de las dunitas de la región de Moa (zona Merceditas)", *Minería y Geología* 2 (2): 35-40.
23. Picayo, P. H.: 1988 "Petrografía de las ofiolitas del Cerro Miraflores", Informe Técnico, ISMM-Moa.
24. Pons, J. y C. Leyva: 1997b "Aplicación de las dunitas en los talleres de fundición", *Minería y Geología* 14 (1):25-29.
25. Pons-Herrera, J. A.; Machado-Serrano, E.; Leyva-Rodríguez, C. A.. 1997: Aplicación de las dunitas en los talleres de fundición. *Revista Minería y Geología* Vol. XIV, No. 1. ISSN. 0258 5979.
26. Pons-Herrera J. A.; Ramírez-Pérez M. C.; Leyva-Rodríguez C. A. 2011: Fundamentos científicos para la utilización de las dunitas serpentinizadas de la región de Moa. Cuarta convención cubana de ciencias de la tierra, Geociencias'2011. Memorias en CD-Room, La Habana, 4 al 8 de abril de 2011. ISBN 978-959-7117-30-8
27. Pons-Herrera J. A.; Leyva-Rodríguez C. A.; Rodríguez-Martínez, G.; Ramírez-Pérez M. C. 2000: Características físico-químicas de las dunitas serpentinizadas de la región de Moa-Baracoa (zonas Amores y Miraflores).
28. Restrepo, J.J. y Toussaint, J.F., 1974. Obducción cretácea en el Occidente Colombiano. *Anales Fac. Minas, Univ. Nacional, Medellín*, N. 58, pp 73-10
29. Restrepo, J.J., 1983. Compilación de edades radiométricas de Colombia: Departamentos Andinos hasta 1982. *Bol. Ciencias de la Tierra, Univ. Nacional*, N. 7-8, pp.201-248
30. Restrepo, J.J., 1984. Compilación de edades radiométricas de Colombia: Departamentos andinos hasta 1982. *Bol. Ciencias de la Tierra, Univ. Nacional, Medellín*, N. 7-8, pp 201-248
31. Restrepo, J.J., 1986. Metamorfismo en el sector norte de la Cordillera Central de Colombia. Informe para promoción a profesor titular, Univ. Nacional, Fac. Ciencias, Medellín, pp 1-276
32. Restrepo, J.J., 2003, Edad de generación y emplazamiento de ofiolitas en la Cordillera Central: un replanteamiento. IX Congreso Colombiano de Geología, Medellín, Resúmenes, pp 48

33. Restrepo, J.J. y Toussaint, J.F., 1977. Anfibolitas granatíferas de Caldas.
34. Antioquia. Bol. Ciencias de la Tierra, Univ. Nacional, Medellín, N. 2, pp. 147-154
35. Restrepo, J. J.; Frantz, J. C.; Ordóñez-Carmona, O.; Correa, A. M.; Martens, U. y Chemale, F. 2007. Edad triásica de formación de la Ofiolita Aburrá. Memorias XI Congreso Colombiano de Geología, Bucaramanga, pp 1
36. Restrepo S.A, Foster D.A, Kamenov G.A, O'Sullivan P, (2007). Formacion Age and Magma sources for the Antioqueño and Ovejas Batholiths Derived U.Pb Dating and Hf-Isotope Analysis of Zircon Grains by LA-ICP-MS. GSA Abstracts with Programs 39 (9)
37. Thayer T ;1996 Serpentinizadas considered as a constant-volumen metasomatic proces, American Mineralogist 6 (61):685-710.
38. Teague, H. K.: 1989-1996, 1983 "Olivine", Industrial Minerals and Rocks 12 (50)
39. Torres, R.:1987 "Caracterización de la asociación ofiolítica de la región norte de Moa-Baracoa y su relación con el arco volcánico del Cretácico", Trabajo de diploma, Departamento de Geología, ISMM, Moa.